



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
" A R A G O N "

" SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO PARA
SISTEMAS DE SERVICIO DE AGUA "

FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
PABLO ADRIAN MARTINEZ ARAOZ



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 está 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.

47
287



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
" A R A G O N "

" SELECCION DEL EQUIPO DE BOMBEO PARA
SISTEMAS DE SERVICIO DE AGUA "

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

PABLO ADRIAN MARTINEZ ARAOZ

A MIS PADRES:

Por todo lo que me han dado,
por todo lo que soy
y por todo lo que seré.
A ustedes les debo todo.

A ALEJANDRO:

Por nuestra infancia,
por nuestra juventud
y por el futuro.
Siempre juntos.

A JESSICA:

Por la ayuda,
por la paciencia
por la comprensión
y mucho más.
Sin tí no existiría este trabajo.

A LA ING. TERESA C. MORENO:

Por su apoyo
por su ayuda
y por enseñarme.
Gracias.

A MIS AMIGOS:

A mis verdaderos amigos,
que son pocos
y los puedo contar con una mano.

AL RESTO DE MI FAMILIA:

Por todo su apoyo moral.

A MIS MAESTROS:

Por enseñarme a defenderme
en la vida.

SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO PARA SISTEMAS DE SERVICIO DE AGUA.

INDICE

PROLOGO	1
CAPÍTULO I. CONCEPTOS BÁSICOS.	3
1.1 Definición de Máquina Hidráulica.	3
1.2 Clasificación de las Turbomáquinas Hidráulicas.	4
1.3 Descripción General de las Turbomáquinas Hidráulicas.	6
1.4 Ecuación de Euler.	9
1.5 Cavitación.	11
1.6 Carga Teórica y Carga neta.	19
1.7 Teoría de Similitud.	21
CAPITULO II. SELECCION DE BOMBAS.	24
2.1 Clasificación de los Equipos de Bombeo	24
2.2 Métodos de Selección y Propuesta.	28
2.3 Bombas Centrifugas, Características, Clases y Tipos.	33
2.4 Materiales Empleados en la Fabricacion de Bombas.	42
2.5 Ventajas y Desventajas de las Bombas Centrifugas.	44
2.6 Columna de una Bomba .	46
2.7 Capacidad de la Bomba.	55
2.8 Selección de Bombas según el Fluido.	63
2.9 Número de Unidades.	66
2.10 Solicitud del Equipo al Fabricante.	67

CAPITULO III. CURVAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS.

69

3.1 Desarrollo de la Curva de una Bomba.	69
3.2 Requerimientos de Energía de una Bomba.	72
3.3 Eficiencia de una Bomba.	74
3.4 Bomas Centrífugas para el manejo de Agua.	76
3.5 Curvas de Columna Neta de Succión Positiva (NPSH).	79
3.6 Características de una curva de una bomba.	81
3.7 Selección de Equipo de Bombeo de Agua	90

CAPITULO IV. INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE UNA BOMBA.

104

4.1 Instalación.	104
4.2 Operación.	114
4.3 Mantenimiento Preventivo.	117
4.4 Mantenimiento Correctivo.	123

CAPITULO V. APLICACIONES.

128

5.1 Método Para Extraer el Agua del Nivel Freático.	128
5.2 Industria de la Construcción.	132
5.3 Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración.	134
5.4 Bombeo de Gas.	136
5.5 Industria Siderúrgica y Minería.	137
5.6 Industria Alimenticia y Laboratorios.	139
5.7 Industria Embotelladora de Refrescos y Cervecera.	141
5.8 Industria Papelera y Textil.	142
5.9 Industria Química.	143
5.10 Plantas Termoeléctricas.	145
5.11 Servicios para la Marina y en la Energía Nuclear.	146
5.12 Industria Petrolera, Refinación y Bombas de Cristal.	148

CONCLUSIONES.

150

APENDICE.	151
Nomenclatura	151
Tabla de equivalencias.	152
Propiedades físicas del agua	156
Pérdida de fricción en tubo para agua	157
Gráficas de Bombas	158
BIBLIOGRAFIA	165

PRÓLOGO.

La idea de este trabajo surge a partir de la necesidad de saber como seleccionar integralmente un equipo de bombeo para sistemas de agua, ya que cuando ingresé al campo de trabajo tuve la necesidad de instalar un equipo de bombeo de cierta capacidad. Fué así que tome conciencia del nivel de información existente con respecto a este tema y me di cuenta de la necesidad de realizar una investigación que me permitiera poder seleccionar un sistema de bombeo de manera sencilla y rápida, además de concentrar las aplicaciones, mantenimiento y los conceptos imprescindibles para un desenvolvimiento efectivo de alguien interesado en el tema.

El objetivo de este trabajo es integrar la mayor información posible para que de manera rápida, sencilla y precisa se pueda elegir un equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua, sea cualfueren las dimensiones; tener los conocimientos básicos del funcionamiento de las turbomáquinas hidráulicas; conocer el mantenimiento que se debe dar a las mismas, así como las instrucciones básicas para su instalación; conociendo los tipos de curvas de las bombas, su aplicación y significado; así como los tipos de bombas y sus características, también las ventajas que tienen unas con respecto a otras; estar al tanto de los materiales que se ocupan para la construcción de bombas y sus aplicaciones en las diferentes industrias

A continuación se describe brevemente el contenido de cada uno de los capítulos mencionados en el presente trabajo.

El Primer Capítulo es para establecer las bases teóricas sobre las cuales se basa el funcionamiento de las turbomáquinas motrices y generatrices, las clasificaciones de los tipos de máquinas, y los conceptos fundamentales de este tema, de modo que con este Capítulo se pueda recordar lo que se estudio durante la carrera.

En el Capítulo Dos se trata de manera más específica lo que son las bombas, sus clasificaciones y características, además de empezar a estudiar el método de selección de un equipo de bombeo tomando en cuenta todos los factores que influyen y afectan la decisión.

El Capítulo Tres comprende el desarrollo de curvas y sistemas de las bombas centrífugas, en esta sección se emplean ejemplos de curvas que no se recomiendan para su uso, si se necesitan datos específicos sobre una bomba, se debe recurrir al fabricante y en éste capítulo se anexarán algunas curvas de las bombas que fabrica la Compañía "Bell & Gossett" del Grupo "ITT". Estas curvas sirven de apoyo y son los indicadores del comportamiento de las bombas, por lo que es imprescindible el conocimiento del manejo de éstas.

Ya que se conoce que equipo se eligió y porque se hizo, viene el trabajo de instalación, mantenimiento y operación de las bombas, y esto es lo que se estudia en el Capítulo Cinco. Este Capítulo es importante porque los ingenieros no solo se dedican a diseñar a construir, también se dedican al mantenimiento de equipos e incluso de plantas de producción completas, y en este capítulo se estudian estos temas enfocados a las bombas, que es el motivo de este trabajo.

El objetivo del Capítulo Cinco es analizar los tipos de bombas que se utilizan en las diferentes industrias, esto servirá para ampliar el panorama sobre las bombas; porque éstas no solo trabajan con agua pura y para la comodidad del hombre, sino que también sirven para abastecer ciudades, para eliminar productos como lodo, pulpa u otros desechos; para procesos industriales muy complicados y grandes, por ejemplo, en sistemas de lubricación, para materiales muy viscosos, gases, y en sistemas de refrigeración, enfriamiento y calefacción, etc.

Para esto se irán mencionando varias industrias de las que se analizarán los tipos de bombas que usan y sus aplicaciones, por lo que si alguna vez se presenta la oportunidad de pedir trabajo en una empresa de las ramas abarcadas en este capítulo, se tendrán los conocimientos elementales sobre el tema. Además, los ingenieros mecánicos, tarde o temprano tienen la necesidad de usar alguna de estas bombas para un caso similar o un proyecto nuevo.

Con este trabajo es posible que un ingeniero interesado en el tema, pueda de manera sencilla y rápida, elegir un sistema de bombeo para agua tan sencillo o complejo como lo requiera, además de estar preparado para dar mantenimiento a los equipos, instalarlos y también tendrá una idea bastante amplia de las bombas que se pueden usar en las diferentes industrias.

CAPITULO I

CONOCIMIENTOS BÁSICOS

1.1 DEFINICIÓN DE MÁQUINA HIDRÁULICA

Las turbomáquinas son máquinas rotativas que permiten una transferencia energética entre un fluido y un rotor provisto de álabes o paletas, mientras el fluido pasa a través de ellos.

Si la transferencia de energía se efectúa de máquina a fluido se le da el nombre genérico de bomba; si por el contrario, el fluido cede energía al rotor se llama turbina.

Las Bombas no solo dan energía al agua, sino que también sirven para dar energía a un gas como en los compresores. Entre las turbinas figuran las hidráulicas, de vapor, de gas, de aire, en fin, para cualquier tipo de fluido.

Concretamente en este tema, una máquina hidráulica se define como un dispositivo que sirve para intercambiar energía entre un líquido en movimiento y un sistema mecánico.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS.

Las máquinas hidráulicas se clasifican según su principio de funcionamiento en:

- * TURBOMAQUINAS
- * MAQUINAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Para los fines del presente trabajo se estudiarán únicamente las turbomáquinas.

Tomando en cuenta el sentido en que se lleva a cabo el intercambio de energía, las turbomáquinas se pueden clasificar en:

- * TURBOMAQUINAS MOTRICES (TURBINAS).
- * TURBOMAQUINAS GENERATRICES (BOMBAS).

Es decir, si la transferencia de energía es del rotor al fluido, se conoce como bomba. Y si la transferencia de energía es del fluido al rotor, entonces es una turbina.

Otro tipo de clasificación se basa en la dirección que tiene el flujo a su paso por el rotor, y se tienen así las máquinas de flujo radial y las máquinas de flujo axial; algunas tienen dos flujos, y se conocen como de flujo mixto.

Ya especificado lo anterior, podemos saber que las turbomáquinas motrices se dividen a su vez en dos tipos perfectamente definidos:

- * TURBINAS DE IMPULSO.
- * TURBINAS DE REACCIÓN.

A su vez las turbinas de reacción se clasifican en dos tipos, atendiendo a la forma de las líneas de corriente del flujo dentro del elemento móvil en:

- * TURBINAS DE FLUJO MIXTO.
- * TURBINAS DE FLUJO AXIAL.

Regresando un poco, veremos ahora la clasificación de las turbomáquinas generatrices:

- * DE FLUJO RADIAL.
- * DE FLUJO AXIAL.
- * DE FLUJO MIXTO.

En la figura 1.2.1 se muestra la clasificación de la Turbomaquinaria Hidráulica anteriormente descrita.

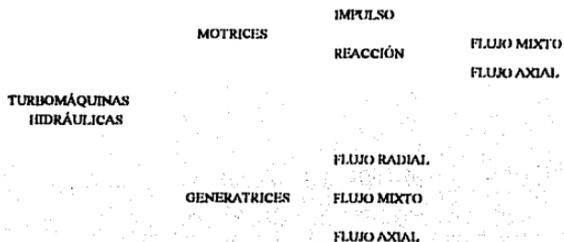


Figura 1.2.1

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS.

Esta descripción se hará de acuerdo a la clasificación del inciso anterior de una manera breve y concisa.

En las turbomáquinas se lleva a cabo un intercambio de energía que se realiza en base a fuerzas hidrodinámica interactuantes entre el fluido y los elementos fijos y móviles de la máquina.

TURBOMAQUINAS MOTRICES (TURBINAS).

TURBINAS DE IMPULSO.

Estas están representadas por las turbinas Pelton, las cuales son alimentadas sobre uno o varios puntos tangencialmente a la circunferencia externa del rodete y la transformación de energía que se lleva a cabo exclusivamente de energía cinética en trabajo mecánico.

TURBINAS DE REACCIÓN.

Las turbinas de reacción son alimentadas por medio de un conducto en espiral que rodea al elemento móvil (rodete) en toda su circunferencia, con lo cual se consigue alimentar uniformemente a las mismas. La transformación de energía que se lleva a cabo es; energía de presión hasta energía cinética, con recuperación simultánea de energía potencial y residual en que escapa del rodete, por medio de un dispositivo integral de la máquina que se denomina tubo de aspiración.

Este tipo de turbinas se dividen como ya se mencionó en Turbinas de Flujo Mixto y de Flujo Axial, las cuales se describirán a continuación:

TURBINAS DE FLUJO MIXTO.

En estas turbinas el líquido entra al rodete en dirección radial y sale de éste para entrar al tubo de aspiración en dirección axial, cambiándose así la dirección del flujo aproximadamente en un ángulo de 90° . Estas turbinas son representadas por las Francis.

TURBINAS DE FLUJO AXIAL.

En este tipo de turbinas, la dirección de las líneas de corriente del flujo tanto a la entrada como a la salida del rodete, siguen una dirección paralela a la flecha motriz de la máquina, éstas son representadas por las turbinas de Hélice y

Kaplan.

TURBOMAQUINAS GENERATRICES (BOMBAS).

BOMBAS DE FLUJO RADIAL O CENTRIFUGAS.

En Éstas, las líneas de corriente del flujo siguen una trayectoria sensiblemente radial desde la entrada hasta la salida del impulsor, aunque al ser admitido el fluido en la zona del ojo del mismo, se experimenta un cambio rápido en el ángulo de 90°, sin embargo, el fluido no es accionado por los álabes hasta que las líneas de corriente del flujo siguen la dirección radial antes mencionada.

BOMBAS DE FLUJO MIXTO Y AXIAL.

En las bombas de flujo mixto y axial, las características del flujo son las mismas que en las turbinas anteriormente mencionadas, excepto que en las bombas se lleva a cabo el intercambio de energía en sentido contrario.

Cada turbomáquina tiene un rango de aplicación dentro del cual funcionan con una eficiencia óptima que depende de la combinación de los siguientes elementos hidráulicos:

TURBINAS:

- P_f - Potencia al freno.
- H_n - Carga neta.
- N - Velocidad angular del generador.

BOMBAS:

- Q - Gasto.
- H_t - Carga total.
- N - Velocidad angular del motor.

En base a estos elementos hidráulicos se determinó un índice de adaptabilidad tanto para turbinas como para bombas, ya que tanto en la naturaleza como en la industria existen una infinidad de rangos de dichos elementos. A este índice se le llama "VELOCIDAD ESPECIFICA" (N_s), y determina de una manera absoluta la eficiencia de una turbina o bomba.

La velocidad específica se expresa de la siguiente manera:

$$N_s = \frac{P_f}{H_n^{3/4}}$$

$$N_s = \frac{P_f}{H_n^{5/4}}$$

Para las turbinas

donde:

- N_s - Velocidad específica (índice).
- N - Velocidad angular en r.p.m.
- P_f - Potencia al freno en C.V.
- H_n - Carga neta en m.

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H_t^{3/4}}$$

Para las bombas

donde:

- N_s - Velocidad específica.
- N - Velocidad angular en r.p.m.
- Q - Gasto en GPM.
- H_t - Carga total en pies.

1.4 ECUACIÓN DE EULER

La ecuación de Euler tiene una importancia fundamental en el diseño de turbinas y bombas hidráulicas, ya que expresa la energía que se intercambia en el rodete de éstas máquinas.

En el rodete existen dos pares iguales pero de sentido contrario, el par comunicado al fluido y el par de reacción que el fluido ejerce sobre el rodete. Las turbinas hidráulicas, son turbomáquinas motrices: el fluido imparte energía al rodete. Por eso al tratar de deducir la ECUACIÓN DE EULER para las turbomáquinas motrices se procederá análogamente; pero escribiendo el momento que el fluido ejerce sobre el rodete, con lo que el segundo miembro de la ecuación 1.4.6 tendrá los signos cambiados, lo mismo que los segundos miembros de las ecuaciones 1.4.7 y 1.4.8.

De esta manera la llamada Altura de Euler (H_E), ya no será la energía específica que da la máquina al fluido (H_t), sino la que absorbe la máquina. No obstante en ambos casos, *la altura teórica y la altura de Euler, serán la energía específica intercambiada entre el rodete y el fluido o Altura Hidráulica*. De donde se deduce la expresión válida para todas las turbomáquinas:

$$H_E = H_h = \pm \frac{u_1 Vu_1 - u_2 Vu_2}{g}$$

Signo (-) para turbomáquinas generatrices.
Signo (+) para turbomáquinas motrices.

TRIÁNGULOS DE VELOCIDAD.

Las ecuaciones vectoriales 1.4.1 y 1.4.2:

$$\begin{aligned} V_1 &= u_1 + v_1 \\ V_2 &= u_2 + v_2 \end{aligned}$$

Se representan mediante los triángulos de velocidad de entrada y salida respectivamente.

En estos triángulos se utiliza la siguiente notación que se ve en la figura 1.4.2:

Donde:

u_1 - Velocidad tangencial del álabe a la entrada .

V_1 - Velocidad absoluta del fluido a la entrada.

v_1 - Velocidad relativa del fluido respecto al álabe de entrada.

$V_{n1} = V_1 \sin \alpha_1$ - componente meridiana de la velocidad absoluta del fluido a la entrada.

$V_{u1} = V_1 \cos \alpha_1$ - componente tangencial de la velocidad absoluta del fluido a la entrada .

α_1 - Ángulo que forman las dos velocidades V_1 y u_1 .

β_1 - Ángulo que forma v_1 con $(-u_1)$.

Y lo mismo en el triángulo de salida, substituyendo el subíndice 1 por el 2.

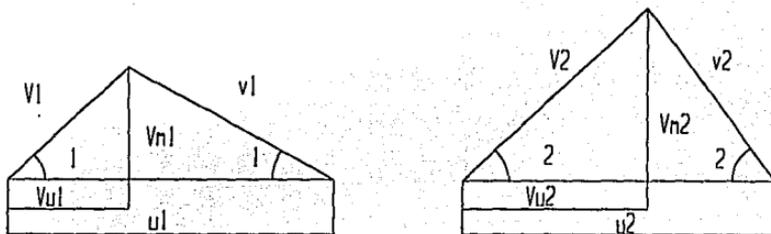


Figura 1.4.2 Triángulos de Entrada y Salida

1.5 CAVITACIÓN

El nombre significa formación de cavidades en el seno del líquido, definidas por burbujas de vapor dentro de la masa líquida y producidas por una vaporización local a causa de ciertas condiciones dinámicas, como la alta velocidad relativa.

Es un fenómeno esencialmente mecánico producido por el colapso de las burbujas de vapor, que tiene la particularidad de ser altamente nocivo a los rodets de las máquinas y las instalaciones hidráulicas de las casas de máquinas. La cavitación produce la disminución del rendimiento hidráulico.

Se puede visualizar el fenómeno de la siguiente forma:

Sea un estrangulamiento simple en un conducto a presión en que se pueden determinar dos secciones:

La sección (1) a la entrada de la reducción y la sección (2) en la garganta Fig. 1.5.1

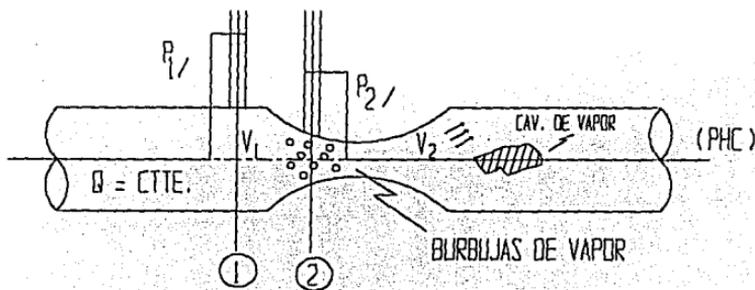


Figura 1.5.1

Si insertamos dos piezómetros, uno en cada sección y valuamos la energía de presión y cinética, tomando un plano de referencia (PHC) que pase por el centro del conducto y establecemos el teorema de Bernoulli entre estas secciones, veremos que como $E_1 = E_2$:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1.5.1)$$

por continuidad:

$$V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1 \quad (1.5.2)$$

y si A_1/A_2 se hace demasiado grande V_2 también crece demasiado, entonces, por conservación de energía P_2/γ se tiene que hace muy pequeño, originando esto que pueda llegarse a $P_2/\gamma < P_v/\gamma$ a la temperatura ambiente, lo que hace que el agua hierva y se origine un desprendimiento de burbujas de vapor en la garganta del venturi, que son arrastradas por el flujo formando cavidades grandes que desvían el flujo en forma errática, originándose vibraciones violentas que afectan a las instalaciones hidráulicas. Cuando éstas cavidades de vapor llegan a zonas donde se tiene nuevamente las condiciones normales, se realiza el colapso de las burbujas desapareciendo prácticamente en un punto, originándose así ondas de presión de alta intensidad que se propagan en el medio líquido, y al penetrar en la porosidad del material de la frontera del flujo, la expansión de éstas origina el desprendimiento de las partículas del metal que dejan picadas las paredes de los conductos. Una cavitación bien desarrollada destruye la superficie de frontera de flujo en un lapso de tiempo de 100 horas.

La presión de vapor de agua la podemos visualizar de la forma siguiente:

Sea un barómetro de mercurio y un barómetro de agua como se aprecia en la figura 1.5.2. Si llenamos los tubos con los líquidos correspondientes y los volteamos e introducimos los extremos abiertos en sus cubetas correspondientes, podemos observar que el barómetro de mercurio da la presión atmosférica real, porque en la parte superior del tubo queda un vacío casi absoluto, pero el barómetro de agua da una lectura menor que denominaremos carga barométrica de agua, porque al hacerse el vacío, el agua hierve inmediatamente y el vapor de agua que llena el espacio superior del tubo ejerce una presión que hace que la columna de agua del barómetro descienda hasta conseguirse el equilibrio de la carga de agua más la presión de vapor interna con la presión atmosférica externa. Luego la diferencia entre éstas dos cargas, es la presión de vapor de agua a la temperatura ambiente.

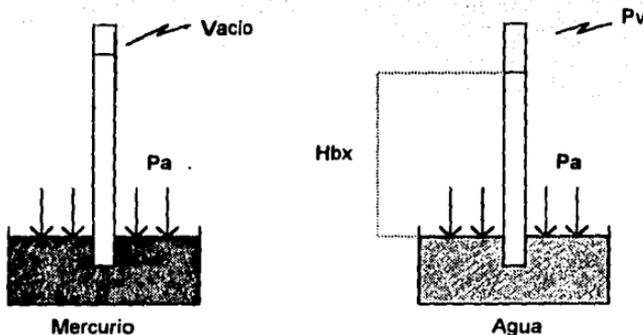


Figura 1.5.2

CONTROL DE CAVITACIÓN EN LAS BOMBAS.

Sea una bomba cualquiera acoplada directamente a un motor que gira a una velocidad angular N , cuya rama de succión está conectada a un depósito de alimentación en que el nivel del espejo de agua se mantiene constante. La rama de succión en un tubo simple, sumergido suficientemente respecto al nivel del espejo de agua para evitar la entrada de aire y la formación de vórtices. Los elementos hidráulicos y geométricos se ilustran en la figura 1.5.3.

