



*Universidad Nacional Autónoma
de México*

FACULTAD DE QUIMICA

OPERACION Y MANTENIMIENTO DE
BOMBAS CENTRIFUGAS

T E S I S

Que para Obtener el Título de:

INGENIERO QUIMICO

Presenta:

Clemente Castrejón Díaz



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

CLAS TESIS 1979
ABO M. C. 64
FECHA _____
PROC _____
S _____



PRESIDENTE: ING. ROBERTO ANDRADE CRUZ.


VOCAL: ING. ARTURO MORALES COLLANTES.

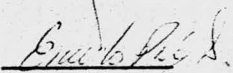
SECRETARIO: ING. ERNESTO PEREZ SANTANA.

1er. SUPLENTE: ING. ENRIQUE BRAVO MEDINA.

2do. SUPLENTE: ING. CARITINO MORENO PADILLA.

FACULTAD DE QUIMICA

SUSTENTANTE: CLEMENTE CASTREJON DIAZ. 

ASESOR: ING. ERNESTO PEREZ SANTANA. 

A MIS PADRES:

MA. DE JESUS DIAZ DE C. +
ALEJANDRO CASTREJON C.

CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO, POR EL APOYO, CARIÑO
Y CONSEJOS BRINDADOS DESINTERESADAMENTE.

A MIS HERMANOS:

EFRAIN, EVERTH, JOEL, MARCELINO, LUZ
MARIA, JAIME, JESUS Y MA. ELENA.

COMO UN MOTIVO DE AFECTO Y RECONOCIMIENTO A
SU GRAN AYUDA.

A MIS MAESTROS Y AMIGOS:

POR SU VALIOSA ORIENTACION.

INDICE

	Pág.
CAPITULO I	
OBJETIVOS	1
CAPITULO II	
INTRODUCCION	2
CAPITULO III	
GENERALIDADES	6
3.1. Descripción de Bombas	6
3.2. Clasificación General de Bombas	7
3.3. Descripción de Bombas de Desplazamiento Positivo	9
3.4. Descripción de Bombas Centrífugas	13
3.4.1. Definición y Descripción Programada	13
3.4.2. Clasificación de las Bombas Centrífugas	17
CAPITULO IV	
PROBLEMAS PRINCIPALES EN LA SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS	20
4.1. Problemas en la elección, operación, posibles causas y soluciones	20
4.1.1. Determinación de la disposición de la bomba y la tubería	20
4.1.2. Determinación de la capacidad del líquido a manejar	22
4.1.3. Cálculo de la columna total	41
4.1.4. Análisis de las condiciones del líquido	52
4.1.5. Elección de clase y tipo de bomba	55
4.2. Bombas centrífugas para servicio frío y líquidos saturados	57

	Pág.
4.3. Bombas centrífugas de agua de alimentación a calderas	61
4.4. Bombas centrífugas de condensado	66

CAPITULO V

OPERACION Y CUIDADO DE EQUIPOS DE BOMBEO	68
5.1. Objetivo	68
5.2. Arranque inicial de equipo de bombeo	68
5.3. Bombas centrífugas de alimentación a calderas	72
5.4. Bombas centrífugas para servicios diversos	76
5.5. Aspectos de control en la operación de equipos de bombeo	78

CAPITULO VI

MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO-M. P. P.	82
6.1. Introducción	82
6.1.1. Mantenimiento Preventivo puro	83
6.1.2. Mantenimiento Predictivo o de Diagnóstico	89
6.2. Recorrido diario de mantenimiento preventivo a equipos móviles	91
6.3. Importancia de la lubricación dentro del mantenimiento de equipos móviles	93

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFIA.	

CAPITULO I

OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden al desarrollar este trabajo son:

- a) Brindar un estudio sobre la clasificación, instalación, operación y mantenimiento de bombas centrífugas, con la finalidad de poder mejorar el rendimiento y funcionamiento de estos equipos.
- b) Dar a conocer los principales problemas en la instalación, operación y selección de bombas centrífugas.
- c) Evaluar y plánear sistemas adecuados para el estudio, revisión y solución de los problemas de mantenimiento.
- b) Promover políticas futuras de operación y mantenimiento para - estos equipos.

C A P I T U L O I I

INTRODUCCION

Siendo México un país en vías de desarrollo y elevada explosión demográfica. El desarrollo industrial se hace indispensable para poder subsanar todos los problemas que este fenómeno trae consigo.

Tal situación ha hecho que tanto el Gobierno Mexicano y la banca privada, invierta, para no detener la expansión industrial y el desarrollo económico de México.

Esto se refleja en el constante incremento de la industria petrolera, petroquímica, química y demás industrias de transformación durante los últimos años.

Este incremento industrial lleva consigo la finalidad de que cada establecimiento opere, en las condiciones más óptimas, eficientes y seguras.

La industria de transformación es bastante compleja, ya que intrínsecamente lleva una variedad de procesos.

En cada uno de los procesos industriales, está involucrado infinidad de equipos, los cuales se encargan de una operación específica durante la trayectoria total del proceso.

Este equipo, mejor conocido dentro de la Ingeniería Química como operación unitaria, es básico y fundamental, para el logro de cada una de las etapas del proceso.

Algunas de las tantas operaciones unitarias existentes se mencionan para poder visualizar, la extensa variedad de estas.

Las operaciones unitarias como: Secado, Destilación, Separación, Mecánica de fluidos y otras más, son muy extensas, por lo cual se necesitaría un tema especial para su estudio completo.

Es objeto de este tema, el estudio de equipos de bombeo que se encuentran íntimamente relacionados con la Mecánica de los fluidos.

La rama de la Mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos, ya sea en reposo o en movimiento, constituye la Mecánica de los fluidos e Hidráulica.

El factor común más universal y crítico en las plantas petroleras, petroquímicas y otras, es el bombeo de fluidos, es por esto que una de las partes de mayor importancia en las etapas de diseño y productivas de estas plantas lo constituye la especificación, instalación, operación y mantenimiento de sus bombas, así como el cálculo del sistema de bombeo que dirigirá el flujo en la planta.

Los sistemas de bombeo son muy complejos por la variedad de usos y tipos, dichos sistemas tienen una de las funciones más importantes dentro de los procesos químicos, para poder lograr el objetivo del proyecto de una instalación industrial o industria en operación.

El objetivo de la instalación de una planta, es su funcionamiento eficiente, tanto como sea posible.

La eficiencia óptima de una industria, conserva sus valores máximos de producción, asegurando una producción continua, estable, segura y económica.

Ante esta finalidad la reducción de tiempos perdidos por reparación de equipos, errores de operación, etc., se hace necesaria.

Teniendo en cuenta que la operación satisfactoria de todo equipo precisa de un mantenimiento adecuado para su mayor duración y rendimiento, lo cual implica pérdidas de tiempo y por lo tanto menor eficiencia.

En la actualidad la idea de mantenimiento tradicional se ha visto cambiado con nuevas técnicas, las cuales tienen como finalidad la reducción del tiempo que el equipo permanece en reparación.

El mantenimiento en la mayoría de los casos se ve por aquellos que lo llevan a cabo como mucha labor y por algunas personas, como muy cos

-toso, el intento de reducir los gastos se centra y se hace en la tendencia de adjudicar demasiado poco para el mantenimiento.

Esta mala distribución económica, trae como consecuencia excesivos - gastos y constantes problemas para las personas encargadas del manejo de equipos y mantenimiento.

Esta situación debe terminar. Teniendo en cuenta que la mejora de los sistemas de mantenimiento, el esfuerzo unánime del personal involucrado y el apoyo de la empresa, son las mejores herramientas para lograrlo.

Ahora bien si en algunos casos muy aislados hay planeación y sistemas adecuados para el estudio, revisión y solución de los problemas de mantenimiento, en la mayor parte de las instalaciones aún se trabaja sin ningún sistema, viviendo emergencias que ocasionan todos los días pérdidas considerables de producción.

Por tal motivo este trabajo incluye los problemas y errores de operación en las bombas centrífugas, los cuales se vivieron como experiencia - en el departamento de producción de la planta de plásticos de vinilo de Industrias Resistol, S.A., contando además con información técnica de Petróleos Mexicanos.

La comprensión de estos problemas nos ayudarán a cumplir con los - objetivos.

CAPITULO III

GENERALIDADES

3.1. DESCRIPCION DE BOMBAS

Las bombas son máquinas que se utilizan para trasladar líquidos de un punto a otro, mediante la transformación de energía mecánica de un elemento motriz en energía potencial, esto lo hace por desplazamiento mecánico. Es decir la energía potencial de un líquido puede ser incrementada por bombeo.

Esto se debe a la diferencia existente entre los cuerpos líquidos, sólidos y gaseosos.

Los cuerpos líquidos se diferencian de los sólidos principalmente en que las moléculas de que se componen se desplazan con suma facilidad, sin experimentar apenas rozamiento, así es que los líquidos no oponen resistencia alguna a la rotura por tracción, ni al esfuerzo cortante. También gozan de esta propiedad los cuerpos gaseosos. Y los líquidos se diferencian de los gases, debido a que los primeros son muy poco compresibles.

Esto quiere decir que la disminución del volumen con respecto al volumen inicial es despreciable para los líquidos.

Los equipos de bombeo tienen una gran variedad de objetivos, de los cua

-les mencionaremos algunos.

- a) Mover más fluido en un tiempo determinado
- b) Mover fluidos a determinadas alturas
- c) Elevar la presión.

3.2. CLASIFICACION GENERAL DE BOMBAS

Las bombas se puede clasificar en dos grupos principales:

- Bombas de desplazamiento Positivo
- Bombas Centrífugas.

La clasificación incluye otro grupo de bombas especiales, se les denomina así por la aplicación específica de cada una.

Las bombas de desplazamiento positivo presentan dos clases:

- Bombas de Tipo Reciprocante
- Bombas de Tipo Rotatorio.

Todos estos grupos y clases mencionados presentan una variedad de tipos en los equipos de bombeo.

El siguiente cuadro nos presenta la clasificación más generalizada de estos equipos.

GRUPO	CLASE	TIPO	
CENTRIFUGAS	CENTRIFUGA	VOLUTA DIFUSOR TURBINA REGENERATIVA TURBINA VERTICAL FLUJO MIXTO FLUJO RADIAL FLUJO AXIAL	UN SOLO Y MÚLTIPLES PASOS
		ROTORIA	
DESPLAZAMIENTO POSITIVO	RECIPROCANTE	ACCION DIRECTA POTENCIA DIAFRAGMA PISTON EMBOLO	SIMPLEX DUPLEX TRIPLEX ETC.
ESPECIALES	SEGUN APLICACION	ALIMENTACION A CALDERAS, DE SUMIDERO, POZO PROFUNDO, DE CONDENSADO, - DE VACIO, DRENAJE, DE LODOS.	
	SEGUN CARACTERISTI- CAS ESTRUCTU- RALES.	HORIZONTALES, <u>VERTICALES</u> , DE ACOPLA- MIENTO DIRECTO, DE SUCCION SIMPLE, - DOBLE SUCCION, ETC.	
	SEGUN NORMAS	NORMAS API, <u>ANSI</u> , ETC.	

3.3. DESCRIPCION DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

- ① [La principal característica de estas bombas es la entrega de una cantidad definida de líquido por cada carrera del pistón o revolución de la pieza -
movible principal. Solamente el tamaño de la bomba, su diseño y las condicio-
nes de succión influirán en la cantidad de líquido que entrega.]

+ el uso con Rotativas

BOMBAS RECIPROCANTES

② [Este tipo de bombas adiciona energía al fluido, por medio de un pistón -
que actúa contra un líquido confinado. Los principios de la dinámica de los -
fluidos presenta poca importancia, puesto que el flujo del fluido puede ser de-
terminado por la geometría de la bomba.]

El pistón puede ser accionado ya sea por una máquina de vapor o por -
un motor. Por cada carrera del pistón la bomba descarga una cantidad fija -
de fluido y esta cantidad dependerá solamente del volumen del cilindro y del -
número de veces que se mueve el pistón dentro del cilindro. La descarga real
puede ser menor que el volumen de carrera del cilindro, ya sea por fugas a-
través del pistón o por que éste no se llene completamente. Por consiguiente
la eficiencia volumétrica puede ser definida como la relación entre la descar-
ga real y la descarga basada en el desplazamiento del pistón.

[La eficiencia para este tipo de bombas, con un buen mantenimiento, de-
be ser mínimo, un 95%.]

Otra definición de eficiencia más significativa, es la relación del trabajo efectuado sobre el fluido y el trabajo efectuado sobre la bomba. Si se usa un motor eléctrico para accionar la bomba, generalmente se emplea una eficiencia bomba-motor. Esta eficiencia puede definirse como la relación del trabajo efectuado sobre el fluido y la energía eléctrica suministrada al motor.

En una bomba reciprocante, mientras el pistón es retirado en el cilindro (entrada del líquido), cesa la descarga del fluido. Por consiguiente el líquido se descarga con flujo pulsatorio. Las pulsaciones pueden ser disminuidas usando una bomba de doble acción o aumentando el número de cilindros.

* Las bombas reciprocantes son particularmente útiles para el bombeo de fluidos viscosos, debido a que la alta proporción de esfuerzo cortante que actúa sobre las paredes del cilindro sirve como empaque adicional. Estas bombas también resultan satisfactorias para obtener altas presiones. *

Los líquidos que contienen sólidos abrasivos no deben ser bombeados con esta clase, debido al daño que sufren las superficies maquinadas.

Las características de descarga de las bombas reciprocantes se describen a continuación: Las válvulas de descarga dejan salir fluido hasta que el pistón llega casi al final de su carrera, esto es cuando el pistón se detiene e invierte su movimiento. Durante parte del ciclo de bombeo el flujo es cero, sin embargo puede mantenerse el flujo en la línea de descarga aproximadamente

constante, dependiendo del diseño de la bomba.

Las bombas de doble acción proporcionan un flujo constante a la línea de descarga.

Las unidades usuales incluyen diferentes capacidades que varían con la velocidad, existen diseños entre 20 y aproximadamente 200 carreras del pistón por minuto.

[Algunas desventajas de esta clase de bombas son su tamaño, su alto costo inicial y de mantenimiento.]

No siendo objeto de este trabajo el tratar con detalle las bombas recíprocas, se mencionará sólo un tipo de esta clase de bombas.

Bombas de Émbolo: En contraste con las bombas de pistón, la de émbolo lleva una flecha de ajuste cerrado, moviéndose a lo largo del cilindro a través de un empaque fijo. El émbolo es simplemente una extensión de la flecha.

① BOMBAS ROTATORIAS

[Estas bombas se caracterizan por el método de toma y descarga del fluido. Al contrario de las bombas recíprocas, que dependen de válvulas de retén para controlar la carga y descarga, una bomba rotatoria atrapa la cantidad y lo mueve hasta el punto de descarga.]

Las bombas rotatorias pueden manejar casi cualquier líquido libre de abrasivos y son especialmente indicadas para fluidos de alta viscosidad. Cierta acción lubricante del fluido disminuye el desgaste.

A continuación se describen algunos tipos de esta clase de bombas.

EP

* Bombas de Engranés: Son el tipo más simple de bombas rotatorias. Puede haber bombas de engranes externos e internos.

El principio de operación de una bomba de engranes se describe de la siguiente forma: La parte no dentada de los engranes a la entrada de la bomba, proporciona un espacio para ser llenado por el líquido. Cuando el engrane gira el líquido es atrapado entre el diente y el cuerpo de la bomba y posteriormente liberado en la línea de descarga.

Con respecto a la bomba de engranes internos. El rotor y la corona dentada se engranan para formar un sello intermedio entre la compuerta de entrada y de descarga.

Bombas Lobulares: Este tipo de bomba, consiste en reemplazar los engranes con rotores que tienen dos o más lóbulos. Ambos rotores están accionados externamente.

Bombas de Tornillo: Este tipo, reemplaza los engranes con tornillos apropiados girando en una caja fija. Estas bombas producen un flujo libre de -

pulsaciones y son bastante eficientes para manejar materiales viscosos.

Una variación interesante de la bomba de tornillo es la bomba Moyno, la cual consiste de un rotor que gira dentro de un estator, ejecutando un movimiento compuesto. El rotor gira con respecto a su eje, mientras que el eje mismo -recorre una trayectoria circular, ésta bomba proporciona un flujo continuo con velocidades, bajas, suaves y uniformes y es capaz de manejar materiales sumamente viscosos, tales como chocolate, grasas, pasta, etc.

