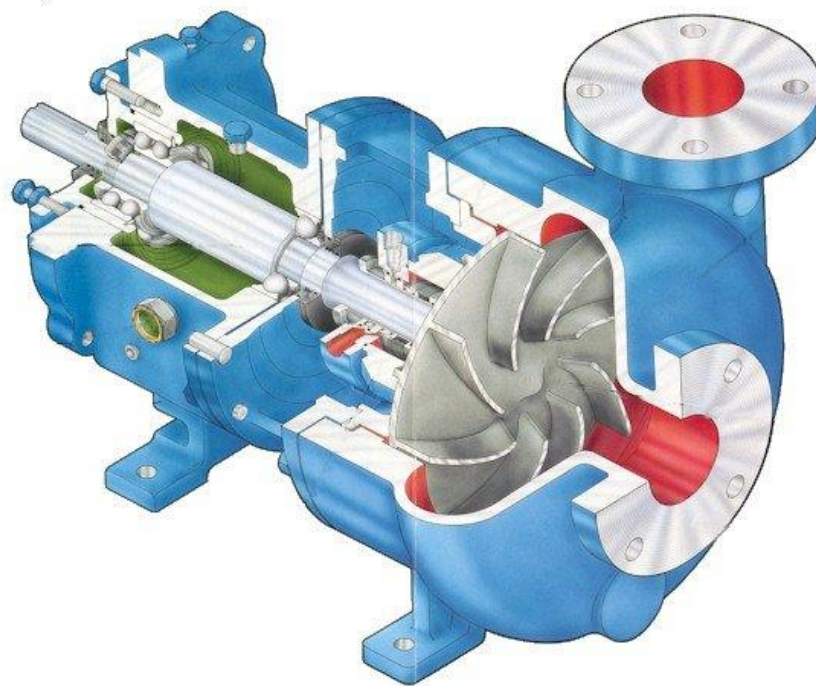




MANTENIMIENTO DE



BOMBAS

ING. ROSELIA RODRIGUEZ

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

1. Introducción

El Mantenimiento, visto como una función soporte, dentro de un proceso productivo, cobra una importancia absoluta, en el momento que comenzamos a analizar, todos aquellos equipos y sistemas, que están bajo nuestra responsabilidad como Mantenedores. Allí es cuando, empezamos a preocuparnos por equipos tales como bombas , compresores, ventiladores, que son el grupo de equipos considerados rotativos y que merecen una atención especial, tanto en la instalación , como en la operación y más aún en su mantenimiento, que es la acción que permite, garantizar la disponibilidad del equipo, una vez que se ha detenido por una falla o por una parada programada, para intervenirlo y devolverle así, las condiciones de operación necesarias, para que continúe la prestación del Servicio, para el cual fue diseñado y seleccionado.

Dentro de este grupo de equipos rotativos, las bombas son un subgrupo numeroso e importante dentro de los procesos productivos, tanto por su función en si, como por el número o cantidad y tipo dentro de las empresas.

Sin embargo, antes de abordar el tema de mantenimiento en si, es prudente hacer una breve revisión de conceptos, clasificación, manejo de las curvas características, entre otros, ya que esto ayudará a comprender mejor algunas fallas y a realizar intervenciones realmente efectivas que ayuden a disminuir la frecuencia y tipo de fallas de elementos tan importantes, como son las bombas centrifugas.

Es indudable, además tener claro que, se debe partir de una **correcta selección de la Bomba**, que se necesita, pues esto asegura una buena operación, que se traduce en economía y duración del sistema en general.

2. Glosario de términos.

Es necesario, hacer un breve repaso por términos relacionados con el tema a tratar, las bombas. Entre los más importantes están:

- **Rodete o impulsor:** es una parte importante en la bomba centrífuga es el encargado de transformar la energía cinética en presión dinámica.
- **Carga Estática:** es la altura expresada en metros (m) de líquido de la columna de fluido, que actúa sobre la succión (entrada) o la descarga (salida) de una bomba.
- **Carga Estática de Succión:** si la bomba, se encuentra ubicada por debajo del nivel libre de bombeo, la distancia vertical entre ese nivel y el eje de la bomba se denomina *Carga estática de Succión*.
- **Elevación Estática de Succión:** si la bomba, se encuentra arriba del nivel libre de bombeo, la distancia entre el nivel de líquido a bombear y el eje central de la bomba, se llama *Elevación estática de Succión*.
- **Carga Estática de Descarga:** es la distancia vertical, entre el eje central de la bomba y el punto de entrega libre o salida del líquido.
- **Carga Estática Total:** es la distancia vertical entre los niveles de Succión y Descarga.
- **Carga de fricción:** es la columna en metros (m), del líquido que se maneja, equivalente y necesaria para vencer la resistencia de las tuberías, de succión y descarga y de sus accesorios. Varía de acuerdo a la velocidad del líquido, tamaño y condiciones interiores de las tuberías y la naturaleza del líquido que se maneja.
- **Carga de Velocidad:** un líquido se maneja a cualquier velocidad dentro de un tubo, tiene energía cinética debido a su movimiento, la carga de velocidad es la distancia, de caída necesaria, para que un líquido adquiriera una velocidad dada determinada por:

$$H_v = \frac{v^2}{2g}$$

H_v = carga de velocidad en metros.

v = velocidad del líquido en mts / seg

g = aceleración de la gravedad en mts/ seg².

- **Cebado de una bomba:** cebar una bomba significa reemplazar el aire, gas o vapor que se encuentra en la bomba y su tubería, por el líquido a bombear las bombas se pueden cebar automáticamente o manual.
- **Fluido Ideal:** es aquel que no presenta viscosidad y por tanto no ofrece resistencia a deformarse.
- **Gravedad Específica:** es el cociente de la densidad de una sustancia entre la densidad del agua a 4 °C.
- **Gravedad Específica:** es el cociente del peso específico de una sustancia entre el peso específico del agua a 4 °C

3. Contenido.

3.1 Fluidos. Propiedades de los Fluidos.

Fluido es un medio material continuo (sustancia) que se deforma continuamente al ser sometido a un esfuerzo cortante o tangencial, cualquiera sea su magnitud.

Las Propiedades de los fluidos, son aquellas magnitudes físicas cuyos valores, nos definen el estado en que se encuentra el fluido. En primer lugar debemos diferenciar entre los dos principales tipos de fluidos: líquidos y gases.

Los líquidos son poco compresibles (en hidráulica se consideran incompresibles siempre, excepto en procesos transitorios) pueden presentar una superficie libre, en contacto con la atmósfera y ocupan un volumen determinado. Los gases presentan propiedades opuestas a estas.

Otra diferencia fundamental, es que la viscosidad de los líquidos, se debe a la cohesión entre las partículas, mientras que en los gases dependen del intercambio de cantidad de movimiento, entre las partículas. No menos importante es la viscosidad con relación a la temperatura. En los líquidos, la viscosidad disminuye por efecto del aumento de la temperatura, mientras que en los gases, aumenta la actividad molecular, aumenta también el intercambio de cantidad de movimiento y con este la viscosidad.

Entre las propiedades o características a considerar en el presente trabajo están:

3.1.1 Peso y Masa.

La masa nos indica la cantidad de materia que un cuerpo posee, generando una reacción inercial a cualquier fuerza aceleradora. El Peso P representa la fuerza de atracción que la gravedad, ejerce sobre el líquido (masa) siendo la relación entre ambas, la siguiente ecuación:

$$P = m * g$$

Donde:

P= peso (Nn)

m= masa (Kgf)

g=aceleración de gravedad m/ s²

3.1.2 Peso Específico.

Representa el Peso por unidad de volumen o lo que es lo mismo, la fuerza con que la gravedad, atrae cada unidad de volumen de fluido.

$$\gamma = \text{peso} / \text{volumen}$$

3.1.3 Presión.

Toda la fuerza superficial, actúa mediante contacto directo , en el interior de una masa líquida, esta fuerza tiene por lo general, una componente normal y una componente tangencial, a la superficie de contacto.

Llamemos Presión a la relación entre la fuerza “ F” que actúa normal a una superficie S, la expresión queda así :

$$P = F / S$$

Donde

P= presión Kgf/ m²

F= fuerza en Kgf

S= superficie m².

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

La presión medida, sin tener en cuenta la columna de aire, que hay por encima debido a la atmósfera (presión atmosférica), la llamaremos Presión Relativa. La presión atmosférica se denota **Po** en condiciones normales y a nivel del mar sus valores referenciales son los siguientes:

$$\mathbf{Po = 760 \text{ mm de hg} = 10.33 \text{ Kgf/ m}^2}$$

$$\mathbf{1 \text{ Kgf / cm}^2 = 10 \text{ m.c.a.}}$$

El resultado de sumar la Presión Relativa o manométrica (Pr) y la Presión atmosférica (Po), lo llamaremos Presión absoluta (Pa) y viene expresada de la manera siguiente:

$$\mathbf{Pa = Pr + Po}$$

En hidráulica es habitual expresar la Presión en forma de altura (magnitud lineal) para ello dividimos la presión entre su Peso específico.

$$P/\gamma = H$$

Donde:

H= altura de presión (m)

P=presión en (Kgf/m²).

γ= peso específico (Nw/m³).

En la tabla I se observa equivalentes de presión y carga, tanto en unidades Inglesas y unidades métricas.

Comprender estas conversiones permitirá más adelante calcular con el factor de conversión el NPSH de la bomba.

