

19  
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO  
DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN PEMEX. GAS  
Y PETROQUIMICA BASICA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A N:

JOSE LUIS GONZALEZ HUERTA  
JORGE SALAS MUNGUA



MEXICO. D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-076

**SR. JOSE LUIS GONZALEZ HUERTA**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Manuel Falcón Félix y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero :

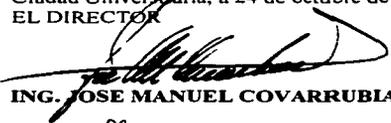
**ANALISIS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN  
PEMEX, GAS Y PETROQUIMICA BASICA**

	<b>INTRODUCCION</b>
<b>I</b>	<b>CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE BOMBAS CENTRIFUGAS</b>
<b>II</b>	<b>COMPONENTES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA</b>
<b>III</b>	<b>ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO</b>
<b>IV</b>	<b>OPERACION</b>
<b>V</b>	<b>ANALISIS DE FALLAS EN LA OPERACION</b>
<b>VI</b>	<b>MANTENIMIENTO</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 24 de octubre de 1997  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS\*RI\*LR\*gtg



FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-077

**SR. JORGE SALAS MUNGUA**  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Manuel Falcón Félix y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero :

**ANALISIS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRIFUGAS EN PEMEX, GAS Y PETROQUIMICA BASICA**

	<b>INTRODUCCION</b>
<b>I</b>	<b>CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE BOMBAS CENTRIFUGAS</b>
<b>II</b>	<b>COMPONENTES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA</b>
<b>III</b>	<b>ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO</b>
<b>IV</b>	<b>OPERACION</b>
<b>V</b>	<b>ANALISIS DE FALLAS EN LA OPERACION</b>
<b>VI</b>	<b>MANTENIMIENTO</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Ciudad Universitaria, a 24 de octubre de 1997

EL DIRECTOR



**ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS**

JMCS\*RI/CR\*gtg

ANÁLISIS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS  
EN PEMEX, GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA.

CONTENIDO

	PAG
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I	
CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE BOMBAS CENTRÍFUGAS	01
1.1 GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS	02
1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	19
CAPITULO II	
COMPONENTES DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA	22
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS	23
2.2 FLECHAS	29
2.3 MANGAS EN LAS FLECHAS	30
2.4 IMPULSORES	34
2.5 CARCAZA O CUBIERTA	39
2.6 CAJAS DE EMPAQUES	43
2.7 ANILLOS DE DESGASTE	52
2.8 SELLOS MECANICOS	60
2.9 COJINETES Y COPLES	64
CAPITULO III	
ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO	88
3.1 DISTRIBUCIÓN DEL EQUIPO DENTRO DE UN AREA ASIGNADA	89
3.2 DISEÑO DE TUBERÍAS	90
3.3 VÁLVULAS	95
CAPITULO IV	
OPERACIÓN	102
4.1 LOCALIZACIÓN DEL EQUIPO	103
4.2 CEBADO	106
4.3 CALENTAMIENTO	109
4.4 ENFRIAMIENTO	109
4.5 LUBRICACIÓN	110
4.6 VERIFICACIONES FINALES ANTES DEL ARRANQUE	110
4.7 PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE Y PARADA	111
4.8 MEDIDORES DE FLUJO	113

<b>CAPITULO V</b>	
<b>ANALISIS DE FALLAS EN LA OPERACIÓN</b>	<b>118</b>
<b>5.1 SINTOMAS DE FALLAS MÁS COMUNES</b>	<b>119</b>
<b>5.2 ANALISIS DE ALGUNOS PUNTOS DE FALLA</b>	<b>121</b>

<b>CAPITULO VI</b>	
<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>125</b>
<b>6.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	<b>126</b>
<b>6.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO</b>	<b>131</b>
<b>6.3 APLICACIÓN PRÁCTICA DE INSTALACIÓN, ALINEACIÓN Y OPERACIÓN</b>	<b>133</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## INTRODUCCIÓN

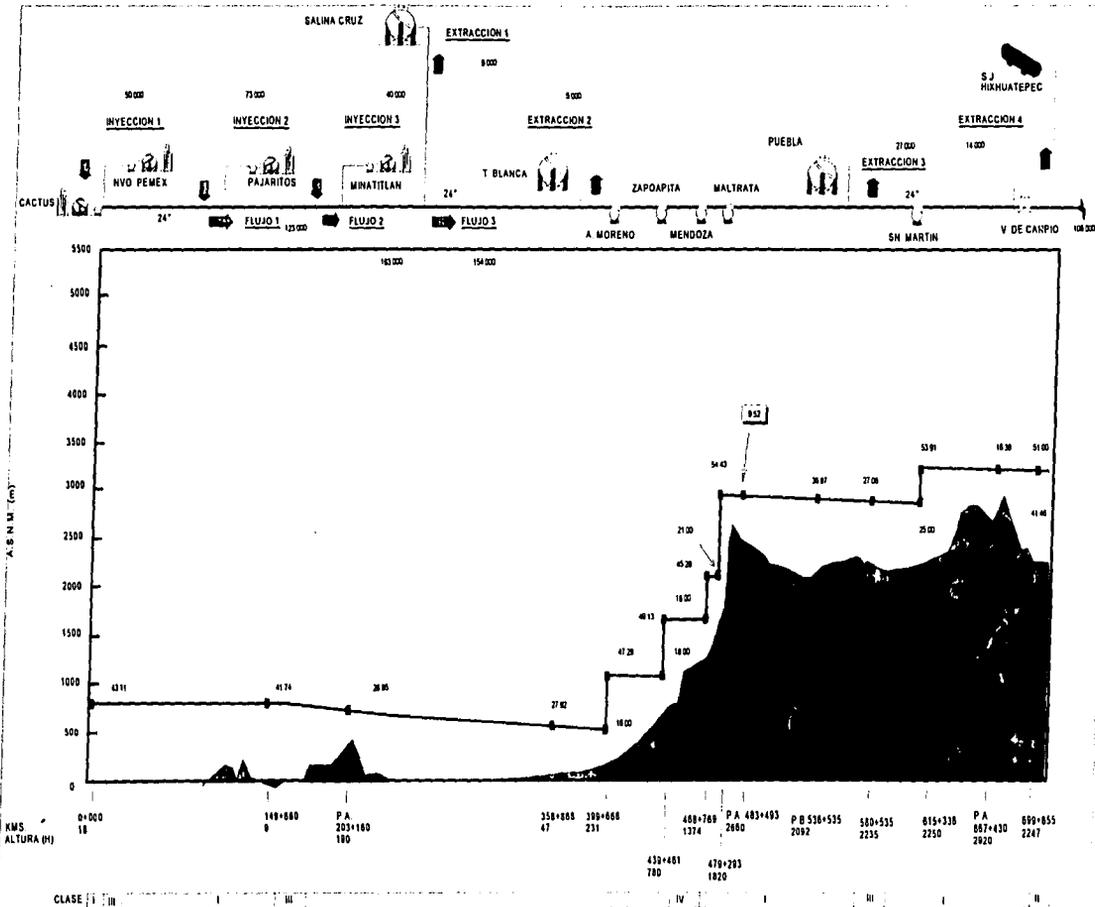
En el presente documento se proporcionan procedimientos que permiten el conocimiento de los componentes de una bomba centrífuga como son: flechas, camisas, impulsores, cajas de empaques, etc. Así también la distribución del equipo de bombeo, su operación y mantenimiento, y un análisis de las fallas más comunes que pueden presentarse en estos equipos, para poder establecer los métodos de operación y mantenimiento óptimos; ya que estos equipos son los encargados de adicionar energía al fluido que se transporta a través de los ductos de Petróleos Mexicanos, nos referimos específicamente a Pemex Gas y Petroquímica Básica.

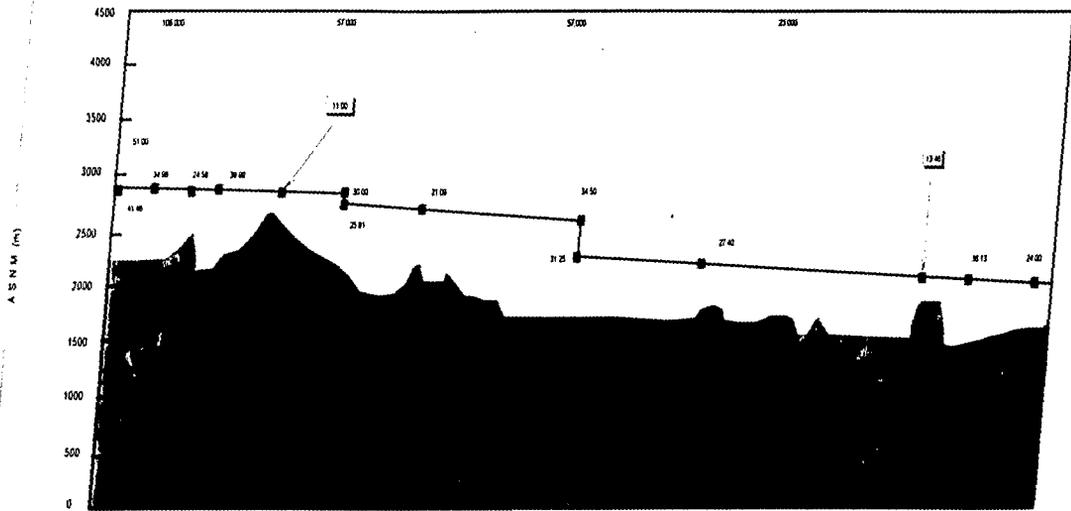
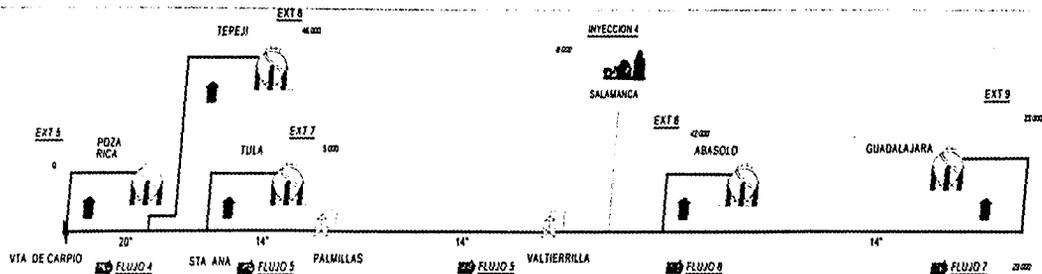
Para este estudio se toma en cuenta el ducto de 24 pulgadas de diámetro que va desde C.P.Q. de Cactus hasta el punto de extracción de la terminal Guadalajara, Jalisco.

El fluido que se transporta es gas licuado del petróleo (L.P.G) y es precisamente donde se hace importante el estudio de las bombas centrífugas, ya que estos equipos permiten que el fluido pueda llegar a los puntos de extracción, como son: Salina Cruz, Tierra Blanca, Puebla, Poza Rica, S.J. Ixhuatepec, Tepeji, Tula, Abasolo y Guadalajara Jalisco.

Para esto se tienen contempladas cinco estaciones de rebombeo que nos brindaran la potencia necesaria para poder vencer la columna hidráulica ocasionada por el relieve topográfico, las estaciones son: Arroyo Moreno, Zapopita, C.D. Mendoza, Sn. Martín Texmelucan y la estación de regulación y medición de Venta de Carpio Estado de México.

Nos enfocaremos principalmente al tramo comprendido de la estación de rebombeo No.7 San Martín Texmelucan, Puebla a la estación de regulación y medición de Venta de Carpio Estado de México.





KMS	699+855	743+935	759+810	P.A.	829+033	874+008	968+217	1058+159	P.A.	P.B.	1232+884
ALTURA (M)	2247	2310	2208	749.033	2683	2211	1736	1710	1163+664	1150+664	1670
		P.A.							1900	1488	
		747+582									
		2504									

CLASE

III	II	III	I	III	IV	I	III	IV
-----	----	-----	---	-----	----	---	-----	----

# Capítulo 1

## Conceptos fundamentales de bombas centrífugas

---

## CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE BOMBAS CENTRIFUGAS

### 1.1 GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS

#### Conceptos de mecánica de fluidos

Cuando el operario de mecánica de piso atiende una bomba centrífuga, se encuentra con algunos conceptos que están en los instructivos y catálogos de información que son difíciles de entender para estas personas que operan las bombas es por esto que en el presente capítulo se explican de manera más didáctica estos conocimientos con el fin de que las personas que operan las bombas centrífugas puedan saber exactamente el significado de los conceptos técnicos y de ingeniería que manejan los manuales de operación.

Estos conceptos se definen a continuación, debiendo considerarse estas definiciones como aplicables cuando se hable o trate de bombas centrífugas.

**Temperatura.**- Es la manifestación del calor que se produce en una bomba cuando está funcionando y es consecuencia de la fricción entre los elementos en movimiento con el producto manejado. así como del calor que contiene el mismo producto. Sus unidades son: (°C) en el sistema métrico y (° F) en el sistema inglés.

**Velocidad.**- Es el número de revoluciones por minuto a los que gira el elemento rotativo de la bomba. Se mide en (r.p.m.)

**Altitud:** Es la distancia vertical (altura) que hay entre un punto dado de la Tierra y el nivel del mar.

**Energía de Presión.**- Es la energía que posee un líquido, debida a una presión actuante sobre él.

**Velocidad de conducción.**- Es la velocidad promedio con que circula un fluido en el interior de una tubería o conducto.

#### Densidad específica o absoluta

La densidad es la masa por la unidad de volumen

$$\text{densidad} = \frac{m}{v} \quad (\text{gr/cm}^3) \text{ o } (\text{lb/ pie}^3)$$

La densidad absoluta es función de la temperatura y de la presión, la variación de la densidad absoluta de los fluidos es muy pequeña, salvo a muy altas presiones.

### **Peso específico**

Es el peso por la unidad de volumen

$$\text{peso específico} = \frac{W}{V} \quad \text{donde:} \quad \begin{array}{l} W = \text{peso} \quad (\text{Kg}) \\ V = \text{Volumen} \quad (\text{m}^3) \end{array}$$

El peso específico esta en función de la temperatura y de la presión aunque en los fluidos no varia casi nada prácticamente con esta última por lo que:

$$1 \text{ peso específico} = 1 \text{ ( kg / m}^3 \text{ s}^2 \text{)}$$

### **Densidad relativa**

Es la relación entre la masa del cuerpo a la masa de un mismo volumen de agua destilada a la presión atmosférica y a 4 grados centígrados. y esta en función de la temperatura y a la presión.

La densidad de un fluido se mide con un densímetro el cual consiste en un flotador el cual se sumerge en una probeta llena de líquido, éste se basa en el principio de Arquimides. El flotador se hundirá más a menor densidad y desalojará mas líquido.

Y según la primer ley de Newton ,el peso del líquido desalojado por el flotador ;es igual al empuje hacia arriba,según el principio de Arquimides,debera ser igual al peso del flotador.

por la tanto se tiene:

P(peso del líquido desalojado por el flotador)=densidad del liquido.g.v(volumen del líquido desalojado)  
por lo que:

$$P = W$$

$$W = \text{densidad del líquido} \cdot g \cdot V$$

### **Volumen específico**

El volumen que ocupa 1 kg de masa de una sustancia.

Así el volumen específico de agua destilada a la presión atmosférica y 4 °C es aproximadamente igual a 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/kg; Es interesante observar que la densidad del aire a la presión atmosférica y 4 °C es aproximadamente 1,3 (kg/m<sup>3</sup>) y su volumen

específico es  $1/1.3 \text{ (m}^3/\text{kg)}$ ; es decir un kilogramo de aire a la presión atmosférica ocupa aproximadamente 800 veces más espacio que 1 kg de agua.

En el sistema ST el volumen específico es recíproco al peso específico  
volumen específico =  $1 / \text{peso específico}$

$$V_e = 1 / P_e$$

**Presión:** Representa la fuerza por unidad de área que actúa en un líquido a la entrada de la bomba centrífuga o cuando es impulsado por un elemento rotativo de la misma. Se mide por medio de un manómetro siendo sus unidades ( $\text{Kg/cm}^2$ ) en el sistema métrico y ( $\text{lb/pg}^2$ ) en el sistema inglés.

Es el resultado de dividir la fuerza entre la superficie a la cual dicha fuerza es aplicada y esta expresada en ( $\text{kg/cm}^2$ ) o bien ( $\text{lb/pg}^2$ )

La presión en un punto de un fluido es:

$$P = \gamma h \quad \text{en} \quad (\text{Kg/cm}^2) \text{ o } (\text{lb/pg}^2)$$

de donde  $h$  nos representa la altura desde el punto en cuestión a la superficie del fluido, cabe mencionar que se acostumbra expresar 10 m de columna de agua por 1 ( $\text{kg/cm}^2$ ).

**Presión relativa:** Es la presión a la que se encuentra un fluido con respecto a la presión atmosférica.

**Presión barométrica o atmosférica:** Es aquella que se tiene en un punto determinado, debido al peso de la atmósfera, siendo el máximo valor el nivel del mar, el cual ira disminuyendo conforme sea mayor la altura con respecto a este nivel. También se le llama presión barométrica por los aparatos (barómetros), que se usan para medirla.

Sobre la superficie de un líquido reina la presión del aire o gas que sobre ella existe. Esta presión puede adquirir un valor cualquiera en un recipiente cerrado; pero si el recipiente está abierto, sobre la superficie del líquido reina la presión atmosférica ( $P_{\text{atms}}$ ) debido al peso de la columna del aire que gravita sobre el fluido.

La presión atmosférica varía con la temperatura y altitud. La presión media normal a  $0^\circ \text{C}$  y al nivel del mar es de 760 mm de Hg. igual a 1.01396 Bar se le llama atmósfera normal. En cuestiones técnicas se utiliza mucho la atmósfera técnica, que es igual a 1 Bar, por lo tanto hay tres atmósferas:

Atmósfera normal = 1.01396 Bar

Atmósfera técnica = 1 Bar

Atmósfera local = Presión atmosférica reinante en el lugar y tiempo determinado.

**Presión absoluta.**- Es la suma algebraica de la presión atmosférica y la presión manométrica.

Para encontrar la presión absoluta con exactitud habrá de sumar a la presión leída en el manómetro mas la presión atmosférica local medida exactamente con un barómetro:

$$P_{abs} = P_e + P_{atm}$$

En donde :

P abs = Presión absoluta (Pa).

P<sub>e</sub> = Presión relativa (Pa) medida con un manometro

P<sub>atm</sub> = Presión atmosférica. Presión ambiente o presión barométrica (Pa) medida con un barómetro.

### Presión de vapor

Se define como la presión ejercida por el gas de una sustancia cuando esta en equilibrio con la fase líquida o sólida .La presión del vapor de los líquidos ( o sólidos ) aumenta cuando la temperatura asciende.Llamada también presión de saturación,es la presión a la cuál un líquido entra en ebullición.

### Velocidad de propagación de ondas

El agua sometida a presión puede ser comprimida, para un incremento de presión,la diferencia de presión dP de un volumen disminuirá en una diferencia de volumen dV ,según la siguiente relación.

$$dP = -\varepsilon \frac{dV}{V}$$

Esta relación es valida para la compresión elastica en donde  $\varepsilon$  es el módulo de elasticidad del agua y toma un valor de:

$$2.07 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2 = \varepsilon$$

La relación fisica entre la velocidad de propagación de las ondas en un cuerpo o medio elástico y cuya densidad  $\rho$  sea está expresada según la siguiente formula:

$$a = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}} = \sqrt{\frac{g \varepsilon}{\gamma}}$$

de donde :

$\gamma$  :peso especifico

$\varepsilon$  :módulo de elasticidad

g :gravedad

## Viscosidad

Dentro del estudio de la mecánica se le llama coeficiente de fricción a la relación de  $F/G$  de donde:

F: fuerza aplicada

G: peso del cuerpo

S: superficie de deslizamiento

Teniendo en consideración las características de los materiales que formaban las superficies de contacto. De una manera semejante como se pierde la energía por fricción así también se pierde la energía por el fenómeno de la viscosidad .

Por lo que podemos decir que en esta propiedad se muestra que las partículas vecinas de una vena líquida no tienen la misma velocidad y se deslizan unas sobre otras.

Los deslizamientos relativos hacen que aparezcan las fuerzas de fricción paralelas al movimiento independientes de la presión a este fenómeno se le llama viscosidad.

### Coeficiente de viscosidad dinámica

Es el parámetro que traduce la existencia de esfuerzos tangenciales de los fluidos en movimiento. Si se consideran dos placas de superficies  $S$ , separadas  $A_n$ , moviéndose con una velocidad relativa  $AV$ , la fuerza necesaria para producir el movimiento es igual.:

$$F = \mu S (AV/A_n)$$

Suponiendo que el fluido entre las superficies  $S_1$  y  $S_2$ , y que esta última se está moviendo con respecto a la primera velocidad  $v$ , las partículas adheridas a la superficie  $S_2$ , se está moviendo con la misma velocidad  $v$ , mientras que las partículas adheridas a la superficie  $S_1$ , están en reposo si se considera una disminución de  $dy$ , veremos que la correspondiente disminución de la velocidad es  $dv$ .

Al cociente de  $dv$  entre  $dy$  se le llama Gradiente de Velocidad, perpendicular al movimiento.

Según lo antes mencionado, la fuerza de fricción es igual al producto de la superficie considerada por el coeficiente de viscosidad.

En nuestro caso tenemos:

$$F = S \mu \, dv/dy$$

Y como el movimiento se supone laminar:

$$F = S \mu \, v/y$$

De donde

$\mu$ . es el coeficiente de la viscosidad dinámica expresada la práctica en Centipoise (cp)

### **Coefficiente de viscosidad cinemática**

Por definición este nos resulta de dividir el coeficiente de viscosidad dinámica entre la masa específica;

$$\nu = \mu / \rho \quad \text{m}^2 / \text{seg}$$

En el sistema CGS la unidad correspondiente es el STOKE  
1 STOKE = 1 (cm<sup>2</sup> /seg), en la práctica es el centistoke

### **Tensión superficial**

Una molécula en la superficie libre de un líquido o en la superficie de separación de dos líquidos no estará sometida a fuerzas simétricas, ya que entonces no estará rodeada simétricamente por moléculas de la misma naturaleza, por lo que la resultante ejercida en esta molécula no será nula. Esta fuerza provocará la tensión superficial, en dirección perpendicular a la superficie de separación.

La molécula en la superficie posee una energía que se ha transmitido para colocarlo en esa superficie.

Las unidades de la tensión superficial,  $\sigma$ , son:  
F/L; gr/cm ; Kg/m

La tensión superficial da lugar a los fenómenos de capilaridad en los tubos estrechos. Este fenómeno nos produce una sobre-elevación de la superficie libre con la formación de una superficie cóncava si el líquido que moja la pared, un descenso con superficie convexa si el líquido no moja la pared.

### **La solubilidad de los gases en el agua**

A la presión y a las temperaturas ordinarias, el agua puede disolver aire hasta el 2 % de su volumen. Para un gas determinado se le llama coeficiente de solubilidad, la relación del volumen del gas disuelto al volumen del líquido que lo contiene.

Según la ley de Henry el coeficiente de solubilidad tiene la característica de permanecer constante a una temperatura constante.

Para las mezclas según la ley de Dalton la cual nos dice que cada gas se comporta como si estuviese solo cuando hay presencia de un líquido.

### **Tensión de vapor del agua (hv)**

La tensión del vapor de agua es la presión que el vapor ejerce a un volumen determinado. Se dice que el volumen está saturado cuando ya no puede contener más vapor. La tensión de vapor saturado crece con la temperatura y llega a la presión atmosférica al punto de ebullición. La altura máxima de la columna de agua que a una temperatura dada, puede ser equilibrada por la presión atmosférica, es la altura

correspondiente a la presión atmosférica menos la tensión del vapor a la temperatura en cuestión.

Este efecto es muy importante para el estudio de las bombas centrífugas y así poder estudiar el fenómeno de la cavitación.

### **Ecuación general "Teorema de BERNOULLI"**

El teorema de Bernoulli es una forma de expresión de la aplicación de la ley de la conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería. La energía total es un punto cualquiera por encima del plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de las alturas geométricas, la altura debida a la presión y a la altura debida a la velocidad, es decir:

$$Z + P / \gamma g + v^2 / 2g = H$$

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian y no se aportan o no se toma ninguna energía del sistema de tuberías (bombas o turbinas).

La altura H en la ecuación anterior permanecerá constante para cualquier punto del fluido. Sin embargo en realidad existen pérdidas o incrementos de energía que deben incluirse en la ecuación de Bernoulli, por lo tanto, el balance de la energía puede escribirse para los dos puntos del fluido.

Notándose que la pérdida por el rozamiento en la tubería desde el punto uno al punto dos (h<sub>l</sub>) se expresa como pérdida de altura en metros de fluido. La ecuación puede escribirse de la siguiente manera:

$$Z_1 + P_1 / \gamma g + v_1^2 / 2g = Z_2 + P_2 / \gamma g + Vv_2^2 / 2g + h_L$$

### **Ecuación general del flujo de fluidos (FORMULA DE DARCY)**

En el flujo de los fluidos en las tuberías está siempre acompañado por el rozamiento de partículas en el fluido entre sí y consecuentemente, por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo. Si se conectan dos manómetros Bourdon a una tubería por la que pase un fluido, según se indique, el manómetro P<sub>1</sub> indicará una presión estática mayor que el manómetro P<sub>2</sub>.

La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy y que se expresa para un fluido es:

$$h_L = fL v^2 / D 2g \quad (m) \text{ ó } (pies)$$

La ecuación de Darcy es válida tanto para el flujo laminar como para el turbulento de cualquier tipo de líquido en una tubería, sin embargo, puede suceder que debido a velocidades extremas, la presión corriente abajo disminuya de tal manera que llegue a igualar la presión de vapor del líquido, apareciendo el fenómeno conocido como cavitación y los caudales obtenidos por cálculo serán inexactos. Con las restricciones necesarias la ecuación de Darcy puede utilizarse con gases y vapores (fluidos compresibles).

Con la ecuación anterior se obtiene la pérdida de presión debida al rozamiento y se aplica a tuberías de diámetro constante por la que pasa un fluido cuya densidad del fluido debe hacerse de acuerdo con el teorema de Bernoulli.

### **Factor de fricción**

La fórmula de Darcy puede deducirse por el análisis dimensional con la excepción del factor de fricción ( $f$ ), que debe de ser determinado experimentalmente. El factor de fricción para el flujo laminar ( $Re < 2000$ ) es función del número de Reynolds, mientras que para el flujo turbulento ( $Re > 4000$ ), es también función del tipo de pared de la tubería.

La región que se conoce como zona crítica aparece entre los números de Reynolds de 2000 a 4000.

En esta región el flujo tanto puede ser laminar como turbulento dependiendo de varios factores estos incluyen cambios de sección, de dirección de flujo y obstrucciones tales como válvulas corrientes arriba en la zona considerada. El factor de fricción en esta región es determinado y tiene límites más bajos si es laminar y más altos si es turbulento.

Para los números de Reynolds superiores a los 4000, las condiciones de flujo vuelven a ser más inestables

### **Valores relativos**

Dentro de la hidráulica existen una serie de variables adimensionales, que dependen de otros términos con dimensiones como son:

1.- Numero de Reynolds  $NR = \omega L / \gamma = \rho \omega L / \mu$

donde:  $\omega$  : velocidad

$\gamma$  : coeficiente de viscosidad cinematica

$\rho$  : densidad

$\mu$  : viscosidad dinamica

$L$  : longitud

## Conceptos de Bombeo

### Nivel estático

Es la distancia vertical, que hay entre la referencia y la superficie del líquido cuando la bomba no esta en operación.

### Nivel dinámico.

Es la distancia vertical ,que hay entre la referencia y la superficie del líquido cuando la bomba esta en operación.

**Carga dinámica total** .- Es la suma de la carga estática, carga de velocidad y las pérdidas por fricción

### Sistema

Identificamos como sistema a la red hidráulica completa a ser alimentada por la bomba que se pretende seleccionar.

El conocer en detalle el sistema, es indispensable para poder proceder con precisión al dimensionamiento de la bomba que satisficará sus necesidades específicas .Sabemos que el sistema esta compuesto por una serie de elementos como son: Tuberias, conexiones, válvulas y accesorios, y que cada uno de estos elementos, causan pérdida de carga por fricción, cuya magnitud depende entre otras cosas del flujo que pase a través de ellos ( a mayor flujo, mayores pérdidas ).Lo anterior constituye una demanda de carga del sistema debida a pérdidas por fricción.

### Velocidad específica de las bombas

Es un útil indicador para tener una idea general del tipo de bomba que se debe seleccionar, ya que todas las bombas se pueden clasificar con un número adimensional llamado velocidad específica (Ns).

La cual se define como sigue:

$$Ns = N \sqrt{Q/H} \quad \frac{1}{2}$$

Donde: **N** : es la velocidad en r.p.m.

**Q** : es la capacidad o caudal en pies<sup>3</sup> / seg

**H** : es la carga en pies

Las bombas centrífugas tienen velocidades específicas que van desde alrededor de 400 hasta 10,000 r.p.m. según sea el tipo de impulsor .

Las bombas dinámicas pequeñas como las regenerativas de tipo de turbina y las del tipo de emisión parcial estan en la gama de la velocidad específica de alrededor de 1,000 a 1,200 r.p.m. Las rotatorias y reciprocantes tienen valores mas bajos.

A continuación se muestra la formula siguiente la cual nos muestra de una manera analitica la velocidad especifica contra el diámetro específico.

$$D = H^{1/4} / \sqrt{Q}$$

Donde : D :diámetro del impulsor ( ft )  
H :carga ( ft )  
Q: Gasto ( ft<sup>3</sup> / s )

### Velocidad sincrona

El rotor de los motores de inducción gira a una velocidad menor que la sincrona,siendo esta,la velocidad del campo giratorio inducido en el rotor.Su valor es calculado como sigue:

$$N_s = 120 f / P$$

En donde :

N<sub>s</sub> = Velocidad sincrona en r.p.m.

f = Frecuencia en ciclos por segundo

P = Número de polos

120 = cte.

### Deslizamiento

El deslizamiento se define como la diferencia entre la velocidad sincrona N<sub>s</sub> y la velocidad del rotor N<sub>r</sub>, su expresión matematica es la siguiente.

$$\% S = N_s - N_r / N_s \times 100$$

### Sistema de abastecimiento

Es el conjunto de construcciones e instalaciones de ingeniería para obtener el líquido de las fuentes,ya sea naturales ,su depuración,transporte a consumidores en diferentes cantidades necesarias y de calidades requeridas.

Según su destino,el sistema de abastecimiento del liquido puede estar integrado por distintos tipos de tubería.

### Curva del sistema

Una bomba centrifuga tiene una curva de funcionamiento para un cierto diámetro y velocidad del impulsor.El punto de operación de la bomba sobre la curva,depende de las características del sistema en el cual opera la bomba.

A estas características del sistema se les da el nombre de "curva de carga del sistema".Si trazamos la curva de carga del sistema en el cual opera la bomba podemos determinar lo siguiente :

1.- En el punto que esta operando la bomba.

2.- Los cambios provocados al cambiar la curva de carga del sistema o al cambiar la curva de operación de la bomba.

### **Sobre elevación de temperatura en una bomba centrifuga**

Siempre que sea posible en una bomba de este tipo debe operarse en su zona máxima de eficiencia o muy cerca de ella, con el objeto de aprovechar al máximo la capacidad total de la bomba y por otro lado tener una vida útil y duradera.

### **Carga total**

Normalmente se le llama carga dinámica total, es la medida del incremento de energía impartida al líquido por la bomba en unidad de peso. Es igual a la carga de descarga total ( $H_d$ ) menos la carga total de succión ( $H_s$ ) o más la elevación de la succión.

Para evitar menos errores se recomienda que la carga total de succión se determina por separado.

### **Carga de succión**

Se denomina como ( $H_s$ ); esta existe cuando el nivel del líquido del abastecimiento está arriba de la línea de centros de la bomba o del ojo del impulsor.

La carga total de succión es igual a la altura estática en (m), que tiene el nivel del líquido por arriba de la línea de centros de la bomba, menos todas las pérdidas en las líneas de succión incluyendo las pérdidas de entrada, más cualquier presión (un vacío como un condensador es una presión negativa) existente en la fuente de abastecimiento de succión.

Aún cuando el nivel de abastecimiento del líquido esté por arriba de la línea de centros de la bomba, puede existir lo equivalente a una elevación si las pérdidas totales en la tubería de succión (y un efecto de vacío) exceden la carga de succión estática positiva. Esta condición puede ser peligrosa y causar problemas cuando se bombean líquidos volátiles y viscosos.

En una instalación existen, la carga total de succión que es igual a la lectura del manómetro de la brida de succión convertida en metros (m), de líquido y corregida a la elevación de la línea de centros de la bomba más la carga de la velocidad en metros (m), de líquido en el punto de conexión del manómetro.

### **Elevación de succión**

La elevación de succión existe cuando el nivel de suministro está abajo de las líneas de centros de la bomba. La elevación total de succión es igual a la elevación estática en metros (m), más las pérdidas de rozamiento en la línea de succión incluyendo las pérdidas en la entrada.

Cuando el nivel del líquido de la fuente de abastecimiento esta arriba de la línea de centros de la bomba y bajo un vacío, puede existir lo equivalente a una elevación de succión igual al efecto de vacío menos la altura estática de succión .

La elevación total de succión en una instalación existente, es igual a la lectura de una columna de mercurio o vacuometro en la brida de succión en metros (m), del líquido corregida en la línea de centros de la bomba menos la carga de velocidad en metros (m), del líquido en el punto de conexión del manómetro .

### **Carga total de descarga (Hd)**

Esta es la suma de:

- 1.-Carga estática de descarga.
- 2.-Pérdidas de rozamiento en toda la tubería de la descarga incluyendo los tramos rectos, pérdidas en las válvulas , accesorios, coladores, válvulas de control, etc.
- 3.-Presión en el depósito de descarga o al final de la línea.
- 4.-Pérdidas de carga por ensanchamiento o reducciones bruscas. (como las cajas de agua en los condensadores).
- 5.-Pérdidas de salida en la descarga. (generalmente igual al valor de  $V^2 / 2g$  ).
- 6.-Mas cualquier pérdida que según la experiencia debe considerarse.

La carga total de descarga en la instalación existente , es igual a la lectura de manómetro de la brida de descarga en metros (m), del líquido corregida a la línea de centros de la bomba mas la carga de velocidad en el punto de conexión del manómetro.

### **Determinación de la carga total de trabajo en bombas centrífugas horizontales**

**Carga total (H).**-La carga total de trabajo es la medida del incremento de la energía impartida al líquido por la bomba por la unidad de peso. Es por lo consiguiente la diferencia algebraica entre la carga total de descarga (Hd) y la carga total de succión (Hs), es:

$$H = H_d - H_s \text{ (con carga)}$$

$$H = H_d + H_s \text{ (con elevación)}$$

En una instalación de bombeo existente , la carga total de trabajo de la bomba es calculada mediante la lectura de los aparatos de medición de presión colocados en la tubería de succión y descarga respectivamente.

**Carga total de succión (Hs).**La carga total de succión en una instalación existente es la lectura del manómetro en la succión de la bomba convertida a columna del líquido con respecto a un plano de referencia, más la carga de la velocidad en un punto de conexión.

$$H_s + h_{gs} + h_{vs} + z_s$$

**Carga total de descarga (Hd)** .-La carga total de descarga es la lectura del manómetro en el tubo de descarga de la bomba en metros (m) de líquido con respecto al plano de referencia, más la carga de velocidad en el punto de conexión del manómetro.

$$H_d = h_{gd} + h_{vd} + z_d$$

Sustituyendo los valores de  $H_s$  y  $H_d$  en la ecuación de la carga total de trabajo, se tiene:

$$H = +H_d - H_s = ( + h_{gd} + h_{dv} + z_d ) - ( + h_{gs} + h_{vs} + z_s )$$

o también :

$$H = ( h_{gd} - h_{gs} ) + ( h_{vd} - h_{vs} ) + ( z_d - z_s )$$

en donde:

$h_{gs}$  : lectura del manómetro en la succión en (m).

+ : cuando es mayor que la atmosférica .

- : cuando es menor que la atmosférica.

- $h_{gs}$  = indica una elevación de succión..

$z$  : Distancia vertical al centro del manómetro desde la línea de referencia en (m)

+ : cuando esta arriba del plano de referencia.

- : cuando esta por debajo del plano de referencia.

$h_{gd}$  : lectura del manómetro en la descarga en (m).

$h_{vd}$ : carga de la velocidad de la descarga en (m).

$h_{vs}$ : carga de velocidad en la succión en (m).

### **Carga estática total**

Es la distancia vertical entre el nivel del suministro y el nivel de la descarga de un líquido que se maneja.

### **Cargas de velocidad**

Es la presión requerida para transmitir una velocidad determinada a un cierto líquido.

### **Perdidas por fricción**

Es la energía que se pierde al circular un fluido con las paredes del conducto, cambios de dirección y accesorios instalados en dichos conductos.

### **Eficiencia de una bomba**

Es la relación de la potencia que entrega la bomba al líquido y la potencia que recibe el sistema motriz.

### **Potencia al freno**

Es la potencia en la flecha de una bomba y la cual equivale a la potencia hidráulica más la potencia consumida por el rozamiento.

### **Potencia total requerida**

Es la potencia que debe transmitir la bomba al líquido, para lograr el gasto y la presión (carga dinámica total) requeridos.

### **Carga neta positiva a la succión (requerida-disponible)**

Es la diferencia entre la presión absoluta a la entrada del impulsor y la presión de evaporación del líquido bombeado correspondiente a la temperatura de bombeo.

El término "requerida" se refiere a recomendada por el fabricante de acuerdo al diseño de la bomba y el término "disponible" se refiere a la carga neta real que existe en la instalación, siempre deberá ser igual o mayor que la requerida.

### **Cavitación**

Es el resultado directo de presión insuficiente en la succión de la bomba, causado por la existencia de gases en el líquido bombeado; estos gases pueden ser: aire o vapor del mismo líquido. Este fenómeno debe de preverse desde el diseño del sistema y selección de la bomba, así como durante la instalación del equipo, tubería y accesorios; dándole un mantenimiento adecuado al sistema.

### **Golpe de ariete**

Es una sobrepresión que se presenta cuando un líquido que circula en una tubería, sufre un cambio repentino de velocidad debido al bloqueo rápido del fluido ya sea total o parcial.

La mencionada sobrepresión se presenta en los líquidos debido a que estos son incompresibles, es decir que no cambia su volumen, y al suspender el movimiento debido a la inercia de la masa en movimiento, esta tiende a romper el recipiente que la contiene (en este caso la tubería).

### **Leyes de afinidad**

Son las relaciones que permiten predecir el rendimiento de una bomba a una velocidad que no sea la característica conocida de la misma.

Cuando se cambia la velocidad podemos analizar los siguientes parámetros:

- 1.- La capacidad de caudal (Q) en cualquier punto dado la característica de la bomba varía directamente con la velocidad, n.
- 2.- La carga H varía en razón directa al cubo de la velocidad.
- 3.- El caballaje al freno P varía en razón directa al cuadrado de la velocidad.

En otras palabras, si se asigna el subíndice 1 a las condiciones en las cuales se reconocen las características y el subíndice 2 denota las condiciones a alguna otra velocidad, entonces :

$$\begin{aligned}Q_2 / Q_1 &= n_2 / n_1 \\H_2 / H_1 &= ( n_2 / n_1 )^2 \\P_2 / P_1 &= ( N_2 / N_1 )^3\end{aligned}$$

Estas relaciones se pueden utilizar sin peligro para cambios moderados en la velocidad. Las ecuaciones anteriores quizá no sean igual de exactas para cambios grandes en la velocidad.

Hay leyes de afinidad similar para los cambios en el diámetro D del impulsor dentro de límites razonables en reducción del impulsor. En otras palabras:

$$\begin{aligned}Q_2 / Q_1 &= D_2 / D_1 \\H_2 / H_1 &= ( D_2 / D_1 )^2 \\P_2 / P_1 &= ( D_2 / D_1 )^3\end{aligned}$$

Ocurren ciertas variaciones de estas leyes incluso con reducciones mas o menos pequeñas.