Bombas de Aletas: Esta bomba lleva varias aletas deslizantes insertadas en una flecha rotatoria. La fuerza centrífuga fuerza las aletas hacia afuera y mientras gira la flecha, el espacio entre las aletas se ensancha y arrastra el fluido hacia adentro. Este fluido es atrapado entre las aletas y posteriormente forzado hacia afuera por la compuerta de descarga.

3.4 DESCRIPCION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

3.4.1. DEFINICION Y DESCRIPCION PROGRAMADA

Las bombas centrífugas se denominan de ésta forma debido a que la fuerza centrífuga o la variación de presión ocasionada por la rotación es un factor importante.

La fuerza centrífuga es la fuerza del extremo, es decir que cuando un objeto es hilado alrededor en un círculo, lo presiona hacia afuera del centro del círculo al girar este, por lo cual se afirma que un método para incrementar la energía de un líquido es hacerlo girar alrededor en círculos.

El líquido entra primero en el centro, es entonces forzado al exterior desde el centro. La parte de la bomba que empuja al líquido se denomina impulsor. El líquido fluye a través de la entrada de la bomba y hacia el ojo (centro) del impulsor.

El impulsor arremolina o hace girar el líquido en un círculo y entonces es forzado al exterior. Entre más rápido gire el impulsor más rápido se mueve el líquido.

El impulsor está hecho de álabes o aspas y la trayectoria del líquido es dirigida por estos y en forma circular.

La fuerza centrífuga empuja el líquido al exterior del ojo del impulsor. A medida de que el líquido se mueve hacia afuera del impulsor, un área de baja presión es formada en el ojo, esta zona de baja presión causa el flujo del líquido.

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

El líquido entra a la carcaza, cuando sale del exterior del impulsor entonces es cuando su velocidad decrece, como la velocidad del líquido se reduce parte de esta velocidad se muestra como un incremento de presión.

El impulsor es encerrado en la carcaza y girado por una fuerza exterior llamado motor, el cual esta conectado a la flecha de la bomba, por lo tanto la

rotación de la flecha hace girar al impulsor.

Las partes de la bomba ajustan entre si con precisión, una bomba está propensa a fugar donde la flecha se introduce a la carcaza y en esta parte es donde va colocado un empaque, que funciona como sello para reducir la fuga o goteo, esta caja de empaque puede ser de material flexible que presiona alrededor de la flecha, pero un sello mecánico puede ser usado en lugar de este empaque.

En donde el empaque fricciona contra la flecha, provoca un desgaste excesivo de la flecha, por lo cual la mayoría de las bombas centrífugas, parte de la flecha es protegida con una camisa o manga removible, la cual puede ser reemplazada y menos costosa que la flecha completa.

El líquido que gotea o se fuga del área de mayor presión (descarga) regresa al área de la succión y en este espacio entre el ojo (sección de succión) y la carcaza (sección de descarga) es ajustada con anillos de desgaste.

Los anillos de desgaste de la carcaza son estacionarios y los del impulsor son rotatorios, el ajuste de estos anillos disminuye el goteo o la fuga de la descarga a la succión.

Algo de goteo o fuga es necesario para lubricación y enfriamiento y por lo tanto protege a los anillos de la fricción de unos contra otros, si esto no

sucediera provocaría un calentamiento y amarre de la bomba. Por esta razón - una bomba centrífuga nunca es arrancada antes de ser llenada con líquido.

Después de esta descripción programada podemos decir que simplemente la bomba centrífuga consiste de un impulsor dentro de una carcaza, el líquido entra al impulsor por el centro, fluye radialmente hacia afuera y es descargado sobre la circunferencia descrita dentro de la carcaza.

La energía cinética del fluido aumenta desde el centro del impulsor, hasta los extremos de las aletas impulsoras. Este incremento de velocidad se convierte en un aumento de presión cuando el fluido sale de la bomba.

El impulsor es la parte más importante de la bomba centrífuga. Consiste de un cierto número de aletas curvas u hojas, llamados álaves, con una forma tal, que proporcionan un flujo suave de fluido entre las hojas, algunos impulsores comunes se describen a continuación.

- a) Impulsor Cerrado de Aspas Rectas para Succión Sencilla: No es recomendado para sólidos en suspensión, ya que pueden ocasionar obstrucción en dicho impulsor.
- b) Impulsor de Doble Succión: Consta de dos impulsores de succión sencilla colocados con sus caras posteriores unidas en una cubierta sencilla, el líquido entra por ambos lados.
- c) Impulsor Inatascable: Se caracteriza por tener amplios espacios pa-

-ra el paso del flujo y evitar la posibilidad de obstrucción de la bomba.

d) Impulsor Abierto: Llevan aletas que se adaptan para el bombeo de sólidos abrasivos.

e) Impulsor Semiabierto: El propósito de éste, es reducir la presión en la parte posterior del impulsor.

f) Impulsor de Flujo Mezclado: Diseñado para que exista un flujo axial y radial a la vez.

Las carcazas de las bombas varían en su diseño, pero su función principal es la de convertir la energía cinética impartida al fluido en energía de presión útil y además proporcionan entrada y salida del fluido.

Las partes que constituyen una bomba centrífuga se muestran en la figura 1.

3.4.2. CLASIFICACION DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS.

La variedad existente en los diseños de las carcazas e impulsores de las bombas centrífugas, nos proporcionan diferentes tipos de esta clase de bombas, los cuales mencionamos a continuación.

a) Bomba de Tipo Voluta: En este tipo, el impulsor descarga el líquido en una caja espiral que se expande progresivamente de tal forma que reduce la velocidad del líquido convirtiéndola en presión estática.

- b) Bomba Tipo Difusor: En estas los álabes direccionales ó difusores con expansión gradual convierten la energía de velocidad en presión minimizando la turbulencia y aumentando la eficiencia.
- c) Tipo Flujo Radial: Es el tipo más usado, los álabes se encuentran normalmente curvados en sentido contrario a la rotación.
- d) Tipo Flujo Mixto: En este tipo, el flujo cambia de axial a radial, son bombas para cargas y gastos intermedios, la velocidad específica de los impulsores es mayor que la del flujo radial.
- e) Tipo Flujo Axial: Llamadas de propela, el flujo es completamente axial y sus impulsores son de alta velocidad específica.

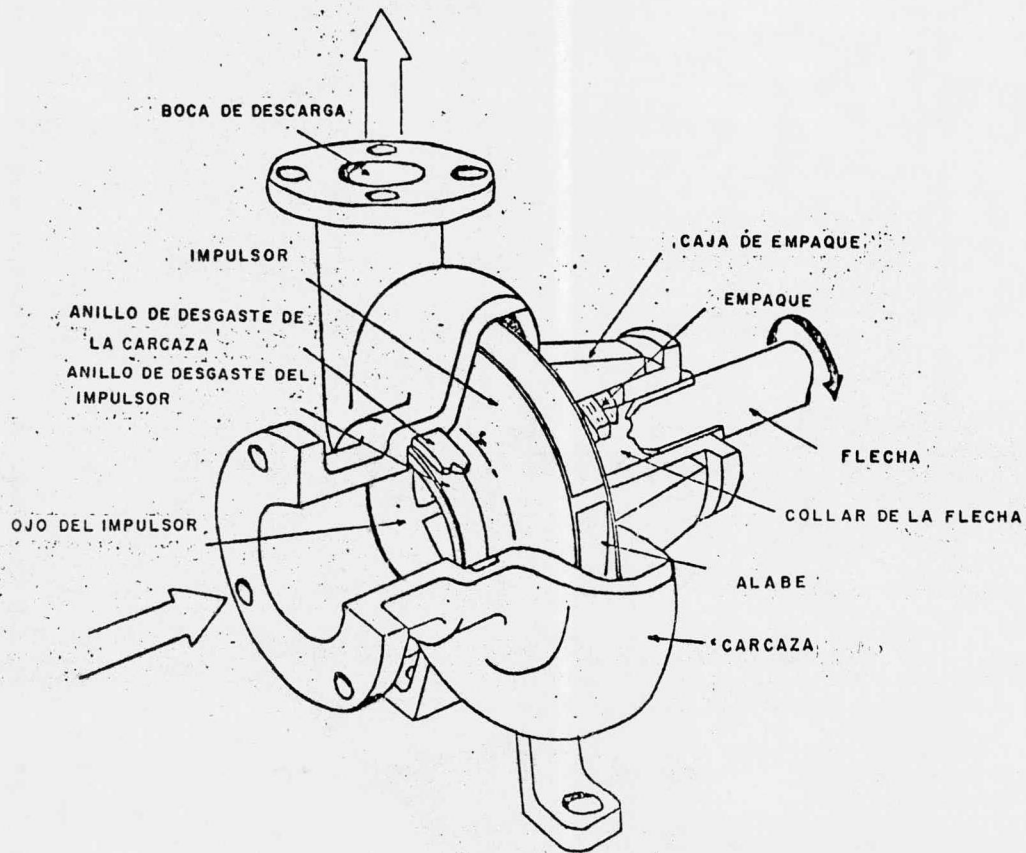


FIGURA 1

CAPITULO IV

PROBLEMAS PRINCIPALES EN LA SELECCION Y OPERACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

4.1. PROBLEMAS EN LA ELECCION, OPERACION, POSIBLES CAUSAS Y - SOLUCIONES.

Se puede decir que son cinco los pasos a seguir en la elección de una -
bomba.

4.1.1. Determinar la disposición de la bomba y la tubería

4.1.2. Determinar la capacidad del líquido a manejar.

4.1.3. Calcular la columna total

4.1.4. Analizar las condiciones del líquido

4.1.5. Elegir la clase y tipo

4.1.1. Determinación de la disposición de la bomba y la tubería

Una elección cuidadosa del tamaño de los tubos basada en cargas futuras -
predecibles o estimadas puede hacer que un diseño cuidadoso produzca divi-
dendos en cuanto a economía de operación. En muchos de los casos el éxito
o falla de un sistema de bombeo depende de la propiedad con que se haya -
elegido la tubería. Se pueden clasificar en tres categorías las tuberías de --
bombeo.

- a) Tubería de Succión
- b) Tubería de Descarga
- c) Tuberías Auxiliares.

a) Tubería de Succión

Esta tubería es importante ya que una tubería de succión mal diseñada puede producir los siguientes problemas: Disminución del NPSH y como consecuencia inestabilidad hidráulica, conformación de vórtices fuertes que conducen a vibración, ruidos, cavitación, desgaste excesivo de chumaceras reducción en la capacidad, golpe de ariete, sobrecalentamiento, etc., que redundarán en la reducción de la vida de las partes.

Como regla general el tubo de succión debe ser de mayor diámetro que la conexión de entrada a la bomba. El no llevar a cabo los arreglos satisfactorios en la succión trae como consecuencia descebamiento, reducción de capacidad y eficiencia, cavitación, por lo tanto fallas más frecuentes.

b) Tubería de Descarga

Para elegir el tamaño del tubo de descarga influye la velocidad del líquido, longitud de tubería, número y tipo de accesorios, cambio de direcciones y vueltas en la misma, la calidad del líquido (por si forma depósitos) y la provocación de vibraciones y ruido. Todo esto balanceado con el costo de la misma, así como la caída de presión que provocará y que en muchas instalaciones es factor determinante para la selección de la columna de la bomba.

Normalmente en la línea de descarga y antes de la válvula check debe existir una línea de recirculación para flujo mínimo, para las puestas de-

servicio de las mismas o cuando funcionan a bajas capacidades. La figura 2, nos muestra dos arreglos de tubería de descarga de una bomba. Existen válvulas check para descarga de bombas cuya compuerta maneja directamente la válvula para recircular el flujo mínimo de la bomba.

c) Tuberías Auxiliares

Cuando la succión de las bombas trabajan a vacío o la bomba está en un nivel superior al del líquido, debe existir una tubería de descarga o de la mitad de la voluta al farol intermedio de la caja de empaques, la cual suministra líquido para sello y enfriamiento de la empaquetadura.

Cuando es inconveniente el escape del estopero a la atmósfera debido a que pueda crear un peligro de explosión o sea peligroso al personal de la planta se hace circular agua de una fuente externa a través del prensa-estopas.

Además existen tuberías de agua de enfriamiento a las cajas de empaques, a las cajas de chumaceras, tuberías de aceite lubricante.

4.1.2. Determinación de la Capacidad del Líquido a manejar.

Antes de especificar la capacidad requerida de una bomba deben conocerse los requerimientos de flujo del sistema.

En algunas instalaciones los requerimientos de flujo máximo y mínimo son fáciles de determinar, pero en instalaciones de procesos indus-

triales, tal es el caso que nos ocupa, donde influyen otros factores como son seguridad de equipo y de la operación, variaciones de demandas por futuras ampliaciones, modificación en los sistemas del proceso, etc., es difícil predecir la demanda del líquido y es necesario tener extremo cuidado al especificar la capacidad de una bomba cuando la carga de las plantas, el ritmo de producción son factores decisivos que cambian las demandas de los líquidos a manejar.

Las bombas son designadas o nominalizadas parcialmente de acuerdo a sus características de bombeo o capacidad, presión de succión y descarga.

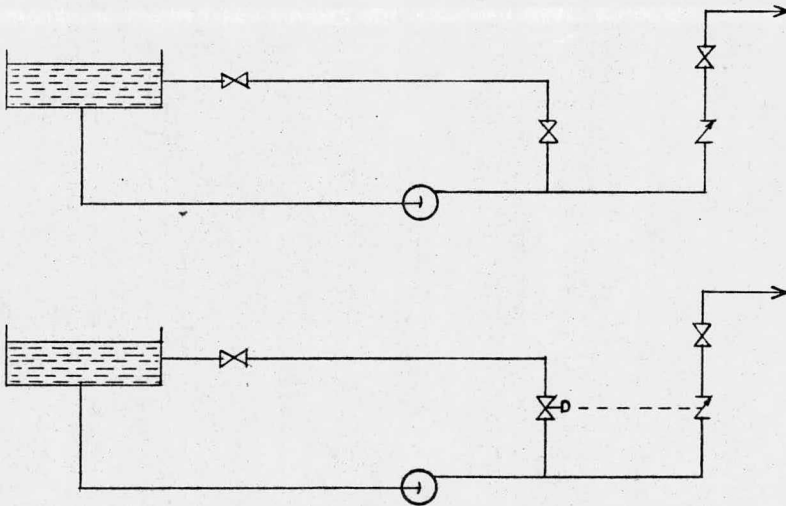


FIGURA 2.- ARREGLOS DE TUBERIAS DE DESCARGA DE UNA BOMBA

Se llama capacidad de una bomba a la cantidad de líquido que la bomba mueve en un tiempo dado y usualmente se mide en galones por minuto (GPM), litros por segundo (LPS), etc.

Una bomba centrífuga generalmente opera a velocidad constante y la capacidad de la bomba depende solamente de la presión total de descarga, del diseño y las condiciones de succión.

La mejor manera de describir las características de operación de una bomba centrífuga es usando una curva característica como la observada en la figura 3, la cual nos muestra la interrelación de presión de descarga o cabeza total (H), capacidad (Q), eficiencia (η) y potencia (P) para una bomba dada a una velocidad particular.

De la figura 3 la curva H-Q es llamada curva característica creciente, esto significa que la presión de descarga aumenta continuamente conforme disminuye la capacidad. Existen también curvas H-Q estables, es decir se puede obtener una sola capacidad para cualquier presión de descarga.

La capacidad de una bomba puede ser cambiada por variación de la velocidad (RPM) del impulsor, para lo cual es necesario el aumento o la disminución de las revoluciones del motor. Esto no siempre es práctico ya que el conjunto bomba y motor usualmente corren dentro de un rango-

de velocidades especificadas. Cuando la bomba es capaz de ser operada a velocidades variables se obtienen curvas características como las mostradas en la figura 4 y en la figura 5 se muestra el punto de operación, que es la intersección de la curva carga-capacidad y la curva de carga del sistema.

Al reducir la velocidad de la bomba, se reduce la carga y la capacidad.

Sin cambio de velocidad de la bomba, el líquido puede ser bombeado a más altas elevaciones o presiones por incremento de la medida del impulsor, esto se debe a que el líquido viaja más lejos alrededor de la orilla exterior del impulsor más grande. Teniendo en cuenta que la distancia que viaja el líquido alrededor de un camino circular en una cantidad de tiempo dado, es la velocidad tangencial. Por lo tanto cualquier punto en la orilla del impulsor más grande tiene mayor velocidad tangencial que en un impulsor pequeño. Por tal motivo podemos decir que el cambio de diámetro del impulsor tiene influencia directa sobre la presión total de descarga la cual aumenta en relación al cuadrado de los diámetros de los impulsores y en la potencia que aumenta en forma directamente proporcional al cubo de los diámetros.