Tabla I Equivalentes de presión y carga

Presión manométrica + presión atmosférica = presión absoluta	
Unidades inglesas (U.S.)	Unidades métricas
1 atmósfera = 14.7 psi	1 atmósfera = 1.023 bar
1 atm = Columna de 34 pies de agua fría	1 atmósfera = 1 013 mbar 1 atm = Columna 10.33 m de agua fría
$\frac{34 \text{ ft}}{14.7 \text{ psi}} = 2.31 \text{ ft/psi}$	$\frac{10.33 \text{ m}}{1.013 \text{ bar}} = 10.2 \text{ m/bar}$
$\text{psi} = \frac{\text{carga en ft}}{2.31} \times \text{densidad relativa}$	$\text{Presión en bar} = \frac{\text{carga en m}}{10.2} \times \text{densidad relativa}$
$\text{Carga en ft} = \frac{\text{psi} \times 2.31}{\text{densidad}}$	$\text{Carga en m} = \frac{\text{bar} \times 10.2}{\text{densidad}}$

3.1.4 Tensión Superficial.

En la superficie libre de los líquidos, se presentan fenómenos de adhesión y cohesión molecular. Estos fenómenos se manifiestan, como si la superficie libre del líquido, fuese una membrana tensa que sustituye a la película de líquido, donde tiene lugar.

La tensión superficial, es responsable de que pequeños volúmenes de líquido adopten formas definidas, sin recipientes que los contenga (gotas de agua, p.e), o que el líquido, junto a la pared de un recipiente se eleve más que en el centro del mismo.

Las fuerzas de cohesión, entre moléculas del líquido, es muy superior a la atracción que existe, entre las mismas moléculas y el aire, lo que produce una fuerza resultante llamada " *fuerza de tensión superficial*" dirigida hacia el interior del líquido. Esta fuerza es directamente proporcional a la longitud de la superficie libre.

$$\sigma = F / L$$

donde:

σ = Tensión Superficial

F= fuerza de cohesión

L= longitud libre de líquido.

3.2 Sistemas de Bombeo.

Los sistemas de bombeo son un conjunto interconectados de elementos cuyo objetivo básico es transferir un valor de presión o energía a un fluido para incrementar dicho valor, usando para ello diferentes métodos , luego llevarlo de un punto de referencia a otro, bien sea para su uso inmediato, o para su almacenamiento, drenaje y finalmente su desecho.

Para cumplir este cometido, los sistemas de bombeo se diseñan considerando, las necesidades particulares, de un proceso continuo de manufactura o el cumplimiento de un servicio puntual de suministro.

Las partes más notorias en un sistema de bombeo son: las máquinas hidráulicas (bombas), las tuberías y/o canales abiertos de conducción, los accesorios o piezas de conexión, los instrumentos de medición y control y los elementos de almacenamiento.

3.2.1 Máquinas Hidráulicas. Bombas.

Las máquinas hidráulicas, convierten energía mecánica procedente de un motor de arrastre, en energía hidráulica. Las más importantes son aquellas que están unidas a un eje rotativo por lo cual reciben el nombre de **Turbo-máquinas. Turbo= giro o rotación.** La definición anterior es una de las más simples para definir una bomba.

3.2.2 Clasificación de las bombas.

Existe multitud de clasificación según distintos criterios, aunque en general la más extendida es aquella que las divide en tres tipos fundamentales:

- **Bombas gravimétricas.**
- **Bombas de desplazamiento positivo.**
- **Bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.**

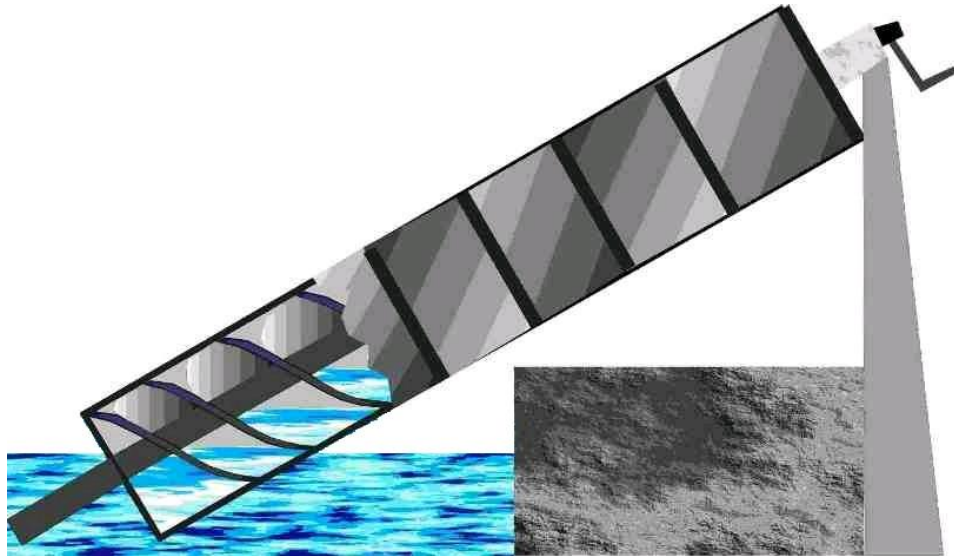
A continuación una brevísima descripción de las dos primeras, para luego centrar el desarrollo del resto de este trabajo en un tipo de bomba dinámica.

3.2.1.1 Bombas Gravimétricas.

Se trata de máquinas, que simplemente actúan sobre el término de posición del fluido, en el trinomio de Bernoulli o ecuación de energía. Es decir, únicamente cambian

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

de posición o de cota el fluido, respecto a un plano o punto de referencia, desde un punto más bajo a un punto más elevado. El ejemplo más clásico es el usado en plantas de tratamiento de aguas residuales, es el “Tornillo de Arquímedes”.



3.2.1.2 Bombas de desplazamiento positivo.

En el cuerpo de la bomba, existe una serie de cavidades o cámaras que se llenan y se vacían periódicamente. El fluido entra a la cámara, y es impulsado por el cuerpo móvil y sale de la cámara. Actúan sobre el término de presión en el trinomio de Bernoulli. A su vez, se pueden clasificar según el siguiente esquema:

- **Alternativas:**
 - Pistón
 - Diafragma.

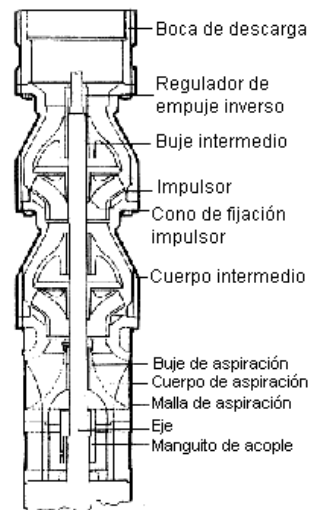
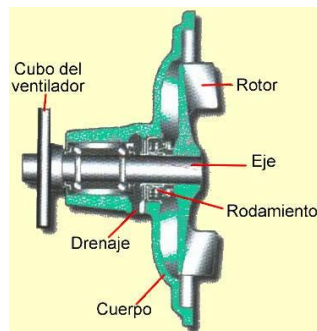
- **Rotativas:**
 - Engranajes,
 - Lóbulos
 - ☉ Tornillo



3.2.1.3 Bombas Dinámicas.

Añaden, cantidad de movimiento, al fluido a través de unos álabes giratorios llamados “Rodetes”. No existen cavidades, que se llenen o se vacíen, sino que el aumento de energía, se produce al mismo tiempo, que atraviesa la máquina. La máquina aumenta la energía del fluido, actuando sobre el término cinético, de la ecuación de Bernoulli, el cual se convierte en presión, antes de abandonar la máquina. Las podemos clasificar en función de la trayectoria, del fluido a través del rodete:

- Centrifugas o de flujo radial.
- De flujo axial
- De flujo mixto.



La clasificación anterior, suele afectar a las prestaciones, resultando que las de flujo axial dan caudales altos con alturas escuetas, mientras que las de flujo radial proporcionan

pequeños caudales, pero a **gran altura**. Las de flujo mixto quedarían en una posición intermedia.

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

Las bombas dinámicas, pueden a su vez, ser clasificadas atendiendo a criterios constructivos, así pues tenemos el siguiente esquema:

- El eje de giro puede ser, horizontal o vertical.
- Pueden estar en superficie o sumergidas.
- Pueden ser de un Rodete o de varios rodetes.



3.2.3 Selección de la Bomba Adecuada.

La clave para hacer la selección correcta de la bomba, radica en el conocimiento del sistema donde operará la bomba. Esta adecuada selección de un equipo de bombeo, asegura una buena operación, que indudablemente, se traduce en economía y duración del sistema.

La tarea de selección se dificulta, por la gran variedad y tipos de bombas disponibles, tal y como se mostró en el punto anterior, sin embargo, se darán a continuación, una lista de factores implicados cuando de seleccionar una bomba se trata:

1. La naturaleza del líquido que se va a bombear.
2. La capacidad requerida. (velocidad del flujo).
3. Las condiciones del lado de la succión (entrada) de la bomba.
4. Las condiciones del lado de la descarga (salida) de la bomba.
5. La cabeza de presión total de la bomba (H de la ecuación de la energía).

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

6. El tipo de sistema al que la bomba está entregando el fluido.
7. La Fuente de alimentación (motores eléctricos, turbinas etc.,)
8. Limitaciones de espacio, peso y posición.
9. Condiciones Ambientales.
10. Costos involucrados (instalación, operativos y de mantenimiento).

La naturaleza del fluido, está caracterizada por su temperatura, en las condiciones de bombeo, gravedad específica, viscosidad, tendencia a generar corrosión o erosión, en las diferentes partes de la bomba y la presión de vapor a la temperatura de bombeo.

El término presión de vapor se utiliza para definir, la presión en la superficie libre de un fluido, debido a la formación de un vapor.

