

50



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

CAMPUS ARAGÓN

ANÁLISIS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS, ASI COMO EL ANÁLISIS DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ELECTRICA UTILIZADOS EN SISTEMAS DE BOMBEO

50771

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICO

AREA MECANICA, INDUSTRIA
P R E S E N T A:

OCTAVIO JUÁREZ HERNANDEZ

SEÑORA DEL CARRER L. J. TERÁN PEREZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. DAVID M. TERÁN PEREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

POR EL APOYO QUE ME HAN BRINDADO
DURANTE MUCHOS AÑOS PARA
OBTENER ESTA PROFESIÓN

A MIS HERMANOS

POR HABERME IMPULSADO A SEGUIR
ADELANTE EN TODO MOMENTO

A MI DIRECTOR DE TESIS

GRACIAS POR SU COOPERACION, APOYO
Y AMISTAD QUE SIMPRE NOS
MANIFESTO

JUSTIFICACIÓN

A manera de Justificación, el presente Trabajo; persigue proporcionar al lector, la información necesaria para el conocimiento, manejo y selección de los diferentes tipos de Bombas Centrífugas. No pretende ser un libro de texto que pretenda sustituir la experiencia del Diseñador, ni una *"Guía Rápida para Instalación de Bombas"*. Su objetivo es proporcionar conceptos básicos en el uso y selección de modelos de Bombas Centrífugas.

Adicional a lo anterior, es importante recalcar la necesidad de tener en un sólo volumen, los conceptos básicos y las características más relevantes de la Bombas Centrífugas en nuestro idioma; ya que la mayoría de la información, se tiene en Catálogos, Textos y Manuales en otros idiomas tales como el Inglés, Alemán y Francés (debido a que los fabricantes de estos productos son extranjeros en su totalidad). Por lo que, este trabajo pretende cubrir esa carencia y remitir al potencial lector a la literatura extranjera sobre Bombas Centrífugas, únicamente cuando tenga que cotizar los productos. Ya que, al tener esta información en Español; todo lo referente a nuestro tema de estudio lo hallará sin ningún problema.

OBJETIVO GENERAL.

Proporcionar la información general sobre los criterios, para poder seleccionar de forma correcta un Equipo de Bombeo. Así como conocer las aplicaciones más importantes de las Bombas Centrífugas y establecer recomendaciones para lograr una adecuada operación y dar a conocer los aspectos más importantes sobre el mantenimiento de los Equipos de Bombeo.

OBJETIVOS PARTICULARES.

1.- Proporcionar los conceptos y definiciones fundamentales, que se deben considerar para entender la Teoría de Operación de un Equipo de Bombeo.

2.- Conocer los aspectos fundamentales de las Bombas Centrífugas, así como su clasificación y aplicaciones más comunes.

3.- Conocer la Teoría de Operación de los Equipos Periféricos que configuran el entorno de un Equipo de Bombeo.

4.- Establecer los criterios fundamentales de Selección de las Bombas Centrífugas.

5.- Proporcionar los conceptos que se requieren para un correcto sistema de protección eléctrico, para las Bombas Centrífugas.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO I.

FUNDAMENTOS DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etcétera; y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición ó de velocidad.

Así, tendremos bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Un ejemplo lo constituye una bomba de pozo profundo, que adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie.

Un ejemplo de bombas que adicionan energía de presión, es una bomba en un oleoducto, en donde las cotas de altura, así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades, fueran iguales, en tanto que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuvieran en la conducción.

Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales, que únicamente adicionan energía de velocidad. Sin embargo, a este respecto existen muchas confusiones en los términos velocidad y presión. En la mayoría de las aplicaciones de energía conferida por una bomba, es una mezcla de las tres, las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos.

Las Bombas constituyen uno de los dispositivos más recurridos en la vida de el Hombre. Se podría afirmar que prácticamente en la actualidad, todos ó la gran mayoría; de los Sistemas Productivos, ya sea de bienes ó de servicios, cuentan con un equipo de bombeo por lo menos.

Tal vez, para el suministro de agua de servicio, todos los automóviles cuentan con una bomba para inducir gasolina y otra para los aspersores de los limpia vidrios del parabrisas, las bombas que proveen de agua a los usuarios de las redes municipales, y nada menos, todos los seres Humanos (así como algunas especies animales), portamos la bomba más compleja que se conoce: El corazón.

Por lo que, esta recurrencia por las bombas es la razón por la que se han desarrollado numerosos tipos de bombas e incontables aplicaciones.

A lo largo del presente trabajo de Tesis, se analizarán los principales puntos que se requieren para llevar a cabo una correcta selección de un equipo de bombeo, conociendo su aplicación así como los conceptos fundamentales a tomar en cuenta para su operación y su mantenimiento.

En la selección de un equipo de bombeo, intervienen bastantes factores que se integran desde lo meramente técnico y lo funcional, hasta el factor económico. En la mayoría de los casos, las características técnicas de diferentes equipos se traslapan; lo que implica la necesidad de analizar más a detalle las posibles alternativas que existen y se ofrecen para una aplicación muy específica.

Es ahí donde surge la necesidad de contar con criterios basados en la teoría y en la experiencia que ayuden a la efectiva elección que dé la mejor alternativa, partiendo siempre de la premisa de que: *" Para ser eficiente, primero se debe ser eficaz "*.

En el campo de las Bombas, existen muchas opciones y criterios que si bien no son totalmente contradictorios, sí son considerablemente diferentes. Durante el desarrollo de este trabajo, se exponen criterios generales a seguir de manera enunciativa y no limitativa en los que convergen las experiencias y la investigación al respecto del tema.

Un ejemplo adicional a los Sistemas de Bombeo; es de los Láseres. El primer Láser se construyó en 1960. Desde entonces, los químicos han encontrado numerosas aplicaciones útiles de este tipo de fuentes en la espectroscopia de alta resolución para estudios cinéticos de procesos cuya duración está dentro del intervalo de 10 nanosegundos a 10 picosegundos en la detección y cuantificación de concentraciones sumamente pequeñas de determinadas sustancias en la atmósfera y para inducir reacciones isotópicas selectivas.

Además, las fuentes Láser han adquirido importancia en diferentes métodos analíticos de rutina, que comprenden las Espectroscopia Ramán, la Espectroscopia de Emisión y la Espectroscopia Infrarroja basada en la Transformada de Fourier.

La palabra Láser es un sigla en Inglés que significa *Ligh Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Debido a su propiedad de amplificación de la luz, los Láseres producen haces de radiación estrechos y sumamente intensos. El proceso de emisión estimulada produce un haz de radiación altamente monocromático (anchos de banda de 0.01 nanómetro ó menos) y notablemente coherente.

El bombeo es necesario para el efecto Láser, constituye el proceso por el cual, las especies activas se excitan por medio de una descarga eléctrica, el pasaje de una corriente eléctrica, la exposición a una fuente radiante intensa ó la interacción con una especie química. Durante el bombeo resultan poblados varios de los niveles energéticos, electrónicos y vibratorios superiores.

CAPÍTULO II

DEFINICIONES FUNDAMENTALES.

CAPITULO II.

DEFINICIONES FUNDAMENTALES EN BOMBAS.

II. 1.- Hidráulica.

Es el estudio de los fluidos en reposo ó en movimiento. Los fluidos incluyen líquidos y gases.

Los líquidos a una presión y temperatura determinados, ocupan un volumen determinado. Introduciendo el líquido en un recipiente, adopta la forma del mismo, pero llenando sólo el volumen que le corresponde. Si sobre el líquido reina una presión uniforme, por ejemplo la atmosférica, el líquido adopta una superficie libre plana, como la superficie de un lago ó la de un cubo de agua.

Los gases a una presión y temperatura determinados, tienen también un volumen determinado, pero puestos en libertad se expansionan hasta ocupar el volumen completo del recipiente que lo contiene, y no presentan superficie libre.

Por lo tanto, los sólidos ofrecen gran resistencia al cambio de forma y volumen; los líquidos ofrecen gran resistencia al cambio de volumen, pero no de forma; y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de forma y no de volumen.

Así, el comportamiento de líquidos y gases es análogo en conductos cerrados (tuberías), pero no en conductos abiertos (canales), porque sólo los líquidos son capaces de crear una superficie libre. En general, los líquidos y los sólidos son poco compresibles, en tanto que los gases son muy compresibles; pero ningún cuerpo (sólido, líquido ó gaseoso), es estrictamente incompresible.

II.2.- Presión.

La presión es una fuerza ejercida por unidad de área, si se aplica presión sobre la superficie de un líquido. La presión es transmitida enteramente en todas direcciones. La presión se expresa en libras por pulgada cuadrada ó en kilogramos por centímetro cuadrado.

II.2.1.- Presión Atmosférica.

Es la fuerza ejercida sobre una área por el peso de la atmósfera. La presión atmosférica al nivel del mar es de 14.7 PSI.

II.2.2.- Presión Gage ó Manométrica.

Es la diferencia entre una presión dada y la presión atmosférica, normalmente se mide con un Gage ó Manómetro.

II.2.3.- Presión Absoluta.

Es la suma de la presión manométrica (Gage), más la presión atmosférica. La presión absoluta de la atmósfera al nivel del mar es de 14.7 PSIA, y 0.0 PSIG Manométricas (GAGE).

II 2.4.- Presión Promedio.

La presión promedio sobre una superficie de área A, es la fuerza dividida entre el área, donde se estipula que la fuerza debe ser perpendicular (ó normal) al área.

II.3.- Cabeza ó Carga:

Es un término que se usa para expresar presión, comúnmente usado para representar la altura vertical en pies de una columna estática de líquido.

También es considerada como la cantidad de trabajo necesario para mover un líquido de su posición original a la posición requerida de suministro.

La presión puede ser convertida a cabeza ó carga mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Cabeza ó carga} = 2.31 * \text{presión} / \text{gravedad específica} \quad \text{Ec. 1.2.}$$

II.4.- Presión de Vapor:

Es la presión que ejercen los vapores de un líquido a una determinada temperatura. Cada líquido tiene su propia y única presión de vapor.

Cuando la presión de vapor de un líquido se iguala con la presión atmosférica, se dice que el líquido está en su punto de ebullición.

II.5.- Caudal (Q).

Cuando un fluido que llena un tubo, fluye a lo largo del tubo con una velocidad media V , el flujo ó gasto Q es,

$$Q = (A)(V) \quad \text{Ec. 1.1}$$

donde A , es el área de la sección transversal al tubo.

II.6.- Velocidad Específica (n_s). Cantidad de líquido desplazado en la unidad de tiempo; tiene relación con el Caudal (Q).

II.7.- Carga Neta Positiva de Succión (NPSH) [NET POSITIVE SUCTION HEAD].

Es la cantidad de energía del líquido en la línea de centros de la bomba y puede ser definido con dos acepciones; NPSH Disponible y NPSH Requerido.

II.7.1.- NPSH Disponible.

Característica propia del sistema, definida como la energía del líquido en la conexión de succión de la bomba, es decir, la presión que ofrece el sistema al equipo de bombeo y puede ser mayor ó menor que dicha energía del líquido debido a su presión de vapor.

Este concepto constituye un punto medular en la selección de un equipo de bombeo, ya que un error en el cálculo de este parámetro, podría provocar el efecto de cavitación, teniendo como consecuencia desde el deterioro prematuro del equipo, hasta daños irreparables.

La fórmula para el cálculo de el NPSH disponible es:

a) Para succiones abajo de la línea de centros de la bomba.

$$\text{NPSH} = \text{HA} - \text{HVPA} - \text{HST} - \text{HFS} \quad \text{Ec. 1.3}$$

b) Para succiones arriba de la línea de centros de la bomba.

$$\text{NPSH} = \text{HA} - \text{HVPA} + \text{HST} - \text{HFS} \quad \text{Ec. 1.4}$$

donde:

HA = La presión absoluta (en pies de líquido) sobre la superficie del nivel del líquido, que será la presión barométrica si la succión es de un tanque abierto ó un pozo; la presión absoluta existente en un tanque cerrado como un condensador ó un deaerador.

HVPA = La carga en pies correspondiente a la presión de vapor del líquido, a la temperatura de bombeo.

HST = La altura estática en pies del nivel del líquido a bombear, arriba ó abajo de la línea de centros ú ojo del impulsor de la bomba.

HFS = Todas las pérdidas de presión en la línea de succión (en pies), incluyendo pérdidas a la entrada y pérdidas por fricción a lo largo de la tubería, válvulas y accesorios.

II.7.2.- NPSH Requerido.

Es característica de la bomba. Es la energía requerida para vencer las pérdidas por fricción de la succión de la bomba a los alabes del impulsor; se determina por pruebas ó cálculos y varía con el diseño de la bomba, tamaño y condiciones de operación.

El NPSH Disponible, deberá ser siempre mayor ó igual, cuando menos, al NPSH Requerido por la bomba.

La experiencia en la aplicación de este concepto, dicta que deben dejarse de 2 a 5 pies. de diferencia como rango de seguridad, dependiendo de la estabilidad en la contrapresión propia del sistema.

Como se mencionó anteriormente, el NPSH requerido de un equipo de bombeo, se obtiene de la experimentación, para comprobar que los parámetros ofrecidos por el fabricante son correctos, se corre la prueba denominada "prueba de NPSH R", que consiste en restringir el paso de la válvula de succión, censando los valores obtenidos, hasta llegar al punto de cavitación. Esta prueba debe llevarse a cabo con mucho cuidado y por corto tiempo, ya que puede tener consecuencias destructivas.

11.8.- Cavitación.

Si la energía en la línea de succión está por debajo de la presión de vapor del líquido, habrá formación de vapor en la corriente ó flujo. Las burbujas de vapor se colapsarán al pasar de una zona de baja presión a una zona de máxima presión dada en el diámetro máximo del impulsor.

Los efectos de la cavitación son tremendamente destructivos, detectándose ruidos anormales, vibración, etcétera Si se opera bajo condiciones de cavitación durante mucho tiempo, se pueden producir los siguientes problemas:

- a). Desprendimiento de material en los alabes del impulsor.
- b). Fallas en los paletos.
- c). Ruptura de la flecha y otras fallas por fatiga en la bomba.
- d). Serios daños a los sellos mecánicos como: Desgaste rápido de los pernos y ranuras de los mismos, resortes rotos, desgaste de la flecha en donde están los sellos secundarios, rotura de las caras de carbón, etcétera.

II.9.- Densidad Específica ó Absoluta.

La densidad específica absoluta es igual a la masa por unidad de volumen:

$$\rho = m / v \quad \text{Ec. 1.5}$$

donde: m = masa en Kilogramos en el S.I.

v = volumen en metros cúbicos en el S.I.

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

II.10.- Densidad Relativa.

La densidad relativa es la relación entre la masa, a la masa de un mismo volumen de agua destilada, a la presión atmosférica y 4° C, la densidad relativa es función de la temperatura y de la presión. Además podemos manifestar que la densidad relativa es una propiedad adimensional.

II.11.- Peso Específico.

Peso específico es el peso por unidad del volumen:

$$\hat{A} = W / V \quad \text{Ec. 1.6}$$

donde: W = Peso en Newtons en el S.I.

V = Volumen en metros cúbicos en el S.I.

El peso específico es función de la temperatura y de la presión, aunque en los líquidos no varía prácticamente con esta última.

II.12.- Volumen Específico.

El volumen específico, se define como el recíproco de la densidad absoluta:

$$V = 1 / \hat{A} \quad \text{Ec. 1.7}$$

es decir, el volumen que ocupa 1 Kg. de masa de la sustancia.

II.13.- Compresibilidad.

En los fluidos, lo mismo que en los sólidos, se verifica La Ley Fundamental de la Elasticidad. El esfuerzo unitario es proporcional a la deformación unitaria. En nuestro caso, el esfuerzo unitario considerado, es el de compresión, la deformación unitaria, es la deformación unitaria del volumen, es decir:

$$\Delta V / V = \Delta v / v \quad \text{Ec. 1.8}$$

por lo tanto, la Ley anterior queda como:

$$\Delta p = - E * \Delta v / v \quad \text{Ec. 1.9}$$

donde: Δp = Esfuerzo unitario de compresión en N/metro cuadrado en el S.I.

Δv = Incremento de volumen específico en metro cúbico/Kg en el S.I.

v = Volumen específico en metro cúbico/Kg en el S.I.

E = Módulo de elasticidad volumétrica en N/metro cuadrado en el S.I.

El signo (-), expresa que a un incremento de presión, corresponde un decremento de volumen.

II.14.- Viscosidad.

II.14.1.- Viscosidad Dinámica.

Un sólido puede soportar esfuerzos normales (llamados así porque la fuerza es normal al área que resiste a la deformación). Hay dos clases de esfuerzos : De compresión y de tracción.

Los sólidos y los fluidos pueden estar sometidos también a esfuerzos cortantes y tangenciales. En ellos la fuerza es paralela al área sobre la que actúa. Todos los cuerpos se deforman bajo la acción de las fuerzas tangenciales a que están sometidos. En los cuerpos elásticos, la deformación desaparece cuando deja de actuar la fuerza. En la deformación plástica subsiste la deformación, aunque desaparezca la fuerza deformada.

En los fluidos, la deformación aumenta constantemente bajo la acción del esfuerzo cortante por pequeño que sea.

Entre las moléculas de un fluido, existen fuerzas moleculares que se denominan fuerzas de cohesión. Al desplazarse unas moléculas con relación a las otras, se produce a causa de ellas una fricción. Por otra parte, entre las moléculas de un fluido en contacto con un sólido y las moléculas del sólido, existen fuerzas moleculares que se denominan fuerzas de adherencia.

El coeficiente de fricción interna del fluido, se denomina viscosidad y se designa con la letra griega μ . El estudio de la viscosidad y de sus unidades se hace mediante La Ley de Newton que cumplen los fluidos llamados Newtonianos (agua, aire, etcétera).

II.14.2.- Viscosidad Cinemática.

En hidrodinámica, intervienen junto con las fuerzas debidas a la viscosidad, las fuerzas de inercia, que dependen de la densidad; por eso tiene un significado importante la viscosidad dinámica μ a la densidad ρ , que se denomina viscosidad cinemática y se expresa como:

$$V = \mu / \rho \quad \text{Ec. 1.10}$$

La viscosidad dinámica de los fluidos, varía mucho con la temperatura, aumentando con la temperatura en los gases y disminuyendo en los líquidos; pero unos y otros prácticamente son independientes de la presión. Por el contrario, la viscosidad cinemática de los gases, varía mucho con la presión y la temperatura, mientras que en los líquidos, sólo varían con la temperatura.

II.15.- Tensión Superficial.

La tensión superficial, es una fuerza que como su nombre lo indica, produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos, ahí donde el fluido entra en contacto con otros fluidos no miscibles, particularmente con un gas ó con un contorno sólido (vasija, tubo, etcétera).

El origen de esta fuerza es la cohesión intermolecular y la fuerza de adhesión del fluido al sólido.

En la superficie libre de un líquido, que es tanto la superficie de contacto entre dos fluidos (líquido y aire), la tensión superficial, se manifiesta como si el líquido creara ahí una fina membrana. El origen de la tensión superficial puede explicarse de la siguiente manera: Una molécula situada en el interior del fluido, es atraída por igual en todas direcciones por las moléculas circundantes y se encuentra en equilibrio.

Las fuerzas de cohesión molecular no producen efecto resultante alguno, por el contrario; las moléculas 2 y 3 se encuentran cerca de (ó sea a una distancia menor que el radio de la esfera de acción de la cohesión molecular) ó en la misma superficie libre, respectivamente, en cuyo caso el equilibrio se rompe porque las moléculas del líquido ejercen una atracción mucho mayor que las del gas (aire) de la superficie libre.

En este caso hay una resultante (F), de las fuerzas de cohesión dirigida hacia el interior del líquido. Esta fuerza origina una tensión tangencial en la superficie libre, que la convierte en algo semejante a una membrana elástica.

Si sobre la superficie libre del líquido se traza una línea cualesquiera la tensión superficial es β , la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud.

La fuerza debida a la tensión superficial es igual a L. Esta fuerza suele ser muy pequeña, disminuyendo además al aumentar la temperatura.

II.16.- Sistema.

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

El conocer en detalle el Sistema, es indispensable para poder proceder con precisión al Dimensionamiento de la bomba que satisficaría sus necesidades específicas.

Se sabe que el Sistema está compuesto por una serie de elementos como son: Tubería, conexiones, válvulas y accesorios, y que cada uno de estos elementos, causan pérdidas de carga por fricción cuya magnitud depende entre otras cosas del flujo que pase a través de ellos (a mayor flujo, mayores pérdidas) y del área de la sección del elemento por la cual pasa el flujo (a mayor área, menores pérdidas). Lo anterior constituye, una demanda de carga del sistema, debida a pérdida por fricción.