**Potencia total requerida.**- Es la potencia que debe transmitir la bomba al líquido para lograr el gasto y la presión (carga dinámica total ) requeridos.

**Gasto.**- Es la cantidad de producto (volumen) que se maneja por la bomba en la unidad de tiempo expresada en ( m<sup>3</sup> / seg ) y ( ft<sup>3</sup> / seg )

**Succión.**- Es la altura de la columna de líquido manejado por la bomba en la succión o entrada de la misma.. Sus unidades son iguales a las de la columna o carga.

## Fluido transportado

El fluido que se transporta através del ducto de 24" que va desde C.P.Q. Cactus hasta el punto de extracción en Guadalajara, Jalisco, es gas licuado del petróleo o gas L.P.G como se le conoce normalmente, es un combustible de alto poder calorífico que arde con una flama excepcionalmente limpia, el cuál si se le maneja en forma adecuada se quema totalmente sin dejar residuos o cenizas, ni producir humo.

Esta compuesto principalmente por los siguientes hidrocarburos:

PROPANO  
 BUTANO  
 PROPILENO  
 BUTILENO

Cuando se extrae o libera el gas L.P.G., de los recipientes que lo contienen, (pasa a un nivel de presión más bajo) y al hacer contacto con el medio ambiente, absorbe calor de éste convirtiéndose totalmente al estado gaseoso o de vapor que es como realmente se le aprovecha en los sistemas de combustión.

El gas L.P.G. limpio (sin impurezas) es incoloro (sin color), inodoro (sin olor), de baja viscosidad y en estado de vapor es más pesado que el aire, con la finalidad de hacer notar su presencia, (Debido a su peligrosidad "altamente flamable") en el recipiente por fugas en soldaduras, porosidades o por otras irregularidades como pilotos apagados, válvulas en mal estado, conexiones flojas, etc., se le odORIZA mezclándole "mercaptanos", que le da el olor característico conocido por todos a huevo podrido, este aditivo se suministra en una proporción promedio de 1.0 litros por cada 10,000 litros de gas.

El gas L.P.G. se obtiene directamente del petróleo que es extrae de los pozos, viene mezclado con todos los demás componentes siendo separado en las plantas petroquímicas, también gran parte de él se obtiene en procesos de refinación de "crudos" como producto o subproducto de algunas reacciones químicas que son necesarias en los procesos.

El gas L.P.G. es utilizado actualmente y con una gran demanda, en instalaciones comerciales e industriales en procesos en los que se requiere gran cantidad de energía térmica como son: hornos para procesamiento de metales, vidrios, cerámicas, pasteurización, vulcanización, soldadura, etc., así como combustible doméstico, desde el punto de vista de operación las propiedades físicas más importantes son: límite de inflamabilidad, gravedad específica, proporción de expansión y presión de vapor, sin dejar de ser necesario las demás propiedades, a continuación definiremos cada uno de estos aspectos.

**Límite de inflamabilidad:** Es la composición en proporción de una mezcla de aire-gas más allá de la cuál dicha mezcla no enciende, no se propaga, no puede autopropagarse o seguir encendida sin la aplicación de calor de una fuente externa, estos datos se ven en la siguiente tabla:

GAS	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
PROPANO	2.37 %	9.58 %
BUTANO	1.86 %	8.41 %
(% DEL GS. EN EL AIRE)		

Por lo tanto si el gas se encuentra en un porcentaje menor que 2.37 la mezcla no enciende, con un porcentaje mayor de 9.50 tampoco enciende porque al ser demasiado gas este actúa como diluyente

Entre los límites superior e inferior indicados, se tiene una mezcla de aire-gas susceptible de explotar o al menos de quemarse o autopropagarse, a esta mezcla que sí representa peligro se le conoce como mezcla explosiva o carburada.

**Gravedad específica:** Es el peso de un cuerpo sólido o líquido o de una sustancia en general por unidad de volumen, tomando como referencia para los sólidos y líquidos el agua=1; y para los gases y vapores el aire=1, tenemos por ejemplo:

PRODUCTO	GRAVEDAD ESPECIFICA
AIRE	1
PROPANO	1.522
BUTANO	2.006

**Proporción de expansión:** Es la relación del paso del estado líquido al estado gaseoso de una sustancia. Cuando el gas L.P.G. se extrae, se derrame o se fugue de los equipos que lo contienen, se expande rápidamente, sobre todo si se tiene a alta presión transformándose al estado gaseoso en las siguientes proporciones:

PROPANO	de 269 a 273 por uno
BUTANO	de 234 a 236 por uno

Un litro de propano se convierte en 279 litros de vapor y estos forman 11,500 litros de mezcla inflamable, de ahí la importancia de evitar las fugas de gas en estado líquido.

**Presión de vapor:** Se refiere a la fuerza con la que las moléculas del vapor presionan la superficie libre del líquido y las paredes de los recipientes que lo contienen, el valor de esta es de acuerdo al tipo de gas y a la temperatura que se tenga. Cuando se lea un indicador de presión en un tanque o equipo que contenga vapor, se está leyendo la presión de vapor del líquido, esta depende de la temperatura que tenga el líquido, en el recipiente, en otras palabras la presión de vapor varía con la temperatura. Por ejemplo para el propano:

3	(Kg/cm <sup>2</sup> )	-18	°C
9	(Kg/cm <sup>2</sup> )	21	°C
13	(Kg/cm <sup>2</sup> )	38	°C
19	(Kg/cm <sup>2</sup> )	54	°C

## 1.2 Objetivo del estudio de las bombas centrífugas

En general las bombas centrífugas se estudian debido a que son de los elementos de mayor eficiencia que permiten adicionar energía a los fluidos transportados a través de ductos, además de ser los más utilizados dentro de la industria petrolera para este tipo de operaciones.

En la actualidad no se hacen estudios sobre estos equipos, ya que los fabricantes proporcionan los elementos necesarios para su manejo y operación pero es conveniente realizar un análisis de todas las partes que conforman la bomba, así como su mantenimiento preventivo y correctivo independientemente de la marca o modelo, para que el operador actúe adecuadamente en casos de emergencia y evitar de esta manera accidentes.

Los líquidos fluyen de un lugar a otro por la diferencia de presión que existe.. Cuando no hay diferencia de presión entre dos lugares, no puede fluir un líquido de un lugar a otro.

El bombeo es la adición de energía a un líquido para moverlo de un lugar a otro. Por lo tanto la energía de un líquido puede ser incrementada bombeándolo.

La fuerza centrífuga es la fuerza hacia la periferia. Cuando se hace girar un cuerpo alrededor de un eje, las moléculas del cuerpo tienden a desplazarse fuera del centro. La palabra centrífuga quiere decir que se "fuga del centro".

### Descripción y utilización

La bomba centrífuga es una máquina que se utiliza para mover líquidos de un lugar a otro que se encuentre más elevado, lograndose este efecto gracias a la presión generada por un impulsor que gira dentro de una carcasa.

Esta máquina se compone principalmente de dos elementos que son: el elemento rotativo (impulsor) y la carcasa.

Una bomba es una máquina que añade energía a un líquido. Las bombas se utilizan para mover líquidos de lugares bajos a otros de mayor altura con respecto al

nivel del mar. También podemos por medio de las bombas hacer fluir un líquido desde un tanque de baja presión a otro de mayor presión.

Una manera de aumentar la cantidad de líquido que fluye por una tubería en un cierto tiempo es intercalando una bomba en la tubería

Resumiendo las bombas se usan para:

1. Mover líquidos desde niveles bajos hasta niveles altos
2. Mover líquidos desde áreas de baja presión hasta áreas de mayor presión.
3. Incrementar la cantidad de líquido que fluye a través de la tubería.

Una bomba centrífuga trabaja de la siguiente manera:

- El líquido primero llega al centro de ella y es forzado a desplazarse a la periferia. La presión a la salida de la bomba es mayor que la entrada. El líquido que abandona la bomba tendrá mayor energía que la que entra.
- La parte de la bomba que hace girar el líquido se llama impulsor. El líquido llega al centro del impulsor llamado ojo y es desplazado hacia la periferia al estar girando el impulsor.
- Mientras más rápido gire el impulsor, más rápido se moverá el líquido.

El impulsor está compuesto de una serie de paletas o aspas. La trayectoria del líquido está dirigida por estas paletas.

La parte de la bomba que recoge el líquido que abandona el impulsor se llama cubierta o carcasa. Cuando el líquido llega a la carcasa su velocidad disminuye pero su presión aumenta.

Como la fuerza centrífuga mueve el líquido hacia afuera desde el ojo del impulsor, se forma una zona de baja presión formada en el ojo del impulsor que es la causa de que el líquido fluya hacia él.

Por lo tanto en la bomba centrífuga el líquido es movido por fuerza centrífuga desde un área de baja presión en el ojo, hasta un área de alta presión en la descarga de la bomba

El impulsor está fijo a la flecha de la bomba, la cuál es girada por una fuente de energía exterior que puede ser motor o turbina.

La bomba por lo tanto, estará sujeta a fugas en el lugar donde pasa la flecha por la carcasa. Para evitar esto se usa una caja de empaques que proporciona un sello que impide las fugas o cuando menos las reduce.

La caja de empaques puede ser llenada por diversas materias flexibles llamadas empaques. El empaque debe presionar alrededor de la flecha, pero de tal forma que no

la raspe para evitar el desgaste excesivo. Estos empaques se pueden sustituir por sellos mecánicos.

En la mayoría de las bombas centrífugas, parte de la flecha está protegida por una manga o camisa renovable. Esta manga puede ser reemplazada más fácilmente y con menos costo que la flecha entera.

El líquido puede fugarse desde la zona de alta presión (descarga) hasta la de baja presión (succión). Con objeto de evitar esta fuga, se utilizan los anillos de desgaste que son de dos tipos principales: los estacionarios, que se encuentran fijos en la carcasa y los móviles que giran junto con el impulsor donde están unidos en el ojo del mismo.

Entre ambos anillos deberá existir un buen ajuste con el objeto de disminuir la cantidad de líquido que regresa de la zona de alta presión a la de baja presión.

Es necesaria alguna fuga para la lubricación. El líquido que pasa entre estos anillos servirá al mismo tiempo como lubricante impidiendo que los anillos se peguen. Por esta razón una bomba centrífuga nunca deberá arrancarse si no está completamente llena de líquido.

Una vez gastados estos anillos pueden ser fácilmente reemplazados siendo esto más barato que cambiar un impulsor o una carcasa.

A medida que estos anillos se desgastan, se incrementa el claro entre ellos y mayor cantidad de líquido se fuga.

Las bombas centrífugas son utilizables prácticamente en todas las industrias, en ciudades, hospitales, embarcaciones, etc., tomándose en consideración que debe existir la necesidad de manejar grandes volúmenes de líquido continuamente.

La industria petrolera no es la excepción y cuenta con este tipo de equipos, en sus diferentes instalaciones, como por ejemplo: Plantas de proceso, de refinación y petroquímica, estaciones de bombeo, etc., debido a la alta eficiencia que presentan y se encargan de transportar diferentes productos derivados de los hidrocarburos extraídos de los pozos petroleros que son los que permiten que funcionen todos los elementos mecánicos que hacen funcionar en general a toda la industria nacional.

## **Capítulo 2** Componentes de una bomba centrífuga

## COMPONENTES DE UNA BOMBA CENTRIFUGA

### 2.1 Características de las bombas centrífugas

El desarrollo obtenido en la máquina motriz (motor eléctrico, motor de combustión interna, turbina de vapor, turbina de gas) que le da movimiento a las bombas centrífugas, ha ocasionado un adelanto muy grande en los diseños, velocidades y tamaños de las bombas así como también su capacidad.

Es por esto que cuando se trata de describir las bombas centrífugas es necesario especificar sobre que punto en especial se dará dicha descripción por ejemplo de acuerdo a:

- El número de pasos
- Diseño mecánico de la cubierta
- De la posición de la flecha
- De la velocidad
- Del líquido bombeado.

Por lo tanto ya podemos mencionar las bombas centrífugas que más se usan en Petróleos Mexicanos.

#### **Características de las bombas centrífugas en función del número de pasos.**

**A) De un paso.-** Que es aquella bomba en la que la altura de elevación se obtiene con un solo impulsor.

**B) De varios pasos.-** Cuando la altura de elevación no se alcanza con un solo impulsor, es necesario poner otro u otros impulsores de tal manera que la descarga del primero sea la succión del segundo; la descarga del segundo sea la succión del tercero y así sucesivamente hasta alcanzar la altura deseada.

#### **Características de las bombas centrífugas en función del diseño mecánico de la cubierta.**

**A) Con cubierta de seccionamiento axial.-** Las bombas con cubierta o cuerpo de seccionamiento axial, son aquellas en las que dicho cuerpo está seccionado a todo lo largo de la flecha.

**B) Con cubierta de seccionamiento radial.-** Las bombas con cubierta de seccionamiento radial, son aquellas en las que dicho cuerpo está seccionado en forma perpendicular a la flecha.

## **Características de las bombas centrífugas en función de la posición de la flecha**

- A) De flecha horizontal
- B) De flecha vertical

A estas bombas se les conoce simplemente como bombas horizontales o bombas verticales.

## **Características de las bombas centrífugas en función del servicio que prestan.**

Las bombas centrífugas se fabrican para manejar los siguientes productos:

1. Bombas para agua
2. Bombas para aceite
3. Bombas para caldera. (Agua de alimentación)
4. Bombas para la extracción de condensados
5. Bombas de trasiego
6. Bombas de achique
7. Bombas de inyección de reactivos.

También es importante conocer la presión que debe proporcionar la bomba. Debido a la importancia de esta, pueden ser:

- Bombas de baja presión
- Bombas de presión media
- Bombas de alta presión

## **Características de las bombas centrífugas en función de diferentes tipos de impulsor**

1. De voluta.- Gran porcentaje de las bombas centrífugas son tipo voluta. Pueden ser horizontales o verticales, de un paso o multipasos, y en una gama muy amplia de capacidades.
2. De difusor.- Se utilizan principalmente en unidades multipasos de alta presión. Originalmente eran más eficientes que las de tipo voluta, sin embargo en la actualidad sus eficiencias son comparables.
3. Turbina.- Para el manejo de líquidos limpios, pueden ser horizontales o verticales. Son aplicables para capacidades medianamente altas y diferenciales de presión elevadas.

4. Flujo mixto.- Estas bombas son ideales para bajas presiones y capacidades altas. Por lo general son de construcción vertical y de un solo paso. Algunas veces se fabrican unidades horizontales.

5. Flujo axial.- También se conocen como tipo propela y desarrollan la mayoría de su altura dinámica por la acción sacenente de las propelas. Usualmente son verticales y aplicables a grandes capacidades y diferenciales de presión bajas.

6.- En la del tipo de impulsor , encontramos una serie de aspas fijas a la carcaza. Estos pasajes que también se expanden gradualmente, cambian la dirección del líquido y convierten la energía de velocidad en la altura dinámica (presión).

7.-En las bombas de tipo turbina, el líquido es atrapado por las aspas del impulsor y arrojado a una velocidad muy alta en un canal anular en donde gira aquel. La energía es absorbida por el líquido en un número de impulsos, de tal manera que el líquido se descarga a velocidad alta.

8.- Las de flujo mixto, desarrollan su altura dinámica parcialmente debido a la fuerza centrífuga y también la acción ascendente de las aletas.

### **Principio de operación de las bombas centrífugas**

Con objeto de ilustrar el principio en que se basan las bombas centrífugas, imagine un impulsor en reposo en un bote de agua.

Esto es parecido a lo que sucede cuando sostenemos una cubeta llena de agua, la cual está sujeta al extremo de una cuerda. Ahora hagamos girar el impulsor.

El agua saldrá disparada de entre las aspas o paletas, lo mismo que sucedería si hiciéramos girar la cubeta y ésta tuviera un orificio en el fondo.

La fuerza causante de que el agua abandone el impulsor (o la cubeta), se conoce como fuerza centrífuga y de aquí es donde las bombas de esta clase toman su nombre.

Volviendo a lo anterior a medida que el impulsor avienta más líquido por la periferia, también se precipita una corriente hacia el centro del mismo en donde existe una presión mucho más baja. Cualquier líquido que entre por el centro, sale inmediatamente por la periferia. Esto es lo que le da su característica de flujo continuo a las centrífugas.

Una vez que el líquido lo hicimos salir del impulsor, será necesario guiarlo de alguna manera hasta el lugar de destino, de otra forma todo lo que hicimos fue nada más salpicar agua. Pero, poniendo nuestro impulsor en una carcaza, podemos cambiar el flujo caótico a un movimiento controlado hacia la dirección que deseamos.

El resultado de todo esto es una bomba con la cual le impartimos energía al líquido en un punto para moverlo a otro distante.

## **Partes y componentes de bombas centrífugas**

Debido a la gran variedad de fabricantes de bombas centrífugas y a que cada uno de ellos, le pone el nombre que quiere a determinada parte de la bomba, hay partes que tienen dos o más nombres. A continuación se da una relación de los nombres de las partes de la bomba con los que se conocen comúnmente. En las figuras 2.1, 2.2 y 2.3, se encuentran marcadas las partes con el número que en la lista tienen asignado.

1. Cuerpo, cárter, cubierta, carcasa, voluta, caracol, caja
  - 1A. Cubierta ( Parte inferior)
  - 1B. Cubierta (parte superior)
2. Impulsor, impelente, hélice.
3. Flecha de la bomba.
4. Anillos de la caja, anillo de la cubierta, anillo estacionario, anillo de la campana
5. Campana, tapa de la succión
6. Anillo del impulsor.
7. Tapa del estopero, caja de empaques.
8. Empaque.
9. Manga de la flecha, lina, camisa
10. Vaso de descarga de la bomba, tazón.
11. Chumacera o balero inferior, chumacera o balero lado cople.
12. Chumacera o balero exterior, chumacera o balero lado opuesto al cople.
13. Prensa estopa, prensa.
14. Tuerca de la manga de la flecha.
15. Tuerca del balero
16. Tuerca del impulsor.
17. Farol, linterna
18. Portabalero interior, caja baleros lado cople.
19. Cuña del impulsor
20. Portabalero exterior, caja baleros lado opuesto al cople.
21. Tapa de cojinete (interior), tapa interior de la caja de baleros.
22. Tapa de cojinete (exterior), tapa exterior de la caja de baleros.
23. Buje del tazón , chumacera.
24. Retén, deflector de aceite
25. Medio cople motor
26. Medio cople bomba.
27. Cuña del acoplamiento.
28. Bujes del acoplamiento.
29. Tuerca del acoplamiento.
30. Tornillos del cople, pernos del cople.

- 31. Buje de la campana.
- 32. Tapa de registro para inspección.
- 33. Collar de tope, cuña seccionada, anillo seccionado, seguro o candado impulsor.
- 34. Espaciador de los baleros.
- 35. Cubierta tubular de la flecha, tubo interior, guarda de la flecha, chaqueta.
- 36. Tubería de descarga
- 37. Cojinete de conexión, cople-chumacera de la chaqueta
- 38. Copa de engrase.
- 39. Tubo para el sello

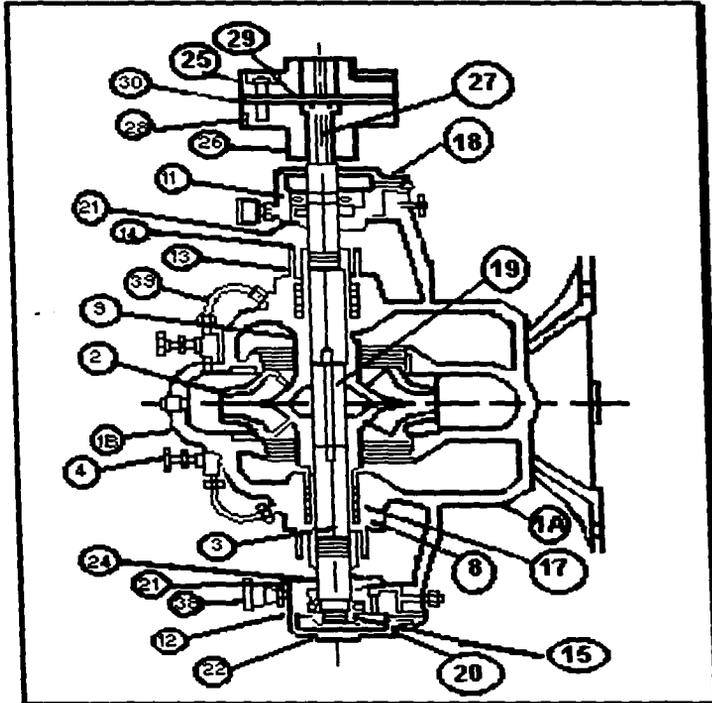


FIG 2.1 Bomba horizontal de voluta de doble acción de un solo paso.

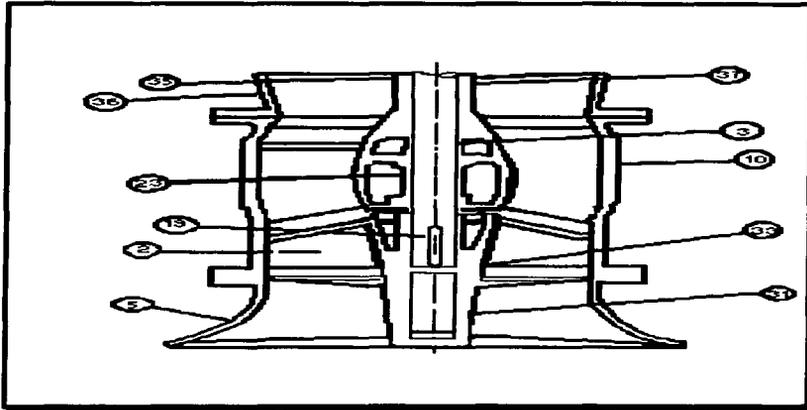


FIG 2.2 Vaso de bomba vertical de foso

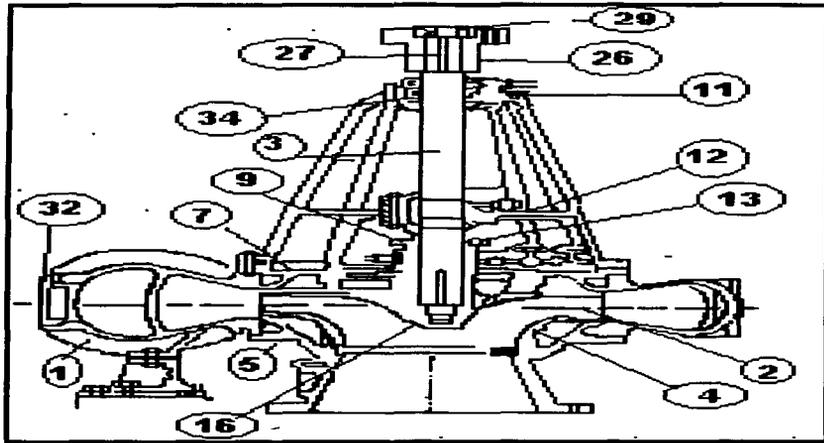


Fig 2.3 Vista de una bomba de flecha vertical de succión en el extremo una cubierta de doble voluta

## 2.2 Flechas

La función básica de la flecha de una bomba centrífuga es transmitir los movimientos que se presentan al arrancar y durante la operación mientras sostiene al impulsor y a todas sus partes de la misma.

Las fuerzas que actúan sobre la flecha son:

1. La torsión debida al movimiento que le proporciona la máquina motriz.
2. El peso de las partes que van unidas a la flecha

Las fuerzas hidráulicas tanto radiales como axiales.

Todas estas fuerzas deben de tomarse en cuenta para el diseño de una flecha, ya que la deformación de la flecha siempre debe ser menor al espacio libre más pequeño que haya entre las partes giratorias y las estacionarias.

Las mayoría de las flechas, se protegen contra la erosión, corrosión y desgaste por medio de mangas conocidas también con el nombre de lanas. Como el meter estas mangas en las flechas de bombas pequeñas se tienen varios problemas (entre los que destacan el de espacio suficiente), en este tipo de unidades se utilizan flechas de un material resistente a la corrosión y al desgaste, tal como el acero inoxidable.

Excepto en bombas pequeñas sin mangas de flecha, es raro el reponerse, debido a daños que resulten por fallas de otras partes, generalmente durará un tiempo mayor con respecto a las demás partes.

Durante la reparación de una bomba, la flecha deberá examinarse cuidadosamente para ver si hay señales de desgaste o de irregularidad, especialmente en todos los ajustes importantes, como los calibres de los cubos del impulsor, debajo de la manga de la flecha y en los cojinetes.

La flecha puede dañarse por oxidación o picándose debido a escurrimiento bajo los impulsores o manguitos de la flecha. Si la bomba está equipada con baleros, la flecha puede dañarse al girar en el cojinete interior. Si se usan chumaceras de babbit, se pueden gastar en los muñones o rayarse o aflojarse en su ajuste del acoplamiento. La flecha de bomba pequeña sin manga se pueden desgastar en los estoperos.

Es también importante verificar la condición de la flecha en los cuñeros. La torcedura de la flecha, esfuerzo térmico excesivo, corrosión y aún un ajuste original imperfecto, pueden aflojar los impulsores dando por resultado el desgaste del cuñero. Si no se corrige la condición, se agravará rápidamente produciendo una operación muy ruidosa y posiblemente originando una falla de la flecha. Finalmente, la flecha deberá examinarse con cuidado para ver si hay grietas por fatiga aunque éstas son bastante raras.

Después de la inspección visual, la flecha deberá colocarse entre puntos y verificar su concentricidad.

Si el costo de una flecha es alto como ocurre serlo, y si se cuenta con las facilidades adecuadas, algunas veces se puede reparar una flecha desgastada por metalización a chorro o retorreadola. Estas reparaciones no deben ejecutarse sin estar familiarizado con el material de la flecha y los métodos apropiados de metalización a chorro. Después que se ha reparado la flecha debe inspeccionarse para ver si hay alguna deformación y luego volver a verificarla cuando ya se ha armado completamente el rotor, para asegurarse de que no se ha deformado por apertura excesiva de las tuercas de la flecha.

Como ya se dijo antes, una flecha de acero puede oxidarse debido a escurrimiento entre la flecha y el cubo del impulsor si la fundición es porosa en ese punto. Ese escurrimiento es muy difícil de controlar. Pero el escurrimiento por las juntas de metal a metal de la manga y del cubo del impulsor, se puede controlar a veces usando empaquetadura. La filtración corrosiva o el escurrimiento puede a veces justificar el uso del material resistente a la corrosión en vez del acero ordinario.

### **2.3 Mangas en las flechas**

Las flechas de las bombas generalmente se protegen de la erosión, corrosión y desgaste de los estoperos, juntas de escurrimiento, chumaceras interiores y en las vías de agua, con mangas renovables. La función más común de una manga de flecha es la de proteger a ésta del desgaste en un estopero. Por ello, las mangas 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, junto con el casquillo entre pasos, para formar una junta de escurrimiento entre los pasos, se llama manga de entre-pasos, separador o espaciador.

En las bombas centrífugas de tamaño mediano con dos cojinetes exteriores en lados opuestos de la cubierta (las variedades comunes de admisión doble y varios pasos), la construcción favorecida de manga de flecha exterior para sostener la manga en posición axial contra el cubo del impulsor. La rotación del manguito se evita con una cuña, generalmente una extensión de la del impulsor (fig 2.4). Si el empuje axial excede la sujeción por fricción de impulsor de la flecha, se transmite por el manguito a la tuerca de la flecha externa

En bombas más grandes de gran altura de elevación, es posible una carga axial grande sobre el manguito, y un diseño como el de la figura 2.5 puede referirse. Este diseño tiene las ventajas comerciales de sencillez y bajo costo de reposición. Algunos fabricantes prefieren la manga que se ve en la figura 2.6, en la que el extremo del impulsor del manguito está atornillado a una rosca correspondiente de la flecha. No se

puede usar una cuña con este tipo de manga y las roscas izquierda y derecha la sustituyen, de modo que la sujeción por fricción de la empaquetadura sobre la manga, la aprieta contra el cubo del impulsor. En los diseños de mangas de las figuras 2.5 y 2.6, se usan generalmente cuerdas derechas para todas las tuercas de la flecha por que las cuñas evitan que giren las mangas.

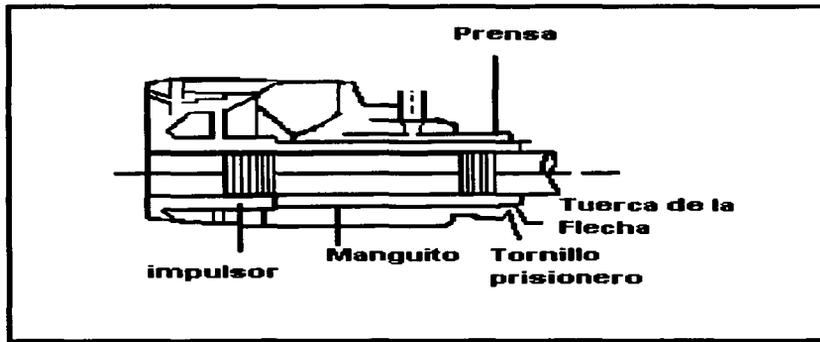


Fig.2.4 Manguito con tuerca de traba exterior y cuña del impulsor

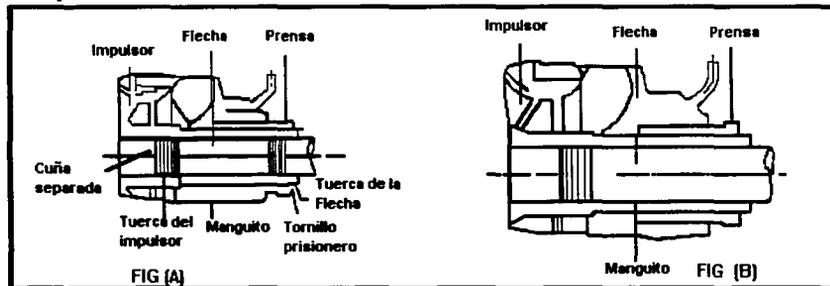


FIG 2.5 Manguito con tuerca interior del impulsor, tuerca exterior del manguito de la flecha y cuña separada.

Fig.2.6 Manguito roscado a la flecha sin tuerca de traba exterior.

En bombas con impulsor volantes se usan varios tipos de mangas. Con frecuencia los estoperos se colocan cerca de los impulsores y la manga; de hecho,

protege al cubo del impulsor de desgaste . Como una parte de la manga en este diseño ajusta directamente en la flecha, la cuña del impulsor puede usarse para evitar la rotación de la manga. Una parte de la manga está abrazada entre el impulsor y un borde de la flecha para mantener su posición axial.

### Mangas de sellos de escurrimiento

En diseños con junta de metal con metal entre la manga y el cubo del impulsor (fig 2.4), la operación con una altura positiva de succión con frecuencia provoca un escurrimiento de líquido dentro del espacio libre entre la flecha y el manguito.

Para una bomba que opera con altura de succión negativa, los distintos espacios libres pueden provocar ligera entrada de aire a la bomba.

Generalmente este escurrimiento no es importante, pero algunas veces causa dificultades y puede entonces ser conveniente un diseño de manga con un sello de escurrimiento.

Un arreglo posible se muestra en la figura 2.7

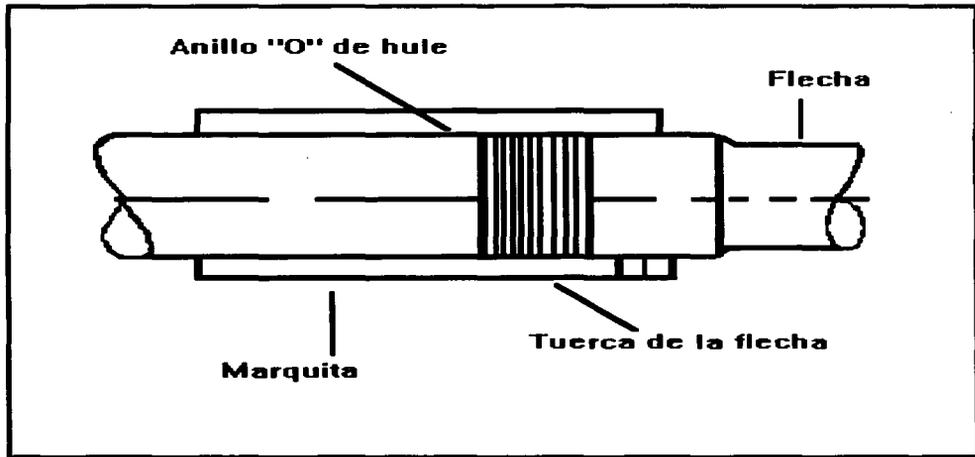


Fig2.7: sello de manguito de flecha para evitar escurrimiento a lo largo de la flecha.

## Mantenimiento a las mangas de las flechas

Las mangas de la flecha son generalmente la parte de la bomba que se desgasta mas rápidamente y la que requiere más frecuentemente reponerse. Una vez que las mangas se han desgastado apreciablemente, la empaquetadura no puede ajustarse para evitar escurrimiento excesivo. De hecho , las mangas gastadas excesivamente, con frecuencia rasgan y marcan cualquier empaquetadura nueva tan pronto como se coloca. Por ello las mangas requieren frecuentemente reparación o reposición cuando no es necesaria ninguna otra reparación de la bomba.

Los materiales de que están hechas las mangas de flecha deben de admitir un acabado muy fino, de preferencia un pulimiento de espejo, porque en caso contrario, al estar en contacto con el empaque generará una gran fricción y aumento de temperatura. Generalmente se hacen mangas de bronce duro, acero al cromo o acero inoxidable, pero tratandose de condiciones muy severas, las mangas llevan un tratamiento de endurecimiento en el exterior.

Las mangas de bombas de un solo paso y de poca altura de elevación se pueden sacar fácilmente. Como puede ser más difícil sacar la mangas más largas, que a veces se usan en bombas de alta presión, con frecuencia se fabrican con ranuras exteriores de modo que se puede utilizar un extractor de manga. (fig 2.8 )

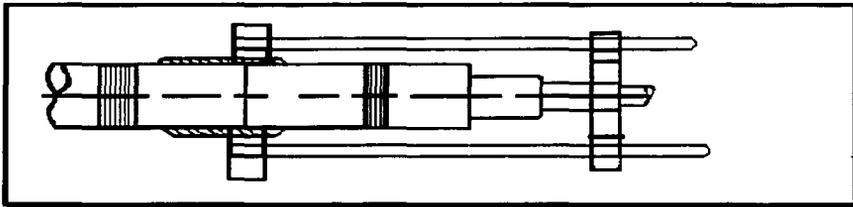


Fig 2.8 Extractor de manguito de flecha.

Las mangas de flecha algunas veces se reparan con soldadura o metalizando a chorro y luego rectificandolas. Este procedimiento se recomienda si las facilidades existentes para rectificación o acabado final dan seguridad de dar un acabado concéntrico.

Aunque puede ser más fácil empacar una bomba con mangas de flecha completamente nuevas, las mangas no tienen que reponerse cada vez que se instala una empaquetadura nueva. El grado de acanalamiento por desgaste permisible de la manga depende del tipo de acanalamiento. Generalmente, la superficie de la manga está muy bien pulida por la acción de la empaquetadura, y el acanalamiento es

ondulado en vez de estar compuesto de canales separados precisos bajo cada uno de los diversos anillos de empaque.

Algunas veces un ligero esmerilado de estas mangas acanaladas es permisible para volver a usarlo, si el servicio de la bomba no es muy severo. Las mangas reparadas deben tener una superficie buena, bien lisa y las partes restauradas no deben tener defectos ni deformación. Si se cuenta con las facilidades, puede ser conveniente tratar de rectificar y usar nuevamente un conjunto de mangas desgastadas para establecer la practicabilidad del procedimiento.

El diámetro exterior (D.E.) de la manga de la flecha no deberá reducirse a tal punto que el espacio libre excesivo en el fondo del estopero permita que cualquier empaquetadura sea forzada dentro de la bomba, a través del anillo de garganta cuando se aprietan los prensaestopas. Como regla, las mangas no deben esmerilarse más de 0.625 a 0.750 mm (0.025" a 0.030") en el diámetro y se les debe dar un acabado de 0.0004 mm.

Las mangas desgastadas, sin embargo, ordinariamente se reponen en vez de repararse. El martilleo para expansionar o rajar el material facilitará su extracción, pero debe tenerse gran cuidado para evitar dañar la flecha

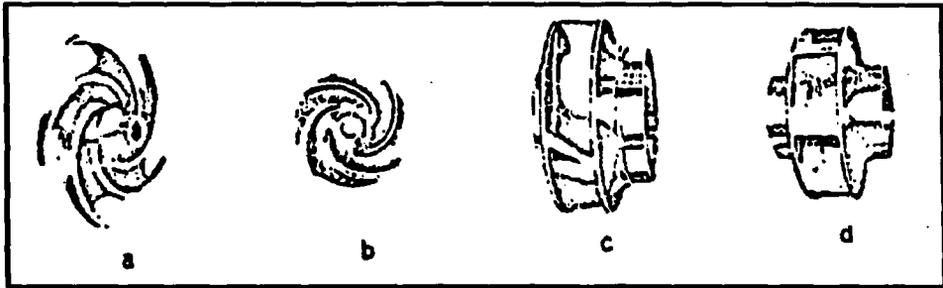
## **2.4 Impulsores**

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Hace girar la masa del líquido con la velocidad periférica de las extremidades de los álabes, determinando así la altura de elevación producida o la presión de trabajo de la bomba. Con base en el diseño de la entrada de agua, los impulsores se clasifican de acuerdo con su velocidad específica. (Para cargas dinámicas altas generalmente tienen una velocidad específica baja, mientras que los de baja carga la tienen alta). También se tipifican según la manera como entra el líquido en ellos, el detalle de sus aspas y el uso para el que se les destina.

En la figura 2.9 se indican los más empleados:

1. Impulsor abierto
2. Impulsor semi-abierto
3. Impulsor cerrado, admisión simple.
4. Impulsor cerrado, doble admisión

En un impulsor de admisión simple el líquido entra al ojo de succión sólo por un lado. Como un impulsor de doble admisión es, de hecho, un par de impulsores de admisión simple arreglado uno contra otro en una sola fundición, el líquido entra al impulsor simultáneamente por ambos lados.



**Fig 2.9 Impulsores abiertos.**

### **Impulsores abiertos**

Hablando estrictamente, un impulsor abierto (fig.2.10) consiste únicamente de álabes. Esto están sujetos a un cubo central para montarse en la flecha sin forma alguna, de pared lateral o cubierta. La desventaja de este impulsor es su debilidad estructural. Los álabes largos, deben reforzarse con costillas totales o parciales. Generalmente los impulsores abiertos se usan en bombas pequeñas y baratas o en bombas que manejan líquidos abrasivos.

### **Impulsores semi-abiertos**

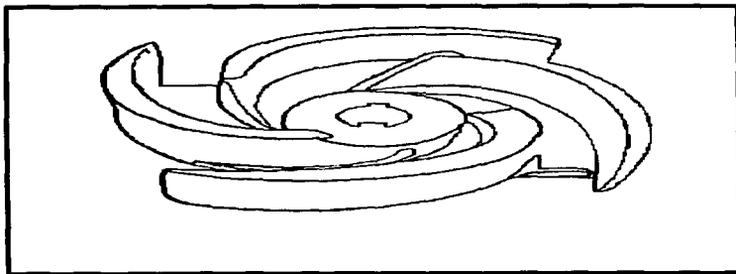
El impulsor semi-abierto (Fig 2.11) comprende una cubierta o una pared trasera del mismo. Se pueden incluir o no, álabes de salida; éstos están localizados en la parte posterior de la cubierta del impulsor (fig.2.11). Su función es reducir la presión en el cubo posterior del impulsor y evitar que la materia extraña que se bombea se acumule atrás del impulsor e interfiera con la operación apropiada de la bomba y del estopero.