La operación excesiva de una bomba a capacidades mayores que la normal puede conducir a dificultades de mantenimiento prematuras.

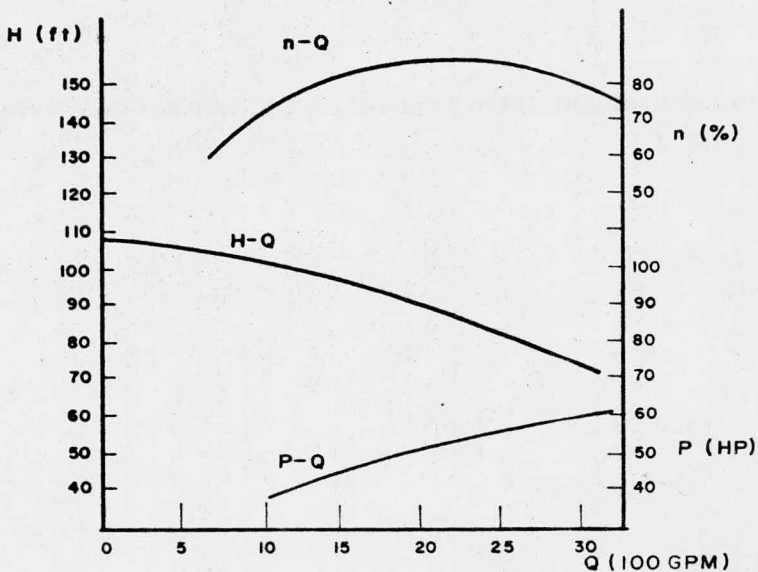


FIGURA 3. CURVAS CARACTERISTICAS PARA UNA BOMBA CENTRIFUGA

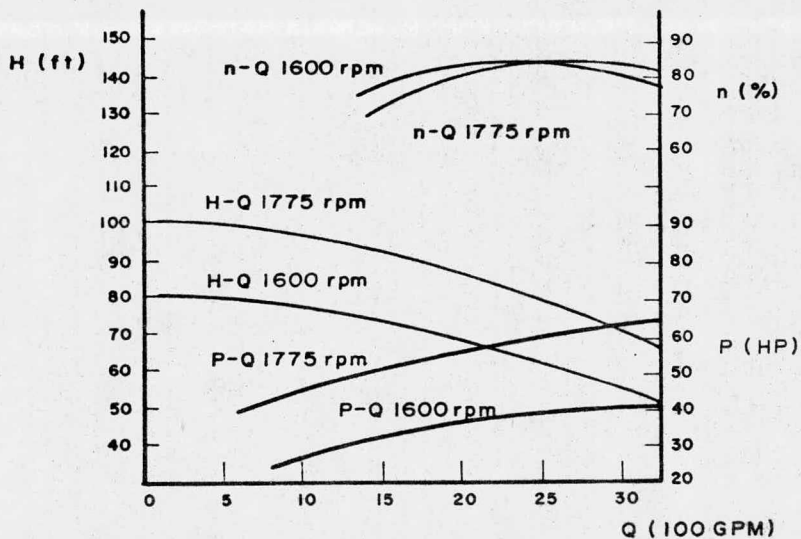


FIGURA 4. EFECTOS DEL CAMBIO DE VELOCIDAD EN LAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA

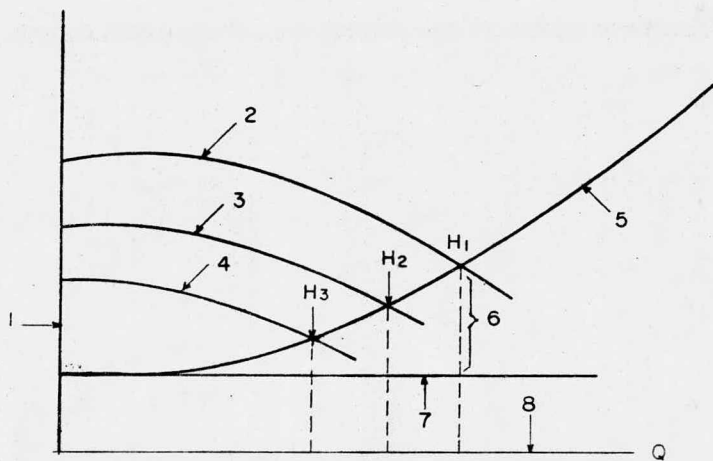


FIGURA 5. _ MODIFICACION DE LA CAPACIDAD DE LA BOMBA
MEDIANTE LA VARIACION DE LA VELOCIDAD

1. _ CARGA O CABEZA (H)
2. _ CARGA-CAPACIDAD A VELOCIDAD (N_1)
3. _ CARGA-CAPACIDAD A VELOCIDAD (N_2)
4. _ CARGA-CAPACIDAD A VELOCIDAD (N_3)
5. _ CURVA DE CARGA DEL SISTEMA
6. _ PERDIDA DE FRICCION
7. _ PRESION O CARGA ESTATICA
8. _ CAPACIDAD (Q)

Cuando una bomba opera gran parte del tiempo a la capacidad nominal con sobre-cargas ocasionales, la duración del período de sobre-carga no es tan importante. Pero cuando las cargas son excedentes a la carga normal y en forma continua, es prudente considerar el uso de dos bombas en lugar de una.

Siguiendo la práctica usual en la elección de una bomba supongamos una instalación en la que la demanda media normal del líquido a manejar, sea el 75% de la máxima. En este caso se seleccionarán dos bombas con una capacidad cada una del 75% de la demanda máxima. En esta forma operará una sola bomba a su máxima eficiencia y cuando la demanda aumente operarán las dos bombas en paralelo y en un punto cercano a su máxima eficiencia. Cuando la demanda total sea tan poca que sea difícil elegir dos bombas entonces se seleccionará una sola bomba con capacidad de la demanda máxima.

Cuando la demanda máxima es tan grande que es imposible elegir una bomba, entonces se seleccionarán dos bombas con capacidad del 50% de la demanda máxima.

En instalaciones en que se requiere continuidad en el suministro del líquido, se elegirán 3 bombas del 75% de la demanda máxima y operarán dos en paralelo quedando una de reserva.

Cuando la falla de suministro de líquido pone en peligro la vida,

el equipo o la seguridad, pueden instalarse 2 ó 3 bombas de las cuales - operarán dos en paralelo todo el tiempo. La capacidad de cada bomba se rá la de la demanda máxima y cada bomba operará al 50% de su capacidad nominal. Ante la seguridad del suministro del líquido se presentarán las siguientes desventajas:

- Se podrá ver acortada la vida de la bomba
- Existirá sobrecalentamiento si la demanda disminuye a valores muy bajos
- Se tendrá derroche de energía y alto costo inicial .


Una manera de ayudar a la bomba cuando se tienen estas circunstancias, es darle uso apropiado a la recirculación de puesta en servicio - de la bomba y que en la mayoría de los casos tiene estrangulamiento calibrado para dar el flujo mínimo según la capacidad de la bomba. Es de - cir, cuando se considera que la bomba está operando a su capacidad o por encima de ella, se cerrará por completo la línea de recirculación y viceversa cuando la bomba esté operando por abajo de su capacidad, teniéndo se precaución en los casos que dicha recirculación no tiene estrangula- miento calibrado, pues el abrirla completamente podría sobrecargar la - bomba.

Claro existen instalaciones en que dichas recirculaciones tienen - una válvula automática controlada por el flujo de la bomba y también o-- tras en que la compuerta del check de descarga de la bomba opera la válu

vula de recirculación según la abertura de la misma.

Los anteriores son algunos factores, pero podríamos tener una amplia gama de ellos que influyen decisivamente en la elección de la capacidad de una bomba según el servicio a prestar.

Ante la importancia que tiene operar una bomba a capacidades mayores o menores que para la que fué diseñada, a continuación se presentan características del rendimiento de bombas. Las figuras 6,7 y 8 nos muestran las curvas características de diferentes formas de operación.

 La capacidad de una bomba puede controlarse o variarse por diversos métodos. A continuación se presentan algunas formas:

a) Puede modificarse el punto de operación de una bomba estrangulando la descarga, al estrangular una válvula en la descarga de la bomba se altera la curva de la carga del sistema incrementando las pérdidas por fricción.

Una característica muy importante es que la alteración del punto de operación mediante variaciones de la velocidad o estrangulación de la descarga puede obtenerse únicamente cuando la carga de succión neta positiva disponible es igual o mayor que la requerida.

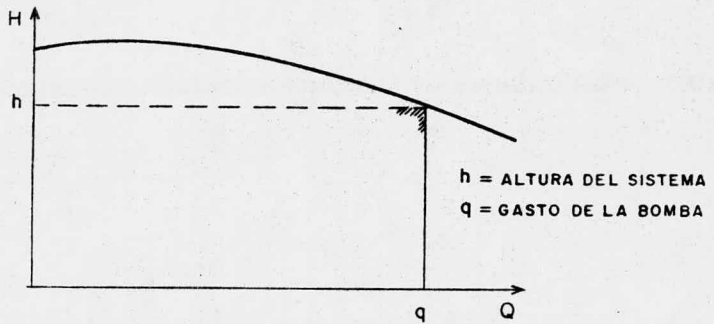


FIGURA 6.- UNA BOMBA CON SISTEMA NO ESTRANGULADO

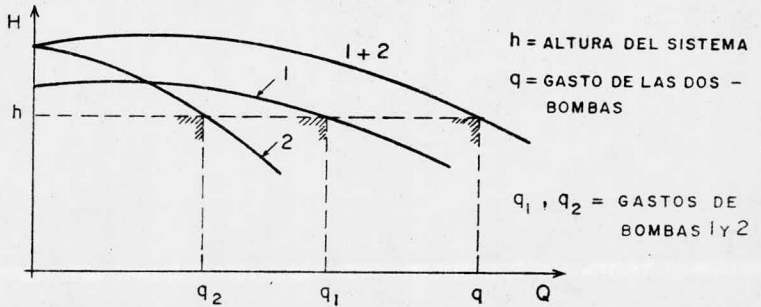


FIGURA 7.- DOS BOMBAS EN PARALELO

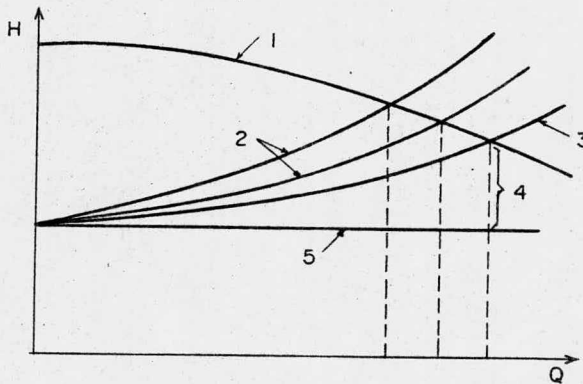


FIGURA 8.- MODIFICACION DE LA CAPACIDAD DE UNA BOMBA MEDIANTE ESTRANGULACION (SE REPRESENTAN VARIOS ESTRANGULAMIENTOS)

- 1.- CARGA-CAPACIDAD A VELOCIDAD CONSTANTE
- 2.- CURVAS DE CARGA DEL SISTEMA MEDIANTE ESTRANGULACION
- 3.- CURVA DE LA CARGA DEL SISTEMA
- 4.- PERDIDA POR FRICCION
- 5.- PRESION O CARGA ESTATICA

b) Existen dos diferentes modalidades de operación de una bomba con efecto significativo sobre la selección de la bomba. En la primera modalidad hay un sólo punto de operación para capacidad y carga. En la segunda, las condiciones de capacidad, carga o ambas están sujetas a variación.

La primera modalidad puede ilustrarse óptimamente mediante una bomba que provoque la circulación en un circuito cerrado de intercambio de calor. La capacidad de circulación es fija y puesto que la carga total requerida corresponde a las pérdidas por fricción del circuito, es también fija. La única excepción posible ocurre aquí cuando el medio circulante puede depositar incrustaciones en el sistema, lo que puede ocasionar el incremento de las pérdidas por fricción con el tiempo.

La segunda modalidad ocurre cuando una bomba entrega un líquido a un recipiente o tanque sujeto a una presión variable, cuando la presión de la succión de la bomba varía significativamente y cuando la capacidad de la bomba está relacionada con un proceso variable.

Si se prevé que las condiciones de servicio permanecerán relativamente constantes durante toda la vida de la bomba, la selección es razonablemente sencilla. Evidentemente es preferible seleccionar la bomba de un tipo tal que las condiciones de servicio caigan muy cerca de su punto de eficiencia máxima. Quedan algunas precauciones que

es necesario tomar en la selección de la bomba.

Si una bomba puede satisfacer condiciones de servicio ampliamente variables, la selección se complica. Ya sea que la capacidad de la bomba se altere por un cambio de velocidad o mediante la estrangulación de la descarga, es necesario considerar toda una serie de factores como lo son:

- La pendiente de la curva cabeza-capacidad no debe ser demasiado pronunciada si la bomba descarga en un sistema de distribución, puesto que una pequeña variación del gasto ocasionará variación mayor de la presión de la descarga. Esta pendiente no debe ser demasiado baja si la capacidad de la bomba se controla mediante la abertura de la válvula.

-Es necesario verificar cuidadosamente el requisito de la capacidad máxima para obtener una adecuada carga positiva neta en la succión disponible y requerir del motor de la potencia conveniente.

- Si deben operarse dos bombas en paralelo ocasionalmente, pero una de las bombas trabajará sola en otras ocasiones, es necesario analizar el efecto de la derivación de la bomba para no requerir capacidades de operación excesivas.

- Es necesario tomar ciertas precauciones para determinar si la bomba que se selecciona es adecuada para operar a los gastos mínimos.

Por lo tanto, en términos generales, los problemas que deben advertirse son los ocasionados por la operación con gastos anormales, superiores o inferiores a la gama dentro de la cual la bomba seleccionada puede operar sin dificultades.

Es de suma importancia no seleccionar una bomba de diámetro excesivo. Porque el diámetro excesivo puede tener más efectos nocivos sobre el rendimiento de la bomba cuando se prevén gastos variables, este efecto se describe a continuación.

Curiosamente, la selección de un diámetro excesivo para la bomba puede hacer que ésta opere a veces a un gasto demasiado bajo. La selección de un diámetro excesivo ocurre generalmente porque se acumulan márgenes de seguridad a otros márgenes de seguridad, hasta que la capacidad nominal de la bomba excede del gasto máximo normal requerido en una cantidad significativa. La fig. 9 muestra cualitativamente el efecto de dimensionar en exceso una bomba basándose en la capacidad entregada al sistema y en el consumo de energía. Evidentemente la curva de carga-capacidad cortará a la curva de la carga del

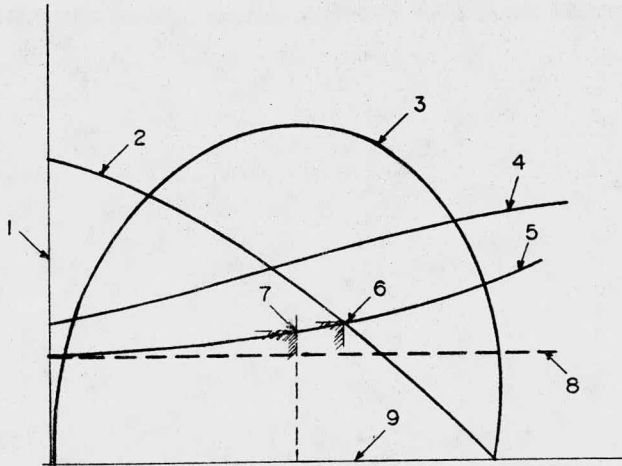


FIGURA 9._ EFECTO DE LA SELECCION DE UNA DIMENSION EXCESIVA PARA UNA BOMBA

- 1._ CABEZA TOTAL, EFICIENCIA, B.H.P.
- 2._ CURVA DE CARGA-CAPACIDAD
- 3._ EFICIENCIA
- 4._ POTENCIA AL FRENO, HP.
- 5._ CURVA DE CARGA DEL SISTEMA
- 6._ CAPACIDAD DE OPERACION
- 7._ CAPACIDAD DESEADA
- 8._ CARGA ESTATICA
- 9._ CAPACIDAD

sistema en un punto de capacidad muy superior al deseado.