3.2.3.1 Selección Preliminar de una bomba.

Un parámetro que es bien útil considerar, en la selección de un tipo de bomba, para una determinada aplicación es la “**velocidad específica**”, esta viene expresada en la siguiente ecuación:

$$\sqrt{s} = N \times Q^{1/2} / H^{3/4}$$

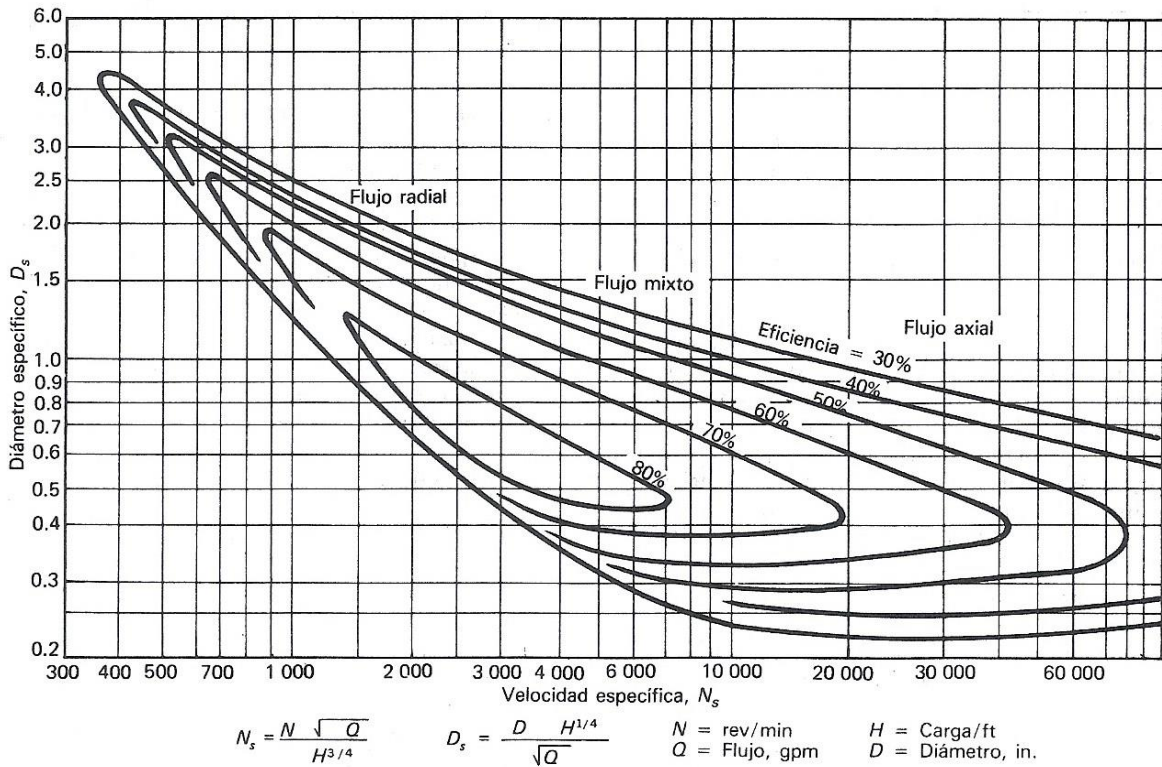
Donde:

\sqrt{s} = velocidad específica (adimensional)

N = velocidad rotacional del impulsor (rpm)

Q = velocidad del flujo a través de la bomba (gpm)

H = cabezal de presión de la bomba en (pies).



La gráfica de velocidad específica es una gran ayuda en la selección preliminar de bombas centrífugas de una velocidad

FIG N°1

La velocidad específica en ocasiones, se combina con el diámetro específico cuya ecuación es:

$$D_s = D H^{1/4} / Q^{1/2}$$

Donde:

Ds = diámetro específico.

D = diámetro del impulsor (pulg)

H = Cabezal total de presión de la bomba (pie)

Q = velocidad del flujo a través de la bomba (gpm).

El análisis del grafico arroja, que para velocidades específicas entre 400 hasta 4000 se recomiendan **bombas centrífugas de flujo radial**, las bombas de flujo mezclado, son recomendadas cuando el rango de velocidades específicas está entre 4000 hasta 7000 y las bombas de flujo axial están en un rango de velocidades entre 7000 hasta más de 60.000.

3.2.4 Bombas Centrifugas o de Flujo Radial.

Está dentro del grupo de las llamadas **bombas Cinéticas**, que se caracterizan porque se adiciona energía al fluido, acelerándolo a través de la acción de un impulsor giratorio. El fluido se alimenta hacia el centro del impulsor y después se lanza hacia afuera a través de las paletas. Al dejar al impulsor, el fluido pasa a través de la voluta en forma de espiral, en donde es frenado en forma gradual, provocando que parte de la energía cinética, se convierte en presión de fluido.

3.2.4.1 Partes de una Bomba Centrifuga.

Los elementos constructivos de una bomba centrifuga son:

- **Rodete:** elemento móvil, solidario al eje del motor, el cual gira en sentido anti-horario y transmite velocidad al fluido. Está formado por unos álabes curvados hacia atrás.
- **Carcasa:** rodea al rodete, para recoger el fluido que atraviesa los álabes del mismo. Tiene una parte con forma toroidal que recibe el nombre de **voluta**.
- **Difusor:** es la parte final de la carcasa, donde se reduce sustancialmente, la velocidad del fluido, y por tanto se transforma en presión.

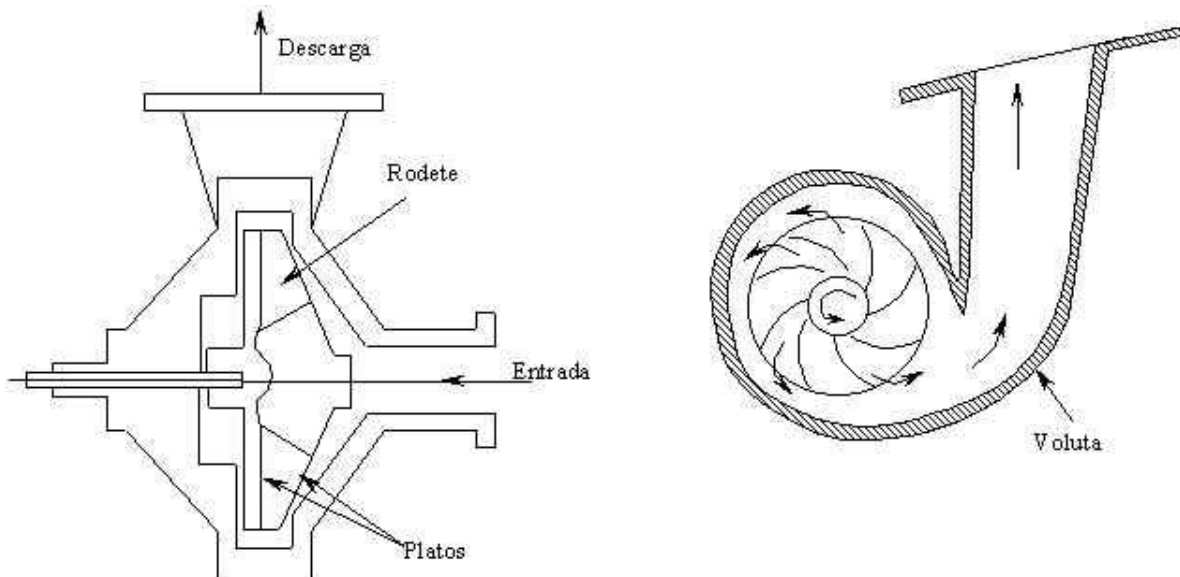


FIG. N° 2

3.2.4.2 Parámetros Importantes en una Bomba Centrífuga.

Este tipo de bombas, tiene la característica que existe una gran dependencia entre la capacidad y la presión que debe desarrollar la bomba. Esto hace que su funcionamiento sea un poco más complejo. La curva típica de funcionamiento muestra la cabeza total de la bomba H_a versus la capacidad o descarga Q , como se muestra en la FIG.N° 3. La cabeza H_a se calcula de la ecuación general de la energía, que se adiciona a una unidad de peso del fluido conforme éste pasa a través de la bomba.