### **Impulsores cerrados**

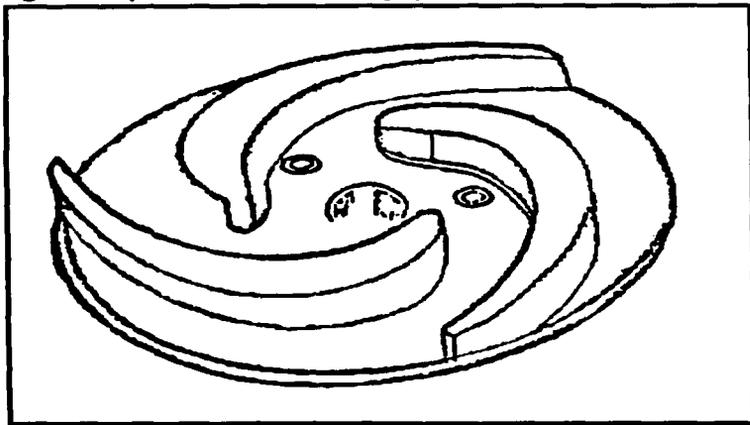
El impulsor cerrado (fig 2.13), casi siempre se usa para bombas que manejen líquidos limpios, consiste de cubiertas o paredes laterales que encierran totalmente las vías de agua del impulsor desde el ojo de succión hasta la periferia. Aunque este diseño evita el escurrimiento de agua que escurre entre un impulsor abierto o semi-abierto y sus placas laterales, es necesaria una junta movable entre los impulsores y la cubierta para separar las cámaras de succión y descarga de la bomba: Esta junta

movible generalmente formada por una superficie cilíndrica relativamente corta en la cubierta del impulsor, que gira dentro de una superficie cilíndrica estacionaria ligeramente más grande. Si se hace una o ambas superficies renovables, la junta que escurre puede repararse cuando el desgaste cause una pérdida excesiva.

Si la flecha de la bomba termina en el impulsor, de modo que éste está soportado por cojinetes sólo en un lado, se dice que es un impulsor volante. Este tipo de construcción es el mejor para bombas de succión el extremo con impulsores de admisión simple.



**Fig 2.10 Impulsor abierto con caja parcial.**



**Fig 2.11 Impulsor semiabierto**

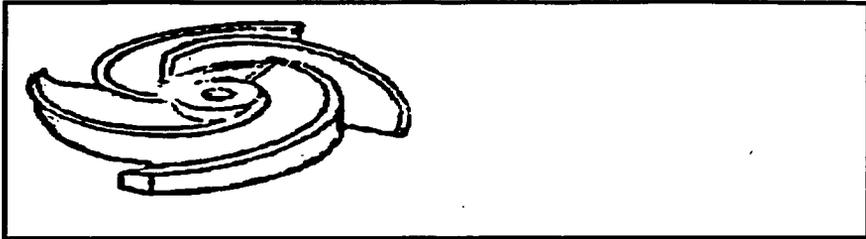


Fig 2.12 Impulsor abierto con caja parcial vista de frente mostrando los álabes de salida.

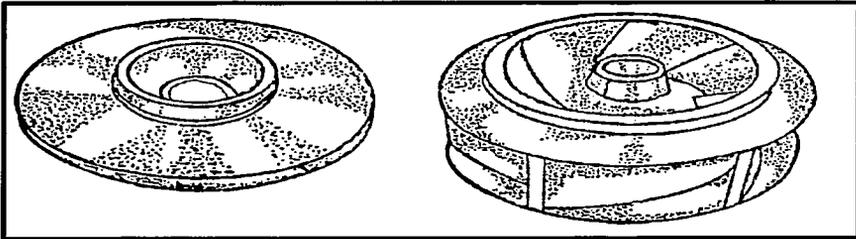


Fig 2.13 impulsor cerrado de admisión sencilla con álabes derechos. A la derecha impulsor cerrado de doble admisión con álabes francis.

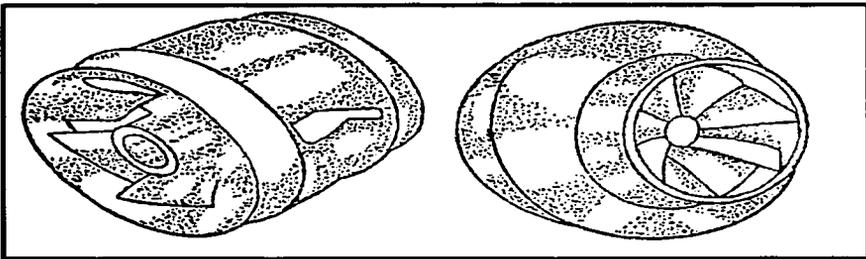


Fig 2.14 impulsor cerrado de doble admisión con álabes francis de alta velocidad específica. A la derecha impulsor cerrado de admisión simple con álabes francis de baja velocidad.

## Mantenimiento de impulsores

Un impulsor que se saca de la cubierta de una bomba deberá examinarse cuidadosamente en todas sus superficies para ver si hay desgaste indebido, como abrasión, corrosión o cavitación. La mayoría de las bombas para servicio general usan impulsores de bronce, que tienen una vida razonablemente larga, aunque el tipo de material de los impulsores está en función del producto que manejen.

El desgaste por abrasión se puede determinar mejor con una prueba de sedimentación. Una parte del líquido bombeado se permite que repose durante algunas horas en una vasija de vidrio, y se examina si las partículas asentadas son de arenisca. Generalmente un análisis químico de laboratorio, del líquido bombeado, es necesario para determinar si la corrosión es la causa de desgaste indebido. Por supuesto, si se identifica el desgaste por corrosión, se hace necesaria la sustitución de los materiales por otros mejores.

La cavitación es muchas veces acompañada de picaduras en las superficies del área de la succión del impulsor, y puede identificarse por un ruido de crepitación durante la operación. Si los impulsores se pican o erosionan rápidamente, con frecuencia se justifica el aumento en el costo de aleaciones especiales.

Aunque no es probable, el desgaste puede alguna vez ocurrir en el cubo del impulsor sobre la montadura de la flecha o en la caja de la caña (cuñero). La primera puede ser causada por una porosidad en la fundición del impulsor permitiendo que el agua escurra de la región de alta presión al ajuste entre la flecha y el impulsor. Algunas veces el material de la flecha es más fácilmente atacado. El desgaste en la caja de la caña puede ocurrir si el impulsor se ajusta y queda flojo en la flecha, si la caña no se ajusta bien o no se coloca bien ésta.

Finalmente, se pueden formar grietas en el impulsor debido a la vibración excesiva o a los esfuerzos que se establecen durante el proceso de fundición y que no se percibieron el momento de maquinarse e instalar el impulsor. Los impulsores rajados no se pueden reparar correctamente y para volverlos a usar es necesario tomar ciertas precauciones.

Siempre que se saque durante una reparación un impulsor del rotor de la bomba, debe recheckarse el equilibrio (balanceo). Para balancearlo a mano, el impulsor se monta en una flecha cuyos extremos se colocan en dos puntos a nivel y que le permitan a la flecha libertad de giro. Si el impulsor está balanceado dará vuelta al eje y quedará en reposo con su parte más pesada hacia abajo. Se debe quitar metal de esta porción de manera que el funcionamiento de la bomba no se altere y no resulten corrientes parásitas que aceleren la corrosión. Por esta razón, no es conveniente taladrar agujero en el exceso del material.

## 2.5 Carcaza o cubierta

El impulsor de una bomba centrífuga descarga líquido a una velocidad que dependerá de la velocidad del impulsor y generalmente es una velocidad alta. El objeto de la cubierta de la bomba es reducir esta velocidad y convertir la energía cinética en energía de presión ya sea por medio de una voluta o un conjunto de álabes difusores.

Las bombas de voluta reciben este nombre debido a la forma de espiral que la cubierta forma al envolver al impulsor.

Una bomba centrífuga del tipo difusor se ilustra en la fig 2.15, y en ella se puede observar que tiene la ventaja de balancear las reacciones radiales en el rotor, cosa que no sucede en las bombas de voluta sencilla; sin embargo, cuando la bomba no trabaja a plena capacidad, el líquido en movimiento choca con los álabes y el ángulo por el cuál sale el líquido del impulsor, lo que produce turbulencias que reducen la altura total de elevación generada.

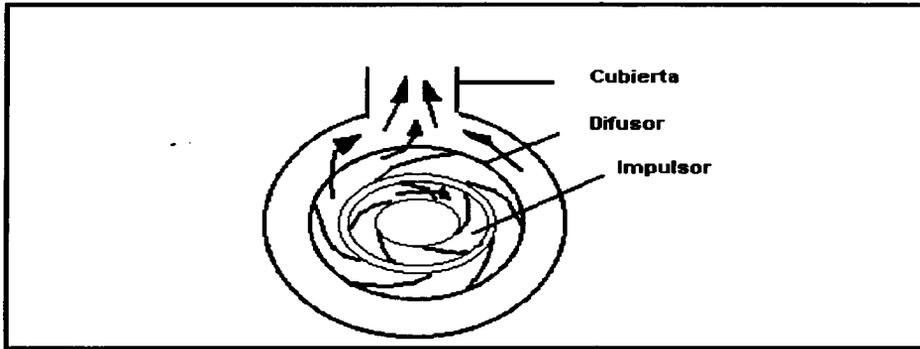


Fig 2.15 Bomba tipo difusor.

### Cubiertas divididas

Una cubierta dividida es la que está hecha de dos o más partes, y podemos tener: Cubierta dividida axialmente y cubierta dividida radialmente.

Cubierta dividida axialmente.

Si las cubiertas divididas axialmente se sujetan a altas presiones, tienden a "soplar" por la junta de la división, lo que provoca escurrimientos; esto es posible evitarlo

disminuyendo el espesor del empaque a medida que la presión aumenta y reforzando con costillas interiores y exteriores a la cubierta, así como también aumentando el diámetro y número de los tornillos que sujetan a las tapas entre sí. Este tipo de cubiertas se usa para presiones máximas de  $112 \text{ kg/cm}^2$  basadas en una operación a 3 600 RPM.

Estas cubiertas divididas axialmente, deberán de tener unas guías cónicas para poder armarlas con precisión después de haberlas abierto.

- Cubiertas divididas radialmente.

Las cubiertas divididas radialmente se usan desde hace muchos años en bombas de varios pasos y se conocen con el nombre de "cubierta de anillos" o tipo "dona" y en ellas dos o más impulsores se meten dentro de un cuerpo en cuyo interior estaban colocados los álabes del difusor y los conductos del líquido para pasar del primer impulsor, el segundo, tercero, etc.

En diseños posteriores, las secciones de cada uno de los pasos así como también las secciones de succión y descarga se mantenían unidas por medio de largos pernos que las atravesaban. En estas bombas se tiene problema en el desarmado y armado ya que las secciones de succión y descarga tienen que abrirse cada vez que se repara la bomba. Para resolver este problema se diseñó una bomba de doble cubierta, la cuál mantuvo las ventajas del diseño de cubierta radialmente dividida y resolvió el problema de desarmarlas.

El principio básico de este diseño consiste en encerrar las partes móviles de una bomba centrífuga de varios pasos en una cubierta interior y construir una segunda cubierta alrededor de ella. El espacio entre las dos cubiertas se mantiene a la presión de descarga del último paso de la bomba.

El diseño de la cubierta interior puede ser axialmente dividida o radialmente dividida. Para evitar el escurrimiento, si la cubierta está axialmente dividida, ésta se encuentra encerrada en un barril sólido de acero fundido o forjado en el que la presión del líquido es mayor que la presión interna promedio en la bomba, lo que hace que la cubierta interior esté sujeta a compresión y la union axial permanezca apretada.

La bomba de doble cubierta, con la interior radialmente dividida, es una bomba con cubierta de anillos, la que después de armada se coloca dentro de una cubierta de forma cilíndrica de acero forjado, en la que la succión y descarga forman una sola unidad con dicha cubierta y el conjunto interior de la bomba se puede sacar sin tener que desmembrarla de la tubería.

Tiene la ventaja de tener todas las juntas de alta presión y entre pasos del tipo de anillo que es el que más fácilmente se mantiene apretado bajo altas presiones.

- Mantenimiento de carcazas (cubiertas).

Las bombas que manejan agua o líquidos no corrosivos generalmente no están sujetas a desgaste fuerte de las cubiertas. Sin embargo, las vías de agua de la cubierta siempre deben de estar perfectamente limpias y repintarse durante una reparación general (de ser posible). Se debe usar una pintura adecuada que se adhiera firmemente al metal, de manera que la velocidad del agua no la lave o arrastre.

Una de acabado de esmalte es la más eficiente. Se debe establecer un programa de limpieza y repintura basado en las condiciones locales. Esto evitará que la capa protectora se desgaste completamente antes de reponerla, evitando así la corrosión.

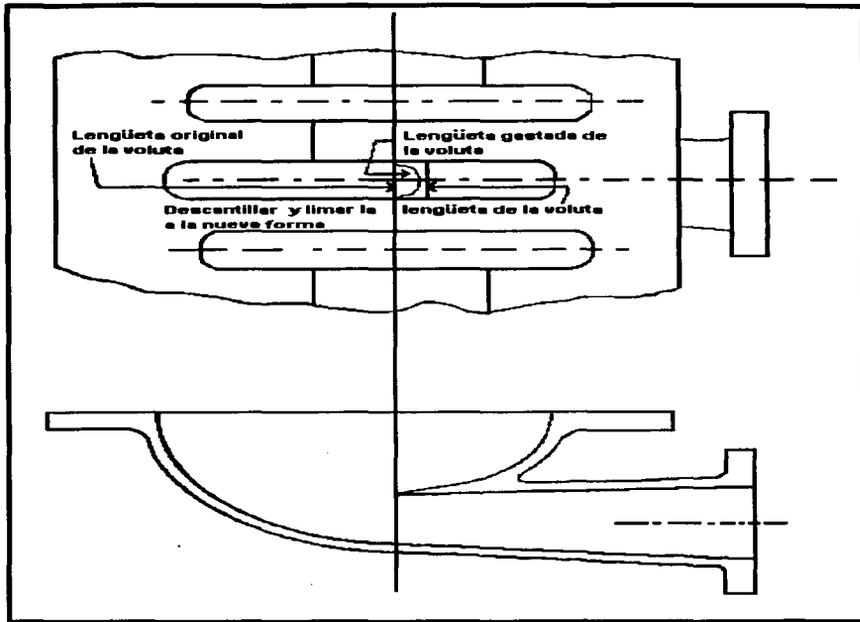
Las bombas que manejan agua sucia o arenosa naturalmente están más sujetas a problemas de cubiertas. La erosión o el desgaste pueden reducirse seleccionando bombas para bajas velocidades de agua y con cubierta de metal de grano fino.

Si la cubierta está picada o gastada en ciertos lugares, se puede reparar con soldadura de bronce, de plata o metalizada a chorro, dependiendo del material de construcción y de las facilidades disponibles.

Se debe tener un cuidado especial para examinar y reacondicionar los ajustes de metal a metal en lo que las partes estacionarias, como anillos de cubierta (desgaste) difusores o piezas de tapa, guías, se asientan en la cubierta. Si la cubierta es de acero y estos ajustes muestran señales de erosión, podría ser ventajoso rellenarlos con acero inoxidable 18-8 Cr-Ni y rectificarlos.

Frecuentemente el tamajar o lengüeta de voluta, como también se le llama, se erosiona; por ejemplo cuando una bomba maneja agua con algo de arena en suspensión, o cuando la periferia del impulsor está localizada muy cerca de la lengüeta. Otra causa bastante común de erosión en esta área es la acción galvánica entre una cubierta de hierro colado y accesorios de bronce. El hierro fundido se grafitiza y se desgasta más perceptiblemente en áreas de alta velocidad, como las que están cerca de la lengüeta de la voluta.

La mejor manera para corregir esta condición, es recortar la lengüeta de manera que esté derecha de lado a lado y luego limarla hasta darle un borde redondo y liso (fig 2.16). Este recorte no afecta desfavorablemente la capacidad de la bomba; al contrario, con frecuencia se usa para sacarle un porcentaje pequeño adicional a la capacidad sin tener que poner un impulsor de mayor diámetro. La capacidad adicional se logra por el aumento del área de la garganta de la cubierta que origina un aumento para una velocidad dada en la cubierta.



**Fig 2.16 Método para limar la lengüeta gastada de la voluta.**

Se debe tener cuidado para no deformar o torcer la cubierta durante la reparación. Cuando se terminan las reparaciones, las bridas horizontales de una cubierta dividida axialmente deberán asentarse sobre una superficie plana con herramientas de mano. Por supuesto, si las reparaciones son muy serias, las bombas se arreglan en el taller.

Exceptuando algunos diseños especiales, todas las bombas tienen empaquetaduras (junta) que están sujetas a dañarse cuando se abre la bomba. Si la empaquetadura (junta) vieja se adhiere a la mitad inferior de la cubierta y está en buenas condiciones, no es necesario reponerla.

Sin embargo deberá reponerse si tiene algún daño, y por esta razón siempre debe tenerse una empaquetadura nueva.

La empaquetadura (junta) debe ser del mismo espesor que la original, y de ser posible, del mismo tipo de material para que tenga las mismas características de compresión. Una junta muy gruesa generalmente ocasiona fugas. Si la junta es más delgada que la original, al apretar las dos mitades de la cubierta se puede ejercer fuga indebida en los anillos de desgaste de la cubierta y deformarlos.

Al instalar una empaquetadura nueva, el borde interior debe estar colocado con precisión siguiendo el borde del agujero de la caja del estopero. En todos los puntos en los que la junta sobresale en el diámetro exterior y los lados de partes estacionarias, los bordes deben desbastarse a escuadra y limpiarse, y dejando suficiente traslape de ella. Al apretar la mitad superior de la cubierta se apretarán efectivamente, los bordes de la junta contra las partes de la caja de empaque, asegurando un sello adecuado. Esta operación de ajuste se ejecuta mejor cementando primero la junta a la mitad inferior de la cubierta con goma laca (pasta) y luego cortando perpendicularmente todos los bordes con una navaja. Por supuesto, toda materia extraña debe quitarse de la caja (guía) de la cubierta antes de que se aplique la junta a la mitad inferior de la cubierta.

Al volver a armar la bomba se recomienda frotar polvo de grafito o alguna pasta (GARLOCK TIPO A, para agua-vapor. GARLOCK TIPO B, para gasolinas, aceites y sus equivalentes ) en la junta, antes de colocar la mitad superior de la cubierta. Esta operación evitará que la junta se pegue a la mitad superior y tenga un mejor sello.

## **2.6 Cajas de empaques**

El estopero es una de las herramientas más importantes de una bomba centrífuga. Aún pequeños defectos en su arreglo o condición pueden evitar la operación correcta de la bomba contra escurrimiento en el punto en el que la flecha atraviesa la cubierta de la bomba. Sin embargo, esta función varía tanto en sí misma como en la forma en que se ejecuta. Por ejemplo, si la bomba maneja una elevación de succión y si la presión en el interior del estopero es evitar que entre aire a la bomba.

Si esta presión es superior a la atmosférica, la función es evitar el escurrimiento de líquido fuera de la bomba.

Para bombas de servicio general, un estopero generalmente toma la forma de un hueco cilíndrico que aloja varios anillos de empaquetadura alrededor de la flecha o de la manga de la flecha (fig. 2.17). Si se desea sellar el estopero, se usa un anillo farol (anillo de linterna ) o jaula de sello, que separa los anillos de empaquetaduras en secciones aproximadamente iguales. La empaquetadura está comprimida para dar el ajuste deseado en la flecha o manga por medio de un cuello o casquillo del prensa-estopas, que puede ajustarse en dirección axial. El fondo o extremo interior de la caja del estopero puede estar formado por la propia cubierta de la bomba , un buje de garganta (fig.2.17), o un anillo de base.

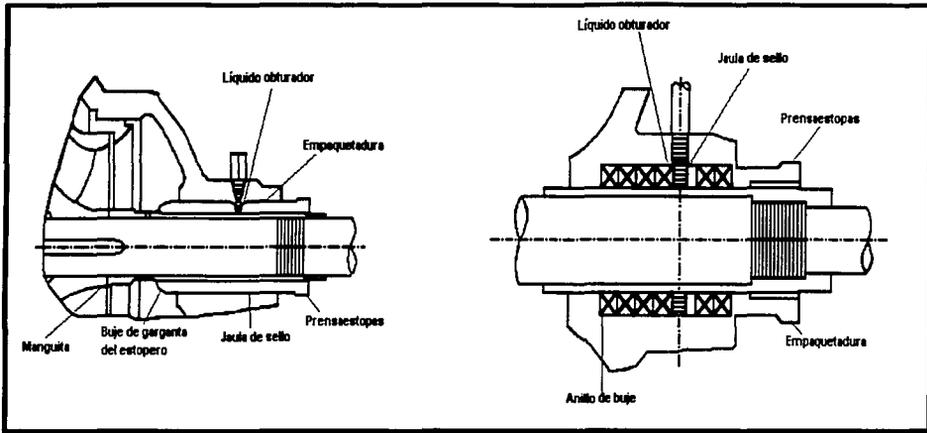


Fig 2.17 Estopero convencional con buje de garganta, a la derecha estopero convencional con anillo de base.

Por razones de fabricación, los bujes de garganta se usan mucho en bombas pequeñas con cubierta axialmente dividida. Al maquinarse las fundiciones para estas bombas, el diámetro de un cuello de estopero formado integralmente limitaría el tamaño de la barra taladradora a un diámetro prácticamente pequeño. Los bujes de garganta son siempre sólidos en vez de bipartidos.

- **Estoperos enfriados con agua.**

Las altas temperaturas o presiones complican el problema de mantener la empaquetadura de los estoperos. Las bombas en estos servicios más difíciles generalmente están provistas con estoperos encaquetados enfriados con agua. El agua de enfriamiento quita calor al líquido que escurre por el estopero y el calor generado por la fricción en la caja, mejorando así las condiciones de servicio de la empaquetadura. Si se dispone de dos diseños de estoperos enfriados con agua. El primero (fig.2.18), tiene conductos taladrados en el material de la cubierta. Estos conductos que rodean el estopero están arreglados con conexiones de entrada salida. El segundo tipo usa una cámara separada de enfriamiento combinada con el

estopero propiamente dicho, insertándose todo el conjunto y atornillándose a la cubierta de la bomba (fig 2.19).

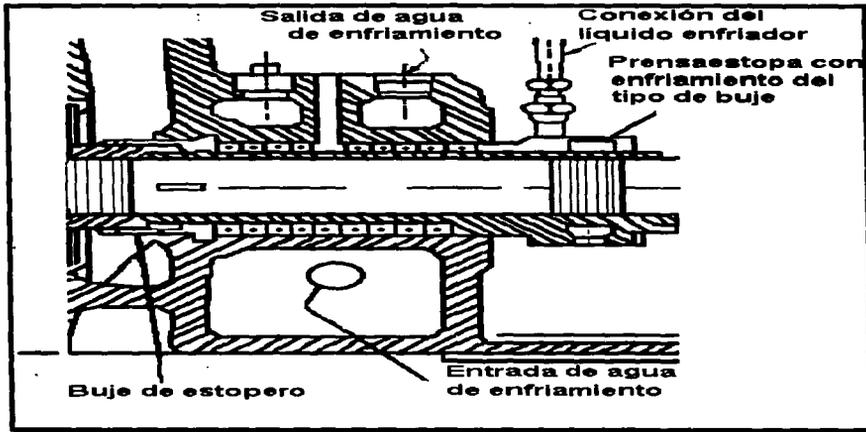


Fig 2.18 Estopero enfriado con agua con conducto hueco colado en la cubierta.

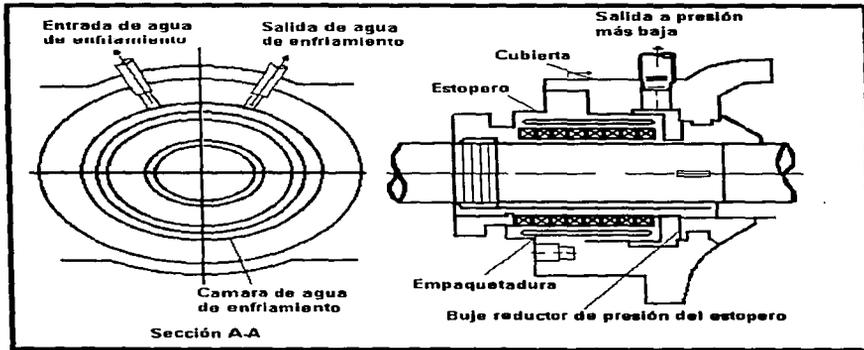


Fig 2.19 Conuunto de estopero con enfriamiento de agua separado con buje reductor de presión del estopero.

Existen empaques de distinto material, cada uno de ellos se adoptan a determinado servicio. Los más comúnmente usados son:

1. Empaque de asbesto.
2. Empaque metálico.

El asbesto es el material de empaque más común, para servicio general en presiones inferiores de 14 (kg/cm<sup>2</sup>). La empaquetadura de asbesto está prelubricada con grafito o un lubricante inerte.

La empaquetadura metálica está formado de cordones metálicos o lámina delgada alrededor de un alma de asbestos o de plástico y está impregnada de un lubricante o grafito. Las láminas pueden ser de babitt, aluminio o cobre.

Muchos otros tipos de empaquetadura se suministran de acuerdo con especificaciones del cliente, por ejemplo: Empaquetadura de cáñamo en cuerda o trenza, encebado o grafito, empaquetaduras de teflón y otras muchas cuyas características y aplicaciones vienen dadas en los catálogos de los fabricantes de los mismos.

Las empaquetaduras se suministran en forma de rollo continuo, en forma de espiral o en anillos preformados. Cuando se usa empaquetadura en forma de espiral o rollo continuo, es necesario cortar los anillos un poco más chicos dejando un espacio libre entre los extremos, el cual es llenado al momento de la expansión. El corte que se hace de estos anillos debe ser diagonal.

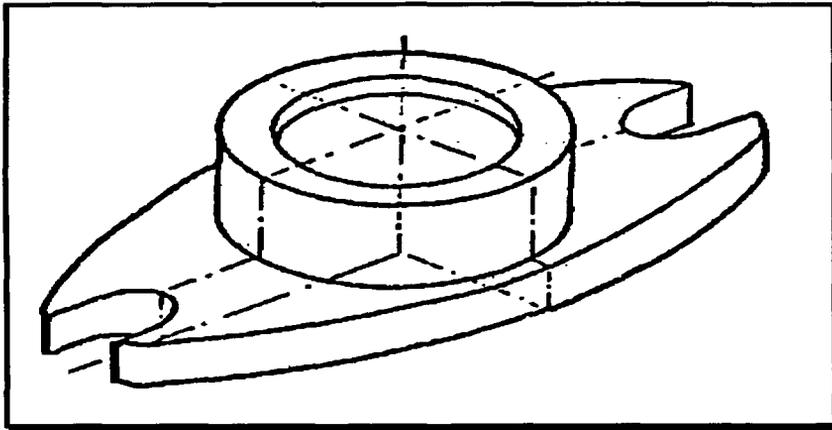
El escurrimiento de los estoperos a la atmósfera puede, en algunos servicios molestar seriamente y aún poner en peligro al personal de operación, por ejemplo, cuando líquidos como los hidrocarburos se bombean a temperaturas de vaporización o a temperaturas superiores a su punto de inflamación. Como este escurrimiento no siempre puede enfriarse lo suficiente como un estopero enfriado con agua, se usan prensa-estopas para introducir un líquido (ya sea agua u otro hidrocarburo a baja temperatura) que se mezcla íntimamente con el escurrimiento, bajando su temperatura o, si el líquido es volátil, absorbiéndolo.

Los prensa-estopas de estoperos generalmente se hacen de bronce, aunque se puede usar hierro colado o acero para bombas equipadas totalmente con hierro. Los prensa-estopas de hierro o acero generalmente se recubren con un material antichispa como bronce, en servicio de refinerías, de ser posible, deben usarse anillos ya preformados que se meten al tamaño exacto y por juegos; con ellos se asegura un ajuste perfecto a la manga y a la caja de empaque, obteniéndose igual cantidad de empaque a todo lo largo del estopero. Algunos juegos se suministran con dos o más diferentes clases de empaque, por ejemplo: Alternando anillos suaves y duros.

• **PRENSA-ESTOPA DE ESTOPERO.**

Los prensa-estopa de estopero pueden tener varias formas, pero básicamente se pueden clasificar en dos formas:

1. Prensa-estopas sólido (fig 2.20)
2. Prensa-estopas dividido



**Fig 2.20 Prensaestopas sólido para estopero**

Los prensa-estopas divididos están hechos en mitades, de modo que se pueden sacar de la flecha sin desmantelar la bomba, dejando así más espacio libre cuando se están reempacando los estoperos. Los prensa-estopas divididos son convenientes para bombas que se tienen que reempacar con frecuencia, especialmente si el espacio entre la caja y el cojinete es restringido. Las dos mitades se mantienen juntas generalmente con tornillos, aunque también se usan otros métodos. Los prensa-estopas divididos, por lo general, un refinamiento de construcción más que una necesidad y raras veces se usan en bombas pequeñas. Generalmente se suministran para bombas grandes de un solo paso, para algunas bombas de varios pasos y para bombas grandes de un solo paso para algunas bombas de varios pasos y para bombas de refinería. Otro refinamiento común es el uso de tornillos de gozne en los prensa-estopas de los estoperos. Estos anillos pueden girarse a un lado, fuera del campo, cuando el estopero se está reemplazando.

• **Jaula de sello (farol o linterna)**

Cuando una bomba opera con altura de succión negativa, el extremo interior del estopero está sujeto al vacío y el aire tiende a meterse dentro de la bomba. Para este tipo de servicio, la empaquetadura está dividida en dos secciones por un farol o jaula de sello hidráulico (fig 2.17). Se introduce agua a algún otro líquido de sello en el espacio, originando flujo del líquido obturador en ambas direcciones axiales. Esta construcción es útil para bombas que manejan líquidos inflamables o químicamente activos y peligrosos ya que evita el flujo hacia el exterior del líquido bombeado. Las jaulas de sello, por lo general, están divididas axialmente para facilitar el ensamble.

Algunas instalaciones están sujetas a condiciones de succión variable, operando la bomba una parte del tiempo con elevación de succión. Cuando la presión de operación dentro de la bomba excede a la atmosférica, la jaula de sello líquido deja de operar (excepto como lubricación y enfriamiento). Sin embargo, se mantiene en servicio de modo que cuando la bomba se ceba al arrancar, se puede excluir todo el aire.

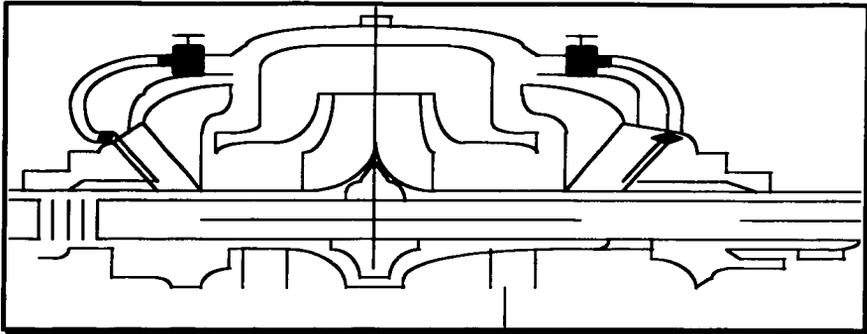
• **Distribución del líquido de sellos**

Cuando una bomba maneja agua fresca y limpia, los sellos del estopero están generalmente conectados a la descarga de la bomba, o en bombas de varios pasos, a un paso intermedio. Un abastecimiento independiente de agua de sello deberá proveerse si existe cualquiera de las siguientes condiciones :

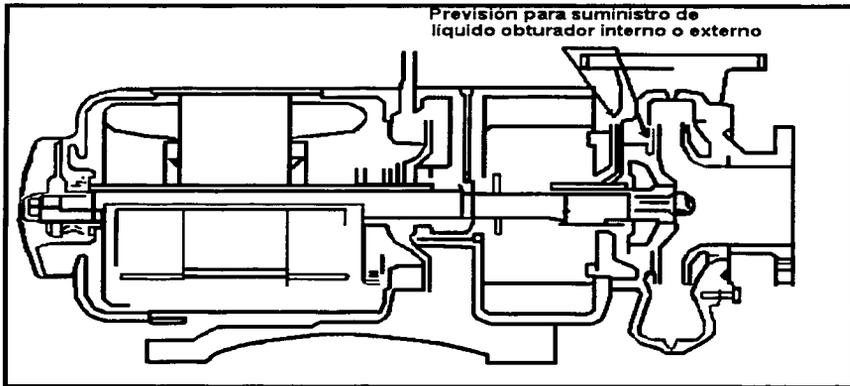
1. Una elevación de succión de más de 5 metros.
2. Una presión de descarga de menos de  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  (7.01 metros de altura de elevación).
3. Agua caliente (más de  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) que se maneja sin enfriamiento adecuado (excepto para bombas de alimentación de calderas, en las que no se usan jaulas de sello).
4. Si se maneja agua lodosa, arenosa.
5. Para todas las bombas de pozos calientes.

Si el líquido que se maneja es otro que no sea agua, (como ácidos, mezclas o hidrocarburos) sin previsión especial en el diseño del estopero por la naturaleza del líquido.

Cuando el agua de sello se toma de la descarga de la bomba se puede hacer una conexión externa con un tubo de pequeño diámetro fig 2.21o conductos internos. En algunas bombas, estas conexiones están arregladas de modo que un líquido obturador pueda introducirse dentro del espacio de la empaquetadura através de un conducto interior taladrado, ya sea de la cubierta de la bomba o de una fuente exterior. fig 2.22.



**Fig 2.21** Conexiones de tubería de la descarga de la bomba



**Fig 2.22** Bomba de succión en el extremo con provisión para suministro de líquido obturador

A veces es conveniente localizar la jaula para sello con más empaquetadura por un lado. Por ejemplo, en servicio de agua arenosa, la colocación de la jaula para sello que se muestra en la fig 2.23, distribuiría una mayor porción de líquido obturador hacia dentro de la bomba evitando en esa forma que la arena entre al estopero. La fig. 2.24 muestra la mayoría de los anillos de empaquetadura entre la jaula y el extremo

interior de la caja de empaque. Este arreglo se aplica para reducir la disolución del líquido bombeado.

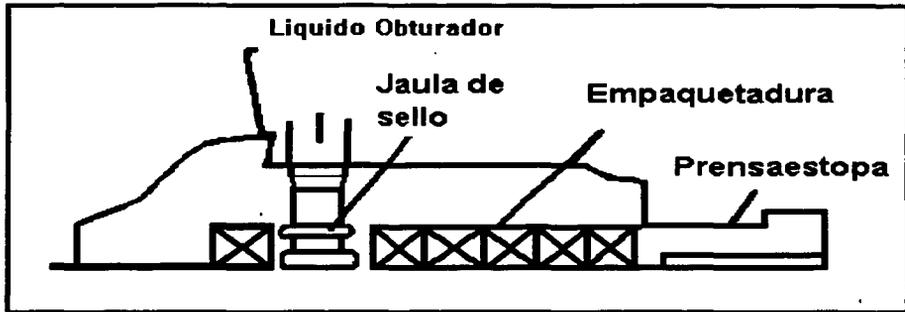


Fig 2.23 Colocación recomendada de la jaula de sello para agua sucia o arenosa

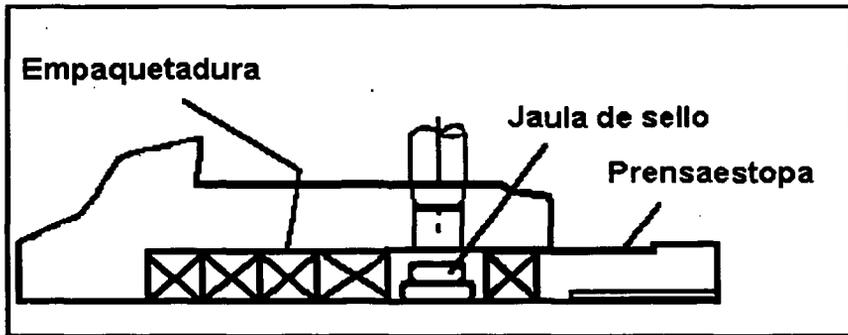


Fig 2.24 Colocación recomendada de la jaula de sello para bombas, cuando se desea poca disolución del líquido

## • Mantenimiento de estoperos

Cuando se saca una bomba a reparación, el cuidado que se hará a los estoperos será una buena limpieza a la caja de empaque y sus conductos de enfriamiento al farol. Además, se tendrá el cuidado de revisar el anillo de estrangulamiento, si es postizo; checar su sujeción además de holgura que conserve entre éste y la manga o la flecha, y no debe exceder de 0.030 pulgadas. Además debe reponerse la empaquetadura. Aunque esto parece sencillo, deberá hacerse correctamente, o la operación de la bomba no será satisfactoria. Se debe seguir el siguiente procedimiento para reemplazar un estopero:

1. Asegúrese de que la empaquetadura nueva es del tipo adecuado para el líquido, y para la presión y temperatura de operación. A menos que el empaque venga preformado en juegos, asegúrese de que cada anillo se corte a 45° en un mandril de tamaño correcto.
2. Inserte cada anillo de empaquetadura por separado, empujándolo derecho dentro de la caja y sentándolo firmemente, usando anillos divididos de empuje de tamaño apropiado que se ajusten bien a la caja. Los anillos de empaque sucesivo deberán girarse para que sus juntas queden separadas 120 ó 180 grados.
3. Cuando se usa jaula (farol) de sello, asegúrese de que se instale entre los dos anillos de empaque apropiados para que maneje correctamente el suministro de líquido obturador cuando el estopero esté totalmente empaçado y ajustado.
4. Después de que se han insertado todos los anillos de empaquetadura requeridos, instale el prensa-estopas y apriete firmemente las tuercas del mismo. Asegúrese de que el casquillo (o punta) del prensa-estopa penetra en el estopero derecho sin ladearse, para que toda la periferia de la empaquetadura tenga una presión uniforme.
5. Después del primer apriete del prensa-estopas, retrocéndanse las tuercas hasta que sólo estén apretadas con los dedos. Arranque la bomba con el estopero solo, de modo que haya un escurrimiento inicial excesivo. Apriete ligeramente y alinee las tuercas del prensa-estopas, a intervalos de 15 a 20 minutos, de modo que el escurrimiento se reduzca a lo normal después de varias horas de trabajo. Esto se hará cuando se ponga a operar la bomba.

No se pretende reducir el escurrimiento al estado de "goteo". Debe ser un flujo continuo, suficiente para arrastrar el calor de fricción de la empaquetadura. A menos que escurra suficiente líquido por la caja para eliminar el calor, la empaquetadura se quemará y se rayará la manga. (En bombas con prensa-estopas de enfriamiento, suspenda el suministro de agua de enfriamiento a intervalos y observe el escurrimiento real por el estopero, de otro modo la inspección visual no puede distinguir el escurrimiento por el empaque y el suministro de agua de enfriamiento).

La empaquetadura que se saca de un estopero cuando se revisa una bomba, deberá examinarse con objeto de obtener toda la información que sea posible sobre la cause del desgaste del empaque y la manga.

Con frecuencia las condiciones de operación susceptibles de corregirse o procedimientos de empaqueo inadecuados, se revelan por este exámen. Algunos de los síntomas más frecuentemente encontrados, son los siguientes:

1. Desgaste excesivo en los anillos más cercanos al prensa-estopas, mientras que los del fondo permanecen en buen estado. Se debe a apriete excesivo de la empaquetadura en un ajuste o por no insertar los anillos uno a uno y empujándolo hasta su lugar antes de insertar el siguiente.
2. El carboneo o lustrado de la circunferencia interior de los anillos es causado por el calor excesivo, lubricación insuficiente, o material de empaque inadecuado para las condiciones de presión y temperatura.
3. El desgaste de la circunferencia interior de los anillos ocurre cuando giran dentro de la caja del estopero.
4. El desgaste marcado de anillo de empaque en una porción selectiva de la circunferencia interior puede ser causado por cojinetes excesivamente gastados o la operación excéntrica del rotor.
5. Si algunos anillos se cortan muy escasos o se escogen excesivamente, los anillos adyacentes se hincharán y se encajaran en el espacio abierto.

#### • **Mantenimiento al farol**

El cuidado que se le debe dar al farol será de que conserve sus dimensiones; es decir, que por su uso no éste corroído y ovalado, que sus orificios roscados, que sirven para extracción, estén en buen estado.