Estableciendo el teorema de Bernoulli entre los planos (1) y (2) con (PHC) en 2 se tiene:

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + H_{ss} + \sum H_{fs} \quad (1.5.3)$$

Despreciando $V_1^2/2g$, por ser demasiado pequeña, y despejando P_s/γ . Se tiene:

$$\frac{P_a}{\gamma} - H_{gg} - \frac{V_s^2}{2g} - \sum H_{fs} > \frac{P_v}{\gamma} \quad (1.5.4)$$

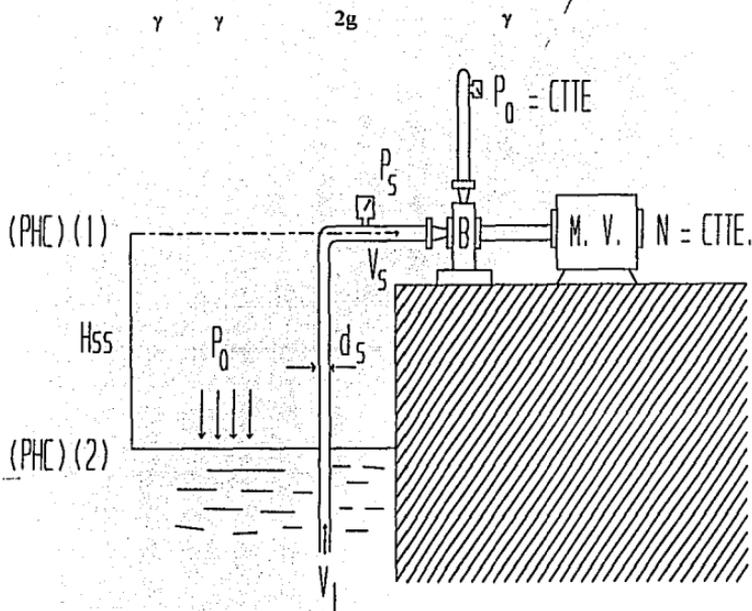
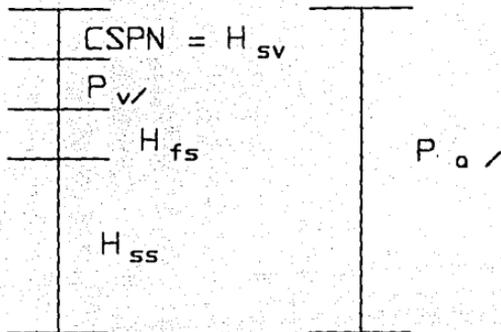


Figura 1.5.3

Si queremos que no se presente la cavitación, debemos de forzar la situación, tal que $P_s > P_v$. En que P_v es la presión de vapor de agua a la temperatura ambiente, entonces:

$$\frac{P_a}{\gamma} - H_{ss} - \Sigma H_{f_s} - \frac{P_v}{\gamma} > \frac{V_s^2}{2g} \quad (1.5.5)$$

Si hacemos una gráfica representativa del primer miembro de ésta ecuación, nos resulta:



La diferencia de energía con respecto a la P_a/γ se denomina CARGA DE SUCCIÓN POSITIVA NETA, y se indica con H_{sv} , luego de la gráfica anterior se tiene:

$$H_{sv} > V_s^2/2g \quad (1.5.6)$$

Si dividimos los dos miembros de la ecuación anterior, entre la carga total que da la bomba (H_t), ésta se vuelve adimensional, pero con la ventaja, de que el segundo miembro es constante, mientras que el primero no lo es: obsérvese en la curva de gastos de la figura 1.5.4, que como la N es constante, y la presión de descarga también, por la posición de la válvula, también Q es constante y por consiguiente V_s es constante, mientras que la H_{sv} no es constante, pues depende de H_{ss} .

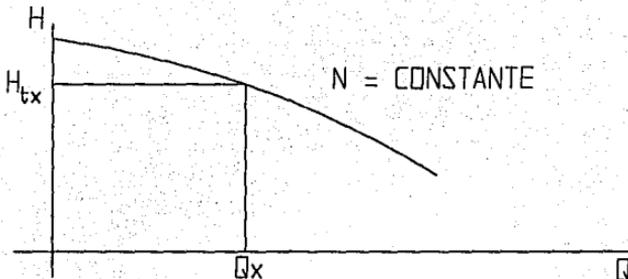


Figura 1.5.4

Luego si en estas condiciones vamos aumentando la Hss, puede ocurrir que:

$$\frac{H_{vs}}{H_t} = \frac{V_s^2}{2g H_t} \quad \text{y en este momento } P_s = p_v$$

y por lo tanto se tiene la condición de cavitación incipiente.

Ahora si llamamos: $V_s^2/2g H_t = \sigma_c$, en que σ_c es el coeficiente de Thoma $\sigma_{th} = \sigma_c$ a través de un coeficiente de seguridad de aproximadamente 1.5. Luego, el fabricante obtiene el σ_{th} en base a pruebas de laboratorio variando el gasto Q y la Hss y finalmente nos proporciona esta información a través de una gráfica de $H_{sv} = \sigma_{th} H_t$

En donde para cada Q_i se tiene una N_{si} .

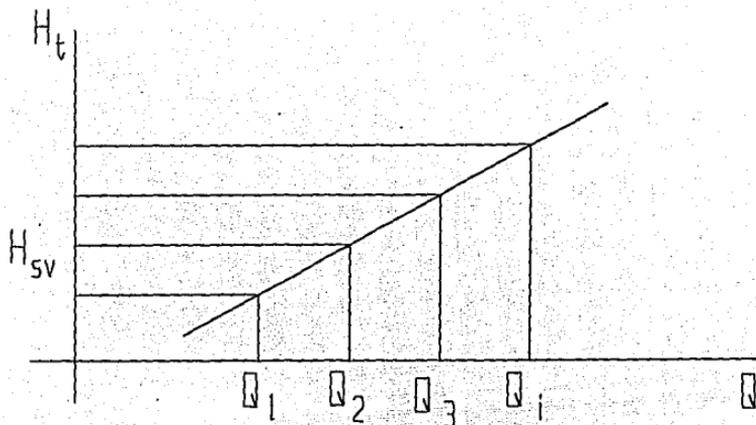


Figura 1.5.5

Afortunadamente el coeficiente de cavitación de Thoma es función de la velocidad específica de la bomba.

Entonces:

$$\sigma_{th} = K_v N_s^{3/4} \quad (1.5.7)$$

relación que nos permite pasar fácilmente de un σ_{th} a otro con la $N_s^{3/4}$

Cuando la bomba opera con una elevación excesiva, se desarrolla una presión de succión baja en la entrada de la bomba, la presión disminuye hasta que puede crearse un vacío y el líquido se convierte en vapor si la presión del tubo es más baja que la presión del vapor líquido. El flujo de líquido en la bomba desaparece. Esto se conoce como punto de corte, debido a que se ha alcanzado el límite de la capacidad de la bomba con esta presión de entrada. La bomba se acerca ahora a condiciones de operación que pueden causar daño.

Cuando la presión de entrada está a punto de alcanzar el punto de vaporización, las bolsas de vapor forman burbujas en el lado posterior del álabe impulsor, cerca de su base. Conforme una burbuja se mueve del área de baja presión a la de alta presión la burbuja desaparece. Se deshace tan rápidamente que el líquido que el líquido golpea al álabe con fuerza extrema, a veces lo bastante fuerte para descascarar pequeñas partículas del impulsor. El daño generalmente se llama picadura, y el ruido que se oye en el exterior de la bomba durante la cavitación es

causado por el colapso de las burbujas de vapor.

Una elevación de succión excesiva, un cspn insuficiente a una operación a velocidad excesiva son causas comunes de cavitación. Las dificultades más comunes derivadas de la cavitación son picadura, vibración y ruido. Aún cuando la cavitación severa viene generalmente acompañada por ruido excesivo y daños a la bomba, una cavitación moderada puede no producir más que una pequeña reducción en la eficiencia de la bomba.

Para las bombas centrífugas, Fairbanks, Morse and Co. recomienda que se eviten las cinco condiciones siguientes hasta donde sea posible:

- 1) Columnas mucho más bajas que la columna de máxima eficiencia de la bomba.
- 2) Capacidad mucho mayor que la capacidad de máxima eficiencia de la bomba.
- 3) Elevación de succión mayor o columna positiva menor que la recomendada.
- 4) Temperaturas de líquido mayores a las de diseño.
- 5) Velocidades más altas que las recomendadas por el fabricante.

1.6 RENDIMIENTOS.

RENDIMIENTOS.

Existen varios tipos de rendimientos, que a continuación se mencionan y se describen.

a) Rendimiento hidráulico o manométrico, que muestra precisamente la relación existente entre la carga teórica y la carga neta, así:

$$\eta = \frac{H}{H_n} \quad (\text{turbinas}) \quad (1.6.1)$$

$$\eta_v = \frac{H_n}{H} \quad (\text{bombas}) \quad (1.6.2)$$

Este rendimiento es muy importante ya que caracteriza la capacidad de la máquina para intercambiar energía con el fluido.

b) Rendimiento volumétrico. No todo el fluido que entre en la máquina está en posibilidad de intercambiar energía con los álabes del rotor; parte del mismo se fuga por los sellos, estoperos o retenes, antes de tener esa oportunidad, decidiéndose así un rendimiento volumétrico.

$$\eta_v = \frac{Q - q}{Q} \quad (1.6.3)$$

En donde Q significa el gasto volumétrico que entra en la máquina y q las fugas expresadas en la misma unidad de volumen. Este rendimiento es muy alto en las máquinas modernas (muy próximo al 100%), pues hoy en día se cuenta con buenos materiales para sellos (como el neopreno), que soportan bien la acción abrasiva que se produce entre los elementos de la máquina en movimiento y las partes fijas. Pero en algunos casos se propicia una ligera fuga (lagrimeo), que evita la resequedad del sello y mejora las condiciones de deslizamiento.

1.7 TEORÍA DE SIMILITUD.

Para que haya semejanza entre dos fenómenos fluido dinámicos realizados sobre dispositivos de diferentes tamaños, es necesario que se cumplan las siguientes condiciones de similitud :

- a) Geométrica.
- b) Cinemática.
- c) Dinámica.

SIMILITUD GEOMÉTRICA.

Se dice que dos turbomáquinas de diferente tamaño son geoméricamente similares, si y solamente si, sus longitudes homólogas guardan una relación constante y única denominada "Escala de Líneas". Se dice entonces que una de ellas es el modelo y la otra el prototipo.

De la figura 1.7.1 se tiene:

$$\frac{D_{2p}}{D_{2m}} = \frac{d_p}{d_m} = \frac{d_{1p}}{D_{1m}} = \dots\dots\dots = Le \quad (1.7.1)$$

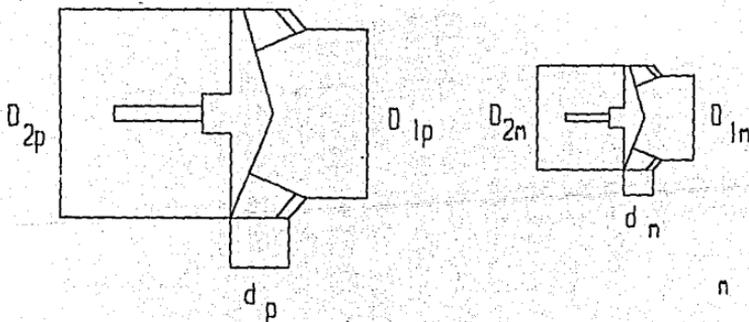


Figura 1.7.1

Esta condición es muy importante, pues garantiza la condición cinemática al forzar las condiciones de frontera del fluido.

FALTA PAGINA

No 21 a la.....

SIMILITUD CINEMÁTICA.

Se dice que dos turbinas de diferente tamaño son cinemáticamente similares, si y solamente si, las velocidades homólogas referidas a puntos homólogos del fluido guardan una relación constante y única denominada "Escala de Velocidades". Del paralelogramo de velocidades a la salida del impulsor del modelo y del prototipo se tiene la figura 1.7.2:

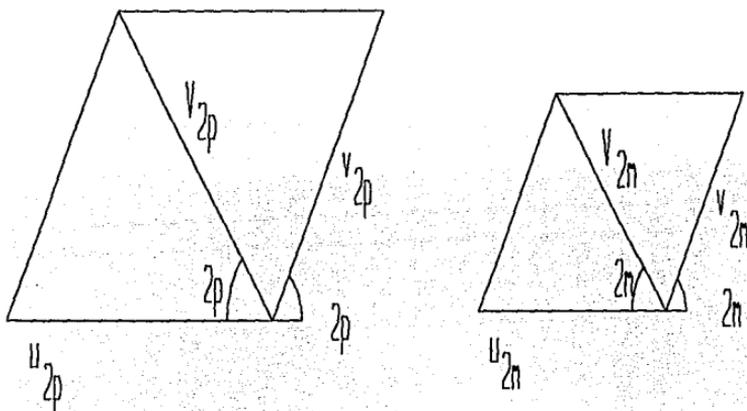


Figura 1.7.2

Esto significa que los paralelogramos de velocidades del modelo y del prototipo deben ser geoméricamente semejantes y por lo tanto, no deberá haber diferencia entre sus ángulos.

SIMILITUD DINÁMICA.

Indica que las relaciones entre magnitudes de las diferentes fuerzas son las mismas, en el mismo instante, en puntos homólogos de las dos máquinas. En una similitud física, las cantidades de la misma naturaleza que caracterizan a las máquinas, están en la misma relación en todos los puntos homólogos en tiempos homólogos.

Es difícil que pueda llegarse a una similitud física completa alguna vez. lo que requiere una debida consideración de todas las variables en cada momento. Una misma forma tiene respuesta diferente ante las propiedades de un fluido al variar la velocidad relativa, por ejemplo. La aplicación más inmediata se tiene en la operación de modelos a escala lineal más reducida de manera que se pueden realizar experimentos de manera poco costosa. El cambio en la escala lineal implica que otras variables cambian también conservándose la similitud de términos.

CAPITULO II

SELECCIÓN DE BOMBAS

2.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.

DEFINICIÓN.

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o 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 sería una bomba en un oleoducto, en donde las cotas de altura, los diámetros de las tuberías y consecuentemente las velocidades fuesen iguales, mientras que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuviesen en la conducción.

Existen bombas trabajado con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad. Sin embargo, a este respecto, hay muchas confusiones en los términos de presión y de velocidad, por la acepción que llevan implícita de las expresiones fuerza-tiempo. En la mayoría de las aplicaciones de

energía dada por una bomba es una mezcla de las tres, las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos.

Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una turbina, la cual transforma la energía de un fluido, en energía mecánica.

Para una mayor claridad, buscado una analogía con las máquinas eléctricas, y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico, en tanto que una turbina sería un motor hidráulico.

Normalmente un generador hidráulico (una bomba) es accionado por un motor eléctrico, mientras que un motor hidráulico (una turbina) acciona un generador eléctrico.

CLASIFICACIÓN.

Siendo variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una clasificación. La que se considera más completa es la del "Hydraulic Institute". El mencionado instituto tiene como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipos de bombeo en todo el mundo y se ha preocupado por mantener al día los standards.

Esta clasificación permite apreciar los diversos tipos de bombas, los materiales de construcción, sus diferentes tamaños para manejar gastos y presiones sumamente variables, y los diversos tipos de líquidos que se pueden manejar.

Hay tres bombas que más se usan: centrífuga, rotatoria y reciprocante. Estos términos se aplican solamente a la mecánica de movimiento del líquido y no al servicio para el que se ha diseñado una bomba..

Bajo la clasificación de rotatorias se encuentran las de leva, tornillo, engranes y álabes. cada una es un tipo particular de bomba rotatoria.

En la clasificación de las bombas reciprocantes se incluyen las de acción directa, de potencia que incluye manivela y volante, de diafragma y de pistón. Este tipo de bombas pueden ser simples, duplex, triplex, cuadruplex, etc.

Las bombas centrífugas, pueden ser de voluta, difusor, turbina vertical, flujo mixto y de flujo axial. Las bombas centrífugas son de un solo paso.

Para efectos de este trabajo solo nos interesarán las bombas centrífugas, que más adelante describiremos.

CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS ROTATORIAS.

Las bombas rotatorias generalmente son unidades de desplazamiento positivo, consisten de una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones levas, tornillos, etc.

En lugar de aventar el líquido como en una bomba centrífuga, una bomba rotatoria lo atrapa, lo empuja contra la caja fija o carcasa, en forma muy similar a como lo hace el pistón de una bomba reciprocante, pero a diferencia de las bombas de pistón, la bomba rotatoria descarga un flujo continuo.

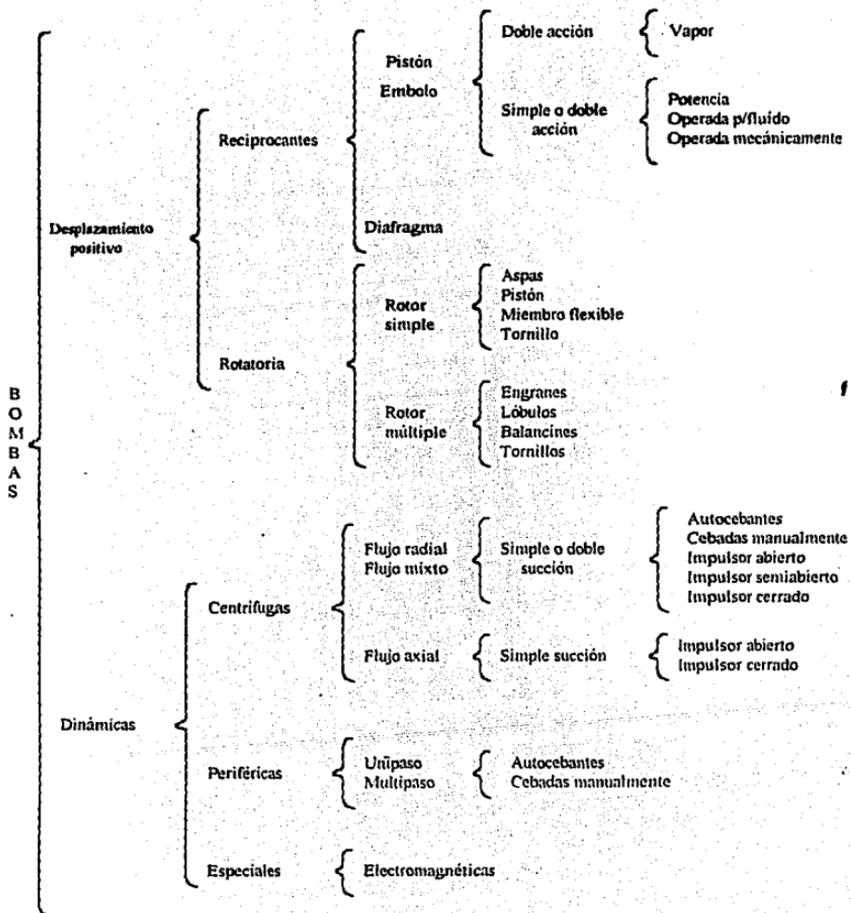
Aunque se considera que las bombas rotatorias son para líquidos viscosos, pueden manejar casi cualquier líquido que esté libre de sólidos abrasivos.

Si se desprecian los escapes, las bombas rotatorias descargan un gasto constante independiente de las presiones de descarga. Así, la curva usual HQ es prácticamente una línea horizontal. La potencia requerida por una bomba rotatoria, aumenta con la viscosidad del líquido.

CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS RECIPROCANTES.

Las bombas reciprocantes son bombas de desplazamiento positivo, descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón a través de la distancia de carrera. El volumen del líquido desplazado en una carrera del pistón es igual al producto del área del pistón por la longitud de la carrera.

En las bombas centrífugas el flujo del líquido es constante, también en las bombas rotatorias, pero en las reciprocantes, el flujo pulsa, como las señales eléctricas, dependiendo del tipo de bomba y de si tiene o no, una cámara de colchón.



2.2 MÉTODOS DE SELECCIÓN DE LAS BOMBAS Y PROPUESTA.

Probablemente el mayor problema que se encuentra un ingeniero al diseñar un sistema de bombeo es la elección de la clase, tipo, capacidad, columna y detalles de la bomba o bombas que se utilizaran 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.

MÉTODOS DE SELECCIÓN.

Las bombas se eligen generalmente por uno de los tres métodos: (1) el cliente suministra detalles completos a uno o más fabricantes, o sea que el cliente hace la selección y pregunta al fabricante si tiene esas características; (2) el fabricante se encarga de hacer los cálculos completos, es decir que el fabricante se encarga de la selección; (3) se usa una combinación de estos dos métodos, es decir que se efectúa la selección con la intervención tanto del comprador como del vendedor.

SELECCIÓN DEL FABRICANTE.

Este método 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 el mismo la elección de la bomba. Aún cuando esto parece relevar al ingeniero de mucha responsabilidad de la elección de la bomba, 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.

DATOS PARA EL FABRICANTE.

La siguiente lista agrupa los datos esenciales requeridos por cualquier fabricante de bombas para que pueda preparar una recomendación y una oferta. Muchos fabricantes tienen formas que puede llenar el ingeniero sin pedir una recomendación.

Los datos cuando no están completos, pueden conducir a una recomendación inadecuada o errónea debido a que el ingeniero que elige la unidad puede hacer suposiciones falsas.

Los siguientes aspectos representan los datos esenciales requeridos para seleccionar una bomba:

1. Número de unidades requeridas.

2. Naturaleza del líquido que habrá de bombearse.

Es el líquido:

- a) ¿agua fresca o salada, ácida o alcalina, aceite gasolina, lodo o pulpa de papel?
- b) Frío o caliente; y si es caliente ¿a que temperatura? ¿Cuál es la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo?
- c) ¿Cuál es su densidad?
- d) ¿Es viscoso o no?
- e) ¿Limpio y libre de materias extrañas o 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 en porcentaje o en Kg/m^3 de líquido? ¿Cuál es el material en suspensión?
- f) ¿Cuál es el análisis químico? ¿Cuáles son las variaciones permisibles en este análisis? En caso de ser corrosivo ¿cuál ha sido la experiencia pasada tanto con materiales satisfactorios como con materiales 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?

5. Condiciones de descarga.

¿Cuál es la columna estática? ¿Es constante o variable?

6. ¿Es el servicio continuo o intermitente?

7. ¿Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal o vertical?
En este último caso .
- ¿ En pozo húmedo?
 - ¿ En pozo seco?
8. ¿Qué tipo de potencia se tiene disponible para mover la bomba y cuales son las características de ésta?
9. ¿Qué limitaciones de espacio, peso o transporte habrán de encontrarse?
10. Localización de instalación.
- Localización geográfica.
 - Elevación sobre el nivel del mar.
 - Instalación interior o a la intemperie.
 - Variación de las temperaturas ambientales.
11. ¿Existen algunos requisitos o preferencias marcadas con respecto a diseño, construcción o características de las bombas?

PROPUESTA.

La mayor parte de los fabricantes combinan su recomendación y proposición en un solo 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 o acuerdos legales con respecto a planos, garantías, instalación de la unidad, fecha de embarque, condiciones de pago, impuestos, seguros transportes, etc. Incluye una ilustración de la bomba y un catalogo si es posible.

CÁLCULOS EN LA ELECCIÓN DE UNA BOMBA.

Básicamente hay cinco pasos en la elección de cualquier bomba, ya sea grande o pequeña, centrífuga, recíprocante o rotatoria. Estos pasos son:

- 1) Un diagrama de la disposición de bomba y tuberías.
- 2) Determinar la capacidad.

- 3) Calcular la columna total.
- 4) Estudiar las condiciones del líquido.
- 5) Elegir la clase y el tipo.

Por conveniencia en estimaciones rápidas, estos cinco datos se conocen como tamaño, clase y mejor compra.

Diagrama Esquemático: El diagrama debe basarse sobre la aplicación real. Generalmente son satisfactorios los diagramas simples de una sola línea. Se deben mostrar todas las tuberías, accesorios, válvulas, equipo y otras unidades del sistema.

Capacidad: Las condiciones de la aplicación fijan a la capacidad requerida. Los cambios de estación, factor de seguridad, entre otros, influyen en la capacidad elegida.

Cálculo de la Columna Total: Para comprobar si los cálculos realizados por el fabricante es conveniente pedirle un diagrama completo del sistema, de esta manera usted puede hacer sus propios cálculos y asegurarse de que la propuesta realmente es la mejor.

Estudio de las Condiciones del Líquido: La densidad del líquido, temperatura, presión de vapor, viscosidad, características químicas, etc., deben considerarse muy cuidadosamente para la selección de la bomba.

Elección de Clase y Tipo: La elección de la clase y el tipo, depende de las condiciones anteriores, porque la variación, por mínima que sea, cambia el tipo de bomba, para esta elección incluso se tomó en cuenta el costo de la bomba.

Ya que se conoce la clase y el tipo de bomba, se hace una curva de características, o se revisa la tabla de características, para comprobar si es la bomba adecuada.

Cuando las condiciones hidráulicas requeridas se encuentran entre dos modelos normales, lo común es elegir el tamaño inmediato mayor, a menos que haya alguna razón para requerir una columna y capacidad exactas de la unidad.