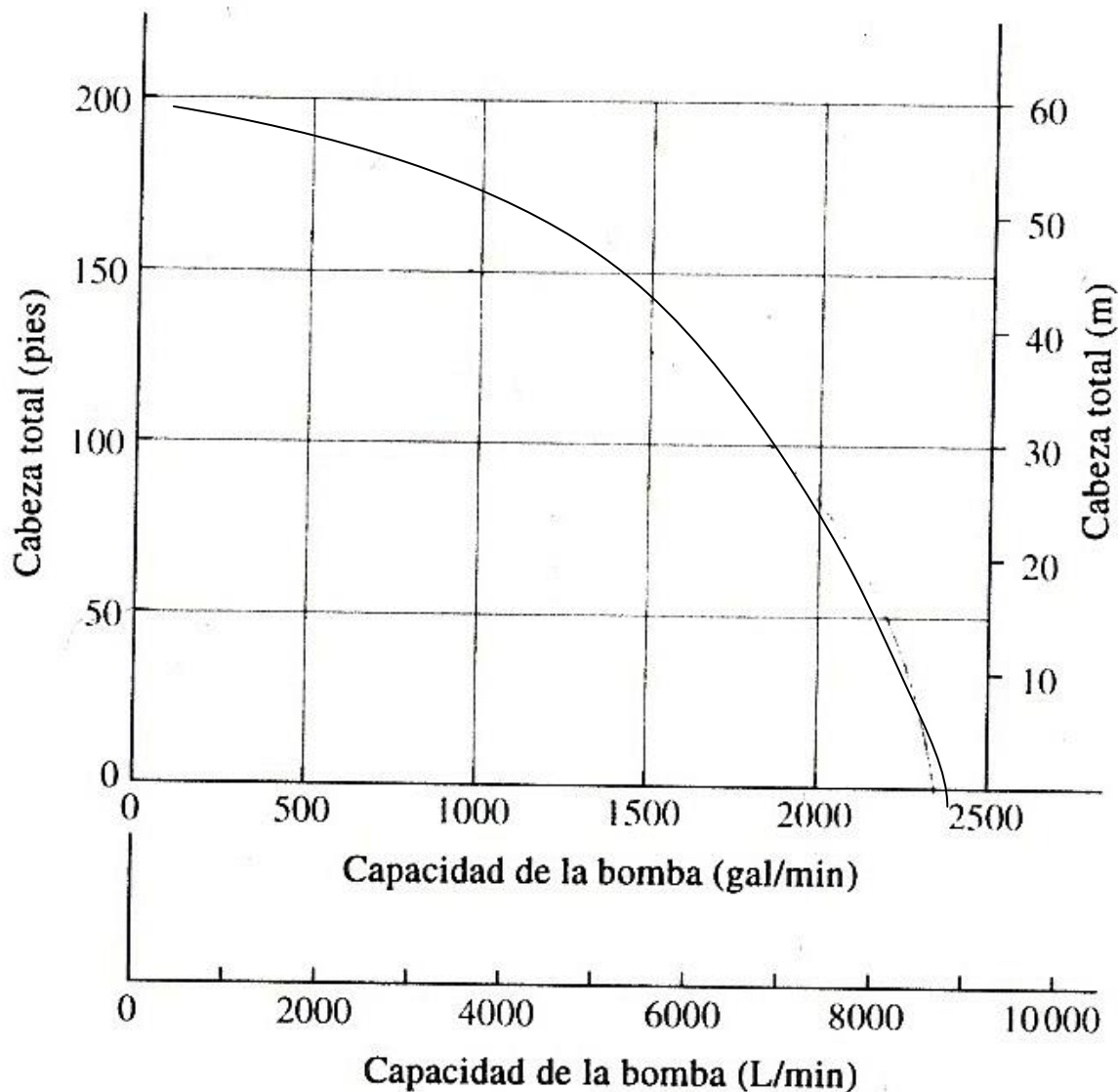


FIG. N° 3

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

La eficiencia y la potencia que se requieren son factores importantes en el buen funcionamiento de una bomba. La **FIG. N° 4** Muestra una evaluación del funcionamiento de una bomba más completa, cabeza superpuesta, eficiencia y curvas de potencia y la gráfica de los tres factores versus la capacidad. La operación normal estar en la vecindad del pico de la curva de eficiencia, con eficiencias dentro del intervalo de 60% al 80% como valores típicos en las bombas centrífugas.

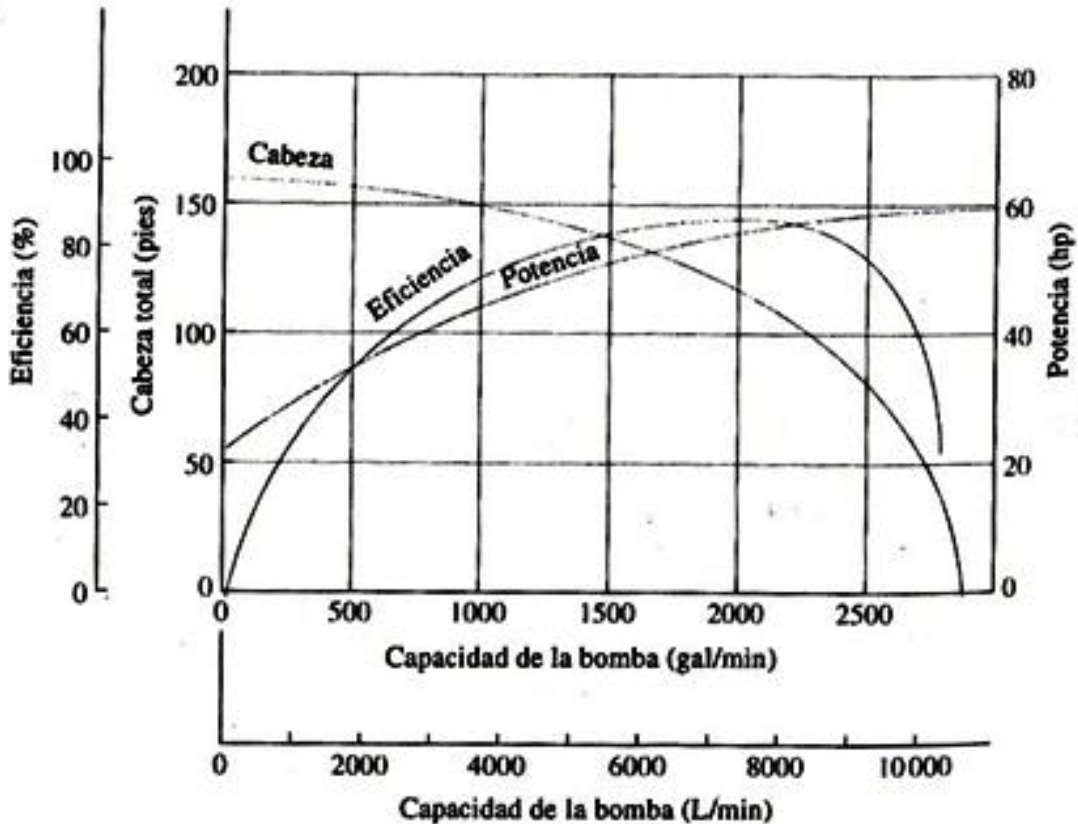


FIG. N° 4

3.2.4.3 Leyes de afinidad para Bombas Centrífugas.

La mayoría de las bombas centrífugas pueden operarse a diferentes velocidades para obtener capacidades variadas. Así mismo, una cubierta de bomba de un determinado tamaño puede acomodar impulsores de diferentes diámetros. Es importante comprender la forma en que varían la capacidad, la cabeza y la potencia cuando la velocidad o el diámetro

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

del impulsor varían. Estas relaciones llamadas **reglas de Afinidad**, se listan aquí. El símbolo N se refiere a la velocidad de rotación del impulsor, usualmente en rpm.

- Cuando la **velocidad varía**:

a) La capacidad varía directa directamente con la velocidad :

$$Q1/Q2 = N1/N2$$

b) La capacidad total de la cabeza varía con el cuadrado de la velocidad

$$ha1/ha2 = (N1/N2)^2$$

c) La potencia requerida por la bomba varía con el cubo de la velocidad.

$$P1/P2 = (N1/N2)^3$$

- Cuando el **Diámetro del impulsor varía**:

d) La capacidad varía directamente con el diámetro del impulsor.

$$Q1/Q2 = D1/D2$$

e) La cabeza total varía con el cuadrado del diámetro del impulsor.

$$ha1/ha2 = (D1/D2)^2$$

f) La potencia requerida por la bomba varía con el cubo del diámetro del impulsor.

$$P1/ P2 = (D1 /D2)^3$$

La eficiencia permanece casi constante, cuando varía la velocidad y para pequeñas variaciones del diámetro del impulsor.

3.2.4.4 Condiciones de Succión.

La mayor parte de los problemas con las bombas centrifugas ocurren en el lado de la succión. Por ello, es indispensable entender la forma de relacionar la capacidad de succión de la bomba, con las características de succión del sistema en que funcionará.

Cuando se bombean líquidos, nunca se debe permitir que la presión en cualquier punto dentro de la bomba caiga a menos de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Siempre se debe tener suficiente energía disponible, en la succión de la bomba, para hacer que el líquido llegue al impulsor y contrarreste

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

Entre la boquilla de succión y la entrada del impulsor, hay mucha pérdida, por lo tanto los álabes del impulsor aplican más energía al líquido.

Una característica adicional de la bomba, es (NPSH)_r. Es la energía, en pie de carga del líquido que se necesita en la succión de la bomba por arriba de la presión de vapor del líquido, a fin de que la bomba entregue una capacidad dada a una velocidad dada.

3.2.4.5 Cabeza de Succión positiva neta (NPSH)_r

La entrada o sistema de succión debe ser capaz de permitir la entrada a la bomba de un flujo parejo de líquido a una presión suficientemente alta para evitar la formación de burbujas en el fluido. A medida que la presión en un fluido disminuye, la temperatura a la cual se forman las burbujas de vapor (como al hervir) también disminuye. Por lo tanto es esencial que la presión de succión a la entrada de la bomba tenga un valor más elevado que la presión de vaporización a la temperatura de operación del líquido. Esto se logra proporcionando una **cabeza de succión positiva neta,(NPSH)**.

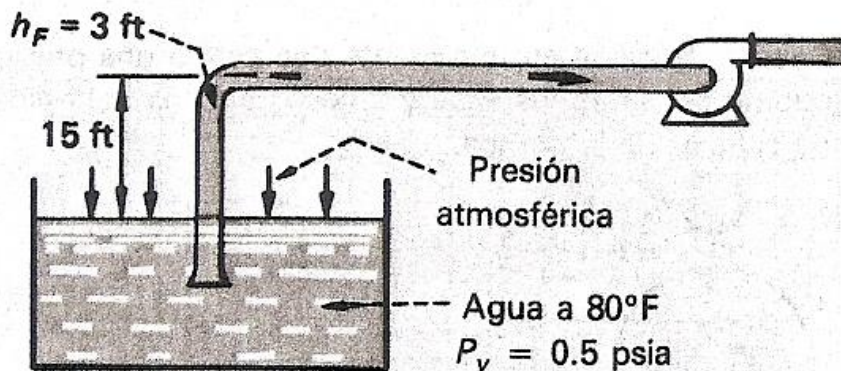
Los fabricantes de las bombas proporcionan datos acerca de la cabeza de succión positiva neta que se **requiere** para una operación satisfactoria.