La holgura del farol y del prensa-estopas puede evaiar entre 0.020" a 0.075". El diámetro exterior de estas piezas deberá tener una holgura menor respecto a su guía, pudiendo ser entre 0.010" a 0.046". Para evitar que roce con la flecha.

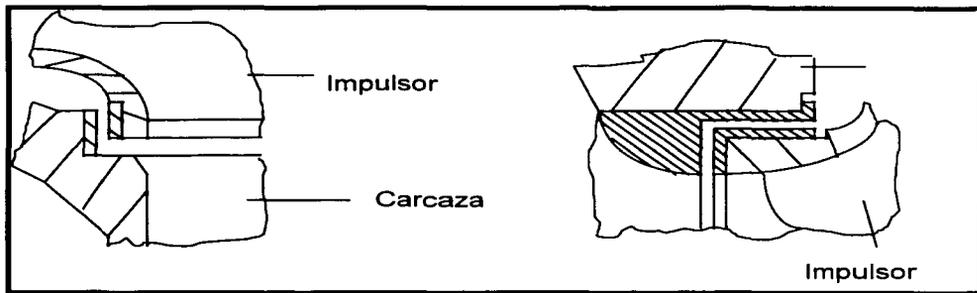
### **2.7 Anillos de desgaste**

Los anillos de desgaste son una junta de escape entre el impulsor y la cubierta; dependiendo de la parte en que se encuentra instalado el anillos de desgaste se denominará:

- a) Anillo de desgaste de la caja, carcaza o cubierta.
- b) Anillo de desgaste del impulsor.

En las bombas , se pueden tener anillos de desgaste de la caja, anillos de desgaste del impulsor o ambos anillos de desgaste.

Existen varios diseños de los anillos de desgaste y la selección del tipo más apropiado dependerá del líquido por manejar, la diferencia de presiones entre la junta de escurrimiento y el diseño de cada bomba. Los anillos de desgaste más comúnmente usados son los del tipo plano, y los del tipo "L" ilustrados en la figura 2.25



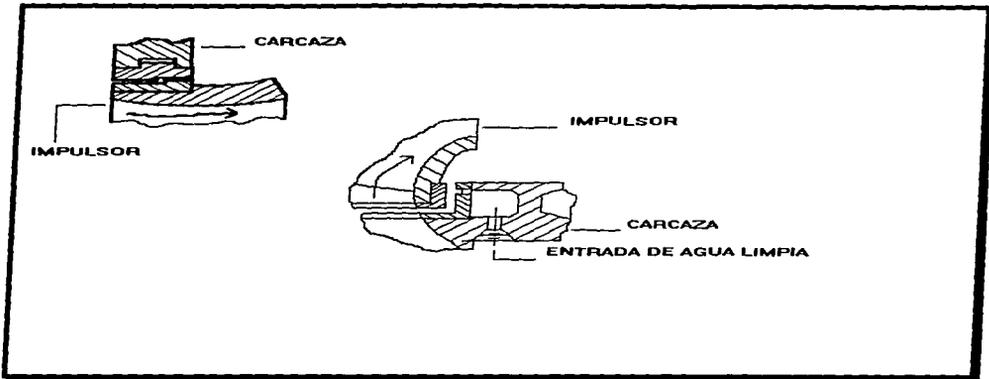
**Fig 2.25 Anillos tipo "L"**

Existen otros tipos de anillos de fricción cuyo uso es menos frecuente; ellos son los anillos del tipo laberinto o también llamados anillos de interferencia y los anillos de escalón, los cuales se encuentran representados en las figura 2.26

Los anillos de desgaste lavados con agua a presión han tenido un gran auge en los últimos años. En ellos se lleva líquido limpio (a una presión mayor que la del lado de descarga de los anillos), por medio de una tubería y se distribuye a través de un orificio practicado en el anillo fijo. Para que este lavado fuera ciento por ciento eficiente en bombas que mueven agua cruda para servicio o en aquellas que el líquido contiene arena, sería necesario que la cantidad de líquido inyectado fuera lo suficiente grande como para que llenara el espacio comprendido entre los dos anillos en toda su periferia. En la figura 2.27, puede verse parte de una bomba con este tipo de anillo.

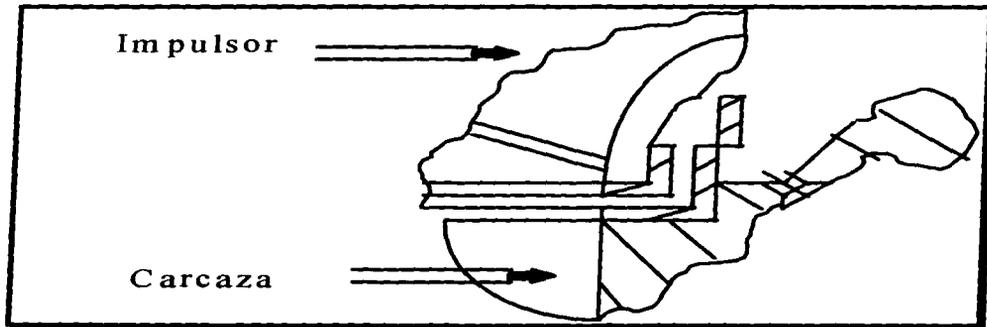


**Fig 2.26 Anillos de laberinto Sencillo y doble respectivamente**



**Fig 2.27 Anillos de escalon**

Tratándose de bombas verticales que manejan líquidos que contienen arena o mugre, ésta se queda en el espacio entre anillos cuando la máquina está fuera de servicio y aún en lugares muy próximos a este espacio ya que es la parte más baja de la bomba. Al arrancar la bomba, toda su mugre o arena es arrastrada dentro de los anillos causando desgaste. Para evitar este desgaste, en bombas medianas y grandes, se utiliza un anillo de tipo de retención como lo muestra la fig 2.29



**Fig 2.28 Anillo de retención**

Los materiales de que están hechos estos anillos de desgaste son combinaciones de :

1. Bronce con otro bronce distinto
2. Hierro fundido con bronce
3. Acero con bronce
4. Metal monel con bronce
5. Hierro fundido con hierro fundido.

La tolerancia o espacio libre entre anillos normalmente viene dado por el fabricante de la bomba, ya que dependerán del material de que están hechos los anillos del líquido manejado, la temperatura y la viscosidad del líquido manejado. Sin embargo, podemos generalizar diciendo que el diámetro interior del anillo rozante de la caja es igual al diámetro exterior del anillo del impulsor más 0.002" por cada pulgada de diámetro. Esto quiere decir que si el diámetro exterior del anillo rozante del impulsor es de 3", deben dar 3.006" de diámetro interior al anillo de la caja; si el diámetro es de 4" el diámetro interior debe ser de 4.008"; si el diámetro exterior es de 5", el diámetro interior debe ser de 5.010" y así sucesivamente.

Naturalmente, las recomendaciones del fabricante por lo que respecta al material y la tolerancia de los anillos rozantes deberán aceptarse como buenas.

### • **Mantenimiento a anillos de desgaste**

**Instalacion.-** La mayoría de los anillos se prensan actualmente en los impulsores. Como puede ocurrir una deformación durante el proceso de montaje, es conveniente verificar el conjunto de impulsores y flecha en sus centros para ver si las nuevas superficies de los anillos están alineados (ovaladas-excéntricas con respecto al eje "cabeceo"), y si no, alinearlas. Si se cuenta con las facilidades adecuadas, será casi igualmente fácil adquirir anillos de un tamaño ligeramente mayor y cortar la superficie de desgaste al diámetro correcto después de montadas.

- Espacio libre (juego o intersticio).- Las normas y tolerancias aplicables, dan como guía para anillos de desgaste fijo y móviles, los claros que a continuación se mencionan. Para ello toma consideración las condiciones de succión, temperatura del líquido bombeado, la expansión y características del material de los anillos. Considerando entre ellos los materiales siguientes: Bronce, Hierro Fundido, Acero al Cromo (un líquido a 13%), y materiales similares.

<b>DIAMETRO DEL ANILLO ROTATORIO</b>	<b>CLARO DIAMETRAL MINIMO</b>
<b>(Pulgadas)</b>	<b>(Pulgadas)</b>
<b>Menos a 2.000</b>	<b>0.010</b>
<b>2.000 a 2.499</b>	<b>0.011</b>
<b>2.500 a 2.999</b>	<b>0.012</b>
<b>3.000 a 3.499</b>	<b>0.014</b>
<b>3.500 a 3.999</b>	<b>0.016</b>
<b>4.000 a 4.499</b>	<b>0.017</b>
<b>4.500 a 4.999</b>	<b>0.018</b>
<b>5.000 a 5.999</b>	<b>0.019</b>
<b>6.000 a 6.999</b>	<b>0.018</b>
<b>7.000 a 7.999</b>	<b>0.019</b>
<b>8.000 a 8.999</b>	<b>0.020</b>
<b>9.000 a 9.999</b>	<b>0.021</b>
<b>10.000 a 10.999</b>	<b>0.022</b>
<b>11.000 a 11.999</b>	<b>0.023</b>

Estos valores se aumentarán en 0.005" cuando se trate de acero inoxidable y en 0.003" cuando el equipo sea de varios pasos.

-Desgaste permisible.- Es difícil generalizar la cantidad de desgaste aceptables antes de que una bomba tenga que desarmarse y se remuevan los anillos de desgaste, porque intervienen demasiados factores. El escurrimiento interno por los anillos naturalmente significa una pérdida de eficiencia. Se deben renovar los anillos cuando el costo de la reparación se compense con el ahorro de fuerza. Así, con el uso continuo y el alto costo de la energía, se justifica una renovación más frecuente.

La regla general de que el aumento de espacio libre de un 100% en el juego de los anillos, justificará la reposición de ellos, puede usarse como guía.

Aún cuando el espacio libre no es excesivo y la bomba puede volverse a armar sin remover los anillos de la junta de desgaste, siempre verifique al diámetro del cubo del impulsor y el diámetro interior del anillo de desgaste fijo para ver si hay excentricidad en el desgaste.

- Medición del espacio libre.- Los espacios libres de los anillos de desgaste pueden medirse algunas veces insertando un calibre de claros entre las partes fijas y las giratorias. Si el anillo de desgaste es del tipo L y el labio de la L evita que se inserte el calibrador, se puede verificar aproximadamente el espacio libre sin desmantelar el rotor, de la siguiente manera:

1. Móntese un indicador de cuadrante en el impulsor (fig 2.29 ), y con el anillo fijo descansado en el cubo del anillo de desgaste del impulsor, colóquese la lectura del cuadrante en cero.

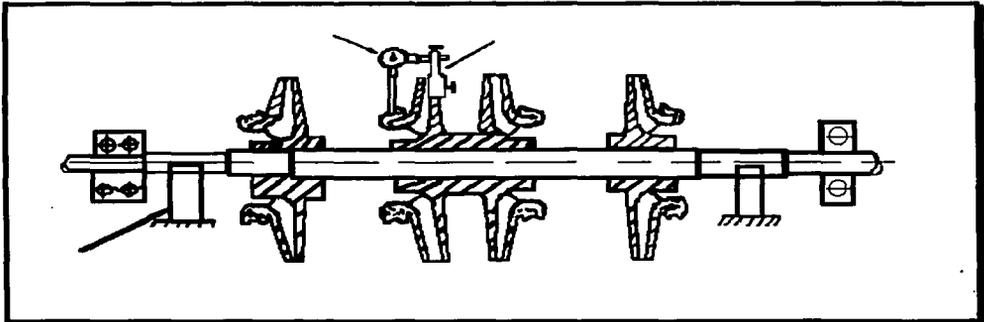


Fig 2.29 Medida del espacio libre de los anillos en una bomba de varios pasos con indicador de cuadrante

2. Sin mover el impulsor o el indicador de cuadrante, empújese hacia arriba el anillo fijo desde abajo y apúntese hacia arriba el anillo fijo desde abajo y apúntese la lectura máxima del cuadrante. Esta corresponde al espacio libre diametral.

3. Repita esta operación para todas las juntas de espacio libre y haga un registro de todas las lecturas.

Esta operación se ejecuta mejor con el rotor fuera de la cubierta de la bomba. Se adapta mejor a las bombas de varios pasos porque una vez que el rotor está fuera de la cubierta en las bombas de un solo paso, los anillos fijos pueden sacarse libremente y determinarse la holgura midiendo los diámetros y calculando la diferencia.

Una nota de advertencia: Este método rápido no da indicaciones de la condición de las superficies adyacentes al espacio libre. En otras palabras, las protuberancias, ranuras o muescas causadas por materia extraña, que pasen por el insterticio, pasarán inadvertidas así como los daños consecuentes de las superficies.

Si la bomba se ha desarmado, el procedimiento normal es medir independientemente el diámetro interior del ajuste del anillo de desgaste y el diámetro exterior del cubo del anillo de desgaste del impulsor. Usense respectivamente micrómetros de interiores y exteriores.

Varias medidas determinarán si el anillo de desgaste o el impulsor se han gastado en forma ovalada. El juego se considera que es la diferencia máxima entre las lecturas máximas del D.I. y mínima del D.E.

Los espacios libres pueden también medirse directamente colocando el impulsor dentro del anillo de desgaste y moviéndolo lateralmente contra un indicador de cuadrante, para determinar la desigualdad en el desgaste alrededor de la circunferencia, se deberá girar el impulsor y fijar el indicador de cuadrante en varios puntos de la parte estacionaria. Sin embargo, si la bomba se ha desarmado, es más correcto el método de la diferencia.

El impulsor y los anillos de desgaste deberán tener la misma temperatura antes de hacer las mediciones.

Esta posibilidad de error frecuentemente se descuida, ya que mucha gente supone que esa pequeña diferencia en la temperatura del metal no es de consecuencias.

- Restauración de espacios libres cuando no se usan anillos.

Para restablecer los espacios libres entre el impulsor y la cubierta cuando no se suministra el anillo, el mantenedor debe:

1. Comprar partes nuevas.
2. Reconstruir las superficies gastadas, con soldadura, metalizando a chorro, u otro medio.
3. Instalar uno o varios anillos de desgaste, si hay disponible bastante metal en la parte de la cubierta o en el cubo del impulsor.

-Restauración de los espacios libres de las bombas con anillos sencillos.

Hay tres formas para restituir los espacios libres de una bomba con construcción de anillo de desgaste sencillo plano o de tipo "L".

a) Obtener un anillo de cubierta nuevo abierto a menor tamaño que el del fabricante. Luego rectificar el cubo del anillo de desgaste del impulsor rebajándolo al torno.

b) Reconstruir la superficie gastada del anillo de desgaste soldándolo o metalizándolo de manera que se pueda abrir a tamaño reducido. Luego rectificar el cubo del anillo de desgaste del impulsor.

c) Rectificar el anillo de desgaste a sobremedida, reconstruir el cubo del anillo de desgaste del impulsor y maquinando para dar el juego correcto con el anillo rectificado.

Los dos últimos métodos difíciles y sólo prácticos en bombas más grandes y sólo si se tienen facilidades para hacer el trabajo en el lugar. Generalmente la reconstrucción del cubo del anillo de desgaste del impulsor con soldadura es también muy difícil, y se prefiere la construcción de doble anillo. El primer método es generalmente mejor.

- Restauración de espacios libres de bombas con anillos dobles.

Si la bomba tiene dobles anillos de tipo plano o de "L", los espacios libres pueden renovarse por uno de los siguientes métodos:

a) Obtener un anillo de impulsor de sobremedida y usar el anillo viejo de cubierta rectificando a tamaño más grande.

b) Obtener un anillo de la cubierta rectificando a tamaño más pequeño y usar el anillo viejo del impulsor rebajado.

c) Reponer ambos anillos si es necesario.

d) Reconstruir ya el anillo de la cubierta o del impulsor con soldadura, o metalizándolo y maquinando la otra parte. Alterando la reconstrucción del anillo, se puede mantener la junta de escurrimiento en un diámetro muy cercano al original.

Los méritos relativos de varios métodos es renovar los espacios libres en bombas de un solo anillo mencionados antes, también se aplican a la construcción de doble anillo.

Para anillos que no sean del tipo plano, deben seguirse las recomendaciones del fabricante para el mantenimiento. Los complicados anillos de laberinto generalmente no permiten la reconstrucción de las superficies gastadas ni retornar las partes. Por lo tanto, se recomienda reponer ambos anillos de laberinto.

## **2.8. Sellos mecánicos.**

Al estudiar los estoperos o cajas de empaque, mencionamos que los sellos en la manga y en la caja de empaque forzados entre las dos superficies y sostenidos por un prensa-estopas. También se vió que para reducir el escurrimiento, bastará con aumentar la presión del prensa-estopa, pero que era conveniente no suprimir en su totalidad el escurrimiento. Sin embargo, después de haber apretado el empaque hasta un punto determinado, el escurrimiento continua sin importar que se apriete más. Este apriete, causa mayor fricción; el calor generado no se elimina tan rápidamente como se produce y el estopero deja de funcionar. Aún antes de que se llegue a esta condición las mangas pueden rayarse a tal grado que es imposible volver a empacar si no se cambian dichas mangas.

Por este motivo, cuando se trata de evitar totalmente el escurrimiento por estar manejando un líquido tóxico, o se tengan presiones demasiado altas o sencillamente que el líquido manejado actúe como solvente de los lubricantes normalmente usados para lubricar la empaquetadura, no es conveniente tener este tipo de sello. Debido a ello, fue necesario diseñar un tipo de sello totalmente diferente y que en la actualidad se conoce como "Sello Mecánico".

Aunque los sellos mecánicos pueden variar en su construcción según el fabricante, todos ellos están basados en el mismo principio: " todas las superficies que forman el sello, se encuentran localizadas en un plano perpendicular a la flecha y constan de dos superficies pulidas a espejo una de las cuáles gira junto con la flecha deslizante sobre la otra que es estacionaria".

Las superficies de las partes que forman el sello, son de distintos materiales y se mantienen en contacto debido a la presión que ejercen uno o varios resortes: debe haber una película de líquido entre las dos superficies, que les proporcionará lubricación y enfriamiento, al mismo tiempo que reduce el desgaste.

Es posible utilizar este tipo de sellos, en bombas que manejen líquidos que contienen sólidos en suspensión, siempre y cuando éstos se retengan para evitar que penetren entre las caras en contacto, o vayan a obstruir el funcionamiento del resorte.

En un sello mecánico existen tres partes en donde debe existir un buen sellado, de lo contrario, este sello mecánico no trabaja como tal y dejará salir líquido; estas partes son:

- a) Entre el elemento estacionario y la cubierta.
- b) Entre el elemento giratorio y la flecha o la manga de la flecha.
- c) Entre las caras giratorias y estaticas.

Para obtener el primer sello, se usan anillos en forma de "O" de un material capaz de absorber y tomar todos los desperfectos de la superficie por sellar, por lo que generalmente son de hule, teflón o cualquier otro material similar. Para obtener el segundo sello, se usan anillos de hule, fuelles de hule o empaques metálicos, que generalmente son de aluminio. Finalmente el tercer sello se obtiene con un buen pulimiento y apriete entre las caras en contacto que generalmente son de acero endurecido y carbón, acero endurecido y porcelana o bronce endurecido y porcelana.

Las partes de que consta un sello mecanico son:

1. Manga o laina
2. Asiento del resorte
3. Pernos
4. Resorte
5. Caja del resorte
6. Empaque en "U"
7. Caja giratoria
8. Cara estacionaria (carbón)
9. Empaque del carbón
10. Empaque de la brida
11. Brida del sello
12. Empaque auxiliar
13. Tornillos del prensa-estopas

14.Prensa-estopas auxiliar

15.Tuercas del pensa-esopas.

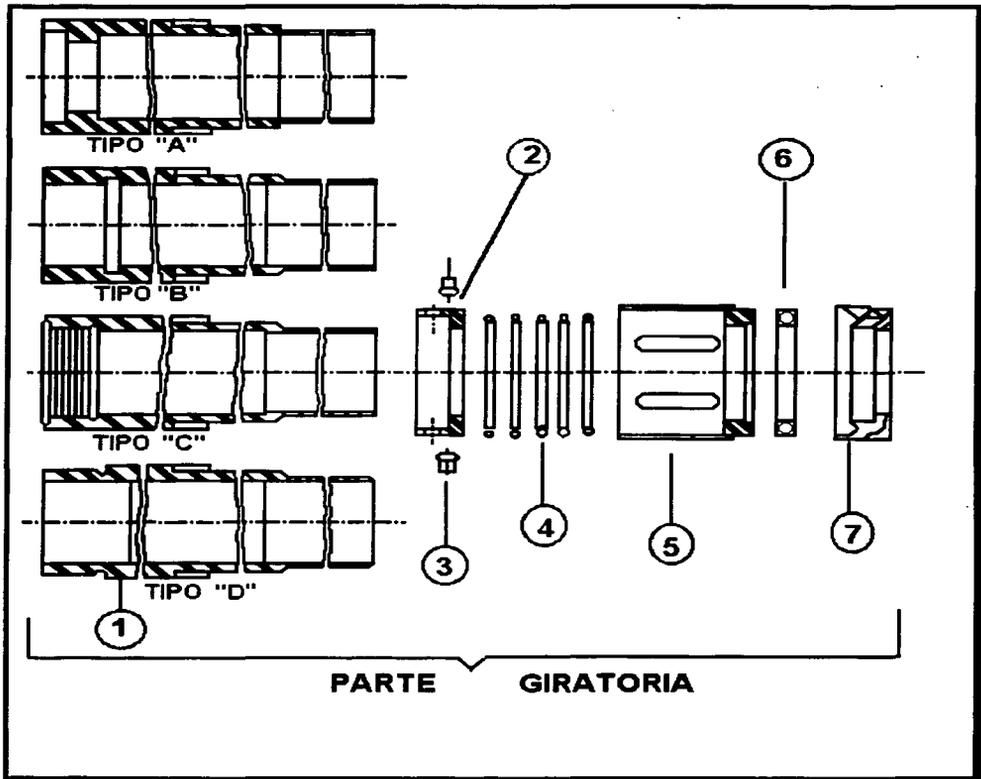


Fig 2.30 "A" Sello mecánico



## 2.9 Cojinetes y cople

La función de los cojinetes en las bombas es mantener el rotor en correcto alineamiento con las partes estacionarias. Los cojinetes que le dan colocación radial al rotor se conocen con el nombre de cojinetes radiales o de alineación y los que fijan el rotor axialmente se les conoce con el nombre de cojinetes axiales, de empuje o de aguante.

En las bombas horizontales, con cojinetes a cada lado, éstos se distinguen por su colocación y tenemos:

- a) Cojinetes interiores o de lado del cople (L.C.)
- b) Cojinetes exteriores o del lado opuesto al cople (L.O.C).

En este tipo de bombas generalmente el cojinete de aguante va colocado del lado opuesto al cople (L.O.C.) y el cojinete radial se coloca en el lado cople (L.C.). Tratándose de bombas verticales se sigue la misma nomenclatura.

Los cojinetes están montados en una caja que se fija a la carcaza formando parte de ella; esta caja además de soportar los cojinetes se utiliza para contener el aceite lubricante.

Al girar la flecha sobre el cojinete, se genera calor, el cual es disipado por radiación, por enfriamiento a través de un enfriador o por medio de una chaqueta de agua de enfriamiento colocada dentro de la misma caja del cojinete.

Los cojinetes pueden ser rígidos o auto-alineables; estos últimos son aquellos que como su nombre lo indica, automáticamente se ajustan a un cambio en la posición de la flecha. En cojinetes de babbitt (conocidos con el nombre de chumaceras), el nombre de auto-alineables se aplica a aquellos que tienen un ajuste esférico en la caja. En cojinetes resistentes a la fricción (comunmente conocidos con el nombre de baleros), los auto-alineables son aquellos cuya pista exterior está maquinada interiormente en forma esférica, permitiendo que la pista interior se mueva libremente. Existe otro tipo dentro de los mismos baleros auto-alineables en los que la pista exterior está maquinada para que al entrar en la caja tenga un ajuste esférico.

- Principios Básicos de los cojinetes.

Como el coeficiente de fricción de rodamiento es menor que el coeficiente de fricción de deslizamiento, no es posible considerar un balero en la misma forma que una chumacera. En el balero, la carga se lleva en un punto de contacto de la bola con la pista, sin rozamiento o deslizamiento, sino que lo hace por rodamientos sobre la pista y además el punto de contacto está cambiando constantemente por lo que el calor generado no es una cantidad apreciable. En la chumacera, hay un rozamiento

constante de una superficie sobre otra y la fricción debe de reducirse por medio de un lubricante, ya que de lo contrario, el calor generado aumentará hasta el grado de hacer que la chumacera quede inservible.

**-Cojinetes Resistentes a la Fricción (Baleros)**

Teóricamente los baleros operados a una velocidades constante, no requieren lubricación. Sin embargo no existe una velocidad absolutamente constante y cada variación por muy pequeña que sea, hace que las bolas de un balero se atrasen o adelanten en la pista causando un deslizamiento casi inapreciable pero existente. Además, debido a la carga que soportan los baleros, las bolas sufren una ligera deformación modificando su asiento de un punto a una pequeña superficie que ocasiona deslizamiento. Es por esto que a los baleros hay que darles lubricación. Los baleros de aguante o empuje se construyen para resistir cargas por movimiento rodante en un contacto angular. Como esta carga axial se repartirá en partes iguales, en cada una de las bolas, por lo que el espacio entre ellas debe de ser y permanecer exactamente igual; esto se logra por medio de una jaula de retén o puente, la cual no recibe carga, pero el contacto entre ella y la bola produce fricción de deslizamiento generando calor. Esta es la razón por la que los baleros de empuje siempre están dentro de una caja con chaqueta de agua.

Los balero más comunmente usados en las bombas centrífugas son:

-Rígidos de una o dos hileras de bolas, que tienen gargantas profundas sin orificio para la entrada de las bolas. Debido a la profundidad de las gargantas, este tipo de rodamiento tiene gran capacidad de carga incluso en sentido axial; por consiguiente este balero es muy adecuado para resistir cargas en todas direcciones. Su diseño le permite soportar un empuje axial considerable, aun funcionando a altas velocidades.

-Doble hilera auto-alineable; las bolas tienen un camino esférico común en la pista exterior que lo hacen auto-alineables por lo que resulta insensible a ligeras fallas de alineación en la flecha originadas por errores en la cimentación, montaje de los baleros, torceduras de la flecha, etc. Por el mismo motivo, el rodamiento no puede ocasionar flexiones en la flecha, lo cuál es de gran importancia en bombas que requieren alta velocidad.

-De contacto angular con una sola hilera de bolas en el cuál, la presión ejercida por las bolas está dirigida en ángulo agudo con respecto al eje. Como consecuencia de esta disposición, el rodamiento es especialmente apropiado para resistir gran carga axial, debiendo montarse el mismo en contra posición con otro rodamiento que pueda recibir la carga axial existente en sentido contrario.

En los rodamientos de rodillos cilíndricos ( 2.32), de agujas y de rodillos esféricos (fig 2.31 y 2.33), existe otra causa de rozamiento cuando los separadores evitan que los rodillos cilíndricos de empuje axial, el rozamiento ocurre cuando los

separadores obligan a las superficies exteriores de los rodillos a recorrer una distancia mayor sobre las carreras.

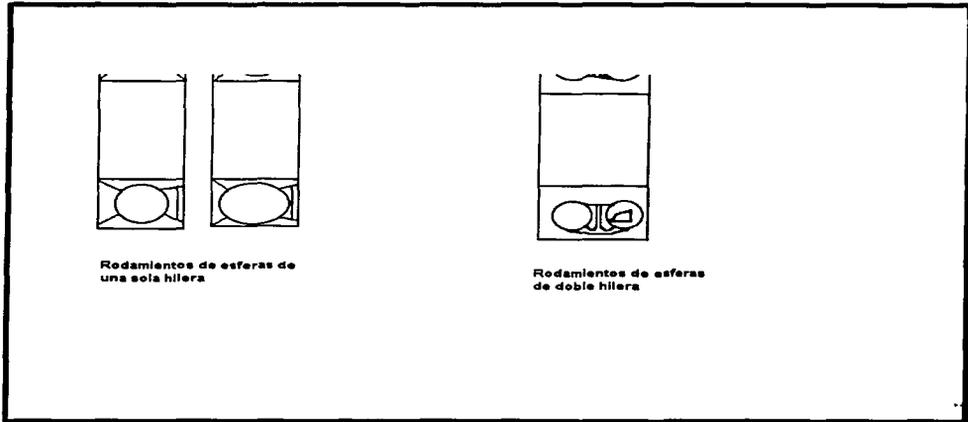


Fig 2.31 Rodamientos de esferas

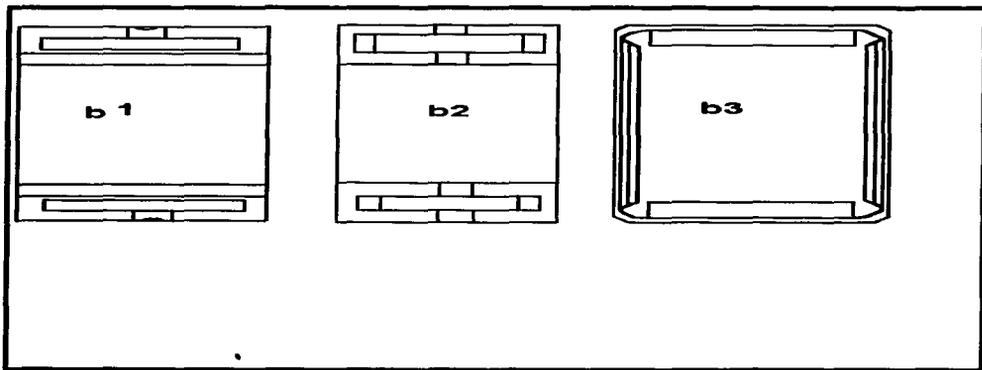
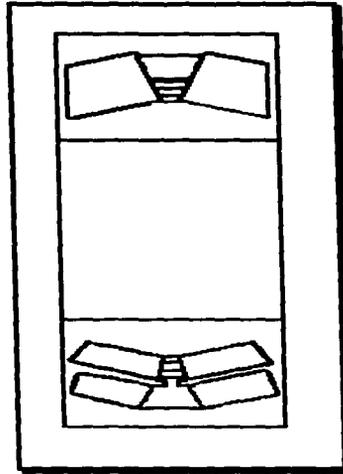


Fig 2.32 Rodamientos de agujas del tipo b1 con separadores, b2 de agujas libres y b3 de anillo envolvente



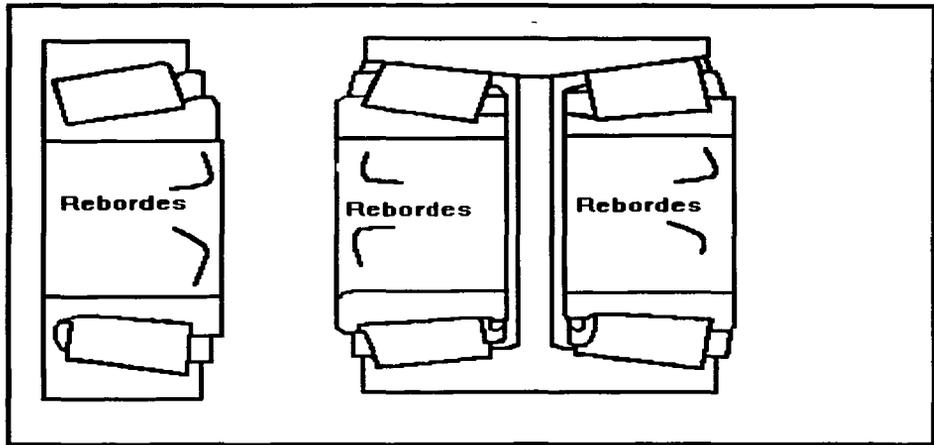
**Fig 2.33 Rodamiento de rodillos esféricos de dos hileras y alineamiento propio**

-Rozamiento entre los rodillos o agujas.

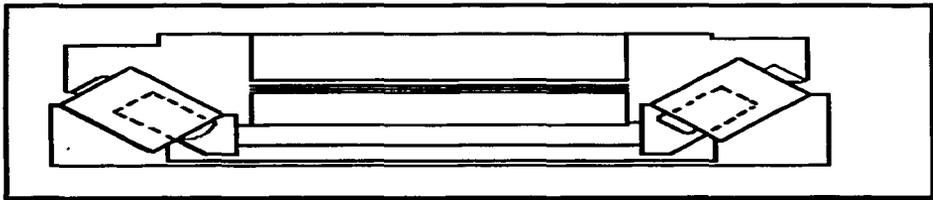
Cuando los rodamientos de agujas o de rodillos cilíndricos no tienen separadores, la velocidad de rozamiento de los elementos adyacentes (moviéndose en direcciones opuestas), es dos veces mayor que las velocidades de rozamiento que ocurrirían entre los rodillos y sus separadores, por lo tanto, el rozamiento es mucho mayor.

- Rozamiento sobre los hombros de las carreras.

En ciertos tipos de rodamientos de rodillos diseñados para soportar cargas de empuje axial ocurre otro tipo de rozamiento cuando las caras exteriores de los rodillos son forzadas contra los hombros de los anillos, por una carga axial. Por ejemplo, en un rodamiento de rodillos cónicos (Fig 2.34) o de rodillos esféricos (fig 2.35), la fricción ocasionada por este rozamiento puede ser bastante crítico bajo condiciones anormales de servicio.



**Fig 2.34 Rodamientos de rodillos cónicos de una y dos hileras. Estos rodamientos pueden soportar grandes cargas radiales y de empuje axial.**



**Fig 2.35 Rodamiento de rodillos esferoidales de empuje axial, puede soportar una combinación de fuertes cargas axiales y radiales**

-Mantenimiento de los cojinetes resistentes a la fricción

Si se aplican y lubrican apropiadamente los cojinetes resistentes a la fricción en las bombas centrífugas, tienen una larga vida y están excepcionalmente libres de dificultades. Puede, sin embargo, ocurrir una falla por lo siguiente:

a) Uso de un tipo o tamaño indebido para una aplicación determinada.

- b) Montaje defectuoso debido a la mano de obra inexperta en la fabricación o mantenimiento.
- c) Diseño defectuoso de la montadura.
- d) Lubricante o práctica de lubricación inadecuados.
- e) Entrada de agua, mugre o arenisca dentro del cojinete.
- f) Daño mecánico a las bombas, rodillos o carriles.

Los diseñadores de bombas basan su selección del tipo de cojinetes , en tamaño y lubricación para adaptarse al campo o campos de servicio para los que se usará la línea de bombas. Ocasionalmente, debido a una equivocación, una bomba se usará para condiciones o en localizaciones no apropiadas para su diseño de cojinetes y consecuentemente sufrirá por la corta vida de ellos.

La pista interior de los baleros antifricción no debe girar en la flecha; la pista exterior no debe girar en su caja; y el balero debe estar correctamente alineado. Los cojinetes antifricción generalmente están prensados o montados en caliente en sus flechas; si intervienen cargas de empuje, se sostienen aún más en posición axial en sus flechas por topes y tuercas de flecha. Si la flecha es de menor tamaño, el ajuste quedará muy flojo permitiendo la rotación de la pista interior en la flecha con el consecuente daño del balero, de la flecha o de ambos. Por otra parte, un diámetro de la flecha demasiado grande puede dar por resultado la expansión del carril interior y exterior. Igualmente, la montura debe proveer suficiente fuerza de sostén con sujeción adecuada del carril exterior en la caja para evitar que gire en ella. Esta fuerza es generalmente mayor problema con cojinetes radiales que con los de combinación radial y de empuje o los de empuje solamente, porque el carril exterior está abrazado entre dos bordes en el conjunto de la caja si interviene el empuje.

En los cojinetes radiales, sin embargo, el carril exterior debe poder moverse en su caja, si los cambios de temperatura originan expansiones desiguales de la flecha y la cubierta.

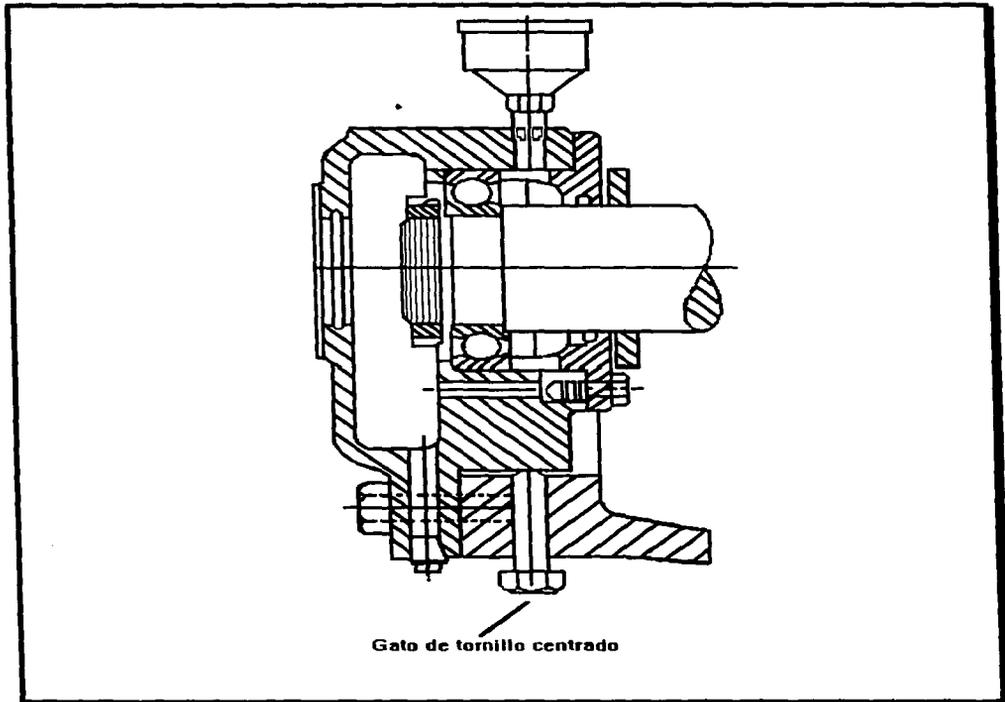
El ajuste de la pista (o carril) exterior en su caja es por lo tanto, de la clase de ajustes por empuje. También es muy importante que los baleros antifricción estén montados a escuadra en sus flechas y en sus cajas y que no estén inclinados.

Algunos diseños de cajas de baleros cuentan con medios para asegurar el centro inicial de los cojinetes (fig 2.36). En esos casos , se debe llegar al alineamiento apropiado después de que la bomba se vuelve a armar con baleros nuevos.

Muchas fallas de los cojinetes antifricción (como otros cojinetes), se pueden deber al uso de lubricantes impropios.

Se debe tener cuidado para evitar que le entre agua al balero (nunca se debe sacar de la caja hasta el momento que se va a usar). Si se mete agua a la caja, las partes del balero seguramente se oxidarán y por eso fallará. Se sabe que demasiado enfriamiento de la caja causa condensación de la humedad ambiente dentro de aquella.

En cojinetes con chaquetas para líquidos, el flujo deberá regularse de modo que el cojinete esté razonablemente tibio y cortar el suministro cuando la bomba esté ociosa.



**Fig 2.36 Montadura típica de baleros en bombas de doble admisión**

Si se permiten que entren al cojinete mugre o arenisca, naturalmente causarán daño. Como la grasa forma un buen sello contra el polvo y la mugre, generalmente se prefiere la lubricación con grasa si la bomba se va a instalar en un lugar polvoso.

El daño mecánico a las bolas, rodillos o carriles causa una pronta falla del cojinete. Por esta razón se deben seguir los procedimientos correctos de montaje y desmontaje.

#### -Montaje y desmontaje de cojinetes antifricción.

Como el ajuste entre el carril exterior de un cojinete antifricción y su caja, se clasifica como un ajuste de presión, el montaje o desmontaje de cojinete en su caja ofrece poco problema. Algunos diseños de cajas hacen posible, sin embargo, especialmente cuando se desmantela aplicar la fuerza necesaria para jalar el cojinete fuera de su caja, en otra parte que no sea por los rodillos. Esa fuerza puede dañar fácilmente el balero.