Otra fuente de demanda de carga del sistema, se genera en función de la diferencial de altura resultante entre los puntos de toma y entrega del líquido a manejar, a lo que se llama carga estática. Existen fuentes adicionales de demanda de carga en un sistema, como pueden ser una presión determinada de entrega requerida ó carga de presión.

La demanda total de carga del sistema, será igual a la suma algebraica de las cargas demandadas por los diferentes conceptos, (pérdidas por fricción estática de presión) y siempre se relacionará con un gasto dado.

II.17.- Sistemas de Unidades.

Las Leyes que rigen los fenómenos físicos, se expresan mediante ecuaciones entre magnitudes físicas, como la presión, viscosidad, etcétera; que es preciso medir. La medida es un número expresado en un Sistema de Unidades. Si se escogen tres magnitudes básicas ó fundamentales, y se asigna una unidad a cada una de estas tres magnitudes fundamentales, así como sus unidades; se denominan unidades derivadas y pueden expresarse en función de las tres unidades fundamentales.

Sólo tres magnitudes y unidades fundamentales son necesarias en Mecánica de Fluidos, a éstas, hay que añadir otros tres cuyo exclusivo es de la Electricidad, Óptica, etcétera. Los tres sistemas de unidades más utilizados son:

II.17.1.- El Sistema Giorgi ó Sistema M.K.S. (Magnitudes Fundamentales): Masa (M), longitud (L), tiempo (t). (Unidades Fundamentales): Kilogramo (Kg), metro (m) y segundo (s).

II.17.2.- El Sistema Inglés (Magnitudes Fundamentales): Masa (M), longitud (L), tiempo (t). (Unidades Fundamentales): Libra (Lb), pie (ft) y segundo (s).

II.17.3.- Sistema Técnico (Magnitudes Fundamentales): Fuerza (F), longitud (L), tiempo (t), kilopondio (kp), metro (m) y segundo (s).

Los dos primeros sistemas, se diferencian esencialmente en que corresponden al Sistema MKS y al Sistema Inglés; el Sistema Giorgi es un sistema másico, porque la masa en él, es magnitud fundamental (mientras que la fuerza es magnitud derivada); el Sistema Técnico es un sistema gravitatorio, porque la fuerza en él, es magnitud fundamental (mientras que la masa es magnitud derivada).

II.17.4.- Sistema Internacional de Unidades (S.I.):

El Sistema Internacional de Unidades, denominado actualmente en el mundo entero con las siglas S.I., no es más que una extensión y perfeccionamiento del Sistema Giorgi ó M.K.S.

El Sistema Internacional, consta de siete magnitudes y siete unidades fundamentales, que se dan a continuación:

MAGNITUDES Y UNIDADES FUNDAMENTALES EN EL S.I.

Magnitud Fundamental.	Unidad Fundamental.	
Nombre:	Símbolo:	
Masa	Kilogramo	Kg.
Longitud	Metro	m.
Tiempo	Segundo	s.
Intensidad de Corriente Eléctrica	Amperio	A.
Temperatura	Kelvin	°K.
Intensidad Luminosa	Candela	cd.
Cantidad de Sustancia	Mol	mol.

Las unidades derivadas, se expresan convenientemente como producto de las unidades fundamentales elevadas a ciertos exponentes. A veces, las unidades derivadas se expresan con nombres especiales. La técnica para obtener estos productos de unidades fundamentales que integran una unidad derivada cualquiera, consiste en despejar la unidad derivada en una unidad física cualquiera.

CAPÍTULO III

BOMBAS, CLASIFICACIÓN Y APLICACIÓN.

CAPITULO III.

BOMBAS CENTRÍFUGAS, CLASIFICACIÓN Y APLICACIÓN.

III. 1.- Introducción a las Bombas.

Si bien el motor eléctrico es la máquina que ocupa el primer lugar de utilización en el mundo y ha contribuido al bienestar y progreso de la humanidad, las bombas con sus variados diseños, ocupan también un lugar prominente para el desarrollo y progreso de las Naciones.

La evolución de los sistemas de bombeo permitió a la civilización, alejarse de los ríos y manantiales, y desarrolló vastas zonas de terreno que anteriormente eran inhabitables.

Los antiguos Chinos y Egipcios, contribuyeron grandemente al desarrollo y mejoramiento de artefactos y sistemas rústicos para lograr transportar y elevar cantidades considerables de agua, y así satisfacer sus necesidades de suministro de agua para beber y principalmente para regar sus siembras.

En 1840 se inventó la primera bomba de acción directa movida por vapor. Desde entonces el constante progreso ha convertido a las bombas en una absoluta necesidad de la vida moderna.

Uno de los factores más importantes que contribuyen al creciente uso de equipos de bombeo, ha sido el desarrollo universal de la fuerza eléctrica. Aún cuando las bombas reciprocantes eran ideales para impulso con vapor, el desarrollo del motor eléctrico permitió el desarrollo de la bomba centrífuga, más barata y ligera, acoplada directamente.

Aunque las primeras bombas centrífugas se considerarían ineficientes, según las normas actuales de funcionamiento, su costo inicial más bajo compensaba con creces esta deficiencia. La bomba centrífuga también demostró inmediatamente otras ventajas importantes sobre la bomba reciprocante. Por ejemplo; la bomba centrífuga da un flujo sostenido a presiones uniformes sin variaciones de presión.

Provee la flexibilidad máxima posible, desarrollando una presión específica máxima de descarga en cualquier condición con caudal controlado ya sea por variación de velocidad ó estrangulación.

Naturalmente, los fabricantes trabajando para ampliar el campo de aplicación de la bomba centrífuga con la experiencia y la investigación, han mejorado mucho la variación de presiones de operación, la eficiencia y el diseño mecánico e hidráulico de su producto.

Simultáneamente, los fabricantes de motores eléctricos mejoraron sus diseños, permitiendo a los fabricantes de bombas usar velocidades más altas y desarrollar bombas adecuadas para mayores alturas de elevación.

Así, durante el último medio siglo se ha extendido ampliamente la aplicación de las bombas centrífugas, tanto en presión como en capacidad. Se han fabricado bombas centrífugas en tamaños que varían desde unos cuantos litros por minuto, hasta bombas gigantes que manejan 2290 metros cúbicos/minuto, contra una altura de elevación de 94.55 metros de columna hidráulica total (carga dinámica total), movidas por motores de 65 000 HP.

Por lo que respecta a presiones, las bombas centrífugas pueden variar desde la de drenaje de sótano de una sola etapa, que desarrolla una altura de elevación de 3 a 4.5 metros, hasta las unidades de varios pasos de alimentación a calderas para las plantas de fuerza de sobrepresión, que desarrollan presiones de descarga de más de 422.4 Kg/cm cuadrado (13 884 pies). Y se han fabricado bombas centrífugas que operan a velocidades hasta de 10 000 RPM

Actualmente, en casi la totalidad de los procesos industriales de conversión de energía, un fluido está siempre en juego, cediendo ó tomando energía de un sistema mecánico. Conocer las máquinas capaces de realizar esta conversión, es saber cómo se puede disponer de las fuentes energéticas naturales y cómo se puede manejar la energía en sus diversas aplicaciones.

Para advertir el papel que las bombas juegan en nuestra vida diaria, considérese, por ejemplo el automóvil y la gasolina que su motor consume. Los equipos para perforación de pozos petrolíferos utilizan diferentes tipos de bombas. Si el yacimiento es antiguo, el petróleo ha de ser extraído a veces con agua a presión.

Esto requiere un pozo en el que el agua pueda ser bombeada por medio de una bomba de pozo profundo adecuada al diseño ó construcción especial para tal fin. Seguidamente una bomba reciprocante, probablemente triplex, impulsa el agua hacia abajo por un pozo de presión, hasta un nivel inferior al de la carga de petróleo, haciendo así que éste, suba por flotación hasta un punto en el que la bomba de pistón envía el petróleo por un tercer pozo a un depósito situado en la superficie.

Las bombas de recolección, bien de pistón ó centrífugas, bombean el petróleo crudo a grandes depósitos de almacenamiento y a continuación bombas centrífugas mayores de alta presión lo bombean de nuevo a través de oleoductos hasta la refinería.

En otros casos, otro tipo de bomba carga el crudo en buques petroleros, de los que posteriormente se descarga en la refinería, mediante otro tipo de bomba diferente de las anteriores. La transformación del petróleo crudo en gasolina en los modernos procesos de refinación, precisa una multitud de diferentes tipos y tamaños de bombas no sólo para su manipulación directa sino también, indirectamente, para el bombeo de agua para alimentación de calderas, productos químicos para el tratamiento de aguas, agua condensada, agua de refrigeración, etcétera.

El producto final es bombeado a los depósitos de almacenamiento. Otras bombas lo cargan en camiones para su transporte. Bombas montadas en los camiones lo descargan en la estación de servicio local. Un tipo diferente de bomba impulsa la gasolina al depósito del automóvil. Por último, la bomba de combustible del auto, inyecta la gasolina el motor.

El ejemplo anterior va muy ligado con la industria petroquímica, sin embargo, existen industrias no menos importantes como la eléctrica, siderúrgica, química, papelera, minera y nuclear entre otras; así como servicios de suministro de agua potable, irrigación y desalojamiento de aguas residuales y negras, servicios que forman parte de nuestra vida diaria y que requieren de un mejoramiento y crecimiento acelerado para satisfacer nuestras necesidades primarias de alimentación y salubridad.

Por lo anterior, es importante enfatizar que entre la gran variedad y cantidad de equipos utilizados en la industria y Servicios Nacionales, el papel que desempeñan los equipos de bombeo es imprescindible; y de todos esos equipos de bombeo, cerca del 60%, son bombas centrífugas.

Por otra parte, no debemos olvidar que una poderosa bomba irriga nuestro cuerpo, y nos permite vivir y pensar; pero sobre todo crear, y es la creación precisamente la que origina el progreso.

III.2.- Funciones de un Equipo de Bombeo:

Para poder definir la función de una bomba, se debe aclarar primero, qué es una máquina.

Máquina es un transformador de energía; es decir, una máquina "toma" energía de una clase y la "entrega" en otra forma de energía; por ejemplo, un motor eléctrico "toma" energía eléctrica y la "entrega" en energía mecánica.

Las máquinas se clasifican en grupos: Máquinas de fluidos, máquinas-herramientas, máquinas eléctricas, etcétera

Las máquinas hidráulicas pertenecen al grupo llamado máquinas de fluido, mismas que se definen como aquellas en las que el fluido proporciona la energía que "toma" la máquina ó que el fluido recibe la energía que la máquina transformó; por ejemplo, una turbina generadora de energía eléctrica toma del agua proveniente de una presa su energía de presión y ésta, la transforma en energía eléctrica.

Las máquinas de fluidos, se clasifican en máquinas hidráulicas y máquinas térmicas.

Las máquinas hidráulicas son aquellas en las que el fluido que "intercambia" su energía no varía sensiblemente la densidad a través de la máquina. Siendo las máquinas térmicas aquellas en que el fluido en su paso a través de la máquina, varía sensiblemente de densidad y de volumen específico.

De acuerdo con lo anterior las bombas se definen como una máquina Hidráulica que "toma" energía mecánica y le proporciona al líquido energía hidráulica es decir "toma" la energía mecánica de un accionador y le incrementa la velocidad del líquido por medio del impulsor y esta última se convierte en energía de carga mediante el difusor de la bomba.

III.3.- Fundamentos de las Bombas Centrifugas:

Supongamos que tenemos una rueda que lanza tangencialmente hacia arriba unas partículas. Si dicha rueda gira a N revoluciones por minuto y despreciamos las pérdidas por fricción, una partícula llegará hasta una altura independientemente del peso de ésta.

Si duplicamos el diámetro ó las revoluciones, la velocidad se duplicará, por lo que la altura que pueda alcanzar la partícula se cuadruplicará. En general, veremos que varía proporcionalmente al cuadrado de la relación de diámetros ó de velocidades angulares.

III.4.- Clasificación General de las Bombas:

Los equipos de bombeo se clasifican comúnmente bajo dos diferentes criterios:

1.- Aquel que toma en consideración las características del líquido bombeado y las condiciones de operación bajo las cuales trabajará la bomba.

2.- Aquel que considera el tipo específico de aplicación del equipo.

El uso de estos dos métodos de clasificación de bombas crea confusión entre los expertos y aún más entre los principiantes.

Hicks y Edwards, en su libro "*Pump Application Engineering*" incluyen la siguiente clasificación general que aclara en mucho el misterio que rodea a las clases y los tipos de bombas. Podría llamarse una guía del mundo de las bombas. Actualmente, encontramos tres clases de bombas:

- a). Centrifugas.
- b). Rotatorias.
- c). Reciprocantes.

Debe notarse claramente, que estos términos aplican sólo al principio de operación mecánico del manejo del líquido, y no al servicio para el cual los equipos son diseñados. Esto es importante, porque la mayoría de las bombas son vendidas y construidas para un servicio específico.

Así mismo, el conocimiento de las clases y tipos de bombas puede llegar a ser de gran utilidad en el complejo problema de encontrar y adquirir el equipo que tenga el mejor diseño para la aplicación requerida. Cada clase se subdivide en diferentes tipos de bombas; por ejemplo, las rotatorias agrupan a bombas de tornillo, engranes y paletas, entre otras. Cada una de ellas es un tipo particular de bombas rotatorias.

Como ejemplo de aplicación más específico, veamos a una bomba para manejo de petróleo crudo, que es de uso común en la actualidad. Es una bomba rotatoria de tres tornillos con rotores fabricados en diversos materiales y cuatro dispositivos para balancear el empuje axial.

El Instituto de Hidráulica , recomienda que su clasificación sea considerada sólo como una descripción general de las clases y tipos de bombas, y deja a los fabricantes la clasificación de los detalles que haya desarrollado o estandarizado para cada tipo de bomba. Por lo tanto, en la selección adecuada de una bomba es necesario comparar conjuntamente los requerimientos de operación, construcción y aplicación.

En sus normas el Instituto de Hidráulica, clasifica a las bombas centrífugas: Por el número de pasos en una etapa y multi-etapas; por el tipo de carcaza en voluta y difusor; por la posición de la flecha en horizontal y vertical (de pozo seco y sumergible); por la succión en simple y doble succión; por su impulsor en abierto, semi-abierto y cerrado; por su flujo en radial, mixto y axial.

En términos de materiales de construcción, el Instituto de Hidráulica, utiliza las siguientes designaciones:

- 1.- Con interiores de bronce.
- 2.- Toda de bronce.
- 3.- Aleaciones especiales de bronce.
- 4.- Toda de fierro.
- 5.- Con interiores de acero inoxidable.
- 6.- Toda de acero inoxidable.

Las bombas con interiores de bronce tienen carcaza de fierro impulsor de bronce, y anillos de la carcaza de bronce y mangas de flecha en bronce (estas últimas sí son requeridas).

En las bombas todas de bronce, todas las partes en contacto con el líquido bombeado (partes húmedas), están hechas en bronce estándar del fabricante.

Para la tercera designación , la descripción es la misma que la segunda, sólo que las partes son hechas de aleaciones especiales de bronce adecuadas a la aplicación específica de las bombas.

Las bombas de hierro tienen sus partes húmedas hechas en metales ferrosos. En las bombas con interiores de acero inoxidable, la carcaza es de un material adecuado al servicio, mientras que el impulsor, los anillos del impulsor y las mangas de la flecha están hechos de un acero resistente a la corrosión y adecuado al líquido manejado.

En una bomba toda de acero inoxidable, las partes húmedas (en contacto con el líquido bombeado) están hechas de un acero resistente a la corrosión adecuado a la aplicación, mientras que la flecha es de un acero resistente a la corrosión de igual grado que las otras partes de la bomba.

III. 5.- Características Generales:

Las siguientes consideraciones corresponden a una exposición general de las características comunes a las clases de bombas analizadas. Para tal fin se utiliza la siguiente tabla:

Por ejemplo, para encontrar una bomba que maneje capacidades relativamente pequeñas de líquidos limpios y claros a altas cargas.

Se considera importante señalar, desde este momento, que el nivel de succión no debe exceder el límite máximo recomendado. La capacidad expresada normalmente, en galones por minuto (GPM), determina el tamaño de la bomba e influye en la clase de unidad seleccionada.

La naturaleza del fluido influye en los materiales de construcción de la bomba. La carga también es otro factor importante dentro del análisis.

La correcta selección de la bomba, muestra que ésta debe ser reciprocante y adecuada para condiciones generales de capacidades pequeñas, cargas altas y líquidos claros y limpios. Por lo tanto, dependiendo de las características del trabajo, una bomba de pistón ó de émbolo, de acción directa, biela y cigüeñal, ó de accionamiento electrónico puede ser escogida; puede ser Simplex, Duplex, Triplex ó tener un número mayor de cilindros.

Una vez seleccionada esta bomba, puede iniciarse el estudio de los detalles de válvulas, materiales de construcción, accionadores, etcétera

En general, se encontrará que los detalles de una bomba, son función directa de los requerimientos del trabajo. Así, el arreglo particular de una bomba centrífuga puede depender en mucho de las tuberías de conexión, espacio disponible y condiciones de trabajo, así como de muchos otros factores.

El accionamiento escogido para la bomba, puede ser definido por la velocidad de la bomba, del balance térmico de la planta, del suministro de energía disponible ó del costo de un tipo de combustible en el área. Pero nuevamente, estos detalles deberán decidirse después de encontrar una bomba adecuada a las condiciones hidráulicas que debe cumplir. Y la clave para alcanzar estos requerimientos hidráulicos, es justamente la clase y tipo de bomba escogida.

III.6.- Campo Hidráulico de Cobertura:

Se debe observar qué capacidades y presiones (cargas ó alturas), cubren normalmente los equipos de bombeo.

Indudablemente, existen zonas de superposición, esto sin duda tiene que ocurrir, pero generalmente la viscosidad, sólidos en suspensión, NPSH, etcétera, dan la pauta para la selección del tipo de bomba en estos casos límites.

Donde dos o más unidades del mismo tipo ó diferente tipo, cumplen con las condiciones hidráulicas, el estudio debe ir un poco más adelante para determinar cuál de los equipos es mejor para la instalación. La planta puede requerir bajo costo de adquisición de la bomba, vida útil larga ó máxima economía de operación.

Normalmente, todo esto no se encuentra en un sólo paquete, por lo que deberá decidirse qué es lo más importante para el servicio e instalación considerada, sin embargo, la experiencia dicta algunos criterios para la correcta aplicación de las bombas centrífugas (sin que deban tomarse con el rigorismo de una regla):

-Aplicaciones donde las densidades no sean mucho mayores a la del agua.

-Aplicaciones donde no se requiera de gran precisión en el caudal desplazado.

-Aplicaciones donde se requiera que la presión de la bomba varíe respecto de la contrapresión del sistema, dentro del rango descrito por la curva de comportamiento.

-Aplicaciones donde se requiera de un flujo continuo (no pulsante), por las características propias del proceso.

III.6.- Campo Hidráulico de Cobertura:

Se debe observar qué capacidades y presiones (cargas ó alturas), cubren normalmente los equipos de bombeo.

Indudablemente, existen zonas de superposición, esto sin duda tiene que ocurrir, pero generalmente la viscosidad, sólidos en suspensión, NPSH, etcétera, dan la pauta para la selección del tipo de bomba en estos casos límites.

Donde dos más unidades del mismo tipo ó diferente tipo, cumplen con las condiciones hidráulicas, el estudio debe ir un poco más adelante para determinar cuál de los equipos es mejor para la instalación. La planta puede requerir bajo costo de adquisición de la bomba, vida útil larga ó máxima economía de operación.

Normalmente, todo esto no se encuentra en un sólo paquete, por lo que deberá decidirse qué es lo más importante para el servicio e instalación considerada, sin embargo, la experiencia dicta algunos criterios para la correcta aplicación de las bombas centrífugas (sin que deban tomarse con el rigorismo de una regla):

-Aplicaciones donde las densidades no sean mucho mayores a la del agua.

-Aplicaciones donde no se requiera de gran precisión en el caudal desplazado.

-Aplicaciones donde se requiera que la presión de la bomba varíe respecto de la contrapresión del sistema, dentro del rango descrito por la curva de comportamiento.

-Aplicaciones donde se requiera de un flujo continuo (no pulsante), por las características propias del proceso.