La persona que seleccione la bomba debe asegurarse que existe un **NPSH_a disponible** lo suficientemente grande para operar cómodamente.

NPSH_a disponible > NPSH requerido

Ejemplo Cálculo de la carga positiva neta de succión disponible

80 BOMBAS CENTRÍFUGAS



$$(NPSH)_A = \frac{2.31 (P_s - P_v)}{\text{sp. gr.}} + Z - h_f$$

P_s = presión sobre la superficie del líquido, psia

P_v = presión de vapor del líquido, psia

Z = carga estática, ft

h_f = pérdidas por fricción, ft

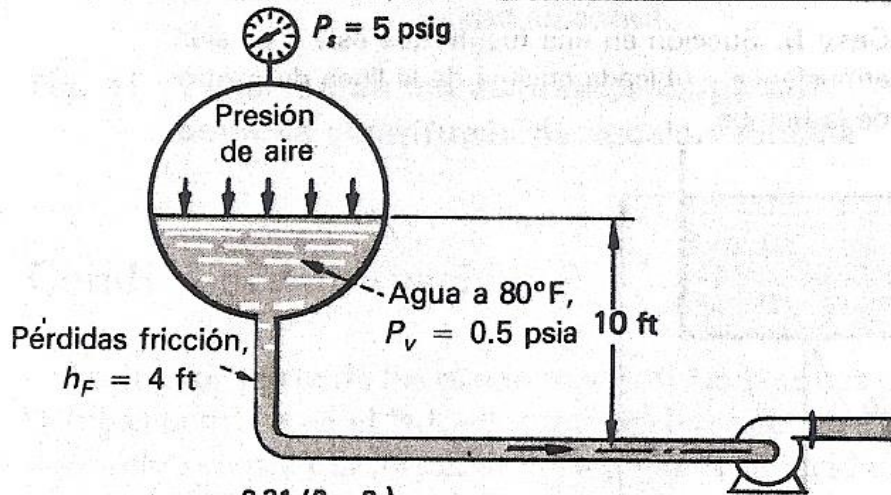
■ A nivel del mar:

$$(NPSH)_A = \frac{2.31 (14.7 - 0.5)}{1.0} - 15 - 3 = 14.8 \text{ ft}$$

■ A 5 000 ft sobre el nivel del mar

$$(NPSH)_A = \frac{2.31 (12.2 - 0.5)}{1.0} - 15 - 3 = 9.0 \text{ ft}$$

a. Altura de aspiración



$$(NPSH)_A = \frac{2.31 (P_s - P_v)}{\text{sp. gr.}} + Z - h_F$$

P_s = presión sobre la superficie del líquido, psia

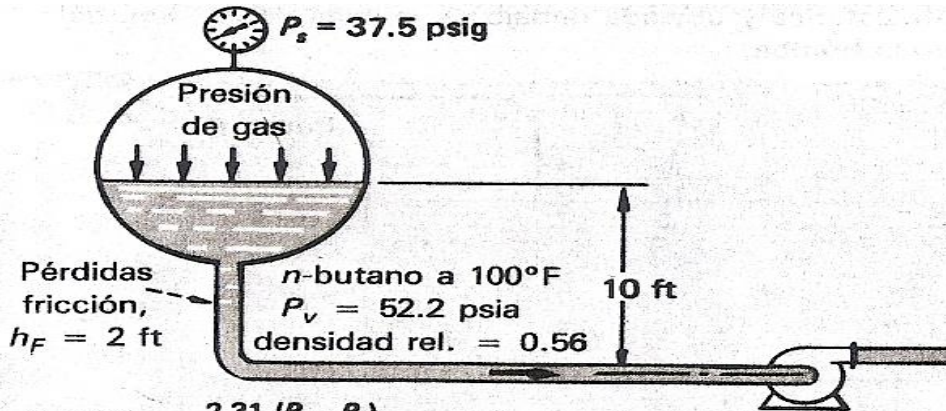
P_v = presión de vapor del líquido, psia

Z = carga estática, ft

h_F = pérdidas por fricción, ft

$$(NPSH)_A = \frac{2.31 (14.7 + 5 - 0.5)}{1.0} + 10 - 4 = 50.3 \text{ ft}$$

b. Succión en un tanque a presión



$$(NPSH)_A = \frac{2.31 (P_s - P_v)}{\text{sp. gr.}} + Z - h_F$$

P_s = presión sobre la superficie del líquido, psia

P_v = presión de vapor del líquido, psia

Z = carga estática, ft

h_F = pérdidas por fricción, ft

$$(NPSH)_A = \frac{(37.5 + 14.7 - 52.2)}{0.56} + 10 - 2 = 8.0 \text{ ft}$$

c. Succión con líquido a su punto de ebullición

Fig. 16 Cálculo de la carga positiva neta de succión disponible $(NPSH)_A$

3.2.4.6 Condiciones inadecuadas de en la Succión.

Cuando un sistema tiene insuficiente (NPSH)_a para una selección óptima de la bomba, hay varias formas de enfrentarse a este problema. Se pueden encontrar medios para aumentar la NPSH_a o para reducir la NPSH_r o ambas.

- Para aumentar la **NPSH_a** se puede:
 1. Subir el nivel del líquido.
 2. Bajar la bomba
 3. Reducir las pérdidas por fricción en las tuberías de succión.
 4. Utilizar una bomba reforzadora
 5. Sub-enfriar líquido.
- Para reducir la **NPSH_r** se puede:
 1. Velocidades más bajas.
 2. Impulsor de doble función
 3. Ojo del impulsor más grande
 4. Una bomba de tamaño más grande.

3.2.4.7 Otros parámetros hidráulicos.

1. **Potencia al Freno:** es la potencia suministrada al eje de la bomba por el motor, turbina o polea esta expresada en la siguiente ecuación:

$$\text{WHP} = \text{SP} \cdot \text{Q} \cdot \text{H} / \text{BHP}$$

2. **Potencia hidráulica:** es la potencia cedida realmente al fluido (agua)

$$\text{BHP} = \text{SP} \cdot \text{Q} \cdot \text{H} / 4560 \cdot \text{EP}$$

3. **HP:** es la potencia consumida, que no desarrolla trabajo útil
4. Basado en estos términos, la eficiencia o rendimiento mecánico de la bomba, expresado en % se calcula así:

$$\text{Ep} = \text{D} = \text{WHP} / \text{BHP} \cdot 100$$

Donde:

SP = gravedad específica (kgs/m³)

Q = gasto o velocidad del fluido (m³/min)

H = carga total en (mts)

EP = eficiencia en decimales

Y el término 1HP = 4560 Kgs-m/ min

3.2.5 Diagnóstico de problemas (Fallas) de las Bombas Centrífugas.

En este aparte del trabajo se hará un esfuerzo por esbozar las causas y recomendación de las correcciones de un mal funcionamiento de las bombas centrífugas.

Independientemente, de que la bomba sea centrífuga, rotatoria o recíproca las causas o problemas a considerar en el análisis se pueden agrupar en tres grupos: problemas hidráulicos reales, problemas mecánicos reales y problemas hidráulicos irreales.

Los problemas hidráulicos reales son cuando una bomba no puede funcionar de acuerdo con las especificaciones de capacidad, carga y eficiencia. Pueden ser por fallas en su propulsor.

Ciertos problemas hidráulicos, como la cavitación, puede ocasionar el segundo tipo de problemas que son desperfectos mecánicos, los cuales se notan por síntomas como ruido, vibraciones, sobrecalentamiento, por los cuales la bomba no cumple con los requisitos de rendimiento deseados.

Los problemas irreales suelen ser hidráulicos y por lo general son el resultado de de diseño y una instalación inadecuada, además de uso de procedimientos inadecuados para pruebas.

En los **anexos** de este trabajo se mostrarán listados de comprobación ampliado de problemas con las bombas centrífugas. La **Lista N°1** enumera problemas hidráulicos y mecánicos, que podrían servir para elaborar un lista resumida de chequeos de acuerdo a cada bomba en particular. La lista 2 es más compacta y orienta con los síntomas del problema cual puede ser la(s) causa (s).

3.2.5.1 Listado de Comprobación de Problemas Típicos con Bombas centrífugas.

1. La bomba no entrega líquido.
2. Entrega menos líquido del esperado.
3. No produce suficiente presión
4. La forma de la curva de carga y capacidad es diferente de la curva original de rendimiento.
5. Pierde el cebado después del arranque.
6. Consume demasiada potencia
7. Tiene vibraciones
8. Está ruidosa
9. Fugas excesivas por el prensa estopa
10. Corta duración del prensa estopa.
11. Fugas excesivas por el sello mecánico
12. Corta duración del sello mecánico.
13. Corta duración del cojinete
14. La bomba se sobrecalienta y se pega.

3.2.5.2 Cavitación en bombas. Efectos adversos.

Es un fenómeno por el cual el líquido pasa a estado gaseoso en el interior de una estructura (bomba, tubería, válvula), estando a una temperatura inferior a la temperatura del punto de ebullición, producto de una disminución local de la presión, por debajo de la presión de vapor.

Estas bolsas de vapor, al llegar de nuevo a una presión elevada condensa de forma instantánea, produciendo un colapso de burbujas. El líquido que hay alrededor de la burbuja, se dirige al centro a gran velocidad produciendo el **Golpe de Ariete**.

Efectos adversos:

- Martilleo en el interior del contorno sólido, como si estuviese pasando arena por el interior.
- Vibraciones.

- Descenso del caudal y la eficiencia de la bomba por los descensos de la sección utilizada en la aspiración.
- Rotura de la bomba y rodets por fatiga de los materiales.