Es conveniente montar un balero en su flecha, con la fuerza equivalente al ajuste requerido. En realidad, el balero puede apretarse en la flecha o montarse en caliente en ella. Los baleros que se van a montar en caliente, se meten en un baño caliente a cerca de 93°C, y luego se deslizan a su lugar en la flecha, golpeándose con un tubo ligeramente el carril (pista) interior sobre la flecha si es necesario. Si el balero se aprieta forzándolo en la flecha, es conveniente usar una prensa mandril. ( fig 2.37)

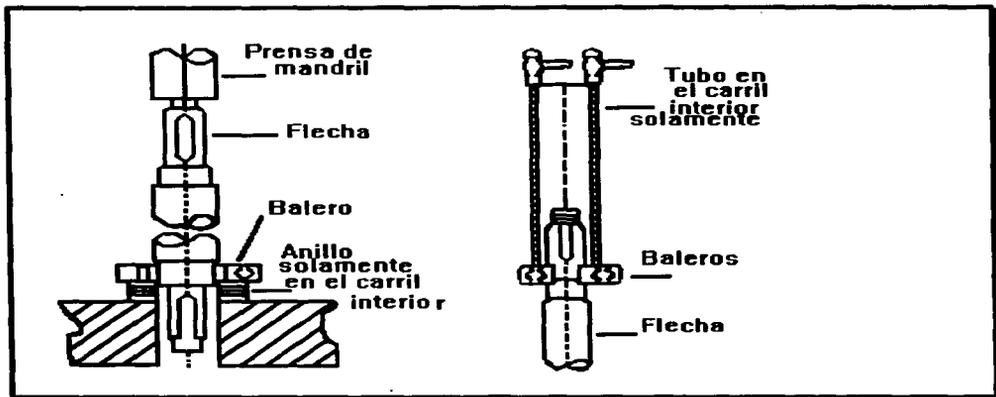
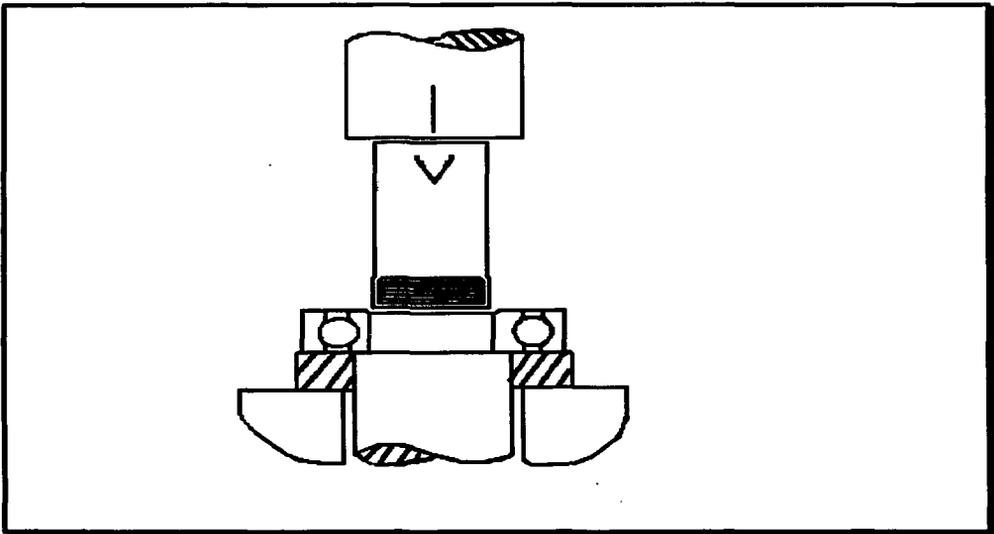


Fig 2.37 Dos métodos para insertar baleros en una flecha

La fuerza debe aplicarse al interior con una manga tubular o tubo, un anillo o pequeñas calzas de igual espesor. Si no se dispone de una prensa de mandril, el balero puede encajarse en la flecha martillando alternativamente en puntos opuestos en la circunferencia de una manga tubular sostenida contra el carril interior.

Se debe tener cuidado para evitar que el balero se incline y se deben usar calibradores de cintas (lainas) para asegurarse de que está apretada firmemente contra el borde de la flecha.

Los baleros que se van a desmontar de una flecha, generalmente deben sacarse a fuerza, porque raras veces es posible usar calor. La técnica usada dependerá del diseño y del equipo disponible pero generalmente se usa una rondana seccionada para apoyarse sobre la pista interior o contra un manguito de la flecha en la que se haya prensado el balero. Se aplica por la ronda partida una presión firme y continúa con una prensa o alguna forma de extractor (fig 2.38 ). Se debe tener cuidado de mantener la flecha derecha, para evitar daños por la inclinación. Con herramientas apropiadas de montar o desmontar cojinetes antifricción no es problema. Las herramientas impropias con frecuencia causan daño.



**Fig 2.38 Extracción de balero con una prensa de mandril**

Muchas fallas de los baleros se deben al uso inadecuado de los lubricantes, ya que sólomente deben usarse grasas o aceites minerales neutros de buena calidad.

Generalmente no deben usarse los lubricantes animales o vegetales debido a que pueden modificar sus propiedades por descomposición o formación de ácidos.

Una buena grasa para baleros debe tener las propiedades siguientes:

- a) Estar libre de ingredientes químicos o mecánicos activos.
- b) La mejor resistencia a cambio de consistencia.
- c) Punto de fusión considerablemente más alto que la temperatura de operación.

La selección de aceites lubricantes es más fácil que la grasa, ya que si son resistentes a la oxidación, a la formación de gomas, y a la evaporación puede escogerse principalmente con una viscosidad adecuada.

Para mantener segura la lubricación deben usarse cantidades mayores de aceite con viscosidad más alta para reducir las pérdidas por evaporación o escurrimiento.

Es una buena regla seleccionar un aceite que tenga una viscosidad satisfactoria a la temperatura de operación, teniendo en cuenta que la temperatura del aceite es 2.75 a 5.5 °C más alta que la de la caja de baleros y que la viscosidad deberá ser de 70 S.S.U. para baleros de bolas (Segundos saibolt universal).

Se debe tener cuidado evitando que el agua entre al balero ya que las partes del mismo se oxidarán y debido a ello fallarán. Demasiado enfriamiento en la caja de baleros causa condensado de la humedad ambiente dentro de la caja, por lo que el flujo del líquido enfriador deberá regularse para que el balero siempre se encuentre tibio y se debe cortar el suministro de enfriamiento cuando la bomba no esté en servicio.

No es conveniente programar un periodo fijo para remover el lubricante, sino seguir el periodo especificado por el fabricante de la bomba. El lapso para lubricar con grasa, puede determinarse por la velocidad y tamaño del balero.

Un balero grande a alta velocidad puede requerir grasa cada dos meses y menos si se opera continuamente; si no se opera continuamente requerirá cada cuatro o seis meses; mientras que un balero pequeño a baja velocidad, o uno que tenga poco servicio podrá necesitarlo una vez al año o cada dos años y será únicamente para compensar la posible descomposición de la propia grasa. Los baleros lubricados con

aceite, generalmente se surten con un nivel visible del mismo y deberá reponerse si se nota pérdida por alguna razón.

Para reponerse grasa en cajas de baleros que tienen tapones de drenaje y forzar la grasa por el balero hasta que empiece a salir grasa nueva. Entonces se debe hacer trabajar la bomba cuando menos veinte minutos antes de volver a poner el tapón de drenaje para permitir que el exceso de grasa inyectado escape de la caja.

Para hacer el cambio de aceite, es necesario drenar el aceite usado, lavar la caja de aceite y agregar el aceite nuevo.

- Lubricación de baleros.

La mayoría de las bombas centrífugas para servicio industrial, se surten con cojinetes lubricados con aceite; sin embargo, en las bombas para uso marino, la preferencia es por bombas lubricadas con grasa.

En los baleros lubricados por grasa, la grasa empacada dentro del balero, es arrojada hacia afuera por el movimiento de rotación de las bolas, creando una ligera succión en el carril interior. La grasa expulsada se enfría por el contacto con la caja y así es llevada nuevamente al carril interior, formándose una corriente continua de grasa para lubricar y enfriar el balero. Este método de lubricación requiere mínima atención y ha probado ser muy satisfactorio.

Como las cajas de baleros en las bombas verticales requieren sellos para evitar el escape del lubricante, generalmente se prefiere la grasa, porque disminuye la posibilidad de escurrimiento.

Un balero completamente lleno de grasa evita la circulación apropiada de grasa en sí mismo y en su caja. Por lo tanto, se recomienda dejar un espacio vacío en la caja. Una cantidad excesiva de grasa hace que se caliente el balero y la grasa fluirá hacia afuera para aliviar la situación; a menos que el exceso de grasa pueda escapar el balero fallará muy pronto.

Los baleros lubricados con aceite, requieren un método adecuado para mantener un nivel apropiado en la caja. Este nivel debe estar cerca del centro de la bola más baja, cuando la unidad está parada. Algunas veces se utilizan anillos lubricadores para abastecer de aceite a los baleros desde el depósito en la caja, otras veces se utilizan aceiteras de nivel constante y otras veces los dos sistemas.

- Cojinetes de manga (chumacera)

Aunque los cojinetes sencillos de chumacera cilíndrica o de manga han sido substituidos por baleros, en la mayoría de los diseños de bombas todavía tienen un gran campo de aplicación; algunas razones por las que se siguen usando son: su economía

de construcción; en trabajo pesado con diámetros de flechas en tales proporciones que no se consiguen fácilmente baleros de esa medida; en bombas verticales sumergidas en el que el cojinete está en contacto con el agua, etc.

La mayor parte de las chumaceras se lubrican con aceite y el material de que están hechas pueden variar; sin embargo, las chumaceras de babbit son las preferidas para servicio de trabajo pesado. La chumacera consta de una capa de babbit de 3.175 milímetros de espesor o más, que está anclada en la concha de la chumacera (que es de fierro fundido) por medio de ranuras de cola de pato.

Para asegurar una adherencia perfecta, las conchas primeramente se estañan y posteriormente se vacía el babbit a la temperatura de fusión del estaño.

Raras veces se usan chumaceras en bombas horizontales con impulsor volante; más bien se usan en aquellas diseñadas con cojinetes en ambos extremos.

Para este tipo de bombas puede haber los siguientes arreglos de las chumaceras:

a) Chumacera radial en un extremo, y chumacera radial axial en el otro.

b) Dos chumaceras radiales, una en cada extremo y un balero de carga axial en uno de los extremos.

c) Dos chumaceras radiales con bordes o caras en los extremos actuando en combinaciones con topes.

La lubricación en las chumaceras puede ser de dos tipos:

a) Por medio de anillo.

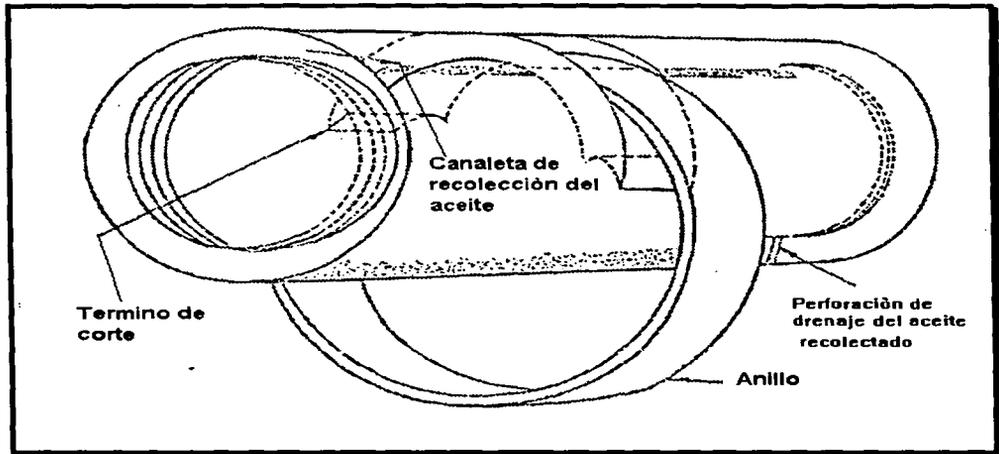
b) Forzada por medio de bomba.

En una chumacera lubricada por el sistema de anillo, el anillo corre sobre la flecha en una ranura cortada en la parte central de la mitad superior de la chumacera y al hacerlo levanta aceite que deposita en la caja de la chumacera. El aceite se separa en la parte superior de la flecha de la bomba, fluye entre el claro de la chumacera y la flecha y se descarga en los extremos de la chumacera. Este sistema de lubricación es satisfactorio solamente a velocidades de operación relativamente bajas.

Cuando el eje gira, el anillo es arrastrado y gira a su vez lentamente y en la misma dirección. El aceite que se adhiere al anillo es llevado por éste hasta el punto más alto del eje y se distribuye sobre la superficie del cojinete.

Las pérdidas de aceite por los extremos, es decir, la superficie del eje que soportada por el cojinete, caen de vuelta al depósito de aceite, de donde son

levantadas nuevamente. La fig 2.39 ilustra el buje de un cojinete y el anillo. Nótese la canaleta (vena) longitudinal de distribución, cortada en la parte más alta del cojinete y las canaletas (venas) circunferenciales de recolección de aceite, en los dos extremos del buje, con sus respectivas perforaciones para el drenaje del aceite recolectado.



**Fig 2.39 Buje de un cojinete y el anillo**

Generalmente se recomienda que el espacio libre entre la flecha y la chumacera no debe exceder 125% de la holgura original antes de que sea necesario cambiar la chumacera. Si la holgura diametral no se da en el instructivo correspondiente a la unidad, se puede aproximar sobre la base se debe permitir 0.001" por cada pulgada de diámetro.

Cuando se inspeccionan las chumaceras, es muy importante examinar la flecha en el lugar donde trabaja la chumacera; si está dañada, habrá que rectificarla y pulirse, las chumaceras deberán rellenarse y dar la tolerancia debida, teniendo cuidado de abrir el o los ductos de la lubricación forzada.

La lubricación forzada por medio de bomba puede ser ejecutada con una bomba de engrane, conectada directamente al extremo exterior de la flecha de la bomba, por medio de un acoplamiento flexible. La bomba toma el aceite de la caja de la chumacera o de un depósito independiente y lo descarga a presión a través de un

enfriador. Del enfriador el aceite fluye a las chumaceras y por gravedad regresa al depósito cerrando así el circuito.

## **Acoplamientos**

Las bombas centrífugas están conectadas a la máquina motriz (motor eléctrico, motor de combustión interna, turbina de vapor o de gas) por medio de acoplamiento, excepto las bombas conectadas en forma compacta en la que la flecha de la máquina motriz y de la bomba es la misma.

Los acoplamientos pueden ser:

- a) Rígidos
- b) Flexibles

Un acoplamiento que no permite movimiento axial o radial entre las flechas de la bomba y la máquina motriz se llama acoplamiento rígido. Conecta las dos flechas sólidamente y en efecto las convierte en una sola flecha. Este tipo de acoplamiento es usado principalmente en bombas verticales.

Un acoplamiento flexible, es un dispositivo que conecta dos flechas y que transmite el movimiento de rotación de la máquina motriz a la máquina y que transmite el movimiento de rotación de la máquina impulsada, en nuestro caso a la bomba, pero aceptando un pequeño desalineamiento que puede ser angular, paralelo o una combinación de ambos. Es por esto que falsamente se cree que no es necesario alinear perfectamente una bomba con su máquina motriz; sin embargo el desalineamiento es siempre indeseable y no deberá tolerarse permanentemente, ya que causa chicoteo en las flechas, aumenta el empuje en los cojinetes de la bomba y de la máquina motriz dando por resultado un mantenimiento excesivo y falla del equipo.

El acoplamiento flexible debe permitir también un desplazamiento lateral de las flechas, para que sus extremos puedan acercarse o alejarse por aumento o disminución en la temperatura, o desplazamiento de los centros magnéticos de los motores eléctricos, y moverse así sin aumentar el empuje en los cojinetes.

Entre los acoplamientos rígidos tenemos:

- 1) De abrazaderas.- Que consiste básicamente en una manga dividida provista de tornillos, de manera que pueda prensarse en los extremos adjuntos de las dos flechas y formar una conexión sólida. Generalmente se incorporan cuñas axiales y circulares en el acoplamiento de abrazaderas para que la transmisión del par y del empuje no se haga solamente dependiendo de la fricción de la sujeción. fig 2.40
- 2) De presión.- En el que la porción central del acoplamiento está formado por una manga ranurada en cuyo interior se alojan las flechas de la máquina motriz y la bomba y el diámetro exterior es cónico del centro hacia ambos extremos. Las dos mitades del

acoplamiento tienen un diámetro interior con la misma conicidad que la de la manga. Cuando se aprieta una a la otra con los tornillos, la manga ranurada se comprime contra las dos flechas y la sujeción por fricción transmite el movimiento sin el uso de cuñas. ver fig 2.

3)De tuerca.- En este tipo de acoplamiento el extremo de la flecha de la bomba lleva una cuerda en la que entra una tuerca que es el centro del acoplamiento. A ambos lados de esta tuerca se encuentran bridas, la de la bomba se fija por medio de una cuña y la de la máquina motriz se fija por cuña y pasador. Al acoplarse las bridas y la tuerca por medio de tornillos, queda rígida la unión. ver fig.2.42

Un croquis de cada uno de estos tipos se anexa a continuación.

Entre los acoplamientos flexibles se tienen:

1)Acoplamientos de pasador y amortiguador.- Es un cople flexible con pasadores sujetos a una de sus mitades, las cuales atraviezan los amortiguadores que se montan en la otra mitad del acoplamiento en la otra flecha. fig 2.43

Los amortiguadores están hechos de hule o de otro material compresible para dar la flexibilidad necesaria. Los pernos impulsores tienen un ajuste de deslizamiento con los amortiguadores, por lo que las pequeñas variaciones longitudinales se contrarrestan, mientras los errores de angularidad se contrarrestan por la flexibilidad del hule.

Una modificación al acoplamiento de pasador y amortiguador, es el conocido con el nombre de acoplamiento "LOVEJOY" o de estrella, y consiste en dos cubos con bridas, montadas en las flechas motriz y conducida con patas salientes o mordazas en las bridas. Estas mordazas encajan en un elemento central en forma de estrella generalmete hechos de hule que absorbe pequeños desalineamientos. ver fig 2.44

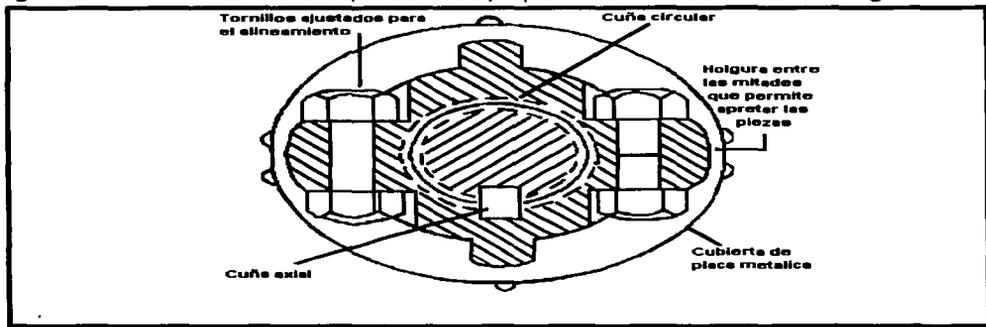


fig 2.40 Acoplamiento de abrazaderas

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

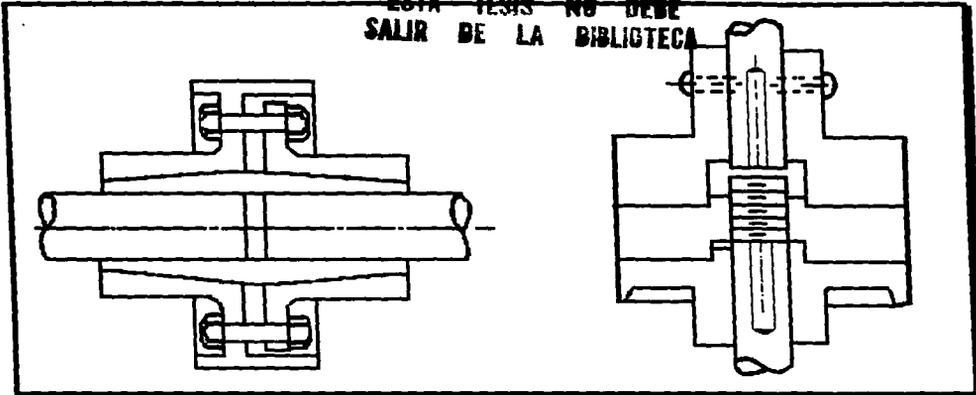


Fig 2.41 Acoplamientos de presión y de tuerca respectivamente

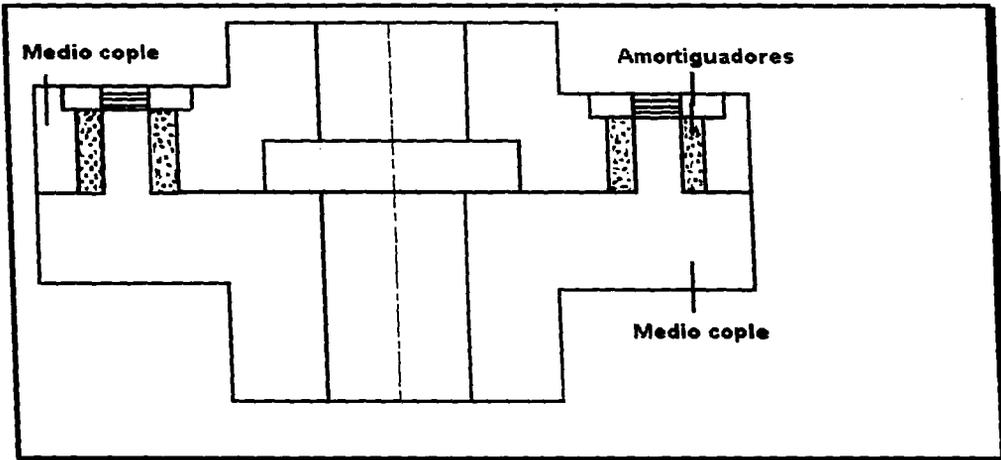


Fig 2.42 Acoplamiento de pasador y amortiguador

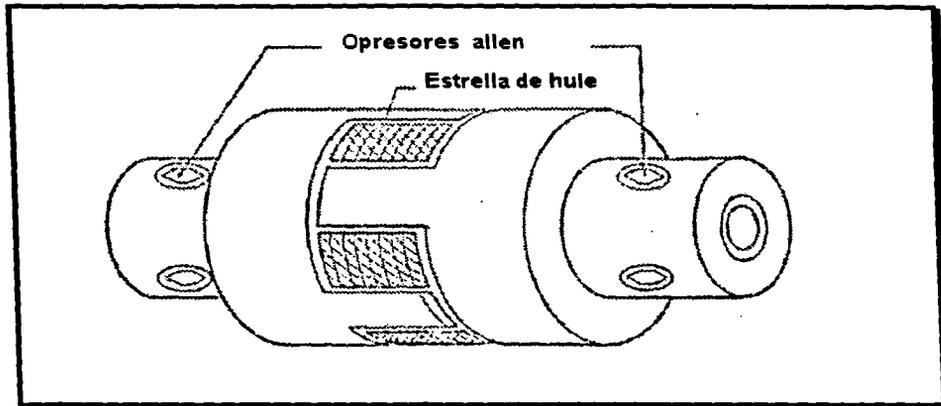


Fig 2.43 Acoplamiento Lovejoy o de estrella

### Acoplamientos flexibles totalmente metálicos.

Un acoplamiento totalmente metálico es aquel que tiene todas sus partes de metal. La flexibilidad de estos acoplamientos depende de placas metálicas o de resorte, mientras que en otros acoplamientos depende del desplazamiento angular y es posible con dos estrías conectadas con una manga también estriada.

Un caso típico de acoplamiento metálico, es el acoplamiento "FAST" que se presenta en la fig 2.43. En la cubierta exterior del acoplamiento, se ve que cada uno de los extremos está provisto de unos engranes con dientes cortados en su interior, los cuáles encajan con los engranes de las mitades motriz y conducida.

El movimiento se transmite a través de los dientes de los engranes, mientras que el movimiento por deslizamiento axial y la capacidad para ligeros ajustes de posición, se deriva de cierta libertad de acción que existe entre los dos juegos de dientes. Para evitar que los engranes se peguen (lo que ocasionaría que trabajara como acoplamiento rígido) se les pone aceite, el cuál, baña constantemente los engranes al circular dentro de la cubierta exterior.

Otro tipo de acoplamiento todo metálico, es el acoplamiento flexible "FALK" representado en la fig 2.43 ( A la derecha ), el cuál consiste de dos cubos de acero con bridas y un resorte especial de acero templado que forma una rejilla cilíndrica completa y una cubierta de acero como tapa. La periferia de los cubos está ranurada para que se introduzca el resorte. Las ranuras se ensanchan hacia el interior en forma

de arco con la curvatura de tal forma que los puntos de apoyo se acercan uno a otro al aumentar la carga. De hecho, las ranuras están formadas de manera que el esfuerzo en el resorte permanece constante durante toda la acción de acoplamiento.

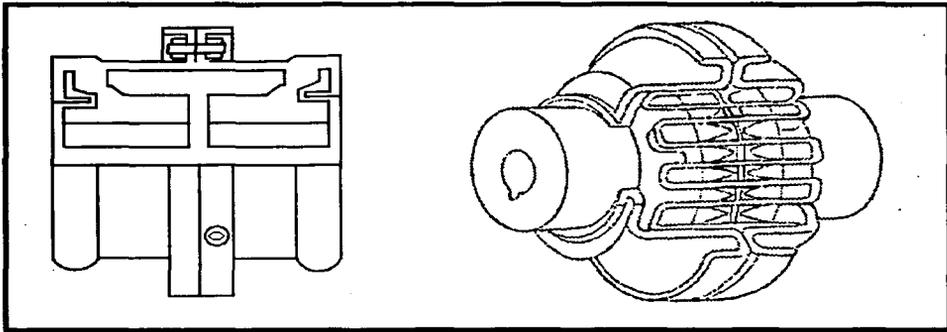


Fig 2.43 Acoplamiento fast y falk respectivamente

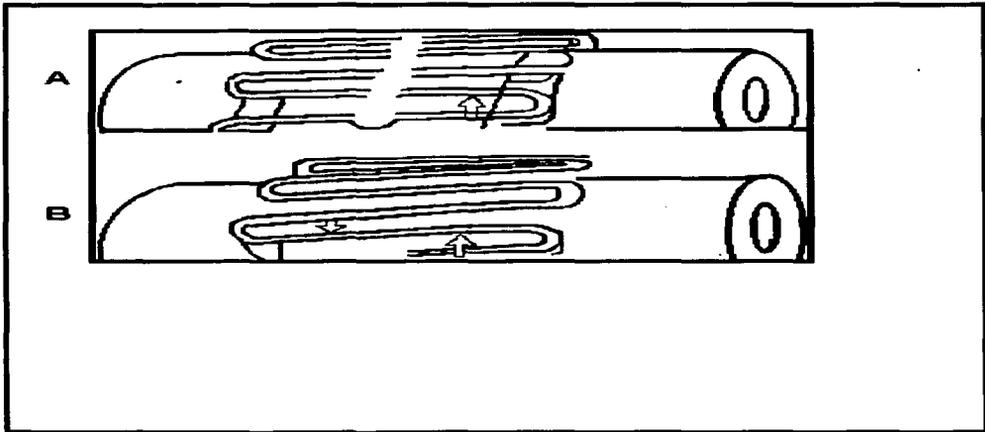


Fig 2.44 Acoplamiento Falk en operación

Durante la carga ligera (a), los resortes se acomodan en las ranuras exactamente en sus extremos interiores, por lo tanto, hay un largo tramo libre de resorte entre el punto de soporte y la fuerza se transmite casi a través de toda la longitud de las brazas flexibles del resorte. Durante la carga normal (b), la distancia entre los soportes en las ranuras se acorta automáticamente al aumentar la carga, endureciendo o reforzando el resorte contra el doblez. Durante una carga excesiva (c), la carga se vuelve tan grande que los resortes se apoyan en toda la longitud de la ranura, lo que hace posible la transmisión de severas sobrecargas. El acoplamiento flexible "Falk" está lubricado con grasa.

Todos los acoplamientos deben de estar protegidos por unas cubiertas estacionarias que rodean al cople y que se conocen con el nombre de "guardas", las que generalmente están hechas de malla o lámina de acero sujetas a la base de la bomba o a la cimentación de la misma y cuyo objeto es proteger al operador cuando la máquina se encuentra en servicio.

## **Mantenimiento de acoplamiento**

El problema principal que se tiene con un acoplamiento es debido a la falta de lubricación, que ocasiona que los acoplamientos se peguen no actuando como flexibles. Para evitar esto, es necesario programar una revisión periódica de los acoplamientos con objeto de hacerles limpieza y darle lubricación al mismo.

Algunas veces en los acoplamientos "FAST" se encuentra que los dientes de los engranes se ha barrido, ello es debido a falta de lubricación. Para rehabilitar este acoplamiento es necesario rellenar con soldadura todos los dientes desgastados y rehacerlos.

En los acoplamientos "FALK" lo que generalmente sucede es que el resorte se rompe; ello es debido a una sobrecarga excesiva, falta de lubricación en el mismo que ocasiona corrosión y por consiguiente disminución en el espesor del resorte sobreviniendo posteriormente la ruptura. Esta ruptura del resorte no tiene reparación; por lo que deberá tenerse en existencia el repuesto.

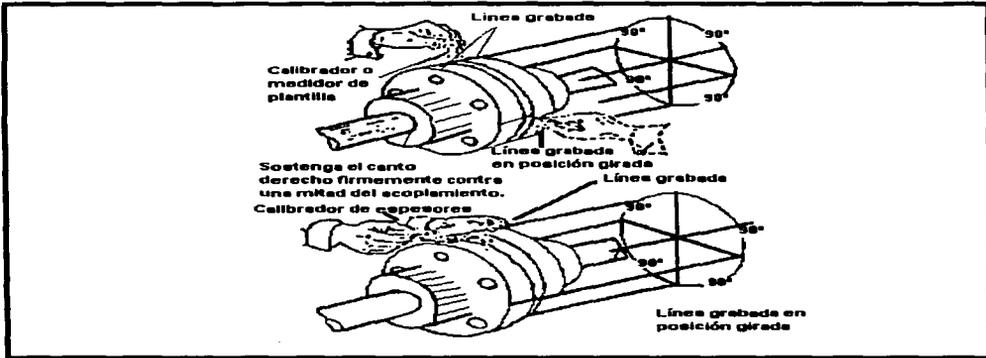
Los problemas de mantenimiento de bombas centrífugas pueden ser sencillas o complicadas; razón por lo cuál, hay que definir si las reparaciones se deben ejecutar en el lugar de instalación o si es necesario enviar la unidad a la planta del fabricante de la bomba. Para tomar esta decisión es necesario considerar varios factores como son: El tipo de servicio para el que la bomba este determinada, la construcción general de la bomba, la complejidad de las reparaciones requeridas, las facilidades disponibles en el lugar, etc.; algunas veces y en caso de tener suficiente equipo de relevo, la bomba se manda a la planta del fabricante para su reparación completa; en caso contrario las reparaciones o reconstrucciones se hacen localmente.

## Alineamiento

Cuando una unidad que consiste de bomba, base, acoplamiento e impulsor se arma en la fábrica, dentro de un taller, la placa de la base se coloca en una superficie plana y lisa, se monta la bomba y el motor o turbina y se alinean con precisión las mitades del cople; esto es a base de laines abajo de las superficies de montaje de la bomba del motor donde sea necesario. Generalmente, la bomba se fija con tornillos a la placa de la base en la fábrica, pero, como se describió previamente, el motor se asegura después de la instalación en el lugar porque el alineamiento de fábrica no se puede mantener con suficiente precisión para arrancar y operar la unidad sin volver a alinear en el campo.

Cuando la placa de la base se monta en el lugar y se conecta la tubería, puede ocurrir un mayor desalineamiento, a veces lo bastante serio para provocar falla de cojinetes y acoplamiento y, en algunos casos, la ruptura de la flecha. Si la bomba maneja líquidos a alta temperatura, el alineamiento final en el campo deberá hacerse con la bomba y el motor llevados a su temperatura de operación normal.

Antes de alinear, tanto el rotor de la bomba como el del impulsor deberán girarse a mano para asegurarse de que se mueven libremente. Se deberá colocar una regla recta a través del acoplamiento por un lado y por arriba; al mismo tiempo, las caras de las mitades del acoplamiento deberán verificarse con un medidor cónico de espesores o con un calibrador de hojas (fig 2.45) para ver que estén paralelas. Para todas las verificaciones de alineamiento, incluyendo el paralelismo de las caras del acoplamiento, ambas flechas deberán empujarse con fuerza hacia un lado al tomar medidas.

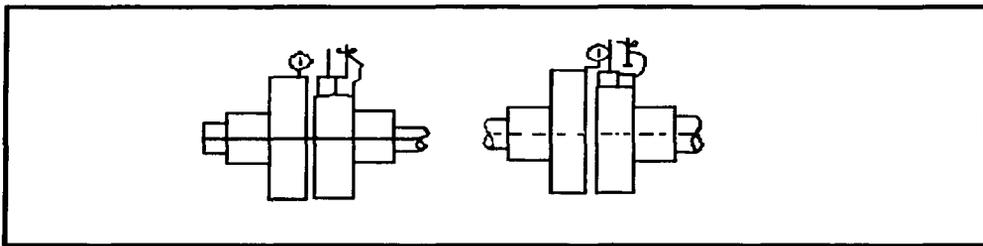


**Fig 2.45 Alineación de un acoplamiento usando calibradores de espesores**

Cuando las periferias de las mitades del acoplamiento son círculos perfectos del mismo diámetro y las caras están planas, existe un alineamiento exacto cuando la distancia entre las caras es la misma en todos los puntos y una regla recta asiente bien en cualquier punto de los cantos. Si las caras no están paralelas, los calibradores de espesores o de laines mostrarán una variación en distintos puntos. Si un acoplamiento está más alto que otro, la cantidad puede determinarse con la regla recta y los calibradores de hojas.

Algunas veces los medios de acoplamiento no son círculos perfectos y no son diámetros idénticos por las tolerancias de fabricación. La perfección de cada medio acoplamiento se verifica haciendo girar uno y sosteniendo el otro estacionario y verificando el alineamiento cada cuarto de revolución del medio de acoplamiento que se gira. Luego se sostiene estacionaria la mitad que se giró previamente y se verifica el alineamiento.

Se puede usar un indicador de carátula atornillado a la mitad del acoplamiento de la bomba para verificar tanto el alineamiento radial como axial en vez de la regla recta y el calibrador de laines ( fig 2.46 ). Con el botón descansando en la periferia del otro acoplamiento, se debe colocar en cero la manecilla indicadora y hacer con gis una marca en el puto del medio acoplamiento en el que está el botón.



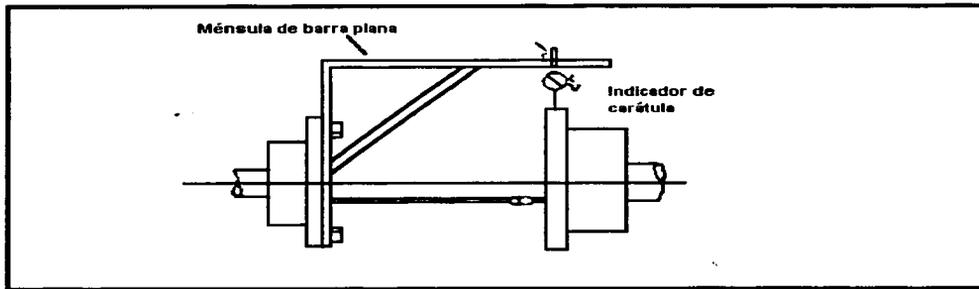
**Fig 2.46** Uso del indicador de carátula para alinear un acoplamiento normal

Para cualquier verificación (arriba, abajo o a los lados), ambas flechas deberán girarse una cantidad igual, es decir, todas las lecturas en la carátula deberán hacerse con el botón en la marca de gis. Las lecturas de la carátula indicarán si el motor debe elevarse, bajarse o moverse a uno o a otro lado. Después de cualquier movimiento, es necesario verificar que las caras del acoplamiento permanezcan paralelas una respecto a la otra.

Por ejemplo, si la lectura del indicador en el punto inicial se coloca en cero y la lectura diametral opuesta en el fondo o en los lados es de  $\pm 0.020''$ , el motor deberá subirse o bajarse con laines o moverse a un lado u otro la mitad de la lectura.

Cuando se conecta con un acoplamiento de extensión la bomba con su motor, se deberá usar un indicador de carátula para verificar el alineamiento (fig 2.47). Se deberá quitar la pieza de extensión (CARRETA) de entre los dos medios acoplamientos, exponiendo los cubos. Se deberá utilizar la tuerca del acoplamiento de la flecha para fijar un brazo de extensión apropiado o ménsula suficientemente larga para que alcance entre los dos medios acoplamientos. El indicador de carátula se monta en este brazo y se verifica el alineamiento tanto de concentricidad de los diámetros de los cubos como el paralelismo de sus caras. Con el cambio del brazo de un cubo al otro se obtiene una verificación adicional.

El espacio libre entre las caras de acoplamiento del tipo de tornillo y amortiguador y los extremos de las flechas en otros tipos deberá fijar de manera que las caras no puedan tocarse, rozarse o jalar ya sea la bomba o el motor. Este espacio libre variará de acuerdo con el tamaño y tipo de acoplamiento usado. Un espacio suficiente permitirá un movimiento del extremo de la flecha sin obstaculos del elemento motor hasta el límite de su tolerancia de cojinetes. En unidades movidas por motor eléctrico, el centro magnético del mismo determinará la posición de trabajo de la mitad del acoplamiento correspondiente.



**Fig 2.47 Uso del indicador de caratula para alinear un acoplamiento de tipo de extensión**

Esta posición deberá verificarse operando el motor mientras está desconectado; también deberá verificarse la dirección de rotación del motor. Si no se tiene corriente disponible, se deberá mover la flecha del motor en ambas direcciones tanto como lo permitan los cojinetes, luego se deberá armar con la separación correcta entre los dos medios coples.

Los motores eléctricos horizontales grandes con chumaceras generalmente no están equipados con chumacera de empuje. Se permite que el rotor flote y aunque busque su centro magnético, una fuerza de magnitud muy pequeña puede hacer que

se salga de su centro. Algunas veces se moverá lo bastante como para hacer que el collar de la flecha se ponga en contacto con el cojinete, provocando generalmente serias dificultades a las chumaceras del motor. Para evitar esto, los fabricantes de bombas y motores han convenido en usar un acoplamiento de flotación limitada entre el motor y la bomba en todas las unidades de tamaño grande, sacando ventajas del hecho de que todas las bombas están equipadas con cojinetes de empuje adecuados. De esta manera, el rotor del motor se mantiene dentro de una posición restringida.

Cuando las bombas se mueven con turbinas de vapor, el alineamiento final deberá hacerse con la turbina calentada a su temperatura de operación. Cuando esto no es posible al tiempo de alinearla, se debe dejar una tolerancia adecuada para que se eleve la flecha cuando se expande la unidad. Siempre deberá verificarse el alineamiento cuando la unidad está a la temperatura de operación y ajustarse según se requiera, antes de poner la bomba en servicio. El calor aplicado a la tubería de entrada y descarga de vapor causa expansión, y la instalación deberá hacerse de modo que las boquillas de la turbina no queden sujetas a esfuerzos por la tubería.

## **Empuje axial**

Durante la operación de la bomba, la presión que se tiene en la descarga de la misma es mayor que la presión en la succión. Por lo tanto se tendrá aplicada una fuerza contra el impulsor que lo empuja hacia la succión de la bomba ya que la resultante de las dos fuerzas que se aplican da como resultado que el impulsor sea empujado hacia la succión, considerando que en ese lugar la fuerza que se aplica es menor que la que se ejerce en la descarga.