Además el consumo de energía excede la fuerza que sería necesaria para manejar el gasto deseado. En el mejor de los casos la bomba puede estrangularse y reducir en cierto grado la potencia. Pero si la carga y la capacidad de la bomba son seleccionados de acuerdo con los requisitos reales del sistema, pueden obtenerse ahorros de energía importantes. Y muy posiblemente se podría haber usado una bomba más pequeña y menos costosa.

Al mismo tiempo, si una bomba se dimensiona excesivamente y se selecciona su punto de eficiencia óptima para esa capacidad exagerada, o perará siempre con gastos correspondientes a un menor porcentaje de su eficiencia óptima. El efecto menos importante en este caso, es el de operar continuamente la bomba a una eficiencia menor de la que podría tener si la selección se hubiera hecho de acuerdo con las necesidades. Lo que es peor, puede hacer que la bomba opere dentro de una gama en la que pueden ocurrir graves pulsaciones y fluctuaciones de presión hidráulica.

Aunque se requiere un margen necesario para advertir el desgaste y las contingencias provocadas por la subestimación de las pérdidas por fricción, existen dos medios para prever estos márgenes: pueden sumarse a la capacidad deseada o a la carga total requerida. El resultado neto en la curva de carga-capacidad es esencialmente el mismo. Pero al sumar -

el margen a la carga total se obtiene la ventaja de mantener las capacidades deseadas cercanas al punto de eficiencia óptima de la curva de la bomba.

Es conveniente considerar los posibles cambios futuros, particularmente en las industrias de proceso que pueden exigir un incremento de las capacidades deseadas. Pero la flexibilidad para el futuro no debe conducir al usuario a sacrificar seguridad de operación presente.

Es decir, si se prevé un aumento futuro de la capacidad, debe determinarse si ese aumento puede lograrse utilizando un impulsor mayor en lugar de especificar la bomba para las necesidades futuras y operarla ahora a gastos reducidos. Esto nos conduce a insistir sobre el consejo de no dimensionar la bomba excesivamente, siempre que eso sea posible.

Numerosas instalaciones se hacen con dos bombas operando en paralelo, para satisfacer las necesidades de capacidad total; cada una de las bombas entrega la mitad del gasto requerido. Una disposición de este tipo tiene numerosas ventajas, de entre las cuales, no es la menor el hecho de que ahora frecuentemente se sigue la práctica de eliminar bombas de reserva, en la suposición de que si es necesario suspender la operación de una bomba, puede continuarse la operación del proceso con una parte de la carga.

Otra ventaja importante de esta disposición es que siempre que es posible advertir la operación del proceso a cargas inferiores al 50% durante períodos de tiempo considerables, es posible parar una bomba y la que queda en línea opera con una mejor eficiencia que si ambas bombas se trabajaran al 50% de su gasto.

Cuando se usan bombas a media capacidad se hace necesario analizar los efectos de un incremento súbito de la demanda de capacidad, mientras una sola bomba permanece en línea.

En estas condiciones, la curva de carga-capacidad de la bomba única contará a la curva de carga del sistema en un gasto mayor que la capacidad de diseño de la bomba. Es necesario asegurarse de que la carga positiva neta de succión disponible es suficiente para esta mayor capacidad y que el motor de la bomba es de la potencia necesaria.

La operación de las bombas centrífugas a gastos reducidos conduce a un cierto número de resultados desfavorables que puede tener lugar separada o simultáneamente y que es necesario prever o evitar.

Se menciona a continuación una lista de ellas.

- 1.- Evidentemente, la bomba opera a una eficiencia mejor que la óptima.
- 2.- Al reducirse la capacidad, aumenta el incremento de temperatura a través de la bomba. Para no exceder los límites admisibles es necesario

instalar un sistema de mínima derivación del gasto.

- 3.- A ciertos gastos inferiores a los de la eficiencia óptima, las bombas centrífugas están sujetas a la recirculación interna tanto en el área de succión del impulsor como en la descarga. Esto puede causar fluctuaciones de la presión hidráulica y daños similares a los productos por cavitación.

Los dos primeros efectos mencionados son bien conocidos y no requieren explicación adicional.

Por otra parte el tema de recirculación interna es un fenómeno que hasta recientemente se ha investigado a fondo. Y sólo algunos diseñadores de bombas ha aprendido a pronosticar y controlar la magnitud de los gastos a los cuales ocurre este fenómeno. Es necesario comprender las causas del problema para que los usuarios de las bombas puedan apreciar los dilemas en los que a veces se encuentra el diseñador de la bomba. Y esta comprensión ayudará también a los usuarios a no imponer condiciones que no puedan dejar de ocasionar una operación defectuosa y el desgaste y deterioro prematuros del impelente. Estos efectos se mencionan a continuación:

Recirculación Interna en la Succión: La continua presión de la competencia sobre los fabricantes, en el sentido de construir bombas con valores cada vez menores de carga positiva neta de succión los obligó a dise

ñar impulsores con mayores diámetros de orificio central. Aunque las menores velocidades resultantes tienen ligero efecto sobre el rendimiento de la bomba a la capacidad de su eficiencia óptima o cerca de ella, pueden también conducir a fluctuaciones de presión hidráulica, a una operación ruidosa y el desgaste prematuro a capacidades bajas. Estos síntomas se deben a la recirculación interna en la succión. Es decir el flujo en el diámetro exterior del orificio central tiende a invertirse en gastos bajos y provoca una turbulencia excesiva con la formación de un vórtice. Aunque el diseñador dispone de algunos procedimientos para reducir al mínimo este efecto y para reducir el porcentaje de la capacidad para la eficiencia óptima en la que se inicia una recirculación considerable en la succión, en general esos procedimientos incrementan la mínima carga positiva neta en la succión requerida. Si la aplicación de la bomba requiere operación frecuentemente y prolongada, con gastos reducidos, no es juicio sólo seleccionar una bomba que alcance los límites más bajos posibles de carga positiva neta en la succión requerida. En cambio es mejor dar una suficiente carga positiva neta en la succión, con el objeto de poder seleccionar la bomba que no sufra de los efectos de recirculación en la succión.

La recirculación en la descarga del impelente es en cierta forma similar a la recirculación en la succión. Se debe al deseo de mejorar el valor de la eficiencia óptima incrementando el coeficiente de carga del impelente.

Si se advierte una operación prolongada con gastos bajos, es necesario notificarlo al fabricante de la bomba, para que no suministre una bomba que sufra con una operación de este género.

4.1.3. Columna del Sistema o Cabeza del sistema.

Un estudio cuidadoso de condiciones de columna y localización de la bomba puede producir ahorros apreciables en potencia.

Aún cuando la columna total de una bomba puede calcularse con gran exactitud, es necesario ejecutar las especificaciones cuidadosamente conforme a las condiciones exactas que existen en la instalación, para evitar errores costosos en la selección de la bomba. Quizás la causa más común de tales errores es la acumulación de factores de seguridad que se aplican antes de llegar al punto de operación final de la bomba.

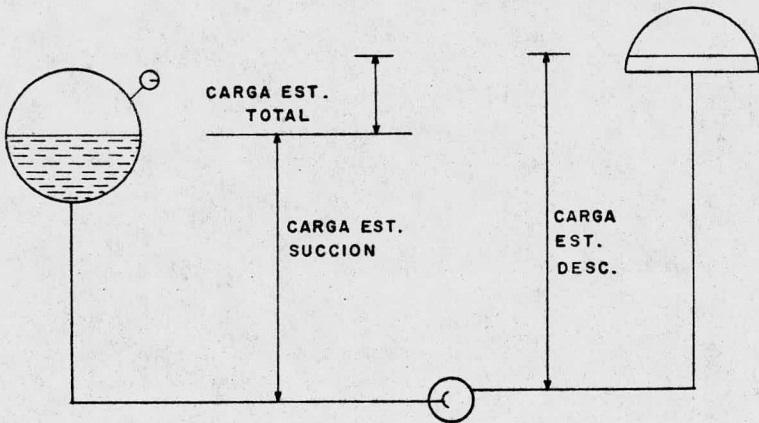
Factores de seguridad en exceso o demasiado liberales, pueden producir una bomba de mayor capacidad que la realmente necesaria, lo cual conduce a un exceso en el consumo de potencia y posiblemente mayor costo de mantenimiento. Es práctica común el efectuar el cálculo de la capacidad al mismo tiempo que se determina la columna.

Una vez que se conocen estos dos valores, generalmente se aplica un factor de seguridad a cada uno, antes de consultar la tabla o gráfica característica.

Los componentes de la altura de elevación contra los cuales trabajará la bomba son:

- Carga estática
- Diferencia de presiones que existen en el líquido
- Carga de fricción
- Pérdida de entrada y salida
- Elevación correspondiente a la velocidad.

La carga estática y la diferencia de presiones se definen en el siguiente diagrama:



La carga de fricción es la carga equivalente necesaria para vencer las pérdidas de fricción por el flujo del líquido a través de la tubería y accesorios y por el carácter del líquido bombeado.

Las llamadas pérdidas de entrada y salida, son pérdidas de fricción - ocasionadas por el flujo al entrar a la bomba y al salir, normalmente se desprecian.

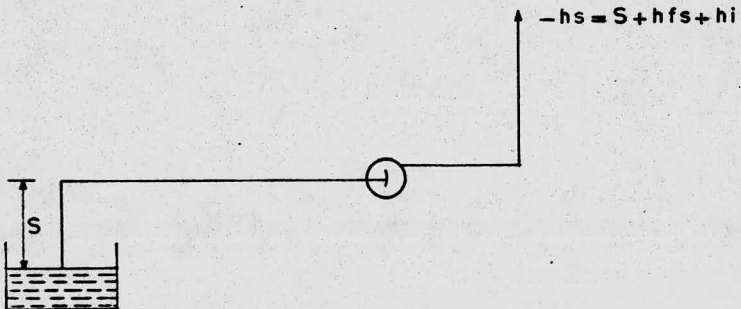
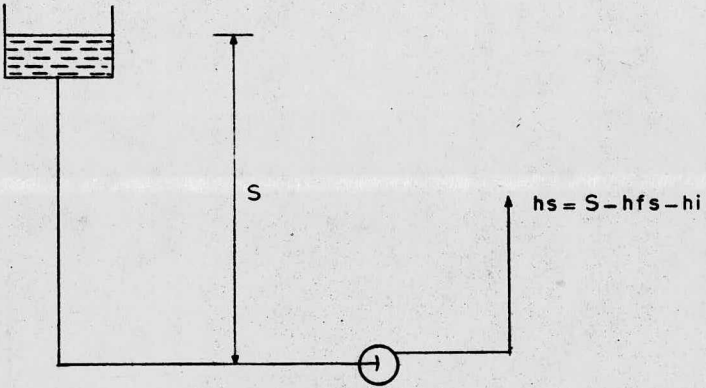
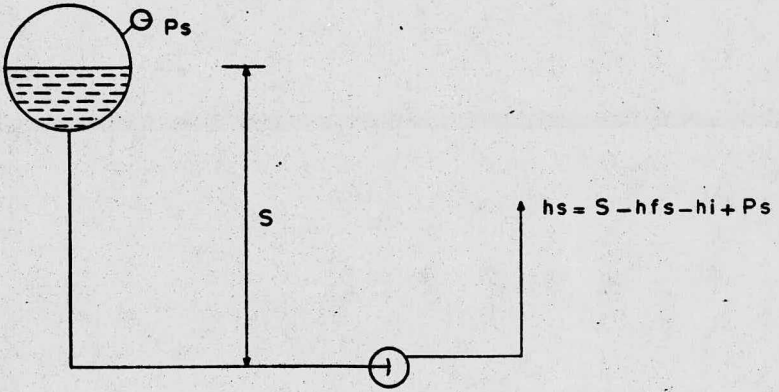
La elevación correspondiente a la velocidad es la energía que adquiere el líquido al moverse con cierta velocidad.

Los términos de carga hidráulica que se usan en las bombas son:

1. Carga de Succión y Elevación de Succión
2. NPSH
3. Carga de Descarga
4. Carga Total

1. Carga de Succión y Elevación de Succión

Normalmente se habla de carga de succión cuando el nivel del líquido se encuentra por encima del centro de la bomba y viceversa cuando se habla de elevación de succión. A continuación se ilustran tres formas típicas de cargas de succión.



2. NPSH (Cabeza de Succión Neta Positiva).

En el bombeo de líquidos la presión en cualquier punto de la línea de succión nunca deberá ser menor a la presión de vapor del líquido bombeado, ya que puede producirse el fenómeno de cavitación.

Con el objeto de diseñar y seleccionar sistemas de bombeo para evitar la cavitación se ha desarrollado el concepto de NPSH.

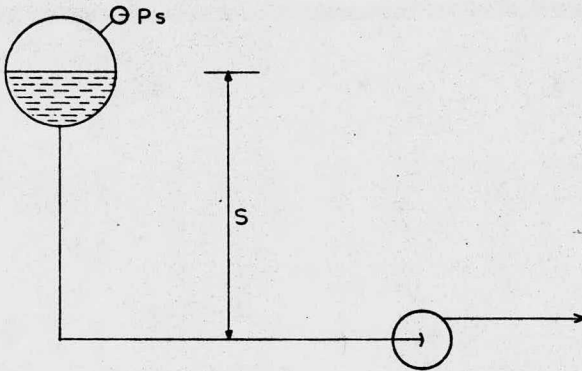
El NPSH se define como la diferencia entre la presión total, expresada en columna de líquido, determinada en la boquilla de succión y la presión expresada en columna de líquido correspondiente a la presión de vapor del líquido, en otras palabras es la diferencia entre la cabeza de succión absoluta menos la cabeza de la presión de vapor. La referencia que se usa cuando se discute y calcula el NPSH es siempre la línea de centros del impulsor.

Hay que diferenciar entre NPSH disponible y NPSH requerido.

El NPSH disponible es una característica del sistema, que se refiere a un exceso de presión sobre la presión de vapor del líquido en la boquilla de succión de la bomba y depende de las condiciones físicas exactas del líquido cuando llega a la bomba. Se puede calcular a partir de la instalación, en la figura 10 se dan algunos ejemplos.

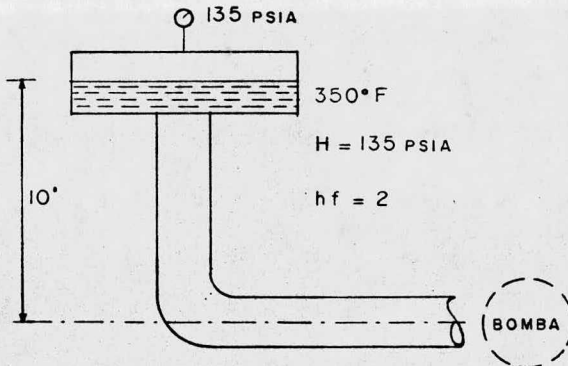
El NPSH requerido es una característica de la bomba, es decir, es la cabeza mínima necesaria a la succión para llevar el líquido dentro del impulsor sin vaporización. Es un valor fijado por el fabricante de la bomba,

FIGURA 10



$$\text{NPSH} = S + (P_s - P_{vp}) - (h_{fs} + h_i)$$

P_{vp} = PRESIÓN DE VAPOR DEL LIQUIDO



$$\text{NPSHA} = 135 \text{ PSIA} + 10' - 2' - 135 \text{ PSIA} = 8'$$

usando generalmente uno de estos procedimientos.

- a. Se instala un tanque atmosférico con agua a la temperatura ambiente y se conecta una línea de succión a la bomba con una válvula de estrangulamiento.

La carga de succión se varía estrangulando esta válvula. Este método se utiliza para flujos entre moderados y altos, donde se miden valores de NPSH relativamente altos.

Una prueba realizada por este procedimiento es conservadora y usualmente indica un funcionamiento peor del real esperado, especialmente con bombas de bajo NPSH.

- b. Se instala un tanque cerrado y la carga de succión se ajusta variando la presión sobre el líquido y/o el nivel del líquido en el tanque. Este es un método más exacto de medir el funcionamiento de la bomba. Cuando se van a medir valores bajos de NPSH (menos de 5 pies) éste es el método recomendado.