3.2.5.3 Instalación de bombas.

Dentro de todos los factores que pueden causar fallas en el funcionamiento adecuado de una bomba está la instalación antes de ponerla a operar, sin embargo, este paso es a menudo obviado, y sus consecuencias se pueden evidenciar tiempo después de poner operativa la bomba, lo cual a veces impide llegar a determinar la falla de origen, porque lo menos, que se puede pensar es que realmente sea, un montaje incorrecto.

Los puntos a revisar al momento de realizar la Instalación son:

1. Alineación de la bomba y el motor.
2. Dirección de rotación.
3. Conexiones eléctricas.
4. Estoperas y sistemas de lubricación.
5. Tolerancia entre los anillos de desgaste(sellos)
6. Todos los pases de líquido.

3.2.6 Mantenimiento de Bombas.

Como todo Sistema o equipo mecánico, básicamente, el mantenimiento de una bomba requiere de una lubricación adecuada, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

La frecuencia, con que esta lubricación debe hacerse, dependerá en gran parte del uso de la bomba, si es una bomba con alta demanda de trabajo es posible que las frecuencias sean cortas, en la práctica probablemente, sea donde se establezcan las verdaderas frecuencias en la rutinas de lubricación.

Dentro de los elementos que componen, una bomba, los más demandantes de la acción

Mantenimiento son las estoperas y los empaques que deben inspeccionarse y atenderse adecuadamente. Sin embargo, la mayoría de los especialistas coinciden en afirmar que, debe hacerse un montaje apropiado, porque sino la operación y el mantenimiento y los

defectos y fallas mostrados en la tabla 3, serán evidentes, en cuanto al equipo, esté en plena operación y deberán corregirse tan pronto como aparezcan.

Esto nos lleva a revisar brevemente puntos importantes como los sellos, cojinetes y las empaquetaduras.

3.2.6.1 Sellos y Cojinetes en Bombas

Los sellos y cojinetes son elementos importantes a considerar dentro del mantenimiento de una bomba, y la falla de estos genera altos costos en el proceso, por lo que vale la pena evitar que ocurran.

Las fallas de sellos y cojinetes pueden ser por: la instalación, deformación térmica, diseño del sello, selección y variaciones dimensionales.

Si una planta tiene fallas recurrentes de sellos y cojinetes, en un equipo específico, quizás la falla, no esté en los sellos o en los cojinetes. Hay que buscar en elementos como los soportes o anclas mal instaladas, además de revisar los soportes de las tuberías.

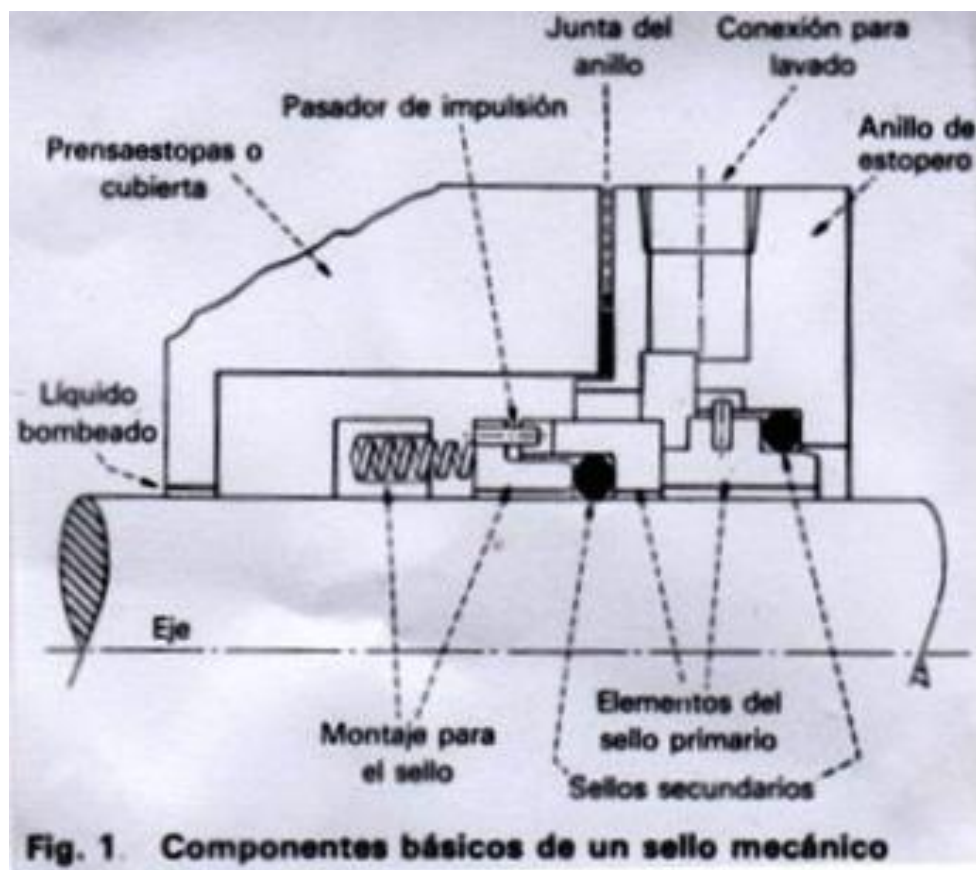
- **Fallas Externas pueden ser por:**
 - Cargas por dilatación térmica
 - Cargas muertas.
 - Soportes mal diseñados.
- **Los síntomas por cargas externas excesivas pueden ser:**
 - Desgastes disperejo del sello
 - Desgastes disperejo de los anillos
 - Fallas repetitivas de los sellos aunque sean de modelos distintos.
- **La contaminación del líquido en el prensa-estopa:**
 - Fugas prematuras en el sello.
 - Partículas de sucio se enclavan en la parte blanda y produce en abrasión en la cara dura del sello.

3.2.6.2 Partes de un sello.

Todos los sellos son básicamente iguales y tienen un elemento rotatorio y uno fijo. Un elemento tiene una cara selladora de contacto de un material blando para desgaste, como el carbón, el otro tiene una cara de material duro, que puede ser duro, como la cerámica.

Los componentes y accesorios metálicos del sello se utilizan para:

1. Adaptar los sellos en un equipo. Pueden ser una camisa y una cubierta para tener una instalación más fácil y precisa.
2. Aplicar pre-carga mecánica en las caras del sello hasta que empiece la presión hidráulica. Se logra esto con un resorte grande o varios pequeños.
3. Transmitir el par de torsión a las caras fijas y rotatorias del sello. Se obtiene con pasadores, muescas y tornillos.



Los sellos pueden ser del tipo balanceado o des-balanceado. Los balanceados están diseñados para compensar los cambios bruscos de presión hidráulica. Los des-balanceados son más económicos.

Los sellos mecánicos están diseñados para evitar las fugas hasta que se gaste la parte blanda. Sin embargo, muchas veces se ha conseguido que el sello tiene fugas y no presenta desgastes PORQUE?

Es frecuente que este tipo de falla se presente y la causa es atribuida principalmente a una mala instalación, en donde los puntos o errores fueron los siguientes:

1. Descuido en no proteger las caras del sello.
2. Daño a los elastómeros del sello.
3. No, verificar la posición y dimensiones críticas del sello.
4. Descuido en el montaje y no verificación de las tolerancias permitidas..

En el montaje y mantenimiento de los sellos se deben tener en cuenta, algunas pautas importantes para evitar los daños prematuros en los elementos del sello:

- Hay que fijarse bien que no haya rebabas, o bordes agudos al colocar el sello en el eje o en la camisa del eje.
- Nunca utilice una cuchilla para quitar un sello anular desgastado, utilice una varilla de madera u objeto romo para evitar cortar el elastómero al instalar, puede permitir fugas que parecerán provenir de las caras del sello cuando se arranque la bomba.
- Antes, de instalar el sello hay que comprobar la desviación radial del eje, la lectura del micrometro no debe exceder de 0.001 pulg de longitud. Además, el movimiento axial no debe exceder de 0.005 pulg. Si no se consiguen esas tolerancias, hay que pensar en revisar y cambiar los cojinetes, todo esto para evitar las fugas por el sello.
- Hay que comprobar la concentricidad y perpendicularidad del prensa estopa con el eje. A veces hay que rectificar la cara del prensa estopa para tener la

MANTENIMIENTO DE BOMBAS

certeza que el componente fijo quede perpendicular con el rotatorio. Si se aprieta en exceso el retén, puede haber combadura en la cara del sello.

- El componente rotatorio se conecta con el eje de la bomba, que tiene un movimiento axial constante entre 0.001 y 0.002 pulg. Este movimiento axial lo pueden producir la desviación normal, vibración, cavitación y desequilibrio del impulsor, pero este debe ser absorbido por los resortes y elastómeros del sello. Si esto no ocurre se separan las caras y hay fugas.

Un sello nuevo no debe permitir fugas, si las hay es un error en la instalación. La fuga puede desaparecer poco a poco en algunos casos pero no del todo.