Este desbalanceo de fuerzas creará un empuje a lo largo de la flecha. Para vencer este empuje y mantener el impulsor en su lugar, se usa un cojinete de empuje.

Para reducir al mínimo el escurrimiento desde la descarga hasta la succión, se usan unos anillos de desgaste que se colocan en el ojo del impulsor estando uno fijo a la cubierta y otro fijo al impulsor.

Otra forma de reducir el empuje es comunicado por medio de unos agujeros en el impulsor el ojo de succión con la parte posterior del impulsor donde se forma una cámara de las mismas dimensiones del ojo.

En las bombas múltiples, se usan varios métodos para reducir el empuje. Algunas bombas se construyen poniendo parte de los impulsores con la cara para un lado, y parte para el otro lado y de esta manera unos impulsores absorben el empuje de los otros.

### **Tambor de balanceamiento**

Cuando los impulsores están colocados en la misma dirección sobre la flecha, el empuje puede reducirse con un tambor de balanceamiento.

El empuje total de los impulsores es la suma del empuje de cada uno de ellos.

En un lado del tambor de balanceamiento se tiene la presión de descarga y en el otro lado se tiene una cámara que se comunica con la succión por medio de una línea de balance.

La presión de descarga produce una fuerza que empuja el tambor en una dirección. El tamaño del tambor está calculado para balancear el empuje, teniendo además la ayuda de la presión de succión que está comunicada por la línea de balance.

A medida que aumenta el espacio entre el tambor de balanceamiento y la cubierta debido al desgaste, aumentará el escurrimiento y por consiguiente las pérdidas, quedando de esta manera disminuida la eficiencia volumétrica y también disminuida la capacidad de balanceamiento.

## **Capítulo 3** Elementos de un sistema de bombeo

## **ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO**

### **3.1 Distribución de equipo dentro de un área asignada**

Al hacer la distribución de equipo deberán tomarse en cuenta varios factores, como: requerimientos durante el montaje y funcionamiento del equipo; mantenimiento, ampliaciones futuras y estética.

#### **Requerimientos de montaje**

Deberá tenerse cuidado de que haya acceso para todo el equipo a instalar siguiendo un procedimiento de maniobras adecuado; así mismo, deberán preverse accesorios adicionales maniobrar el equipo, como grúas o polipastos de acuerdo a las condiciones de instalación.

#### **Funcionamiento del equipo**

Se deberán considerar los puntos de succión y descarga de líquido para localizar y orientar las bombas en la forma más conveniente, teniendo cuidado de que haya suficiente espacio para colocar la tubería con todos sus accesorios requeridos para la operación y control del equipo, también deberá tenerse en cuenta el espacio requerido para el fácil acceso de la operación de volante de las válvulas, (en caso de que las lleve), y para la lectura de instrumentos de control

#### **Mantenimiento**

Deberán dejarse espacios suficientes para mantenimiento, teniendo cuidado de que con el mecanismo de izaje de equipo pueda ser llevado al área prevista para tal fin. También se deberán prever las necesidades de espacio para el montaje y desmontaje de equipo y accesorios.

#### **Ampliaciones futuras**

Se deberá checar si se preeven expansiones futuras, para considerar espacio suficiente de acuerdo al número de equipos que serán necesarios para cubrir las necesidades previstas.

#### **Estética**

Este aspecto es, en orden prioritario, el último; sin embargo no debe despreciarse, ya que una distribución de equipo ordenado y agradable a la vista, generalmente, es también funcional.

### 3.2 Diseño de tuberías

La información que se incluye en este capítulo es muy general ya que existen muchas ediciones o libros donde se pueda consultar más ampliamente, además de que el estudio de estos dispositivos es muy extenso y especializado en este trabajo sólo se toma como referencia para el desarrollo de capítulos posteriores, es de esperarse que este material despierte interés en el lector y que pueda servir como punto de partida para estudios adicionales, los que podrán hacerse utilizando los libros de la bibliografía indicada.

Se ha hecho un intento para cubrir las necesidades en lo que se refiere a materiales y accesorios más usados en las tuberías para las plantas de bombeo, y de los diferentes sistemas que se tienen en todas las plantas.

Se piensa que no hay ningún otro producto industrial tan relacionado con el progreso del género humano, como el tubo. Desde tiempos muy remotos ya se conocían muy bien los conductos de una u otra especie para transporte de agua, quizá siglos antes del inicio de registro en la historia.

Desde principios de este siglo la generación de energía a partir de vapor, ha recibido fuerte impulso, las primeras tuberías utilizadas se construyeron para satisfacer las necesidades de presión de las diferentes operaciones hidráulicas de las plantas de vapor.

En contraste con los métodos primeramente usados para la fabricación de tuberías, estas se fabrican actualmente por muy diferentes procesos y de diferentes materiales, tales como: acero, aleaciones de acero, latón, vidrio, plástico, hule.

El acero y las aleaciones de acero son los materiales más comúnmente usados, la fabricación del tubo puede hacerse, ya sea, a partir de placa plana para una forma cilíndrica, utilizando algunos de los métodos de soldadura conocidos (tope, traslape, fusión y espiral), o por horadación de un lingote caliente, utilizando para ello rodillos giratorios.

El método de horadación de lingote produce tubo sin costura, que pueden usarse para resistir esfuerzos de valor muy elevado, se le usa espacialmente en operaciones en las que tienen temperaturas y presiones altas. El método es similar al utilizado en la fabricación de tubo sin costura, con excepción de que en éstos, las tolerancias son más rígidas.

## Diámetro de los tubos

Los tubos y productos tubulares pueden obtenerse en una gran variedad de tamaños y materiales debido a que el acero es el material más comúnmente usado en tuberías ( más que el plástico y que algunas otras aleaciones y metales), resulta muy común referir las denominaciones a todas las de acero.

Se especifica el diámetro de un tubo mediante un valor nominal, el que corresponde a su diámetro real, así por ejemplo un tubo de 2" tiene un diámetro exterior de 2,375" y un diámetro interior en el que el espesor de la pared se especifica de acuerdo a la cédula utilizada variando este diámetro de 2.067" hasta 1.503 ".

Las variaciones en diámetros desde 1/8" en adelante; en tubos de acero de 1/8" a 1/4" de diámetro son diámetros nominales interiores y de 1/4" en adelante son diámetros nominales exteriores (véase tabla correspondiente). En todos estos tamaños se tienen 200 o más variaciones de espesor de las cuales, quizá unos 100 son difíciles de obtener, salvo que se tenga una orden especial para su fabricación

### ESPECIFICACIONES DE TUBERÍA DE ACERO

Diámetro nominal	Cédula	Diámetro plg	Ext mm	Diámetro plg	Interior mm	Espesor plg	mm	Peso Kg/m
1/8"	40	0.405"	10.29	0.268"	6.83	0.068"	1.73	0.357
	80	0.405"	10.29	0.215"	5.46	0.095"	2.41	0.461
1/4"	40	0.540"	13.72	0.364"	9.25	0.088"	2.24	0.625
	80	0.5402	13.72	0.364"	7.67	0.119"	3.02	0.804
3/8"	40	0.675"	17.15	0.493"	12.52	0.091"	2.31	0.846
	80	0.6752	17.15	0.423"	10.74	0.126"	3.20	1.101
1/2"	40	0.840"	21.34	0.622"	15.80	0.109"	2.77	1.265
	80	0.840"	21.34	0.540"	13.87	0.147"	3.73	1.622
	160	0.840"	21.34	0.466"	11.84	0.187"	4.75	1.935
	XXS	0.840"	21.34	0.352"	6.40	0.294"	7.47	2.544
3/4"	40	1.050"	26.67	0.824"	20.93	0.113"	2.87	1.682
	80	1.050"	26.67	0.742"	18.85	0.154"	3.91	2.188
	160	1.050"	26.67	0.614"	15.60	0.218"	5.54	2.887
	XXS	1.050"	26.67	0.434"	11.02	0.308"	7.82	3.631
1"	40	1.315"	33.40	1.049"	26.64	0.133"	3.38	2.500
	80	1.315"	33.40	0.957"	24.31	0.179"	4.55	3.225
	160	1.315"	33.40	0.815"	20.70	0.250"	6.35	4.225
	XXS	1.315"	33.40	0.599"	15.21	0.358"	9.09	5.446

**Elementos de un sistema de bombeo**

1 1/4"	40	1.660"	42.16	1.380"	35.05	0.140"	3.56	3,378
	80	1.660"	42.16	1.278"	32.46	0.191"	4.85	4,464
	160	1.660"	42.16	1.160"	29.46	0.250"	6.35	5,595
	XXS	1.660"	42.26	0.896"	22.76"	0.382"	9.70	7,752
1 1/2"	40	1.900"	48.26	1.610"	40.89	0.145"	3.68	4,048
	80	1.900"	48.26	1.500"	38.10	0.200"	5.08	5,402
	160	1.900"	48.26	1.338"	33.99	0.281"	7.14	7,232
	XXS	1.900"	48.26	1.100"	27.94	0.400"	10.16	9,538
2"	40	2.375"	60.33	2.067"	52.50	0.154"	3.91	5,432
	80	2.375"	60.33	1.939"	49.25	0.218"	5.54	7,471
	160	2.375"	60.33	1.689"	42.90	0.343"	8.71	11,072
	XXS	2.375"	60.33	1.503"	38.18	0.436"	11.07	13,437
2 1/2"	40	2.875"	73.03	2.469"	62.71	0.203"	5.16	8,616
	80	2.875"	73.03	2.323"	59.00	0.276"	7.01	11,399
	160	2.875"	73.03	2.125"	53.98	0.375"	9.53	14,896
	XXS	2.875"	73.03	1.771"	44.98	0.552"	14.02	20,386
3"	40	3.500"	88.90	3.068"	77.93	0.216"	5.49	11,280
	80	3.500"	88.90	2.900"	73.66	0.300"	7.62	15,254
	160	3.500"	88.90	2.625"	66.68	0.438"	11.13	21,310
	XXS	3.500"	88.90	2.300"	58.42	0.600"	15.24	27,647
3 1/2"	40	4.000"	101.60	3.548"	90.12	0.266"	5.74	13,557
	80	4.000"	101.60	3.304"	85.45	0.318"	8.08	18,617
	160	4.000"	101.60					
	XXS	4.000"	101.60	2.728"	69.29	0.636"	16.15	32,906
4"	40	4.500"	114.30	4.026"	102.26	0.237"	6.02	16,057
	80	4.500"	114.30	3.826"	97.18	0.337"	8.56	22,293
	120	4.500"	114.30	3.625"	92.08	0.438"	11.12	28,290
	160	4.500"	114.30	3.438"	87.33	0.531"	13.19	33,498
	XXS			3.152"	80.06	0.674"	17.12	40,980
5"	40	5.563"	141.30	5.047"	128.19	0.258"	6.55	21,757
	80	5.563"	141.30	4.813"	122.25	0.375"	9.53	30,924
	120	5.563"	141.30	4.563"	115.90	0.500"	12.70	40,240
	160	5.563"	141.30	4.313"	109.55	0.625"	15.88	49,050
	XXS	5.563"	141.30	4.063"	103.20	0.750"	19.05	57,362
6"	40	6.625"	168.28	6.065"	154.05	0.280"	7.11	28,000
	80	6.625"	168.28	5.761"	146.33	0.432"	10.97	42,317
	120	6.625"	168.28	5.501"	139.73	0.562"	14.27	54,154
	160	6.625"	168.28	5.189"	131.80	0.718"	18.24	67,414
	XXS	6.625"	168.28	4.897"	124.38	0.864"	21.95	79,102
8"	20	8.625"	219.08	8.125"	296.38	0.250"	6.35	33,275

**Elementos de un sistema de bombeo**

	30	8.625"	219.08	8.071"	205.00	0.277"	7.04	36.758
	40	8.625"	219.08	7.981"	202.72	0.322"	8.28	38.022
	60	8.625"	219.08	7.813"	198.45	0.406"	10.31	53.038
	80	8.625"	219.08	7.625"	193.68	0.500"	12.70	64.571
	100	8.625"	219.08	7.439"	188.95	0.593"	15.08	75.703
	120	8.625"	219.08	7.189"	182.60	0.718"	18.24	90.227
	140	8.625"	219.08	7.001"	177.83	0.812"	20.62	100.838
	160	8.625"	219.08	6.813"	173.05	0.900"	23.01	111.161
	XXS	8.625"	219.08	6.875"	174.63	0.875"	22.23	107.761
10"	20	10.750"	273.05	10.250"	260.35	0.250"	6.35	41.728
	30	10.750"	273.05	10.136"	257.45	0.307"	7.80	50.955
	40	10.750"	273.05	10.020"	254.51	0.365"	9.27	60.241
	60	10.750"	273.05	9.750"	247.65	0.500"	12.70	81.462
	80	10.750"	273.05	9.564"	242.93	0.593"	15.08	95.733
	100	10.750"	273.05	9.314"	236.58	0.718"	18.24	114.484
	120	10.750"	273.05	9.064"	230.23	0.843"	21.41	132.744
	140	10.750"	273.05	8.750"	222.25	1.000"	25.40	154.962
160	10.750"	273.05	8.500"	215.90	0.125"	28.58	172.106	
12"	20	12.750"	323.85	12.250"	311.15	0.250"	6.35	49.675
	30	12.750"	323.85	12.090"	307.09	0.330"	8.38	65.137
	40	12.750"	323.85	11.938"	303.23	0.406"	10.31	79.661
	60	12.750"	323.85	11.626"	295.30	0.562"	14.27	108.874
	80	12.750"	323.85	11.376"	288.95	0.687"	17.45	131.717
	100	12.750"	323.85	11.064"	281.03	0.843"	21.41	159.531
14"	10	14.00	355.60	13.500"	342.90	0.250"	8.35	
	20	14.00	355.60	13.376"	339.25	0.312"	8.92	
	30	14.00	355.60	13.250"	336.65	0.375"	9.52	
	40	14.00	355.60	13.126"	333.40	0.437"	11.09	
	60	14.00	355.60	12.814"	325.47	0.593"	15.08	
	80	14.00	355.60	12.500"	317.50	0.750"	19.05	
	100	14.00	355.60	12.126"	307.90	0.937"	23.80	

Para los tubos de acero inoxidable, hierro fundido y materiales no ferrosos, hay también una variación de tamaños y espesores. No se incluye la información descriptiva de ellos, ya que no los usaremos tan ampliamente como los tubos de acero.

Las secciones de tuberías pueden ser unidas por diferentes técnicas y así se encuentran tuberías roscadas, soldadas o bridadas, ya que el tubo puede ser fabricado de diferentes diámetros y varios espesores, se necesita una estandarización y un método de identificación de tamaños de tubería, el cuál ha sido establecido por la

"American Standards Asociation", por tal motivo el tamaño de tubería y accesorios esta definido en términos de un diámetro nominal y un espesor de pared.

## Numero de cédula

Las tablas anteriores constituyen una lista condensada de los tamaños nominales de tubos de acero; se incluye solamente una parte de la variedad de pesos y tamaños nominales en que se fabrican. Todas las columnas de la tablas anteriores se explican por sí mismas, con excepción de la columna correspondiente al número de cédula. Este número se obtiene en forma aproximada a partir de la expresión.

Número de Cédula =  $1000 p/s$

donde:

p= presión interna en LB/PG<sup>2</sup>

s= esfuerzo admisible de trabajo en (lb/pg<sup>2</sup>)

Esta expresión esta basada en la formula para el cálculo del espesor del tubo:

$$t = (PD/25) + C$$

donde:

D= Diámetro exterior del tubo en pg.

t= Espesor del tubo en pg.

C= Tolerancia por corrosión, dimensional.

Por lo tanto, el número de cédula es una expresión que resulta aproximadamente proporcional a la relación entre la presión de trabajo y el esfuerzo admisible, así como también a la relación entre el espesor corroído y el diámetro, los números de cédula que están en uso son los siguientes: 10, 20, 30 40 60, 80 , 100 , 120 , 140, 160

## Materiales de construcción en tuberías

Se tienen más de 150 materiales diferentes, especificados por la **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM)**, para usarse en la fabricación de tubos, entre ellos se incluye el acero, aleaciones de acero y una amplia selección de materiales no ferrosos como el tubo de plástico, el cuál se instala muy fácilmente debido a que es de peso ligero y esto hace que sea de manejo muy fácil, por lo que su uso resulta ser muy económico.

Los números de la A.S.T.M. no precisan completamente los tubos, es de esperarse que las futuras especificaciones que se hagan para tubos de acero sean más detalladas, de tal manera que con un número simple, sea suficiente para designarlas.

A modo de ilustración citamos el caso de ASTM-106, con ésto se especifica que es un tubo sin costura, por lo que será necesario una clasificación diferente, tal como, soldado a tope o soldado a solapa; también es necesario especificar el grado.

En la tabla anterior se dió una lista de algunos tipos de productos tubulares usados en las tuberías, esta lista es muy similar a la que proporciona el código, con excepción de que no proporciona los esfuerzos admisibles, los que varían de acuerdo a la temperatura.

### **Especificaciones de tuberías**

Las especificaciones de tuberías se deben preparar con mucho cuidado para obtener los diseños más económicos. Las especificaciones: tubos, válvulas y accesorios, según sea el tipo de servicio que junto con los dibujos de las mismas constituyen una descripción completa de todo el sistema de tuberías.

El primer paso para formar las especificaciones de tubería es el de la preparación de una lista de todos los procesos y fluidos utilizados en las planta; la lista incluye la descripción de cada fluido, su presión, temperatura y cualquier otra particularidad del servicio, un estudio detenido de esta lista, basada en el conocimiento de las propiedades de los materiales de las tuberías, así como también de las condiciones de operación, revelará ciertas características o clasificaciones de los servicios sobre los que se basarán las especificaciones en la elaboración. Debe evitarse ir a los extremos, se pueden tener especificaciones por separado para cada fluido y también para ciertas clases de operaciones pequeñas.

### **3.2 Válvulas**

En este trabajo también se hace importante el análisis de las características principales de las válvulas más comunes, y para esto diremos que, una válvula se define como un dispositivo mecánico que nos permite controlar un fluido (líquidos, aire, gas, etc.), que se conducen o manejan através de tuberías de acuerdo con el fluido, el volumen, la temperatura, la presión y el control que se desea ejercer sobre este, se han diseñado en una gran variedad de tipos diferentes de válvulas.

#### **Objetivo**

De acuerdo a lo anterior, una válvula puede tener cualquiera de las siguientes funciones o la combinación de ellas:

1. OBTURAR O PERMITIR EL FLUJO
2. REGULAR EL FLUJO
3. PREVENIR RETROCESO DEL FLUJO

## **TIPOS Y FACTORES PARA SU SELECCIÓN Y APLICACIÓN**

Existe una gran variedad de tipos de válvulas y entre los más comunes, encontramos los que a continuación se describen:

De esta gran variedad de válvulas se utilizará la más recomendable de acuerdo a las funciones que vaya a desarrollar en cada instalación y para un requerimiento específico.

### **Válvula check**

La válvula check es para proteger la bomba de cualquier posible presión excesiva en sentido inverso, o para evitar una rotación en sentido contrario, causada por el líquido cuando regrese hacia la carcasa, durante una falla del propulsor o de la energía. Esta válvula se coloca entre la bomba y la válvula de compuerta, y debe tener el mismo diámetro; la presión que soportará la válvula check, será la misma que deberá soportar la tubería y esta será la presión del sistema más el 30% del valor del golpe de ariete determinando con la fórmula de Lorenzo Allievi ( ya que el otro absorberá la válvula de alivio), ver figura.

### **Servicio recomendado:**

- Retención del contraflujo
- Mínima caída de presión
- Baja frecuencia de operación
- Velocidades bajas
- Instalación en líneas horizontales y verticales.

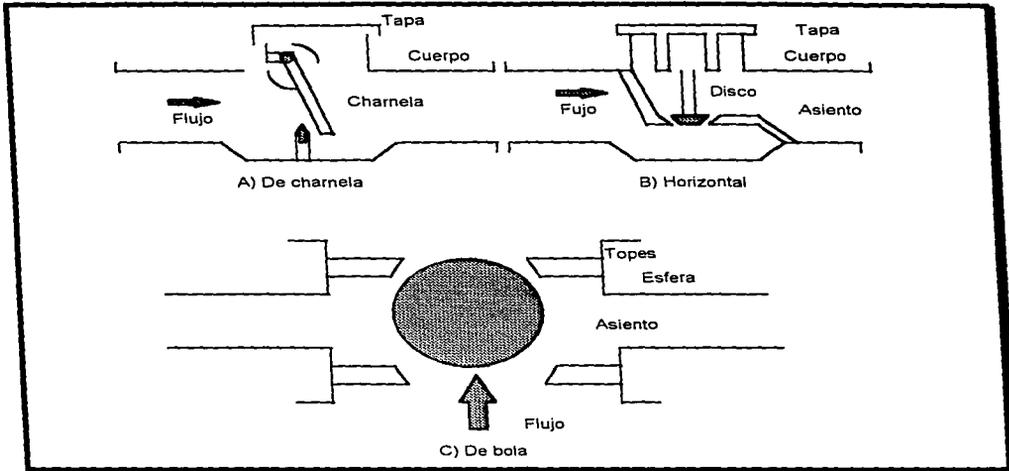


Fig 3.1 Válvula Check

### Válvula de compuerta

Las válvulas de compuerta se caracterizan porque su cierre o apertura se efectúa mediante un elemento móvil que se desliza en plano paralelo a los asientos de la válvula cortando el flujo transversalmente.

Se debe cerrar lentamente en zona de descarga cuando se requiera parar la bomba siguiendo las instrucciones de cada fabricante. Si la bomba está trabajando con succión positiva se debe cerrar también la válvula con la finalidad de no desperdiciar fluido por el prensa estopas, y también, para evitar la entrada de cuerpos extraños dentro de dicha caja, ver figura 3.2.

#### SERVICIO RECOMENDADO

- Completamente abierta o cerrada
- No parar regular
- Mínima caída de presión
- Operación poco frecuente.

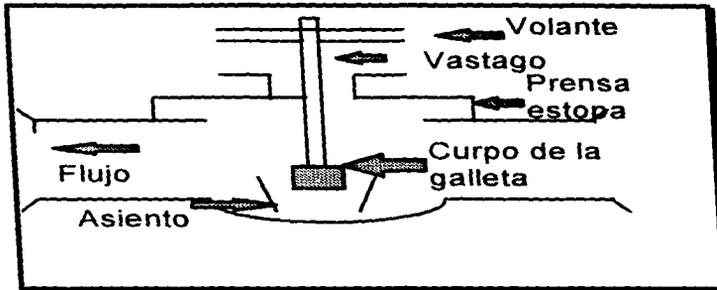


Fig 3.2 Válvula de compuerta

### Válvula de globo

La función primordial de éstas válvulas es regular el flujo desde el cierre completo hasta la capacidad máxima, el cambio en la dirección del fluido a través de este tipo de válvulas, produce la caída de presión necesaria para la regulación.

Tanto el material utilizado en el vástago, como el sistema de guía del disco permiten operar frecuente y eficientemente la válvula.

#### SERVICIO RECOMENDADO.

- Regulación del flujo
- Operación frecuente
- Mayor caída de presión
- Cierre positivo.

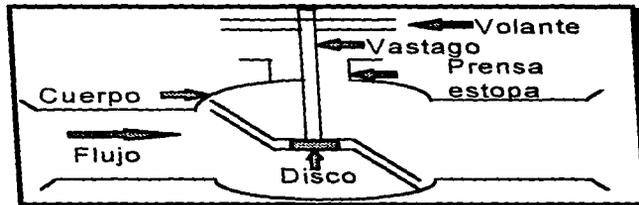


Fig 3.3 Válvula de globo

### Válvula de mariposa

La válvula de mariposa se emplea con el objeto de aislar cuando se requiere algún elemento o sección de la instalación, con el fin de efectuar alguna reparación, inspección, dar mantenimiento en general, sin que por ello se interrumpa totalmente el sistema de bombeo, ya que evita el regreso del fluido al cárcamo por alguna bomba que no este operando; esta válvula substituye a la de compuerta cuando se requieren diámetros grandes y presiones bajas; puede ser manual, semiautomática, mediante dispositivos, neumáticos, hidráulicos o eléctricos.

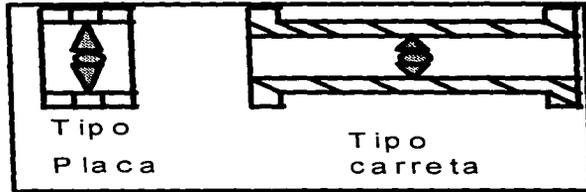


Fig 3.4 Válvula de mariposa

### Válvula de alivio

Las válvulas aliviadoras de presión, son empleadas para proteger el equipo de bombeo, tuberías y demás elementos en la conexión contra los cambios bruscos de presión que se producen por el arranque o paro de la bomba. La válvula está diseñada de tal manera que pueden abrirse automáticamente (eléctrica o hidráulicamente).

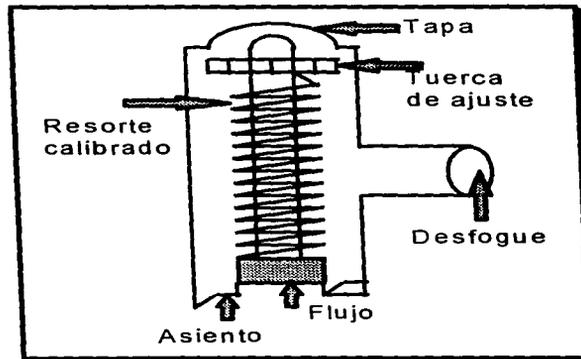


Fig 3.5 Válvula de alivio

## Perdidas por fricción en las tuberías, válvulas y accesorios.

### Fricción:

**Definición:** Es la columna equivalente necesaria para vencer la resistencia al paso del líquido en tuberías, válvulas y accesorios de un sistema de bombeo. La columna de fricción existe tanto en la succión como en la descarga de una bomba y varía con la velocidad del líquido, tamaño del tubo, condición interior del tubo, tipo de tubo y clase de líquido que se maneja.

Quando se selecciona un sistema de bombeo es necesario considerar la pérdida de altura de elevación por fricción que puede ocurrir cuando la tubería es nueva, en este caso utilizaremos la fórmula de "DARCY-WEISBACH" la cuál nos dice lo siguiente:

$$h_f = f * (L/D) * (V^2/2g)$$

donde:

$h_f$  = pérdida de carga en metros de líquido

$f$  = factor que depende de la rugosidad relativa de la tubería, velocidad del líquido y diámetro de la tubería.

$L$  = Longitud de la tubería en metros

$D$  = Diámetro interior en cm.

$V$  = Velocidad en metros por segundo

$g$  = Aceleración debido a la gravedad 9.81 (m/seg<sup>2</sup>)

También puede resultar que después de algunos años en servicio, un sistema de bombeo se tenga que calcular nuevamente las pérdidas por fricción para este caso es recomendable utilizar la fórmula de "WILLIAM Y HAZEN"

$$h_f = 82.7 (Q/C) 1.825 (C/D) 4.87 L.$$

donde:

$h_f$  = pérdida de altura de elevación para la longitud  $L$  en M de agua.

$Q$  = flujo en LTS/MIN

$C$  = coeficiente de la superficie interior del tubo mientras más liso el tubo el valor de  $L$  es mayor.

$L$  = longitud en metros

También se pueden calcular las pérdidas por fricción en válvulas y accesorios en cualquiera que sea el tamaño de la tubería, esta pérdidas se pueden expresar en porcentajes de la elevación correspondiente a la velocidad y se pueden calcular con la formula:

$$h_f = K(V^2/2g)$$

donde:

$h_f$  = pérdida en metros de líquido

$K$  = constante( dependiendo del diseño del accesorio)

$V$  = velocidad, en metros por segundo.

$g$  = aceleración debida a la gravedad (9.81 m/seg<sup>2</sup>)

	VALOR DE K
VALVULA DE GLOBO	10
VALVULA DE ANGULO	5
VALVULA DE RETENCIÓN TOTALMENTE ABIERTA	1.5 - 2.5
CODO DE RADIO LARGO	0.2
VALVULA DE COMPUERTA	0.2

**NOTA:** La columna o pérdidas por fricción, existen únicamente cuando hay circulación del líquido bombeado por las tuberías.

**Capítulo**  
**4**

**Operación**

## **OPERACIÓN**

### **GENERALIDADES**

Las bombas centrífugas generalmente se seleccionan para una capacidad y carga total determinadas cuando operan a su velocidad especificada.

Estas características se conocen como condiciones específicas de servicio y , con pocas excepciones, representan las condiciones en las que la bomba operará la mayor parte del tiempo.

La eficiencia de la bomba deberá ser la máxima para estas condiciones de servicio, y así se seleccionan las bombas siempre que es posible.

Con frecuencia, sin embargo, se requiere que las bombas operen a capacidades y cargas que difieren considerablemente a las condiciones especificadas.

Las bombas de servicio generalmente en una gran variedad de aplicaciones también pueden sujetarse a operaciones con flujos muy variables.

Es muy importante, por lo tanto, que el usuario de bombas centrífugas se familiarice con los efectos de operar las bombas a capacidades y cargas distintas a las especificadas y con las limitaciones impuestas sobre esa operación por consideraciones hidráulicas, mecánicas o termodinámicas.

#### **4.1 Localización del equipo**

La bomba deberá instarse lo más cerca posible de la fuente de abastecimiento con el fin de evitar pérdidas en la succión. También se debe dejar espacio suficiente para usar una grúa u otro tipo de mecanismo elevador con capacidad suficiente, es importante también que se coloque el equipo en forma que sea accesible para fines de inspección durante la operación.

#### **Planeación del sitio de instalación**

En instalaciones pequeñas y medianas se deben de prever en adición a la propia bomba, tuberías de succión, descarga, motor y cuarto de control. El arreglo general de la instalación deberá hacerse para obtener la máxima utilización de los espacios al mínimo costo de construcción.

En plantas de bombeo durante la planeación se debe considerar lo siguiente:

- 1) Instalar la bomba lo más cerca posible del tanque de succión
- 2) Hacer pequeñas las pérdidas por fricción en la succión y la altura del centro de la bomba con respecto al n.a. min. deberá ser no mayor a 5 mts., para equipos pequeños

hasta 4" (102 mm), para bombas medianas esa altura será en función de las necesidades de la succión por la bomba para evitar cavitación, esto último generalmente sucede en bombas de pozo profundo.

3) las dimensiones deben ser las adecuadas para hacer lecturas durante la operación y espacio suficiente para hacer mantenimiento (desarmar unidades).

4) los instrumentos de medición deben localizarse en un lugar de fácil observación.

### **Cimentación de la bomba**

La cimentación podrá hacerse empleando cualquier material que suministre un soporte rígido y permanente que deberá tener la resistencia necesaria para absorber los esfuerzos y los choques que produzcan durante la operación (propio peso de las unidades, arranques y paros repentinos)

Las cementaciones de concreto se deberán construir sobre terreno firme y tamaño adecuado con sus pernos de anclaje. También se puede cimentar sobre acero estructural (vigas, canal o vigas "Y"), en este caso la base deberá ser atornillada y fijada a los soportes de acero con el objeto de evitar distorsiones, vibraciones y eliminar pérdidas de alineamiento.

### **Montaje del equipo**

Como la instalación de la bomba tiene gran resistencia sobre su vida y funcionamiento, es necesario instalar apropiadamente de acuerdo con los siguientes procedimientos:

1. Coloque la bomba sobre su base áncrada y atornillela en tal forma que la bomba quede nivelada
2. Desconecte el cople de las flechas de la bomba y del motor y céntrala la bomba con el motor de modo que los errores de excentricidad no sean considerados.
3. La alineación del conjunto bomba-motor.
4. Llène con suficiente mortero los espacios entre el cimientado y la base de la bomba.
5. Cuando el mortero frague perfectamente, después de 24 horas, apriete las tuercas de las anclas y cheque al mismo tiempo los coples de las flechas del conjunto bomba-motor y gírelos manualmente para chequear si en los baleros no hay irregularidades.
6. Cuando se acoplen las tuberías de succión y de descarga a la bomba póngase especial atención de que la bomba quede libre de cualquier influencia del peso de las tuberías, o de cualquier otro inadecuado, después de acoplar estas tuberías confirme nuevamente el alineamiento y nivelación del conjunto.
7. Como colocar la transmisión:

- a) En caso de bandas planas, ajuste la tensión de la banda en forma que pueda ser fácilmente propulsada por acción manual.
- b) Para minimizar el desalineamiento de la banda, haga la tensión en la parte baja más fuerte y suavemente afloje la parte alta de la banda.
- c) Instale en un mismo plano el conjunto bomba-motor en el cual formen un ángulo recto con ambas flechas, es decir, perfectamente paralelas entre sí.
- d) En caso de transmisión por banda, la relación de velocidades debe ser generalmente 1:6, o menor para bandas planas y 1:7 o menor para bandas en "v".

### FORMULA

$$d.N / D n$$

donde:

d= Diametro de la polea movida

D= Diametro de la polea motriz

N= R.P.M. de la polea motriz

n= R.P.M. de la polea movida

### Operación normal

Para que una operación sea en forma normal en unidades accionadas por motor eléctrico, revise las características de bomba-motor en la placa de datos y haga las conexiones eléctricas del motor de acuerdo con el diagrama de placa de datos al voltaje correspondiente (110,220,440 v, etc) compruebe que la rotación de la flecha sea en la dirección marcada en la carcasa de la bomba.

### Operación de bombas en serie y paralelo

Hay casos en que las necesidades de un sistema exigen que varíe la carga y el gasto, en tal caso se usan bombas en serie y paralelo.

En un arreglo de bombas en serie, el rendimiento requerido se obtiene agregando las cargas a la misma capacidad: Para este tipo de arreglo se deben tener en cuenta las altas presiones que soportan las carcasas, especialmente la de la última bomba. Puede también obtenerse con una alta presión de descarga si en una sola bomba se utiliza varios impulsores que proporcionan energía al fluido en serie. Este tipo de bomba se denomina multipasos y un ejemplo común son las bombas de pozo profundo.

Las bombas acopladas en paralelo se utilizan para dividir el gasto volumétrico entre ellas, en este sistema cada bomba operará en forma independiente de tal manera que la capacidad del sistema será la suma de la capacidad de trabajo de cada bomba mientras que el punto de descarga de todas las bombas la carga será igual para cada una, sin importar el flujo.

#### **4.2 CEBADO**

Las bombas centrífugas casi nunca deben arrancarse hasta que estén bien cebadas, es decir, hasta que se han llenado con el líquido que se quiere bombear y se ha venteado o purgado todo el aire o vapores que pudieran quedar atrapados en el cuerpo de la bomba. Las excepciones son las bombas autocelantes y alguna instalación especial a la gran capacidad y baja velocidad en las que no es práctico el cebado antes de arrancar y el cebado es casi simultáneo con la arrancada.

Una bomba centrífuga nunca debe trabajar seca porque se sobrecalienta. Antes de arrancarla deberá cebarse llenando la carcasa con el líquido que se va a bombear.

Debe cuidarse que la tubería de succión permanezca llena de líquido.

Los vapores que escapan del líquido y los vapores atrapados están listos para acomodarse en las partes altas de la succión.

A menos que los vapores atrapados en la succión de la bomba sean expulsados, éstas pueden hacer que la bomba al trabajar pierda succión.

La tubería de succión está normalmente provista con válvulas de venteo en las partes altas de ella a través de las cuáles debe dejarse escapar los vapores.

El cebado puede efectuarse por cualquiera de los siguientes métodos

1. Cuando el nivel del líquido a bombear queda arriba de la línea de centros de la bomba, ésta es cebada abriendo las válvulas de succión y de venteo. al entrar el líquido desplazará el aire llenando la línea de succión e interior de la carcasa de la bomba.
2. Cuando la bomba va a trabajar con altura de succión deberá estar equipada con una válvula de pie, el sistema debe ser llenado vertiendo líquido por la tubería de descarga.
3. Para equipos de bombeo operando con altura de succión donde las válvulas de pie no trabajen apropiadamente, se puede usar una bomba con cámara de cebado.

4. En lugar de los métodos anteriores para el llenado de la bomba puede usarse algún tipo de extractor de aire dependiendo de la facilidad que se disponga, estos aparatos son usados cuando la bomba opera con succión negativa y no se tienen válvulas de pie en la línea de succión

### **Recomendaciones esenciales para la operación de una instalación de bombeo**

- 1) Colocar la bomba lo más cerca del tanque de aspiración para evitar aumento de altura de aspiración. Evitar en la tubería de descarga el mayor número de codos y accesorios para disminuir las pérdidas por fricción.
- 2) Proteger la bomba contra inundaciones y que el motor quede en un lugar seco.
- 3) La cimentación debe ser bastante firme para asegurar una buena alineación del grupo motor bomba.
- 4) Alinear y fijar el grupo antes de unir las tuberías de aspiración y descarga; Al unir estas no deben forzar la bomba de modo que el apriete de los tornillos sirva para asegurar la estabilidad de los empaques.
- 5) Preever una válvula en la tubería de descarga que sirva para arrancar y parar la bomba.
- 6) Instalar una válvula de pie entre la bomba y la válvula anterior para la protección de la bomba en caso de paro brusco del motor.
- 7) Las tuberías de aspiración no deben tener entrada de aire ni deben formar bolsas de aire.
- 8) Evitar al máximo los codos y los cambios de sección en la aspiración.
- 9) La sección de la válvula de pie en la aspiración debe de equivaler a la sección de la tubería.
- 10) La coladera de la aspiración debe tener igualmente una sección útil igual a la tubería considerando la velocidad del fluido en la coladera mayor de 0.6 m/seg.
- 11) Antes de la puesta en marcha se debe asegurar que la lubricación sea hecha y que la bomba esté cebada. un arranque sin cebar es nocivo sobre todo cuando la bomba lleva algunas partes lubricadas por agua.
- 12) La potencia necesaria para el arranque de una bomba de flujo radial, bajo una carga elevada o media, disminuye cuando se cierra la válvula de descarga, hay que aprovechar esto para el arranque, este efecto es menor en las bombas helico-centrífuga y la potencia con la válvula cerrada puede ser a veces mayor.
- 13) En la válvulas de hélice debe arrancarse con la válvula de descarga abierta.
- 14) No debe apretarse mucho el estopero en condiciones normales, ya que este deja salir continuamente una gota de agua.
- 15) Para cada bomba en particular se deben seguir al pie de la letra las recomendaciones del fabricante

### **Fallas de operación y sus causas**

#### **1. Bomba no da gasto.**

Falta cebar, altura de aspiración muy elevada, diferencia insuficiente entre la altura manométrica y la tensión de vapor, bolsas de aire en la tubería de aspiración

nivel de aspiración muy bajo, velocidad (R.P.M.) muy baja, altura total manométrica superior a la prevista, montaje de bombas en paralelo inadecuado, cuerpos extraños en el impulsor.

**2. La bomba da un gasto insuficiente.**

La bomba o la tubería no están completamente llenas del líquido, la altura de aspiración es muy grande, diferencia insuficiente entre la altura manométrica y la tensión de vapor, emulsión de aire o de gas en el líquido, bolsas de aire en la tubería de aspiración, entradas de aire en el estopero, válvula de pie muy chica, válvula de pie parcialmente obturada, orificio de la tubería de aspiración parcialmente sumergido, velocidad (R.P.M.) muy baja, altura total manométrica mayor a la prevista, viscosidad del líquido diferente a la prevista, anillos de desgaste muy acabados, impulsor desgastado, fugas internas entre la aspiración y la descarga.

**3. La altura manométrica es insuficiente.**

Emulsión de gas o de aire en el líquido, velocidad (R.P.M.) muy baja, el impulsor gira en sentido contrario, altura total manométrica de la instalación superior a la prevista, viscosidad del líquido diferente a la prevista, anillos de desgaste acabados, impulsor desgastado, fugas internas entre la aspiración y la descarga.

**4. La bomba se desceba despues del arranque.**

La bomba y la tubería de aspiración no están completamente llenas de líquido, altura manométrica pedida muy alta, emulsión de aire o de gas en el líquido, bolsas de aire en la aspiración, entradas de aire en la tubería de aspiración, entrada de aire por el estopero, orificio de aspiración insuficiente sumergido, estopero mal montado.