El NPSH requerido debe ser siempre menor que el NPSH disponible para que la bomba opere satisfactoriamente. Ambos varían con la capacidad, el NPSH requerido aumenta al aumentar la capacidad y el NPSH disponible disminuye. Esto es ocasionado por las pérdidas por fricción en las tuberías el ojo del impulsor, etc.

La figura 11 nos muestra las curvas características del NPSH requere

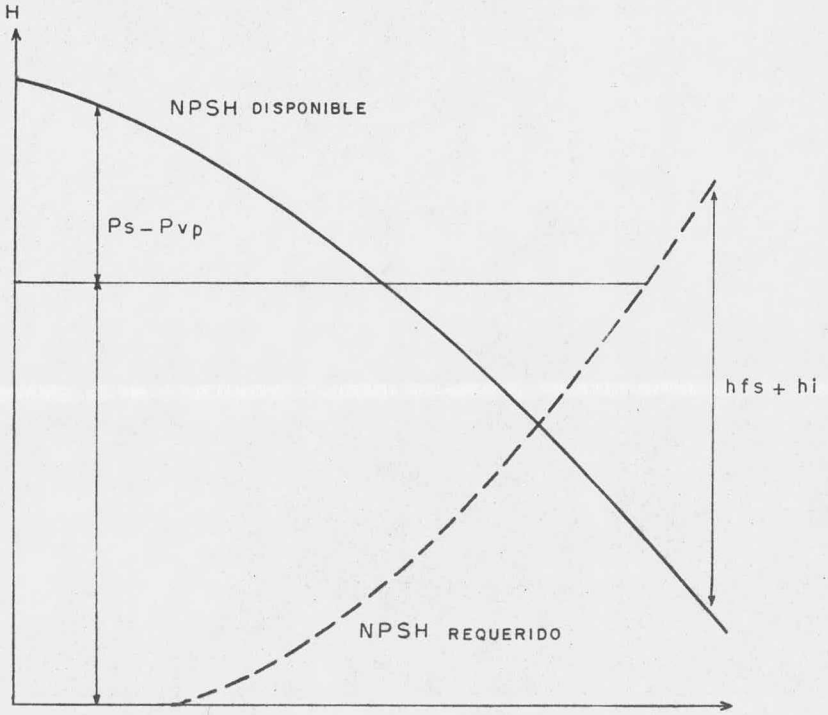


FIGURA II

-rido y NPSH disponible.

En general son 4 los factores que se deben considerar en cualquier análisis de NPSH: Carga de Succión, Presión de Operación, Pérdidas Hidráulicas y presión de vapor.

3. Carga de Descarga.

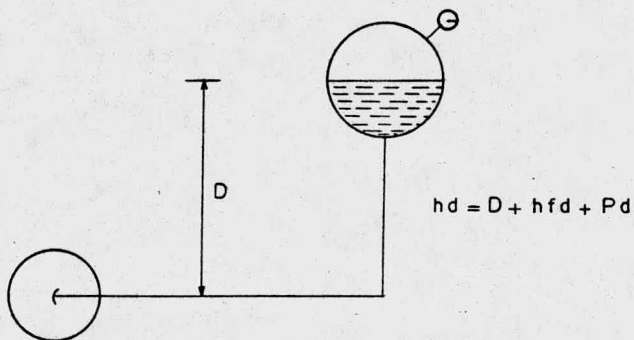
A continuación se representan 6 proyectos de instalaciones típicas de cargas de descarga, donde los términos significan:

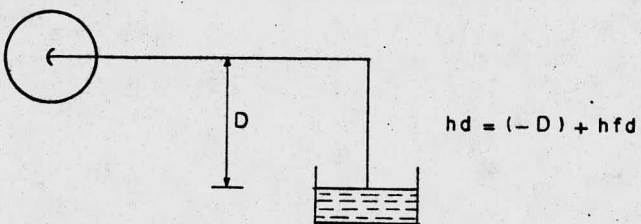
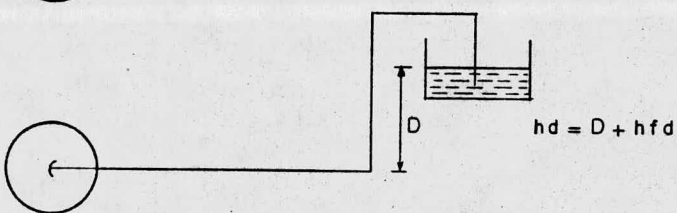
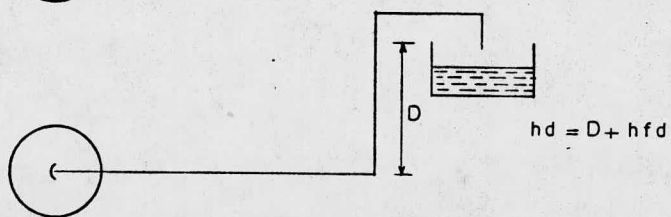
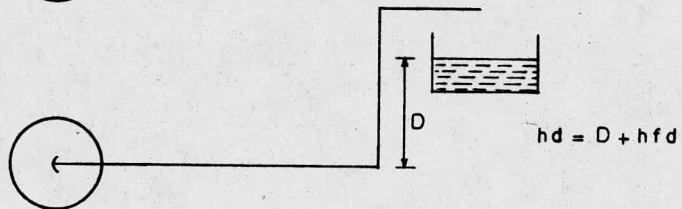
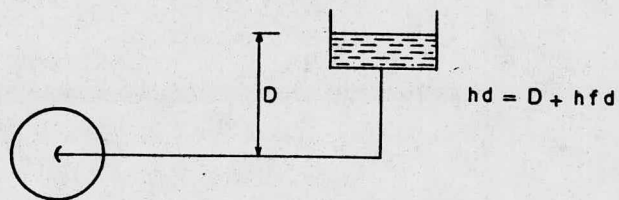
h_d = altura de descarga o carga de descarga

D = carga estática de descarga

h_{fd} = pérdidas por fricción en la descarga

P_d = presión manométrica del tambor de descarga





4. Carga Total

La carga total de una bomba es la energía impartida al líquido por la bomba, se puede determinar según el siguiente diagrama.

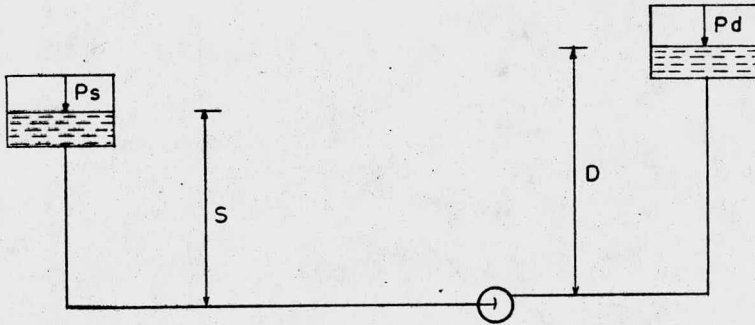
Donde los términos significan:

H_t = Carga Total

H_{ft} = Pérdidas de fricción totales

La carga total se define mediante la siguiente fórmula:

$$H_t = h_d - h_s = (D - S) + H_{ft} + h_i + (P_d - P_s)$$



4.1.4. Condiciones del Líquido

Según el tipo de líquido a manejar, puede afectarse los siguientes aspectos:

- a. La columna y la capacidad a las cuales puede operar la bomba.
- b. La potencia demandada por la bomba.
- c. Los materiales de construcción para asegurar una vida satisfactoria.

Se pueden considerar cuatro tipos de líquidos a manejar:

1. Viscosos
2. Volátiles
3. Químicos
4. Líquidos con Sólidos en suspensión.

1). Líquidos Viscosos.

Los símbolos y ecuaciones usadas en la determinación de las características del funcionamiento de bombas cuando manejan líquidos viscosos son los siguientes:

$$Q_{vis} = (Cq) (Q_w)$$

$$H_{vis} = (Ch) (H_w)$$

$$E_{vis} = (Ce) (E_w)$$

$$BHP_{vis} = \frac{Q_{vis} H_{vis} S.Gr.}{3960 E_{vis}}$$

Estas ecuaciones son usadas cuando las condiciones con agua son conocidas.

Los índices denotados en las ecuaciones como: (vis) y (w) diferencian las características de líquidos viscosos y agua respectivamente.

Las literales Q , H y E representan el gasto, la carga o cabeza total y la eficiencia de la bomba.

Los símbolos C_q , C_h y C_e representan los factores de corrección para la capacidad, carga y eficiencia respectivamente. Los valores de estos factores son determinados haciendo uso de la carta de funcionamiento de bombas que manejan agua con factores de corrección para líquidos viscosos (ver bibliografía 7).

2) Líquidos Volátiles.

Existen líquidos que se clasifican como volátiles porque vaporizan fácilmente. Sin embargo cualquier líquido cerca de su temperatura de ebullición se encuentra en un estado volátil y puede clasificarse como tal.

El problema principal para bombear líquidos volátiles es el del NPSH, ya que por lo regular las condiciones del lado de la succión son tales que están cerca del punto de ebullición.

Siempre que sea posible debe de obtenerse la presión real del líquido que se maneja, aunque los valores de las gráficas localizadas en manuales,

libros, etc., son satisfactorias para muchos problemas. Siempre que se manejan líquidos volátiles debe de considerarse el uso de sellos mecánicos.

El manejo de este tipo de líquidos se verá con mayor detalle en capítulos posteriores.

3). Líquidos Químicos.

Los líquidos químicos pueden ser ácidos o bases y son frecuentemente más difíciles de manejar debido a que atacan las distintas partes de la bomba reduciendo su vida.

Los líquidos químicos afectan principalmente la elección de los materiales para las bombas.

4). Líquidos con Sólidos en Suspensión.

Estos líquidos pueden contener lodos, arena, pulpa de papel, aguas negras o alimentos, son los más difíciles de manejar satisfactoriamente. Sin embargo, una elección y aplicación cuidadosa pueden dar la capacidad y columna deseadas, así como una larga vida de la bomba.

A la fecha existen una gran variedad de diseños para bombas especiales que facilitan la elección de una unidad para cualquier aplicación específica y saber que operará satisfactoriamente con períodos largos, con problemas mínimos.

4.1.5. Elección de Clase y Tipo de Bomba.

Existe tal variedad de bombas útiles y tantas aplicaciones posibles para cada caso, que generalmente es difícil elegir una bomba específica.

→ La elección de la bomba debe ser aquella que suministra el costo mínimo por litro bombeado a lo largo de la vida útil de la misma.

→ Es necesario tener catálogos completos de distintas marcas de bombas con sus curvas características.

Al tratarse de la elección de bombas centrífugas, ya conocido el tipo de impulsor, capacidad y el punto de máxima eficiencia, buscamos en los catálogos de bombas y entramos en las gráficas correspondientes para localizar el tamaño de bomba.

Cuando las condiciones hidráulicas se encuentren entre dos modelos normales, es práctica común elegir el tamaño inmediato mayor de la bomba.

Un hecho importante es que los fabricantes ya tienen desarrollado la mayor parte de los diseños específicos según la aplicación o servicio a dar.

Ya tenidas las curvas características de la bomba se traza sobre ella la curva de carga del sistema con las variaciones que pueda tener para estar seguros de que dicha bomba es la que nos sirve.

El escoger una bomba horizontal o vertical depende de los factores si-

-güentes; por ejemplo desde el punto de vista del espacio ocupado en el -
piso, NPSH requerida, cebamiento, las verticales son preferibles a las ho-
rizontales y viceversa cuando se necesita espacio vertical y considerando -
efectos de corrosión, abrasión y facilidad de mantenimiento.

Dentro de las funciones que desempeñan los ingenieros de manteni-
miento y de operación de plantas, no es común el que tengan que seleccio-
nar bombas centrífugas, pero considerando las estadísticas de reparación de
bombas, se localizan bombas que nunca o casi nunca se les ha puesto mano
teniendo operación continua a través de los años y en cambio existen otras
que tienen reparaciones frecuentes y además periódicamente ponen en peligro
la operación y producción de las plantas.

Poniendonos a analizar dichas bombas aparte del aspecto mecánico -
las condiciones de operación conjugadas con las características de diseño de
las mismas, nos lleva a la conclusión que en muchos de los casos dichas -
bombas han sido mal seleccionadas o quizás algunas hayan sido bien selec-
cionadas en las condiciones de operación originales, pero en muchos de los
casos dichas condiciones han variado por arreglos que se han efectuado en
las plantas para mejorar la producción y podríamos decir que dichas bom-
bas quedarían dentro de las mal seleccionadas.

La idea de este tema es tratar de conocer un poco más sobre la se-
lección, operación e instalación de las bombas centrífugas en general, para
tratar, ligados estos conceptos resolver los problemas que día a día se pre-

-sentan en las bombas en operación ya que en muchos de los casos nos ba-
samos a mantener condiciones de operación de los sistemas, descuidando -
las condiciones para las cuales fue diseñada la bomba.

4.2. BOMBAS CENTRIFUGAS PARA SERVICIO FRIO Y LIQUIDOS SATURA DOS.

Lo que diferencía básicamente este tipo de bombas centrífugas de las
demás antes mencionadas son las condiciones de fluido en la succión, que-
es el punto más importante para su buen funcionamiento .

Estas bombas no son diferentes a las comunes, sino que tienen algu-
nos detalles de selección, instalación, operación y mantenimiento mucho -
más rígidas que aquellas.

Así sabemos que la condición indispensable para que una bomba centrí-
fuga pueda funcionar correctamente es que en el ojo del impulsor, o del -
impulsor del primer paso si se trata de una bomba de múltiple etapa, el -
líquido se encuentre a una presión mayor que la presión de vapor del fluido
a la temperatura de operación.

Esto es necesario porque si una bomba opera con un fluido en su pun-
to de equilibrio, este puede vaporizar con cualquier disminución de presión
y las burbujas de vapor pueden bloquear el flujo del líquido a través de la
bomba, ocasionando una reducción en la capacidad y la carga.

Como la mezcla de vapor y líquido se mueve a través del impulsor a una región de mayor presión, la presión del líquido aumenta sobre la de vapor y las burbujas se colapsan.

Este colapso o implosión origina una onda de choque y esfuerzos extremadamente altos en el punto de impacto. A la formación de burbujas de vapor y su posterior colapso se le denomina cavitación

Los efectos de la cavitación son los siguientes:

- a). Ruido que puede llegar a ser molesto.
- b). Daño en la bomba que puede ser erosión excesiva en sus interiores, daño en los sellos mecánicos por la vibración originada y la total destrucción por amarre de las partes móviles con las estacionarias.
- c). Funcionamiento incorrecto de la bomba respecto de las condiciones deseadas.

4.2.1. Bombas para Servicio Frio.

En la industria en general y en la industria petroquímica particularmente, cada vez es mayor el número de instalaciones en las cuales se bombean líquidos en su punto de equilibrio.

La tendencia general en la industria es hacia la instalación de plantas de producción en gran escala de complejidad técnica en aumento. Estas plantas están siendo inevitablemente menos flexibles en su operación que

que sus antecesoras.

Estos factores han originado la instalación de sistemas de almacenamiento de productos que permitan a las plantas operar en tanto el consumidor este fuera de operación u opera a bajas cargas de períodos cortos.

La siguiente lista da una idea de las temperaturas actuales de almacenamiento:

Butano	- 10	Grados	Centígrados
Amoniaco	- 33	"	"
Propano	- 40	"	"
Propileno	- 50	"	"
Etileno	- 103	"	"
Metano	- 160	"	"
Oxígeno	- 183	"	"
Nitrógeno	- 195	"	"

Anteriormente algunos de estos productos se almacenaban a temperatura ambiente en recipientes a presión, actualmente se almacenan en tanques cilíndricos con presiones de diseño de 1 a 50 o más psig con rangos de capacidades de 20 a 30,000 toneladas de producto prácticamente saturado.

En los modernos procesos de plantas industriales, se tienen condiciones similares debido a las temperaturas bajas que se alcanzan.

Estas bombas que manejan líquidos fríos y saturados pueden cavitarse, pues a pesar de sus temperaturas tan bajas, sólo necesitan que su presión sea lo suficientemente baja.

Como la temperatura de operación está igualada con la de vapor del producto, el NPSH disponible es tan sólo la columna hidrostática menos las pérdidas hidráulicas, por lo que la localización del tanque y línea de succión adquiere una importancia enorme.