III.7.- Bombas Centrifugas:

Son aquellas que imparten la energía principal al líquido mediante la acción de la fuerza centrífuga, se subdividen primeramente, atendiendo a la dirección del flujo en el impulsor, por lo tanto, pueden ser bombas con impulsor de flujo radial, de flujo mixto y flujo axial, pudiendo ser los impulsores de tipo cerrado, con paredes integrales laterales; abierto, sin paredes; semicerrados con una sola pared integral. En lo que respecta a la succión en el impulsor, éste puede ser de succión sencilla ó doble.

Se debe aclarar que en relación con sus aspas, se conocen dos tipos de impulsores de flujo radial: Impulsor de Aspas Rectas e Impulsor de Aspas tipo Francis ó tornillo. En una serie de curvas de comportamiento, son perfectamente reconocibles los distintos tipos de impulsor, ya que están ligados éstos, con el número que determina el valor de la velocidad específica en la forma siguiente:

Tipo de Impulsor.	Valor de la Velocidad Específica.
Radial de Aspas Rectas.	500 - 1000.
Francis.	1500 - 4000.
Flujo Mixto.	4000 - 7500.
Flujo Axial.	8000 - 20000.

Los impulsores de flujo mixto y axial, son generalmente del tipo succión sencilla.

Si atendemos ahora a la forma de las carcazas, podemos decir que éstas se dividen en dos grupos: Bombas con carcaza de voluta y bombas con carcaza de difusor, siendo estos casos bipartidas axial y radialmente de manera respectiva. Con respecto a la posición de la succión, hay dos tipos principales: Bombas con succión en el extremo y bombas con succión lateral (se dice que son los dos principales tipos, ya que también existen bombas con succión hacia arriba y hacia abajo).

Por regla general, todas las bombas con succión en su extremo, usan impulsor del tipo de succión sencilla; no se puede decir lo mismo con respecto a las bombas de succión vertical, ya que éstas utilizan según su tipo, impulsor con succión sencilla ó de doble succión.

Cuando una bomba genera toda su carga utilizando un sólo impulsor, se dice que esta es de un sólo paso, y cuando utiliza para el mismo efecto dos ó más impulsores, se denomina bomba de pasos múltiples (multipasos).

Respecto a la posición de su eje giratorio, a las bombas centrífugas, se les conoce como horizontales ó verticales. En las primeras, se encuentra profusamente utilizados los impulsores radiales y de flujo mixto, y en las verticales también los de flujo mixto y los axiales; aunque gran número de tipos de bombas horizontales, tienen variantes verticalizados.

Entre las verticales, se encuentran las de impulsor de flujo axial tipo "Propela" y las de impulsor cerrado para pozo profundo.

Desde el punto de vista de su aplicación, se pueden agrupar en lo siguiente:

III.7.1.- Bombas Inatascables.

Tienen como característica, utilizar impulsor abierto o cerrado, pero del tipo Francis corto y también en el de flujo mixto, de succión sencilla; generalmente son capaces de manejar aguas negras con sólidos de tamaño limitado ó aplicables en la Industria Papelera, en lo referente al manejo de la pulpa ó licores.

III.7.2.- Bombas de Proceso.

Aplicables para manejar una gran gama de líquido utilizados en procesos industriales que requieren condiciones de temperatura, presión ó de ambas características, más altas que las normales, ó cuyos efectos corrosivos son notorios. Generalmente, estas bombas son de Metalurgia Especial.

III.7.3.- Bombas de Inyección a Calderas.

Estas bombas son generalmente, de capacidades medianas, pero de altas presiones, y casi todas son del tipo multipasos y con metalurgia adecuada, para manejar aguas tratadas y a altas temperaturas.

III.7.4.- Bombas de Uso General.

Por su uso general, entendemos el manejo de aguas en condiciones normales de operación y para capacidades pequeñas, medianas ó grandes, y cargas generalmente medianas ó bajas; se encuentran en varios tipos: Bombas con succión en su extremo y sencilla con carcazas partidas radialmente, y las bombas de succión lateral doble y carcaza partida horizontalmente, aquí se puede incluir la aplicación de bombas contra incendio.

III.7.5.- Bombas de Pozo Profundo.

Son del tipo vertical, generalmente con impulsores cerrados y como característica común, la de ser de varios pasos con columnas de longitud adecuada, para llevar el cuerpo impelente hasta el seno del líquido a bombear.

Aunque su gran aplicación está en el suministro de agua de pozos para riego, no es ésta la única, ya que también es posible utilizar este tipo de bombas en el manejo de hidrocarburos ó de salmueras.

III.7.6.- Bombas Regenerativas.

Estas bombas, aunque suministran carga al líquido por medio de fuerza centrífuga, su impulsor tiene una marcada diferencia con las demás bombas centrífugas, ya que se parece bastante a los rodetes de las turbinas, pues tienen tallado en ambos lados un número determinado de aspas cortas radiales.

La forma de la vía de agua de la carcasa en estas bombas, hace que el impulsor tome varias veces el agua antes de que ésta logre terminar su viaje desde la succión hasta la descarga, con lo cual se le comunica una alta carga al agua manejada. La característica más distintiva de estas bombas es que aunque sus capacidades son demasiado limitadas, sus cargas son altas.

III. 8.- Principales Normas de Fabricación:

III. 8.1.- ANSI.

El ANSI (American National Standard Institute), es un código que cubre las bombas centrífugas de diseño horizontal, simple etapa, succión al extremo y descarga sobre la línea de centros.

El estándar incluye intercambiabilidad dimensional, así como requisitos para ciertas características de diseño que se faciliten la instalación, y el mantenimiento. Lo que se persigue con este estándar, es que siendo las dimensiones críticas determinadas por el código, las bombas sean intercambiables aún siendo de diferentes marcas comerciales, las dimensiones claves corresponden a las bases, localización y tamaño de bridas de succión y descarga, diámetros de flechas y localización de anclajes.

Los diseños alternativos, serán considerados si se prueba que tanto sus detalles de construcción y funcionamiento están en términos generales de acuerdo a lo especificado en el código.

Todas las desviaciones deberán ser descritas detalladamente para evitar problemas de estándares.

La fuente para obtener la nomenclatura y definición, para los componentes de las bombas, será el Instituto de Hidráulica, en su sección "*Bombas Centrífugas*".

- Características de Construcción y Diseño:

a). Límites de presión y temperatura.- La presión de diseño de la carcaza, incluyendo la caja de empaques y prensaestopas, deberá ser al menos igual a la que corresponde al rango presión-temperatura de las bridas clase 125 ó clase 150, ANSI B.16.5, según el material de construcción que se use. La carcaza, tapa y chaquetas deberán diseñarse, para soportar una prueba hidrostática de 1.5 veces la presión máxima de diseño para el material de construcción usado.

b). Límites de temperatura.- Las bombas deberán soportar hasta 260° C (500° F). La limitación para hierro fundido será de 150° C (300° F) como máximo.

Chaquetas de enfriamiento y otras modificaciones, pudieran requerirse para cumplir la temperatura de operación.

c). Las limitaciones de presión y temperatura, deberán estar claramente establecidas por el fabricante del equipo.

d). Bridas.- Las conexiones de succión y descarga, deberán ser bridas; las bridas se ajustarán en sus dimensiones, número y tamaño de pernos y taladros a lo especificado en el ANSI B.16.1 Clase 125 ó B.16.5 Clase 150 para hierro y acero fundidos, respectivamente. Las bridas serán de cara plana, con un espesor mínimo igual a aquél, de la cara realizada especificada en el código para el material de construcción de que se trate.

Los taladros para los pernos, deberán distribuirse alrededor de la línea de centros horizontal y vertical. Como una opción, podrán ofrecerse bridas de 250 en hierro fundido, ó de 300 en acero fundido, sujetándose a la limitación de presión establecida por el fabricante.

e). Carcaza.- Las carcazas deberán tener mamelones para conexión de drenaje. Su tamaño deberá ser suficiente para acomodar una conexión de 1/2 " NPT como mínimo. El taladro y roscado de estos mamelones es opcional.

Los mamelones para conexiones de manómetros. La succión y descarga, deberá tener mamelones para conexión de manómetros, su tamaño será suficiente para acomodar conexiones de 1/4 " NPT como mínimo, prefiriéndose que dichas conexiones sean de 1/2 " NPT. El taladro y roscado de los mamelones es opcional.

Las bombas deberán soportarse, por una pata bajo la carcaza ó por un soporte conveniente entre ésta y la base.

El diseño deberá permitir, que el elemento rotativo sea desmontado de la carcaza, desde la parte posterior sin que sea necesario desconectar ésta de las tuberías ó remover el accionador. Se deberá proveer de adecuados taladros roscados ó barrenos para espárragos, de manera que sea fácil desensamblar la carcaza de la tapa de la caja de empaques.

Las chaquetas para enfriamiento ó calentamiento de la carcasa, caja de empaque, ó ambas; son opcionales. Deberán diseñarse, para una presión de operación de 690 KPa manométricas a 170° C (340° F). Las chaquetas de enfriamiento que se requieren para temperaturas, en las mismas, de 260° C (500° F), requerirán una correspondiente reducción de la presión de operación. Las conexiones para agua de enfriamiento deberán ser cuando menos de 1/2 " NPT.

Las juntas entre la carcasa y la tapa de la caja de empaques, deberán estar confinadas en el lado de la presión atmosférica, para prevenir que se hinchen y no sellen adecuadamente.

f). Impulsores.- Los impulsores abiertos, semi-abiertos ó cerrados, son aceptados por el código.

Si el diseño requiere periódicos del claro, se deberá suministrar un mecanismo para que dicho ajuste pueda ser efectuado externamente.

Todos los impulsores, serán de preferencia, balanceados dinámicamente, sin embargo, cuando la relación entre el diámetro exterior máximo, dividido por el ancho en la periferia, incluyendo los hombros, pero no la venas posteriores, sea 6 ó más se aceptará balanceo estático.

Sujeción en la flecha. El impulsor se fijará a la flecha con una cuña ó bien roscado, si éste es el caso, deberá apretarse en sentido contrario a la rotación. La rosca ó cuña, deberá protegerse de manera que no entre en contacto con el líquido bombeado.

g). Flecha.- El diámetro de la flecha ó de la camisa de empaques, deberá ser en incrementos de 1/8 " desde un diámetro mínimo de 1 ". Para permitir el uso de sellos mecánicos, la tolerancia en diámetro a través de la caja de empaques, no deberá exceder del diámetro nominal a menos 0.05 mm (0.002 ").

El acabado para la superficie de la flecha, en la caja de empaques y donde entra en contacto con los retenes de aceite de los baleros, no deberá exceder de una rugosidad de 0.032 " a menos que el sello mecánico demande otra cosa.

El descentramiento de la flecha en la cara de la caja de empaques, no debe exceder de 0.05 mm (0.002 ") como lectura total del indicador de carátula.

La deflexión dinámica de la flecha, en la cara de la caja de empaques, no deberá exceder de 0.05 mm (0.002"), a:

- Carga máxima para bombas del tamaño AA a A70.
- Carga de diseño para bombas tamaño A80 y mayores.

Se define como carga hidráulica máxima, la del impulsor máximo, operando a cualquier punto sobre la curva de velocidad angular máxima cuando se bombea un líquido de Gravedad Específica de 1.0

Se define como carga de diseño, la carga hidráulica máxima del impulsor máximo, operando dentro de un rango especificado por el fabricante y sobre la curva de velocidad máxima cuando bombea un líquido de Gravedad Específica de 1.0.

Los claros deberán ser de tamaño suficiente, para prevenir rozamientos cuando se opere a la carga máxima.

h). Caja de empaques.- Se diseñara de manera que pueda alojar empaquetadura cuadrada convencional de 3/8" para las bombas de los tamaños A05 al A80.

Para los tamaños AA y AB, se debe usar empaque de 5/16".

Las cajas de empaques, deberán ser adecuados, también para la instalación y operación de sellos mecánicos; incluyendo los aditamentos necesarios para la eliminación de aire ó gas atrapado. La localización de las conexiones de tuberías, a la caja de empaque y prensaestopa, es opcional; el tamaño de las conexiones, será al menos 1/4" NPM, pero se prefiere que sean de 3/8" NPT.

El descentramiento de la cara, no deberá exceder de 0.05 mm (0.002") de la lectura total del indicador de carátula, sobre la flecha.

Requerimientos de espacio, éste deberá ser suficiente para:

- Cinco anillos de empaque, un anillo de linterna y espacio para reempacar el equipo.

- Un buje de garganta rompedor de presión, un anillo de linterna y tres anillos de empaque.

- Sello mecánico interno, con ó sin buje de garganta.
- Sellos mecánicos dobles internos.
- Sello mecánico externo, con ó sin buje de garganta.

Las bombas se deberán diseñar para tener cuatro pernos, pero los prensa-estopa serán:

- De 2 ó 4 pernos para el empaque convencional.
- De 4 pernos para el sello mecánico.

La junta entre el prensa-estopas y la caja de empaques, deberá estar confinada en la presión atmosférica para evitar que se hinche y no selle.

Los materiales de construcción serán:

El material del prensaestopa será opcional.

Los pernos, tuercas y espárragos serán de acero inoxidable de la serie 300, y deberán tener 3/8" ó más en el diámetro.

i). Baleros.- Dos ensambles de baleros de bolas son requeridos, uno estará libre dentro del soporte a fin de absorber la carga radial solamente, el otro deberá diseñarse para absorber, tanto carga radial como axial.

Los baleros deberán seleccionarse, de acuerdo con el código ANSI B.3.15 y B.3.16 en su sección "Rangos de Carga y Vida Esperada para Baleros de Bolas y Rodillos".

Las bombas de tamaño AA a A70 deben tener un mínimo de vida de B10, esto es 17500 horas cuando están sujetos a la carga máxima. Los tamaños A80 y mayores, deberán tener un mínimo de vida de B10, es decir, 17500 horas cuando están sujetos a la carga máxima de diseño.

Juego axial. En el caso del balero axial, el juego deberá ser mínimo, la definición de su magnitud depende, tanto de los claros internos, como de los requerimientos del sello mecánico.

Aislamiento. Los alojamientos de baleros, deberán construirse para proteger a los mismos del agua, polvo y de otros contaminantes.

Lubricación. Los alojamientos de empaque, deberán equiparse con conexiones roscadas para aceiteras de niveles visuales del aceite contenido dentro del alojamiento.

Materiales de construcción. Se define así a aquél material de la bomba que está en contacto mayor con el líquido bombeado.

Las bombas deberán estar disponibles en los siguientes materiales de construcción:

MATERIALES

ESPECIFICACIÓN ASTM

- Fierro fundido (no usar para líquidos peligrosos). A278 ó A48.
- Fierro dúctil. A395.
- Acero al carbón. A216, Grado WCB.
- Acero fundido de alta aleación (similar al acero inoxidable 316).
- Otros. Opcional.

Tolerancia a la corrosión. La carcaza, tapa y prensa-estopas, deberán tener una tolerancia a la corrosión de cuando menos 1/8".

Sentido de rotación. El sentido de rotación será como el de las manecillas del reloj, visto desde el cople. Una flecha ya sea de fundición ó troquelada de un material durable, mostrará dicho sentido.

Guardacoples. Deberá suministrarse en todas las unidades en que la bomba y el accionador están montados sobre una base común.

Roscas. Todas las partes roscadas como pernos, tuercas ó tapones, deberán estar de acuerdo con los estándares del código ANSI.

Anillos para izamiento. Se deberán suministrar siempre que el bastidor y su ensamble asociado pese más de 27 Kgs.

Orificios. Todos los orificios expuestos al fluido bombeado, más aquellos que correspondan al prensa-estopas ó sello mecánico deberán ser del mismo material que la carcaza, excepto que tapones de acero al carbón pueden usarse en bombas de hierro fundido ó dúctil. En el caso de chaquetas de enfriamiento ó calentamiento, usar cinta a prueba de agua.

III.8.2.- API 610.

Este estándar cubre los requerimientos mínimos, para bombas centrífugas a usar en servicios de refinerías petroleras. Este estándar, se aplica también a las turbinas hidráulicas de recuperación de energía.

El proveedor podrá ofrecer diseños alternativos. Dimensiones métricas equivalentes, sujetadores y bridas pueden ser sustituidos por mutuo acuerdo entre ambas partes.

En caso de conflicto entre este estándar y la solicitud ó pedido, la información contenida en el pedido, será la que se mande. Los términos empleados en este estándar, se definen como sigue:

- Normal.- Aplica a condiciones a las que el equipo operará normalmente.

- Nominal.- Aplica a las condiciones de operación especificadas para el punto de operación garantizado; incluyendo gasto, carga, NPSH, gravedad específica, velocidad y viscosidad.

- Máxima presión de trabajo permisible para la caja.- Es la mayor presión de descarga a la temperatura de bombeo especificada para la cual la caja de la bomba está diseñada. El diseño debe cumplir con las reglas de diseño de la bomba, establecidas en este estándar. Esta presión debe ser igual ó mayor a la presión máxima de descarga requerida.

- Máxima presión de descarga.- Es la mayor presión de succión posible de operar, más la presión diferencial máxima que la bomba es capaz de desarrollar, operando a las condiciones especificadas de velocidad; gravedad específica y temperatura de bombeo con el impulsor suministrado.

- Presión de descarga nominal.- Es la presión de descarga de la bomba en el punto garantizado, con condiciones nominales de gasto, velocidad, presión de succión y gravedad específica.

- Presión máxima de succión.- Es la mayor presión de succión a la que la bomba se ve sometida durante la operación.

- Presión de succión nominal.- Es la presión de succión para las condiciones de operación del punto garantizado.

- Temperatura máxima permisible.- Es la temperatura máxima continua para la cual el fabricante ha diseñado el equipo (o cualquiera de las partes a la que este término se refiere) cuando maneja un fluido especificado a una temperatura especificada.

- Velocidad nominal.- Es el número de revoluciones por minuto de la bomba, requeridas para encontrar las condiciones nominales de operación. (Se debe hacer notar que los motores de inducción, operarán a una velocidad que es función de la carga impuesta).

- Potencia al freno nominal.- Es la potencia requerida por la bomba a las condiciones nominales de operación.

- Presión máxima de sellado.- Es la más alta presión esperada en cada cámara de sellado.

- Velocidad específica de succión.- Es un índice de las características operativas de la succión de la bomba, determinado en el punto de mayor eficiencia (en diámetro máximo). (Este valor, sirve como un indicador de la NPSH requerida, para valores dados de gasto y velocidad rotacional y proporciona alguna evaluación de la tendencia de la bomba a la recirculación interna).

- Flujo máximo continuo estable.- Es el flujo más bajo en el que la bomba puede operar sin rebasar los límites de ruido y vibración impuestos por este estándar.

- Flujo mínimo continuo térmico.- Es el más bajo flujo en el que la bomba puede operar, manteniendo la temperatura del líquido por debajo del punto en el cual la NPSH disponible, igual a la NPSH requerida.

- Proveedor.- Se refiere al fabricante de la bomba.

- Buje de estrangulamiento.- Es un anillo restrictor de claro, colocado alrededor de la flecha ó manga ubicado en el lado externo del sello mecánico.

- Buje de garantía.- Es un anillo restrictor de claro, colocado alrededor de la flecha ó manga, ubicada entre el sello ó empaquetadura y el impulsor.

- Caja sujeta a presión.- Es el conjunto de todas las partes estacionarias contenedoras de presión de la unidad, incluyendo boquillas y otras partes agregadas.

- Doble caja.- Se refiere al tipo de construcción en el cual la caja sujeta a presión, está separada y es distinta a los elementos de bombeo contenidos en ella.

- Barril.- Se refiere específicamente a una bomba horizontal del tipo de doble caja.

- Bomba de barril enlatada.- Se refiere específicamente a una bomba vertical del tipo doble caja.

- Turbina hidráulica de recuperación de energía.- Puede ser una bomba operada con flujo INVERSO para entregar energía cinética en el cople, a partir de la recuperación de energía extraída de una reducción de presión del fluido (y algunas ocasiones, por la energía adicional de los vapores o gases).

- Partición radial.- Se refiere a las juntas de la caja que son transversales a la línea de centros de la flecha.

- Partición axial.- Se refiere a las cajas cuyas juntas son paralelas a la línea de centros de la flecha.

- NPSH.- Carga Neta Positiva de Succión, es la carga total de succión, en altura absoluta de columna del líquido, determinada en la boquilla de succión y referida a la elevación en "REFERENCIA" menos la presión de vapor del líquido en pies absolutos.

La REFERENCIA, es la línea de centros en bombas horizontales, la línea de centros de la boquilla de succión en bombas verticales IN-LINE (en línea), y la parte superior de la cimentación para otras bombas verticales.

- NPSH Disponible (NPSH A).- Es la NPSH determinada por el comprador para el sistema de bombeo con el líquido bombeado, a la temperatura de bombeo.