Otras características que se toman en cuenta en la selección de la bomba, son la demanda de potencia, el cambio de características, la velocidad específica y las pérdidas por fricción, enseguida se mostrarán algunos ejemplos de cómo calcular esto.

Demanda de potencia: La potencia requerida para mover cualquier clase o tipo de bomba puede calcularse de:

$$P = fhs / 72.60 e \quad (2.2.1)$$

Donde:

P = Demanda de la potencia 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.

Cambio de características: El alterar la velocidad o 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 la 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 requerida varía con el cubo de el diámetro del impulsor.

Las reglas para el diámetro del impulsor se usan del mismo modo .

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 deseada.

$$N_s = \frac{(lps) (rpm)}{h^{0.75}} = \frac{Q^{1/2} N}{H^{3/4}} \quad (2.2.2)$$

Donde h = Columna por paso en m de líquido.

2.3 BOMBAS CENTRIFUGAS, CARACTERÍSTICAS, CLASES Y TIPOS.

Las bombas se clasifican según dos consideraciones generales diferentes:

- 1) La que toma en consideración las características de movimiento de los líquidos
- 2) La que se basa en el tipo o aplicación específica para los cuales ha sido diseñada la bomba.

El uso de estos dos métodos de clasificación de bombas causa gran confusión entre los principiantes y aún entre los veteranos.

La figura 2.3.1 tiene por objeto mostrar las clases y tipos de bombas y además aclarar el misterio entre ellas.

Hay tres clases de bombas en uso común en la actualidad: centrífuga, rotatoria y reciprocante. Estos términos solo se aplican a la mecánica de movimiento de líquido y no al servicio .

Cada clase se divide a su vez en un número de tipos diferentes. Por ejemplo, bajo la clasificación de rotatorias se encuentra la leva, tornillo, engranes y álabes, por mencionar algunas.

El Instituto Hidráulico, que ya se mencionó en el Capítulo 1.2 y en el Capítulo 2.1, clasifica a las bombas centrífugas como:

- 1) Centrífugas o flujo radial.
- 2) De flujo mixto.
- 3) De flujo axial.

Estas a su vez se subdividen según el número de pasos simples o múltiples; tipo de carcaza: espiral, circular o difusor; posición de la flecha: horizontal, vertical; succión: sencilla o doble.

Con respecto a los materiales de construcción, El Instituto Hidráulico usa las siguientes designaciones.

- 1) Con aditamentos de bronce.
- 2) Toda de bronce.
- 3) Bronce de composición específica.
- 4) Toda de fierro.
- 5) Con aditamentos de acero inoxidable.
- 6) Toda de acero inoxidable.

Características de las Bombas Modernas

	Centrífuga	Centrífuga	Rotatoria	Recipro- cante	Recipro- cante	Recipro- cante
	Voluta y Difusor	Flujo axial	Tornillo y engrane	Vapor de acción directa	Doble acción	Triplex
Tipo de descarga	Continuo	Continuo	Continuo	Pulsante	Pulsante	Pulsante
Máxima Elevación normal de succión, en mts.	4.5	4.5	6.60	6.60	6.60	6.60
Líquidos que maneja	Limpio, claro; sucio, abrasivo; líquidos con alto contenido de sólidos.	Limpio, claro; sucio, abrasivo; líquidos con alto contenido de sólidos.	Viscoso, no abrasivo	Limpio y claro	Limpio y claro	Limpio y claro
Variación de la presión de descarga	Baja a alta	Baja a alta	Media	Pequeña a la máxima que se produce.	Pequeña a la máxima que se produce.	Pequeña a la máxima que se produce.
Región de capacidad habitual	Pequeña a la mayor obtenible	Pequeña a la mayor obtenible	Pequeña a media	Pequeña	Pequeña	Pequeña
Cómo una columna aumentada afecta	Disminuye	Disminuye				
Capacidad	Depende de la velocidad específica	Depende de la velocidad específica	Nada	Disminuye	Nada	Nada
Potencia de entrada			Aumenta	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Como afecta una columna disminuida	Aumenta	Nada				
Capacidad	Depende de la velocidad específica	Disminuye	Nada	Pequeño aumento	Nada	Nada
Demanda de potencia			Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye

Figura 2.3.1

Las bombas con aditamentos de bronce tienen una carcasa de hierro vaciado, impulsor de bronce y anillos impulsores y cubre flechas de bronce. En una bomba toda de bronce, cada parte que se encuentre en contacto con el líquido está hecha con el bronce normal del fabricante. Lo mismo se aplica a la de bronce con composición específica, excepto que las partes están hechas de una composición de bronce adecuada a la aplicación de la bomba.

Las bombas todas de fierro, tienen las partes de metal ferroso en contacto con el líquido que se está bombeando. En una bomba con aditamentos de acero inoxidable, la carcasa está hecha de un material adecuado al servicio, en tanto que los impulsores, anillos y cubre flechas, si se usan, están hechos de un acero resistente a la corrosión. En una bomba toda de acero estructural, las partes en contacto con el líquido están hechas de acero resistente a la corrosión y adecuado a la aplicación.

CARACTERÍSTICAS GENERALES.

En la figura 2.3.2 se establece una explicación general de las características de una bomba.

En general, se deben seguir las recomendaciones, de no ser así, se corre el riesgo de elegir una bomba errónea.

CLASE	TIPO							
Centrífuga	<ul style="list-style-type: none"> Voluta Difusor Turbina regenerativa Turbina vertical Flujo mixto Flujo axial 	<ul style="list-style-type: none"> Un solo paso Pasos múltiples 						
			Rotatoria	<ul style="list-style-type: none"> Engrane Álabe Leva y pitón Tornillo Lóbulo Bloque de nivel 				
					Reciprocante	<ul style="list-style-type: none"> Acción directa Potencia (manivela y volante) Diafragma Rotatoria-pistón 		
								<ul style="list-style-type: none"> Simplex Dúplex Triplex Quádruplex Quintuplex Etc.

Figura 2.3.2

Una vez que se ha estudiado la tabla de la figura 2.3.2 se procede al estudio de como trabajan los diferentes tipos de bombas, sus curvas características, velocidades y las curvas de columna.

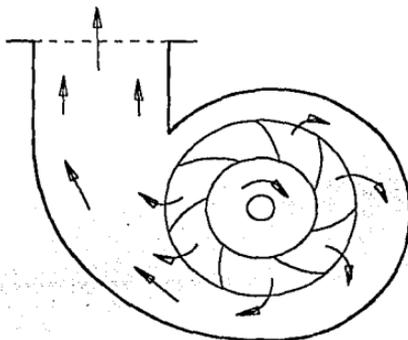
ACCIÓN DE UNA BOMBA CENTRIFUGA.

Bombas de Tipo Voluta.

En la figura 2.3.3, se muestra que el impulsor descarga en una caja espiral que se expande progresivamente, proporcionada en tal forma que la velocidad del líquido se reduce en forma gradual. Por esta razón, parte de la energía de velocidad se convierte en presión estática.

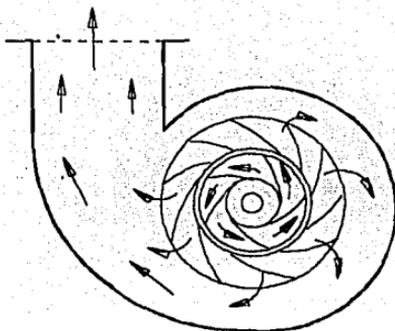
Bombas de Tipo Difusor.

Los álabes direccionales estacionarios, mostrados en la figura 2.3.4, rodean al rotor o impulsor en una bomba de tipo difusor. Esos pasajes con expansión gradual cambian la dirección del flujo del líquido y convierte la energía de velocidad a columna de presión.



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

Figura 2.3.3



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

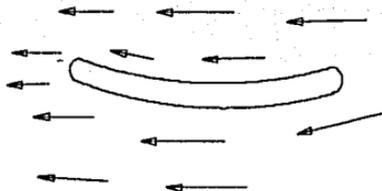
Figura 2.3.4

Bombas de Tipo Turbina.

También se conocen como periféricas y regenerativas, en este tipo se producen remolinos en líquido por medio de los álabes a velocidades muy altas dentro del canal anular en el que gira el impulsor. El líquido va recibiendo impulsos de energía.

Tipos de Flujo Mixto y Flujo Axial.

Las bombas de flujo mixto desarrollan su columna parcialmente por fuerza centrífuga y parcialmente por el impulsor de los álabes sobre el líquido. El diámetro de descarga de los impulsores es mayor que el de entrada. Las bombas de flujo axial desarrollan su columna por la acción de impulso o elevación de las paletas sobre el líquido, esto se muestra en la figura 2.3.5.



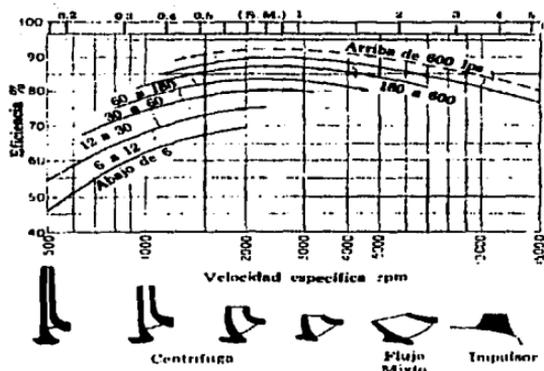
Una bomba de impulsor desarrolla la mayor parte de su columna por la acción del álabe sobre el líquido.

Figura 2.3.5

VELOCIDAD ESPECÍFICA.

Este es un índice del tipo de bomba, que usa la capacidad de columna que se obtiene en el punto de eficiencia máxima. Determina el perfil o forma general del impulsor. En números, la velocidad específica es la velocidad en revoluciones por minuto a la cual un impulsor deberá girar si su tamaño se reduce para dar un gasto de un litro por segundo contra una columna de un metro. Los impulsores para columnas altas tienen generalmente una velocidad específica baja. Los impulsores para columnas reducidas tienen generalmente una velocidad específica alta.

Según se indica en la figura 2.3.6, cada diseño de un impulsor tiene una región de velocidad específica para el cual está mejor adaptado. Estas regiones son aproximadas, sin divisiones bien definidas entre ellas. Esta figura da las relaciones generales entre la forma de impulsor, eficiencia y capacidad. Las limitaciones de succión para las diferentes bombas están relacionadas con la velocidad específica.



Relación aproximada entre velocidad específica, forma de impulsor y eficiencia.

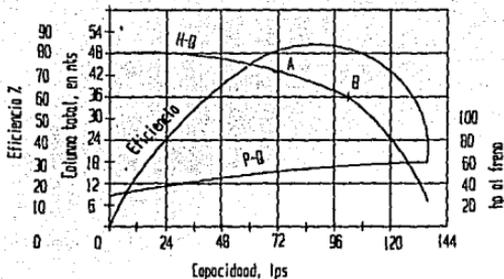
Figura 2.3.6

CURVAS CARACTERÍSTICAS.

A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo (rotatorias 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 de la figura 2.3.7 muestran la relación de existente entre columna de bomba, capacidad y eficiencia para un diámetro de impulsor específico y para un tamaño determinado de carcasa. Es habitual dibujar la columna, potencia y eficiencia en función de la capacidad a velocidad constante. 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, muestra la relación entre la capacidad y la columna total, y puede ser creciente, decreciente, con gran inclinación o casi horizontal, dependiendo del tipo de impulsor utilizado y su diseño.

Por ejemplo en la figura 2.3.7, en A la columna desarrollada por la bomba es de 43.80 m de líquido y capacidad de 67 lps; mientras que en el punto B, la columna desarrollada es de 36.50 m y la capacidad de la bomba sube a 93.80 lps.

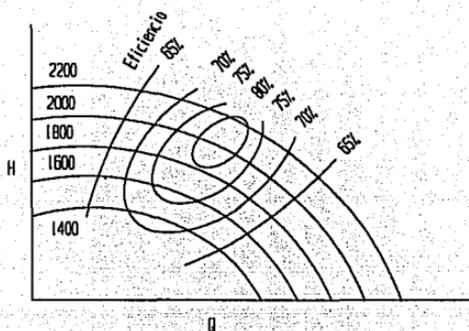


Curvas características típicas para una bomba centrífuga.

Figura 2.3.7

VELOCIDADES VARIABLES.

Cuando una bomba se opera a varias velocidades, puede dibujarse una gráfica como la figura 2.3.8 que muestre el comportamiento 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.



Curvas columna capacidad para distintas velocidades.

Figura 2.3.8

2.4 MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE BOMBAS.

Con respecto a los materiales de construcción, El Instituto Hidráulico usa las siguientes designaciones.

- 1) Con aditamentos de bronce.
- 2) Toda de bronce.
- 3) Bronce de composición específica.
- 4) Toda de fierro.
- 5) Con aditamentos de acero inoxidable.
- 6) Toda de acero inoxidable.

Las bombas con aditamentos de bronce tienen una carcasa de hierro vaciado, impulsor de bronce y anillos impulsores y cubre flechas de bronce. En una bomba toda de bronce, cada parte que se encuentre en contacto con el líquido está hecha con el bronce normal del fabricante. Lo mismo se aplica a la de bronce con composición específica, excepto que las partes están hechas de una composición de bronce adecuada a la aplicación de la bomba.

Las bombas todas de fierro, tienen las partes de metal ferroso en contacto con el líquido que se está bombeando. En una bomba con aditamentos de acero inoxidable, la carcasa está hecha de un material adecuado al servicio, en tanto que los impulsores, anillos y cubre flechas, si se usan, están hechos de un acero resistente a la corrosión. En una bomba toda de acero estructural, las partes en contacto con el líquido están hechas de acero resistente a la corrosión y adecuado a la aplicación.

Las bombas que se usan más en estos tiempos son de aleaciones de bronce, o toda de acero, el impulsor tiene una cubierta de plata con aluminio y bronce, la carcasa es de acero, y el sello de cerámica con carbón.

Los principales materiales usados en las bombas para la industria químicas son: acero inoxidable, vidrio, plástico, grafito, acero, bronce, fierro, hule duro, porcelana y una gran variedad de otros materiales resistentes a la corrosión y a la abrasión.

En general, se puede decir que la mayoría de las bombas centrífugas son construidas de acero para las industrias que manejan productos peligrosos, como la industria petrolera, de refinación o en la química, ya que el hierro no resiste bien las tensiones existentes y que las especificaciones para los motores establecen que deben ser a prueba de explosiones.

También se usan materiales como el acero inoxidable y acero al cromo en la industria de la refinación.

Las bombas de cristal sirven para manejar una gran variedad de ácidos, jugos de fruta, leche, etc.

El cristal resiste todos los ácidos y compuestos químicos, excepto el ácido fluorhídrico y el fosfórico glacial.

2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS.

Para hacer el análisis de las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de bombas, nos vamos a referir a la figura 2.3.1.

Entre las ventajas que tienen las bombas centrífugas en comparación con las bombas rotatorias y reciprocantes están:

1. Pueden trabajar con líquidos limpios, claros, abrasivos, viscosos, y con alto contenido de sólidos, mientras que las rotatorias solo pueden manejar líquidos viscosos y las reciprocantes únicamente líquidos limpios.
2. El tipo de descarga del fluido es constante, mientras que la reciprocante tiene una descarga pulsante.
3. Son mucho más fáciles de instalar.
4. Son más fáciles de operar.
5. Son más baratas.

Las desventajas que tienen son:

1. La elevación de succión de las bombas centrífugas es menor que la de las bombas rotatorias y reciprocantes
2. La variación de la presión de descarga es muy irregular a comparación de lo que sucede en los otros dos tipos de bombas
3. En caso de variar las condiciones de trabajo, ya sea que aumente la columna o que disminuya, los efectos son mayores que en las bombas rotatorias y reciprocantes.

2.6 COLUMNA DE UNA BOMBA.

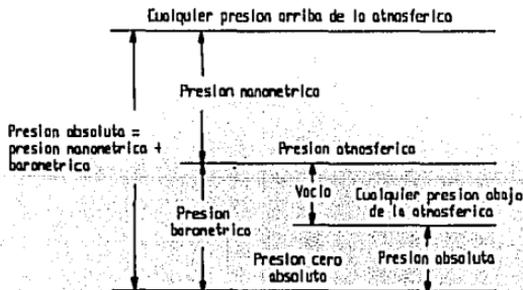
En el diseño de un sistema de bombeo hay muchos elementos que deben considerarse, no importa la clase o tipo de bomba que finalmente se escoja para la instalación. Estos elementos incluyen: columna, capacidad, naturaleza del líquido y economía. La columna de una bomba no se altera por la clase de unidad elegida.

TÉRMINOS Y DEFINICIONES.

La precisión en los términos es una parte necesaria en la elección de bombas, ya que sin ellos el ingeniero pronto se encuentra perdido en un mar de confusión.

Presión: En los problemas de bombas se consideran generalmente tres tipos de presión: absoluta, barométrica y de columna.

La presión absoluta es la presión arriba del cero absoluto. Puede encontrarse arriba o abajo de la presión atmosférica existente en el punto de consideración. La presión barométrica es la presión atmosférica de la localidad estudiada y varía con las condiciones de altitud y clima. La presión de columna es la presión arriba de la atmosférica en la localidad en que se mide. Un vacío es una presión de columna negativa. Ver figura 2.6.1.



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

Figura 2.6.1

FALTA PAGINA

No. 46 la.....

Columna: Una columna de agua u otro líquido en un tubo vertical desarrolla una cierta presión (fuerza por unidad de área) sobre una superficie horizontal en el fondo de un tubo. Esta presión puede explicarse en kilogramos por centímetro cuadrado kg/cm^2 , o como el número de metros de líquido que ejerce una presión igual sobre la misma superficie. La altura de la columna del líquido que produce la presión en cuestión se conoce como columna sobre la superficie.

Columna Estática: En las aplicaciones de bombas, generalmente se le llama a la altura de la columna del líquido, columna estática en la entrada o en la salida, y se expresa como un cierto número de metros de líquido.

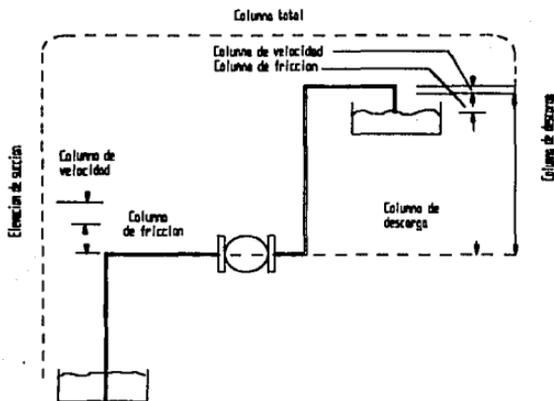
Presión de Vapor: Todo líquido, a cualquier temperatura arriba de su punto de congelación, ejerce una presión debida a la formación de vapor en su superficie libre. Esta presión, conocida como presión de vapor líquido, es función de la temperatura del líquido: mientras más alta sea la temperatura, mayor será la presión de vapor. En cualquier sistema de bombeo, la presión en cualquier punto nunca debe reducirse más allá de la presión de vapor correspondiente a la temperatura del líquido, porque el líquido formaría vapor que puede, parcial o totalmente hacer que cese el flujo del líquido en la bomba.

Elevación Estática de Succión: Es la distancia vertical, en metros, del nivel de suministro de líquido al eje central de la bomba, encontrándose la bomba arriba del nivel de suministro. Las distancias horizontales no se consideran como parte de la elevación de succión estática. Este tipo de elevación está representado en la figura 2.6.2.

Columna Estática de Succión: Cuando la bomba se encuentra más abajo del nivel de suministro del líquido, como en la figura 2.6.2, existe una columna de succión estática. Numéricamente, es la distancia vertical en metros, entre el nivel de suministro del líquido y el eje central de la bomba.

Columna Estática de Descarga: es la distancia vertical, en metros, del eje central de la bomba al punto de entrega libre del líquido. Ver figura 2.6.2.

Columna Estática Total: Como se muestra en la figura 2.6.2, la columna estática total de una bomba, es la distancia vertical, en metros, entre el nivel de suministro y el nivel de descarga de líquido.



Factores que intervienen en la columna total de una bomba.

Figura 2.6.2

Columna de Fricción: Se mide en metros de líquido y es la columna equivalente necesaria para vencer la resistencia de las tuberías y aditamentos del sistema.

Columna de Velocidad: Un líquido que se mueve en un tubo a cualquier velocidad, posee una energía cinética debido a su movimiento. La columna de velocidad es la distancia de caída necesaria para que un líquido adquiriera una velocidad dada, y se expresa como:

$$h_v = v^2/2g$$

en donde:

h_v = columna de velocidad, m de líquido.

v = velocidad del líquido, en m/seg.

g = aceleración debida a la gravedad.

Columna de Descarga: Es la suma de la columna de descarga estática, la columna de fricción de descarga y la columna de velocidad de descarga.

Columna Total: Es la suma de las columnas de elevación de succión y de descarga. Cuando hay una columna de succión, la columna total de la bomba es la diferencia entre las columnas de descarga y de succión.

Desgaste de la Bomba: Cuando una bomba sufre un desgaste se tendrá con toda seguridad una pérdida tanto en capacidad como en eficiencia.

Operación en Paralelo o en Serie: Cualquier tipo de conexión o cualquier clase de bomba puede presentar problemas. Frecuentemente cuando la demanda es excesivamente variable, pueden operarse dos o más bombas en serie o en paralelo para satisfacer la demanda alta, usando una bomba para las demandas bajas.

Para bombas en serie, el comportamiento se obtiene acomodando las columnas a la misma capacidad. Cuando las bombas operan en paralelo, el comportamiento se obtiene acomodando las capacidades para la misma columna.

COLUMNA NETA DE SUCCIÓN POSITIVA (CNSP) Ó NET POSITIVE SUCTION HEAD (NPSH)

De acuerdo con los ingenieros de aplicación, se presentan mayor número de dificultades debidas a la determinación incorrecta de la columna de succión positiva neta (cspn) que de cualquier otra causa. Las dificultades con la cspn pueden reducir la capacidad y la eficiencia de la bomba, llegando a producir daños por cavitación. Pueden causar problemas severos de operación.

Presión de Vapor: Los líquidos a cualquier temperatura arriba de su punto de congelación, tienen una presión de vapor correspondiente que debe considerarse cuando se calcula un sistema de bombeo. La reducción de la presión en el tubo de succión de una bomba más abajo de la presión de vapor del líquido, puede causar vaporizaciones. Puesto que una bomba para líquidos de diseño ordinario no puede bombear únicamente vapor, el flujo del líquido se interrumpe y se dice que la unidad se encuentra "en fase vapor o gas". El método más comúnmente usado para evitar esta condición es el dar suficiente columna a la succión de la bomba para que

la presión en el tubo de succión sea siempre mayor que la presión de vapor líquido que se maneja. Por lo tanto se debe comprobar en la curva de la bomba que las condiciones estén por arriba de la curva de NPSH

CSPN Disponible: Esta es una función del sistema de la columna de succión o elevación, de la columna de fricción y de la presión del vapor líquido que se maneja.

Dependiendo de las condiciones de aplicación, la cspn de que se dispone puede alterarse para conformarse con la que requiere la bomba para su operación satisfactoria, si pueden hacerse cambios en la tubería, nivel de suministro del líquido, etc. Así pues alterando la disposición física de una instalación, es posible controlar una fase de la CSPN disponible. Pero la presión de vapor líquido no es siempre factible.

CSPN Requerida: Esa es una función del diseño de la bomba y varía de una marca de bomba a otra, y entre diferentes modelos de una sola marca, así como con la capacidad y velocidad de una bomba dada.

La cspn es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión al ojo del impulsor. Los valores dados por el fabricante de la bomba se basan en pruebas y están corregidos regularmente al eje central de la bomba.

Cuando el nivel de suministro del líquido se encuentra arriba de la línea del centro de la bomba, y la superficie del líquido expuesto a la atmósfera, la cspn es la suma de la presión barométrica más la columna de succión estática menos las pérdidas de columna de fricción en el tubo de succión y la presión de vapor del líquido; todos expresados en metros del líquido manejado. Cuando la alimentación de la succión se hace de un tanque o recipiente cerrado, hay que sustituir la presión del tanque por la presión barométrica. La presión del tanque debe convertirse a metros de líquido manejado antes de que pueda intervenir en la ecuación de la cspn.