**5. La bomba absorbe una potencia excesiva.**

La velocidad es muy elevada, la bomba gira en sentido contrario, altura manométrica de la instalación diferente a la prevista, peso específico diferente al previsto, viscosidad diferente a la prevista, cuerpos extraños en el impulsor, desalineamiento en el cople, flecha mal centrada, fricción accidental de una parte móvil contra una fija, sellos en el estopero mal puestos, anillos de desgaste mal ajustados, el material de los sellos no es el apropiado, el estopero esta muy ajustado.

**6. Estopero tiene fugas excesivas.**

Mal montaje de los sellos, desalineamiento en el cople, flecha mal puesta, flecha o camisa de la flecha gastadas, el material de los sellos no corresponde al previsto, impulsor mal equilibrado o rotor del motor.

**7. Estopero mal montado.**

Estopero mal montado, mal alineado en el cople, flecha descentrada, chumaceras gastadas, la flecha o sus camisas gastadas, el estopero muy apretado, mal equilibrado, falta de alimentación de agua fría, cuerpos abrasivos en el líquido.

**8. La bomba vibra o hace ruido.**

La bomba o la tubería no están llenas completamente, la altura de aspiración muy elevada, diferencia insuficiente entre la altura manométrica de aspiración y la tensión de vapor, válvula de pie parcialmente obturada, orificio de aspiración sumergido parcialmente, el gasto pedido a la bomba es muy bajo, cuerpos extraños en el impulsor, falta de alineamiento, flecha defectuosa, fricción accidental de una parte móvil con una fija, chumaceras usadas, impulsor averiado, empuje axial excesivo, exceso de aceite o grasa en las chumaceras, falta de lubricación, mal montaje de las chumaceras, polvos abrasivos en las chumaceras.

**9. Desgaste exagerado de las chumaceras**

Falta de alineamiento, flecha defectuosa, fricción accidental, rotor mal equilibrado, empuje axial exagerado por falla del sistema de equilibrio, falta de lubricación, presencia de polvos excesivos, oxidación de las chumaceras.

**10. Calentamiento exagerado de la bomba**

Funcionamiento sin cebado, diferencia insuficiente entre la altura manométrica insuficiente y la tensión de vapor, falta de alineamiento fricciones accidentales, chumaceras desgastadas, flecha desgastada, etc.

**4.3 CALENTAMIENTO**

Una bomba que maneja líquidos calientes, deberá calentarse antes de arrancarse para evitar dañarla por una desigual compensación de sus partes. La expansión desigual permite el contacto entre piezas estacionarias y piezas en movimiento. La bomba deberá calentarse gradualmente, circulando lentamente líquido caliente.

En una bomba de relevo trabajando con líquidos calientes, generalmente se usa una pequeña tubería de circulación de este líquido desde la descarga de la bomba en operación para mantenerla caliente.

Para mantener el líquido bombeado dentro de la viscosidad adecuada y que éste fluya libremente, pueden instalarse tuberías de vapor a lo largo de las tuberías del líquido hasta llegar a la bomba. Las líneas de vapor deben operarse antes de que la bomba arranque.

**4.4 ENFRIAMIENTO.**

La temperatura del equipo de bombeo puede aumentarse ya sea por el líquido que se está bombeando o por rozamiento. Las partes de la bomba que no toleren el aumento deberán tener un sistema de enfriamiento.

Si la bomba maneja líquidos calientes, la caja de empaques generalmente está enfriada para evitar deterioros en el empaque.

Las superficies de los sellos mecánicos deberán ser enfriadas. Si las superficies se calientan, el desgaste y deterioro aumentan.

La caja de cojinetes deberá enfriarse para mantener los ajustes convenientes. Si un cojinete se sobrecalienta, éste se expande y puede atascar la flecha (agarrándose o aferrándose).

Los pedestales de la bomba pueden enfriarse para mantener el alineamiento entre la bomba y el rotor.

Para el sistema de enfriamiento comúnmente se emplea agua, y ésta deberá ser limpia y no causar depósitos de sarro que lleguen a impedir una buena transmisión del calor. El agua de enfriamiento deberá circular en cantidades adecuadas por el sistema que se desea enfriar, controlando la cantidad por medio de válvulas.

## **4.5 LUBRICACIÓN**

El mecanismo de lubricación de la bomba deberá comprobarse para asegurar que entregará un producto siempre limpio y seco; es decir, libre de agua o contaminantes todo el tiempo.

Si los cojinetes tienen grasa en lugar de aceite deberán engrasarse de rutina y las copas deberán estar siempre llenas. No deben sobre engrasarse los cojinetes.

Después de haber revisado la lubricación del motor y esté listo para cargar, deberá comprobarse con la mano, si esto es posible, que la flecha quede libremente.

La temperatura de los empaques y cojinetes deberá vigilarse constantemente, tocando sus partes con la mano. Una mala lubricación al enfriamiento o problemas mecánicos pueden detectarse fácilmente si hay un aumento en la temperatura.

Antes de arrancar la bomba deberán comprobarse los sistemas de enfriamiento y lubricación como cuestión de orden y rutina.

## **4.6 VERIFICACIONES FINALES ANTES DEL ARRANQUE**

Después de que una bomba centrífuga se ha instalado correctamente y se han tomado todas las precauciones necesarias para alinearla con su máquina motriz, queda lista para servicio en su arranque inicial

Se recomiendan unas cuantas verificaciones de última hora.

Los cojinetes y el sistema de lubricación deben estar limpios. Antes de poner la bomba en servicio se deben quitar las tapas de los cojinetes y lavar éstos con kerosina y limpiarlos completamente. No se debe emplear estopa para limpiar cojinetes, porque puede caer pelusa en el lubricante, los trapos limpios son los indicados para esta actividad.

Toda la grasa y el aceite que se usen en el sistema de lubricación deben estar libres de agua, mugre u otros contaminantes.

Los cojinetes deben llenarse con lubricante limpio de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Con el acoplamiento desconectado, se deberá probar nuevamente la rotación correcta de la máquina motriz. Generalmente hay una flecha marcada en la bomba para señalar la rotación correcta.

Todas las partes deben inspeccionarse finalmente antes de arrancar.

Debe ser posible dar vuelta al rotor de la bomba con la mano, y en caso de una bomba que maneje líquidos calientes, el rotor debe poder girar libremente con la bomba fría o caliente.

Si el rotor está pegado o si se arrastra ligeramente, no debe operarse la bomba hasta que se localice la causa de la dificultad y se corrija.

#### **4.7 PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE Y PARADA.**

Los pasos necesarios para arrancar una bomba centrífuga dependerán de su tipo y del servicio en el que está instalada.

Muchas instalaciones requieren pasos que son innecesarios en otras. Por ejemplo, las bombas de emergencia se conservan listas para arrancar de inmediato, especialmente las bombas centrífugas de alimentación a calderas. Las válvulas de compuerta de succión y descarga se tienen abiertas y se evita el flujo inverso por la bomba con una válvula de retención en la línea de descarga, instalada entre la bomba y la válvula de bloqueo.

Los métodos usados para arrancar bombas están influidos en gran parte por las características de funcionamiento de la bomba en cuestión; es decir por la forma de su curva carga-capacidad.

Las curvas de cargas alta y mediana en la bomba suben de la condición de cierre a la condición de capacidad normal de operación, por lo tanto, estas bombas deben arrancarse con la válvula de descarga cerrada, a fin de disminuir la carga inicial

en el impulsor. El uso de una válvula de retención en la línea de descarga es equivalente, para este objeto, una válvula cerrada siempre que otra bomba esté en la línea. La válvula de retención no se levantará hasta que la bomba que se ha arrancado ha llegado a una velocidad suficiente para generar una carga suficientemente alta para levantar la válvula de retención de su asiento. En ciertos casos se deben tomar medidas preventivas contra sobre calentamiento de la bomba por operar el cierre, instalando una línea de desvío de recirculación, llamada de fluido mínimo.

La curva de carga-capacidad en bombas de cargas bajas del tipo de flujo mixto y de hélice tiene la característica opuesta subiendo rápidamente 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 fluido en sentido inverso.

Suponiendo que la bomba que se va a trabajar está móvil al motor que su potencia en caballos de fuerza no excede a la potencia segura del motor, y que se va a arrancar contra una válvula de descarga cerrada, el procedimiento de arranque es el siguiente:

- 1.- Bebe la bomba, abriendo la válvula de succión y cerrando las purgas para preparar la bomba para operación.
- 2.- Abra la válvula de suministro de agua de enfriamiento a los cojinetes.
- 3.- Abra la válvula de suministro de agua a los estoperos si son enfriados con agua.
- 4.- Abra la válvula de suministro de líquido de sello si la bomba tiene ese equipo.
- 5.- Abra la válvula de calentamiento de una bomba que maneja líquidos calientes si la bomba normalmente no se conserva a la temperatura de operación.  
Cuando la bomba se ha calentado cierre la primera válvula.
- 6.- Abra la válvula de la línea de recirculación o flujo mínimo, si la bomba no bebe operarse contra una descarga totalmente cerrada.
- 7.- Arranque el motor.
- 8.- Abra la válvula de descarga lentamente, observando en el manómetro la variación de la presión de descarga.
- 9.- Observe el escurrimiento de los estoperos y ajuste la válvula de 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.
- 10.- Verifique la operación general mecánica de la bomba y del motor.

11.- Cierre la válvula de la línea de recirculación cuando ya haya suficiente flujo por la bomba para evitar sobrecalentamiento. Cuando se tienen sistemas automáticos de control de flujo es prudente dejar abierta la válvula de la línea de flujo mínimo.

Si la unidad se va a arrancar contra una válvula de retención, con la válvula de compuerta de la descarga abierta, los pasos serían los mismos, excepto que la válvula de compuerta de descarga se deberá cerrar un poco antes de arrancar el motor.

En algunos casos, el agua de enfriamiento de los cojinetes y el agua de sello a los faroles del sello es suministrada por la misma bomba. Esto elimina la necesidad de los pasos (2) a(4) en el procedimiento de arranque.

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

- 1.- Abra la válvula en el sistema de recirculación.
- 2.- Cierre la válvula de compuerta.
- 3.- Pare el motor.
- 4.- Abra la válvula del calentamiento si la bomba se va a conservar a la temperatura de operación.
- 5.- Cierre la válvula del suministro de agua de enfriamiento a los cojinetes y a los estoperos si son enfriados con agua.
- 6.- Si no se requiere el suministro de líquido de sello cuando la bomba está inactiva, cierre la válvula en esta línea de abastecimiento.
- 7.- 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.

Si la bomba no puede operar contra una válvula cerrada, se invierten los pasos (2) y(3). Muchas instalaciones permiten parar el motor antes de cerrar la válvula de compuerta de la descarga.

#### **4.8 MEDIDORES DE FLUJO**

En cada una de las tuberías es conveniente instalar medidores que nos indiquen en primer término el gasto que esté suministrando la bomba y en segundo término que registre el gasto total (totalizador), que la bomba haya entregado en un tiempo determinado.

Estos medidores pueden registrar de varias formas el gasto en una sección determinada de tubería de acuerdo a lo siguiente:

- A) Con dispositivos que afectan el flujo
- B) Con dispositivos que no afectan el flujo

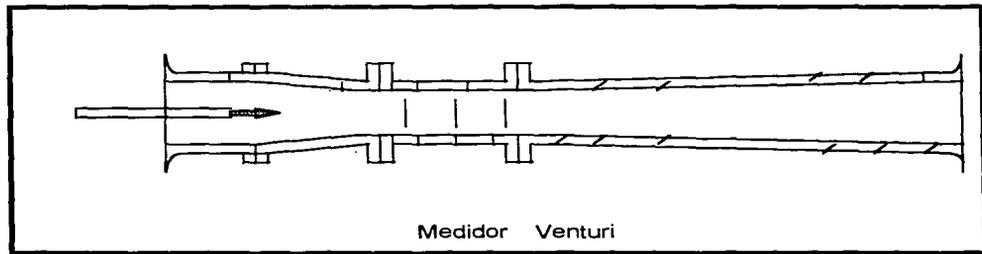
En ambos casos, los aparatos de medición constan de elementos primarios y secundarios; los elementos primarios son aquellos que reciben directamente la acción del flujo mientras que los secundarios, son aquellos que integran la señal de los primarios indicando el gasto directa o indirectamente. En nuestro caso estos aparatos los utilizaremos para el manejo de gasolina, sin embargo algunos de estos aparatos tienen aplicaciones en otros tipos de fluidos como (gases,vapor,aceites,resinas,etc) los dispositivos más comúnmente usados son:

### Medidores de area fija

#### Tubo venturi

Este medidor esta formado básicamente por dos conos y una garganta;En el tubo Venturi la velocidad aumenta a lo largo del cono anterior y la presión disminuye, localizándose en la garganta la máxima velocidad y la mínima presión.

Pasado el estrechamiento la velocidad disminuye y se recupera en el cono posterior en gran parte la presión original. La diferencia de presión no recuperada se debe a la fricción ocasionada por la fricción.



**Fig4.1 Medidor venturi**

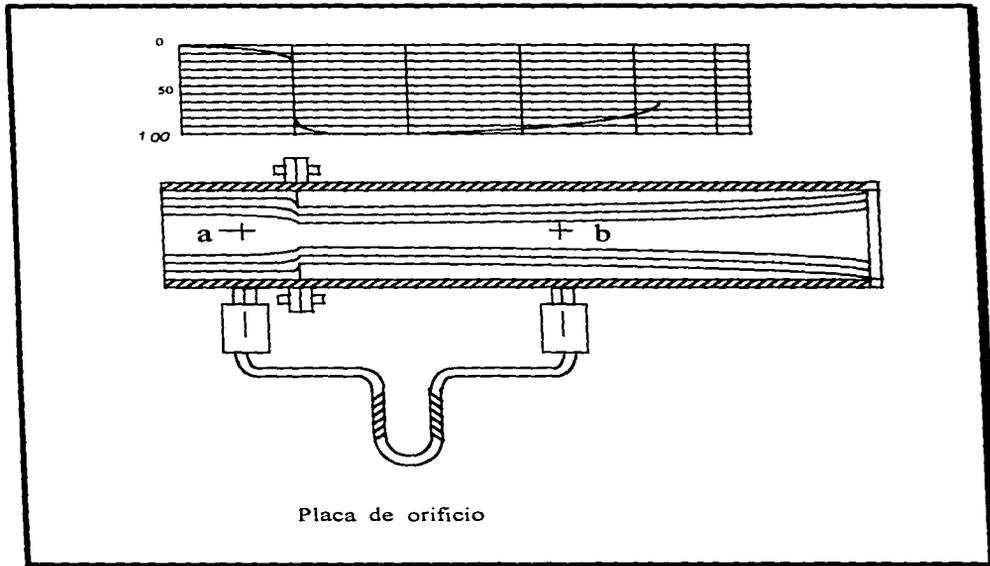
Las principales características del tubo venturi son las siguientes:

- Requiere poco mantenimiento
- Tiene mínima perdida de presión permanente
- Presenta mayor dificultad en su instalación que la placa de orificio.
- Registra de 1:6 veces más fluido que la placa de orificio (bajo la misma caída de presión)

### Medidor de orificio

El medidor de orificio es idéntico al del tubo venturi y sus características son las siguientes:

- Máxima pérdida de presión permanente
- Mayor facilidad de instalación que el venturi
- Es el medidor de más bajo costo.
- Requiere inspección periódica.
- Fácilmente maquinable



**Fig4.2 Placa de orificio**

### Tubo pitot

Es un tubo que sirve para medir la velocidad local a lo largo de una línea de corriente. En la figura se muestra un esquema del tubo de pitot y la abertura de impacto (A) es perpendicular a la dirección del flujo mientras que la abertura del tubo estático (B) es paralela.

Como se muestra en el esquema los dos están conectados a las ramas de un manómetro diferencial, que opera bajo el principio de balance entre dos presiones.

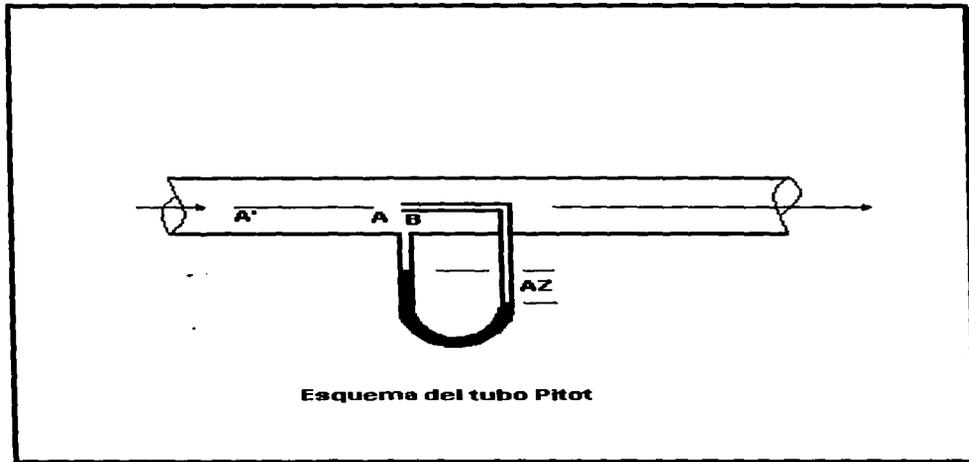


Fig 4.3 Tubo de pitot

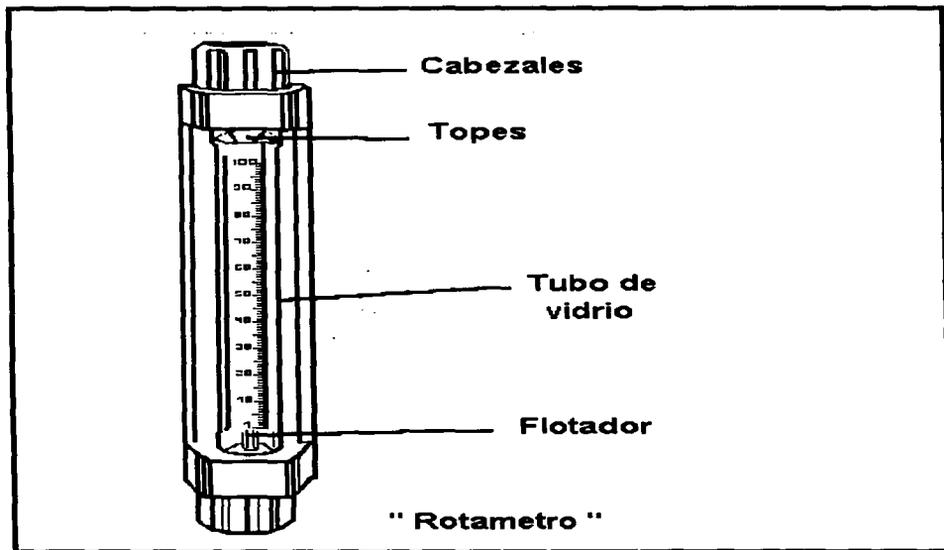
### Medidores de area variable

El rotámetro es un instrumento de medición de fluidos en estado líquido o gaseoso, cuya principal característica es tener un área variable de flujo. Consta principalmente de un tubo de vidrio de sección cónica montado sobre un cuerpo metálico denominado carcasa, dentro de este tubo se encuentra el elemento de medición llamado "flotador"; el cual genera una caída de presión constante al paso del líquido entre la pared del tubo y el diámetro del flotador; en los extremos de la carcasa se tienen dos cabezales metálicos generalmente del mismo material de la tubería a la

que están montados, dos topes (superior e inferior) para que el flotador no escape por efecto de la corriente de fluido y respectivos sellos para evitar fugas.

El tubo de vidrio esta graduado con una escala que puede indicar directamente el gasto o el por ciento del mismo, tomando como referencia la capacidad de medida del instrumento. El instrumento se instala siempre en posición vertical de tal modo, que el líquido o gas que va a ser medido pase de la parte inferior a la superior y así el fluido ejerce un impulso sobre el flotador, el cuál asciende a una cierta altura que es proporcional al gasto volumétrico del fluido.

De esta manera, el flotador permanecerá suspendido mientras el flujo se mantenga constante la calibración debe efectuarse en base a la lectura en la escala del tubo de cristal.



**Fig4.4 Rotámetro**

**Capitulo**  
**5**

**Analisis de fallas en la  
operación**

## ANALISIS DE FALLAS EN LA OPERACIÓN

Los problemas que se pueden presentar en la operación de las bombas centrífugas, son de tres tipos principalmente:

- a) Dificultades en la succión
- b) Dificultades en el sistema
- c) Dificultades mecánicas

Es importante tener en cuenta que con frecuencia hay una conexión definida entre estos tipos de problemas ya que una dificultad mecánica dará por resultado una falla hidráulica.

Como consecuencia de esto, a continuación se dará una lista de los síntomas más comunes y las causas más probables que los originan.

### 5.1 Síntomas de falla más comunes

La siguiente lista dará una orientación para poder remediar como siguiente paso las fallas que se nombran.

- 1.- La bomba no descarga fluido
- 2.- La capacidad de descarga es insuficiente.
- 3.- La presión desarrollada es insuficiente.
- 4.- La bomba pierde el cebado después de arrancar.
- 5.- La bomba requiere potencia excesiva
- 6.- El estopero escurre excesivamente
- 7.- El empaque dura poco.
- 8.- La bomba vibra o hace ruido.
- 9.- Los cojinetes tienen vida corta.
- 10.- La bomba se sobrecalienta y se pega.

### Problemas debidos a dificultades en la succión

Entre este tipo de problemas se tienen los siguientes:

- Llena de líquido
- La elevación de succión es muy alta.
- Existe margen insuficiente entre la presión de succión y la presión de vapor del líquido bombeado.
- Cantidad excesiva de aire o gas en el líquido.
- Bolsa de aire a la línea de succión.
- Entrada de aire a la línea de succión
- Entrada de aire a la bomba por los estoperos.

- Válvula de pie muy chica.
- Válvula de pie parcialmente atascada.
- Sumersión insuficiente del tubo de entrada de succión.
- Tubería del sello de agua tapada.
- Jaula de sello incorrectamente colocada en el estopero, evitando que el líquido
- Sellador entre al espacio para formar el sello.

### **Problemas debidos a dificultades en el sistema**

Como principales dificultades en el sistema se tiene las siguientes:

- Viscosidad muy baja
- Velocidad muy alta
- Dirección de rotación invertida
- Carga total del sistema más alta que la carga de diseño de la bomba.
- Carga total del sistema más baja que la carga de diseño de la bomba.
- Peso específico del líquido diferente al del diseño.
- Viscosidad del líquido distinta a la que se usó para el diseño.
- Operación a capacidad muy baja.
- Operación inadecuada de bombas en paralelo para esa operación.

### **Problemas debidos a dificultades mecánicas**

Las dificultades mecánicas están en relación con lo complejo de la bomba que se tenga, ya que a medida que se tengan más partes aumentan las posibilidades de tener más problemas.

Entre las dificultades mecánicas más comunes se pueden citar:

- Cuerpos extraños en el impulsor
- Desalineamiento
- Cimentación no rígida
- Flecha doblada
- Parte giratoria que roza en una parte estacionaria.
- Cojinetes gastados.
- Anillos de desgaste gastados.
- Impulsor dañado
- Junta de la cubierta defectuosa permitiendo escurrimiento interior.
- Flechas o manguitos de flecha gastados o rayados en la empaquetadura.
- Empaquetadura incorrectamente colocada
- Tipo incorrecto de empaquetadura para las condiciones de operación
- Flecha que opera descentrada por cojinetes gastados o por desalineamiento.
- Rotor desvalanceado que causa vibración

- Prensaestopas muy apretado que dá por resultado que no fluya líquido para lubricar la empaquetadura.
- Falta de alimentación de líquido de enfriamiento a estoperos enfriados por agua.
- Espacio libre y excesivo en el fondo del estopero entre la flecha y la cubierta haciendo que se fuerce la empaquetadura al interior de la bomba.
- Mugre o tierra en el líquido sellador que origina que se raye la flecha o el manguito.
- Empuje excesivo causado por una falla mecánica dentro de la bomba o por falla del dispositivo de balance hidráulico, si lo hay.
- Cantidad excesiva de grasa o aceite en la caja de un cojinete antifricción, o falta de enfriamiento que causa temperatura alta en el cojinete.
- Falta de lubricación.
- Instalación indebida de cojinetes antifricción (daño durante el montaje, montaje incorrecto de cojinetes de bolas en pila, uso de baleros diferentes como par).
- Mugre que entra a los cojinetes.
- Oxidación de cojinetes debido a entrada de agua a la caja.
- Enfriamiento excesivo de cojinetes enfriados con agua, dando por resultado la condensación de la humedad de la atmosfera en la caja de los cojinetes.

## **5.2 Analisis de algunos puntos de falla**

El remedio para cada falla es casi siempre evidente de por sí. Lo que a continuación se analiza son una serie de fallas consideradas como las más importantes.

### **Ruido en la bomba**

El ruido en la bomba con frecuencia le da a un hombre de mantenimiento experimentado una indicación definida de las causas de falla.

Si una bomba produce un ruido de crepitación el motivo de la falla probablemente se encuentre en la succión de la bomba, este tipo de ruido generalmente se asocia con la "cavitación".

La cavitación es la formación y ruptura de burbujas de vapor en el líquido. ésta se presenta cuando la bomba está trabajando cerca de la mínima carga neta positiva de succión ( C.N.S.P. )

Cuando se presenta la cavitación, algunos líquidos se vaporizan. Si esto sucede en la succión o en el centro del impulsor, las burbujas son arrastradas dentro del impulsor. A medida que aumenta la presión, las burbujas de vapor se rompen en las aspas del impulsor y el líquido se precipita con tal fuerza que golpea y rompe en pequeñas partículas el metal de las aspas. Esto produce picaduras y erosión en las aspas del impulsor.

La ruptura violenta de las burbujas produce un ruido particular lo cual es una indicación de que se está produciendo la cavitación.

Para evitar la cavitación, la CNSP disponible deberá aumentarse o la capacidad de bombeo disminuirse.

La CNSP disponible puede ser incrementada, disminuyendo la capacidad de la bomba. Cerrando un poco la válvula de descarga puede disminuirse un poco la capacidad de bombeo. La CNSP disponible puede también incrementarse aumentando el nivel del líquido en el lado de la succión de la bomba. Disminuyendo la capacidad de bombeo puede restaurarse la operación a un rango donde la CNSP está disponible en la succión. Si el ruido de crepitación cesa, el ajuste ha corregido la cavitación.

La cavitación es un problema de operación. Se convierte en un problema mecánico si la bomba se daña por los efectos de cavitación.

**Un Ruido de resonancia** sordo y prolongado en los conductos de descarga de la cubierta, generalmente es debido a la operación de la bomba con capacidad de carga parcial cuando la bomba no es apropiada hidráulicamente para esa operación, o por operar la bomba con capacidad muy en exceso de aquellas para las cuáles fué diseñada.

**El golpe de ariete es causado** por un cambio repentino de la velocidad del flujo de una columna de líquido y en general es serio, sólo cuando intervienen líneas largas de tubería.

El golpe de ariete puede evitarse arrancando una bomba contra una válvula de compuerta y luego abriendo una válvula lentamente. Este procedimiento origina un aumento gradual de la velocidad del líquido en la tubería.

Durante el ciclo de parada, es necesario cerrar lentamente la válvula de compuerta y parar la bomba después que se ha cerrado totalmente la válvula. Este método falla cuando una unidad o unidades se paran repentinamente por la acción de un instrumento de control de energía eléctrica.

Una precaución adicional para el control de golpes de arietes debe proveerse en instalaciones en las que la presión resultante debida al golpe de ariete puede llegar a un nivel peligroso. En estas instalaciones se usan, por lo general, válvulas de retención de abertura y cierre lentos para aumentar el flujo gradualmente cuando se arranca la bomba, y para disminuir lentamente cuando la bomba se para.

En otras instalaciones se emplea una válvula de protección especial. Esta se abre toda rápidamente con la caída de presión que es parte del ciclo del golpe de ariete, y luego cierra lentamente para estrangular el flujo inverso resultante. Algunas se

han usado satisfactoriamente en tanques de balance separados con aire, o cámaras de aire.

Debido a que una bomba movida por motor eléctrico dejará de descargar líquido casi instantáneamente cuando se corta la energía, el golpe de ariete es un problema más serio en este tipo de instalaciones.

En algunas instalaciones muy importantes de alta carga, el tiempo de parada se ha prolongado agregando a la unidad un volante. Aunque el tiempo real que requiere la unidad para pararse se prolonga muy poco, este ciclo más lento de parada ayuda mucho para reducir al mínimo el golpe de ariete.

### **Entrada de aire a una bomba**

Si una bomba opera con una elevación de succión, algunas veces al aire entrará a la bomba por los estoperos a menos que se instalen faroles en las cajas y se les inyecte líquido con presión positiva a dichos faroles.

El aire puede entrar también por la junta de los manguitos de la flecha, algunas veces la propia tubería de succión no es totalmente hermética y entra aire para acumularse en la parte superior de la cubierta.

Otras veces el líquido que maneja la bomba está saturado con aire y éste puede desprenderse de la bomba.

Si se permite que entre una cantidad limitada de aire al lado de succión de una bomba centrífuga, el aire será arrastrado fuera de la bomba. Esta habilidad de una bomba centrífuga para arrastrar una pequeña cantidad de aire por sus conductos se utiliza en algunas instalaciones que consisten en un tanque neumático para agregar aire al tanque. Si entra aire a los conductos de succión y pasa por la bomba, hay una reducción de la cantidad de líquido manejado y en la fuerza requerida. Si la cantidad de aire que se permite entrar al lado de la succión aumenta, se alcanza un punto en el cuál la bomba ya no puede arrastrar el aire con el líquido y la bomba perderá su cebado.

Algunas veces una bomba que opera satisfactoriamente con descarga completa, perderá su acción cuando se estrangule a un caudal de descarga más bajo.

Esta condición puede deberse a la presencia de aire que haya entrado a la bomba. Con la capacidad total de descarga, las velocidades en la cubierta de la bomba son suficientemente altas para arrastrar el aire hasta la tubería de descarga, purgando así constantemente el aire de la cubierta de la bomba.

Cuando se reduce la capacidad, las velocidades más bajas son insuficientes para llevarse el aire que entonces se acumula en la bomba. Este aire se acumula en la parte central del impulsor y no le permite escapar el anillo de agua que expulsa el impulsor.

La habilidad del impulsor para generar la carga total se reduce por la presencia del aire en su porción central. Este aire eventualmente evita la acción del bombeo aún más y la bomba pierde su cebado.

Una bomba puede descargar su capacidad normal especificada cuando se arranca, pero gradualmente disminuye hasta que maneja sólo una fracción de su flujo nominal. Este funcionamiento indica una entrada de aire. El aire se acumula dentro de la bomba y va reduciendo la capacidad efectiva.

Es posible verificar la precisión de este diagnóstico después de parar la bomba, permitiendo que el aire suba a la parte superior de la cubierta y de las volutas de succión. Si la bomba trabaja con carga de succión, abriendo las purgas de la cubierta y de la succión a la atmósfera saldrá el aire y la capacidad de la bomba se restablecerá cuando se vuelva a arrancar. Si la bomba opera con elevación de succión, al abrir los escapes es obvio que no se volverá a cebar la bomba y deberá cebarse nuevamente por los medios ordinarios que se usen para este trabajo.

Algunas bombas ruidosas que operan con elevación de succión, pueden silenciarse permitiendo una pequeña entrada de aire en la succión. Este procedimiento se considera malo.

La admisión de aire suprime el ruido de la bomba sólo porque ésta opera con elevación de succión excesiva y el aire amortigua el fenómeno de cavitación. La cantidad de aire necesaria para callar la bomba varía con la capacidad, y una variación de la capacidad debida a variaciones de la carga de operación, requerirá una cantidad diferente de aire.

Además, la presencia de aire generalmente disminuye la eficiencia de la bomba y puede acelerar la corrosión.

Por otro lado, la presencia de aire en el líquido bombeado frecuentemente es indeseable. El hecho de que una pequeña cantidad de aire que entra a la línea de succión calle ciertas bombas ruidosas, se debería usar como una prueba para determinar si la causa del ruido está en el lado de la succión, pero la admisión de aire no es un remedio.

# Capítulo

## 6

# Mantenimiento

## **MANTENIMIENTO**

### **Descripción del mantenimiento**

En este capítulo se tiene como finalidad el exponer en forma general lo que es el mantenimiento, ya que se considera una parte fundamental del campo en la industria de bombas.

**DEFINICION:** Es el conjunto de las actividades desarrolladas con el objeto de conservar las propiedades, (inmuebles, equipos, instalaciones, herramientas, etc), en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico.

### **Tipos de mantenimiento**

El análisis de los múltiples problemas que se han presentado al personal de conservación en las industrias e instituciones, ha determinado la aplicación de sistemas de mantenimiento clasificados en dos grupos: correctivo y preventivo.

Para evitar que una bomba se deteriore habrá que hacer observaciones diarias y en ocasiones durante su operación.

No todas las personas consideran llevar un registro escrito de estas inspecciones, pero de todos modos el operador deberá estar siempre alerta para localizar cualquier irregularidad en la operación de la bomba o bombas que tenga a su cuidado, en tal caso deberá dar cuenta inmediatamente de los síntomas que describa.

Durante el funcionamiento de una bomba lo más importante de inspeccionar es en la caja de estopas un cambio repentino en la temperatura de los baleros, será más factible de observar que si la alta temperatura es constante y el cambio en el sonido de cualquier bomba que este en operación deberá tomarse también como advertencia para corregir inmediatamente posibles daños.

### **6.1 Mantenimiento preventivo**

Debido a la gran variación de tipos, tamaños, partes y diseños de las bombas centrífugas, cualquier descripción del mantenimiento debe restringirse a los tipos más comunes de bombas centrífugas. Los instructivos de los fabricantes se deberán estudiar cuidadosamente antes de tratar de dar servicio a una bomba determinada.

En general, cualquier tipo de equipo debe mantenerse en buen estado, si es que debe dar servicio satisfactorio y eficiente. Para lograrlo se requiere seguir un programa de inspecciones periodicas con objeto de evitar suspensiones en el trabajo o descomposturas costosas.

Con objeto de mantener en servicio y con eficiencia una instalación de bombas centrífugas, es necesario checar periodicamente determinadas partes de la unidad con objeto de obtener algunos datos que nos indiquen el funcionamiento de la misma. Estos datos deberán conservarse; por lo cuál es necesario tener un expediente para cada unidad.

## **PERIODOS DE INSPECCIÓN A LOS EQUIPOS**

### **Diariamente**

- A) Las temperaturas de los cojinetes
- b) La operación de los estoperos
- c) Los manómetros, termómetros e indicadores de flujo.

En las instalaciones de bombas que se atienden constantemente, no se considera necesario un sistema de tarjetas para el chequeo de cada hora, sino más bien hojas que contengan los datos durante las 24 horas del día, pues el operador debe reportar de inmediato cualquier irregularidad en la operación de la bomba. Un cambio de sonido en una bomba que está trabajando, debe investigarse inmediatamente.

Un cambio repentino en la temperatura de un cojinete, es una indicación mucho más clara de dificultades que una temperatura constante. Se debe revisar el escurrimiento de los estoperos para ver si es suficiente para proporcionar el enfriamiento y la lubricación a la empaquetadura; Pero no excesiva y con desperdicio. La disminución en la presión de un manómetro nos puede indicar falta de succión o línea de descarga rota.

### **Mensual**

- A) Funcionamiento correcto de los anillos de lubricacion
- B) Nivel de aceite
- C) Instrumentos registradores

Cuando al inspeccionar una caja de baleros se nota que el movimiento de los anillos de lubricación no es uniforme, será necesario revisarla ya que puede ocasionar una falla en la lubricación y por consiguiente un desperfecto mayor si no se revisa a tiempo.

El nivel de aceite debe chequearse y en caso de notar que el aceite se ha bajado de su nivel, deberá investigarse la causa de ello, corregirse la anomalía y volver a dar nivel.

Cuando en una instalación de bombas se encuentran aparatos registradores, se deben observar todos los días para asegurarse que la capacidad, presión o consumo de corriente no indican que algo necesita atención.

### **Cada seis meses**

- A) Prensa-estopas
- B) Alineamiento
- C) Cambio de aceite en baleros o grasa cuando así se lubrican.

El prensa-estopa del estopero deberá revisarse para chequear que tenga un movimiento libre. Los tornillos y tuercas del prensa-estopa se deberá limpiar y aceitar, así mismo. la empaquetadura debe revisarse para determinar si es necesario cambiarla.

El alineamiento entre la bomba y la máquina motriz deberá chequearse y corregirse si es necesario. Cuando los cojinetes están lubricados con grasa, deben proporcionarse para ver si se proporcionó la cantidad correcta de grasa y si todavía tiene la consistencia y propiedades adecuadas.

### **Anualmente**

- a) Revisar cojinetes
- b) Revisar mangas y cambiar empaque
- c) Checar alineamiento
- d) Checar tuberías que conducen el agua de enfriamiento
- e) Revisar enfriador de aceite en caso de usarlo
- f) Recalibrar instrumentos de medición chequeando su funcionamiento

Las bombas centrífugas deben revisarse cuidadosamente cada año; se deben de desmontar los cojinetes, limpiar y examinar si tienen defectos. Las cajas de cojinetes deben limpiarse tanto interior como exteriormente. Después de limpiar los baleros deben examinarse para ver si no están rayados o desgastados, después de lo cual, deben cubrirse con aceite o grasa para evitar que se oxiden y deben envolverse con papel para evitar que se llenen de mugre o partículas extrañas que puedan dañarles.

Los empaques deben sacarse para revisar si las mangas tienen desgaste: después de lo cual, habría necesidad de empaquetar la bomba usando el empaque adecuado.

Deberá checarsé que los acoplamientos estén lubricados y que no tengan desgaste ni se encuentren pegados, así como también checar el alineamiento.

Las purgas al drenaje, las tuberías que van a los sellos y a las chaquetas de agua de enfriamiento deberán desconectarse y verificar que no existan obstrucciones en las mismas.

Si la instalación cuenta con instrumentos de medición disponibles, deberán recalibrarse y hacer pruebas para determinar que tengan un funcionamiento adecuado.

Si se cuenta con enfriador de aceite, éste deberá limpiarse y probarse para determinar si tiene fugas y en su caso repararlo.

## **6.2 Mantenimiento correctivo**

Existen varias opiniones con relación al procedimiento de reconstruir partes desgastadas en las bombas. Y aunque en algunas ocasiones no se considera como práctica recomendable, veremos algunos de los procedimientos que han dado resultado.

En este capítulo se hace referencia únicamente al criterio del mantenimiento correctivo en general ya que los procedimientos de mantenimiento correctivo específicos para cada componente o parte se vió en el capítulo 2 (inciso 1 al 9)

No es posible decir cada cuánto tiempo debe hacerse una reparación completa a la unidad, ya que de ello depende el tipo de servicio a que se destine el líquido manejado, construcción de la unidad, material de que está hecha, el tiempo efectivo de operación y la cuantificación de los costos de reparación contra los posibles ahorros de fuerza por la renovación de los espacios libres. Algunas bombas requerirán una construcción completa cada mes si se utiliza en servicio pesado, mientras que otras la requerirán cada año, dos años, o aún con menos frecuencia.

La mayoría de los diseñadores, Ingenieros y Especialistas en la materia, consideran que una bomba centrífuga no necesita abrirse para inspeccionarse, a menos que la evidencia de hecho o circunstancial indique que es necesaria la reconstrucción; por lo que se debe establecer un programa de pruebas completas y los resultados deben compararse con las hechas a la bomba en su condición inicial. Cualquier caída repentina en el funcionamiento de la bomba se podrá advertir inmediatamente. Esta comparación de funcionamiento y no un tiempo transcurrido fijo deberán ser las bases para determinar si es o no suficiente el desgaste interno para que se requiera una reconstrucción completa.

El hacer una prueba completa es menos costoso que abrir una bomba para inspección, ya que además de que es necesario parar la unidad, cuenta mucho el trabajo que dicha unidad deja de efectuar.