- NPSH Requerida (NPSH R).- Es la NPSH determinada por el proveedor a partir de pruebas de bombeo, realizadas con agua. La NPSH R, es expresada en pies absolutos de líquido, y es la mínima NPSH requerida a la capacidad ó gasto nominal para prevenir desviaciones de compartimiento debido a cavitación.

- Cojinetes hidrodinámicos.- Son rodamientos que usan los principios de lubricación hidrodinámica, creada cuando sus superficies están orientadas de tal manera que su movimiento relativo, genera la presión de aceite para soportar la carga, sin que exista contacto metal-metal.

- Cojinetes radiales hidrodinámicos.- Incluyen los rodamientos tipo manga y de zapatas.

- Cojinetes de empuje hidrodinámicos.- Como se refiere en este estándar, está limitados a los rodamientos múltiples segmentados de zapatas.

- En boquillas de turbinas hidráulicas de recuperación de energía.- Todas las referencias de este estándar a "SUCCION" y "DESCARGA"; deben ser interpretadas como "SALIDA" y "ENTRADA" respectivamente.

- El uso de la palabra "DISEÑO"; en cualquier término (como por ejemplo; potencia de diseño, presión de diseño, temperatura de diseño, y velocidad de diseño), debe ser evitada en las especificaciones del comprador. Esta terminología debe ser usada exclusivamente por el diseñador y fabricante del equipo.

CAPITULO IV

EQUIPOS PERIFÈRICOS.

CAPÍTULO IV.

EQUIPOS PERIFÉRICOS UTILIZADOS EN BOMBAS CENTRIFUGAS.

IV.1.- Accionadores:

Para accionar una bomba centrífuga, se utilizan muy diversos equipos entre los que se pueden citar como ejemplo; los motores eléctricos, las turbinas de vapor, los motores de combustión interna, etcétera

Entre los accionadores mencionados, el que abarca indiscutiblemente la mayor parte de los equipos existentes; es el motor eléctrico, por lo que solamente se hará referencia a este tipo de accionador.

IV.1.1.- Motores Eléctricos.

Existe una gran variedad de motores eléctricos que se pueden dividir en dos grandes grupos: Los de corriente directa y de corriente alterna; algunos representativos de estas características se muestran a continuación:

IV.1.1.1.- Motores de Corriente Directa:

Tipo Serie.

Tipo Paralelo.

Tipo Compuesto (Compound).

Tipo Imán permanente.

IV.1.1.2.- Motores de Corriente Alterna:

Monofásicos:

- De capacitor permanente.
- De capacitor en el arranque.
- De poto sombreado.
- De reluctancia.
- Universal.

Trifásicos:

- Síncronos.
- Inducción.

Los motores más utilizados industrialmente, son los trifásicos del tipo Inducción "Jaula de Ardilla".

A continuación se enunciarán algunas características importantes de los motores de accionamiento.

IV.1.1.2.1.- Enclaustramiento:

Se entiende por encierre las características de protección que proporciona la cubierta externa del motor, con respecto al medio ambiente.

Básicamente, existen dos tipos de encierre: Abierto y Cerrado: los cuales pueden adquirir modificaciones según los requerimientos del medio ambiente en el que el motor sea instalado.

IV.1.1.2.1.1.- Abierto.

Una máquina abierta, es aquella que tiene aberturas de ventilación que permiten el paso de aire exterior para enfriamiento dentro y alrededor de la máquina. Se tienen las siguientes sub-clasificaciones:

a) A prueba de goteo.- Una máquina a prueba de goteo, es una máquina abierta, en la cual las aberturas para ventilación, están construidas de tal manera, que su operación satisfactoria no es interferida, cuando gotas de líquido o partículas sólidas incidan ó entren con ángulo entre cero y 15 grados respecto a la vertical. (Se conocen como APG [Abierto a Prueba de Goteo]).

b) A prueba de salpicadura.- En una máquina abierta, en que las aberturas para ventilación, están construidas de tal manera, que su operación satisfactoria no es interferida cuando gotas de líquido ó partículas sólidas inciden o entran con un ángulo no mayor a 100 grados respecto a la vertical. (Splash Proof).

c) A prueba de intemperie tipo Nema I.- Es una máquina abierta, en la cual sus pasajes para ventilación están contruidos, de tal manera que reducen a un mínimo la entrada de lluvia, nieve y partículas en el aire hacia las partes eléctricas y previenen el paso de un rodillo cilíndrico de 3/4 de pulgada de diámetro. (Weath Protect I).

d) A prueba de intemperie tipo Nema II.- En una máquina que además de las características definidas en la máquina tipo Nema I tiene sus pasajes de ventilación de entrada y descarga contruidos de tal forma que las ráfagas de viento y de partículas del ambiente, impulsados hacia la máquina por tormentas ó vientos fuertes, puedan decantar sin penetrar directamente a las partes eléctricas ó al interior de la máquina.

La trayectoria normal de aire que llega a las partes eléctricas de la máquina se manejará por medio de baffles ó cavidades separadas para obtener al menos tres cambios abruptos de dirección con no menos de 90 grados cada uno. Además, deberá existir un área de baja velocidad que no exceda 600 pies/minuto en la trayectoria de toma de aire para reducir la posibilidad de que entre a las partes eléctricas humedad ó suciedad. (Weath Protect II).

e) Con ventilación forzada.- Es aquella máquina, en la cual la ventilación se obtiene a través de un soplador independiente montado sobre la estructura de la máquina, a este tipo de arreglo se le conoce como ventilador por soplador ó máquina abierta ventilada externamente.

IV.1.1.2.1.2.- Cerrado.

Una máquina totalmente cerrada, es aquella suficientemente cerrada para prevenir el intercambio de aire entre el exterior y el interior, pero no lo suficientemente cerrada como para ser considerada hermética. Se subclasifican en:

a) No ventilados.- Es una máquina totalmente cerrada, la cual no es equipada con medios externos para enfriamiento (TCSV).

b) Totalmente cerrado con ventilador.- Es una máquina totalmente cerrada equipada con medios externos de enfriamiento por uno ó más ventiladores integrados a la misma. (TCCV ó TEFC [Totally Enclosed Fan Cooled]).

c) A prueba de explosión. (XP o APE).

- Clase I.- Es una máquina totalmente cerrada cuyo encierre está diseñado y construido para soportar una explosión de un vapor ó gas especialmente en su interior, y prevendrá la ignición del gas ó vapor que rodea a la máquina por chispas ó productos de la explosión en su interior.

- Clase II.- Es una máquina totalmente cerrada cuyo encierre está construido y diseñado de tal manera que excluya cantidades inflamables de polvo ó partículas que puedan afectar su comportamiento y no permita arcos, chispas ó generación de calor que causen la ignición de acumulaciones externas ó en suspensión a la atmósfera de un polvo específico sobre su encierre ó en su cercanía.

d) A prueba de agua.- Es una máquina totalmente cerrada, que excluye el agua salpicada en forma de chorro, con la excepción de que podrá haber una entrada de agua a través del claro en la flecha, pero tendrá previsiones de drenado automático para que ésta no alcance los recipientes de lubricación.

e) Con intercambiador de calor-aire-aire(CACA).- Es una máquina totalmente cerrada, la cual se enfría por aire circulando en su interior y a través de un intercambiador de calor, el cual, a su vez es enfriado por circulación de aire exterior.

f) Con intercambiador de calor-aire-agua(CACW).- Es una máquina totalmente cerrada, la cual se enfría por aire circulando en su interior y a través de un intercambiador de calor, el cual a su vez, es enfriado por circulación de agua.

g) Una máquina totalmente cerrada ventilada por tubos, es una máquina totalmente cerrada con arreglos de entrada, tales que cuando se le conectan tuberías ó ductos de entrada y salida no hay intercambio libre de aire interior y el aire exterior al encierre. Puede ser del tipo autoventilado (el aire se hace circular por medios integrados a la máquina), ó ventilación forzada (el aire circula por medios externos y que no son parte de la máquina).

IV.1.2.- Montaje:

El tipo más común de montaje es el horizontal, anclado por medio de patas en el motor. También existen montajes verticales generalmente realizados por bridas, el uso más frecuente es en bombas, en estos casos particulares deberá tomarse esencial cuidado en el valor de carga axial que el motor debe soportar.

En general, las dimensiones de bridas, patas y flechas están normados por diferentes instituciones, de acuerdo al País de origen. Entre las más importantes se mencionan: NEMA, DINBS, CONNIE, CSA, KIS, etcétera

Dentro de las características de montaje se debe mencionar que la posición requerida para las cajas de conexiones, así como el sentido de giro del motor deberán tomarse en consideración.

El acoplamiento del motor a la máquina accionada puede realizarse por medio de cople rígido, cople flexible, poleas planas, bandas en V, catarinas, reductores, coples hidráulicos, coples magnéticos, etcétera

Dentro de estos acoplamientos se debe tener especial cuidado en la aplicación de poleas, catarinas y coples rígidos, ya que estos elementos pueden imponer cargas mecánicas excesivas a los rodamientos del motor.

IV.1.3.- Construcción:

Los principales elementos componentes de un motor eléctrico de inducción jaula de ardilla son los siguientes:

a) Núcleo Estator.- Compuesto por laminaciones de material ferromagnético con alta conductividad, bajas pérdidas por corrientes circulantes e histéresis. Su función es primordialmente la de conducir el campo magnético, y también sirve de soporte mecánico al devanado estator.

b) Devanado Estator.- Constituido por una serie de bobinas aisladas e insertadas en ranuras sobre el núcleo estator. Estas bobinas están formadas por conductores de cobre ó aluminio y materiales aislantes. Su principal función es la de crear el campo magnético rotatorio.

c) Núcleo Rotor.- Su construcción es similar a la del estator. Principalmente es el elemento que cierra el circuito magnético con el estator y sirve de soporte al devanado rotor.

d) Devanado del Rotor.- Puede ser un devanado similar al del estator ó por barras conductoras en cortocircuito (jaula de ardilla). Es el elemento que transforma la energía electromagnética en mecánica, al reaccionar bajo la influencia del campo magnético rotatorio.

e) Flecha ó Eje.- Este elemento es construido con acero y maquinados de precisión, su función es la de soportar las partes giratorias de la máquina y transmitir la energía motriz hacia la máquina conducida.

f) Rodamientos.- Existen varios tipos de rodamientos entre los que se puede citar tipo antifricción (baleros), de buje, tipo Kinsburry, etcétera. Tanto el tipo y tamaño de rodamiento, así como el sistema de lubricación empleado, dependerán de las cargas mecánicas impuestas por la aplicación, tales como cargas axiales, cargas radiales, posición del motor, velocidad de operación, temperatura de trabajo, dimensiones de la máquina, horas de vida requeridas, etcétera. Su función es el enlace entre las partes móviles y las estacionarias.

g) Soporte del Rodamiento.- Esta parte toma diferentes formas y dimensiones dependiendo de la construcción y requerimientos especiales del motor. Generalmente, en motores medianos (500 HP ó menos) forma parte integral de las tapas ó cubiertas laterales; sin embargo, en máquinas grandes puede ser un elemento independiente. Su principal función es soportar en forma adecuada al rodamiento y generalmente, suministrarle los medios para su sistema de lubricación.

h) Carcaza ó Soporte Principal.- Este elemento también toma formas diversas dependiendo del tamaño y tipo de construcción. Generalmente, en motores medianos forma parte integral de la base y el encierre ó cubierta exterior (carcaza).

En máquinas grandes puede constar de varios elementos. Su principal función es servir de base para integrar mecánicamente a todos los elementos y servir como medio para la fijación de la máquina.

i) Cubierta ó Encierre.- Este elemento también toma diferentes formas, en motores medianos está integrado a la carcasa y a las tapas externas, en grandes máquinas, es generalmente un elemento independiente que, a su vez, se ve modificado por los sistemas de enfriamiento empleados.

Su principal función es la de proteger las partes interiores de la máquina contra los agentes externos.

j) Sistema de Enfriamiento.- El sistema de enfriamiento puede ser desde simple radiación de calor, hasta complicados sistemas con intercambiadores de calor. Su función es la de remover la energía calorífica, productos de las pérdidas en los diferentes elementos de la máquina.

IV. 1. 4.- Voltajes Recomendados:

Deberá existir un equilibrio entre el costo del equipo e instalación, en relación con el voltaje a utilizarse; en general, se pueden mencionar como cierta guía, las siguientes relaciones:

- 1.- Motores Monofásicos, hasta 1 HP. 115 Volts.
- 2.- Motores Trifásicos, hasta 100 HP. 220 ó 440 Volts.
- 3.- Motores Trifásicos de 125 a 300 HP. 440 Volts.
- 4.- Motores Mayores 2300, 4000, 4160, 6000, 6600, 13000, 13200 Volts.

En algunos casos, las características de la instalación eléctrica que ya existe, determinará el voltaje a utilizarse.

IV.1.5.- Protecciones Integradas al Motor Eléctrico:

IV.1.5.1.- Detectores de Temperatura en Devanados y Rodamientos.

La función de estas protecciones es la de detectar la temperatura alcanzada en los puntos críticos del motor que generalmente son los devanados y los rodamientos. Esta señal de temperatura se utiliza según el tamaño e importancia del motor.

Los principales tipos de sensores utilizados en motores eléctricos son:

a). RID.- Es un elemento que da una señal de resistencia proporcional a la temperatura. Requiere de equipos auxiliares para utilizar la señal adecuadamente. Su tiempo de respuesta y precisión son buenos, se utilizan en máquinas grandes.

b). Termistor.- Es un semiconductor que tiene características resistencia-temperatura constantes hasta antes de su valor de calibración, arriba del cual, la resistencia se incrementa rápidamente. Esta propiedad se aprovecha en un dispositivo electrónico que operará las señales de alarma ó disparo. Debido a su masa muy pequeña, tiene un tiempo de respuesta muy rápido.

c). Termopar.- Es un elemento formado por un par galvánico que genera una Fuerza Electromotriz proporcional a la temperatura. Su utilización se considera adecuada sólo para tener lecturas de referencia, ya que la caída en las terminales puede afectar notablemente las lecturas.

d). Termostato.- Es un interruptor formado por un elemento bimetálico calibrado para operar a una temperatura establecida. Cuando se sobrepasa la temperatura de calibración, opera el interruptor, que puede estar en serie con la bobina de arranque ó cerrar una alarma. Su tiempo de respuesta es largo y tiene limitaciones en cuanto a la corriente y voltajes que pueda manejar. Su aplicación es generalmente en motores con menos de 300 HP.

IV.1.5.2.- Detectores de Vibración.

Son dispositivos colocados generalmente en las chumaceras, que emiten una señal proporcional ya sea a la amplitud de vibración, a la velocidad de vibración o a la aceleración de vibración. Esta señal se podrá convertir por un dispositivo adecuado, en lecturas a un tablero de control ó directamente en señales de alarma ó disparo para un valor límite seleccionado.

IV.1.5.3.- Detector de Movimiento Axial.

Es un dispositivo que detecta la posición axial del rotor en un determinado momento, ó que fija los límites dentro de los cuales, la máquina puede operar satisfactoriamente. Su principal objetivo es proteger las chumaceras.

IV.1.5.4.- Relevador de Sobrecorriente y Temperatura.

Es un dispositivo bimetálico utilizado generalmente en motores muy pequeños, el cual maneja la corriente de línea consumida por el motor. Al obtener la temperatura de calibración, abre sus contactos sacando al motor de la línea; el calentamiento del elemento bimetálico se debe a la acción combinada de temperatura y corriente.

IV.1.5.5.- Calefactores de Espacio.

Estos dispositivos tienen por objetivo proteger a los aislamientos de posibles condensaciones de agua, las que pudieran ocurrir cuando el motor está desenergizado. Cuando el motor está fuera de operación, se energizan estos elementos, suministrando una fuente de calor que mantenga las partes internas del motor a una temperatura mayor que la del medio ambiente, evitando de esta forma la condensación. Se utilizan generalmente en máquinas grandes, instaladas en lugares húmedos.

IV.1.5.6.- Supresores de Impulso.

Son dispositivos conectados a las terminales del motor con la finalidad de proveer trayectorias de descarga a picos transitorios en la línea. Generalmente, se utilizan en máquinas mayores de 100 HP.

IV.1.5.7.- Aislamiento y Elevación de Temperatura.

Para que la vida y operación de un sistema de aislamiento sea adecuada, deberá existir compatibilidad entre la temperatura desarrollada por la máquina y la clase de aislamiento seleccionada. En la actualidad existen las siguientes clases de aislamiento:

- a) Clase A para operar satisfactoriamente hasta 105 grados centígrados.
- b) Clase B para operar satisfactoriamente hasta 130 grados centígrados.

c) Clase F para operar satisfactoriamente hasta 155 grados centígrados.

d) Clase H para operar satisfactoriamente hasta 180 grados centígrados.

La temperatura total de la máquina puede separarse en dos componentes; la temperatura del medio ambiente y el incremento de temperatura de la propia máquina.

Por ejemplo; una máquina con aislamientos clase F, puede trabajar en un lugar con una temperatura ambiente hasta de 40 grados centígrados, permitiendo un incremento de temperatura propio de la máquina de 105 grados centígrados, dando un rango de protección de 10 grados centígrados. Bajo estas condiciones, el aislamiento deberá operar satisfactoriamente a 145 grados centígrados de temperatura.

Deberá de tomarse en consideración, al seleccionarse una máquina, que la temperatura ambiente, ya sea natural o artificial y la elevación sobre el nivel del mar, influirá notablemente en la temperatura final de operación, y por tanto en la selección de la clase de aislamiento adecuada.

En la actualidad, ya es difícil encontrar, motores con aislamiento clase A; la mayor parte de los fabricantes, tanto Nacionales, como Extranjeros; utilizan ya el aislamiento clase F, (como estándar de fabricación).

IV.1.5.8.- Factor de Servicio.

Se define al factor de servicio de un motor, como aquel valor especificado en la placa, que al ser multiplicado por la potencia nominal, dé la capacidad máxima que puede obtenerse en forma continua. Bajo estas condiciones, el motor no desarrollará una temperatura mayor que la clase de su sistema de aislamiento, siempre y cuando la temperatura ambiente y la altura sobre el nivel del mar sean los especificados.

Se deberá considerar que los valores de eficiencia, factor de potencia, par, deslizamiento y corriente son diferentes a las de la potencia equivalente sin considerar al factor de servicio.

El factor de servicio se deberá usar siempre como un margen de seguridad, ya que su aplicación en forma total es riesgosa, debido a posibles variaciones en el balanceo y valor del voltaje, la frecuencia ó la carga demandada.

IV.1.5.9.- Accesorios.

Además de los dispositivos de protección mencionados con anterioridad, se pueden requerir otro tipo de accesorios tales como: Bases, rieles tensores, acabados de pintura especiales, tropicalizados, tratamientos a prueba de corrosión, sellos especiales, protección contra polvos, etcétera

La aplicación de estos accesorios, dependerá de los requerimientos tanto de instalación como de las condiciones ambientales en que operará el motor y será de vital importancia el tomarlos en cuenta, antes de seleccionarlo.

IV.2.- Acoplamientos.

Las bombas centrífugas están conectadas a sus impulsores por medio de acoplamientos de una u otra clase, excepto las unidades conectadas en forma compacta, en las que el impulsor está montado en una extensión de la flecha de la unidad motriz. Los acoplamientos pueden ser flexibles ó rígidos. Un acoplamiento que no permite movimiento relativo axial o radial entre las flechas del impulsor y de la bomba se llama acoplamiento rígido. Conecta las dos flechas sólidamente y, en efecto, las convierte en una sola flecha. El uso de acoplamientos rígidos está principalmente restringido a bombas verticales.

Un acoplamiento flexible, por otro lado, es un dispositivo que conecta dos flechas, pero es capaz de transmitir torque de la flecha del impulsor a la flecha impulsada, pero tolerando un pequeño desalineamiento (angular, paralelo ó una combinación de ambos). Contra las creencias populares, el desalineamiento es siempre indeseable, y no deberá tolerarse permanentemente.

Causa chicoteo de las flechas, aumenta el empuje de los cojinetes de la bomba y del impulsor y generalmente resulta un mantenimiento excesivo y falla potencial del equipo.

Un acoplamiento flexible debe permitir también algún desplazamiento lateral de las flechas para que sus dos extremos puedan acercarse ó separarse bajo la influencia de la expansión térmica, fluctuación hidráulica, ó desplazamiento de los centros magnéticos de los motores eléctricos, y moverse así sin imponer empuje excesivo en los cojinetes. Este aspecto del diseño de los coples flexibles se analizará posteriormente a detalle.

IV.2.1.- Acoplamientos Rígidos.

IV.2.1.1.- Acoplamientos de Abrazadera.