En las bombas que manejan líquidos fríos almacenados se acostumbra a colocar venteos de la línea de succión conectados a la zona de vapores de los tanques y venteos en la descarga conectados a este mismo punto o al quemador de campo.

La línea de succión se recomienda construirla con una pendiente continua descendente del tanque a la bomba.

En este tipo de bombas se instala una recirculación al recipiente de succión. También se acostumbra que el sello mecánico opere con la presión de descarga, por lo que se instala una recirculación de la cámara del sello hacia la succión con el objeto de desalojar todos los vapores del líquido entrampados en ese lugar y evitar que el sello opere en fase vapor, lo que lo dañaría irremediablemente por falta de lubricación.

También, se acostumbra inundar la parte exterior del sello con un fluido anticongelante, comúnmente metanol, lo que impide la congelación de

la humedad ambiente en las áreas cercanas a las partes en contacto.

Desde el punto de vista de operación, se recomienda que el enfriamiento de la bomba sea hecho meticulosamente, desalojando todos los vapores -- del cuerpo de la bomba, utilizando los venteos instalados, inclusive se recomienda arrancar la bomba por períodos cortos de tiempo, purgándolos después de cada paro para garantizar que quede lleno. Esta operación se efectúa normalmente en 2 o más horas.

Otro tipo de recomendaciones muy importantes en cuanto a la operación de estas bombas es que el aislamiento esté correctamente aplicado. -- Usualmente se utiliza espuma del poliuretano aplicada por atomización.

En cuanto al armado y montaje de estas bombas, se acostumbra bañar las en metanol para impedir que vayan impregnadas de humedad, lo cual -- ocasionaría la formación de hidratos al enfriar la bomba.

4.3. BOMBAS CENTRIFUGAS DE AGUA DE ALIMENTACION A CALDERAS

Estas bombas usualmente succionán de un deareador, donde el agua se encuentra a una presión equivalente a la presión de vapor correspondiente a su temperatura.

Por esta condición, la única energía en el impulsor del primer paso, -- si se trata de multiples pasos, arriba de la presión de vapor es la columna estática menos las pérdidas por fricción en la línea de succión.

Comenzaremos por ver las características del líquido bombeado, en este caso agua para calderas.

Su análisis químico aproximado es el siguiente: Dureza "0" o tendiendo a ser "0", alcalinidad controlada para mantener un pH de carácter alcalino, un mínimo de cloruros, reducido porcentaje de sólidos, "0" de oxígeno disuelto y "0" de bioxido de carbono, gravedad específica de 1 o aproximadamente 1, la variante es por las condiciones de temperatura del tanque o recipiente usado en la succión de las bombas.

Todas estas características son necesarias de mantener para evitar problemas de incrustación, corrosión y ataque ácido a las calderas. Con esto determinamos la primera característica necesaria para la selección de nuestra bomba, o sea que líquido vamos a mover.

Consideramos ahora la cantidad de líquido que vamos a mover con nuestra bomba. Por las necesidades fluctuantes de energía calórica o fuerza motriz en las centrales de generación de energía eléctrica y en las áreas de proceso donde se usan máquinas movidas por vapor (turbinas, compresores de aire, etc.) y en donde se usa en forma muy variada la energía calorífica de vapor (cambiadores de calor, calentadores, etc.), la carga o generación de vapor en las calderas también es fluctuante. Debido a estas variaciones y como el gasto en las bombas de alimentación debe seguir fielmente los cambios en la generación de vapor, su gasto es por lo tanto también variable.

Para poder determinar este gasto se necesita determinar el flujo máximo en la caldera, considerar la sobrecarga que el fabricante de la misma tenga establecida para esta unidad que puede ser de un 110 a 250 % dar además a este flujo un margen para cubrir las oscilaciones de la caldera y la eventual reducción de flujo por desgaste en la bomba, siendo este margen del orden del 20% en centrales grandes y un 8% en centrales pequeñas, de esta manera y reuniendo todos estos gastos se determina el flujo total de la o las calderas regularmente dado en toneladas/día, lbs./hora, kgs/hora., conociendo este dato y considerando que la bomba que la va alimentar nos proporciona este mismo gasto en lts./min. Este gasto es el que manejará nuestra bomba o en caso necesario dos o más en paralelo.

Ya analizados los datos anteriores pasaremos a ver el tercer factor básico para nuestra selección. Este es la columna de descarga o presión de descarga necesaria para meter el agua a la caldera, pérdidas por fricción en los diferentes pasos que recorre el agua para llegar a la caldera como son: tuberías, válvulas, calentadores, sobrecalentadores y la caldera propiamente, más un 6% de exceso de presión, de manera que la bomba alimente a la caldera cuando releva o se abre la válvula de seguridad de la misma. Por lo regular la columna final o presión de descarga de la bomba es de un 15 a un 25% más alta que la presión normal de la caldera.

Con estos tres elementos y el NPSH disponible se podría en algunos

casos hacer la selección del equipo, pasando a las curvas que nos presentan los catálogos de los diferentes fabricantes, pero en el caso especial - de las bombas de agua de alimentación a calderas y por su condición de - gasto variable es necesario considerar lo siguiente.

Cuando la demanda de gasto es máxima y se tiene un buen diseño, - no se presenta ningún problema pero cuando la demanda de agua decrece - por un decremento de las necesidades de vapor, entonces se provocarían solamente una agitación del agua en el interior de la bomba, provocando - un golpeteo intermolecular en el agua el cual genera calor, al tratar de - dispararse se transmitiría sobre las partes constitutivas de la bomba como lo son: flecha, impulsor, anillos, etc., al suceder esto se dilatan estas - partes, eliminando o reduciendo el claro que debe de existir entre ellos.- Llegando si se prolonga esta situación hasta rozar metal a metal generando más calor hasta llegar a pegarse las dos superficies, provocando que se amarre la bomba y una destrucción muy grande en las partes constitu- yentes de la misma.

Para evitar este efecto denominado comúnmente "engasamiento" y - que podría presentarse en forma frecuente en este tipo de bombas sujetas a un gasto variable, se seleccionan bombas que estén provistas de un sistema de recirculación dando de esta manera salida al sobreflujo que deja de bombearse al sistema. Esta recirculación está calculada en una curva de temperatura contra gasto y la selección de esta recirculación se hace-

para mantener el mínimo de gasto en la bomba sin un aumento considerable en la temperatura del agua manejada. De esta manera podemos absorber todas las variantes que se presentan en el flujo de la bomba causado por la variación en la producción de vapor.

Ahora sí con estos datos ya establecidos pasamos a los catálogos de los diversos fabricantes y localizamos por medio de sus curvas características la bomba que para nuestras condiciones de necesidad nos da la mejor eficiencia, una selección previa puede hacerse por medio de los siguientes datos establecidos como criterio para llegar a la localización más rápida del equipo necesario.

En primer lugar para bombas que trabajan en un rango de 28 kg/cm^2 a 48 kg/cm^2 se pueden usar bombas de tipo voluta, de varios pasos y carcaza dividida. Arriba de la presión de 84 kg/cm^2 hasta una presión aproximada de 112 kg/cm^2 se puede usar bombas de tipo difusor de carcaza dividida.

También y tomando en consideración la presión se tendría que para altas presiones y bajo número de revoluciones se necesitaría un diámetro de impulsor bastante grande, por lo que en la actualidad se busca aumentar el número de revoluciones para aumentar de esta manera el gasto y la previsión sin tener impulsores más grandes que originarían unidades de tamaño mayor, flechas más robustas y todas las partes con más cantidad, lo cual nos aumentaría considerablemente el precio del equipo.

4.4. BOMBAS CENTRIFUGAS DE CONDENSADO.

Estas bombas succionan del pozo caliente del condensador, por lo que operan con una presión tan baja en la succión como 2 1/2 a 7 1/2 - cm de hg absolutos.

El NPSH disponible se obtiene por la columna estática entre el nivel del agua en el pozo caliente y la línea de centro del impulsor del 1er. paso de la bomba.

Si se instalan bombas horizontales el NPSH es usualmente muy bajo, del orden de 0.6 a 1.2 m.

Si se instalan bombas verticales, el NPSH aumenta, ya que la bomba puede instalarse a una elevación bajo el nivel del suelo.

Para minimizar las pérdidas por fricción la línea de succión deberá ser tan directa como sea posible, del tamaño adecuado, sin un mínimo de accesorios y con una pendiente continua descendente del pozo caliente a la bomba.

En la parte superior de la cámara de succión a través de un escape de tamaño grande se desalojan todos los vapores formados hacia el condensador.

Para cargas más altas, se utilizan bombas de varias etapas, de -

las cámaras de succión se conectan los venteos de retorno de vapores al condensador.

Aunque en estas bombas el estopero trabaja con la presión de descarga puede haber una entrada de aire cuando se presente una cavitación o la bomba este parada. Para evitar esta entrada de aire, el agua inyectada en este punto como sello se toma de la línea general de descarga.

C A P I T U L O V

OPERACION Y CUIDADO DE EQUIPOS DE BOMBEO.

5.1. OBJETIVO.

Consciente de que no hay mantenimiento por eficiente que éste sea - que pueda hacer frente a las necesidades que se susciten debido a una - - mala operación del equipo.

Ante esta situación, considero conveniente aportar algunas ideas que en alguna ocasión se han puesto en práctica para un mejor cuidado y operación de las unidades de bombeo existentes en muchas instalaciones. Estas ideas se describen a continuación, las cuales presentan los casos más generales y específicos de una instalación.

5.2. ARRANQUE INICIAL DE EQUIPO DE BOMBEO.

Al ser recibida la unidad si es posible se hace un chequeo físico a - cada una de sus partes, se toma los datos de su placa, el número de baleros o se hacen croquis de sus partes principales, chumaceras, anillos, - flechas, casquillos, etc., que son de gran utilidad para posteriores reparaciones y mantenimiento.

Se instala la bomba, procurando dejarla libre de cualquier carga - -

exterior que pueda dar problemas como son tuberías de succión y descarga, línea de recirculación, líneas de enfriamiento, etc.

Se alinea la unidad a la máquina motriz, se agrega o se le pone grasa al cople, se acopla, revisando sus sistemas de lubricación que estén con sus respectivos niveles, se checa y prueba el sistema de enfriamiento si lo tiene y la bomba en estas condiciones queda lista para entrar en servicio.

Checados los puntos marcados anteriormente se procede a hacer el cebado o llenado de la unidad, abriendo la válvula de la succión y las purgas para secar el aire de su interior, se deja circulando agua a través de la bomba durante un tiempo determinado para efectuar un calentamiento previo y de esta manera evitar que se aflojen las partes internas de la bomba.

Después de esto se abre la recirculación de la unidad, se pone en servicio la máquina motriz (motor o turbina) y se abre la válvula de la descarga hasta mantener las condiciones de servicio para lo cual fue solicitada.

Si la operación de esta unidad es en paralelo con otras se debe de tener cuidado de no provocar oscilaciones o variaciones en el sistema. Se observa la unidad para checar que se tenga la lubricación y el enfriamiento adecuado vigilando la temperatura, vibración y escuchar si no se

tienen ruidos anormales en la unidad.

Para ponerla fuera de servicio se invierte la operación cerrando el enfriamiento del aceite para evitar que al enfriarse, éste bruscamente -- absorba humedad del medio ambiente y se nos aumente agua en las ca-- jas.

La unidad motriz de esta máquinas puede ser indiferentemente un -- motor o una turbina, pero para condicones de servicio más estables pues -- tas en servicio y fuera de operación sin causar oscilaciones, se reco-- mienda el uso de turbinas de vapor. A continuación se darán una serie de lineamientos que podrán o no ser aplicados a todos los casos, que en su conjunto, pretenden cubrir todos los tipos de esta clase de equipo.

- a). Deberá haber plena seguridad de que tanto el recipiente como la línea de succión y la malla se encuentren libres de material suelto extraño al fluido que se va a manejar.
- b) Se requerirá al equipo de Mantenimiento Mecánico que -- cheque el alineamiento luego de haber enfriado o calen-- tado la bomba a una temperatura cercana, aproximadamen -- te en 20°C a la de trabajo, valiéndonos de algún sistema que pudiera ser semejante a alguno de los tratados con -- anterioridad (purga a través de la bomba hacia puntos de menor presión, uso de by-pass sobre el check, etc.).

- c) Con la bomba desacoplada requerir que en el equipo motriz se chequen cargas y rotación en el caso de motor eléctrico y disparo de sobrevelocidad en el de turbina de vapor.
- d) Certificar que la calidad y el tipo de los lubricantes que vayan a ser usados cumplan con las especificaciones fijadas por el diseñador y que los niveles y cantidad de ellos sean los requeridos.
- e) En el equipo con lubricación forzada verificar que los accesorios para ello suministren la presión requerida por el diseñador.
- f) Estar plenamente seguros de que las líneas de agua de enfriamiento se encuentren sin obstrucciones y ajustar estos flujos antes de arrancar.
- g) Ya con el equipo acoplado e inmediatamente antes de que empiece a rodar verificar que la bomba gire libremente.
- h) Poner las válvulas de succión y de descarga en la posición apropiada dependiendo del tipo de unidad que se vaya a arrancar.
 1. En todos los casos la succión completamente abierta.
 2. En los casos de bombas de medianos o altos heads (cargas) la válvula de descarga cerrada.

3. En las bombas de flujo mixto la mayoría de las veces convendrá arrancarlas con la descarga abierta.
4. En las bombas de flujo axial se presentará un caso similar al anterior.
 - i) Verificar que los drenes de la bomba se encuentren cerrados pero no obstruidos.
 - j) Arrancar la bomba y verificar de inmediato si no existen fugas por ninguna de sus partes, la carga del equipo motriz, las R.P.M., las temperaturas de niveles de vibración a lo largo de todo el equipo, presencia de ruidos, etc.

5.3. BOMBAS CENTRIFUGAS DE ALIMENTACION A CALDERAS.

Los cuidados mínimos que se deben prodigar al equipo para este servicio incluyendo todos los niveles de presión de alimentación son:

1. Registrar y verificar frecuentemente el nivel del recipiente de succión, pues la pérdida de él se traduce en uno de los problemas más serios con que debe enfrentarse el operador de plantas.
2. Controlar la presión del recipiente de succión ya que ésta, tanto en incrementos como en decrementos bruscos pueden provocar pro

-blemas en el suministro de agua.

3. Registrar el flujo mínimo de la o las bombas hacia el recipiente de succión cuando se trata de equipo de alimentación a sistemas de generación de 20 k/cm^2 o más ya que al operarla sin atender esta variable, al caer por debajo de los valores mínimos nos ocasionará problemas de cavitación.
4. Verificar valiéndose del tacto o de aparatos apropiados para ello, los niveles de vibración en los apoyos tanto de la bomba como del equipo motriz con objeto de estar en condiciones de prevenir daños mayores provocados por operarlos por encima de los valores permisibles.
5. Cerciorarse utilizando el tacto o termómetros colocados expresamente de los niveles de temperatura en que se encuentran operando los apoyos de la bomba, los apoyos del equipo motriz, la salida del agua de enfriamiento a rodamiento y el agua de alimentación.
6. Cerciorarse de que el equipo de relevo se encuentra en condiciones de ser llevado en el menor tiempo posible hasta la velocidad de giro necesaria para alimentar al sistema.
7. Checar que el lubricante utilizado en todas las partes del equipo se

encuentre en los niveles requeridos y con su apariencia correcta.

Los problemas que frecuentes o no se presentan en este tipo de bombas y las soluciones que a ellos se deban dar, ocupan una gama tan amplia que sería imposible enunciarlos en este trabajo, pero si se puede hacer mención de los más comunes y de algunos que han servido formar nuestra experiencia.

a) PREGUNTA: Succión Insuficiente.

CONSECUENCIA: Cavitación y por ende falla de alimentación.

CAUSAS PROBABLES: Ensuciamiento de la malla de succión, falla del instrumento de control de presión del recipiente de succión, nivel bajo en el deareador, obstrucción en la línea de succión por partes de los constituyentes internos del equipo (platos de deareación).

b) PREGUNTA: Flujo Insuficiente.

CONSECUENCIA: Pérdida de niveles en calderas y generadores con consecuente disparo de las mismas.

CAUSAS PROBABLES: Falla mecánica o eléctrica en el equipo de bombeo, excesiva recirculación a la succión por falla del equipo automático o del operador, falta de hermeticidad en el check de descarga de la-

bomba de relevo (este equipo deberá permanecer continuamente con la succión y descarga abiertas), bajo voltaje en el caso de las bombas impulsadas por motor eléctrico, bajas R.P.M. en el caso de las bombas impulsadas por turbina de vapor o pobre calidad del mismo, cavitación provocada por temperatura excesiva, niveles de presión en el equipo de generación por encima de los normales, ensuciamiento de él o los -impulsores, sentido de rotación incorrecto.