Cuando la alimentación del líquido se encuentra abajo de la bomba en un tanque abierto a la atmósfera la cspn es la diferencia entre la presión barométrica y la suma de la elevación de succión estática más las pérdidas de columna de fricción en la tubería de succión más la presión del vapor del líquido. Todo se expresa en metros del líquido bombeado.

Quando el suministro de líquido viene de un tanque o recipiente cerrado abajo de la bomba, la presión del tanque se usa en lugar de la presión barométrica. Debe convertirse a metros equivalentes de líquido antes de sustituirse en la ecuación de espn.

Cavitación: Cuando la bomba opera con una elevación excesiva, se desarrolla una presión de succión baja en la entrada de la bomba, la presión disminuye hasta que puede crearse un vacío y el líquido se convierte en vapor si la presión del tubo es más baja que la presión del vapor líquido. El flujo de líquido en la bomba desaparece. Esto se conoce como punto de corte, debido a que se ha alcanzado el límite de la capacidad de la bomba con esta presión de entrada. La bomba se acerca ahora a condiciones de operación que pueden causar daño.

Quando la presión de entrada está a punto de alcanzar el punto de vaporización, las bolsas de vapor forman burbujas en el lado posterior del álabe impulsor, cerca de su base. Conforme una burbuja se mueve del área de baja presión a la de alta presión la burbuja desaparece. Se deshace tan rápidamente que el líquido golpea al álabe con fuerza extrema, a veces lo bastante fuerte para descascarar pequeñas partículas del impulsor. El daño generalmente se llama picadura, y el ruido que se oye en el exterior de la bomba durante la cavitación es causado por el colapso de las burbujas de vapor.

Una elevación excesiva de succión ó un espn insuficiente a una operación a velocidad excesiva son causas comunes de cavitación. Las dificultades más comunes derivadas de la cavitación son picadura, vibración y ruido. Aún cuando la cavitación severa viene generalmente acompañada por ruido excesivo y daños a la bomba, una cavitación moderada puede no producir más que una pequeña reducción en la eficiencia de la bomba.

Propiedades del Agua a Varias Altitudes

Altitud m	Presión barométrica en mm Hg	Atmósferas	Punto de ebullición C
--------------	---------------------------------	------------	-----------------------

-305	787.4	1.07	109
-152.5	774.4	1.05	105
0 (anm)	759.5	1.03	100
305	734	1.00	99
457.5	718.8	0.98	98.5
610	706.1	0.96	98
1 220	655.3	0.89	96
1 830	609.6	0.93	94
2 440	563.9	0.77	92
3 050	523.2	0.71	90
4 575	429.3	0.58	84.5

figura 2.6.3

Para las bombas centrífugas, Fairbanks, Morse and Co. recomienda que se eviten las cinco condiciones siguientes hasta donde sea posible:

- 1) Columnas mucho más bajas que la columna de máxima eficiencia de la bomba.
- 2) Capacidad mucho mayor que la capacidad de máxima eficiencia de la bomba.
- 3) Elevación de succión mayor o columna positiva menor que la recomendada.
- 4) Temperaturas de líquido mayores a las de diseño.
- 5) Velocidades más altas que las recomendadas por el fabricante.

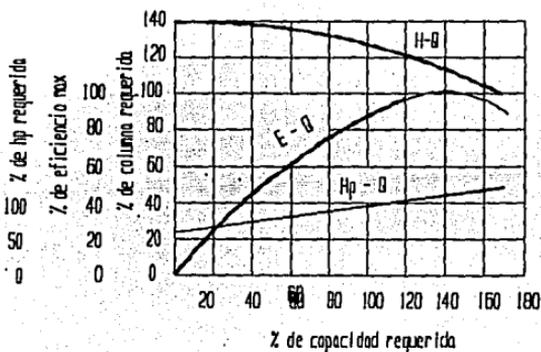


Figura 2.6.4

Costo y Ruido: Una bomba de capacidad excesiva tiene un costo inicial más alto que una bomba del tamaño correcto. Por ejemplo, una bomba de circulación de 7.5 hp instalada en un sistema de calefacción de agua se encontró inadecuada. Al comprobar las condiciones de flujo se encontró que una unidad de 1.5 hp sería satisfactoria. No solamente costó más la unidad de mayor tamaño, sino que, además, no trabajó satisfactoriamente.

El ruido, que es un factor de importancia creciente, muchas veces se debe a una bomba de tamaño excesivo. Una bomba más grande de lo necesario descarga más líquido en el sistema de tubería de lo que se precisa. Esto puede conducir a ruido excesivo ya que el líquido circula a mayor velocidad de lo que se anticipó.

Otros factores: Además de la aplicación del factor de seguridad arbitrarias, hay otras consideraciones que se pueden aplicar al especificar la columna de una bomba. Estas incluyen los cálculos de pérdidas por fricción, variación en el nivel de succión o de descarga, operación en paralelo y líquido que se maneja.

Cálculos de pérdidas por fricción: Los datos más dignos de confianza en cuanto a pérdidas por fricción obtenidas a la fecha se encuentran en el "Pipe Friction Manual" publicado por el Instituto de Hidráulica. Este manual contiene un fondo de información sobre fricción de tuberías y recomienda a todos los ingenieros que tratan con selección de bombas.

Nivel del Líquido: Cuando el nivel, ya sea de descarga o de succión del líquido, varía durante la operación de la bomba, es probable que venga acompañado por un cambio en la columna estática de la bomba. Dependiendo de la clase y tipo de la bomba que se usa, puede haber una variación en la cantidad de líquido entregado a diferentes columnas estáticas. El cambio de capacidad conduce a un cambio en las pérdidas por fricción.

Operación en Paralelo: Dos o más bombas que operan en paralelo en un sistema común introducen consideraciones adicionales de columna debido a que la columna de fricción varía con la capacidad. Dependiendo del número de bombas en operación la columna variará de un cierto mínimo a un cierto máximo para el sistema dado.

Líquido Manejado: Los líquidos volátiles y viscosos, y los que llevan sólidos en suspensión afectan la operación de cualquier bomba. Como resultado, es necesario un conocimiento completo de las características del líquido antes de que un fabricante pueda preparar una oferta para un grupo de condiciones dadas.

Especificación de la Columna: La especificación de la bomba debe incluir lo siguiente:

- 1) Elevación de succión.
- 2) Columna de succión.
- 3) Longitud y diámetro del tubo de succión.
- 4) Número y tipos de accesorios.
- 5) Columna estática.
- 6) Columna de fricción.
- 7) Presión de descarga máxima contra la que debe operar la bomba.
- 8) Cualquier condición especial que afecte la columna del sistema.

La Compañía Bell & Gossett sugiere que, para calcular la fricción de la tubería de un modo rápido y confiable, se multiplique la columna del sistema por 0.5 para obtener en metros el coeficiente de fricción.

De este modo ya que se tiene la columna del sistema y el coeficiente de fricción de la tubería se puede obtener la columna total del sistema sumando las dos cantidades.

2.7 CAPACIDAD DE UNA BOMBA.

UNIDADES.

Debido a que la cantidad de líquido que maneja una bomba varía tanto de una aplicación a otra, se emplea una variedad de unidades diferentes para expresar la capacidad de la bomba, la más común en Estados Unidos es en galones por minuto, y en países que usan el Sistema métrico, la capacidad de la bomba se expresa en metros cúbicos por hora o en litros por segundo.

Independientemente de las unidades de capacidad que se usan, deben señalar específicamente el volumen y el tiempo. No puede especificarse una bomba que entregue 200 litros diarios sin especificar la duración del día, ya sean 8 ó 10 hrs.

Para la mayoría de las bombas centrífugas de tamaño pequeño o mediano, la capacidad viene generalmente en lps, mientras para que las unidades mayores se usan metros cúbicos por hora.

TEMPERATURA.

Puesto que la densidad del líquido cambia con la temperatura, es importante señalar la temperatura del líquido a las condiciones de bombeo cuando se señala la capacidad requerida. El agua fría entre 0 y 27°C se supone generalmente con una densidad constante. Arriba de 27°C, el cambio de densidad se convierte en un factor de consideración.

ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES DE AGUA.

Puesto que el agua es probablemente el líquido más comúnmente usado en la industria, se presentan muchos problemas relacionados con ella, y puesto que la capacidad de bombeo no puede elegirse a menos que se conozcan los requisitos de agua, es necesaria una investigación de consumo de agua como primer paso en la selección de bombas. Para conocer los requisitos del agua es necesario tomar en cuenta el agua de beber, de baños o bien si se usa en un proceso industrial y si su uso es múltiple.

CONTROL DE CAPACIDAD.

La descarga de una bomba centrífuga puede variarse con diversos métodos, dependiendo de que la unidad trabaja a velocidad constante o variable. Con unidades de velocidad constante la capacidad puede cambiarse:

1) Estrangulando la descarga de la bomba o derivando todo o parte del líquido descargado.

2) Usando más de una bomba proporcionando la capacidad de cada una, de manera que pueden pararse independientemente, según sea el caso, para suministrar el gasto necesario.

3) Usando un tanque de almacenamiento para reserva, y operando la bomba intermitentemente para mantener un cierto nivel mínimo.

4) Usando una bomba de capacidad ajustable.

La variación de la velocidad, ya sea manual o automática, es otro medio de variar la salida de una bomba centrífuga. Esto requiere de un motor de velocidad variable y puede dar una operación extremadamente económica, ya que no existen estrangulamientos o derivaciones que producen pérdidas.

VARIACIONES DE DEMANDA.

Hay que tener mucho cuidado al especificar la capacidad de una bomba cuando la carga de la planta, el ritmo de producción o cualquier otro factor habrá de causar un cambio en la demanda del líquido. Las variaciones en la cantidad del líquido entregado influyen generalmente sobre la eficiencia de la bomba. Es usual elegir una bomba de manera que cuando opera a su capacidad normal su eficiencia se encuentra en el máximo o muy cerca de él.

Con la bomba centrífuga usual, un aumento en capacidad viene acompañado por una disminución en la columna, y puesto que la fricción de la tubería aumenta con la cantidad de gasto, la bomba puede no ser lo bastante para entregar la capacidad deseada debido a que no puede desarrollar suficiente columna. Si se opera una bomba a capacidades mayores de la normal puede conducir a dificultades de mantenimiento prematuras.

El uso de dos bombas en lugar de una, permite que cada una de ellas opere en su mejor región de eficiencia la mayor parte del tiempo. Aun cuando los costos iniciales pueden ser mayores, el costo de operación será más bajo.

ELECCIÓN DE LA CAPACIDAD.

Supóngase que una planta industrial tiene una demanda de agua del 75% de la máxima. Dos bombas, cada una de ellas de 75 por ciento de la demanda máxima puede ser la mejor elección. Esto permitiría que cada bomba pueda manejar la demanda media y esta operaría sola la mayor parte del tiempo. Cuando la demanda excede 75% del máximo, la segunda bomba entra en operación y trabaja en

paralelo con la primera, por lo tanto ambas operan a su eficiencia máxima o muy cercana.

En los casos donde la demanda total es muy baja, es imposible elegir dos bombas que operen en sus regiones de máxima eficiencia y deberá usarse una sola unidad, porque probablemente dos bombas tengan un costo inicial y un costo de operación más altos que una sola bomba.

Con capacidades muy grandes puede ser imposible encontrar una unidad que llene las demandas medias, puede entonces elegirse dos unidades con capacidad de la mitad de éste valor. Cuando la demanda fluctúa de un valor bajo a uno alto, puede permitir una eficiencia mejor debido a que la capacidad puede dividirse como se desee, por ejemplo 25 y 75% de la total en las dos bombas, ambas tendrán que operar para lograr el máximo o el 100% de la demanda.

La relación exacta que se use dependerá de la variación de la demanda del líquido, por ejemplo, donde un área en una planta industrial use el 25% del flujo total y otra 75%, las bombas pueden usarse con tuberías independientes, pero cuando se sirve una sola área o el líquido se bombea a un tanque antes de distribuirse, las bombas habrán de operar en paralelo.

Cuando la eficiencia de operación es un factor muy importante el número de unidades se eligen en función del costo inicial.

En instalaciones en las que la falla del suministro del líquido puede poner en peligro la vida del equipo, o la seguridad del personal, pueden instalarse dos bombas para operar en paralelo todo el tiempo. Cada bomba está clasificada para la demanda máxima y puede llevar todas las cargas si la otra unidad falla.

Hay algunas desventajas para un arreglo así:

a) Ya que las dos bombas operan al 50% de la capacidad nominal, la columna desarrollada excede a la requerida por el sistema, y debe contarse con un sistema de estrangulamiento en la descarga si ambas bombas operan a velocidad constante.

b) La vida útil de la bomba puede verse acortada.

c) Puede presentarse sobrecalentamiento, cuando el gasto desciende a valores extremadamente bajos.

CALCULO DE NUMERO DE UNIDADES

El número de unidades de muebles que usan agua potable se obtienen de la tabla para la cuantificación de muebles.

Para calcular la cantidad de GPM que va a utilizar un sistema, es muy útil usar la siguiente tabla, en ésta, se pone el número de muebles de cada tipo que se indican en la columna B; y se multiplica por la columna A que es el factor multiplicador para obtener el total de unidades que se muestra en la columna C. después se suma ésta columna y se obtendrá el total de unidades con el que se trabajará en la gráfica de Hunter.

Con el número obtenido se va a la gráfica de Hunter y se levanta una línea vertical hasta llegar a la curva y en ese punto se traza una línea horizontal que indicará el total de GPM que se utilizarán.

HOJA PARA EL CALCULO DEL FLUJO DE AGUA

TIPO DE MUEBLES	COLUMNA A FACTOR DE MULTIPLICACIÓN	COLUMNA B CANTIDAD DE UNIDADES	TOTAL DE UNIDADES (A x B)
WC/Público de pedal	10		
WC/Público de tanque	5		
Mingitorio individual	5		
Mingitorio múltiple	10		
Lavabo Público	2		
Regadera	4		
Fregadero privado	3		
Fregadero en cocina	4		
WC/Privado de pedal	6		
WC/Privado de tanque	3		
Lavabo privado	1		
Lavadora de platos	4		
Lavadora ropa privada	4		
Lavadora ropa pública	10		
Bidé. Lavados asiento	3		
Máquina de hacer hielo	3		
Llave de regar césped	6		
Llaves nariz	4		
Otros muebles			
Otros muebles			

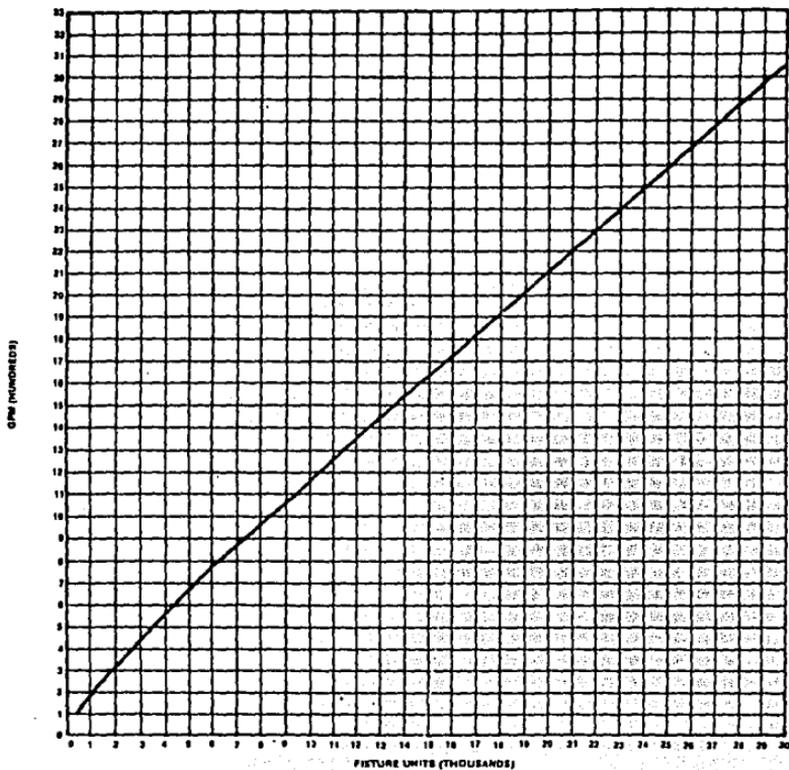
Total de unidades de muebles en un edificio:

GASTO ADECUADO PARA LA BOMBA.

Hay dos factores más que merecen consideración cuando las demandas de gasto varían y son: potencia requerida y calentamiento de la bomba. En una unidad que tenga una curva pronunciada de potencia requerida con el aumento o la reducción de gasto, un cambio pronunciado en el gasto puede sobrecargar al motor de la bomba, lo que a su vez puede causar daño. Esto puede hacer que el motor se sobrecaliente y llegue inclusive a quemarse si se trata de un motor diesel o de gasolina.

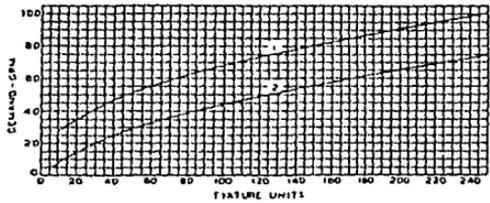
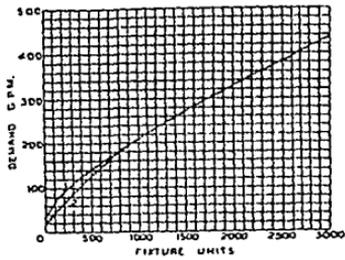
A capacidades reducidas, las bombas centrífugas, pueden sobrecalentarse debido a que las unidades de este tipo tienen lo que se conoce como flujo adecuado mínimo. Si la unidad opera a capacidad menor, la temperatura del líquido bombeado se eleva hasta que se presenta la vaporización. La unidad comienza a vaporizar y deja de bombear.

El caballaje de freno (bhp) necesario para mover una bomba centrífuga es el que el motor suministra al cople. El caballaje de agua (whp) desarrollado es el trabajo efectivo que desarrolla la bomba. La eficiencia de la bomba es whp / bhp . Bhp incluye todas las pérdidas, mecánicas e hidráulicas. Las pérdidas mecánicas se encuentran en chumaceras, empaques, discos y otros puntos sujetos a fricción. Las pérdidas hidráulicas se presentan en los pasajes del impulsor y la voluta.



HUNTER'S CURVE

HUNTER'S CURVE EXPLODED



2.8 SELECCIÓN DE BOMBAS SEGÚN EL FLUIDO

El líquido manejado por una bomba afecta la capacidad y la columna, la potencia demandada por la bomba y los materiales de construcción. Aparte del agua existen cuatro clases de líquidos:

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

La mayor parte de los ingenieros trabajan comúnmente con 3 unidades para expresar la viscosidad:

- a) Segundos Universal Saybolt (SSU).
- b) Centiestokes (viscosidad dinámica).
- c) Centipoises (viscosidad absoluta que es igual a 1×10^{-3} kg/m seg).

VISCOSIDAD.

Para los problemas de bombeo, la viscosidad puede considerarse como una medida de la fricción interna de un líquido, que produce una resistencia al flujo a través de un tubo, válvula, bomba, etc. Los datos de viscosidad son importantes para calcular las pérdidas de fricciones en sistemas de tubería con líquidos viscosos.

FLUJO DEL LIQUIDO.

Cuando un líquido pasa a través de un tubo, el flujo del líquido puede ser laminar o turbulento, dependiendo de la velocidad del líquido, diámetro del tubo, viscosidad del líquido y densidad. Para un líquido y un tubo dados, éstos cuatro factores están expresados en función de un número adimensional, conocido como el Número de Reynolds y representado por " R ".

Para valores de R menores de 2000, el flujo es laminar. Las partículas del líquido siguen trayectorias que no se interceptan, sin turbulencia.

Para valores mayores de 4000 se dice que el flujo es turbulento. En este caso las trayectorias son sumamente regulares.

En la zona crítica que es entre 2000 y 4000, generalmente se considera que el flujo es turbulento cuando se resuelve un problema de pérdidas de fricción. Las pérdidas por fricción en flujo turbulento son mayores que para flujo laminar.

La fórmula para obtener el número de Reynolds es:

$$R = 127\,310 Q\rho / D\mu \quad (2.8.1)$$

donde:

ρ = densidad del líquido con respecto al agua.

Q = gasto en litros por segundo.

D = diámetro interno del tubo en centímetros.

μ = viscosidad absoluta del líquido en centipoises.

La fórmula para determinar las pérdidas por fricción en una columna es:

$$h = fL V^2 / 2gD \quad (2.8.2)$$

donde:

h = pérdidas por fricción en la columna, en metros.

f = factor de fricción (ver apéndice)

V = velocidad media del líquido en el tubo, en m/s.

D = diámetro interno del tubo, en metros.

g = gravedad igual a 9.8 m/s^2 .

L = longitud de la tubería.

Los líquidos viscosos afecta la operación de las bombas centrífugas en tres formas:

- 1.- La bomba desarrolla una columna menor que cuando maneja agua.
- 2.- La capacidad de la bomba se reduce cuando se manejan líquidos de viscosidad moderada o alta.
- 3.- El caballaje demandado es más alto.

La mayor potencia demandada proviene de una mayor fricción en los impulsores.

La fórmula para obtener la densidad absoluta es:

$$\rho = m/v$$

Para obtener el volumen específico se usa:

$$V = 1/\rho$$

El peso específico se obtiene de la siguiente formula:

$$P_c = W/V$$

La fluidez es el recíproco de la viscosidad:

$$F = 1/\mu$$

El gasto caudal es el volúmen del fluido que pasa a través de cierta sección transversal en la unidad de tiempo.

$$Q = V/t$$

USO DE BOMBAS ROTATORIAS.

Las bombas rotatorias se adaptan bien a manejar líquidos claros y viscosos. Algunas bombas rotatorias tienen una capa de vapor para reducir la viscosidad del líquido y permitir el bombeo a menores demandas de potencia. Los líquidos con viscosidades de 250 000 SSU se manejan con bombas rotatorias de modelo normal, para viscosidades mayores se requieren diseños especiales. Este tipo de bombas pueden manejar una variedad de líquidos viscosos y no viscosos como el agua, gasolina, petróleo, amoníaco, freón, etc.

USO DE BOMBAS RECIPROCANES.

Para líquidos viscosos hay que reducir la velocidad del pistón de las bombas reciprocantes. Puesto que la capacidad de la bomba es una función de la velocidad del pistón, éstas bombas entregan una capacidad menor con un líquido viscoso porque la velocidad de la bomba también es menor.

LÍQUIDOS VOLÁTILES.

La gasolina, kerosina, nafta, líquidos refrigerantes y otros se clasifican como volátiles porque vaporizan fácilmente a temperaturas y presiones atmosféricas normales.

El problema principal que se encuentra para bombear líquidos volátiles es el de la columna de succión positiva neta (cspn) como se ha discutido antes en el capítulo 2.4, la cspn debe ser mayor que la requerida en la bomba para evitar la vaporización del líquido en el tubo de succión. La vaporización en el lado de

descarga no es problema porque la presión es lo bastante alta para producir una temperatura de ebullición mucho mayor.

PRODUCTOS QUÍMICOS.

Muchos ácidos líquidos deben manejarse con toda clase de bombas. Comparados con el agua, éstos líquidos son más difíciles de bombear porque corroen varias partes de la bomba, reduciendo su vida a menos que se tomen precauciones en la construcción de la unidad, por lo tanto lo más importante cuando se manejan productos químicos es el material del que está construido la bomba.

La amplia experiencia de la mayor parte de los fabricantes les permite resolver una gran variedad de problemas de materiales con poca o ninguna dificultad. Así que cualquier ingeniero que deba seleccionar y aplicar bombas hará bien en recurrir a los servicios de uno o más fabricantes. Esto puede ahorrarle tiempo y trabajo al ingeniero asegurando resultados más satisfactorios. Aún cuando resulta aparente, muchos ingenieros pasan por alto la ayuda que pueden dar los fabricantes.