El acoplamiento de abrazadera, consiste básicamente de una manga dividida provista de tornillos de manera que pueda prensarse en los extremos adjuntos de las dos flechas y formar una conexión sólida.

Generalmente, se incorporan cuñas axiales y circulares en el acoplamiento de abrazadera para que la transmisión del torque y del empuje no se haga solamente dependiendo de la fricción de la sujeción.

IV.2.1.2.- Acoplamientos de Compresión.

Un acoplamiento de compresión, es igualmente en esencia un acoplamiento rígido. La posición central del acoplamiento está formada de un manguito ranurado, taladrado para ajustarse a las dos flechas y cónico en su diámetro exterior del centro a ambos extremos.

Las dos mitades del acoplamiento en sí, están acabadas con perforaciones para adaptarse a esa conicidad. Cuando se aprietan una a la otra con tornillos, el manguito se comprime contra las dos flechas y la sujeción por fricción transmite el torque sin el uso de cuñas.

IV.2.2.- Acoplamientos Flexibles.

IV.2.2.1.- Acoplamientos de Pasador y Amortiguador.

Un acoplamiento de pasador y amortiguador es un acoplamiento flexible con pasadores sujetos a una de sus mitades, los cuales atraviesan los amortiguadores que se montan en la otra mitad del acoplamiento en la otra flecha.

Los amortiguadores están hechos de hule ó de otro material compresible para dar la flexibilidad necesaria. Los pernos impulsores tienen un ajuste fácil de deslizamiento en los manguitos; las pequeñas variaciones longitudinales, por lo tanto, se contrarrestan mientras los ligeros errores de angularidad se compensan por la flexibilidad del hule.

IV.2.2.2.- Acoplamientos Flexibles Todo Metálicos.

Un acoplamiento totalmente metálico es aquel cuyas partes están hechas completamente de metal. Algunos de estos acoplamientos dependen de la flexibilidad de las placas metálicas de resortes, mientras que otros dependen del desplazamiento angular que es posible con dos estrías conectadas con una manga también estriada.

IV.2.2.3.- Acoplamiento de Flecha Flotante.

Los acoplamientos flexibles ordinarios, están hechos para conectar las flechas impulsora e impulsada con los extremos relativamente cerca uno de otro y son adecuados para desalineamientos limitados. Algunas veces, sin embargo, se tienen que tomar medidas para un mayor desalineamiento, ó cuando por razones especiales se tienen que separar los extremos de las flechas del impulsor y de la bomba a una distancia considerable.

Tal es el caso, por ejemplo, con los diseños de bombas de succión en el extremo en los casos que el conjunto de rotor y cojinete se desmonta retirándolo axialmente hacia el impulsor.

Si no se puede retirar fácilmente ni la bomba ni el impulsor, es conveniente separar los extremos de las flechas del impulsor y de la bomba, lo suficiente para permitir que se pueda retirar el rotor de la bomba. Para este objeto, es necesario un impulsor flexible fácilmente desmontable de suficiente longitud.

El acoplamiento de extensión ó de manga separadora se usa comúnmente en las unidades de bombeo que manejan líquidos calientes y que, por lo tanto, están sujetas a expansión y a posible desalineamiento. Su propósito es evitar desalineación perjudicial con una separación mínima de los extremos de las flechas impulsora e impulsada. Generalmente consisten de dos elementos de engrane sencillo conectados por una manga.

El acoplamiento de flecha flotante consiste de dos elementos flexibles conectados por una flecha que debe estar soportada en cada extremo por los propios elementos flexibles.

IV.2.2.4.- Acoplamientos de Embrague.

Los embragues comunes en disco se usan raras veces para conectar una bomba centrífuga a un impulsor por dos razones principales. La primera es que la mayoría de los diseños de embragues imponen una alta carga de empuje adicional en el cojinete de empuje de la bomba; la segunda es que se necesita un ajuste muy preciso entre las partes del embrague y este resulta difícil de mantener. El diseño de embrague de rotación libre se ha usado para conectar impulsores a bombas, especialmente en unidades de impulsor dual, y los más provechosos de estos diseños tienen un acoplamiento flexible incorporado dentro de la unidad de embrague. También se usa un acoplamiento de embrague con pesas careadas en la mitad del impulsor que se oprimirán contra la superficie de un tambor en la mitad impulsada por la fuerza centrífuga.

IV.2.2.5.- Acoplamientos para Impulsor Dual.

En instalaciones de bombas con impulsor dual, generalmente es conveniente tener un impulsor inactivo para ahorrar energía ó evitar desgaste. Las máquinas de combustión interna, sin embargo, no pueden dejarse en movimiento sin trabajar y deben desconectarse. El tipo ideal de acoplamiento para esas unidades es aquel que puede desconectarse y volverse a conectar fácilmente.

IV.2.3.- Criterios de Selección de Acoplamientos.

Una vez analizadas las características de los acoplamientos es importante establecer, las consideraciones primarias de selección, así como las ventajas y los tipos disponibles de coples en aplicaciones reales.

IV.2.3.1.- Consideraciones Primarias de Selección.

- Potencia a transmitir.
- Variación de torque.
- Velocidad.
- Distancia entre terminales de flecha.
- Alineamiento.
- Posición de equipo.
- Juego axial y/o radial.
- Facilidad de mantenimiento.
- Disponibilidad de refacciones.
- Fabricación Nacional.
- Tiempo de entrega.
- Precios.
- Efectos del medio ambiente.

La tendencia actual está encaminada a los coples que se flexionan como son los elastoméricos y los de membranas, alejándose de los que se deslizan, como son los engranes y rejillas.

IV.2.3.2.- Ventajas que se Presentan en los Coples Elastoméricos.

- No requieren lubricación.
- Momentos y fuerzas de reacción en los rendimientos son bajos.
- Pueden ser diseñados para vida infinita.
- Mantienen mejor el llamado Balance Dinámico.
- Sin mantenimiento.
- Rapidez de instalación.
- Sin roce metálico entre partes.

Es importante asegurarse, al seleccionar un acoplamiento, que el espaciador que especifica API 610 pueda ser removido fácilmente, y de ser posible, sin desmontar de éste el banco de membranas. Así mismo, el cople deberá incorporar en su diseño la garantía de que, al sobrevivir un fallo del elemento flexible, el espaciador no se convierta en un misil destructivo, no sólo para el equipo, sino para los equipos y el personal que se encuentra en el área.

Algunos de los tipos disponibles de acoplamiento y su aplicación:

- Engranajes, rejillas y cadenas.- La transmisión de potencia a través de estos elementos mecánicos, requieren lubricación. En su versión de espaciador son normalmente más caros que los flexionantes, permiten mayores desalineamientos. Se les puede utilizar en un gran rango de transmisión de potencia.

- Elemento flexible elastomérico.- El elemento flexible, que puede ser de hule, Buna N, etcétera, transmite la potencia y permite grandes desalineamientos. Debe ser un cople económico, no requiere mantenimiento. Una posible desventaja es que permite el efecto látigo en arranques y fluctuaciones de torque. No se usa en medios corrosivos ó extremos de temperatura.

- Coples rígidos.- Aplicación limitada a equipos que absorban desalineamientos. Por ejemplo: Bombas verticales, donde este tipo de cople con una función retentiva de parte del equipo, no sólo la de transmitir potencia. Se fabrican para un gran rango de transmisión de torques en versiones sencillas, ajustables y tipo espaciador. Aplicación limitada también a velocidades relativamente bajas.

IV.2.4.- Normas Aplicables.

a) Coples flexibles y guardas entre motores y bombas serán suministrados por el fabricante de la bomba, a menos que se especifique lo contrario.

b) La marca, modelo, materiales, "rating" y el arreglo de montaje, serán especificados por el comprador. Se utilizará un cople tipo espaciador de longitud nominal mínima de 5" (127 milímetros), a menos que se especifique lo contrario. La longitud del espaciador permitirá el desmontaje del cople, los rodamientos, el sello y/o rotor, sin mover el motor ó las conexiones de succión y descarga.

c) La información dimensional acerca de flechas y cuñeros, así como movimientos de la flecha por efectos térmicos será proporcionada por el vendedor de la bomba al vendedor del cople.

d) Los coples serán correctamente acuñados en sitio. Los ajustes cilíndricos serán lo suficientemente ligeros para permitir un desmontaje rápido y sencillo de los mamelones en el campo, sin necesidad de calentamiento. Otros métodos de montaje serán según acuerdo específico entre comprador y vendedor. Los mamelones se suministrarán con barrenos roscados (3/8" mínimo), para auxiliar en el desmontaje.

e) Los coples y los adaptadores entre cople y flecha serán calculados por lo menos a la potencia máxima del motor incluyendo cualquier factor de servicio. Un factor de servicio mínimo de 1.5 será aplicado a coples de elemento flexible.

f) Los diámetros de localización de los coples y los diámetros de referencia para alineamiento serán concéntricos al diámetro de la flecha dentro de 0.0005 pulgadas por pulgada de diámetro de la flecha con una tolerancia mínima aplicable de 0.001 pulgadas y máxima de 0.003 pulgadas. Las caras de localización y las de referencia de alineamiento serán perpendiculares a las superficies cilíndricas dentro de estos mismos límites, los demás diámetros serán concéntricos y perpendiculares al eje de rotación dentro de 0.005 pulgadas.

g) Si se especifica por el comprador, se recomienda por el vendedor, los coples serán dinámicamente balanceados de acuerdo a la Norma AGMA 515.02. La clase AGMA de balanceo será de común acuerdo entre vendedor y comprador.

h) Si es especificado por el comprador los coples y su montaje cumplirán con la norma API 671.

i) Para evitar que los rotores en motores de flechas flotantes rocen con los puntos de apoyo de los rodamientos, se instalarán coples de limitado movimiento axial. Estos serán de acuerdo a normas NEMA.

j) Si se utilizan motores de flecha sólida en bombas verticales el cople será todo de acero y del tipo rígido ajustable.

k) Cuando se utilice un motor de flecha sólida en bombas verticales equipadas con sello mecánico, el cople deberá ser del tipo espaciador. El espaciador será de longitud suficiente para permitir el reemplazo del ensamble del sello, incluyendo la manga sin desmontar el motor. El medio cople de la bomba será diseñado para permitir su desmontaje sin necesidad de calentamiento.

l) Cuando el proveedor de la bomba no esté obligado a montar el motor, entregará el medio cople completamente maquinado a el fabricante del motor junto con las instrucciones necesarias para su montaje, de acuerdo a lo especificado por el comprador en las hojas de especificación.

m) Se suministrarán guarda coples desmontables. Estos cumplirán con las normas y requerimientos para guarda coples de OSHA (Organización de Salud y Seguridad Ocupacional).

IV.3.- Curvas del Sistema.

Ya que la curva "*Gasto-Carga*" de una bomba, proporciona información relativa a la carga diferencial que ésta es capaz de desarrollar a diferentes rangos de flujo, es necesario que la curva del sistema, de manera homogénea, muestre la carga diferencial que demanda a diferentes rangos de flujo. Por lo anterior, para desarrollar la curva de un sistema, se deben conocer dos elementos básicos:

- 1.- La carga de succión, disponible para la bomba a varios gastos.
- 2.- La carga de descarga, demandada por el sistema, a varios gastos.

Restando la carga de succión disponible para la bomba a la carga de descarga, a una capacidad dada, obtendremos la carga diferencial demandada por el sistema a esa capacidad ó gasto.

Graficando varios puntos, variando los gastos, se puede dibujar la curva del sistema, misma que describe los requerimientos de carga del sistema a través de su rango completo de operación.

Una vez contando con la curva del sistema y conociendo el punto en el que se espera que el sistema opere normalmente, se procede a comparar con las diversas alternativas de curvas "*Gasto-Carga*" correspondientes a las diferentes bombas consideradas para elegir finalmente la que será integrada al sistema.

Ya que las unidades de ambas curvas son homogéneas, se procede a graficar la curva "*Gasto-Carga*" de la bomba junto con la "*Curva del Sistema*", encontrando con esto, el punto de operación que será precisamente el punto en que las dos curvas se intersectan. En este punto, la demanda del sistema coincide con la capacidad de la bomba.

Se insiste en hacer notar, que el punto de intersección de las curvas "*Sistema*" y "*Bomba*", es el único punto posible en que el conjunto *SISTEMA-BOMBA* operará.

A la derecha del punto de intersección, la demanda del sistema excede la capacidad de la bomba y por lo tanto, no se puede operar a flujos mayores sin cambiar las características del sistema (reduciendo demanda de carga) ó de la bomba (aumentando su capacidad de carga).

A la izquierda de este punto, se puede observar, que la capacidad de la bomba, excede a la demanda del sistema, por lo que si el proceso lo requiere y el usuario lo acepta, el conjunto sistema-bomba, puede ser operado en esa zona, utilizando alguno de los dos caminos siguientes:

1.- Instalando una válvula de control de flujo en la descarga de la bomba, de tal manera que al estar cerrándola, se vaya incrementando la demanda de carga del sistema, por pérdidas de fricción, con lo cual se lograría escalonar la curva del sistema.

2.- Utilizando un accionador de velocidades variable para mover a la bomba, con lo cual, modificando la velocidad de la bomba, se pueden modificar las características de la curva "Gasto-Carga" de la bomba.

Debido a que la bomba operará solamente en un punto de su curva específica; y que ese punto es precisamente el de intersección con la "Curva del Sistema", es muy importante el definir con precisión el punto de operación deseado, en el que el sistema opera realmente y en cuya definición se basará totalmente la selección hidráulica del tamaño de la bomba a utilizar.

Cualquier fabricante, una vez seleccionado el "Tipo" de bomba, procede a definir su tamaño, procurando ofrecer siempre aquella en que el punto de operación solicitado se ubique con respecto a la curva específica de la bomba en eficiencia máxima ó bien cerca de ella, con el fin de lograr una ventajosa selección.

Lo anterior, pierde totalmente validez en la operación real, si el punto definido como de "operación" (por el usuario) para selección, resultará considerablemente diferente al real, bien sea debido a errores en sus cálculos de obtención, ó bien a "protecciones" definidas durante la etapa de proyecto y selección de equipo.

A la derecha del punto de intersección, la demanda del sistema excede la capacidad de la bomba y por lo tanto, no se puede operar a flujos mayores sin cambiar las características del sistema (reduciendo demanda de carga) ó de la bomba (aumentando su capacidad de carga).

A la izquierda de este punto, se puede observar, que la capacidad d la bomba, excede a la demanda del sistema, por lo que si el proceso lo requiere y el usuario lo acepta, el conjunto sistema-bomba, puede ser operado en esa zona, utilizando alguno de los dos caminos siguientes:

1.- Instalando una válvula de control de flujo en la descarga de la bomba, de tal manera que al estar cerrándola, se vaya incrementando la demanda de carga del sistema, por pérdidas de fricción, con lo cual se lograría escalonar la curva del sistema.

2.- Utilizando un accionador de velocidades variable para mover a la bomba, con lo cual, modificando la velocidad de la bomba, se pueden modificar las características de la curva "Gasto-Carga" de la bomba.

Debido a que la bomba operará solamente en un punto de su curva específica; y que ese punto es precisamente el de intersección con la "Curva del Sistema", es muy importante el definir con precisión el punto de operación deseado, en el que el sistema opera realmente y en cuya definición se basará totalmente la selección hidráulica del tamaño de la bomba a utilizar.

Cualquier fabricante, una vez seleccionado el "Tipo" de bomba, procede a definir su tamaño, procurando ofrecer siempre aquella en que el punto de operación solicitado se ubique con respecto a la curva específica de la bomba en eficiencia máxima ó bien cerca de ella, con el fin de lograr una ventajosa selección.

Lo anterior, pierde totalmente validez en la operación real, si el punto definido como de "operación" (por el usuario) para selección, resultará considerablemente diferente al real, bien sea debido a errores en sus cálculos de obtención, ó bien a "protecciones" definidas durante la etapa de proyecto y selección de equipo.

CAPÍTULO V

SELECCIÓN DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.

CAPÍTULO V.

SELECCIÓN DE BOMBAS CENTRIFUGAS .

V.1.- Criterios de Selección.

Probablemente el mayor problema con que se encuentra un Ingeniero al diseñar un sistema de bombeo, es la elección de la clase, tipo, capacidad, columna y detalles de la bomba ó bombas que habrán de usarse en un sistema. Hay tal variedad de bombas útiles, y tantas aplicaciones posibles para cada una de ellas, que generalmente es difícil estrechar la elección a una unidad específica.

Las bombas se eligen generalmente, por uno de tres métodos:

1.- El cliente suministra detalles completos a uno ó más fabricantes, de las condiciones de bombeo y pide una recomendación y oferta de las unidades que permanezcan más apropiadas para la aplicación.

2.- El comprador efectúa un cálculo completo del sistema de bombeo procediendo luego a elegir la unidad más adecuada de catálogos y gráficas de características.

3.- Se usa una combinación de estos dos métodos para llegar a la selección final.

La selección del fabricante se usa para bombas grandes en aplicaciones con condiciones poco usuales, y en casos en que el Ingeniero no tenga tiempo o no desee efectuar él mismo la elección de la bomba. Aun cuando esto parece relevar al Ingeniero de mucha de la responsabilidad de la elección de la bomba, de hecho no es así. Las recomendaciones y ofertas deben evaluarse y compararse, y para hacer esto, se requiere un conocimiento completo del problema de bombeo, los méritos relativos de varios diseños y la economía de la instalación.

4.- La tabla siguiente agrupa los datos esenciales requeridos por cualquier fabricante de bombas, antes de que pueda preparar una recomendación y una oferta. Muchos fabricantes, tienen formas que puede llenar el Ingeniero sin pedir una recomendación. Estos pueden ser sumamente útiles, debido a que ayudan a evitar la omisión de datos importantes.

Cuando se suministran datos a un fabricante, debe tenerse extremo cuidado de ver que se den todos los datos concernientes a la instalación. Los datos cuando no están completos, pueden conducir a una recomendación equivocada ó errónea, debido a que el Ingeniero que elige la unidad puede hacer suposiciones falsas.

TABLA V.1.- Compendio de Datos Esenciales que se Requieren en la Selección de Bombas Centrífugas.

1.- Número de unidades requeridas.

2.- Naturaleza del líquido que habrá de bombearse. Es el líquido.

a). Agua fresca ó salada, ácida ó alcalina, aceite gasolina, lodo ó pulpa de papel.

b). Frío ó caliente; y si es caliente, a qué temperatura. Cuál es la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

c). Cuál es su densidad.

d). Es viscoso ó no.

e). Limpio ó libre de materias extrañas ó sucio y abrasivo.

En este último caso, cuál es el tamaño y naturaleza de los sólidos y son éstos abrasivos. Si el líquido es de naturaleza pulposa, cuál es la consistencia, expresada ya sea en porcentaje (%) ó en Kg./metros cúbicos de líquido. Cuál es el material en suspensión.

f). Cuál es el análisis químico, Número de pH, etcétera Cuáles son las variaciones permisibles en este análisis. En caso de ser corrosivo, cuál ha sido la experiencia pasada, tanto con materiales satisfactorios, como no satisfactorios.

3.- Capacidad. Cuál es la capacidad requerida, así como la cantidad máxima y mínima de líquido, que habrá de desarrollar la bomba.

4.- Condiciones de succión. Existe:

- a). Una elevación de succión.
- b). O una columna de succión.
- c). Cuál es la longitud y el diámetro del tubo de succión.

5.- Condiciones de descarga.

- a) Cuál es la columna estática. Es constante ó variable.
- b) Cuál es la columna de fricción.
- c). Cuál es la presión de descarga máxima contra la que habrá de trabajar la bomba.

6.- Columna total. Variaciones en los puntos 4 y 5 causará variaciones en la columna total.

7.- Es el servicio continuo ó intermitente.

8.- Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal ó vertical. En este último caso.

- a). Es pozo húmedo.
- b). Es pozo seco.

9.- Qué tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba, y cuáles son las características de ésta.

10.- Qué limitaciones de espacio, peso ó transporte habrán de encontrarse.

11.- Localización de instalación.

- a). Localización geográfica.
- b). Elevación sobre el nivel del mar.
- c). Instalación interior ó a la intemperie.
- d). Variación de las temperaturas ambientes.

12.- Existen algunos requisitos ó preferencias marcadas con respecto a diseño, construcción ó características de las bombas.

13.- La propuesta, la mayor parte de los fabricantes combinan su recomendación y proposición, en un sólo documento que se llama una propuesta. La propuesta usual, contiene la siguiente información: Número de modelo de la bomba, clase, tipo, construcción, detalles y materiales, tipo de motor para el que se ha diseñado la bomba, curvas de operación con tabulaciones, peso unitario, precio, tiempo de entrega de la bomba después de recibida la orden, y disposiciones ó acuerdos legales con respecto a planos, garantías, instalación de la unidad, fecha de embarque, condiciones de pago, impuestos, seguros, transportes, etcétera.