Algunos otros problemas generales se describen a continuación:

- En los problemas de cavitación deberá diferenciarse entre aquel que es provocado por alta temperatura del agua de alimentación y el que se presenta por flujo -insuficiente dentro de la bomba, ya que el primero se deberá corregir disminuyendo la presión del recipiente de succión y el segundo abriendo la recirculación -de la bomba. En los dos casos se evitará que el equipo opere en esas condiciones y se parará para ser -purgado a flujo máximo por espacio de 2 a 3 minutos antes de intentar el arranque.

- Una variable que es conveniente cuidar para preservar la calidad del aceite lubricante en cuanto a su conteni

-nido de humedad, es la temperatura de salida del agua de enfriamiento a cajas de baleros pues si ésta se encuentra a una temperatura inferior al rango de 35-45°C se tendrá la posibilidad de contaminaciones por humedad ambiental.

5.4. BOMBAS CENTRIFUGAS PARA SERVICIOS DIVERSOS

Aunque todo el equipo se asemeja al tratado en el tema anterior en cuanto a los cuidados mínimos requeridos para su operación, podemos particularizar una gran variedad de casos entre los cuales se considera conveniente hacer mención a los siguientes.

- 1). En el caso del equipo para servicio frío debe contarse con las instalaciones suficientes (líneas de venteo a cabezales, línea de purga hacia sistemas de menor presión, etc.), con objeto de tener la facilidad de enfriar las bombas a la temperatura de operación normal antes de intentar su arranque, pues de no ser así es de sobra conocido el que el intento de operarlas en otras condiciones sería infructuoso.
- 2). Las fugas axiales que atraviesan el sello o empaquetadura de la bomba sea cual fuere la naturaleza o temperatura del producto que manejan deberán evitarse no solo por lo que implica en peligrosidad o pérdida de material sino porque puede llegar a enfriar o calentar la caja de rodamientos a niveles que haga ries-

-gosa su operación.

- 3). En los casos de líquidos saturados es sumamente frecuente encontrar que se mueven a temperaturas arriba del ambiente y es por ello que para evitar la posibilidad de mover material sólido precipitado como consecuencia de arrancar el equipo a una temperatura inferior a la de operación, deberá en todos los casos someterse a un precalentamiento valiéndose de un pequeño flujo de líquido caliente hasta que la temperatura de la bomba se encuentre cuando mucho a 20°C abajo de la operación normal. Para el precalentamiento podemos valernos de un by-pass sobre el check de descarga con su orificio de restricción manteniendo para el caso abiertas tanto la válvula de succión como la de descarga o bien fluiremos el material a través de la bomba hacia un cabezal de la misma sustancia que se encuentre a menor presión o a un drenaje apropiado.
- 4). Las bombas que succionan de un punto con presión inferior a la atmosférica deberán ser cebadas utilizando para el caso una conexión del venteo de la carcaza hacia el recipiente de succión cuando ésta se encuentre a nivel superior al de la bomba o bien valiéndose de un equipo para vacío que, conectado al venteo de la bomba, haga que el líquido a bombearse inunde el interior

de ella.

- 5). En el tipo de servicio que se trata en el punto anterior se presenta con frecuencia el problema de cavitación por entrada de aire debido a diversas causas que pueden ir desde un empaque defectuoso hasta un poro en la línea de succión. Con objeto de detectar este tipo de fallas se puede en algunas ocasiones romper el vacío del tanque de succión y hacer que el líquido que se maneja nos sirva para detectar la fuga.

5.5. ASPECTOS DE CONTROL EN LA OPERACION DE EQUIPOS DE BOMBEO.

En el aspecto de control se ha demostrado que en algunos casos es conveniente auxiliarse de formatos especiales que al ser llenados por los operarios y revisado por los ingenieros responsables de la operación, permiten no solo llevar datos estadísticos como es el caso de la forma No. 2 sino también colaborar con el Departamento de Mantenimiento, dando a éste cierto tipo de avisos como en el caso de los cambios periódicos de aceite valiéndonos de la forma No. 3.

Como anexo de este trabajo se encontrarán 3 formatos cuyo uso se detalla a continuación:



FORMA No. 1. Esta tiene por objeto programar los cambios de -
bomba para aumentar las posibilidades de continuidad en el servicio que
prestan, cerciorándose de que el equipo de relevo se encuentre en bue-
nas condiciones de operación. Para evitar que las partes constituyentes
de las dos unidades que prestan el mismo servicio lleguen a su límite-
de retiro aproximadamente en la misma fecha se procurará que una de
ellas opere el doble de tiempo que la otra. Por ejemplo en el renglón
correspondiente a "frecuencia" para una bomba se especificará la puesta
de operación de ella el día 10. de cada mes y para la otra se asentará
como fecha de arranque el día 10.

En la columna correspondiente a la identificación del personal que
lleva a cabo esta operación se anotará el nombre del operador responsa-
ble del área en que se encuentra localizada la bomba de que se trata, -
con objeto de saber a quién dirigirse en caso de requerirse alguna futu-
ra aclaración.

La columna de observaciones deberá ser llenada por el ingeniero -
de turno asentando las anormalidades que se observen en el equipo y las
razones que se hubiesen tenido en caso de que no fuese efectuado el cam-
bio requerido.

FORMA No. 2. Esta tiene por objeto asegurar al responsable de -
turno que el encargado revise por lo menos dos veces durante su jornada
todas las bombas instaladas en la planta, siendo precisamente el encarga-

-do, quien se responsabilice de este control en base a que se debe considerar a éste como el trabajador que más debe conocer de operación ya que es el único que tiene como obligación el desplazarse por todas las áreas de la unidad.

El encargado de turno de madrugada deberá llenar la columna correspondiente a horas en operación para que posteriormente este dato se tome en cuenta en la cuantificación que se asentará en la forma No. 3

FORMA No. 3. Se comentó en el punto anterior que del renglón correspondiente a horas en operación de la forma No. 2 se tomarán los datos necesarios a fin de cuantificar para cada una de las bombas el tiempo que permanecieron en operación en el transcurso de un mes y este dato pasará a la tarjeta respectiva llevándose un acumulativo que servirá para avisar a Mantenimiento de las labores que deben desarrollarse cada determinado tiempo (cambio de aceite lubricante). Es obvio que el tiempo en horas que se asienta en la tarjeta deberá ser fijado precisamente por el Departamento de Mantenimiento.

Los formatos realmente son hojas de control que normalmente, según la descripción dada anteriormente, se rotulan así:

C A P Í T U L O V I

MANTENIMIENTO PREVENTIVO-PREDICTIVO-M.P.P.

6.1. INTRODUCCION

El objetivo de este capítulo es el de establecer un sistema práctico que permita definir con precisión las condiciones del equipo mecánico, - diagnosticando con razonable anticipación las posibles fallas, que en otra forma se podrían presentar repentinas y ocasionar daños mayores al - - equipo, lográndose como resultado inmediato un aumento en la confiabilidad de operación del mismo.

El clásico "Mantenimiento Preventivo" que permitía dentro de un - margen más o menos seguro, cambiar los componentes antes de que la - falla ocurriera basándose en criterios estadísticos de horas acumuladas - en operación es excedido con amplias ventajas por el Preventivo-Predicti - vo, ya que permite el máximo aprovechamiento de la vida útil de los - - componentes, evitando desensambles innecesarios que además implican - riesgos de daños a otros componentes del equipo.

Al evaluar el sistema Preventivo-Predictivo (M.P.P.) como activi - dad de Mantenimiento presenta la ventaja de permitir a éste, asumir las funciones que le corresponden dentro del marco de la producción; y a - que mejora la calidad de la conservación de los medios de producción y

lo convierte además en Asesor del Departamento de Elaboración, estableciendo, modificando y objetivando de acuerdo con las necesidades de - - ambos departamentos:

- Programas de Mantenimiento Preventivo
- Bitácora de Registro de datos de Operación.
- Rangos de Operación permisibles. De ser posible señalar instrumentos.
- Instructivos detallados de arranque, paro y operación.
- Programación de pruebas de protecciones.
- Programación de corridas de operación a equipos con relevo.

Por lo tanto podemos concluir que el mantenimiento, más adecuado que se le puede dar al equipo mecánico, en este caso equipos de bombeo, es una combinación de:

6.1.1. Mantenimiento Preventivo Puro.

6.1.2. Mantenimiento Predictivo ó de Diagnóstico.

6.1.1. Mantenimiento Preventivo Puro.

Este consiste en la observación periódica del comportamiento del - equipo como indicio del funcionamiento, se registra la información en for- mas especiales de fácil análisis, que forman la historia del equipo, la - cual en cualquier momento al ser analizada con actitud crítica nos permite definir las condiciones por comparación de registros anteriores y de - - acuerdo con los límites teóricos y prácticos establecidos.

Con la finalidad de concretar cuales son los incisos de análisis que se presentan con el equipo en operación, la atención del M.P.P. se - - orienta básicamente a los siguientes aspectos.

- a) Lubricación
- b) Condiciones de apoyo dinámicos.
- c) Enfriamiento.
- d) Hermeticidad.
- e) Sujección de elementos mecánicos.
- f) Condiciones de instrumentos de medición.
- g) Consumo de potencia y/o velocidad del elemento motriz.
- h) Disponibilidad de operación de equipos de relevo y emergencia.

a) Lubricación.- Siendo la deficiente observación de este aspecto motivo de daños muy costosos al equipo, todos los equipos tienen claramente identificado el nivel de operación y el lubricante adecuado que debe emplearse, además se tiene la precaución de un almacenamiento suficiente y accesible dentro del área.

El aspecto de lubricación encuentra su aplicación más crítica en rodamientos y chumaceras, donde además de lo mencionado, se verifica diariamente que el estado del lubricante, presiones, flujos y temperaturas sean los recomendados. El correcto estado del lubricante se comprueba mediante las válvulas de purga que se encuentran en el fondo de todos los depósitos de aceite, así como mediante análisis periódicos del lubricante; en los ca-

-sos de circuitos de lubricación, las muestras se toman en algún punto de la circulación pero nunca en los fondos de los depósitos. Especial atención se tiene en drenar diariamente los depósitos de las turbinas.

La presión de trabajo de chumaceras y rodamientos, de ser este el caso, se cuenta con manómetros con el rango señalado. Flujo, esto se vigila mediante limpiezas semanales a filtros tipo cartucho, girando diariamente los filtros de laminillas, metálicas y cambiando cuando se requiera los elementos filtrantes. Las temperaturas del lubricante no deberá exceder de 70°C. En el caso de rodamientos engrasados, el riesgo de sobrecargarlos se elimina efectuando el trabajo únicamente a equipo en operación, y retirando por un mínimo de una hora después, el tapón de desfogue de excesos, los servicios periódicos de engrase se registran en formas especiales.

Otros puntos cuya lubricación no se descuida es el de coples, correderas, cadenas y engranes de diferenciales, válvulas de bloqueo y válvulas macho.

b). Condiciones de Puntos de Apoyo Dinámico.- Como verificación diaria se determina que la temperatura no exceda de 70°C; para cada uno de los equipos instalados existen formas específicas de registros de lectura de vibración, formas en donde se encuentra combinada con la rutina de inspección semanal específica del equipo; como límite máximo permisible de velocidad de vibración se especifica 0.134 pulg/seg. En caso de que alguna vibración exceda el límite establecido, el operario encargado del M.P.P. la identifica claramente en la hoja correspondiente reportándolo inmediata

mente al ingeniero mecánico encargado del sector.

c). **Enfriamiento.** - Es frecuente en los sistemas de agua de enfriamiento que las líneas de conducción, enfriadores y chaquetas sean ensuciados o corroídos por deficiente control químico del agua empleada. En los períodos de arranque o después de paros prolongados los atascamientos en los sistemas son más frecuentes, por lo tanto en la inspección rutinaria se cerciora diariamente del flujo adecuado; en este punto cabe hacer notar que para evitar condensaciones de humedad en las partes internas del equipo, siempre es conveniente conservar en la salida del agua un incremento de 6° a 10°C , con respecto a la temperatura ambiente, esto es de extrema importancia -- para prolongar la vida de los elementos mecánicos tales como rodamientos, chumaceras, anillos de compresores, etc. La verificación de la condición mencionada se efectúa a tacto y la corrección mediante la disminución de flujo, estrangulando las válvulas de retorno, además cuando existen filtros en las líneas de entrada se limpian semanalmente. El cuidado de los atascamientos se efectúa con revisiones periódicas a enfriadores y chaquetas.

En el caso de sistemas abiertos de enfriamiento se cuida siempre -- que no causen encharcamientos.

d). **Hermeticidad.** - En este aspecto dada la peligrosidad de los fluidos de procesos manejados, se presta una atención muy especial. La hermeticidad en sellos de bombas y compresores se comprueba diariamente; en --

el caso de sellos dobles en bombas y sellos **flotantes** de compresores, la fuga se determina por el consumo del fluido **inyectado**.

La comprobación del correcto cierre de las válvulas y sellado del estopero es por accionamiento periódico y pruebas por parte de operación e inspección.

En el caso de fugas de otros fluidos como aceite, aire, vapor, agua de enfriamiento y fluidos no peligrosos, se procede a su rápida corrección; cuando no es posible la eliminación total de la fuga, ésta se deja claramente identificada y se reporta para su corrección en la primera oportunidad.

e). **Sujección de Elementos Mecánicos.**- En todo equipo con movimiento relativo entre sus componentes es común observar la tendencia a aflojarse de los elementos tanto internos como externos, originando con esto la pérdida de los ajustes y disposiciones convenientes, pudiendo llegarse hasta la fractura; la posibilidad de que esto suceda trata, de eliminarse empleando tornillería más apropiada, contratuercas, arandelas, etc. cuando este tipo de desperfectos se presentan en la inspección rutinaria, se manifiesta por los cambios de sonido considerados como normales en un equipo.

f). **Condiciones de Instrumentos de Medición.**- Dado que gran parte de las variables de comportamiento de un equipo son indicados por su propia

instrumentación, es necesario que ésta siempre se encuentre en condiciones óptimas.

g). Consumo de Potencia y/o Velocidad del Elemento Motriz.- Considerando que en una misma condición de carga cualquier aumento de potencia consumida significa una disminución en la eficiencia del equipo y por lo tanto una anomalía, periódicamente se registran los datos de consumo como pueden ser kgs. de vapor/hora, amperes, etc.

Por otra parte en los equipos que no se pueda registrar el consumo de vapor lo que se hace es verificar que su velocidad de operación sea la adecuada.

h). Disponibilidad de Operación de Equipos de Relevo y Emergencia.- Por los riesgos que en la producción y seguridad de las instalaciones representan, se cuenta con equipos de relevo en un caso y de emergencia en el otro, cuya operación confiable e inmediata debe estar plenamente garantizada, siendo labor conjunta de operación-mantenimiento definir los programas de corridas de operación, cambios por relevos, pruebas y operación periódica de equipo de emergencia.

Cuando se cuenta con Motores de Combustión en estos servicios, diariamente se deben verificar los niveles apropiados de combustible, aceite, agua y condiciones de baterías, haciéndolos operar mínimo por un turno completo cada semana; siempre que exista la posibilidad se operan con sus arrancadores automáticos.

Además de los puntos mencionados como **generales**, hay operaciones con bombas Centrífugas y Compresores específicas en algunos equipos, - así tenemos:

Compresores:

- Diariamente se comprueba temperatura de válvulas de succión y - gas en las descargas.
- Semanalmente rango de compresión.
- Mensualmente se verifica limpieza en filtros de succión.
- Bimestralmente se tensan y alinean bandas.

Bombas Centrífugas:

- Diariamente se comprueba la ausencia de cavitaciones.
- Mensualmente siempre que el fluido manejado lo permita, se registra presión de descarga cerrada contra amperaje del motor.