2.9 NUMERO DE UNIDADES.

El número de unidades es importante para aumentar la confianza en las bombas; con frecuencia, son necesarias unidades de repuesto, especialmente en casos en los que la vida de la bomba puede estar expuesta a un servicio severo. Es importante determinar si se pueden operar en paralelo una o más unidades porque el funcionamiento de cada unidad puede ser independiente.

La selección entre el uso de una sola bomba y la instalación de varias bombas en paralelo para la demanda total está influenciada por el factor de carga. Cuando la demanda es más o menos constante, la tendencia es seleccionar una bomba para toda la demanda, agregando un margen de seguridad como remedio al desgaste de la bomba. Si, por otro lado, la carga es de naturaleza variable, se pueden operar dos o más bombas en paralelo.

Por ejemplo, si la demanda permanece a 65 de la demanda máxima, la mayor parte del tiempo se podrían instalar dos bombas, cada una diseñada para cerca del 70 del flujo máximo. Una sola bomba podría llevar la carga la mayor parte del tiempo. Cuando el requerimiento del flujo exceda el 65% del máximo, se pone en la línea la segunda bomba para repartir la carga.

Las excepciones a esta regla general son las siguientes:

- * Cuando la demanda total es demasiado baja para dividirla eficientemente entre dos bombas, puede usarse una sola bomba sin importar el factor de carga.

- * Cuando la eficiencia de la bomba sea poco importante, que el uso sea intermitente o el costo inicial sea menor.

- * Cuando la demanda máxima es muy grande para permitir el uso de la bomba más económica, la demanda puede ser repartida entre dos o más unidades.

- * Si se usa más de una bomba para proporcionar la demanda máxima y si una reducción parcial de la capacidad disponible es permisible, la instalación puede no requerir una bomba de repuesto. En cambio, se deben tener suficientes partes de repuesto de refacción en existencia para restablecer la capacidad total disponible rápidamente.

Sin embargo, si no es permisible reducir la capacidad disponible, se debe proporcionar una bomba de repuesto, que puede ponerse en servicio inmediatamente que falla o se para una de las bombas principales.

2.10 SOLICITUD DEL EQUIPO AL FABRICANTE.

Normalmente, el cliente seleccionará y ordenará el equipo después de un cuidadoso estudio de varias instalaciones propuestas por los fabricantes como respuesta a su solicitud original, en donde se describieron los requerimientos y las condiciones de operación.

Las promesas de embarque que hacen los fabricantes de bombas son a partir de la fecha en que se recibe la información completa para su construcción; por lo tanto, para evitar demoras en la preparación de planos, es indispensable que la orden del comprador contenga toda la información necesaria. Además de las condiciones completas de servicio para la bomba, su impulsor, la dirección de rotación, una declaración de si el fabricante debe proceder sin planos y alguna otra información pertinente. Por ejemplo, si la bomba se va a mover con una turbina de vapor, equipada con un regulador de exceso de presión, y si la turbina la va a ordenar el fabricante de la bomba.

La cotización sometida por el fabricante, generalmente incluye un boletín que describe las características de construcción del equipo, así como un dibujo esquemático de la bomba en cuestión. Mientras que las dimensiones dadas en ese dibujo no se deben usar para construcción final, están lo bastante detalladas no sólo para determinar la dirección de rotación, sino también para preparar un trazo preliminar de la instalación.

Como los impulsores pueden obtenerse con cualquier dirección de rotación, la selección de la rotación está ligada principalmente, a la localización de las aberturas de succión y descarga de la bomba, en relación apropiada con la tubería propuesta. Los fabricantes de líneas de bombas normalizadas de succión por el extremo y un sólo paso, generalmente limitan sus diseños a una sola dirección de rotación aunque estas bombas están conectadas directamente, montadas en un motor, o movidas por un impulsor separado. Esta decisión reduce el costo de fabricación de modelos y aumenta la efectividad del inventario almacenado sin complicar los problemas del usuario, porque no afecta materialmente la colocación de la boquilla.

Además de mostrar las dimensiones generales del equipo y de los pernos de cimentación de la placa base, un plano de un esquema de elevación puede también señalar un gran número de detalles tales como la colocación y tamaño de toda la tubería de enfriamiento auxiliar o de lubricación y el espacio requerido para desarmarla. Lo complicado de la información que contendrá un dibujo esquemático refleja lo severo de las condiciones de servicio de que se trata, y por tanto, lo complejo de la construcción de la propia bomba.

La construcción de equipo para bombas de tamaño pequeño o mediano destinadas a servicio general es, usualmente, estándar y a menos que se hayan estudiado algunas características especiales con el fabricante de bombas, antes de hacer el pedido, es práctico dar la orden de fabricación de la bomba sin la aprobación formal del cliente.

Frecuentemente, la construcción de la bomba en si puede ser de naturaleza normal, pero se puede requerir aprobación para el arreglo general, incluyendo la construcción de la placa de base. En ese caso, la orden deberá autorizar al fabricante a proceder con la construcción de la bomba, pero a reserva de la aprobación para la fabricación de la placa base.

CAPITULO III

CURVAS DE LAS BOMBAS

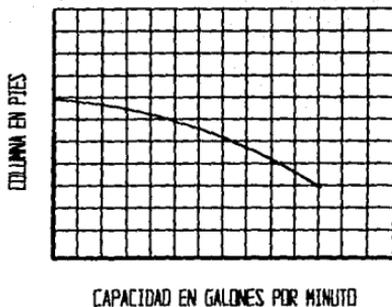
3.1 DESARROLLO DE LA CURVA DE UNA BOMBA.

Esta sección cubre el desarrollo de curvas y sistemas de las bombas centrífugas, en esta sección se emplean ejemplos de curvas que no se recomiendan para su uso, si se necesitan datos específicos sobre una bomba, se debe recurrir al fabricante y en éste capítulo se anexaran las curvas de las bombas que fabrica la Compañía "Bell & Gossett" del Grupo "ITT".

DESARROLLO DE LA CURVA DE LA BOMBA.

La curva de la Bomba relaciona el flujo (en galones por minuto o en litros por minuto) y la columna de presión producida (en pies o en metros). La curva de la bomba es establecida por el fabricante bajo un muy cuidadoso control de condiciones de prueba. Una ilustración típica de la curva "Capacidad - Columna" se muestra en la figura 3.2.1.

La curva obtenida es generalmente ilustrada como "Pies de columna vs Galones por Minuto" porque da una descripción general de la operación de las bombas. Las bombas centrífugas producen energía en forma de pies por libra de agua bombeada; y dependen del volumen del flujo que pasa por el impulsor.



Curva típica Columna-Capacidad.

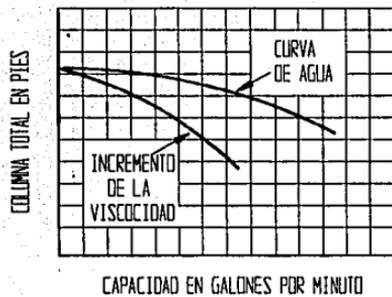
Figura 3.1.1

Según los expertos en bombas de Bell & Gossett, las curvas de la bomba que incluyen Capacidad - Columna, no dependen de la temperatura, ni sus cambios. Esto es porque la energía, como tal, no es afectada por los cambios de temperatura. De este modo, la densidad del agua, no tiene efecto en la curva de la bomba.

EFFECTOS DE LA VISCOSIDAD EN LA CURVA DE LA BOMBA.

Un cambio en la viscosidad del líquido puede afectar la curva de la bomba. De cualquier forma, el cambio debe ser mayor que el cambio en la viscosidad del agua de 40° F a 400° F antes de que la curva sea afectada.

Los fluidos viscosos cambian marcadamente las curvas de la bomba debido a un gran incremento para vencer la resistencia del líquido a producir un fluido y ser bombeado. Ver figura 3.1.2.



***Efecto del incremento de la viscosidad
en la curva de la bomba.***

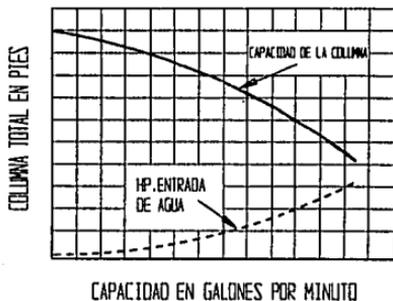
Figura 3.1.2

3.2 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA DE UNA BOMBA.

Una curva de una bomba de GPM vs Ft de columna es una representación de energía. En cualquier punto de la curva, la energía cedida al agua (Water Horse Power) es la energía suministrada. Esto es Pies de columna (Pies libra por libra) X GPM (convertida a libras por minuto)

$$\text{WHP} = \frac{\text{GPM} \times \text{Columna} \times \rho}{3960}$$

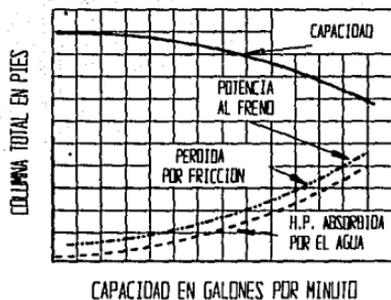
En la figura 3.2.1 se ilustra el WHP suministrado a una bomba. El WHP incrementa cuando aumenta el flujo, lo que implica que los requerimientos de energía de una bomba aumentan con el flujo. Este es un punto muy importante porque si se tiene una bomba sobre estimada, es decir operando a mayor flujo del diseñado, necesitará más caballos de fuerza y conducirá al motor a una sobrecarga.



Curva de Caballos de Fuerza incluida en la curva.

Figura 3.2.1

Las necesidades de energía de las bombas deben ser mayores que la energía absorbida por el bombeo de agua. Esto es por las pérdidas de fricción en las tuberías. Estas pérdidas definen el total de BHP (Brake Horse Power) de la bomba. Esto se ilustra en la figura 3.2.2.



Curva de Requerimiento Total de BHP

Figura 3.2.2

Si un fluido con el doble de densidad del agua es bombeado, la energía utilizada será el doble.

$$\text{BHP Corregido} = (\text{BHP del agua}) \times (\text{P. del fluido A})$$

3.3 EFICIENCIA DE UNA BOMBA .

La eficiencia de una bomba se calcula por la fórmula:

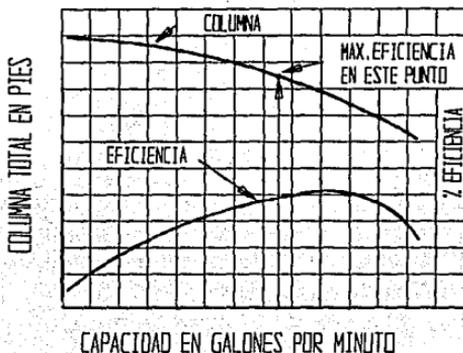
$$\text{Eff bomba} = \frac{\text{WHP} \times 100}{\text{BHP}}$$

WHP = Water Horse Power

BHP = Break Horse Power

La eficiencia de las bombas se obtiene en pruebas del fabricante, usando motores bien calibrados.

En la figura 3.3.1, se muestra una curva de la eficiencia de una bomba.



Curva de la eficiencia de una bomba

Figura 3.3.1

La máxima eficiencia ocurre en un punto o en un rango de la curva. La eficiencia se reduce en relación al aumento o disminución del flujo. La máxima eficiencia depende del impulsor diseñado, e indica un área de flujo donde el impulsor y la voluta producen turbulencia.

Seleccionar bombas únicamente por el criterio de eficiencia, puede deteriorar el sistema y a la misma bomba, sobre todo cuando la máxima eficiencia está cerca del final de la curva. Casi todos los sistemas hidráulicos de bombeo tienen su máximo rango de eficiencia sobre la mitad y mas menos 1/4 de la longitud de la curva. Estas bombas son las más apropiadas para los sistemas hidráulicos. Ver figura 3.3.2



Curvas comparativas del rango de eficiencia a la mitad de la curva y al final.

Figura 3.3.2

La eficiencia de una bomba se incrementa mientras es mayor el tamaño de la bomba, esto porque las pérdidas hidráulicas disminuyen.

Sobre evaluar las bombas, produce que la eficiencia que obtenemos en las curvas, no corresponda al sistema real, y el sistema no será el más eficiente, es por eso la importancia de calcular correctamente y en forma exacta el caudal que se va a manejar.

Seleccionar una bomba a la derecha del punto medio de la curva no garantiza la operación correcta de la bomba, en cambio puede ocasionar ruido, cavitación, posible daño a la bomba o reducir el flujo del sistema, si no se determinó correctamente la eficiencia o se sobre evaluó la bomba.

3.4 BOMBAS CENTRÍFUGAS PARA EL MANEJO DE AGUA.

Cuando se va a seleccionar una bomba, la primera pregunta que se debe contestar es ¿ Para qué se necesita ?.

Se puede ocupar para bombear agua desde un tanque de almacenamiento a todo un sistema, para lo cual se necesita una bomba fija a una base para que tenga estabilidad el motor y la flecha, y no es necesario que la bomba esté cambiando de lugar , su posición es permanente.

Otra de las aplicaciones que se puede encontrar es el rebombeo de agua. Esto es cuando las distancias desde el tanque de almacenamiento hasta la descarga son muy grandes, por ejemplo, las redes de abastecimiento de agua potable que transportan el agua a las ciudades de lugares lejanos, requieren de bombas grandes para el rebombeo, en cambio en edificios altos o en sistemas de suministro de agua grandes, como el suministro de agua a toda una Universidad, necesita rebompear el agua pero con bombas pequeñas que son llamadas *Bombas en línea ó Circuladores de agua*.

Estas bombas en línea pueden ser muy pequeñas y ligeras, que incluso se pueden apoyar sobre la tubería, ya sea en posición horizontal o vertical.

Las cuestiones obligadas a responder son: ¿Cuál es la capacidad? ¿Cuál es la potencia? y ¿Cuál es la velocidad?.

Para responder estas preguntas es necesario conocer el sistema, de donde obtendremos el dato de la capacidad requerida, de aquí también podemos obtener la potencia, y la velocidad la obtendremos después de observar las gráficas de las bombas y se decidirá por la más conveniente y en algunos casos sólo habrá una opción.

Dentro de las bombas centrífugas en línea de la marca Bell & Gossett se encuentran las de la Serie 90 In-Line. Son ideales por su poco mantenimiento. Está disponible en 46 diferentes modelos dependiendo de la potencia y configuración. Son fáciles de instalar, ahorran espacio y eliminan la necesidad de montajes especiales, además ocupan conexiones ordinarias a la tubería, y pueden ser montadas en forma horizontal o vertical. Trabajan a 1750 o 3500 R.P.M., las primeras van desde 1 GPM hasta 150 GPM, de 5 ft de columna hasta 57 ft y los motores desde 1/4 hasta 2 HP; las de 3500 R.P.M. pueden trabajar desde 1 galón hasta 200 GPM, de 1 ft a 224 ft de columna con motores son desde 1/2 hasta 15 HP

También se encuentran las de la Serie 60 In-Line, que son de diseño compacto, solamente necesitan soportes de tubería normales para el montaje en línea de la bomba. Son construidos en muchos tamaños dependiendo de las necesidades. La operación de estas bombas es silenciosa, ya que están diseñadas para eliminar el ruido. Su mantenimiento es muy sencillo ya que sus partes son intercambiables y muy fáciles de ensamblar. Los materiales que usan son: aleaciones de bronce, toda de acero, ó toda de bronce. Estas bombas trabajan desde 1 GPM hasta 180 GPM y de 5 ft de columna hasta 64 ft a 1750 R.P.M., y hay motores desde 1/4 hasta 3 HP.

Las bombas de la Serie 80 In-Line, utilizan poco espacio lo que permite eliminar bases para su montaje, y ofrece rangos arriba de los 2500 GPM a 400 ft. El sello interior que utilizan es cinco veces mejor que los sellos convencionales externos, también puede montarse en línea en forma horizontal o vertical. Hay bombas de 1150, 1750 y 3500 R.P.M.; las de 1150 R.P.M. trabajan hasta 1600 GPM y 55 ft de columna; las de 1750 R.P.M. pueden manejar 2500 GPM y 125 ft de columna; las de 3500 R.P.M. solo llegan a 1500 GPM pero dan 410 ft de columna. Los motores de éstas bombas van de 1 1/2 HP a 7 1/2 HP.

Refiriéndonos ahora a las bombas de la Serie 1510 End-Suction con base premontada, se puede decir que son de fácil mantenimiento, usan el mismo sello que las de la Serie 80, son calladas, eficientes, libres de vibración, son diseñadas para obtener las eficiencias más altas posibles de obtener, también los motores tienen una gran eficiencia. Estas bombas pueden ser de 1150, 1750 o 3500 R.P.M.. Las bombas de 1150 R.P.M. llegan a 200 GPM y 90 ft de columna; las de 1750 R.P.M. llegan a 2900 GPM y 205 ft de columna; y las de 3500 R.P.M. llegan a 1500 GPM y 530 ft de columna. Esta serie usa motores desde 1 hasta 15 HP.

La Serie 3531 Close-Coupled End-Suction, están disponibles de una a dos pulgadas, de 1/2 HP a 60 HP a 3500 R.P.M.. Disponible en flujos para 500 GPM a 400 ft, el impulsor tiene una cubierta de plata con aluminio y bronce, la carcasa es de acero, sello de cerámica con carbón, se aplican para sistemas de calentamiento y enfriamiento, suministro de agua, torres de enfriamiento y procesos industriales.

Las bombas de la Serie 3510 End-Suction con base premontada, están disponibles de una pulgada a 2 pulgadas, de 1/2 HP a 15 HP a 1750 R.P.M., disponible para flujos de 300 GPM a 125 ft, el impulsor tiene una cubierta de plata con aluminio y bronce, la carcasa es de acero, su base permite mantener el

alineamiento de la flecha, para su mantenimiento sus piezas son de fácil ensamble, se aplican para sistemas de calentamiento y enfriamiento.

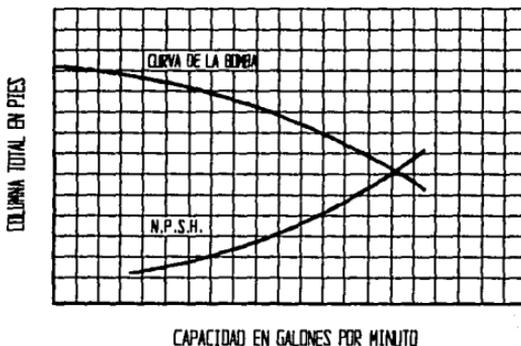
Las bombas de la Serie 1522 son para el servicio doméstico ya que proporciona solo hasta 100 GPM, 30 ft de columna y 1750 R.P.M.; son super silenciosas, se pueden montar a una base, son de diseño compacto, de fácil mantenimiento, sirven para procesos de servicio doméstico y pequeños sistemas de aire acondicionado. Trabajan desde 1/4 HP hasta 3/4 HP, por lo que son muy económicas.

Las Series VCS (Vertical Splite Case) y VSCS (Vertical Splite Case Side-Suction) Double-Suction, son diseñadas para ahorrar espacio, de hecho, pueden reducir la instalación a un 50%, optimiza aplicaciones de tuberías verticales, eliminando codos y soportes requeridos por las tradicionales bombas, su diseño radial permite acceso fácil a los sellos mecánicos, sus piezas son de fácil ensamble.

Estas Series pueden trabajar a 3500, 1750 ó 1150 R.P.M., éstas últimas llegan a 450 GPM y 130 ft de columna; las de 1750 manejan 8000 GPM a 300 ft; y las de 3500 R.P.M. llegan a 1500 GPM y 400 ft de columna total. Estas bombas utilizan motores desde 3 HP hasta 100 HP.

3.5 CURVAS DE COLUMNA NETA DE SUCCIÓN POSITIVA (NPSH).

Columna Neta de Succión Positiva es un término en las bombas que es muy limitado para circuitos cerrados (close loop piping application) y para bombas de torres de enfriamiento. Es de gran importancia, de cualquier modo, en un sistema abierto de aplicación industrial donde se encuentran bajas presiones. Los constructores de bombas proveen las curvas de NPSH. Una curva de NPSH se muestra en la figura 3.5.1.



Curva típica de NPSH requerida

Figura 3.5.1

Las curvas de NPSH son necesarias porque todas las bombas centrífugas operan a más baja presión en el ojo del impulsor que la presión existente en la entrada de la bomba.

La disminución de la presión en el ojo del impulsor es causada por un gran aumento de velocidad del agua de como entra.

La curva de NPSH define la presión baja y toma en cuenta el decremento de la presión dentro de la bomba. En una curva de NPSH, se muestra el NPSH que se requiere, el cual aumenta cuando aumenta el flujo.

La evaluación de NPSH es necesaria para sistemas abiertos de uso industrial, especialmente cuando usan fluidos volátiles. Esto es porque la reducción de la presión si no es prevista o tomada en cuenta, seguramente producirá cavitación y daño en la bomba.

Casi todos los sistemas cerrados de calefacción y aire acondicionado no requieren evaluación de NPSH porque es posible obtener una adecuada presión de succión en la bomba.

Carga Neta de Succión Positiva Disponible (NPSH).

La Carga Neta de Succión Positiva Disponible se determina de acuerdo a la siguiente información:

$$CNPS = H_p - H_{vp} - hf + H_s$$

H_p = Carga de presión atmosférica

H_{vp} = Carga de presión de vaporización de fluido a la temperatura de operación.

H_s = Altura estática en la succión.

hf = Pérdidas por fricción en el sistema de succión del equipo de bombeo.

La carga de presión atmosférica se calcula de la siguiente manera:

- 1) Se obtiene el dato de la columna de succión.
- 2) Se multiplica por el valor de la gravedad.
- 3) Se multiplica por la densidad del líquido (la densidad del agua es 1).
- 4) Se debe cuidar que las unidades sean homogéneas.

Carga Neta de Succión Positiva Requerida (NPSH).

Esta información debe ser otorgada por los fabricantes de las bombas, respaldadas por pruebas de laboratorio muy estrictas y precisas, por lo tanto no hay necesidad de preocuparse por este dato si únicamente se va a seleccionar el equipo.

3.6 CARACTERÍSTICAS DE UNA CURVA DE UNA BOMBA.

TABLAS DE BOMBAS.

Los fabricantes de las bombas proporcionan tablas de bombas además de las curvas de capacidad. Estas tablas se basan en curvas previamente analizadas, pero son tabuladas para observar los intervalos y mostrar la capacidad en GPM y las necesidades del motor para un número de bombas a esa columna. Una tabla típica para 30 ft de columna se muestra en la figura 3.6.1.

G.P.M	NUMERO DE BOMBA	H.P.
40	U1-1/4A	3/4
50	U1-1/2A	1
60	U1-1/2A	1
75	U2-A	1
100	U2-A	1.5
125	U2-1/2A	1.5
150	U3-T or S	2
175	U2-1/2A	2
200	U2-1/2A	3
225	U3-AA	3
250	U4-T or S	3
300	U4-A	5

Tabla de selección para 30' de columna.

Figura 3.6.1

La selección de bombas por medio de tablas no se considera como una selección ingenieril, porque la tabla no muestra el comportamiento de operación, ni las características que se ven de forma inmediata en la curva de la bomba.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CURVA DE UNA BOMBA

Las curvas se clasifican arbitrariamente como "flat o plana" o en "steep o de pasos". Esto se refiere a la forma general de la curva Columna - Capacidad.

Las curvas planas o flat de las bombas son generalmente de sistemas cerrados. Grandes cambios en la capacidad muestran o provocan un pequeño cambio en la columna. Las curvas flat deben ser usadas para sistemas que usan válvulas de control.

Las curvas de las bombas llamadas steep son las que comúnmente se usan en sistemas donde no se necesita que la columna permanezca muy estable a pesar del cambio de capacidad, éstas curvas son las más comunes como hemos venido observando, ya que los sistemas con curvas tipo flat son poco usuales y muy específicos.

La curva de la bomba puede ser usada para entender mejor la selección de la bomba, su operación y como afecta a todo el sistema.