Incluido con la propuesta típica viene una ilustración de la bomba y un catálogo. Si la bomba debe construirse especialmente para el comprador, puede no incluirse el catálogo debido a que el fabricante puede no tener boletines disponibles.

14.- Cálculos en la elección de una bomba: Básicamente, hay cinco pasos en la elección de cualquier bomba (sea grande ó pequeña, centrífuga, recíprocante ó rotatoria). Estos pasos son:

14.1.- Un diagrama de la disposición de la bomba y tuberías.

14.2.- Determinar la capacidad.

14.3.- Calcular la columna total.

14.4.- Estudiar las condiciones del líquido.

14.5.- Elegir la clase y el tipo. Por conveniencia en estimaciones rápidas, estos cinco pasos se conocen como: Tamaño, clase y mejor compra.

15.- Demanda de potencia: La potencia requerida para mover cualquier clase ó tipo de bomba puede calcularse como:

$$P = fhs/7620e \quad \text{Ec. 5.1}$$

donde:

P = demanda de potencia en [HP]

f = gasto en [lps]

h = columna total de la bomba en [m de líquido]

s = densidad del líquido.

e = eficiencia de la bomba expresada en [decimales].

Esta ecuación, es adecuada para todos los líquidos con una viscosidad igual a la del agua; para viscosidades distintas úsese la Fig. V.1.

Series L, Single Stage Booster Pumps
LM = 1750 RPM, LP = 3450 RPM 60 Hz

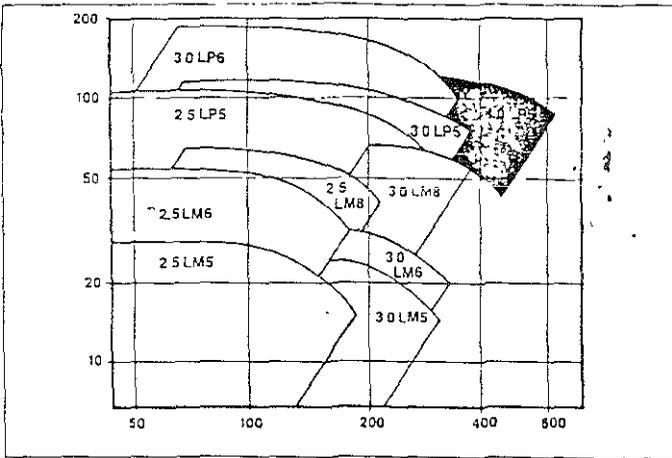


Fig. V.1.- Gráfica de Caballaje para Bombas.

16.- Cambio de Características; el alterar la velocidad ó diámetro del impulsor de una bomba centrífuga, altera las características de la unidad. Existen tres reglas para relacionar el comportamiento de la bomba con el cambio de velocidad y tres para el cambio de diámetro.

Con un impulsor de diámetro constante (1) la capacidad de la bomba varía directamente con la velocidad, (2) la columna varía con el cuadrado de la velocidad, (3) la potencia requerida varía con el cubo de la velocidad. A velocidad constante, (1) la capacidad varía directamente con el diámetro del impulsor, (2) la columna varía con el cuadrado del diámetro del impulsor, (3) la potencia varía con el cubo del diámetro del impulsor. Estas reglas son reales aproximadamente para todos los tipos de bombas centrífugas.

17.- Coples Flexibles; para elegir un cople flexible para una bomba tiene que conocerse, la potencia que debe transmitir, así como la velocidad de la rotación, el factor de servicios aplicable. Este último punto compensa las cargas por choques y otras variaciones en la potencia de entrada. Los coples vienen generalmente clasificados en caballos por 100 RPM, determinados de:

$$C = 100(PF)/S \quad \text{Ec. 5.2}$$

donde:

- C = capacidad del cople, en [HP] por 100 RPM
- P = entrada de potencia a la bomba en [HP]
- F = factor de servicio del cople
- S = velocidad del cople en [RPM]

Los factores de servicio varían de un fabricante de coples a otro, y según el motor que se usa para la bomba.

18.- Velocidad Específica; es una práctica común recomendable, el comprobar la velocidad específica de una bomba propuesta para asegurarse que se encuentra dentro de los límites normales para el tipo de bomba elegido.

V.2.- Curvas de Comportamiento y Hojas de Datos.

A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo (rotativas y reciprocantes), una bomba centrífuga que se opera a velocidad constante, puede suministrar cualquier capacidad de cero a un máximo, dependiendo de la columna, diseño y succión. Las curvas características (Fig. V.2), muestran la relación existente entre columna de bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un tamaño determinado de carcasa.

Es habitual dibujar la columna, potencia y eficiencia en función de la capacidad a velocidad constante, como en la Fig. V.2. Pero en casos especiales, es posible señalar en las gráficas tres variables cualesquiera contra una cuarta. La curva de capacidad de columna, conocida como HQ (Fig. V.2), muestra la relación entre la capacidad de columna total, y puede ser creciente, decreciente, con gran inclinación ó casi horizontal, dependiendo del tipo de impulsor usado y de su diseño. En A en la Fig. V.2, la columna desarrollada por la bomba es de 43.80 m de líquido, capacidad de 67 lps.

A 36.50 m de columna B, la capacidad de la bomba sube a 93.80 lps.

Cuando una bomba se opera a varias velocidades, puede dibujarse una gráfica (Fig. V.3), que muestre el comportamiento completo para una elevación de succión dada.

Para formar este tipo de gráfica, las curvas HQ, se trazan para las diferentes velocidades que se consideran. Luego se sobreponen las curvas que tienen la misma eficiencia. Estas curvas de eficiencia constante, llamadas también curvas de isoeficiencia, permiten encontrar la velocidad requerida y la eficiencia para cualesquiera condiciones de columna capacidad dentro de los límites de la gráfica.

El primer grupo de curvas características (Fig. V.2), muestra el comportamiento de la bomba para un diámetro de impulsor específico, generalmente el diámetro máximo. Sin embargo, habitualmente pueden usarse varios diámetros en una cubierta dada. Las curvas de la Fig. V.4, muestran el comportamiento de una bomba con impulsores de varios diámetros. La línea gruesa en la Fig. V.4, encierra el área de aplicación práctica para este diseño particular.

Sin embargo, cuando se tiene a la mano una línea completa de bombas de un diseño determinado, el área fuera de la línea gruesa está generalmente cubierta por otros tamaños. Así puede usarse una gráfica (Fig. V.5), llamada gráfica de características compuestas para dar una idea completa de la columna y capacidad obtenibles cuando se usa una línea determinada. Es práctica común el referirse a una línea de bombas por número de figura ó modelo. La línea gruesa en la Fig. V.5, señala el tamaño de la bomba de la Fig. V.4.

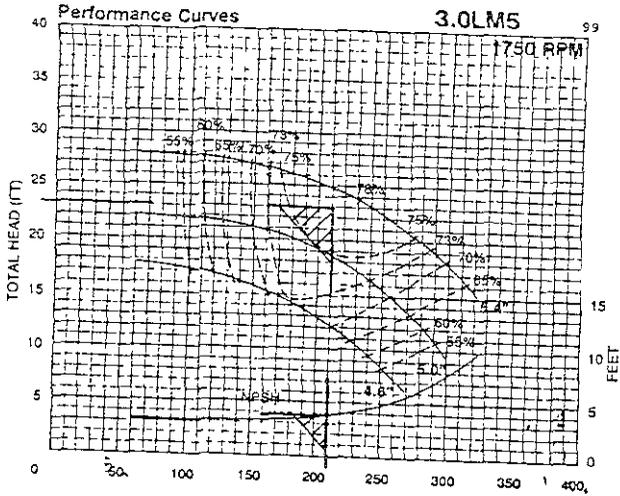
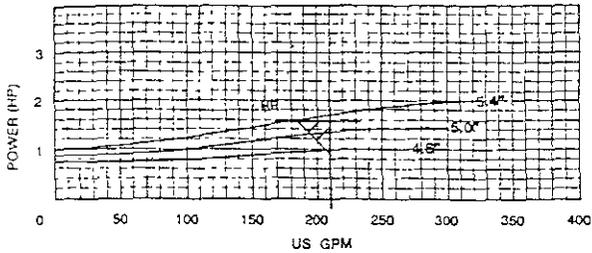


Fig. V.2.- Curvas Características Típicas para una Bomba Centrífuga.



Construction Materials		
Stainless Steel (401 S S)	Shaft	Tungsten Carbide
Stainless Steel (304 S S)	Impeller Impeller Wear Ring Coupling	Cast Iron
	Guards Impeller Inlet Cone	SG Iron
Stainless Steel	Impeller Locking Nut and Washer	EPDM Rubber
	Other Seal Parts	Brass
		Shaft Seal
		Pump Housing, Motor Stool
		Coupling
		Seal and Housing O Rings
		Air Vent Screw

Fig. V.3.- Curvas Columna-Capacidad para Distintas Velocidades.

D 4200 11.03/2

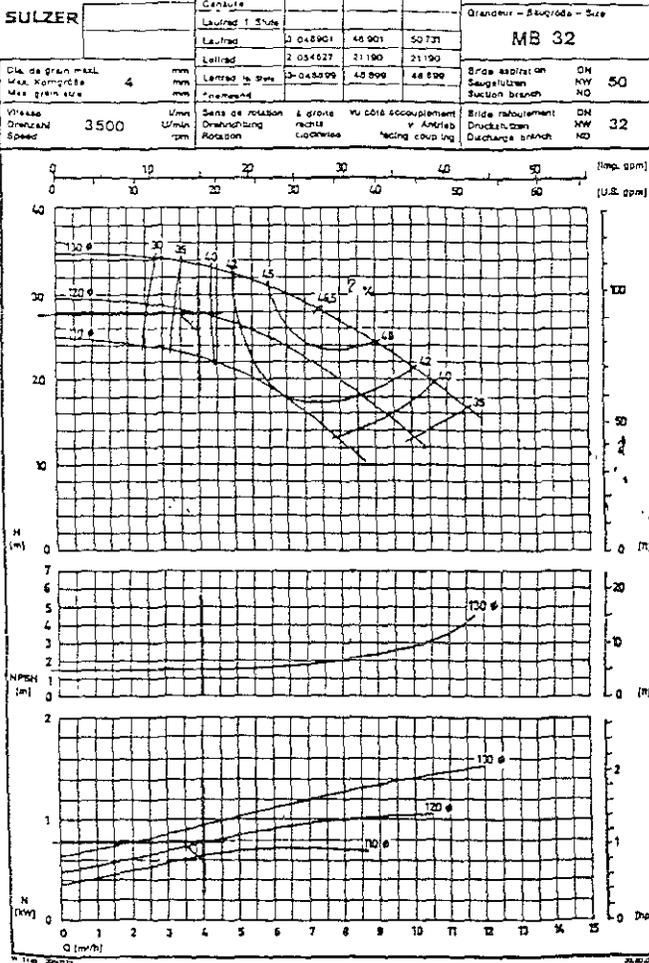


Fig. V.4.- Características de una Bomba para Diferentes Diámetros del Impulsor Dentro de la Misma Cubierta.

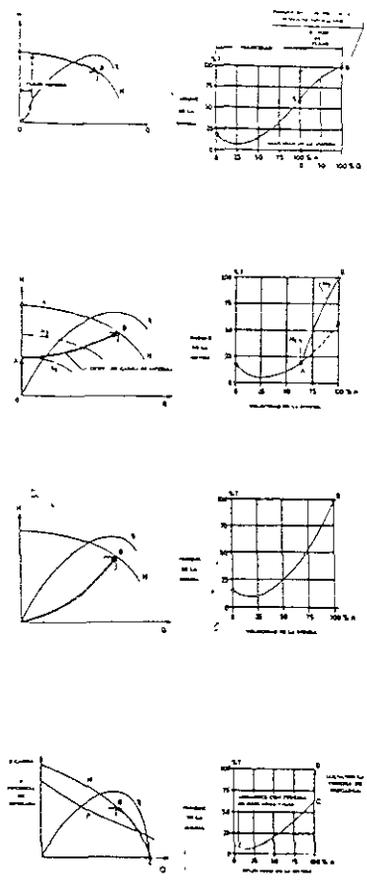


Fig. V.5.- Gráfica de Características Compuestas para una Bomba Centrífuga Típica.

Aún cuando las bombas centrífugas pueden seleccionarse, y generalmente se seleccionan, de tablas de clasificación; las curvas de comportamiento dan una imagen mucho más clara de las características de la unidad a una velocidad dada.

Las curvas de eficiencia, generalmente, se eliminan de una gráfica de características compuestas debido a que es difícil trazarlas. Sin embargo, para objetivos de selección fácil, tales gráficas proporcionan los datos normalmente requeridos (capacidad, columna, tamaño de la bomba y HP del motor). Una vez que se ha elegido el tamaño de la bomba, puede usarse como referencia una curva como la mostrada en la Fig. V.4, para el diámetro del impulsor, eficiencia y otros detalles.

Las Curvas de Columna de Sistema, se obtienen combinando la curva de columna de fricción del sistema con la columna estática del sistema y las diferencias de presiones que puedan existir. Una curva de columna de fricción, es una curva de la relación entre el flujo y la fricción en los tubos, válvulas y accesorios de las líneas de succión y descarga. Puesto que la columna de fricción, varía aproximadamente en forma proporcional, al cuadrado del flujo, la curva es generalmente parabólica. La columna estática, es la diferencia en elevación entre los niveles líquidos de la succión y la descarga.

Las características generales del comportamiento de las bombas centrífugas están íntimamente relacionadas con la trayectoria del fluido, a través de su impulsor.

Algunas veces, las bombas de flujo axial, las de flujo radial y las de flujo mixto; son consideradas como bombas de diferente tipo. No obstante esto, y a pesar de que entre ellas hay algunas diferencias, todas ellas son básicamente la misma clase de dispositivo. Cuando un fluido va pasando a través del impulsor, éste recibe una velocidad rotatoria; el fluido pasa a la caja estacionaria, donde es reducida su velocidad, incrementándose su presión.

Si la carga requerida es alta en relación a la cantidad de flujo, entonces será necesario un impulsor de flujo radial. Si la carga es baja, en relación con la cantidad de flujo, se requerirá de un impulsor axial. Una manera conveniente para determinar el tipo de flujo requerido en el impulsor, es obtener un número o factor que relacione la velocidad rotacional, la cantidad de flujo y la carga desarrollada por una bomba. Este número, es llamado "*Velocidad Específica*", y puede ser considerado un índice del tipo de impulsor requerido por una bomba para desarrollar el trabajo específico.

$$NS = (RPM)(GPM)^{3/4} / (Ft) \quad \text{Ec. 5.3}$$

La ecuación anterior, se conoce como "*Velocidad Específica*".

La experiencia ha mostrado, que los impulsores de flujo radial se necesitan para bajas velocidades específicas, los de flujo axial para altos valores de NS y los de flujo mixto para valores intermedios, por una Tabla que relaciona la velocidad específica con el tipo de impulsor. Los diseños de impulsores mostrados en ella, varían gradualmente, según los requerimientos.

La siguiente tabulación muestra tres diferentes condiciones de operación, la velocidad específica calculada a partir de los requerimientos y el tipo de impulsor que debería ser usado para obtener la mejor eficiencia para operar en esas condiciones:

CASO	GPM	CDT	RPM	NS	TIPO DE IMPULSOR
A	200	100	1760	786	FLUJO RADIAL
B	3000	100	1760	3050	FLUJO MIXTO
C	1000	10	1760	9900	FLUJO AXIAL

La capacidad de una bomba centrífuga cambia con los requerimientos de carga impuestos por el sistema. La relación de carga a capacidad, está mostrada en una curva característica de comportamiento.

La velocidad específica de la bomba, debe ser calculada en las condiciones de diseño de la bomba, hacerlo de otra forma, no tendría significado.

La carga y potencia a válvula cerrada, en relación con los valores del punto de diseño, varían con la velocidad específica. Las unidades de baja velocidad específica (flujo radial) tienen una potencia a válvula cerrada menor que en el punto de diseño; por ello, es que se recomienda arrancar estas unidades a válvula cerrada.

Las bombas de flujo mixto, tienen una potencia igual ó mayor en válvula cerrada que la que se demanda en el punto de diseño. Las bombas de flujo axial, de alta velocidad específica presentan requerimientos de potencia en válvula cerrada, que es dos o tres veces mayor a la que se demanda en el punto de diseño. Ambos tipos de unidades deben ser arrancadas con la válvula, lo más abierta posible.

Los motores deben suministrarse para cubrir suficientemente la demanda de potencia en cualquier punto de operación de la unidad. Debiendo incluso, evitar cualquier operación riesgosa de la unidad en la que el accionador pudiera llegar a ser dañado debido a requerimientos excesivos de potencia, incluyendo cierres accidentales de la válvula de descarga en bombas de flujo axial ó disminuciones severas de la demanda de carga, que permitiera a una bomba radial trabajar con un alto gasto. Los valores típicos a válvulas cerradas, se muestran en la siguiente tabla:

VALORES A VÁLVULA CERRADA
COMO % DEL PUNTO DE DISEÑO

NS	TIPO DE FLUJO	CARGA	POTENCIA
500-1800	RADIAL	90-115	50-75
1800-8000	MIXTO	130-200	100-180
8000-1500	AXIAL	200-300	200-300

V.3.- *Leyes de Afinidad.*

Conociendo la característica de una bomba que trabaje a la velocidad "n", puede obtenerse con gran facilidad y detalladamente, la característica que corresponde a una velocidad cualquiera "n", a partir de la velocidad "n" se puede tener la siguiente relación:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} ; \frac{H_1}{H_2} = \left\{ \frac{n_1}{n_2} \right\}^2 \quad \text{Ec. 5.4}$$

Las alturas manométricas y los caudales varían en forma parabólica, mientras que los triángulos de velocidad y las condiciones generales de flujo permanecen geoméricamente invariables. La potencia absorbida es proporcional al producto $Q \cdot H$, y como el rendimiento permanece prácticamente constante para condiciones hidráulicas iguales, es válida, dentro de ciertos límites, la ecuación siguiente:

$$\frac{N_1}{N_2} = \left\{ \frac{n_1}{n_2} \right\}^3 \quad \text{Ec. 5.5}$$

V.4.- Correcciones por Viscosidad.

El proceso de bombeo puede definirse, como la "Adición de energía a un líquido para transportarlo de un punto a otro, por medio de un accionador".

La efectividad de esta conversión de energía, depende inicialmente del diseño correcto de las bombas para un uso específico. No obstante, la correcta selección del equipo es el complemento a una operación libre de problemas.

Algunos factores externos al equipo que afectan su operación son las propiedades físicas del fluido manejado, esto es:

1.- Gravedad específica (en la potencia al freno).

2.- Viscosidad (en la capacidad, carga dinámica, eficiencia y potencia al freno).

Actualmente, el bombeo de productos derivados del petróleo, es de gran importancia, existiendo la necesidad de manejar fluidos con viscosidades más altas que las del agua.

Esto ha hecho necesaria la investigación de medios para conocer el comportamiento de las bombas centrífugas; cuando se utilizan en este tipo de servicios, partiendo del conocimiento de su comportamiento con agua.

Se pueden clasificar los líquidos en Newtonianos y los No-Newtonianos; considerando las siguientes características:

A). Newtonianos.- No son afectados por la magnitud y tipo de movimiento, a los cuales están sujetos y siguen las siguientes características:

A.1). La viscosidad es independiente del gradiente de velocidad ó de corte (Fig. V.6).

A.2). El esfuerzo de corte es directamente proporcional al gradiente de corte ó velocidad (Fig. V.7).

B). No-Newtonianos.- Se clasifican a su vez en los siguientes tipos:

B.1). Dilatantes.- Son aquellos fluidos en los cuales la viscosidad aumenta a medida que son agitados.

B.2). Plásticos.- Son caracterizados por contar con un "punto de cedencia", el cual debe ser excitado para empezar a fluir, después de lo cual la viscosidad disminuye, con un aumento en agitación.

B.3). Pseudo-plásticos.- No tienen "punto de cedencia", su viscosidad "aparente" disminuye con el aumento de esfuerzo de corte (ó agitación).

B.4). Tixotrópicos.- Estos líquidos muestran una disminución en su viscosidad, debido a un incremento en la agitación y pueden ser reversibles (cuando recuperan su viscosidad al cesar los esfuerzos de corte) e irreversibles (cuando al cesar los esfuerzos de corte su viscosidad es menor que la original).