6.1.2 Mantenimiento Predictivo o de Diagnóstico.

La experiencia ha demostrado que el equipo mecánico nos da ciertas señales o indicaciones antes de fallar, sería ideal usar todas esas señas - para diagnosticar exactamente cuando una máquina ha de ser reparada y es - tas indicaciones son las siguientes en el caso de bombas centrífugas:

- a). Temperatura.
- b). Ruido
- c). Condiciones de Operación.
- d). Vibración.

a). Temperatura.- Es un reflejo de las condiciones en que se encuentra el equipo, ya que una elevación en la temperatura con respecto a la normal indica problemas, ya sea película de lubricación rota o fricción entre piezas en rotación.

b). Ruido.- Un analizador dinámico de vibración que detecta el origen del ruido es un instrumento complicado, este analizador detecta, analiza y localiza la causa del ruido excesivo.

c). Condiciones de Operación.- Las condiciones en que opera un equipo nos dice como está y en base a esto se puede diagnosticar qué falla hay, en la mayor parte de los casos con lecturas de operación se pueden encontrar las posibles causas que originan el desperfecto del equipo, una vez analizado si no es en el sistema del proceso.

d). Vibración.- Actualmente, la mayoría de los programas de mantenimiento preventivo en toda la industria dependen de las mediciones periódicas de la vibración como base para conocer el verdadero estado de la maquinaria. Ahora, pueden realizarse verificaciones periódicas tanto de Ruido como de Vibración en combinación, para obtener una documentación positiva para controlar el medio de trabajo, la calidad del producto y los tiempos perdidos de producción.

La vibración puede ser la causa o un síntoma de los problemas del equipo mecánico, ésta puede compararse con la temperatura del cuerpo humano, habiendo varios factores que pueden afectarla desde una gripe hasta una pulmonía. Si una máquina vibra, es el resultado de las fallas a causa de las limitaciones de manufactura y de materiales. Cuando una vi

bración comienza a aumentar, es el comienzo de una falla menor y está por convertirse en un problema. Cuando llega a ser excesiva es que existe el problema. Esta vibración es de gran ayuda para determinar la presencia de problemas mecánicos en sus primeras etapas de desarrollo.

Para hacer las mediciones de vibración se cuenta con aparatos -- que miden la velocidad, amplitud y aceleración de la vibración y hay -- otros que miden la frecuencia de vibración. Junto con estos aparatos se tienen tablas que dan una guía de los posibles desperfectos en el equipo que dan origen a la vibración. Todas las lecturas de vibración son importantes, pero deben usarse en su respectiva correcta.

e). La velocidad.- Las mediciones de la velocidad de vibración en operación de datos instantáneos de las condiciones internas del equipo. Se usa cuando importa el desgaste y la falla interna de la máquina.

6.2. RECORRIDO DIARIOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A EQUIPOS

MOVILES.

Este tiene la versatilidad de poder ser efectuado por cualquier operario calificado de mantenimiento, con el objeto de poder contar con datos -- verídicos. Al operario, para rendir su reporte, se le proporciona diariamente un instructivo, una forma de reporte general, más una forma de registro de datos de operación de cada uno de los equipos considerados como claves en el proceso.

El operario encargado del mantenimiento preventivo deberá diariamente efectuar las siguientes operaciones y chequeos.

a). Lubricación.- Drenar aceite a c/u de los equipos, verificando que esté en condiciones apropiadas, en caso de requerirlo deberá cambiarse. Atención a que los niveles y lubricantes sean los apropiados.

b). Chumaceras y Rodamientos.- Temperaturas menores de 70°C, sonido y vibración, normal.

c). Enfriamiento.- Flujo apropiado. La línea de agua de retorno - deberá estar ligeramente caliente (6 a 10°C arriba de la ambiente).

d). Sellos Mecánicos y Estoperos de Bombas.- Atención a sellado hermético en caso de Sello Mecánico; y goteo apropiado en caso de empaquetadura.

e). Fugas.- Eliminar las menores por estoperos, bridas, conexiones etc. En caso de ser excesivas o causar encharcamientos identificarlas. Atención a fugas de lubricantes.

f). Elementos Mecánicos y Tuberías.- Con tornillería completa y -- correctamente ajustada.

g). Instrumentos de Medición.- En correctas condiciones de operación

h). Compresores de Aire.- Además de lo establecido verificar a tacto temperatura de válvulas de succión.

i). Equipo de Relevo.- Disponibilidad de operación.

Si la magnitud o frecuencia de la falla lo amerita reportar por escrito al Ing. de Mantenimiento.

6.3. IMPORTANCIA DE LA LUBRICACION DENTRO DEL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS MOVILES.

La operación satisfactoria de todo rodamiento requiere la presencia de una película entre las áreas de contacto.

Por otro lado si el lubricante no esta en la cantidad adecuada entre los puntos de contacto o no es de la calidad o tipo requerido para los máximos de carga y velocidades de operación, se presentará una alta fricción con efectos negativos a la vida de la parte rodante, causando sobre cargas anormales debido a la expansión incontrolada de las partes por el aumento rápido de la temperatura, la oxidación y cuarteadura de las superficies y en algunos casos el bloqueo o trabado del balero.

Los efectos de los conceptos se reflejan en mayor o menor duración de los baleros y cojinetes y en mayores lapsos de operación continua, o lo que es lo mismo en menos costos de mantenimiento y mayores índices de productividad. A continuación se dan algunos criterios sobre la selección de lubricantes y los períodos de cambio para los mismos, en términos generales, la selección entre grasa y aceite lubricante, la cantidad de lubricante adecuado para optimizar el comportamiento del lubricante que nos puede llevar a un mantenimiento predictivo.

a). Selección entre Grasa y Aceite.

Debemos considerar, desde luego, que hay una gran variedad de - grasas y aceites que pueden satisfacer o proporcionar una adecuada baja fricción entre los diferentes componentes de un balero y que aparentemente podríamos usar con éxito una y otra; sin embargo, la selección de un determinado tipo de lubricante ha de hacerse bajo ciertas consideraciones que trataremos de analizar:

Desde el punto de vista de lubricación, podríamos decir que el aceite lleva ventajas sobre la grasa ya que disipa mayores cantidades de calor se extiende más rápidamente formando la película lubricante, entre las superficies en contacto y arrastra más fácilmente la mugre y el agua - - que pudiera haberse acumulado en el balero; además es aprovechable para lubricar otros elementos de la máquina que pueden estar adyacentes al balero tales como engranes, cadenas, levas, guías, etc., sin embargo, en la actualidad la mayor parte de baleros se lubrican a base de grasa lo - cual se debe a la mayor facilidad de diseño, del balero y su caja de lubricación, el menor tamaño requerido para la caja misma de lubricación, menor sellado contra el polvo y la humedad, menos dificultades con el goteo o escurrimiento y sobre todo Menos Mantenimiento.

En realidad, estas son las razones fundamentales por las que la grasa ha sustituido al aceite en los motores eléctricos, en los baleros y rodamientos automotrices, instrumentos, máquinas, herramientas, equipos me- cánicos del hogar, y un sinnúmero de maquinaria y equipo en los cuales -

las velocidades y temperaturas de operación no nos limitan el uso de gr
sa.

b). Lubricación con Aceite.

Debido a los avances en la preparación de los aceites lubricantes, -
en la actualidad es una cantidad pequeñísima de aceite la requerida para
establecer una buena película de lubricación entre las superficies deslizan
tes, pistas interior y exterior, etc., esta película debe ser de unas cu
ntas micras de espesor y cuando se logra establecerla el re
puesto de acei
te será únicamente la cantidad necesaria para reponer las pérdidas por -
evaporación o por fugas, aunque éstas deben vigilarse y evitarse; el exce
so de aceite provoca elevaciones de temperatura en perjuicio del propio -
aceite y del mismo rodamiento, reduciendo la vida de los mismos.

c). Selección de Aceite.

De acuerdo con lo establecido anteriormente, para la mayoría de los
problemas de lubricación y considerando la gran variedad de aceites lubri
cantes de que se dispone en la actualidad, hay una gran flexibilidad para
la selección del aceite lubricante.

Independientemente de las recomendaciones de los manuales de los
aceites lubricantes, y precisamente como base de las mismas debe tomar
se en cuenta, para la selección correcta de un aceite su viscosidad que -
deberá estar de acuerdo con sus condiciones de trabajo; así, para un
mismo tipo de aceite, tenemos diferentes grados de viscosidad, debiéndose
escoger el grado más adecuado para las condiciones mismas de la máquina

y sus condiciones de operación.

Desde luego, aceites de alta viscosidad tienden a desarrollar temperaturas altas y disipación de energía innecesaria en perjuicio de la vida del balero o cojinete y por el contrario, aceites de baja viscosidad, nos darán una película de lubricación pobre que pone en peligro el rodamiento o la chumacera.

d). Especificaciones de los Aceites.

Los puntos relacionados a las especificaciones de los aceites y su comportamiento dentro de la operación del equipo, que a mi juicio son susceptibles de observación en sus variaciones para poder llegar a fijar normas de diagnóstico respecto al envejecimiento y degradación del lubricante y poder así programar sus períodos de cambio son:

- 1.- El Ph.
- 2.- El color.
- 3.- Sedimentación.
- 4.- Viscosidad.
- 5.- Índice de Viscosidad.
- 6.- Temperatura de evaporación
- 7.- Apariencia
- 8.- % de agua.
- 9.- Temperaturas de operación de entrada y de salida del aceite.
- 10.- Presión, antes y después del filtro.
- 11.- Caída de presión en el enfriador, tanto del aceite como del elemento refrigerante.

- 12.- Concentración de carbón en el aceite.
- 13.- Emulsificación.
- 14.- Fugas en el sistema
- 15.- Vibraciones de la máquina debidas a la lubricación defectuosa
- 16.- Gravedad específica.
- 17.- Consumo.

El orden en que se presentan estos puntos no sigue, desde luego, - ningún lineamiento. Solo tiene por objeto el definir, cuál o cuales de - - ellos son determinantes en cuanto al estado que va adquiriendo el aceite a través del trabajo desarrollado y que por lo tanto nos sirven de base para un buen diagnóstico en orden al cambio o reposición del lubricante.

Como se dijo al principio la grasa ha venido a ser cada día el lubri-
cante de baleros más ampliamente usado por su gran facilidad de aplica-
ción y menor complejidad de diseño de las cajas de lubricación.

Con los avances logrados en su fabricación mediante la introducción de aditivos y lubricantes sólidos. Se ha podido extender su campo de ac-
ción a temperaturas y condiciones, cargas antes reservadas exclusivamente para el aceite.

Para un conocimiento más amplio sobre las diferentes grasas lubri-
cantes y usos debe consultarse el manual de lubricantes de Petróleos Mexi-
canos, los manuales de aceites y los libros de fabricantes de baleros.

C A P I T U L O V I I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Una de las conclusiones fundamentales a que se llegó en este trabajo, fué que para mejorar la comunicación entre el personal Técnico de Mantenimiento y de Operación, se procurará que las oficinas de los Ingenieros de Mantenimiento estén ubicadas próximas a las plantas y de ser posible se tuviera una oficina común y a la vez separadas para los Ingenieros de Mantenimiento y el Jefe de la Planta.

Con lo anterior se tendrían muchas ventajas entre las cuales se --
cuenta:

- a) La de tener una completa información de los equipos.
- b) En las fallas de los equipos el Ingeniero de Mantenimiento de la especialidad correspondiente al problema básico de la falla en el equipo, estará en mejores condiciones de coordinarse con los ingenieros de las demás especialidades que se requerirán para el --
arreglo de ese equipo.

Suponiendo que falló una bomba, el ingeniero del mantenimiento mecánico se avocará al problema básico y el se coordinará con --
el Ingeniero electricista para el motor eléctrico si éste es el caso o con el ingeniero de mantenimiento de plantas en cuanto a tu --
berías si así se requiere.

Con lo anterior se eliminará que el ingeniero de Operación tenga

que andar localizando y coordinando a cada uno de los Ingenieros de Mantenimiento de la especialidad correspondiente que tendrán necesidad de intervenir en dicho trabajo.

c) De la misma manera, cuando se tenga una emergencia en la planta el ingeniero de operación contará de inmediato con la ayuda de los ingenieros de mantenimiento.

d) Se facilita la labor para que un ingeniero de operación esté enterado de los trabajos efectuado al equipo que falló y asimismo al ingeniero de Mantenimiento se le facilitará el irse familiarizando con las condiciones de operación del equipo que está reparando.

2.- Todos los centros de trabajo llevarán "Historia Clínica" de los equipos, a los cuales tendrán libre acceso los ingenieros de operación. Estas formas se principiarán a llevar de inmediato en cada centro de trabajo.

3.- Se marcará en los equipos los puntos donde se tomarán las lecturas de vibración para el mantenimiento preventivo y de diagnóstico; debiéndose -- hacer todas las lecturas en esos puntos; ya que aunque se considera que -- una variación de 1 o 2 de donde se tomaron inicialmente no debe influir notablemente la lectura, para poder ser comparativas se decidió fueran tomadas en los lugares previamente determinados.

4.- Se marcará en el cuerpo de las bombas o cerca de los lugares donde se reposicione el aceite al equipo, el tipo de lubricante que se debe usar, así como el nivel normal, superior o inferior en los indicadores de nivel --

de los equipos de que se trata.

5.- Marcar de preferencia con color, la instrumentación del equipo crítico así como en las bitácoras de control de dicho equipo, los rangos de operación normal para que los operadores tengan presente con solo ver la instrumentación o las bitácoras, si el equipo se encuentra operando normalmente.

6.- Como norma siempre que sea posible se deberá balancear un rotor antes que se arme a un equipo y según las circunstancias que se presenten en los centros de trabajo y con un criterio de ingeniero se determinará si se balancea o no.

7.- Operación y Mantenimiento elaborará instructivo de arranque, operación y paro de equipo centrífugo crítico, o en su caso la actualización para su debida observancia.

En los relevos de los equipos críticos accionados con turbinas cuando existan, mantenimiento estudiará cuáles se pueden tener girando a baja velocidad sin que éstas sufran deterioros mayores que si se encuentran sin rodar.

Por ejemplo aquellos que requieran de bomba auxiliar de lubricación para operar a baja velocidad o que si el vapor al no tener su expansión normal generan temperaturas más altas que puedan dañar al equipo rodando a baja velocidad; se determinará que es preferible, si tenerlos parados o rodando a baja velocidad.

8.- En el engrasado a baleros, éste se hará siempre utilizando el estetoscopio para asegurarse del buen engrasado sin usar un exceso de grasa utilizando el cambio del ruido.

Se llevará un registro de la cantidad aproximada de grasa utilizada en los engrasados, para que de acuerdo con los instructivos cuando se haya llegado a la máxima permisible el balero se debe sacar para lavarlo, engrasarlo y reinstalarlo con el fin de prolongar su vida.

9.- En equipo crítico sin relevo, se debe elaborar un programa de mantenimiento analizando cada una de las operaciones, la herramienta necesaria, sobre todo si hay algunas en especial, así como el personal necesario - incluyendo el entrenamiento necesario que debe tener.

Las experiencias que se tengan en los centros de trabajo, se pueden aprovechar en todos aquellos problemas similares o iguales que se tengan en los demás centros.

10.- Se establecerá en todos los centros de trabajo un programa de mantenimiento preventivo de la instrumentación de los equipos críticos.

11.- Para preparar un equipo, el Ingeniero de Mantenimiento elaborará una orden de taller con la cual el operario solicita a operación dicho equipo para su reparación.

Cuando el operario de mantenimiento termine su reparación general-

BIBLIOGRAFIA

- 1).- PRINCIPIO DE OPERACIONES UNITARIAS.
A.S. Foust.
L.A. Wenzel.
- 2).- BOMBAS CENTRIFUGAS.
Igor J. Karassik y R. Carter.
- 3).- BOMBAS, TEORIA, DISEÑO Y APLICACION.
Zabicaray M.
- 4).- PUMP OPERATION AND MAINTENANCE.
T.G. Hicks.
- 5).- CENTRIFUGAL AND AXIAL FLOW PUMPS.
Stepanoff Alexey.
- 6).- FUNCIONAMIENTO, CONSTRUCCION, Y CALCULO DE BOMBAS
CENTRIFUGAS.
Quantz Ludwing.
- 7).- CENTRIFUGAL AND OTHER ROTADINAMIC PUMPS.
Addison Herbert.
- 8).- CHEMICAL ENGINEERS HAND BOOK.
Perry.
- 9).- FLOW OF FLUIDS.
Crane.
- 10).- HIDROCARBON PROCESSING.
Junio 1972 y Agosto 1978
- 11).- NORMAS DEL INSTITUTO DE HIDRAULICA.
- 12).- MANUAL DE LUBRICANTES, PEMEX.