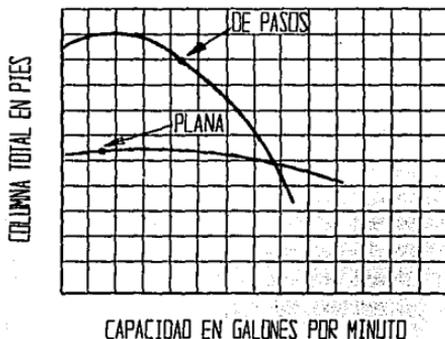


Figura 3.6.2

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CURVA DE UN SISTEMA.

Los métodos de análisis de las curvas de sistemas dan significado a la determinación de una buena aplicación práctica de una bomba. Instalaciones en Serie y en Paralelo requieren análisis de las curvas.

Curvas de Sistemas para Sistemas Cerrados.

Un sistema típico se muestra en la figura 3.6.3

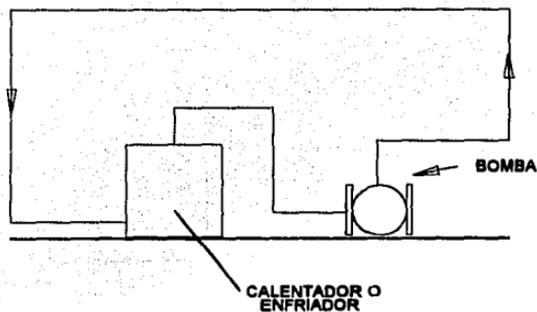
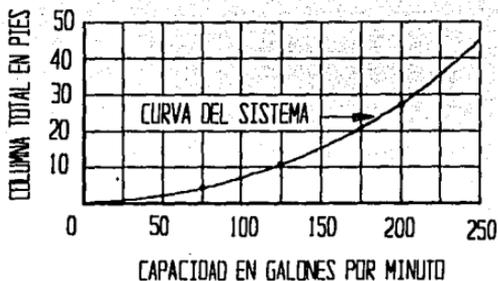


Figura 3.6.3

Del tamaño de la tubería y cantidad de flujo, se determina la energía de la columna. Es necesario que el sistema sea estático, de este modo se observa que la altura estática del sistema no es importante para determinar la energía que necesita la columna de agua. Esto es porque las alturas estáticas son balanceadas. La energía requerida por la columna para impulsar el agua a la parte más alta del sistema es balanceada por la energía de la columna y del flujo de agua que regresa.

Si un flujo de 200 GPM hace o produce 30 ft de presión de agua en un sistema común. Este punto particular puede obtenerse en una gráfica de columna-capacidad como se muestra en la figura 3.6.4. ¿Qué presión de agua puede ocurrir donde el flujo cambia a 125 GPM a través del circuito de tubería?. Otro cálculo puede indicar que 11.8 ft de columna son necesarios. El mismo procedimiento a 75 GPM puede resultar en 4.2 ft de presión. Estos puntos pueden también dibujarse en el pie de la columna contra GPM cortas como se muestra en la figura 3.6.4. La conexión de estos 3 puntos describe la curva de un sistema. La curva del sistema es una muestra del cambio en la fricción de la tubería con cambio en el flujo de agua para un circuito arreglado de tubería. Esta es la más importante herramienta de trabajo para aplicaciones de bomba.



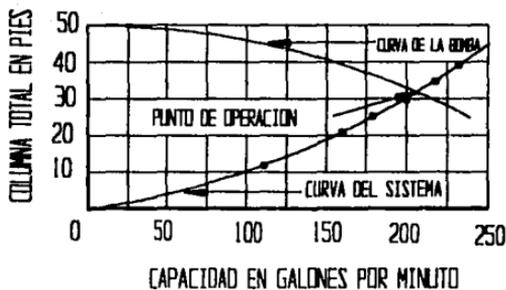
Curva del sistema.

Figura 3.6.4.

En éste caso 30 ft y la columna a 200 GPM es dónde se conocen las válvulas. Una tabulación para columna en pieza a otros flujos se ilustra a continuación:

GPM	Columna Ft
115	10
165	20
185	25
200	30
215	35
230	40

La curva del sistema completo se ilustra en la figura 3.6.5 donde se dibujó la curva de la bomba.



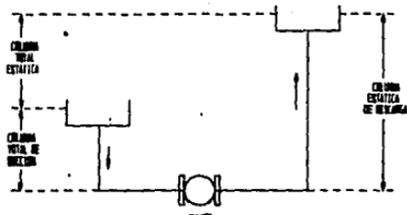
Curva del sistema y curva de la bomba

Figura 3.6.5

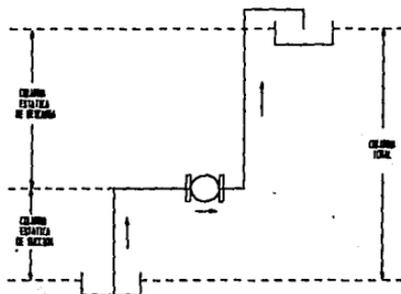
La operación de esta bomba debe ser en la intersección de la curva de la bomba con la curva del sistema. Esto es por la Ley de la Termodinámica "Energía que entra es igual a la energía que sale".

Curva del Sistema para Sistemas Abiertos.

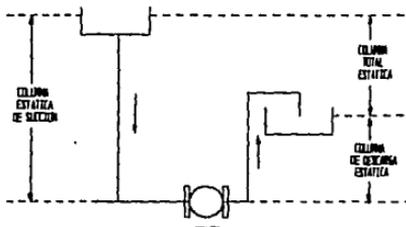
En la curva que se presenta para un sistema abierto, las condiciones estáticas deben considerarse aparte de las pérdidas por fricción. Las diferentes condiciones estáticas se ilustran en la figura 3.6.6.



Succión de columna estática menos la columna estática de descarga.



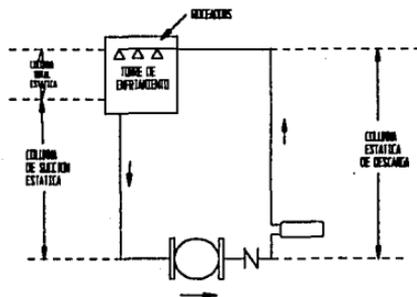
Elevación de succión estática más la columna estática de descarga.



Columna de succión estática más grande que la columna estática de descarga.

Figura 3.6.6

Una típica torre de enfriamiento se ilustra en la figura 3.6.7 En este sistema, la bomba envía agua al condensador y después descarga en la torre.



Típica aplicación de una torre de enfriamiento.

Figura 3.6.7

Si usamos el punto de diseño de 30 ft a 200 GPM, antes descrito, se puede usar para determinar el cambio en la presión para cambios en el flujo de agua. Estos cambios se muestran abajo:

GPM	Columna Ft
115.	10
165	20
185	25
200	30
215	35
230	40

Este punto usado, (el marcado en negro), es para desarrollar la curva del sistema. Esta curva del sistema no puede ser aplicada directamente a la curva de la bomba, porque daría un punto falso de operación como se muestra en la figura 3.6.8

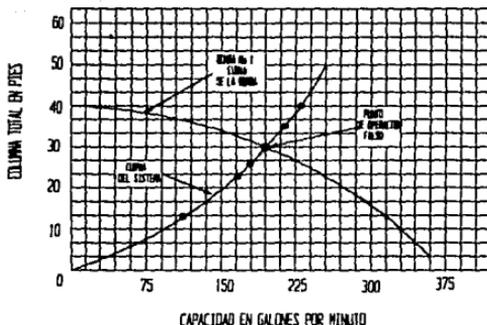
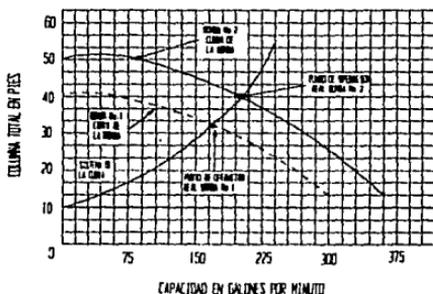


Figura 3.6.8

La ilustración es falsa porque la bomba debe proveer también la energía necesaria para elevar el agua de la base de la torre a los espesores de arriba del tanque. En este caso la bomba debe elevar el agua en 10 Ft. La diferencia estática de 10 Ft, debe ser agregada a la presión de bombeo para proveer la columna requerida.

El proceso correcto para graficar la curva del sistema para el circuito se muestra en la figura 3.6.9



Curva de un sistema de Circuito Abierto

Figura 3.6.9

El mismo método para construir la curva del sistema se aplica a la operación de una bomba que primero succiona el agua estando arriba del nivel y descarga a un tanque a mayor elevación. Ver figura 3.6.10

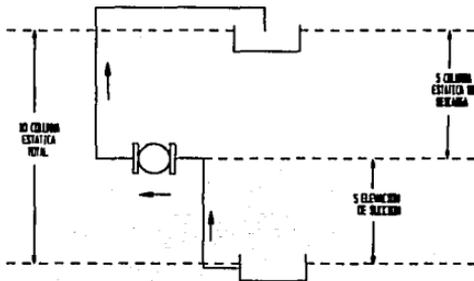


Figura 3.6.10

3.7 SELECCIÓN DE EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

En la calle de Sevilla No. 33 en la ciudad de México, se proyecta la construcción de un edificio que alojará una guardería y oficinas, sobre un terreno de 1,286 m².

El conjunto contará con una guardería, oficinas y estacionamiento, con un área construida de 7,031 m².

El abastecimiento de agua potable se hará a partir de la red municipal, utilizando una toma domiciliaria, que abastecerá a la cisterna general ubicada en el nivel del sótano 2, a partir del cual se alimentarán los muebles sanitarios.

DATOS DE PROYECTO.

Consumo diario, m3	46.8
Gasto medio diario, lts/seg.	0.54
Coefficiente de variación diaria	1.2
Gasto máximo diario, lts/seg.	0.65
Coefficiente de variación horaria	1.5
Gasto máximo horario, lts/seg.	0.98
Número de unidades de muebles	578
Gasto máximo instantáneo, lts/seg.	9.53
Columna total en el sistema, mts	45

Volumen de cisterna agua potable, m3	130
Diámetro de toma domiciliaria, mm.	25.4
Velocidad en la toma domiciliaria, m/s	1.28
Área de aportación pluvial, m ²	1286
Intensidad de lluvia, mm./h	79.4
Gasto máximo pluvial, lts/seg.	22.7

CALCULO DE NUMERO DE UNIDADES

El número de unidades de muebles que usan agua potable se obtienen de la tabla para la cuantificación de muebles que se mostró en el capítulo 2.8. En seguida se muestra el cálculo.

HOJA PARA EL CALCULO DEL FLUJO DE AGUA

TIPO DE MUEBLES	COLUMNA A FACTOR DE MULTIPLICACIÓN	COLUMNA B CANTIDAD DE UNIDADES	TOTAL DE UNIDADES (A x B)
	N		
WC/Público de pedal	10	31	310
WC/Público de tanque	5		
Mingitorio individual	5	16	80
Mingitorio múltiple	10		
Lavabo Público	2	60	120
Regadera	4		
Fregadero privado	3		
Fregadero en cocina	4	3	12
WC/Privado de pedal	6	3	18
WC/Privado de tanque	3		
Lavabo privado	1	4	4
Lavadora de platos	4	1	4
Lavadora ropa privada	4		
Lavadora ropa pública	10	1	10
Bidé. Lavados asiento	3		
Máquina de hacer hielo	3		
Llave de regar césped	6	2	12
Llaves nariz	4	2	8
Otros muebles			
Otros muebles			
Total de unidades de muebles en un edificio:			578

Ya que se tiene este dato de 578, se busca este número en la gráfica de Hunter, y en el punto donde se cruza con la curva (debe ser con la más alta para obtener el flujo máximo, de no ser así, podría obtenerse un número equivocado, la curva menor es para cuando se cree que se calcularon muebles de más), se traza una

línea horizontal y se obtiene el flujo de agua necesario para el funcionamiento del sistema. Para este caso, se obtiene que el flujo necesario es de 151 GPM, que son 571.8 Lts/Min., ya que un galón es igual a 3.785 litros. Y convirtiéndolos a lts/seg. son 9.53 lts/seg. como se indica en la tabla de datos.

CUESTIONARIO

Como se mencionó en el Capítulo 2.2, es necesario contestar el cuestionario para obtener los datos esenciales requeridos para seleccionar una bomba:

1. Numero de bombas requeridas.

Una bomba.

2. Naturaleza del líquido que habrá de bombearse.

Es el líquido:

- a) ¿agua fresca o salada, ácida o alcalina, aceite gasolina, lodo o pulpa de papel?

Agua fresca.

- b) Frio o caliente; y si es caliente ¿a que temperatura? ¿Cuál es la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo?

Fría.

- c) ¿Cuál es su densidad?

1000 Kg/m³

- d) ¿Es viscoso o no?

No es viscoso.

- e) ¿Limpio y libre de materias extrañas o 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 en porcentaje o en Kg/m³ de líquido? ¿Cuál es el material en suspensión?

Limpia y libre de materiales extrañas.

- f) ¿Cuál es el análisis químico? ¿Cuáles son las variaciones permisibles en este análisis? En caso de ser corrosivo ¿cuál ha sido la experiencia pasada tanto con materiales satisfactorios como con materiales no satisfactorios?

Agua potable.

3. Capacidad.

¿Cuál es la capacidad requerida así como la cantidad máxima de líquido que habrá de desarrollar la bomba?

Capacidad requerida 7.62 lt/seg.

Capacidad máxima 9.53 lt/seg.

4. Condiciones de succión.

Existe:

a) ¿Una elevación de succión?

Si, un metro.

b) ¿O una columna de succión?

No hay columna.

5. Condiciones de descarga.

a) ¿Cuál es la columna estática?

Es de 116 metros.

b) ¿Es constante o variable?

Es variable, porque la máxima columna es de 116 m, pero no siempre va a ser necesario que el agua llegue hasta ese punto, en ocasiones la columna será de 10 m, de 25 m, de 13m, etc.

6. ¿Es el servicio continuo o intermitente?

El servicio es intermitente, porque algunas veces no se necesita del suministro de agua, por ejemplo en las noches.

7. ¿Se habrá de instalar la bomba en posición horizontal o vertical?

En este último caso .

a) ¿En pozo húmedo?

b) ¿En pozo seco?

En posición horizontal.

8. ¿Qué potencia requerirá la bomba y cuáles son las características de ésta?

Como en el Capítulo 2.2.

$$\text{Potencia teórica de la bomba} = Q \times H / 76 \times e$$

Donde:

$$Q : \text{Gasto del equipo} = 7.62 \text{ l/s}$$

$$H : \text{Carga total} = 45 \text{ mts}$$

$$e : \text{Eficiencia} = 60 \%$$

$$\text{Potencia teórica} = 354.33 / 45.6$$

$$= 7.51$$

SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO

Los datos para seleccionar el equipo de bombeo son:

Número de unidades que usan agua potable	578
Gasto máximo instantáneo	9.53 l/s
Gasto de proyecto (80% del gasto máximo)	7.62 l/s
Columna total en el sistema	45 mts
Diámetro de succión y de descarga	1.5 in

Para buscar en las gráficas de selección de bombas es necesario convertir los metros a pies, y si se tienen 45 m y un metro es igual a 3.28 ft, obtenemos que son 147.6 ft. Y se considerará el gasto de proyecto, no el máximo instantáneo, ya que nunca se llegará a ese punto.

Entonces, para seleccionar la bomba necesaria se busca una gráfica que cumpla con las características necesarias, que son:

Columna Total	147.6 ft
Gasto de proyecto	120.8 GPM
Capacidad	
Eficiencia	60%
Potencia	7.5 HP
R.P.M.	Según selección

La gráfica seleccionada se muestra más adelante, y muestra que la bomba adecuada es una bomba "Bell & Gossett" de la Serie 1510, Modelo "1 1/2 AB" a 3500 R.P.M.

Las características de esta bomba son:

Diámetro de succión	2 in
Diámetro de descarga	1 1/2 in
Tamaño de motor	184 T
Si es 184 T a 3500 R.P.M.	7.5 HP
Longitud de la base	31 in
Ancho de la base	14 5/8 in
Altura de la base al centro de flecha	9 3/4 in
Altura de la base a la parte más alta	15 3/4 in
Diámetro del impulsor (obtenido de la gráfica de bomba)	6 1/2 in

Estos datos se obtienen de la tabla adjunta de características de las bombas que se muestra más adelante.

En la gráfica de la curva de la bomba, también se observa que la bomba, aparte de cumplir con los requerimientos básicos, cumple con la NPSH requerida, puesto que el punto de funcionamiento se encuentra por encima de la curva de NPSH o CSPN.

También era posible seleccionar la bomba modelo "1 1/4 AC", ya que cumple con la eficiencia de 60%, pero el rango de operación es muy pequeño, porque el punto deseado de operación está casi al final de la gráfica, por lo que es mejor la "1 1/2 AB", en la que el punto de selección se encuentra en la mitad de la gráfica, y si se deseara aumentar o disminuir el gasto o la columna, la bomba tiene mayor rango para trabajar eficientemente.

Otra bomba que también era posible seleccionar era la bomba de la Serie 1510, modelo "2G" a 1750 R.P.M., pero la eficiencia era menor de 60% y el punto de trabajo del sistema se encontraba al principio de la curva de la bomba, además necesitaba de 10 HP de potencia lo que tampoco es conveniente.

Para seleccionar el modelo de la bomba se observa la primera hoja de gráficas, que muestra los números de modelo y los rangos que manejan, entonces

buscamos el gasto y la columna, y nos indica el modelo de bomba que podemos seleccionar.

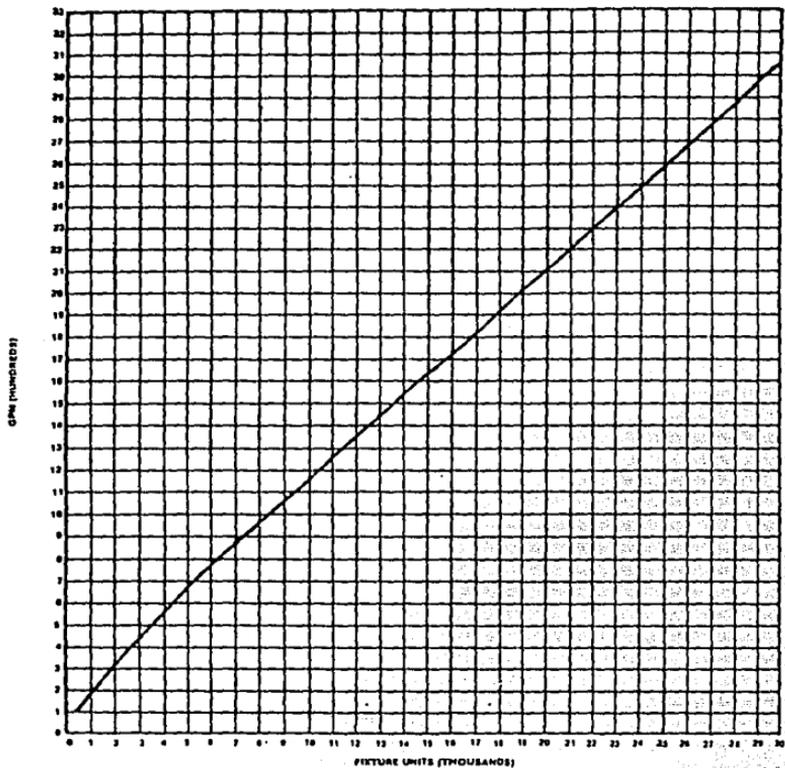
Después observamos las gráficas individuales que nos enseñan las características con más detalle, con las que podemos comprobar si la bomba cumple con las necesidades que obtuvimos en los cálculos, como la potencia necesaria del motor, eficiencia, y NPSH.

Por último vemos las tablas que se encuentran al final de las gráficas y que nos dicen las dimensiones de la bomba y del motor seleccionado.

NUMERO DE BOMBAS EN EL SISTEMA.

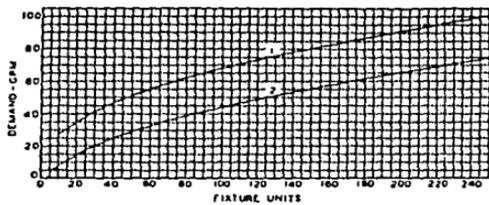
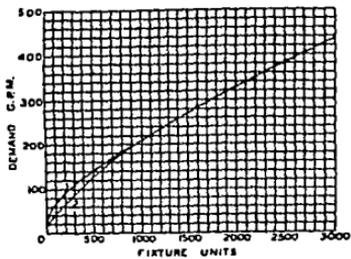
Tomando en cuenta el ejemplo del Capítulo 2.7, que menciona la conveniencia de usar dos bombas de potencia menor que una de potencia mayor para ahorrar energía, se puede decir que no es conveniente para el caso de la Guardería, porque no va a ser común que el sistema trabaje a un 65% constantemente, así que entramos en las excepciones que ahí se mencionan, porque la demanda es demasiado baja, y la eficiencia de la bomba es importante pero no determinante.

Pero sí se pondrá una segunda bomba de las mismas características en caso de falla de la primera o de necesitar mantenimiento.