B.5). Reopécticos.- La viscosidad de estos líquidos, aumenta cuando están sujetos a un gradiente de corte constante; pero cuando este esfuerzo cesa y después de un tiempo de reposo, su viscosidad disminuye nuevamente.

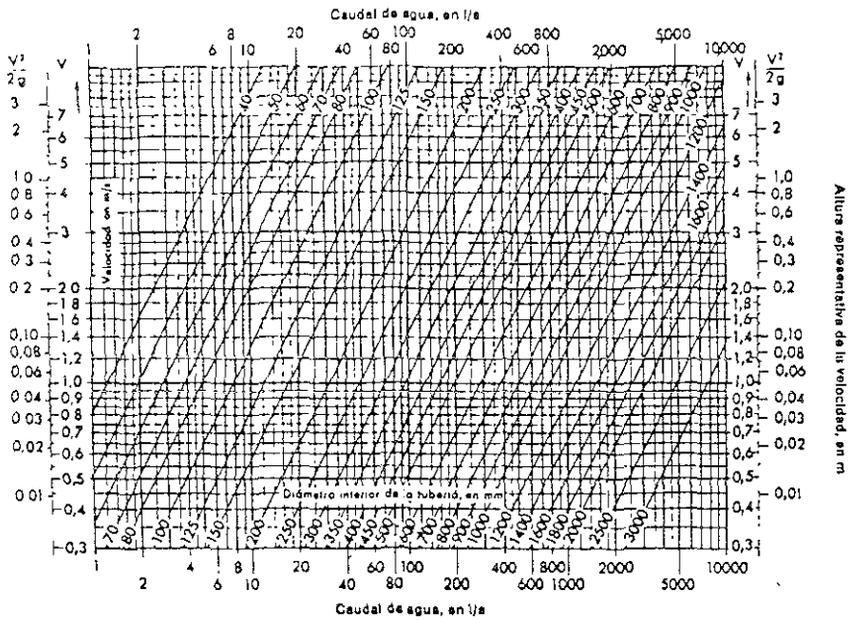


Fig. V.6.- Gráfico de Viscosidad.

Las pérdidas de carga han de multiplicarse por 0,8 referidas a tuberías nuevas de hierro colado; para tuberías con incrustaciones habrá que multiplicar las pérdidas de carga por 1,1 a 1,2

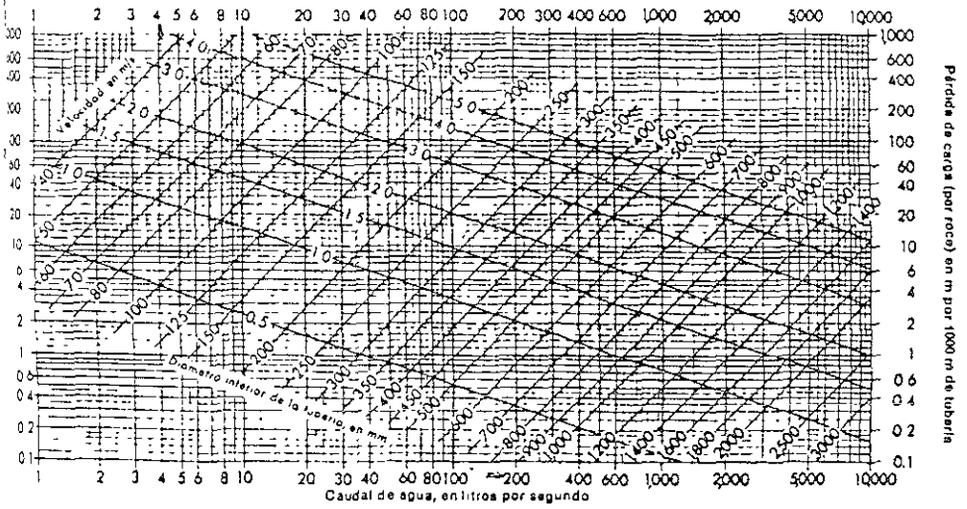


Fig. V.7.- Gráfico de Esfuerzo de Corte.

Es importante establecer el comportamiento de una bomba manejando líquidos viscosos por deducciones puramente teóricas, aún cuando su comportamiento con agua sea conocido. De análisis y estudios realizados, se ha encontrado que la relación entre capacidad y carga a velocidad constante, con diferentes viscosidades, producen diferentes curvas capacidad-carga. Así mismo, se han encontrado guías importantes, para correlacionar los datos de pruebas para líquidos de varias viscosidades y proporcionando medios para predecir el comportamiento de las bombas centrífugas cuando se conoce su comportamiento con agua.

Se pueden establecer los siguientes criterios:

1.- Leyes de Afinidad.- Se mantienen para las viscosidades, pero con menos exactitud que con agua. Esto significa que cuando la velocidad varía, la capacidad varía directamente con la velocidad, y la carga varía directamente con el cuadrado de la velocidad.

Generalmente, la eficiencia es mejor a altas velocidades; por lo tanto la velocidad aumenta, el BHP aumenta casi proporcionalmente con el cubo de la velocidad y la carga incrementa más que el cuadrado de la velocidad. Cuando la velocidad es variada, la velocidad específica en el punto de mejor eficiencia, permanece constante, durante el bombeo de líquidos viscosos.

2.- A velocidad constante, la curva capacidad-carga decrece, a medida que la viscosidad aumenta, de modo que la velocidad específica permanece constante. Lo anterior es importante, para estimar el punto de máxima eficiencia cuando se bombea un líquido viscoso, sólo se requiere un factor de corrección experimental, el otro seguirá la relación anterior.

3.- A velocidad constante y viscosidad variable, la curva capacidad-carga disminuye a medida que la velocidad aumenta, pero la carga a capacidad cero permanece constante, resultando en una curva más pronunciada para viscosidades altas.

Por lo tanto, puede generalizarse que la carga a "Shut-Off", no depende del ángulo de descarga del impulsor, ni de la viscosidad del líquido. Sin embargo, este es afectado apreciablemente por la carcasa de la bomba, sobre todo cuando, se manejan líquidos viscosos. Por ejemplo, si el diámetro del impulsor es bastante pequeño para la carcasa de la bomba y existe, un claro grande entre la periferia del impulsor y la lengüeta de la voluta, la carga a válvula cerrada, será más baja para viscosidades más altas, y la caída de carga en el punto de máxima eficiencia será más grande que para el mismo impulsor en una carga normal.

Lo anterior es debido a que el impulsor, no puede mantener una velocidad normal de distribución en la carcaza, debido a que mucho del corte del fluido toma lugar en la periferia del impulsor y esto resulta en una carga generada más baja.

Por otro lado, sí un impulsor manejando un líquido viscoso es ajustado bastante cerca de la lengüeta de la voluta se formará un exceso de carga más alta que con agua a bajas capacidades, debido al arrastre viscoso. Se ha observado en bombas de baja velocidad específica con impulsores cerrados, que la carga, aún en el punto de máxima eficiencia, aumentará arriba de aquella para agua por un ligero incremento de viscosidad, antes de que la carga empiece a caer.

Esto es causado por el hecho, que un ligero incremento en viscosidad suprime la circulación relativa dentro de los canales del impulsor; suficientemente para incrementar la carga generada más que la que es necesaria para compensar el incremento de pérdidas hidráulicas a través de la bomba.

Con impulsores abiertos, por causa de la ausencia de una de las cubiertas del impulsor, dichos efectos no han sido notados. En impulsores de alta velocidad específica, las cubiertas son relativamente pequeñas y los impulsores anchos, por lo tanto, dicho efecto es despreciable.

4.- Para una viscosidad constante y velocidad variable, la eficiencia en el punto de máxima eficiencia aumenta proporcionalmente al aumento de la velocidad de rotación.

5.- Cuando se bombean aceites viscosos la potencia al freno aumenta la misma cantidad para un amplio rango de capacidad. Este incremento es el reflejo del incremento de pérdidas de fricción en el disco.

Es importante hacer notar que, la potencia al freno aumenta con la viscosidad. Esto significa que, aunque la carga y la capacidad caen con la viscosidad, la eficiencia disminuye más rápidamente que el producto de la carga y capacidad.

Actualmente, para estimar el comportamiento de las bombas centrífugas, se utilizan las cartas aprobadas por el Instituto de Hidráulica; las cuales son utilizadas por casi todos los fabricantes de equipo de bombeo.

Las cartas fueron preparadas con datos experimentales contenidos por medio de pruebas, pero estas curvas de corrección no son exactas para algunas bombas en particular.

En el caso de que se desee información exacta del comportamiento de una bomba manejando líquidos viscosos, se deberán realizar pruebas de comportamiento con el fluido a manejar.

Existen algunas limitaciones y aclaraciones en el uso de las cartas de corrección, y son:

1.- No extrapolar más allá de los límites de corrección mostrados, ya que se podrían obtener resultados equivocados.

2.- Utilizarlas sólo para bombas de diseño hidráulico convencional, en el rango de operación normal, con impulsores abiertos ó cerrados. No utilizar las cartas de corrección para bombas de flujo mixto ó axial ó para bombas de diseño hidráulico especial, para líquidos uniformes ó no viscosos.

3.- Utilizarlas sólo donde haya NPSH disponible adecuado, con el objetivo de evitar cavitación.

4.- Utilizar las cartas de corrección, sólo con líquidos Newtonianos.

5.- En bombas de pasos múltiples, hacer las correcciones de viscosidad por paso, dividiendo la carga dinámica total del equipo entre el número de pasos.

CAPÍTULO VI

PROTECCIÓN ELÉCTRICA DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.

CAPÍTULO VI

PROTECCIÓN ELÉCTRICA DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.

VI.1.- Instalación, Alineación y Acoplamiento.

Un instructivo en general, contiene direcciones para las siguientes fases del uso de la Bomba:

- 1.- Instalación para servicio máximo con un mínimo de desgaste y costos.
- 2.- Ajuste y operación para funcionamiento óptimo.
- 3.- Mantenimiento y reparación cuando se necesita.

Como los instructivos intentan ayudar a mantener la maquinaria eficiente y disponible constantemente, siempre deberán estar al alcance del siguiente personal:

- a). Personal de construcción responsable de la instalación.
- b). Operadores que usan el equipo y hacen inspecciones y pruebas periódicas.
- c). Personal de mantenimiento que repara y da servicio al equipo.
- d). Ingenieros que determinan el uso adecuado del equipo.

Los criterios para la correcta instalación de una Bomba se dan a continuación:

1.- Preparación para Empaque.- El procedimiento general para la preparación de Bombas para embarque después de fabricadas es prácticamente idéntico con todos los fabricantes. Todas las bridas y partes metálicas terminadas expuestas se limpian de materiales extrañas y se tratan como un compuesto anticorrosivo como grasa, vaselina o aceite grueso. Para protección durante el embarque y la instalación, todas las bridas y aberturas de tubería y boquillas se protegen con bridas de madera o con tapones de metal enroscados, que evitan la entrada de suciedad, polvo, humedad o materia extraña. Todas las tuberías pequeñas se limpian y se instalan guardas protectoras si es necesario.

Generalmente, el accionador se entrega al fabricante de la Bomba, donde se arma y alinea con la bomba en una base común. La placa de base se perfora para montar el accionador, pero la colocación fija final puede hacerse, si se requiere, en el campo después del alineamiento final. Cuando el tamaño y el peso lo permiten, la unidad se embarca ya armada; es decir, como el accionador y la bomba en la base. Sin embargo, algunas veces los accionadores de tamaño muy grande se embarcan para montarse directamente en el campo. Entonces se tendrá que taladrar la base en el lugar de trabajo.

Algunas veces es impráctico embarcar la bomba montada en su base, como cuando las boquillas de succión y descarga están colocadas verticalmente hacia abajo y sobresalen una distancia apreciable abajo de la placa de la base, o si existen limitaciones de tamaño o de peso. Estas bombas deben embarcarse por separado o voltearse hacia abajo y asegurarse temporalmente a la base.

2.- Cuidado del Equipo en el Campo Antes de Usarlo.- El equipo deberá inspeccionarse y verificarse contra el talón del embarque inmediatamente que se recibe el envío. Cualquier daño o faltante se deberá informar al agente local de la Compañía Transportadora.

Si se recibe el equipo de bombeo en el lugar de destino antes de que se pueda usar, se deberá almacenar inmediatamente en un lugar seco. Las bridas y acabados protectores deberán permanecer en las bombas. Los cojinetes y acoplamientos deberán protegerse cuidadosamente de la arena, polvo u otra materia extraña y el rotor de la bomba deberá girarse a mano a intervalos frecuentes para evitar que se oxide o se pegue.

Algunas veces durante el almacenamiento, un rotor se pegará ligeramente. Para despegarlo se deberá sacar o desarmar el cojinete de empuje y se deberán aflojar los vertederos de aceite, protectores u otras partes que puedan restringir el movimiento del extremo. Moviendo el rotor una cuantas veces se despegará de los anillos de desgaste o de donde se haya pegado en los espacios libres móviles interiores.

Si una bomba se tiene que almacenar por largo tiempo, se requieren precauciones más completas. Se deberá secar el interior de la bomba cuidadosamente con aire caliente o un dispositivo productor de vacío para evitar que se oxiden las partes internas. Una vez libre de humedad se deberá llenar la bomba con un líquido protector, como aceite ligero, kerosene o anticongelante. Todas las partes accesibles como cojinetes y acoplamientos, deberán desarmarse, secarse y cubrirse con vaselina o aceite grueso libre de ácido, después de lo cual deberán etiquetarse apropiadamente, envolverse y colocarse en cajas para evitar contacto metal a metal y guardarse.

Si se ha utilizado un preventivo de oxidación en las partes almacenadas, éstas deberán limpiarse completamente antes de su instalación final. Se debe tener un gran cuidado para asegurarse que se han eliminado todas las trazas de recubrimiento protector, y se han relubricado los cojinetes.

3.- Reglas Generales para Localización de Bombas.- Las bombas que se instalan en interiores, en lugares mal alumbrados y ventilados y sin amplitud, o donde se acumula polvo y humedad, están situadas inadecuadamente para desarmarlas y repararlas; se descuidarán y tanto la bomba como el acondicionador se podrán dañar. Las bombas se deberán instalar en lugares alumbrados, secos y limpios siempre que sea posible.

Siempre se debe dejar espacio suficiente para desarmar la bomba; es decir, se debe contar con bastante espacio arriba de las bombas horizontales con cubiertas axialmente divididas, para que la mitad superior de la cubierta se pueda levantar dejando libre el rotor. Algunas bombas de alta presión están radialmente divididas, y su rotor se saca longitudinalmente.

Se debe tener espacio para poder sacar el rotor sin inclinarlo, para bombas grandes con cubiertas y rotores pesados, se debe proveer sobre la localización de la bomba una grúa viajera o facilidades para armar un malacate. Si el espacio es crítico desde la selección del equipo debe tomarse en cuenta esta limitación y optar, en la medida de lo posible, por equipos verticales (si es el caso). Cuando el equipo de bombeo deba usarse a niveles en los cuales es posible una inundación, se pueden tomar dos clases de medidas:

- 1.- Se puede utilizar una bomba vertical de cárcamo.
- 2.- Se deben proveer bombas auxiliares de achique de foso lleno.

En instalaciones normales las bombas deberán localizarse tan cerca como sea posible de la fuente del suministro del líquido. Cuando sea conveniente, la línea de centro de la bomba deberá colocarse abajo del nivel del líquido del depósito de succión. Siempre se deben seguir las recomendaciones del fabricante sobre las condiciones de succión. Con la mayoría de la unidades de bombeo, se obtiene servicio más satisfactorio cuando se suministra un cimiento rígido.

VI.2.- Arranque.

Las bombas centrífugas, pueden arrancarse de cuatro modos diferentes a saber, en cuanto al torque demandado, y éstos son:

1.- Arranque Contra Válvula Cerrada.- La fig. VI.1 muestra la forma en que se arranca una bomba utilizando el Método de Arranque Contra Válvula Cerrada. Cuando tiene comparativamente altos rangos de operación, la bomba debe arrancar con un flujo mínimo permitido por la válvula de descarga semiabierta, esto debido al riesgo de que el líquido pueda evaporarse dentro de la bomba. Tan pronto como la velocidad de operación sea alcanzada, la válvula de descarga debe abrirse. Este Método es posible solamente en bombas con baja velocidad específica, en donde la potencia de entrada y el torque con la válvula cerrada son menores que en el punto real de operación.

2.- Arranque Contra Válvula de Retención Cerrada y con Válvula de Descarga Abierta.- La fig. VI.2. muestra cuando arranca la bomba. La válvula de retención abre en el punto A, es en ese momento cuando la contrapresión contra la válvula es alcanzada. El desarrollo de la salida, por ejemplo, el caudal y la presión se elevan a su punto de operación a través de la curva del sistema en función de la velocidad.

3.- Arranque con la Válvula de Descarga Abierta, pero sin Carga Geodésica.- La fig. VI.3 muestra esta característica; aquí, la curva del torque es una parábola hasta el punto de operación B, considerando que el tubo es corto y que el tiempo necesario para acelerar la columna de agua coincide con el tiempo de arranque de la bomba.

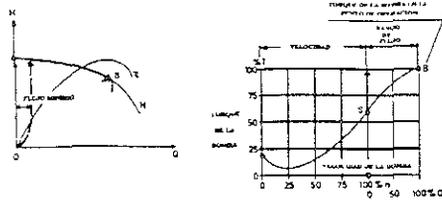


FIG. VI.1 ARRANQUE CONTRA VALVULA CERRADA

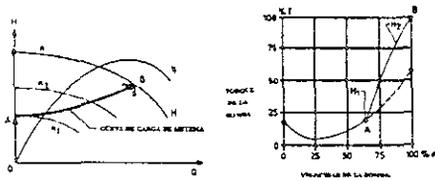


FIG. VI.2 ARRANQUE CONTRA VALVULA DE RETENCION CERRADA Y CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA

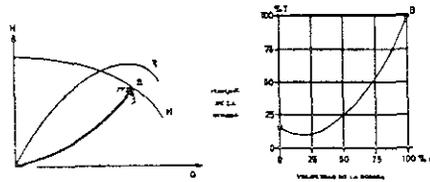


FIG. VI.3 ARRANQUE CON LA VALVULA DE DESCARGA ABIERTA PERO SIN CARGA GEODESICA

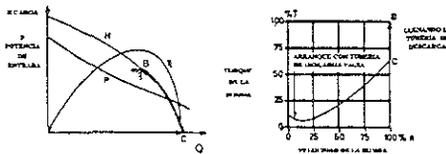


FIG. VI.4 ARRANQUE CON VALVULA DE DESCARGA ABIERTA Y TUBERIA DE DESCARGA SIN LIQUIDO

Fig. VI.1, VI.2, VI.3 y VI.4.- Donde se Muestran los Diferentes Tipos de Arranque de las Bombas Centrifugas.

4.- Arranque con Válvula de Descarga Abierta y Tubería de Descarga sin Líquido.- Las bombas con alta velocidad específica, son principalmente arrancadas con la tubería de descarga vacía. Una contrapresión debe ser establecida tan pronto como sea posible, incluso si es necesario, estrangular la válvula de descarga para prevenir que la bomba trabaje demasiado en un rango donde exista el peligro de presentarse el efecto de cavitación. La fig. VI.4 muestra este Método de arranque de bombas. Arrancar bombas de este tipo con tuberías llenas es posible mediante el uso de válvulas de paso (bypass).

VI.3.- Operación y Mantenimiento del Motor Eléctrico.

En el terreno de la práctica y por razones obvias, es normal que previo a la instalación del equipo se efectúe un estudio y revisión del mismo. Los motores eléctricos no son la excepción, si bien ha de conocerse que las reglas a seguir son bastante claras y muy importantes, ya que de llevarse a efecto, se obtendrá una prolongada, correcta y económica operación.

1.- Recepción del Motor.- Revisar el motor con cuidado y asegurarse que no sufrió daño alguno durante su embarque y transporte, cerciorarse de que la flecha se mueve libremente, haciéndola girar con la mano. La capa protectora contra oxidación y corrosión con que va cubierta la extensión de la flecha, puede eliminarse tomando las medidas de seguridad correspondientes con la aplicación de un solvente como: Thiner, gasolina, petróleo o cualquier otro similar. Comprobar que los datos de placa correspondan a la tensión y frecuencia de la red de energía eléctrica con que va a ser alimentado el motor. Efectuar cuidadosamente las conexiones en las terminales, siguiendo las instrucciones indicadas en la placa descriptiva.