- En las figuras siguientes se encuentran algunas muestras de fallas en los sellos

FALLAS EN SELLOS OCASIONADAS POR ATAQUE QUIMICO

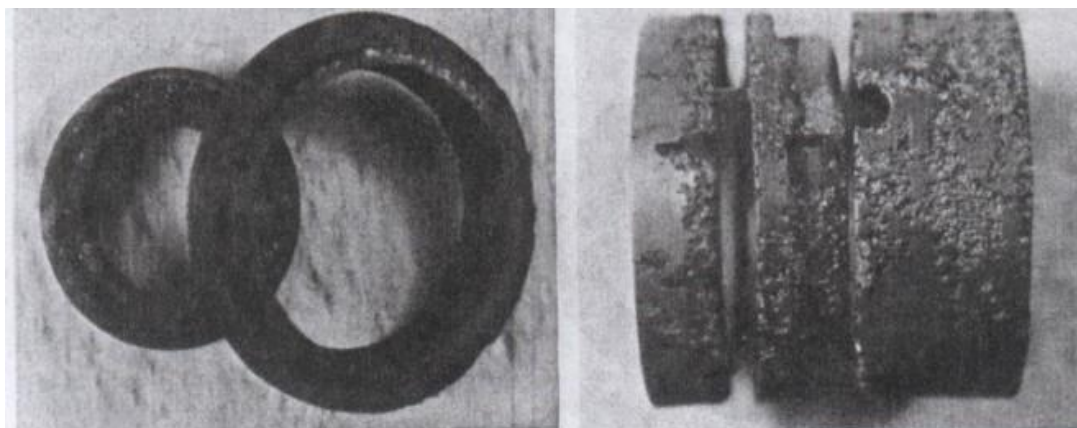
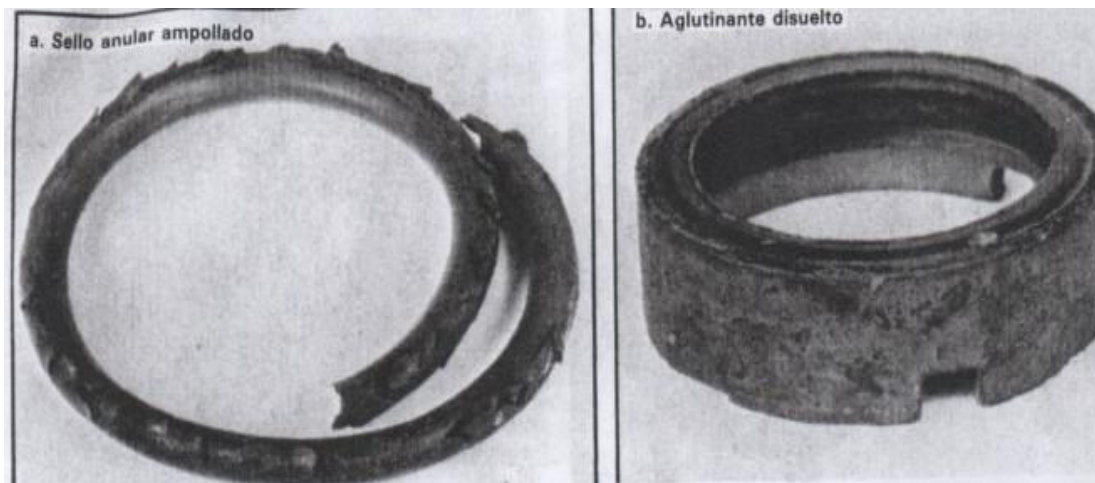
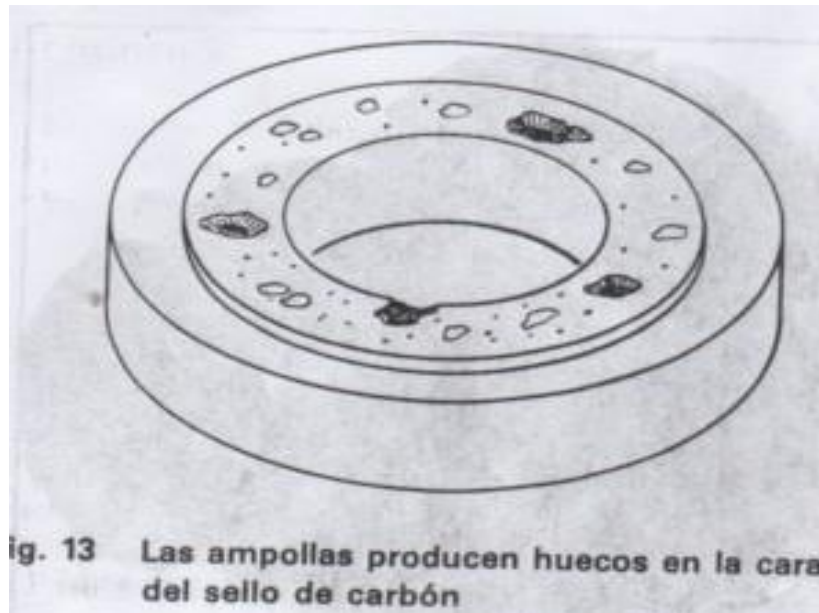


Fig. 2 El ataque químico produce corrosión generalizada de los componentes del sello

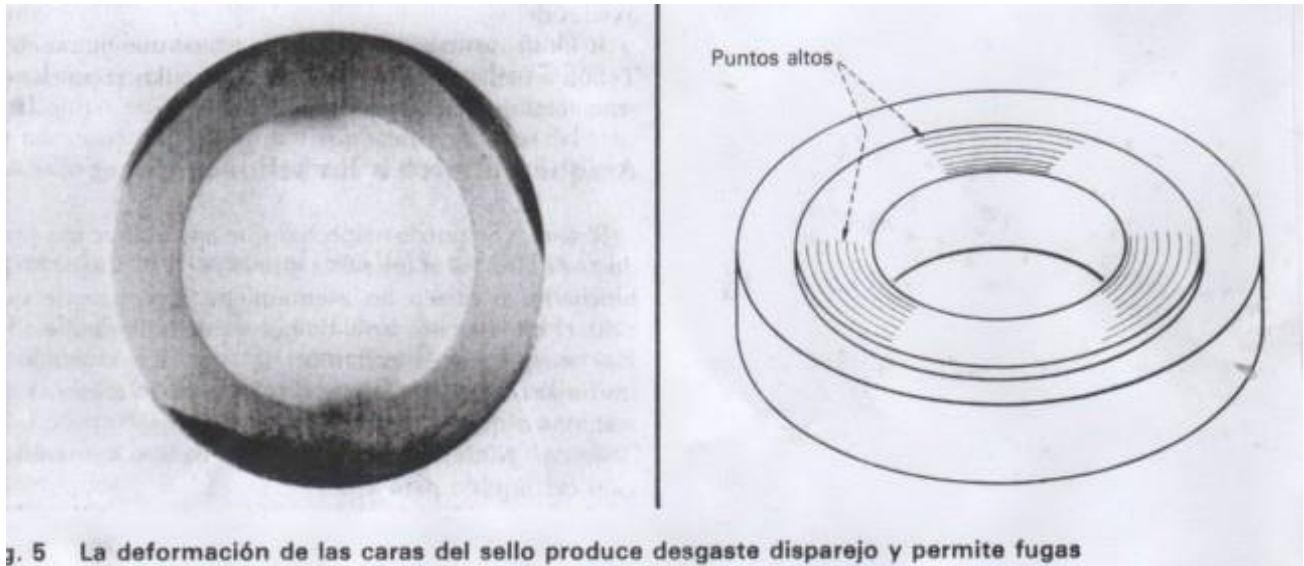
FALLA OCACIONADA POR ASTILLADURAS-MAL MONTAJE



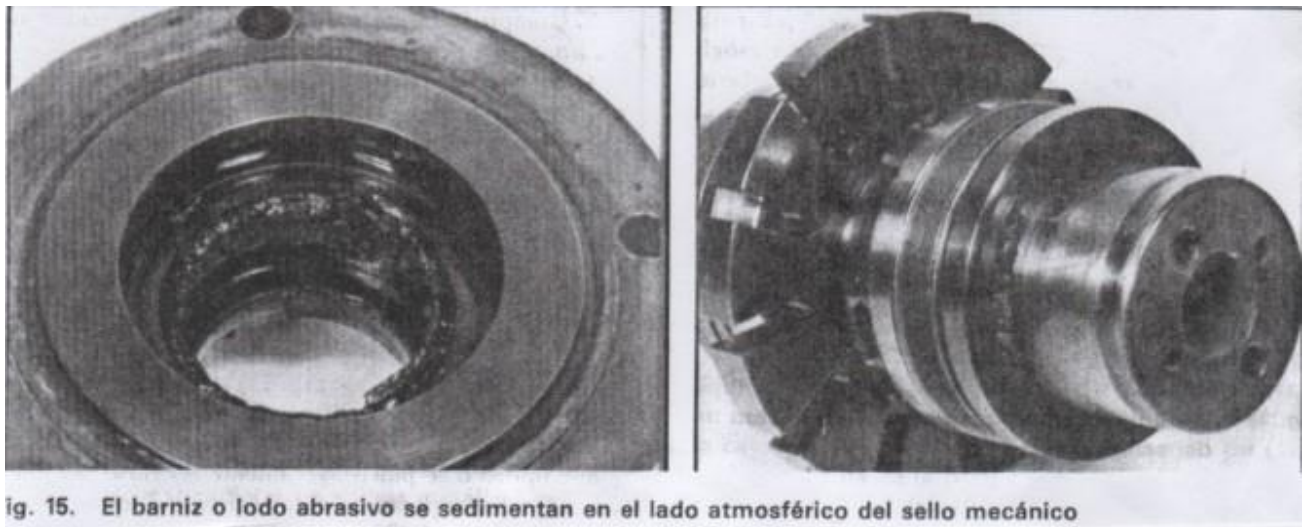
FALLA OCACIONADA POR BURBUJAS EN EL FLUIDO