HUNTER'S CURVE

HUNTER'S CURVE EXPLODED

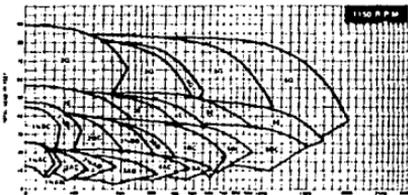
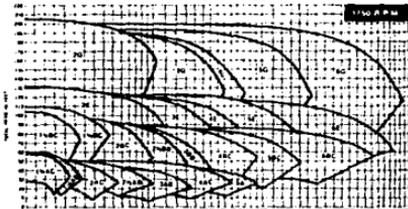
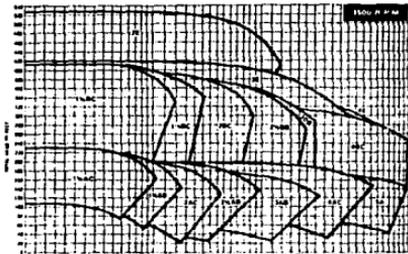


BELL & GOSSETT

CURVE BOOKLET

B-260E

SERIES 1510



SERIES 1510 PUMP

60 HERTZ PERFORMANCE CURVES

Base Mounted Centrifugal Pump Performance Curves

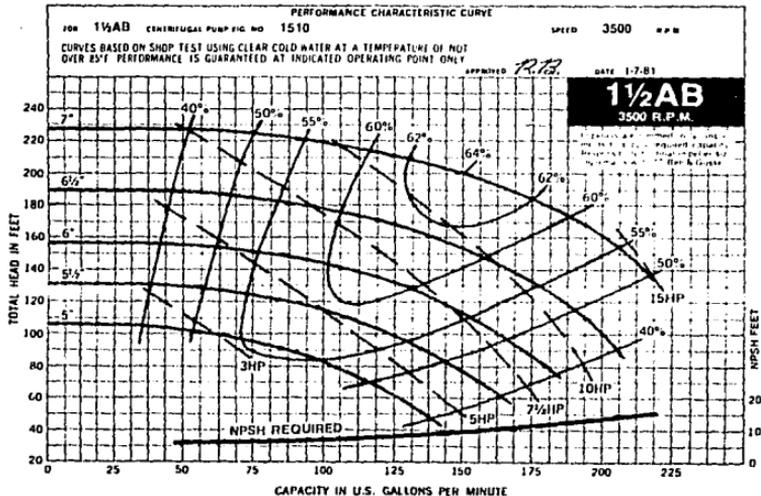
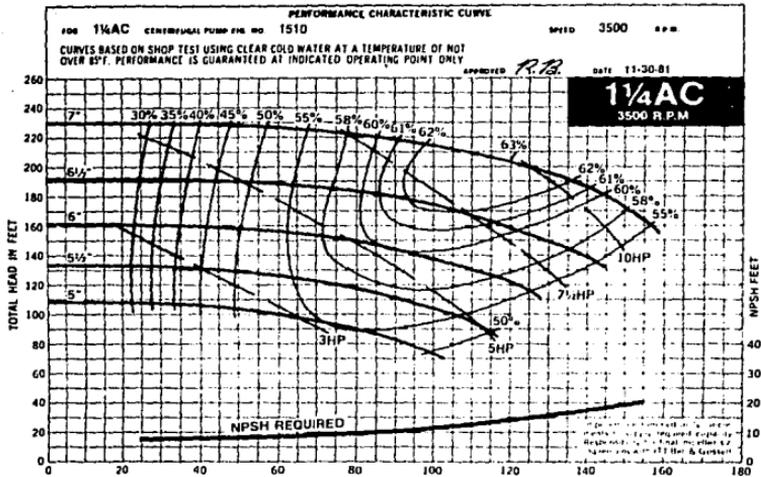


© COPYRIGHT 1984 1987 BY ITT CORPORATION

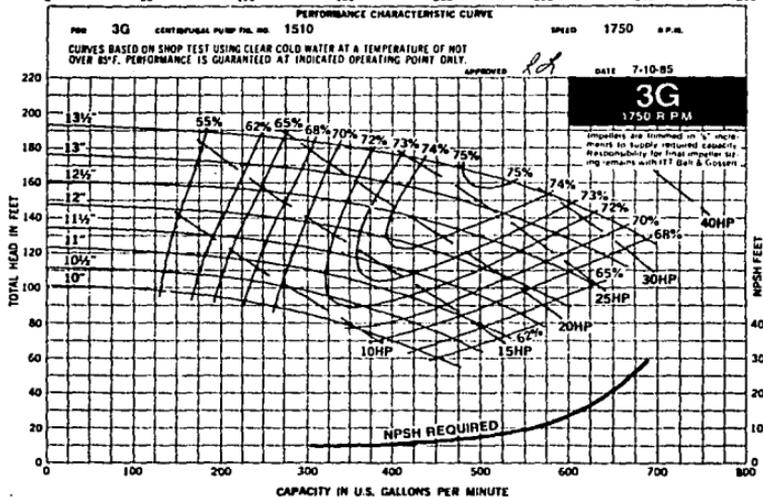
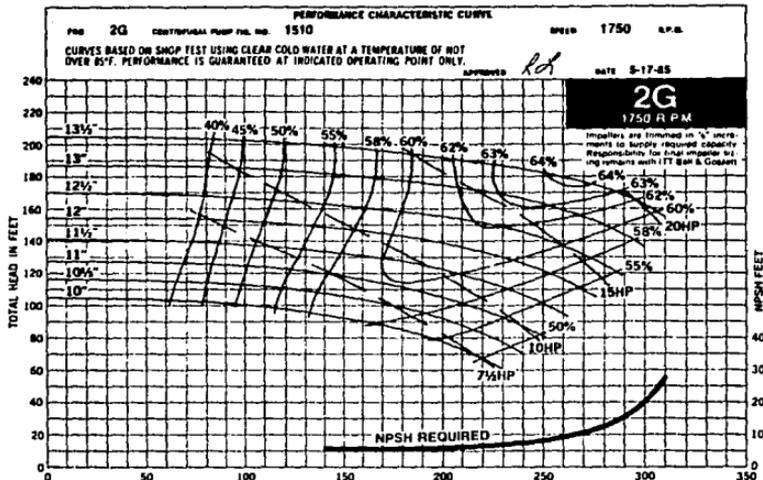
ITT Bell & Gossett
ITT Fluid Technology Corporation

FALLA DE OVENEN

3500 RPM PUMP CURVES

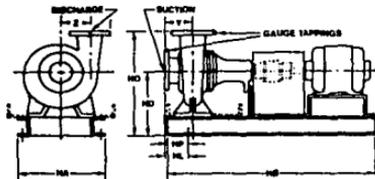


1750 RPM PUMP CURVES



Dimensions

Series 1510 Centrifugal Pumps



Motor Horsepower and Frame Tabelaion
three phase (Dripproof Enclosure)

Motorhorsepower	Frame # 1750 RPM	Frame # 3500 RPM	Motorhorsepower	Frame # 1750 RPM	Frame # 3500 RPM
1/2	56	30	250T	254T	256T
1/4	56	25	280T	284T	286T
1 1/2	143T	30	320T	324T	326T
2	143T	50	360T	364T	366T
3	182T	60	400T	404T	406T
5	182T	75	440T	444T	446T
7 1/2	213T	100	480T	484T	486T
10	213T	125	520T	524T	526T
15	254T	215T	560T	564T	566T

DIMENSIONS			STANDARD MECHANICAL SEAL PUMP MODEL 1510, 1510-F							STUFFING BOX CONSTRUCTION PUMP MODEL 1510-PE, 1510-S								
PUMP SIZE DISCHARGE	SUCTION SIZE	MOTOR FRAME SIZE	HA	HB	HD	HE	HO	HP	Y	Z	HA	HB	HD	HE	HO	HP	Y	Z
1 1/4 AC (NPT)	1 1/4 (NPT)	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
1 1/4 BC (NPT)	1 1/4 (NPT)	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
1 1/4 AB (NPT)	2 (NPT)	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
1 1/2 AC (NPT)	2 (NPT)	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
2 AC	2 1/2	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
2 BC	2 1/2	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
2 BC	2 1/2	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
2 E1	3	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
2 G1	3	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
2 1/4 AB	4	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
2 1/4 BC	4	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2
3 AB	4	143T-145T	12	28 1/2	9 1/2	3 1/4	14 1/2	3	3 1/4	4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	18 1/2	3	3 1/4	4 1/2
		182T-184T	14 1/2	31	10 1/2	1 1/4	18 1/2	3	3 1/4	5 1/2	16	48 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	5 1/2
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/4	20	5	5 1/2	6 1/2	18	51 1/2	13	2 1/4	21	5	5 1/2	5 1/2

These dimensions are not to be used for installation purposes unless certified
All dimensions in inches.

1250 ps available

Maximum Working
Pressure 175 psi

DIMENSIONS			STANDARD MECHANICAL SEAL PUMP MODEL 1818, 1818-F								STUFFING BOX CONSTRUCTION PUMP MODEL 1818-PF, 1818-S																						
PUMP SIZE DISCHARGE	BUCTION SIZE	MOTOR FRAME SIZE	HA	HB	HD	HE	HO	HP	Y	Z	HA	HB	HD	HE	HO	HP	Y	Z															
3 BS		182T-184T	14%	31	34%	10%	3 1/4"	18 1/4"	3	4%	8 1/4"	14%	34%	10%	3 1/4"	18 1/4"	3	5 1/4"	8 1/4"														
		213T-215T		46%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	16%			36%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	18%			38%	12	4 1/4"	22 1/4"	6									
		284T-286T		46%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	16%			36%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	18%			38%	12	4 1/4"	22 1/4"	6									
		324T-326T		46%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	16%			36%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	18%			38%	12	4 1/4"	22 1/4"	6									
3 ET	4	184T	18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5	5 1/4"	7 1/4"	18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5	8 1/4"	7 1/4"															
		213T-215T		46%	14	4 1/4"	23 1/4"	5			18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5			18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5											
		284T		51%	14	4 1/4"	23 1/4"	5			18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5			18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5											
		324T-326T		56	18 1/4"	4 1/4"	26	6			24	56	18 1/4"	4 1/4"	26	6			24	56	18 1/4"	4 1/4"	26	6									
3 G1		213T-215T	16	45%	5 1/4"	14	4 1/4"	23 1/4"	5	5 1/4"	8	18	48%	14	4 1/4"	23 1/4"	5	5 1/4"	8														
		284T-286T		51%								14	4 1/4"							23 1/4"	5	18	51%	14	4 1/4"	23 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5		
		324T-326T		56								18 1/4"	4 1/4"							26	6	24	56	18 1/4"	4 1/4"	26	6	24	56	18 1/4"	4 1/4"	26	6
		404T		42 1/4"								14	8 1/4"							23 1/4"	5	18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5		
4 AC1		182T-184T	14%	31	34%	10%	4 1/4"	18 1/4"	3	4 1/4"	5 1/4"	14%	34%	10%	4 1/4"	18 1/4"	3	4 1/4"	5 1/4"														
		213T		46%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	16%			36%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	18%			38%	12	4 1/4"	22 1/4"	6									
		284T-286T		46%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	16%			36%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	18%			38%	12	4 1/4"	22 1/4"	6									
		324T-326T		46%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	16%			36%	12	4 1/4"	20 1/4"	5	18%			38%	12	4 1/4"	22 1/4"	6									
4 BC		213T-215T	14%	34%	12%	4	20%	3	5	7	18	34%	12%	4	20%	3	5	7															
		284T		48%	14	5 1/4"	22	5			18	48%	14	5 1/4"	22	5			18 1/4"	44 1/4"	22	5											
		324T-326T		51%	14	5 1/4"	22	5			18	51%	14	5 1/4"	22	5			18 1/4"	44 1/4"	22	5											
		404T		56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6			24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6			24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6									
4 E1		213T-215T	16	42 1/4"	4 1/4"	8 1/4"	23 1/4"	5	5 1/4"	7 1/4"	18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5	5 1/4"	7 1/4"															
		284T		48%							14	4 1/4"							23 1/4"	5	18	51%	14	4 1/4"	23 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5			
		324T-326T		51%							14	4 1/4"							23 1/4"	5	18	51%	14	4 1/4"	23 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5			
		404T		56							18 1/4"	4 1/4"							26 1/4"	6	24	56	18 1/4"	4 1/4"	26 1/4"	6	24	56	18 1/4"	4 1/4"	26 1/4"	6	
4 G1		213T-215T	16	45%	5 1/4"	15	5 1/4"	25	5	6	8 1/4"	18	48%	15	5 1/4"	25	5	6	8 1/4"														
		284T-286T		51%								15	5 1/4"							25	5	18	51%	15	5 1/4"	25	5	18 1/4"	44 1/4"	25	5		
		324T-326T		56								18 1/4"	5 1/4"							24 1/4"	6	24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6	24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6
		404T		42 1/4"								14	8 1/4"							23 1/4"	5	18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5		
5 A1		182T-184T	14%	31	34%	12%	5 1/4"	21 1/4"	3	5 1/4"	8 1/4"	14%	34%	12%	5 1/4"	21 1/4"	3	5 1/4"	8 1/4"														
		213T-215T		46%	14	6 1/4"	22 1/4"	4	16%			36%	12%	5 1/4"	21 1/4"	3	18%			38%	12%	5 1/4"	22 1/4"	4									
		284T-286T		46%	14	6 1/4"	22 1/4"	4	16%			36%	12%	5 1/4"	21 1/4"	3	18%			38%	12%	5 1/4"	22 1/4"	4									
		324T-326T		46%	14	6 1/4"	22 1/4"	4	16%			36%	12%	5 1/4"	21 1/4"	3	18%			38%	12%	5 1/4"	22 1/4"	4									
5 BC1		213T-215T	16	46%	4 1/4"	4 1/4"	25	5	6	7 1/4"	18	48%	15	8 1/4"	25	5	6	7 1/4"															
		284T		51%							15	8 1/4"							25	5	18	51%	15	8 1/4"	25	5	18 1/4"	44 1/4"	25	5			
		324T-326T		56							18 1/4"	4 1/4"							25 1/4"	5	18	56	18 1/4"	4 1/4"	25 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	25 1/4"	5			
		404T		42 1/4"							14	8 1/4"							23 1/4"	5	18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5			
5 E1	6	213T-215T	16	45%	5 1/4"	15	6 1/4"	25 1/4"	5	5 1/4"	7 1/4"	18	48%	15	6 1/4"	25 1/4"	5	5 1/4"	7 1/4"														
		284T		51%								15	6 1/4"							25 1/4"	5	18	51%	15	6 1/4"	25 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	25 1/4"	5		
		324T-326T		56								18 1/4"	4 1/4"							25 1/4"	5	18	56	18 1/4"	4 1/4"	25 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	25 1/4"	5		
		404T		42 1/4"								14	8 1/4"							23 1/4"	5	18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5		
5 G1		284T-286T	24	56	16 1/4"	5 1/4"	29 1/4"	6	6	8	9	24	56	16 1/4"	5 1/4"	29 1/4"	6	6	8														
		324T-326T		56	16 1/4"	5 1/4"	29 1/4"	6					24	56	16 1/4"	5 1/4"	29 1/4"			6	24	56	16 1/4"	5 1/4"	29 1/4"	6							
		404T		42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5					18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"			5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5									
		504T		56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6					24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"			6	24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6							
6 BC1		284T-286T	20	59 1/4"	17	6 1/4"	30	6	6	6	9	26	59 1/4"	17	6 1/4"	30	6	6	6														
		324T-326T		59 1/4"	17	6 1/4"	30	6					26	59 1/4"	17	6 1/4"	30			6	26	59 1/4"	17	6 1/4"	30	6							
		404T		42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5					18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"			5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5									
		504T		56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6					24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"			6	24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6							
6 E1	8	284T-286T	24	56	16 1/4"	6	27 1/4"	6	6	6 1/4"	8 1/4"	24	56	16 1/4"	6	27 1/4"	6	6	6 1/4"														
		324T-326T		56	16 1/4"	6	27 1/4"	6					24	56	16 1/4"	6	27 1/4"			6	24	56	16 1/4"	6	27 1/4"	6							
		404T		42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5					18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"			5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5									
		504T		56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6					24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"			6	24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6							
6 G1		284T-286T	24	56	16 1/4"	6 1/4"	30 1/4"	6	6	6 1/4"	8 1/4"	24	56	16 1/4"	6 1/4"	30 1/4"	6	6	6 1/4"														
		324T-326T		56	16 1/4"	6 1/4"	30 1/4"	6					24	56	16 1/4"	6 1/4"	30 1/4"			6	24	56	16 1/4"	6 1/4"	30 1/4"	6							
		404T		42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"	5					18	42 1/4"	14	8 1/4"	23 1/4"			5	18 1/4"	44 1/4"	23 1/4"	5									
		504T		56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6					24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"			6	24	56	18 1/4"	5 1/4"	24 1/4"	6							

These dimensions are not to be used for installation purposes unless certified
All dimensions in inches

1250 psi available
Maximum Working pressure 175 psi

FALLA DE ORIGEN

CAPITULO IV

INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA BOMBA

4.1 INSTALACIÓN.

La información general contenida en éste capítulo deberá suplementarse con las instrucciones específicas presentadas por el fabricante. Estas instrucciones forman parte del manual que los fabricantes empaacan en la caja de accesorios que acompaña a la bomba o lo mandan al cliente al embarcar la bomba.

INSTRUCTIVO.

Un instructivo contiene información para las siguientes fases del uso de una bomba:

1. Instalación para servicio máximo con un mínimo de desgaste y costo.
2. Ajuste y operación para un funcionamiento óptimo.
3. Mantenimiento y reparación.

Los instructivos ayudan a mantener la maquinaria eficiente y en magnificas condiciones, y siempre deberán estar al alcance del siguiente personal:

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

Con frecuencia se solicitan muchos manuales pero nunca se distribuyen, más tarde, cuando se necesitan puede ser difícil localizarlos en un plazo breve.

Una solicitud de cantidades anormales de instructivos aumenta el costo de una bomba. Por otro lado, si se solicitan los libros después de que se surte la bomba pueden ser más caros, por lo tanto lo mejor es pedir el número exacto de manuales.

EMBARQUE.

El procedimiento general del embarque es idéntico con todos los fabricantes. Todas las bridas y partes metálicas se limpian de materias extrañas y se les aplica un compuesto anticorrosivo, como grasa o vaselina.

Para protección durante el embarque, todas las piezas se protegen con tapones para evitar la entrada de la mugre, polvo, humedad o materiales extraños. Todas las tuberías pequeñas se limpian y se instalan guardas protectoras si es necesario.

Si la bomba es grande el impulsor 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 impulsor pero la colocación final se hace después del alineamiento. Cuando la unidad es del tamaño y peso conveniente, la bomba se embarca ya armada, es decir, con el impulsor y la bomba en la base.

REGLAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE UNA BOMBA.

Las bombas que se instalan en interiores, en lugares mal alumbrados sin amplitud, o donde se acumula mugre y humedad están situadas inadecuadamente para desarmarlas y repararlas, por lo tanto se descuidarán tanto la bomba como el impulsor. Las bombas se deberán instalar en lugares alumbrados, secos y limpios.

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 dejar libre al rotor. Para bombas grandes se debe proveer sobre la localización de la bomba una grúa viajera o espacio para armar un malacate.

Quando el equipo de bombeo está en un lugar donde puede haber inundaciones, se puede usar una bomba vertical, o se proporcionan bombas auxiliares de achique como un seguro contra daños del equipo principal.

En instalaciones normales las bombas deberán localizarse tan cerca como sea posible de la fuente de suministro del líquido. Siempre se deben seguir las recomendaciones del fabricante sobre las condiciones de succión.

Con la mayoría de las unidades de bombeo se obtienen servicios más satisfactorios cuando se suministra una cimentación rígida.

CIMENTACIONES.

Las cimentaciones son cualquier estructura rígida suficientemente pesada para proporcionar un soporte permanente a toda el área de la base de la bomba y su motor, y absorba cualquier esfuerzo producido por su trabajo.

Las cimentaciones de concreto construidas desplantándose desde suelo firme son las más satisfactorias. Al construir la cimentación, se debe dejar un margen para poner lechada de concreto entre la superficie áspera del concreto y la cara inferior de la placa de base. La mayoría de las unidades se montan en planchas de base, el equipo muy grande puede montarse directamente sobre la cimentación.

El espacio requerido por unidad de bombeo y la colocación de los pernos de anclaje se determinan con los planos suministrados por el fabricante.

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

ALINEAMIENTO.

Cuando una unidad que consiste de bomba, base, acoplamiento e impulsor se arma en la fábrica, la placa de la base se coloca en una superficie plana y lisa, se monta la bomba y el motor y se alinean con precisión las mitades del acoplamiento con calzas abajo de las superficies de montaje de la bomba y del impulsor donde sea necesario. Generalmente la bomba se fija con prisioneros a la placa de la base en la fábrica.

Durante el embarque, la bomba, su impulso y la base se someten a tales esfuerzos que se originan serios desalineamientos. Cuando la placa de la base se monta en el lugar y se conecta a la tubería, puede ocurrir un mayor desalineamiento, a veces lo bastante serio para provocar falla de cojinetes y acoplamiento y, en algunos casos, la rotura de la flecha. Si la bomba maneja líquidos a alta temperatura,

el alineamiento final en el campo, deberá hacerse con la bomba y el motor llevados a su temperatura de operación normal.

Con unidades de tamaño moderado generalmente es innecesario quitar de su lugar la bomba o el motor cuando se está nivelando. La unidad deberá ponerse sobre la cimentación y soportarse con pequeñas tiras de placa de acero cerca de los pernos de anclaje, dejando un espacio de 1.9 a 5.08 cm, entre el fondo de la plancha y la parte superior del cimientado para la lechada de concreto.

Los pernos de acoplamiento deberán sacarse antes de nivelar la unidad y de alinear los medios coples. Algunas veces se usan cuñas de tiras planas. Las opiniones difieren con respecto al retiro de las tiras o cuñas después de lechadear con concreto.

Cuando se puede, es preferible colocar el nivel en alguna parte expuesta de la flecha de la bomba, manguito o superficie pulida de la cubierta. Cuando la placa se ha nivelado, se deberán apretar con los dedos las tuercas de los pernos de anclaje.

Durante la nivelación de la bomba y la placa de base, se deberá mantener el alineamiento preciso entre los dos medios coples desarticulados entre las flechas de la bomba y el impulsor. Antes de alinear, tanto el rotor de la bomba como el del impulsor deberán girarse a mano para asegurarse de que se mueven libremente. Se deberá colocar una regla recta a través del acoplamiento por un lado y por arriba y al mismo tiempo, las caras de las mitades del acoplamiento deberán rectificarse con un medidor cónico de espesores o un calibrador de hojas.

Para todas las verificaciones de alineamiento, incluyendo el paralelismo de las caras de acoplamiento ambas flechas deberán empujarse con fuerza hacia un lado al tomar las medidas.

Cuando las periferias de las mitades de acoplamiento son círculos perfectos del mismo diámetro y las caras están planas, existe un alineamiento exacto cuando la distancia entre las caras es la misma en todos los puntos y una regla recta asiente bien en cualquier punto de los cantos.

Si las caras no están paralelas, los calibradores de espesores o de láminas mostrarán una variación en distintos puntos. Si un acoplamiento está más alto que el otro, la cantidad puede determinarse con la regla recta y los calibradores de hoja.

Cuando la unidad está nivelada y alineada con precisión, los pernos de sujeción se deberán apretar suave y uniformemente antes de poner la lechada de cemento.

La alineación se debe verificar nuevamente después de que la tubería de succión y descarga se ha fijado con los tornillos a la bomba, para probar el efecto de los esfuerzos por la tubería.

La alineación de la bomba y su impulsor se debe verificar constantemente, porque pueden desarrollarse esfuerzos por la tubería después de que la unidad ha estado operando por algún tiempo, causando un desalineamiento.

VACIADO DE LECHADA DE CONCRETO.

El propósito de fijar la placa de base con lechada de concreto es evitar el movimiento lateral de ella y aumentar su masa para evitar la vibración, así como suavizar las irregularidades en la cimentación.

La mezcla común para lechadear una base de bomba está compuesta de una parte de cemento portlan puro y dos partes de arena para construcción, con suficiente agua para hacer que la mezcla fluya libremente bajo la base.

La lechada está suficientemente fraguada a las 48 horas para poder retirar los moldes, pero es hasta las 72 horas en las que se deberá apretar finalmente los pernos de sujeción y volver a verificar la alineación de los dos medios de acoplamiento.

INSTRUMENTACION.

Muchos instrumentos son esenciales para verificar detalladamente el funcionamiento y la condición de las bombas centrifugas instaladas. Se deberá conectar a la succión de la bomba un manómetro combinado y un manómetro a la descarga. Los manómetros deben montarse en un lugar conveniente para que puedan observarse fácilmente.

También es conveniente proveer un dispositivo medidor de flujo, porque es práctico determinar la capacidad descargada por la bomba con alguna presión sin uno de ellos. Dependiendo de la importancia de la instalación, los medidores indicadores pueden suplementarse con accesorios registradores.

Siempre que las bombas tengan varios arreglos de escurrimiento, como dispositivos balanceadores o laberintos reductores de presión, la cantidad de ellos debe verificarse instalando orificios medidores y columnas diferenciales en las líneas de escurrimiento.

ESFUERZOS DE TUBERÍA.

La operación satisfactoria no se puede mantener cuando la tubería ejerce fuerzas y torques en la bomba. Una bomba puede fácilmente deformarse y salirse de su posición al apretar los tornillos de las bridas de la tubería. Estas deben colocarse a escuadra una contra otra netas de que se aprieten los tornillos.

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

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

TUBERÍA DE SUCCIÓN.

El principal motivo de dificultades en las instalaciones de bombas centrífugas, además del desalineamiento, son las tuberías de succión defectuosas. La tubería de succión deberá ser tan corta y tan directa como sea posible. Si se requiere una línea de succión larga, el tamaño de la tubería deberá aumentarse para reducir las pérdidas por fricción.

La tubería de succión debería tenderse con una pendiente de elevación continua hacia la bomba, sin puntos altos, para evitar la formación de bolsas de aire, que invariablemente causan dificultades. Sólo deberán usarse reductores derechos instalados con el lado recto hacia arriba entre la tubería y la boquilla de succión de la bomba.

En el caso de existir codos generalmente se prefieren de radio largo para las líneas de succión, porque ofrecen menos fricción y provee una distribución más uniforme que los codos normales.

Después de instalada, la tubería de succión deberá taparse y probarse hidrostáticamente para que no tenga fugas antes del arranque inicial.

TUBERÍA DE DESCARGA.

Generalmente, se instalan una válvula de retención y una compuerta en la línea de descarga. La válvula de retención se coloca entre la bomba y la válvula de

compuerta y protege la bomba contra el flujo en sentido inverso en el caso de una falla inesperada del impulsor.