2.- Instalación del Motor.- El motor debe instalarse en un lugar donde se tenga libre flujo de aire, aún en aquellos casos donde se requiera usar alguna caseta o pantalla protectora. La temperatura ambiente deberá exceder los 40° C al nivel del mar ó de 30° C a una altura máxima de 2280 m.s.n.m. El motor deberá montarse sobre una cimentación rígida, procurando que asiente perfectamente la base y fijándolo por medio de tornillos o pernos del diámetro permisible por los barrenos de la base. Un montaje defectuoso puede motivar:

- a). Vibración excesiva.
- b). Ruido.
- c). Corrientes altas.
- d). Operación a altas temperaturas.
- e). Fallas de baleros.

Es de primera importancia saber las necesidades de montaje, el tipo de trabajo a efectuar y la instalación del caso en particular. Todos los motores horizontales, pueden ser sometidos a operación vertical previa indicación a la fábrica. En algunos casos, y debido a lo específico de la operación, será necesario cambiar baleros. En la mayoría de los motores horizontales de baja capacidad es permisible (sin ningún cambio) poder operarlos en posición vertical con la flecha hacia arriba o hacia abajo siempre que el peso de la polea, cople, engrane o similar no exceda el peso del rotor.

Los motores para operación horizontal que sean destinados a transmisión por banda (cualquier tipo de banda), cadena o similar, podrán ser montados en rieles tensores, para que de acuerdo a las necesidades, pueda ajustarse a la tensión correcta, de igual forma, deberá tenerse mucha precaución al alinear las poleas, engranes, piñones o similar(es); ya que, cualquier desalineamiento provocará incrementos en la carga radial, disminuyendo la vida de los baleros. Para acoplamiento directo, ver lo concerniente a alineación defectuosa.

El mantenimiento de los motores se reduce a lo siguiente:

1.- Limpiar y/o Sopietear con Aire Limpio y Seco.- A una presión menor de 3 kg/cm cuadrado, la superficie del motor, así como sus partes internas (en motores abiertos). En el caso de motores que estén expuestos a goteo o salpicadura de agua, líquidos corrosivos o compuestos químicos, deberá efectuarse la limpieza con mayor frecuencia.

2.- revisar montaje y alineación

3.- Efectuar mediante un reporte periódico, lecturas de corriente y potencia de entrada.

4.- Verificar que la operación de los baleros sea sin ruido o vibraciones para los motores con baleros reengrasables: seguir las instrucciones según el número de horas de trabajo, así como el tipo de grasa indicada en el motor.

2.- Operación y Mantenimiento del Cople.- Un acoplamiento es un mecanismo que se utiliza en la transmisión de potencia mecánica, para conectar dos flechas en movimiento de rotación. Existe en el mercado una gran variedad de acoplamientos, pero básicamente éstos se pueden clasificar en dos tipos:

- a). Acoplamientos Rígidos.
- b). Acoplamientos Flexibles.

Los acoplamientos flexibles se clasifican también, según su construcción y el tipo de elementos que utilizan para transmitir la potencia en:

- Acoplamientos torsionalmente flexibles.

1.- Coples que utilizan partes metálicas flexibles (coples de rejillas).

2.- Coples que no utilizan partes metálicas (coples con elementos de hule).

- Acoplamientos no-torsionalmente flexibles.

1.- Coples que utilizan partes metálicas (coples de laminillas).

2.- Cople de cadena.

3.- Cople de engranes.

4.- Coples que usan sistemas o partes deslizantes (cople hidráulico, embrague).

Los acoplamientos flexibles tienen las siguientes funciones:

- 1.- Transmitir el par torsional.
- 2.- permitir movimientos axiales de las flechas conectadas.
- 3.- Permitir desalineamiento angular y paralelo.
- 4.- Evitar cargas adicionales a cojinetes y a los apoyos de las máquinas conectadas.
- 5.- Absorber y compensar cargas por choques y fuertes variaciones del par torsional.

El mantenimiento del acoplamiento tiene como objetivo, que el acoplamiento esté en buenas condiciones de operación, dentro de sus especificaciones de diseño. De acuerdo al modo de actuar de un Departamento de Mantenimiento, ya sea anticipadamente o después de que se produce una falla, el mantenimiento se divide en:

1.- Preventivo.- Consiste en detectar con anticipación la posible falla, y adoptar las disposiciones necesarias para evitar que éstas se produzcan. Así, por ejemplo: Cuando un cople es cambiado frecuentemente, deberá analizarse el por qué de estos cambios, ya que pueden ser ocasionados por:

- a). Una mala instalación (desalineamiento de origen).
- b). Lubricación deficiente (en los coples que la requieran).
- c). Acoplamiento inadecuado (operación en rangos superiores al del diseño).

Para tener la seguridad de un buen funcionamiento de un acoplamiento, es necesario que el mantenimiento preventivo sea:

- Periódico (diario, semanal, mensual; según se especifique y requiera).
- Cíclico (mensual).
- Programado (semestral o anual).

En el mantenimiento preventivo periódico, se tendrá que revisar la lubricación del acoplamiento, y las vibraciones mayores a las normales. En el mantenimiento preventivo cíclico, se tendrá que verificar la firmeza de la tornillería de apriete del cople. En el mantenimiento preventivo anual, se verificará el buen estado de los acoplamientos, y que el alineamiento de éstos, esté dentro de las tolerancias permitidas.

2.- Predictivo.- Es el que predice la necesidad de cambiar las refacciones críticas de los acoplamientos, teniendo como base la determinación de la vida útil del conjunto de elementos que lo forman, antes de que éstos sufran un desperfecto. Por lo que este tipo de mantenimiento, requiere llenar una estadística del tiempo trabajado de cada cople y tener las refacciones con oportunidad.

3.- Correctivo.- Consiste en la reparación de las fallas que se presentan sin previo aviso. Estas fallas pueden ser originadas por:

- Mal alineamiento (de origen en el montaje).
- Mal mantenimiento (falta de lubricación, negligencia, etcétera).
- Mala operación del cople (explotación inadecuada).

Por lo tanto, una selección correcta del acoplamiento y un buen mantenimiento, asegurarán una operación continua de los equipos conectados.

Causas de desalineamiento de las flechas:

- 1.- Error humano.
- 2.- Levantamiento o asentamiento de la cimentación.
- 3.- Desgaste de chumaceras y rodamientos.
- 4.- Expansión térmica.
- 5.- Esfuerzos externos inducidos al sistema.
- 6.- Deflexión de las flechas.
- 7.- Desbalanceo dinámico.

Dado que el desalineamiento de las flechas, aunque sea pequeño es inevitable; las fallas debidas al desalineamiento de las flechas son evitables o compensadas, utilizando acoplamientos flexibles.

Tal como se indicó anteriormente, existen dos tipos básicos de alineamientos:

- 1.- El angular.
- 2.- El radial.

Existen dos métodos para alinear coples y son:

- 1.- Lainómetro.
2. Indicador.

En ambos se efectúan, cuatro operaciones de alineamiento. Sólo cuando se efectúan en el orden correcto estas operaciones, se puede proceder a pasos sucesivos de alineación, sin afectar las operaciones ya hechas. Existen cuatro pasos en secuencia para el alineamiento de coples y son:

1.- Alineamiento vertical de caras.- El primer ajuste efectuado para corregir desalineamiento angular, se hace en el plano vertical. Éste se hace por medio de girado de la unidad. El espacio arriba y abajo, se mide con lainómetro, y se hacen ajustes para que las superficies tengan un espacio.

2.- Alineamiento vertical de altura. Este ajuste corrige desalineamiento paralelo en el eje vertical. La unidad se sube sin cambiar su posición angular. La diferencia de altura se encuentra verificando el espacio radial inferior o superior.

3.- y 4.- Alineamiento horizontal lateral y de caras.- Cuando la unidad está en alineamiento vertical, se terminó el uso de lanas. El alineamiento horizontal se hace efectuando operaciones radiales y angulares simultáneamente. La unidad se mueve para lograr alineamiento en las caras y espacios laterales.

Un sello mecánico es un aditamento de precisión, y debe instalarse cuidadosamente en un equipo que esté mecánicamente en buenas condiciones, en un ambiente apropiado a su diseño y debe mantenerse de acuerdo a los procedimientos recomendados.

Muchos diseños de sellos y materiales están disponibles para cumplir las varias condiciones de operación que se encuentran en la industria del proceso. Básicamente; sin embargo, todos los diseños de sellos consisten de tres elementos fundamentales:

- 1 - Un juego de caras del sello, una cara sujeta al eje y dando vueltas con él, y la otra cara sujeta al equipo.
- 2.- Un juego de sellos secundarios llamados empaquetaduras del eje, y montajes del inserto tales como anillos "O" y anillos "V".
- 3.- Componentes, incluyendo anillos de brida, abrazaderas, anillos de compresión, chavetas, resortes y fuelles.

CONCLUSIONES

A manera de conclusiones se pueden dar las siguientes: Debido a la gran variación de tipos, tamaños, partes y diseños de las Bombas Centrífugas, cualquier descripción del uso, selección y mantenimiento debe restringirse a los tipos más comunes de las Bombas Centrífugas.

La amplitud de los conocimientos que debe tener una persona que practique el mantenimiento a las Bombas, depende de las demandas y complejidad del Sistema en el que estén instaladas. En la mayoría de los casos, es suficiente la información completa que se da en el instructivo general sobre la construcción mecánica. Por lo general, el personal de mantenimiento sólo necesita saber las condiciones especificadas para el servicio, que generalmente se dan en la placa de la Bomba.

Ocasionalmente, se requiere también información más completa sobre las características de la Bomba para proporcionar inspección y mantenimiento más adecuados. En estos casos se requiere una Curva de Funcionamiento de la Bomba y si no está incluida en el "*Manual de Instrucciones*", se deberá obtener del fabricante de la Bomba.

Existe una considerable diferencia de opinión en relación con la bondad del procedimiento de reconstruir partes desgastadas como anillos de desgaste ó manguitos de flecha; sin embargo, la experiencia y observación al respecto dicta que en bombas de tolerancias críticas; es decir, de uso especializado, el reconstruir piezas por parte del usuario tiene en muchos casos resultados desastrosos para el equipo. Los problemas de mantenimiento del equipo de Bombeo Centrífugo, varían de sencillos a complicados.

El tipo de servicio para el que la Bomba está destinada, la construcción general de ella, la complejidad relativa de las reparaciones requeridas, las facilidades disponibles en el lugar, y otros factores estarán en la decisión de si las reparaciones necesarias se ejecutan en la instalación ó en la planta del fabricante de la Bomba.

Algunas veces, especialmente, cuando se tiene suficiente equipo auxiliar de relevo, una Bomba que necesite reparación se manda a la Planta del fabricante para reconstrucción completa. De otra manera, las reparaciones ó reconstrucciones se hacen localmente con los mecánicos que prestan sus servicios en las instalaciones del cliente. Cuando es más rápido, los Ingenieros de Servicio de la Planta del fabricante de la Bomba ejecutan la reparación en el lugar del usuario.

No importa con cuánta exactitud se diseñe una Bomba, pueden presentarse ciertas condiciones durante una operación anormal (como cavitación, pérdida de cebado ó choques hidráulicos repentinos), que imponen una vibración momentánea en el elemento giratorio suficiente para causar un ligero contacto con las juntas giratorias. Por la acción de fricción entre dos metales ocurrirá un desgaste, aunque el contacto pueda ser muy ligero para causar raspaduras y que se pegue el rotor con las partes estacionarias.

Puede existir una condición similar si la deformación de la flecha en condiciones estacionarias excede a los espacios libres internos. Esto puede ocurrir aún si la deformación se reduce a menos del espacio libre de operación por la acción de soporte de las juntas internas de espacio libre que actúan como cojinetes estabilizadores adicionales lubricados por el líquido bombeado. En estos casos, ocurrirá un ligero desgaste cada vez que se arranca la Bomba.

La cantidad exacta de desgaste causada por la erosión y los contactos momentáneos no pueden determinarse con exactitud. Entre más rígida sea la construcción de la Bomba; sin embargo, menos causa habrá para esperar desgaste por contacto en los espacios de juego de funcionamiento. Como el juego de trabajo aumenta con el desgaste, una gran parte de la capacidad bruta de la Bomba hace cortocircuito por los espacios libres y tiene que bombearse nuevamente.

La capacidad efectiva ó neta descargada por la Bomba contra una carga dada se reduce en una cantidad igual al aumento del escurrimiento. Mientras que en teoría el escurrimiento varía como la raíz cuadrada de la presión diferencial a través de un espacio libre de juego; y por lo tanto, con la raíz cuadrada de la carga total, es suficientemente preciso suponer que el aumento de escurrimiento permanece constante con todas las cargas. Se deberá incluir siempre cierto margen de capacidad en el diseño para compensar la reducción de capacidad que se puede esperar debido al desgaste del juego interno de movimiento.

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS PARTICULARES	3
<i>CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN</i>	4
<i>CAPÍTULO II.- DEFINICIONES FUNDAMENTALES</i>	7
II.1.- Hidráulica	7
II.2.- Presión	8
II.2.1.- Presión Atmosférica	8
II.2.2.- Presión “Gage” ó Manométrica ..	8
II.2.3.- Presión Absoluta	8
II.2.4.- Presión Promedio	9
II.3.- Cabeza ó Carga	9
II.4.- Presión de Vapor	9
II.5.- Caudal (Q)	10
II.6.- Velocidad Específica (n_s)	10
II.7.- Carga Neta Positiva de Succión (NPSH) (Net Positive Suction Head)	10
II.7.1.- NPSH Disponible	10
II.7.2.- NPSH Requerido	11

II.8.- Cavitación	12
II.9.- Densidad Específica ó Absoluta	13
II.10.- Densidad Relativa	13
II.11.- Peso Específico	14
II.12.- Volumen Específico	14
II.13.- Compresibilidad	15
II.14.- Viscosidad	16
II.14.1.- Viscosidad Dinámica	16
II.14.2.- Viscosidad Cinemática	17
II.15.- Tensión Superficial	17
II.16.- Sistema	18
II.17.- Sistema de Unidades	19
II.17.1.- El Sistema "Giorgi" ó Sistema MKS (Magnitudes Fundamentales): Masa (M), Longitud (L), Tiempo (t). (Unidades Fundamentales): Kilogramo (Kg), Metro (m) y Segundo (s)	19
II.17.2.- El Sistema Inglés (Magnitudes Fundamentales): Masa (m), Longitud (L), Tiempo (t). (Unidades Fundamentales): Libra (Lb), Pie (Ft) y Segundo (s)	19
II.17.3.- Sistema Técnico (Magnitudes Fundamentales): Fuerza (F), Longitud (L), kilopondio (Kp), Metro (m), y Segundo (s)	20
II.17.4.- Sistema Internacional de Unidades (Si)	20

CAPÍTULO III.- BOMBAS, CLASIFICACIÓN Y APLICACIÓN .. 21

III.1.- Introducción a las Bombas	21
III.2.- Funciones de un Equipo de Bombeo	25
III.3.- Fundamentos de las Bombas Centrífugas ..	26
III.4.- Clasificación General de las Bombas	27
III.5.- Características Generales	30
III.6.- Campo Hidráulico de Cobertura	32
III.7.- Bombas Centrífugas	33
III.7.1.- Bombas Inatascables	35
III.7.2.- Bombas de Proceso	35
III.7.3.- Bombas de Inyección a Calderas ...	35
III.7.4.- Bombas de Uso General	36
III.7.5.- Bombas de Pozo Profundo	36
III.7.6.- Bombas Regenerativas	36
III.8.- Principales Normas de Fabricación	38
III.8.1.- ANSI	38
III.8.2.- API 610	44

<i>CAPÍTULO IV.- EQUIPOS PERIFÉRICOS</i>	48
IV.1.- Accionadores	48
IV.1.1.- Motores Eléctricos	48
IV.1.1.1.- Motores de Corriente Directa .	49
IV.1.1.2.- Motores de Corriente Alterna	49
IV.1.1.2.1.- Enclaustramiento .	50
IV.1.1.2.1.1 - Abierto	50
IV.1.1.2.1.2.- Cerrado ...	51
IV.1.2.- Montaje	53
IV.1.3.- Construcción	53
IV.1.4.- Voltajes Recomendados	55
IV.1.5.- Protecciones Integradas al Motor	
Eléctrico	56
IV.1.5.1.- Detectores de Temperatura en	
Devanados y Rodamientos ..	56
IV.1.5.2.- Detectores de Vibración	57
IV.1.5.3.- Detectores de Movimiento	
Axial	57
IV.1.5.4.- Relevador de Sobrecorriente y	
Temperatura	57
IV.1.5.5.- Calefactores de Espacio	58
IV.1.5.6.- Supresores de Impulso	58
IV.1.5.7.- Aislamiento y Elevación de	
Temperatura	58
IV.1.5.8.- Factor de Servicio	59
IV.1.5.9.- Accesorios	60

IV.2.- Acoplamientos	60
IV.2.1.- Acoplamientos Rígidos	61
IV.2.1.1.- Acoplamiento de Abrazadera ..	61
IV.2.1.2.- Acoplamientos de Compresión ..	61
IV.2.2.- Acoplamientos Flexibles	62
IV.2.2.1.- Acoplamientos de Pasador y Amortiguador	62
IV.2.2.2.- Acoplamientos Flexibles Todo Metálicos	62
IV.2.2.3.- Acoplamientos de Flecha Flotante	63
IV.2.2.4.- Acoplamientos de Embrague ..	64
IV.2.2.5.- Acoplamientos por Impulsor Dual	64
IV.2.3.- Criterios de Selección de Acoplamientos	64
IV.2.3.1.- Consideraciones Primarias de Selecciones	65
IV.2.3.2.- Ventajas que se presentan de los Coples Elastoméricos	66
IV.2.4.- Normas Aplicables	67
IV.3.- Curvas del Sistema	69

<i>CAPÍTULO V.- SELECCIÓN DE LAS BOMBAS</i>	
<i>CENTRÍFUGAS</i>	71
V.1.- Criterios de Selección	71
V.2.- Curvas de Comportamiento y Hoja de Datos	76
V.3.- Leyes de Afinidad	83
V.4.- Correcciones por Viscosidad	84
 <i>CAPÍTULO VI.- PROTECCIÓN ELÉCTRICA DE BOMBAS</i>	
<i>CENTRÍFUGAS</i>	91
VI.1.- Instalación, Alineación y Acoplamiento	91
VI.2.- Arranque	95
VI.3.- Operación y Mantenimiento del Motor Eléctrico	98
 CONCLUSIONES	105
ÍNDICE	108
BIBLIOGRAFÍA	114
FÉ DE ERRATAS	115

BIBLIOGRAFÍA

“BOMBAS CENTRÍFUGAS: SELECCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO”.

Karassik J. Igor.

Edit. CECSA.

“BOMBAS: SU SELECCIÓN Y APLICACIÓN”.

Hicks G. Tyler.

Edit. CECSA.

“CENTRIFUGAL PUMP HANDBOOK”.

Sulzer Brother's Limited.

Edit. Sulzer Brother's LTD.

“FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA PARA LA SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE BOMBAS CENTRÍFUGAS”.

Sulzer Hermanos S.A. de C.V.

Edit. Sulzer Freres A.G.

“CURSO I, II Y III. OPERACIÓN, INSTALACIÓN, SELECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS”.

ANIBIAC.

Edit. ANIBIAC.

FÉ DE ERRATAS.

1.- Por error se duplicó la impresión de la página 74. Es decir; las páginas que tienen impreso el número 74 son identidades totalmente diferentes, ya que contienen información distinta. Deben ser en orden progresivo 74 y 75 respectivamente. Se hace la aclaración para que no haya confusión.

2.- En las gráficas de la página 80 los parámetros de las cuatro gráficas son: Caudal (Q) contra Altura (H) en diferentes condiciones de operación y dichas condiciones son respectivamente:

- Arranque de la Bomba Centrífuga cuando la Válvula de desfogue está Cerrada. (Sin Carga).

- Arranque de la Bomba Centrífuga cuando la Válvula de Retención está Cerrada y la Válvula de Descarga está Abierta. (En la Purga).

- Arranque de la Bomba Centrífuga con la Válvula de Descarga Abierta, pero sin Carga Geodésica. (Descarga a nivel del suelo).

- Arranque de la Bomba Centrífuga con la Válvula de Descarga Abierta pero la Tubería de Descarga no tiene Líquido. (Golpe de Ariete).

No se distinguen de manera adecuada dichos parámetros, ya la información fue tomada de los Manuales del Fabricante "*Sultzzer Pumps and Devices*", y no se tiene una mejor visualización de las copias obtenidas.

3.- Las gráficas de la página 96 tienen el mismo problema del punto anterior. En ellas se está graficando Caudal (Q) contra Altura (H); en diferentes condiciones de operación. Estas condiciones ya fueron descritas en el inciso 2 de esta Fé de Erratas.