La evidencia circunstancial se refiere al hecho de que, si varias bombas trabajan exactamente en las mismas circunstancias y una de ellas al destaparse después de, digamos un año de servicio continuo, se ha encontrado en perfecto estado, cualquiera de las bombas del mismo grupo, no necesitara destaparse antes del año, pues es seguro que también se encontrarán bien.

De la misma manera, si unas bombas en trabajo severo han requerido la reconstrucción completa en el término de seis meses, pueden sustituirse por unidades mejor cosntruidas o con mejor material para las unidades requeridas. Sin embargo, hasta que el nuevo equipo se ha probado y se ha establecido un tipo nuevo de experiencia, la bomba deberá abrirse al final de seis meses para valorar el efecto de la nueva construcción o de los nuevos materiales.

Con objeto de reducir al mínimo el tiempo que debe estar parada la unidad en una reparación no programada, se debe tener en existencia constante en un almacén, las refacciones necesarias; Las que generalmente vienen como sugerencia de parte del fabricante e incluyen un juego de anillos de desgaste, un juego de mangas o una flecha cuando los empaques actúan directamente en la flecha, un juego de cojinetes, empaquetadura y material para las juntas de bombas con cubierta axialmente dividida. Si se tienen varias bombas del mismo tipo, es conveniente contar con un motor completo y armado para tenerlo de repuesto.

Para ordenar estas partes de repuesto, es necesario dar todos los datos de placa de la bomba al fabricante. Estos datos incluyen la marca, número de serie, modelo, tipo y tamaño; y sin estos datos, el fabricante no podrá mandar las partes que se le piden para una bomba determinada.

Deberá llevarse una tarjeta para registro de inspección y reparación hecha a cada unidad, la que deberá tener la identificación de la bomba, fecha de inspección programada, un registro completo de todas las piezas que requieran inspección separada como son: impulsores, anillos rozantes, etc. así como también un espacio para observaciones y comentarios de las personas que hacen la inspección.

Con frecuencia es recomendable tomar fotografías de partes muy gastadas antes de reparalas o sustituirlas por nuevas; Las fotografías proporcionan un registro más preciso y más gráfico del daño, que el que puede proporcionar una descripción.

Siempre deben conservarse registros completos de costos de mantenimiento y reparación para cada bomba, junto con uno de sus horas de operación; el estudio de estos registros puede revelar si un cambio de materiales o de diseño es el plan más económico a seguir.

El operario de mantenimiento, al desarrollar cualquier actividad de los trabajos en bombas centrífugas, debe ser cuidadoso de aplicar en todo momento las normas y reglas de seguridad personales y del equipo, tanto en trabajos en el lugar de instalación de la bomba como en el taller de reparaciones.

Se deberá tener presente que el orden y la limpieza al efectuar sus labores de reparación de las bombas centrífugas así como la utilización correcta de la herramienta apropiada, le permitirán realizar sus actividades con eficiencia y principalmente con seguridad.

### **Reparación completa**

La frecuencia con que debe hacerse una reparación a fondo de cualquier bomba, dependerá del número de horas que tenga en operación, de la severidad en las condiciones de servicio a que este sometida, de los materiales en la construcción de la unidad y del cuidado de que este haya recibido durante su operación.

### **Desmantelamiento para la reparación de una bomba.**

No debe desmantelarse ninguna bomba para inspeccionarla, a menos que se este seguro de que ha disminuido sensiblemente su capacidad o de que haya indicaciones de descompostura en el interior o en los baleros.

Se deberá tener mucho cuidado para desmantelar una bomba, lo primero que deberá hacerse será cerrar las válvulas de succión y de descarga y drenar el líquido que haya quedado en la carcasa.

NOTA: Cuando se desmantele una bomba es conveniente para facilitar su ensamble, que todas las partes que se vayan quitando se coloquen en sucesión por su orden y también proteger las partes maquinadas contra cualquier contacto directo con metal y contra la corrosión.

Procedase como a continuación se explica:

- 1.- Drenar los alojamientos de los baleros
- 2.- Desconectar las dos mitades del cople
- 3.- Desconectar los prensa-estopas de la carcasa

- 4.- Levantar la mitad superior de la carcaza. Al hacer esta operacion,téngase cuidado de que no sufran daño las partes estacionarias de la bomba,que esten unidas a las paredes de la carcaza.
- 5.-Desatornillar los pernos que fijan los alojamientos de los baleros de la carcaza
- 6.-Levantar el ensamble del impulso,tengase mucho cuidado al levantar y manipular este conjunto.
- 7.- Aflojar las tapas de los baleros y quitar el alojamiento de los mismos.
- 8.- Quitar los prensa-estopas,los empaques y las jaulas de los sellos.
- 9.- Quitar por ultimo, el impulsor,los anillos de desgaste y las cuñas del impulsor.

Tan pronto como la bomba haya quedado desarmada,procedase a exáminar cuidadosamente todas las juntas y todas las superficies del desgaste de los demás elementos que son de importancia en el desempeño de la unidad. Procédase a limpiar y reparar las más desgastadas.

### **Mantenimiento de partes específicas de bombas**

El mantenimiento de las partes específicas más importantes de una bomba,será desarrollado de la siguiente manera:

#### **Mantenimiento de la carcaza**

Las carcazas deberán mantenerse limpias y libres de herrumbre , en el momento en que la unidad sea desarmada se debe limpiar y pintar. La experiencia ha demostrado que un programa usual para limpiar y reparar las carcazas debe ser puesto en obra regularmente. Siempre que la bomba se desarme,se deberá poner junta nueva entre las dos mitades de la carcaza.

#### **Mantenimiento de impulsores**

Al extraer un impulsor de la carcaza de una bomba deberá examinarse cuidadosamente todas sus superficies para ver si existe desgaste por abrasión,corrosión o cavitación y si esto sucede limpiar cuidadosamente todas estas partes o reemplazarlo completamente. Los impulsores se seleccionan de acuerdo al fluido manejado,en nuestro caso el fluido es agua, si en nuestro caso el fluido es gasolina los impulsores que utilizaremos seran de bronce. Aunque no es probable,el desgaste puede ocurrir en el cubo del impulsor sobre el acoplamiento con la flecha y finalmente se pueden formar grietas en el impulsor debido a la vibración excesiva o a los esfuerzos que se establezcan durante el proceso de fundición.

## **Mantenimiento de flecha y camisa**

Siempre que desarme una bomba se deberá examinar cuidadosamente la flecha en el lugar donde se acople el impulsor y los baleros, lo mismo que debajo de las camisas de flecha; esta última puede dañarse por corrosión y oxidación. Las camisas en mal estado pueden también determinar una carga mecánica axial excesiva contra los baleros.

## **Mantenimiento de los baleros**

Los baleros se colocan generalmente a presión en la flecha y para que trabajen satisfactoriamente se requerirá que el anillo interior quede firmemente sujeto a la flecha sin que pueda girar sobre ella; en este caso se forzará el balero hasta tomar su lugar dentro de la flecha, también se puede aplicar el método de calentar el balero en un baño de aceite o en un horno eléctrico a una temperatura uniforme de 100 °C a 115 °C, cuando el balero está caliente se monta rápidamente en la flecha. Cuando se trata de forzar un balero dentro de la flecha, se deberá tener cuidado de que el anillo interior no sufra ninguna deformación.

## **Mantenimiento de los anillos de desgaste**

Los anillos de desgaste de los impulsores colocados a presión y sujetados por medio de tornillos, estos últimos se quitarán durante el reemplazo de los anillos. Es aconsejable una inspección de la flecha y el impulsor, después de montar los anillos sobre el impulsor a fin de determinar su excentricidad.

## **6. 3 Aplicación práctica de instalación, alineación y operación**

LA bomba esta construida para dar óptimo comportamiento para el tipo de servicio y el producto bombeado, para dar la mejor eficiencia sobre una porción limitada de la curva gasto/ carga

Es recomendable que un tecnico de servicio sea empleado para la instalación y arranque inicial de una bomba. Este servicio asegurará que el equipo es debidamente instalado y proporcionara una excelente oportunidad para que el operador de la planta reciba instrucciones especiales relativas a la unidad.

No obstante se asume que el personal de la planta esta familiarizado con los principios básicos y herramientas que se relacionan con la instalación de un equipo,

cuidados y servicios de una bomba. El éxito de la operación depende de este estudio cuidadoso y un programa de mantenimiento bien planeado. Es también esencial que durante el arranque inicial de una nueva planta, se deba prever que materiales extraños no entren a la bomba, y todas las líneas de suministro de líquido deben ser drenadas y limpiadas cuidadosamente.

### **Descripción del equipo**

Son bombas centrifugas horizontales de un paso con partición axial en el ensamble de la caja y configuración de doble caja de chumaceras.

**Ensamble de caja de la bomba :** En el ensamble de la caja de la bomba consiste de una caja de doble voluta, compuesta por dos mitades ( superior e inferior ), la mitad inferior tiene las boquillas de succión y descarga, esto para permitir el desensamble del elemento rotativo sin desensamblar la tubería principal. Las dos mitades son aseguradas por sus respectivas tuercas, ambas son selladas por una junta. En los extremos de la caja estan integrados los estoperos, estos son recamaras para alojar los sellos de la flecha, también cada estopero tiene un buje de garganta, dicho buje ayuda a minimizar el paso del líquido bombeado a la camara del sello.

La caja también cuenta con dos anillos de desgaste, estos son ensamblados a la caja por medio de una ranura.

**Elemento rotatorio:** El elemento rotatorio consiste de la flecha de la bomba , impulsor de doble succión, dos mangas intermedias, mangas de la flecha, cuña del impulsor y tuerca del cople.

**Camara de sello:** La caja de chumacera radial se compone de dos mitades( superior e inferior ), estas son unidas por tornillos y guías para su perfecta alineación. Cuenta con una chumacera tipo manga la cual es localizada a la caja de chumacera por un perno y dos deflectores uno en cada extremo de la caja, estos son sujetados a la flecha de la bomba por medio de prisioneros.

La caja de chumacera axial, también se compone de dos mitades, unidas con tornillos y guías para su alineación entre sí

Contiene una chumacera radial tipo manga, localizada en la caja por medio de un perno, una chumacera axial la cual se compone de: Disco de empuje localizado en la flecha por medio de un anillo localizador, una cuña y amarrado por una tuerca con rondana de seguridad, dos cajas de alojamiento para zapatas con botones, platos de balanceo y platos de nivelación, un sello de aceite, un deflector y una cubierta axial la cual esta unida ala caja con tornillos y junta.

Las cajas de chumaceras son aseguradas a la caja de la bomba por tornillos y guías para mantener el alineamiento.

**Sellos mecánicos:** Los sellos mecánicos controlan la fuga del líquido bombeado alrededor de la flecha de la bomba, donde esta pasa a través de las cubiertas del ensamble de la caja de la bomba. La bomba usa dos sellos mecánicos.

### **Consideraciones especiales**

#### **Equipo requerido**

1. Suficiente excavación para la base de cimentación y saliente
2. Raseros para guiar el saliente
3. Suficiente pintura de aceite para cubrir el saliente
4. Mezcla de concreto
5. Para nivelación y lechado de la base es necesario proveer de cimentación de dos bloks de acero y dos soleras machueladas
6. Un indicador de caratula
7. Un soporte ajustable que tenga el brazo para alcanzar la masa del cople

**Disposición del embarque**La bomba y accionador son generalmente embarcados, montados sobre la base, un patín de madera es suministrado como soporte. Otras partes requeridas como espaciador, refacciones etc , son puestas en una caja y aseguradas al patín del embalaje.

**Almacenaje:** Si la bomba va a ser almacenada antes de su instalación, mantengala en un lugar seco, limpio y libre de polvo , observe las siguientes recomendaciones.

1. Remueva todos los instrumentos. Coloque los instrumentos en un empaque protector y depositelos cerca de la bomba. Ponga tapones a las terminales de los instrumentos removidos.
2. Seque la bomba con aire caliente
3. Coloque bolsas de absorción de humedad en la caja de la bomba, en el soporte de baleros y chaqueta de enfriamiento, asegure que todos los drenes queden taponeados o en su caso; Llene la caja de la bomba, soporte de baleros y chaqueta de enfriamiento con aceite protector libre de acido y humedad
4. Si las partes externas de loa bomba tiene recubrimiento protector, periodicamente inspeccione y remueva el recubrimiento cuando se requiera
5. Gire la flecha de la bomba 5 revoluciones cada 30 días
6. Asegurese que las bridas de las bombas queden debidamente selladas
7. Cuando la bomba sea usada, quite la bolsas de absorción de humedad, drene el aceite protector y quite el recubrimiento protector.

## **Instalación**

### **Maniobra y verificación del equipo**

1. Maneje el equipo cuidadosamente
2. Remueva la bomba del patín de embarque soportandola adecuadamente, no coloque ganchos de izaje alrededor del soporte o bajo la base del equipo. No use tornillos de ojo en la parte superior de la bomba y soporte de baleros para levantar el conjunto completo
3. Despues de la maniobra, inspeccione la bomba, verifique lo recibido contra lo remisionado y reporte de inmediato cualquier daño o faltante
4. Revise las consideraciones especiales antes de empezar con los procedimientos de instalación.

**Limpieza de cajas de chumaceras:** El interior de la caja de chumaceras ha sido limpiada antes del embarque de la bomba, no obstante suciedad o humedad pudiera haber entrado en ella durante el embarque, ensamble o instalación. Si se sospecha que la chumaceras han estado expuestas a suciedad o humedad, limpie la caja y las chumaceras completamente con un solvente y aire seco antes de agregar lubricante.

### **Preparación para la cimentación**

1. Seleccione un suelo sólido para la cimentación
2. Construya la cimentación aproximadamente más grande que el perimetro de la base, con el objeto de prever suficiente rigidez a las anclas de la cimentación
3. Vierta el concreto y deje la superficie de la cimentación suficientemente rugosa para prever una buena base para el lechadeo
4. Deje fraguar la cimentación durante una semana antes de instalar el equipo

### **Nivelación y lechado de la base**

1. Coloque los bloks de acero y las soleras tan cerca como sea posible a las anclas
2. Quite la bomba, accionador y tubería auxiliar de la base
3. Remueva la base del patín de madera y enganche las cadenas a las orejas de levantamiento de la base. Guíe la base para posicionarla arriba de la cimentación y la parte inferior de la base sobre las anclas
4. Usando nivel de precisión ajuste las soleras como sea necesario para asegurar que la base este nivelada en todas direccione. Las soleras o juegos de laines deben sentirse sólidas al golpear ligeramente con martillo
5. Cuando la base este nivelada apriete ligeramete las tuercas de las anclas

6. Para contener la lechada, haga un canal de madera de 2 ½ " de profundidad alrededor del exterior de la base. También provea raseros o embudos sobre los barrenos de lechadeo, para asegurar la correcta aplicación de la lechada
7. Agite o vibre la lechada mientras se vierte en todos los barrenos de lechadeo, golpee la base para eliminar bolsas de aire
8. Permita que la lechada frague, y corrija los excedentes de la lechada del exterior de la base
9. Cuando la lechada este totalmente endurecida, remueva las soleras, llene los barrenos con lechada y apriete completamente las anclas
10. Aplique pintura de aceite para proteger la lechada de aire y humedad
11. Use una grua o malacate para posicionar la bomba y el accionador en su base guiando correctamente sobre sus respectivos barrenos. Aprite los tornillos de fijación. Coloque la tubería auxiliar y accesorios.

## **Alineamiento y tubería**

### **Conexión de la tubería principal**

1. Estos equipos son suministrados para condiciones de servicio específicas. Cualquier cambio en el sistema hidráulico puede afectar desfavorablemente el comportamiento de la bomba. La tubería de succión y descarga de la bomba deberá ser de suficiente tamaño, instalada en una ruta directa con un mínimo de vueltas. Doble vuelta deberá ser evitada en la succión de la bomba. Si un codo es necesario este deberá ser del tipo de radio largo. Una ruta de tubería recta igual a 8-10 veces (como mínimo) el diámetro de la tubería es deseada antes de la boquilla de succión
2. Instale una válvula check y una válvula de compuerta en la tubería de descarga. Cuando se detenga la bomba, la válvula check protegerá a la bomba contra excesiva contrapresión de contraflujo y evitará que la bomba gire en reversa. La válvula check deberá ser instalada entre la válvula de compuerta y la boquilla de descarga con el objeto de permitir su inspección.
3. En instalaciones nuevas, grandes cuidados deberán tomarse para prevenir suciedad, escama, gotas de soldadura y otros tipos de materiales extraños que pudieran entrar a la bomba. El sistema de succión deberá ser correctamente limpiado antes de instalar el colador de succión y la tubería de succión.
4. La tubería de succión y descarga, conexiones y válvulas deben ser adecuadamente soportadas y ancladas cerca de la brida de la bomba para eliminar deformaciones en la caja de la bomba y prevenir excesivos esfuerzos en las boquillas, mantener bomba y accionador alineados y prevenir que la tubería induzca vibración. La bomba y las bridas de la tubería deben estar paralelas y enpalmar sin esfuerzo, los barrenos deben estar correctamente alineados

**A) Alineamiento del equipo:** El correcto alineamiento es importante para la exitosa operación del equipo. Un cople flexible no es la excusa para permitir excesivo desalineamiento. La relación entre la línea de centros de las flechas puede

facilmente ser determinada por: 1)Metodo de dos pasos de indicador dial , 2)Alineamiento con indicador invertido, 3) Alineamiento a traves de discos.

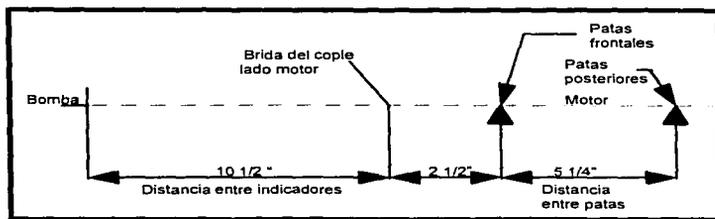
Antes de introducirnos al procedimiento de alineamiento hay varios detalles que deben ser considerados en este punto.

- 1. Colocación del indicador.** No importa que arreglo se use, la caída del indicador debe determinarse, esto puede ser determinado sujetandolo a una rigida pieza de tubo, girando el indicador de arriba a bajo y leyendo la diferencia. Una vez que la posición de la caída del indicador ha sido determinada, este numero puede ser restado de las lecturas de alineamiento obtenidas en la parte inferior. No se preocupe por las lecturas de lado a lado, ya que la caída es igual en ambos lados
- 2. Toma de lectura de alineamiento.** Se sugiere que el indicador de caratula sea puesto en cero en la parte superior. Por conveniencia se debe marcar el cople a 0° 90° 180° con una marca de referencia para que se pueda estar seguro de que se ha girado a 90°. Ambas flechas deben ser giradas en la misma proporción si el cople no se pone junto. Ahora gire el cople en intervalos de 90° registrando todas las lecturas. Es importante registrar las lecturas de lado a lado en posición recta, despues de que se hayan checado las cuatro posiciones y se haya regresado a la posición superior original, es absolutamente necesario que el indicador regrese a cero donde este inicio. Si no se logra esto, repita las lecturas, es tambien recomendable checar varias veces las lecturas para asegurar que son las mismas
- 3. Expansión térmica.** Si hay expansión térmica considerable en las piezas del indicador, es una buena practica que esta expansión sea sumada a la solución gráfica antes de que el movimiento del equipo sea echo.
- 4. Patas blandas.** El hecho de que el equipo pudiera tener "Patas blandas" , esto puede afectar las lecturas de alineamiento que se obtengan. La falta de rigidez debe ser checada primero y eliminada. Esto puede ser facilmente hecho montando un indicador de caratula en la base, indicando cero en la parte superior de la pata de la maquina a ser checada. Cada pata en rotación es despues checada aflojando uno de los tornillos que estan apretados.Despues de que cada pata a sido checada está deberá ser calzada para lograr las cuatro lecturas tan cerradas como sean posible con respectos a las otras

**B)Alineamiento por analisis gráfico con indicador invertido.** Sobre una hoja de papel reprecente el equipo que va a alinear, Deberá usar una escala apropiada al tamaño de la hoja de papel. Las distancias criticas son:

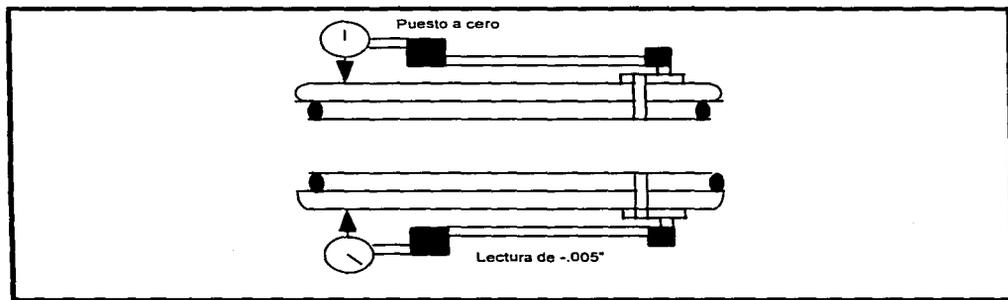
1. Distancia de donde esta montado el primer indicador en la masa de la bomba a donde esta montado el segundo indicador en la masa del accionador. En el ejemplo mostrado abajo, esta es de 10 1/2"
2. Distancia de donde esta montado el segundo indicador en la masa del motor al centro de las patas frontales del accionador en el ejemplo es de 2 1/2"

3. Distancia del centro de las patas frontales del motor al centro de las patas posteriores del motor en el ejemplo de la figura 4.1 es de  $5 \frac{1}{4}$ "



**Fig 4.1 Distancias críticas**

El proximo paso es determinar la caída del indicador. Coloque su arreglo de soporte sobre un tubo. Ponga el indicador a cero en la parte superior. Gire el arreglo hasta que el indicador este en la parte inferior del tubo. Esta lectura será negativa en el ejemplo de la figura 4.2 se tiene de  $-.005$ "



**Fig 4.2 Lectura del indicador**

Con el soporte del indicador puesto en la masa del motor leyendo sobre la masa de la bomba gire la unidad en incrementos de  $90^\circ$  y tome la lectura

La lectura inferior es despues corregida por la caída del indicador. La caída del indicador en el ejemplo fue de  $-.005$ " ( $.127$  mm) . Las  $-.005$ " ( $.127$ mm) fueron restadas

de las  $-.025"$  (.639mm) de la lectura del indicador para dar una lectura real de  $-.020"$  (508 mm).

Como esta es una lectura total del indicador, esta es dos veces la rotación real de flecha a flecha  $.020"$  (.508 mm) o  $.010"$  (.254 mm) es usada para mostrar la posición relativa de la flecha del motor a la flecha de la bomba. Usando una escala de una pequeña división igual a  $.001$  pulgadas; trace este punto como se muestra en la figura 4.3

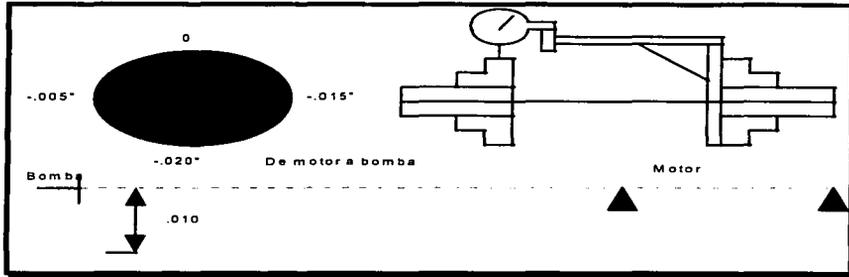


Fig 4.3 Descripción

Ahora con el soporte del indicador puesto en la masa de la bomba gire la unidad nuevamente en incrementos de  $90^\circ$ .

La lectura inferior es despues corregida por la caída del indicador. Las  $-.005"$  (.127 mm) fueron restadas de las  $+.005"$  (.127 mm) de la lectura del indicador para dar una lectura real de  $.010"$  (.254 mm).

Las  $+.010"$  (.254 mm) estan divididas por dos para dar  $.005"$  (.127 mm) la cual es la real posición realitiva entre flechas. Trace este punto como se muestra en la figura 4.4

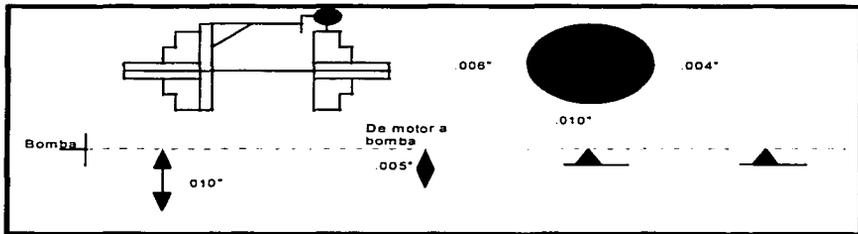


Fig 4.4 Descripción

Tenemos ahora localizada la flecha del motor teóricamente extendida en dos lugares.

- a) En el plano de la masa de la bomba
- b) En el plano de la masa del motor

Dibujando una línea recta a través de estos dos puntos, cruzando el plano de las dos patas de motor. La calza para ajuste puede ser ahora leída directamente sobre la gráfica. En este ejemplo  $.004''$  ( $.102 \text{ mm}$ ) deberán ser agregados a las pata frontales y  $.001''$  ( $.025 \text{ mm}$ ) deberán ser agregados en las patas posteriores.

Para la horizontal ( lado a lado ), el mismo procedimiento es usado. Algebraicamente resta las lecturas de lado a lado. La caída del indicador puede ser igualada. Trace estas lecturas y el resultado puede ser leído sobre la grafica Figura 4.5

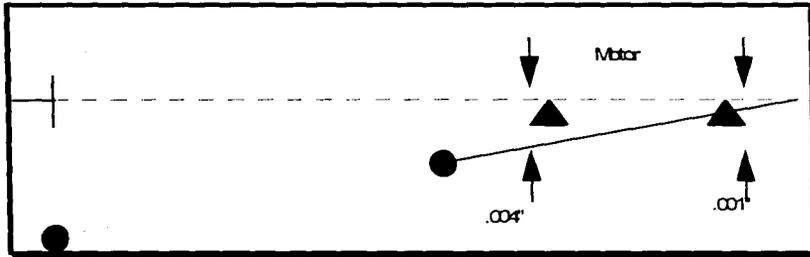


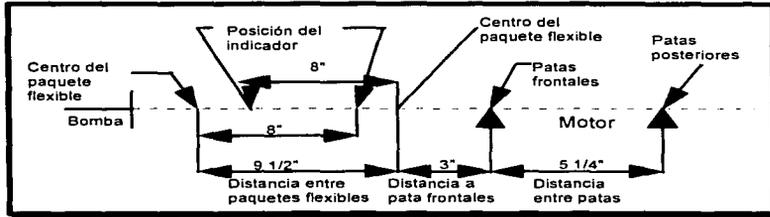
Fig 4.5 Lecturas

**c) Alineamiento por analisis gráfico a través de paquete de discos.** Cuando la distancia entre paquetes de discos es larga, donde no es práctico intentar medir la distancia con indicador soportado, el método a través de paquetes de discos puede ser usado.

Sobre una hoja de papel, represente el equipo que va a alinear, deberá usar una escala apropiada al tamaño de la hoja de papel, las distancias críticas son.

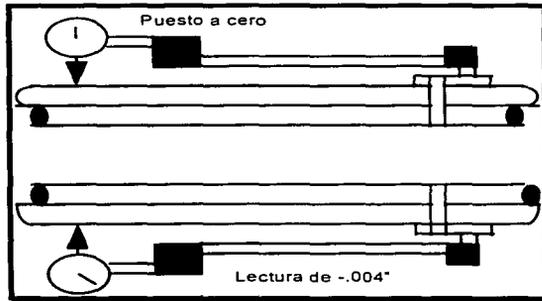
1. Distancia de la línea de centro de uno de los paquetes de disco al otro paquete de discos en el ejemplo de la figura 6 es de  $9 \frac{1}{2}''$  ( $243.3 \text{ mm}$ )
2. Distancia de la línea del centro del paquete de discos del motor al centro de las patas frontales del motor en el ejemplo de la figu 6 es de  $3''$  ( $76.2 \text{ mm}$ )

3. Distancia del centro de las patas frontales al centro de las patas posteriores en la fig 4.6 es de  $5 \frac{1}{4}$ " ( 133.4 mm )
5. Distancia del paquete de discos al indicador de caratula en la fig 6 es de 8 " (203.2 mm )



**Fig 4.6 Distancias críticas**

El siguiente paso es determinar la caída del indicador. Coloque su arreglo de soporte sobre un tubo, ponga el indicador a cero en la parte superior. Gire el arreglo hasta que el indicador este en la parte inferior del tubo figura 4.7

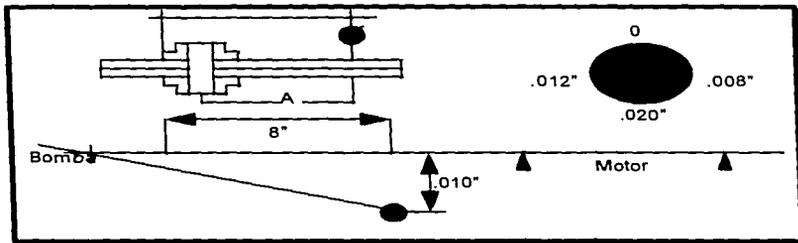


**Fig 4.7 Caída del indicador**

Con el soporte del indicador puesto en la masa de la bomba, leyendo fuera del del centro. A una distancia conveniente ( En el ejemplo de la figura 4.8 fueron usadas 8" ( 203.2 mm ))gire la unidad en 90° y tome la lectura.

La lectura inferior es despues corregida por la caída del indicador. La caída del indicador en el ejemplo fue determinada en  $.005$ " (  $.127$  mm ) fueron restadas de  $.025$ " (  $.635$  mm ) y la lectura real dada es de  $-.020$ " (  $.508$  mm ) / 2 =  $.010$ " (  $.254$  mm ).

Como esta es una lectura total del indicador, esta es dos veces la rotación real de flecha a flecha o  $.020''$  (.508 mm) o  $-.010''$  (.254 mm). Usando una escala de una pequeña división a  $.0012''$  trace este punto como se muestra en la figura 4.8

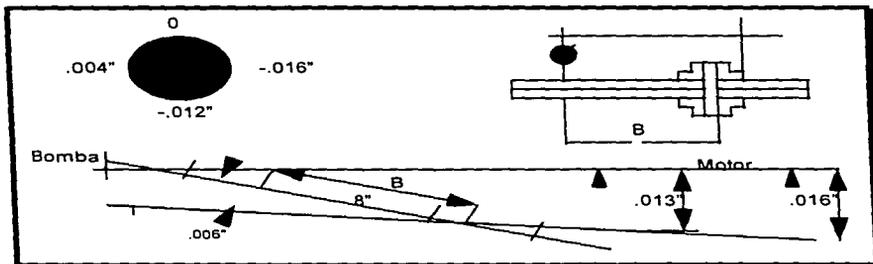


**Fig 4.8 Descripción de distancias**

Ahora con el soporte del indicador puesto en la masa del motor leyendo fuera, gire la unidad en incrementos de  $90^\circ$  y tome las lecturas

La lectura inferior es corregida por la caída del indicador más menos  $.008''$  (.203 mm) -  $.004''$  (.102 mm) o  $.012''$  (.309 mm) esta es una lectura total del indicador por lo tanto es  $.006''$  (.152 mm). usando una escala de  $.001''$  trace las  $.006''$  (.132 mm) como se muestra en la figura 4.9

La flecha del motor puede ahora ser dibujada ya que los dos puntos han sido definidos. 1. El centro del elemento flexible. 2. El punto trazado  $.006''$  (.152 mm) abajo. Las calzadas requeridas pueden ahora ser leídas sobre la gráfica donde la flecha del motor intersecta los planos de las patas del motor



**Fig 4.9 Descripción de lecturas**

En este ejemplo de la figura 4.9 el motor deberá ser calzado .013" (.330 mm) en las patas frontales y .016" (.406 mm) en las patas posteriores.

Para la horizontal ( lado a lado ) el mismo procedimiento es usado. Algebraicamente reste las lecturas de lado a lado. La caída del indicador puede ser ignorada. Trace estas lecturas y el resultado puede ser leído sobre la gráfica.

### **Preparación para arranque**

1. Use los lubricantes especificados y aplique como se indica
2. Instale y conecte cualquier otro instrumento requerido, y cables de acuerdo a las instrucciones del fabricante del equipo
3. Verifique alineación del equipo y asegurese de la correcta sujeción de la bomba y motor, apretando sus respectivos tornillos

**Lubricación.** El sistema de lubricación para estos equipos es del tipo lubricación forzada. Antes de arrancar la bomba es necesario cinco minutos o hasta asegurarse de que el aceite fluya adecuadamente por ambas cajas de chumaceras.

El lubricante recomendado es aceite mineral

### **Operación**

#### **Cebado.**

1. Bombas que manejan fluidos calientes ( > 500 °F, 260 °C ) deben ser precalentados gradualmente hasta alcanzar la temperatura de operación.

a) El método más comúnmente usado para precalentar una bomba, o mantenerla en espera en esta condición es usando una línea de precalentamiento y un orificio, de esta manera se hace circular líquido caliente a través de la bomba en reserva. Es recomendado que la bomba sea precalentada con una elevación de 100°F (38 °C) por hora para precalentamiento normal, o 300 °F ( 149 °C ) por hora para precalentamiento de emergencia. Es también recomendado que la elevación de temperatura de la bomba sea mantenida a menos de 50 °F ( 10 °C ) de la temperatura de operación del sistema.

b) La circulación puede ser fácilmente realizada, guiando una pequeña cantidad de flujo ( 5 a 8 GPM ) de lado de la descarga del sistema, más allá de la válvula check por medio de un orificio y haciendo llegar el flujo a la parte inferior de la bomba. El líquido caliente pasará a través de la caja y saldrá por la succión a un punto de baja presión en el sistema. En muchos casos la línea de drenaje de la bomba es usado como conexión de precalentamiento. Pero muchas variantes son posibles y una de estas puede ser compatible con la instalación particular del sistema y este debe ser considerado.

2. Antes del arranque de la bomba, verifique el apriete de todos los tornillos, la tubería y el cableado. Verifique manómetros, Válvulas e instrumentos de medición. Cheque la correcta lubricación y rotación. Abra y observe a través del tapón de llenado y venteo para verificar que los anillos están en sus respectivas ranuras ( Únicamente para sistemas con anillo aceitador )
  3. Verifique que la válvula de descarga esté cerrada.
  4. Verifique que la válvula de succión esté abierta
  5. Abra la válvula de descarga y permita el llenado de la bomba con fluido
  6. Mantenga la válvula abierta aproximadamente 60 segundos para asegurar que la bomba está completamente llena de fluido
  7. Arranque, e inmediatamente pare, el accionador y observe la rotación de la flecha, la correcta rotación será indicada por la flecha de rotación puesta en el soporte de baleros
  8. Si la rotación de la flecha es incorrecta consulte las instrucciones del fabricante del accionador
  9. Realizado el cebado y establecida la correcta rotación de la flecha, la bomba está lista para continuar la operación. Arranque nuevamente el accionador, e inmediatamente abra la válvula de descarga, no permita que la válvula de descarga permanezca cerrada por mucho tiempo. La temperatura de la bomba incrementaría excesivamente y causaría daños a la bomba
- Verificación de operación.** Después de iniciada la operación de bombeado, cheque el apriete de los tornillos, tubería y cableado. Verifique manómetros, válvulas e instrumentos de medición. Cheque la correcta lubricación y rotación. Abra y observe a través del tapón de llenado y venteo, que los anillos de aceite estén en sus ranuras , y salpicando aceite.

#### **Paro**

1. Lleve la descarga de la bomba a flujo mínimo
2. Desenergice el accionador
3. Cierre la válvula de descarga
4. Cuando la flecha de la bomba deje de girar, cierre la válvula de succión

#### **Tabla de correcciones de problemas**

La siguiente tabla incluye la mayor parte de los problemas que pueden presentarse durante la operación de la bomba, sus probables causas y remedios recomendados

	<p>b. Aceite contaminado c. Desalineamiento</p>	<p>b. Drene, limpie y ponga aceite c. Verifique alineamiento bomba - accionador</p>
<p><b>Fuga entre mangas y accionador</b></p>		
<p><b>La bomba no entrega liquido al sistema</b></p>	<p>a. Bomba no cebada b. Velocidad muy baja c. Impulsores tapados d. succión obstruida e. Impulsores dañados f. Rotación equivocada</p>	<p>a. Cebear la bomba b. Verifique alineamiento del accionador c. Limpieza total de impulsores d. Limpie la línea de succión e. Cambie impulsores f. Corrija rotación del accionador</p>
<p><b>Bajo flujo de descarga</b></p>		
<p><b>Accionador sobre cargado</b></p>	<p>a. Carga del sistema menor a lo especificado</p>	<p>a. Verifique presiones de succión y descarga</p>
<p><b>Excesivo consumo de aceite</b></p>		

## **CONCLUSIONES**

Tomando en cuenta la investigación que se realizó con respecto al análisis en la operación y el mantenimiento de bombas centrífugas en la industria petrolera, se pudo observar lo delicado que es el manejar estos equipos.

También analizamos la peligrosidad del tipo de fluido que se maneja en este caso gas L.P.G. así como los conceptos teóricos fundamentales que nos permiten el mejor entendimiento de la materia.

Al término de este análisis nos dimos cuenta que en PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BÁSICA se pueden implementar los principios y procedimientos de instalación, mantenimiento preventivo y correctivo que en este trabajo se mencionan, de la misma manera también el contenido de este escrito puede servir como guía para la futura instrucción de los operadores de bombas en cada estación que se tiene en Petroleos Mexicanos.

Específicamente a las estaciones de Arroyo Moreno, Zapoapita, CD. Mendoza, Maltrata, SN. Martín, en donde llevar un correcto control de operación de los equipos es primordial y el cuidado de las normas y procedimientos de seguridad se hacen indispensables.

Por último quisiera mencionar que este trabajo puede servir como una buena guía y antecedente para todos aquellos estudiantes de Ingeniería que quieran profundizar en el estudio de esta materia para así poder proponer en un futuro no muy lejano mejoras substanciales para seguir optimizando dichos equipos, así como el estudio en particular de cada una de sus partes.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **FLUJO DE FLUIDOS EN VÁLVULAS, ACCESORIOS Y TUBERÍAS**

**CRANE**  
**Mc Graw-Hill**  
**1988- México**

### **BOMBAS SU SELECCIÓN Y APLICACIÓN**

**TYLER G. HICKS**  
**C.E.C.S.A.**

### **BOMBAS CENTRÍFUGAS SELECCIÓN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**IGOR J. KARASSIK Y ROY CARTER**

### **MANUAL DE LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL BOMBEO E INGENIERÍA A.C.**

**ANIBIAC.**

### **BOMBAS CENTRÍFUGAS b/BI/1**

**IMP**  
**SUBDIRECCIÓN DE CAPACITACIÓN**

### **PUMP BIGHAM**

**PUMP DEPARMENT OF BIGHAM-WILLAMETTE Co.**  
**PORTLAND ORE-SHREVERFOR L.A.**

### **INSTALACIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS**

**JUAN MEJIA JARAMILLO**  
**C.E.C.S.A.**

**MÁQUINAS HIDRÁULICAS**  
ING. JOSÉ LUIS NARRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.

**MECÁNICA DE FLUÍDOS**  
VICTOR L. STEELER Y BENJAMIN  
LIMUSA

**TURBOMAQUINAS DE FLUÍDO COMPRESIBLE**  
MANUEL POLO ENCINAS  
LIMUSA

**MANUAL DE OPERACIÓN DEL POLIDUCTO 24"-28"-14"**  
**CACTUS-TULA-GUADALAJARA**  
SISTEMA TRONCAL DE DUCTOS SUR CENTRO  
PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BÁSICA

**GAS LICUADO DEL PETRÓLEO L.P.G. PROPIEDADES**  
SISTEMA TRONCAL DE DUCTOS SUR CENTRO  
PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BÁSICA

**SUSTITUCIÓN DE BOMBAS SITUACIÓN PROPUESTA**  
**AGOSTO 1997**  
COORDINACIÓN REGIONAL ZONA CENTRO  
GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
SUBDIRECCIÓN DE DUCTOS  
PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BÁSICA.