FALLAS OCASIONADAS POR DESGASTE DISPAREJO-DEFORMACION DEL SELLO



FALLAS OCASIONADA POR LODOS DEL LADO ATMÓSFERICO DEL SELLO



ANEXOS

Tabla II Lista de comprobación de problemas con las bombas centrífugas

1. Instrumentos de medición mal calibrados o mal instalados	30. Desalineación entre bomba y su propulsor	59. Holgura excesiva en parte inferior del prensaestopas, entre el eje y la carcasa
2. El aire entra a la bomba durante el funcionamiento o el sistema de bombeo no está desaereado por completo antes del arranque	31. Rozamiento de piezas rotatorias en las piezas estacionarias	60. Mugre o arenilla en el agua para sello
3. Velocidad insuficiente	32. Cojinetes gastados	61. Prensaestopas excéntrico en relación con el eje
4. Sentido incorrecto de rotación	33. Empaquetadura mal instalada	62. Sello mecánico mal instalado
5. La presión de descarga requerida por el sistema es mayor que la de diseño de la bomba	34. Tipo incorrecto de empaquetadura	63. Tipo incorrecto de sello mecánico para las condiciones de funcionamiento.
6. La (NPSH) _A muy baja (incluso mucha altura de aspiración)	35. El sello mecánico ejerce presión excesiva contra el asiento	64. Desalineación interna de piezas que impiden que la arandela de sello y el sello acoplen en forma correcta.
7. Cantidad excesiva de vapores arrastrados en el líquido	36. Empaquetadura muy apretada	65. Cara de sellamiento no está perpendicular con el eje
8. Fugas excesivas por las superficies sujetas a desgaste	37. Lubricación incorrecta de los cojinetes	66. El sello mecánico ha trabajado en seco
9. Viscosidad del líquido mayor que la del líquido para el cual se diseñó la bomba	38. La tubería aplica esfuerzos en la bomba	67. Sólidos abrasivos en el líquido que hacen contacto con el sello
10. Impulsor o carcasa obstruidos parcial o totalmente con sólidos	39. La bomba funciona a su velocidad crítica	68. Fugas debajo de la camisa por falla de juntas y sellos anulares
11. Conductos para agua en impulsor o carcasa, muy ásperos	40. Elementos rotatorios están desequilibrados	69. Cavidades para cojinetes y carcasa no están concéntricas con el lado para agua
12. Salientes, rebabas, bordes agudos, etc., en la trayectoria para el líquido.	41. Fuerzas laterales excesivas en las piezas rotatorias	70. Cubierta de cojinete dañada o agrietada
13. Impulsor dañado	42. Distancia insuficiente entre diámetro exterior del impulsor y la lengüeta de la voluta	71. Exceso de grasa en los cojinetes
14. Diámetro exterior del impulsor rectificado a menor diámetro del especificado	43. Lengüeta de la voluta de configuración deficiente	72. Sistema de lubricación deficiente
15. Fundición deficiente del impulsor o de la carcasa	44. Tubería y conexiones de succión o descarga de tamaño menor del requerido (a veces ocasionan cavitación)	73. Instalación incorrecta de cojinetes por daños al instalarlos, instalación incorrecta, cojinetes de tipo inadecuado, etc.
16. Impulsor mal instalado en la carcasa	45. Válvula o disco flojos en el sistema que ocasionan cavitación prematura en la bomba	74. Los cojinetes no tienen lubricación
17. Requisitos del sistema muy lejos en la curva de carga y capacidad	46. Eje doblado	75. Mugre en los cojinetes
18. Obstrucciones en los tubos de succión o de descarga	47. La cavidad del impulsor no está concéntrica con su diámetro exterior o no está escuadrada con la cara	76. Entrada de agua a la cubierta de cojinetes
19. Válvula de pie obstruida o trabada	48. Desalineación de las piezas	77. Agujeros de equilibrio obstruidos
20. Pichancha de succión llena de sólidos	49. La bomba funciona a muy baja capacidad	78. Falla del dispositivo equilibrador
21. Pichancha de succión tapada con material fibroso	50. Placa de base o cimentación mal diseñadas	79. Presión de succión muy alta
22. Tendido incorrecto de los tubos de succión o descarga	51. Resonancia entre la velocidad de funcionamiento de la bomba y la frecuencia natural de los cimientos u otros elementos estructurales en la estación de bombeo	80. Ajuste muy apretado entre el cojinete en línea y sus asientos, que puede impedir su deslizamiento con carga axial.
23. Colocación incorrecta del sumidero de succión	52. Las piezas rotatorias giran excéntricas por cojinetes gastados o piezas dañadas	81. La bomba no está cebada y se la dejó funcionar en seco
24. El funcionamiento de una bomba (en un sistema que tiene dos o más bombas en serie o en paralelo o combinación de ellas) se altera en forma grave con el funcionamiento de las otras bombas.	53. Instalación incorrecta de los cojinetes	82. Bolsas de gas dentro de la bomba
25. El nivel de agua en el tanque o sumidero de succión, muy por abajo de la entrada de la bomba.	54. Cojinetes dañados	83. Funcionamiento a capacidad muy baja
26. Velocidad muy alta	55. Tubo para el sello de agua, obstruido	84. Funcionamiento en paralelo de bombas que no son de las mismas características
27. El líquido bombeado tiene mayor densidad relativa que la prevista	56. Jaula del sello mal colocada en el prensaestopas y evita que el agua para ello entre al espacio en que debe sellar	85. Desalineación interna por demasiado esfuerzo de los tubos, cimientos deficientes o reparaciones mal hechas
28. Impulsor de tamaño mayor que el necesario	57. Eje o camisas del eje gastados o rayados junto a la empaquetadura	86. Rozamiento interno entre piezas rotatorias y piezas estacionarias
29. Carga total del sistema mayor o menor que la esperada	58. No hay agua de enfriamiento para los prensaestopas enfriados por agua.	87. Cojinetes gastados
		88. Falta de lubricación
		89. Anillos de desgaste rotatorios y estacionarios hechos de materiales iguales y de propiedades físicas idénticas

TABLA 1-8 Causas y síntomas de mal funcionamiento de las bombas

Causas	Síntomas									
	La bomba no descarga líquido	Capacidad inadecuada	Carga inadecuada	La bomba se para después de arrancar	La bomba requiere demasiada potencia	Fugas excesivas por el estopero	Hay que reemplazar el estopero con frecuencia	La bomba vibra o está ruidosa	Calentamiento de cojinetes	La bomba trabaja forzada o se pega
Bomba y tubo de succión no tienen suficiente cebamiento con el líquido que se maneja	●	●		●				●		●
Alzada excesiva de succión	●	●		●				●		
Margen insuficiente entre alzada de succión y presión de vapor	●	●						●		●
El líquido contiene gas		●	●	●						
Bolsa de aire en tubo de succión	●	●		●						
Entrada de aire en tubo de succión		●		●						
Entrada de aire a la bomba por el estopero		●		●						
Válvula de pie muy pequeña		●								
Válvula de pie semiobstruida		●						●		
Válvula de pie y tubo de succión no están sumergidos del todo	●	●		●				●		
Conexión del sello de agua en estopero de succión obstruida				●			●			
Anillos hidráulicos en estopero mal colocados				●		●	●			
Velocidad muy baja	●	●	●							
Velocidad muy alta					●					
Sentido incorrecto de rotación	●		●							
Carga manométrica total del sistema mayor que la de la bomba	●	●	●		●					
Carga manométrica total del sistema menor que la de la bomba					●					
Densidad relativa del líquido no es la que se pensó originalmente					●					

TABLA 1-8 Causas y síntomas de mal funcionamiento de las bombas (continuación)

Causas	Síntomas									
	La bomba no descarga líquido	Capacidad inadecuada	Carga inadecuada	La bomba se para después de arrancar	La bomba requiere demasiada potencia	Fugas excesivas por el estopero	Hay que reemplazar el estopero con frecuencia	La bomba vibra o está ruidosa	Calentamiento de cojinetes	La bomba trabaja forzada o se pega
Viscosidad del líquido no es la que se pensó originalmente		●	●		●					
La bomba funciona a muy baja capacidad									●	●
Conexión en paralelo inadecuada para condiciones específicas de operación	●	●	●							●
Tubo, impulsor o carcasa de bomba obstruidos	●	●			●				●	
Bomba desalineada					●	●	●	●	●	●
Cilindros desnivelados								●		
Eje de bomba torcido					●	●	●	●	●	
Una pieza giratoria toca con una estacionaria, por ejemplo, el impulsor toca con los anillos de desgaste					●			●	●	●
Cojinetes deficientes								●	●	●
Anillos de desgaste gastados		●	●							
Impulsor dañado		●	●					●		
Eje o camisa de eje gastados dentro del estopero						●	●			
Estopero con empaquetadura incorrecta					●	●	●			
Empaquetadura inadecuada para el líquido que se maneja						●	●			
Impulsor desequilibrado						●	●	●	●	●
No se aplica agua de enfriamiento cuando se manejan líquidos calientes						●	●			
Holgura excesiva entre el eje y cavidad en la carcasa en parte inferior de empaquetadura							●			

TABLA 1-8 Causas y síntomas de mal funcionamiento de las bombas (*continuación*)

Causas	Síntomas									
	La bomba no descarga líquido	Capacidad inadecuada	Carga inadecuada	La bomba se para después de arrancar	La bomba requiere demasiada potencia	Fugas excesivas por el estopero	Hay que reemplazar el estopero con frecuencia *	La bomba vibra o está ruidosa	Calentamiento de cojinetes	La bomba trabaja forzada o se pega
El líquido para sello de agua tiene impurezas							●			
Estopero muy apretado							●			
Ajuste incorrecto del eje completo de la bomba con el impulsor								●	●	●
Falta o exceso de lubricación									●	
El lubricante tiene impurezas									●	●
Cojinetes mal ajustados									●	●

4. Bibliografía.

- Mc. Naughton, Kenneth (1992). Bombas, Selección Uso y Mantenimiento. McGrawHill Interamericana de Mexico, SA
- Mott, Robert (1992). Mecánica de los fluidos Aplicada.