La válvula de compuerta se usa cuando se ceba la bomba o cuando se aísla para inspección o reparación.

Las válvulas operadas manualmente, que son difíciles de alcanzar deberán equiparse con una cremallera dentada y una cadena. Estas válvulas algunas veces están motorizadas y se operan a control remoto.

JUNTAS DE EXPANSIÓN.

Las juntas de expansión se usan algunas veces en las líneas de succión y descarga de las bombas centrífugas, para evitar que se transmita cualquier clase de esfuerzos de la tubería a la bomba, ya sea que éstos sean por expansión al manejar líquidos calientes, desalineamiento de la tubería o cualquier otra causa.

Eliminan los esfuerzos de las tuberías, pero producen un nuevo problema, que es una reacción y un torque en la bomba y en su cimentación, por lo que se deben tomar medidas precautorias en el diseño de la tubería y en la colocación de las juntas de expansión, de modo que cumplan correctamente con su función.

4.2 OPERACION.

INTRODUCCION.

La selección correcta del equipo asegura una buena operación, que indudablemente, se traduce en economía y duración del sistema.

Antes de entrar en la operación de una bomba, es muy importante conocer bien los distintos términos y definiciones usados en el bombeo. El siguiente cuadro muestra la relación que existe entre los diferentes términos de presión.

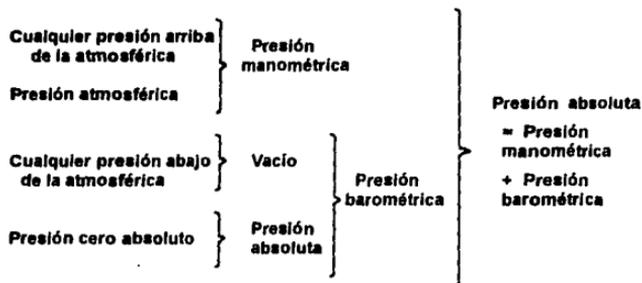


Tabla 4.2.1

CEBADO DE UNA BOMBA.

Cebar una bomba significa remplazar el aire, gas o vapor que se encuentre en la bomba y sus tuberías, por el líquido a bombear. Las bombas se puede cebar, automática o manualmente, que esto último es lo más común.

Una bomba centrífuga no puede bombear aire como las bombas de desplazamiento positivo, debido a que el peso del aire es bajo cuando se bombea y la presión de succión muy pequeña, esto significa que el vacío que se produce en el lado de succión, en metros de agua es muy bajo.

Se presentan dos casos generales en el problema de cebado de una bomba: cuando se tiene una carga de succión positiva, es decir, el nivel del líquido a bombear está arriba del eje central de la bomba y cuando el nivel se encuentra abajo de dicho eje.

En el primer caso, cuando la bomba se pone por primera vez en servicio, o después de él, la tubería de la bomba y esta misma pueden estar llenas de aire. A menos que la presión de succión sea lo suficientemente alta para desalojar el aire del interior de la bomba, ésta no estará cebada. Por lo tanto, es necesario proveer medios adecuados, como válvulas de purga, para expulsar el aire atrapado en el sistema.

Si el nivel de succión se encuentra abajo del eje central de la bomba (caso más común) el aire debe ser substituido por el líquido a bombear mediante el sistema de cebado que sea el más adecuado para cada instalación. aunque el más común es hacerlo manualmente, llenando la tubería de agua y poner una pichancha que evite la salida del agua, y al iniciar a succionar el agua, la pichancha permite el paso del líquido hacia la bomba.

Se han desarrollado algunos sistemas de cebado controlados automáticamente. El equipo provisto de uno de estos aparatos se llama "bomba automáticamente cebada". La mayor parte de estos equipos usan una bomba de vacío, tipo rotatoria, que puede ir directamente acoplada a la misma flecha del motor de la bomba a cebar o acoplada a un motor por separado. Esta bomba rotatoria tiene su succión conectada a la succión de la bomba a cebar y su descarga al cuerpo de sus impulsores

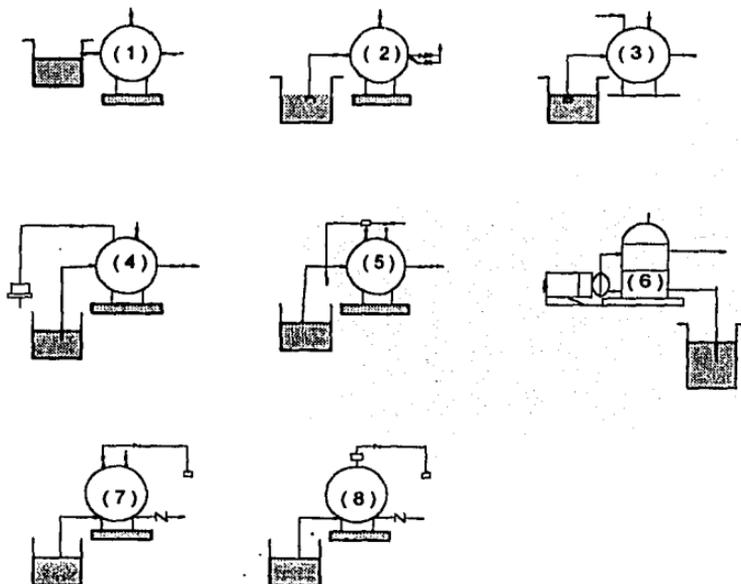
Existen varios tipos de cebado auxiliar que se muestran en la figura 4.2.1:

1. Una succión sumergida de compuerta permite que el líquido de entrada empuje el aire fuera de la carcasa.
2. El paso lateral que puente a la válvula checadora de descarga, usa el mismo líquido de la línea de descarga para cebar la bomba.
3. Aquí se muestra el uso de la válvula de pie. Esta cierra cuando se deja de bombear e impide que se descargue la succión.
4. Una bomba auxiliar extrae el aire de la carcasa de la bomba principal para efectuar el cebado de la misma.

5. Un eyector extrae el aire de la carcasa para cebar la bomba principal.

6. Un tanque de cebado que contenga una cantidad suficiente de líquido para establecer el flujo a través de la bomba en el momento de arranque.

7. y 8. Se usan bombas de vacío para cebar la bomba. Estas se pueden controlar en forma manual o automática.



Distintos tipos de cebado auxiliar

Figura 4.2.1

El mantenimiento de los sistemas auxiliares de cebado se reduce a la inspección periódica de sus partes, a fin de evitar las fugas entre las uniones. La operación de la válvula de purga indicará cuando un sistema de cebado no está cumpliendo con su cometido. Esta válvula debe abrirse antes de poner en servicio la bomba principal; cuando la bomba expulsa el líquido, esto es un indicio de que está cebada.

ARRANQUE Y PARADA DE UNA BOMBA.

Antes de arrancar una bomba se deberán verificar las condiciones de succión, ver si la bomba está provista de un colador o una pichancha y asegurarse que no esté obstruida. Estas precauciones se toman sólo cuando la bomba trabaja por primera vez.

Es necesario cebar las bombas centrífugas o bombas rotatorias que se van a arrancar por primera vez, en caso de ser la primera vez, es necesario llenar la parte inferior de la carcasa con el líquido a bombear para que queden cebadas.

Ya que se ha inspeccionado el equipo auxiliar de la bomba, efectuado el cebado y verificado sus condiciones normales de succión, se puede arrancar la bomba.

Una bomba centrífuga se puede poner en marcha con la válvula de descarga abierta o cerrada, el agua dentro de la carcasa de la bomba circulará en circuito cerrado; no así en las de desplazamiento positivo, que cuando tienen una obstrucción en la descarga sufren fuertes daños, pues desarrollan una gran presión que requiere de alta potencia.

Normalmente, antes de arrancar una bomba, se debe proceder a inspeccionar aceiteras, graseras y tanques de agua para prelubricación; en caso de que la bomba sea de flecha vertical con columna más o menos larga, se deberá dejar correr el lubricante por algún tiempo.

La mayoría de las bombas son propulsadas por motores eléctricos ya sea del tipo sincrónico o asíncrono. Si el voltaje aplicado, el número de fases, ciclaje, alimentación y medio de arranque han sido bien seleccionados y el motor es del tamaño correcto para los HP requeridos, el arranque del motor no representará ningún problema.

El paro de una bomba puede examinarse en dos casos generales: paro controlado y paro imprevisto.

En el paro controlado y según sean los diferentes tipos de instalación, se debe procurar que, por medio de las válvulas de compuerta en la descarga, se eviten las presiones por regreso del líquido (golpe de ariete) que se pueden producir al parar la bomba. Esto se evita cerrando las válvulas de compuerta antes de parar la bomba.

En las instalaciones donde se tiene una carga en la descarga de la bomba, se usa una válvula checkadora para detener el regreso del líquido por la tubería de descarga, ya sea por la elevación o por la acción de otras unidades que estén operando sobre una múltiple descara. Estas válvulas pueden ser de cierre rápido o lento, y deben mantenerse siempre en buen estado.

El verdadero problema se presenta cuando una bomba sufre un paro imprevisto. Si está conectada a un sistema de tubería cerrada, cuando el líquido sufre el cambio brusco de velocidad se presenta el golpe de ariete, que debido a la elevación rápida de presión, puede ocasionar graves desperfectos.

Para evitar los efectos destructores del golpe de ariete se recurre a medios que reducen la presión desarrollada durante el impulso del flujo del líquido. Los más comunes son: el aumento del tiempo en que se efectúa la detención del flujo, para lo cual se usa un volante en la bomba o una cámara de aire en el tubo cerca de la bomba; y la otra, es purgando algo del agua del tubo, para lo que se emplean válvulas de alivio que extraen el aire y el agua durante un impulso

REGLAS GENERALES PARA LA OPERACION DE UNA BOMBA.

Correr una bomba en seco.

Sólo si hay espacios libres excesivos entre las partes estacionarias y las giratorias podría trabajar en seco por un tiempo indefinido, pero esto no ocurre en las bombas centrifugas, ya que tienen ajustes precisos en las juntas de escurrimiento y no pueden operar en seco de ninguna manera, o en algunos casos por más de unos segundos, sin dañarse seriamente.

La única excepción a la regla es un diseño especial de bombas grandes de baja carga y cebado automático. La bomba se arranca en seco al arrancar la bomba de vacío y corre en seco por no más de dos minutos, tiempo al cual ya es completo el cebado y la bomba entra en operación normal.

Estrangulación de la succión de la bomba.

Si se estrangula la succión de una bomba centrífuga se origina una reducción de la presión absoluta en la entrada del impulsor. Esto puede hacerse para que resulte una reducción en capacidad forzando la bomba a operar "en vacío" y reduciendo la capacidad de descarga por la alteración de la forma de la curva carga - capacidad. Esta operación es dañina para la bomba, ya que opera al vacío y causa erosión y destrucción prematura por la cavitación provocada al estrangular la succión.

La capacidad de la bomba puede reducirse de manera sencilla y de forma segura estrangulando la descarga. DE esta manera, las pérdidas artificiales por fricción se introducen estrangulando, y se obtiene una nueva curva del sistema.

Solo se permite estrangular la succión cuando la presión de succión excede en amplio margen los requerimientos mínimos, como en el caso de la segunda bomba de un sistema en serie.

Arranque de bombas después de una falla eléctrica.

Si una válvula de retención protege a una bomba del flujo inverso después de una falla de corriente, generalmente no hay razón para no volver a arrancarla una vez que se restablece la corriente. El tipo de control del motor determinará si el motor arranca automáticamente o activando nuevamente el arranque de forma manual.

Los arrancadores se hacen con protección de bajo voltaje, con desconexión por bajo voltaje o sin cualquiera de ellas.

Los arrancadores con protección de bajo voltaje se desenergizarán en condiciones de bajo voltaje, o después de una falla de corriente y las unidades que controlan deben arrancarse otra vez manualmente.

Los arrancadores con protección de bajo voltaje sólo se pueden usar con dispositivos pilotos de contacto instantáneo y no con los de contacto sostenido como interruptores de flotador.

Si el arrancador no tiene protección por bajo voltaje, al reanudarse la fuerza, la unidad volverá a arrancar automáticamente. Debido a que las bombas que operan con elevación de succión pueden perder su cebado durante el periodo en que no hay corriente, los arrancadores para esas instalaciones deben tener protección para baja carga.

4.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Los problemas de mantenimiento del equipo de bombeo varían desde sencillos a complicados. El tipo de servicio para el que la bomba está destinada, la construcción general, las facilidades disponibles en el lugar, y otros factores entran en la decisión de si las reparaciones necesarias se ejecutan en la instalación o en la planta del fabricante.

OBSERVACIÓN DIARIA.

Las instalaciones de bombas que se atienden constantemente deberán inspeccionarse cada hora y todos los días. Un sistema de reportes para estas inspecciones no se considera necesario porque el operador debe reportar inmediatamente cualquier irregularidad en la operación de la bomba. Un cambio de sonido en una bomba que está trabajando debe investigarse inmediatamente. Las temperaturas de los cojinetes deben observarse cada hora. Un cambio repentino de temperatura en los cojinetes es una indicación muy clara de dificultades.

También se debe observar cada hora la operación de los estoperos. Se debe revisar el escurrimiento de los estoperos para ver si es suficiente para proporcionar enfriamiento y lubricación, pero no de forma excesiva y con desperdicio.

INSPECCIÓN SEMESTRAL.

Las juntas del estopero deberá revisarse cada medio año para ver que tengan movimiento libre, se deberán limpiar y aceitar los pernos y tuercas e inspeccionar la empaquetadura para determinar si necesita reponerse.

El alineamiento de la bomba y el impulsor deberá verificarse y corregirse si es necesario. Los cojinetes, lubricados con aceite deberán vaciarse, escurrirse y rellenarse con aceite de nuevo. Los cojinetes lubricados con grasa deberán inspeccionarse para ver si se proporcionó la cantidad correcta de grasa y si todavía es de consistencia adecuada.

INSPECCIÓN ANUAL.

Las bombas centrífugas se deben inspeccionar muy cuidadosamente una vez al año. Además del procedimiento de mantenimiento semestral, se deben

desmontar los cojinetes, limpiar y examinar si tienen defectos. Las cajas de cojinetes deben limpiarse cuidadosamente. Los baleros antifricción deberán examinarse, para ver si están rayados o tienen desgaste. Inmediatamente después de la inspección los cojinetes deben cubrirse con una capa de aceite o grasa para evitar que les entre la mugre o humedad.

La empaquetadura deberá sacarse y los manguitos de las flecha o la flecha misma, deberán examinarse buscando si hay desgaste.

Las mitades del acoplamiento deberán desconectarse y verificar el alineamiento. Los drenajes, tubería de agua de sello, tubería de agua de enfriamiento y otras tuberías deberán revisarse y soplarse.

Se deberá reemplazar los estoperos y volver a conectar el acoplamiento.

Si se tienen disponibles dispositivos e instrumentos de medición, estos deberán recalibrarse y hacer una prueba para determinar si se obtiene un funcionamiento correcto. Si se hacen reparaciones internas deberá probarse nuevamente la bomba al terminar la reparación.

RECONSTRUCCIÓN COMPLETA.

No se pueden establecer fácilmente reglas generales para determinar la frecuencia apropiada de las reconstrucciones generales de las bombas. El tipo de servicio para el que se destina la bomba, su construcción general, el fluido manejado, los materiales empleados, el tiempo promedio de operación de la bomba, y la cuantificación de los costos de reconstrucción contra los posibles ahorros de fuerza por la renovación de los espacios libres, todos entran en la decisión de la frecuencia de las reparaciones generales. Algunas bombas en servicios serios pueden requerir una reconstrucción completa cada mes, mientras que otras aplicaciones sólo la requieren cada dos o cuatro años y a veces con menos frecuencia.

La mayoría de los especialistas consideran que una bomba centrífuga no necesita abrirse para inspeccionarla a menos que la evidencia circunstancial indique que es necesaria su reconstrucción.

EVIDENCIA DE HECHOS.

Algunos tipos de evidencia positiva son una decadencia en el funcionamiento de la bomba, ruido o temperatura excesiva de los cojinetes, sobrecarga del impulso o dificultades similares. La instrumentación apropiada es de

primordial importancia para la operación satisfactoria y larga vida del equipo de bombeo centrífugo.

Se debe establecer un programa para pruebas completas frecuentes de la unidad de bombeo, y los resultados de éstas pruebas se comparan con el funcionamiento de la bomba en su condición inicial. Esta comparación de funcionamiento, y no el transcurso de un periodo de tiempo, deberá ser la base para determinar si es o no suficiente el desgaste interno que ha ocurrido para que se requiera una reconstrucción completa. El hacer una prueba completa es menos costoso que abrir una bomba para inspección.

La vida promedio de una bomba centrífuga se determina por la magnitud del desgaste interno y el efecto de éste en el funcionamiento de la bomba. Dos causas distintas conducen al aumento de los espacios libres interiores, tales como:

1. La acción abrasiva del líquido que pasa por los anillos de desgaste y otros muchos espacios libres interiores.
2. Los contactos momentáneos pocos frecuentes que a veces ocurren durante la operación de la bomba.

EVIDENCIA CIRCUNSTANCIAL.

La evidencia circunstancial se refiere a los datos acumulados con anterioridad, ya sea con la bomba en cuestión o con equipo similar en servicio igual. Por ejemplo si un grupo de bombas de alimentación a calderas construidas con acero inoxidable con aleación de cromo ha trabajado continuamente durante ochenta mil horas sin la necesidad de una reconstrucción, una unidad duplicada no requerirá inspección antes de que haya operado ochenta mil horas.

Las bombas en servicios severos que han requerido reconstrucción en intervalos de tres meses pueden sustituirse por unidades mejor construidas o más fuertes. Sin embargo, hasta que el nuevo equipo se ha probado y se ha establecido un tipo nuevo de experiencia, la bomba deberá abrirse al final de tres meses para valorar el efecto de la nueva construcción.

EXCEPCIONES.

Las dificultades por corrosión no se pueden clasificar con algunos de los tipos de evidencia precedentes, no necesariamente serán obvias en las características de funcionamiento de la bomba obtenidas por medio de pruebas de

rutina. Si se permite que éstas dificultades continúen sin atenderse, pueden fácilmente conducir a la destrucción de la bomba, más allá de cualquier posibilidad de reparación. Sin embargo las dificultades por corrosión son previsibles. Por ejemplo una bomba que maneja productos químicos corrosivos que está construida con materiales ordinarios o de materiales que no se han probado en esa aplicación, pueden dañarse rápida y severamente.

Se debe mantener constantemente un almacén adecuado de partes para asegurar una pronta restauración de servicio en caso de una reconstrucción inesperada y para evitar cualquier demora en la obtención de partes esenciales de repuesto con el fabricante.

DESARMADO COMPLETO DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA.

Las bombas centrífugas deben desarmarse con mucho cuidado. Las válvulas de succión y descarga deberán estar cerradas y la cubierta de la bomba drenada. Todas las tuberías y partes necesarias que puedan interferir en el desarmado de la bomba deberán desmantelarse siguiendo las instrucciones del fabricante.

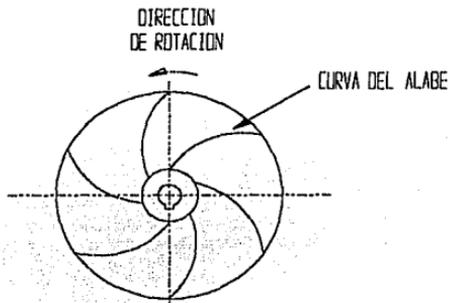
Durante el proceso de desmantelamiento, las partes removidas deben marcarse para asegurar que al volverse armar se haga correctamente. Todas las partes aisladas y todas las juntas importantes se deberán examinar cuidadosamente. Si la bomba ha estado operando satisfactoriamente con solo una reducción de carga debido al aumento de escurrimiento dependerá de:

1. Disponibilidad de partes de repuesto.
2. Periodo de tiempo que pueda estar fuera de servicio.
3. Consideraciones económicas e importancia de obtener el mayor servicio de la unidad sin reparación general.

Generalmente, las partes desgastadas se deberán renovar si no se va a examinar la bomba hasta el siguiente periodo de rutina.

COLOCACIÓN DEL ROTOR.

Los impulsores se tienen que volver a montar en la flecha de la bomba para que giren en la dirección correcta, siempre alejándose en la curvatura de sus alabes como se ve en la figura 4.3.1.



Dirección de la rotación del impulsor.

Figura 4.3.1

Se requiere un cuidado especial cuando se arman nuevamente los rotores de bombas de varios pasos con cubiertas axialmente divididas. Estas cubiertas están hechas de fundición y cuando se construye la bomba algunas veces es necesario permitir variaciones en las dimensiones longitudinales de la cubierta. Esto se hace ejecutando ajustes a los rotores con objeto de conservar los espacios libres diseñados y colocar cada uno de los impulsores en su posición correcta con respecto a sus difusores.

REMONTAJE DE BOMBAS.

Si la cubierta de la bomba está axialmente dividida, se debe tener mucho cuidado al reponer la mitad superior de la cubierta y al apretar los pernos de la bomba. Si se usa más de una hilera de pernos, la fila más cercana al eje central de la bomba se apretará primero. Después de que se han apretado todos los pernos una vez, deberán apretarse nuevamente para asegurar el hermetismo de la junta. Así también una vez más cuando la bomba sea llevada a su temperatura de trabajo.

PARTES DE REPUESTO Y REPARACIÓN.

El servicio para que el uso de una bomba centrífuga determinará en gran parte, el número mínimo de partes de repuesto que se deberán tener en existencia. El mínimo para cualquier bomba centrífuga deberá incluir un juego de anillos de desgaste, uno de los manguitos de flecha o una flecha y un juego de cojinetes. Con frecuencia es conveniente tener un rotor de repuesto para instalarlo en la bomba cuando el examen muestra que el rotor de la bomba se ha gastado excesivamente o dañado accidentalmente. Siempre deberá haber empaques de repuesto.

Las partes de repuesto deberán comprarse al mismo tiempo que se coloca la orden de compra de la unidad completa. Dependiendo del método supuesto de reparación de anillos de desgaste.

Siempre se debe dar el número de serie de la bomba y el tamaño marcados en la placa con el nombre del fabricante cuando se ordenan partes después de que se ha recibido la bomba en el campo, para que el fabricante pueda identificar la bomba y sustituir las partes para la reparación correcta.

Sin un número de identificación, el fabricante de la bomba no podrá surtir las partes correctas para la reparación.

REGISTRO DE INSPECCIÓN Y REPARACIONES.

El itinerario de trabajo de los programas de inspección anual o semestral deberá incluirse en tarjetas de mantenimiento, una para cada bomba de la instalación. Estas tarjetas deberán tener el número de identificación de la bomba, la fecha de la inspección programada, un registro completo de todas las piezas que requieran inspección separada y espacio para comentarios y observaciones del personal de inspección.

Estos registros podrán proporcionar la base de medidas preventivas que actuarán para reducir tanto la frecuencia como el costo del trabajo de mantenimiento.

Con frecuencia es recomendable tomar fotografías de partes muy gastadas antes de repararlas, las fotografías proporcionarán un registro más preciso y más gráfico del daño que una descripción.

Siempre deben conservarse registros completos de costos de mantenimiento y reparación para cada bomba por separado, junto con un registro de sus horas de operación. El estudio de éstos registros puede revelar si un cambio de materiales o de diseño es el plan más económico a seguir.

4.4 MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

La operación de una bomba centrífuga puede afectarse por dificultades hidráulicas o mecánicas. Las dificultades hidráulicas pueden hacer que una bomba falle hasta no descargar nada de agua o la bomba puede descargar una cantidad insuficiente, desarrollar presión insuficiente, perder su cebado después de arrancar, o consumir mucha energía. Los problemas mecánicos aparecen en los estoperos y cojinetes, produciendo ruido o sobrecalentamiento de la bomba.

Estos problemas, están relacionados entre sí, por ejemplo; un aumento de desgaste en los espacios libres móviles se debe clasificar como una dificultad mecánica, pero dará por resultado una disminución de la capacidad neta de la bomba, que es un síntoma hidráulico

RUIDO EN LA BOMBA.

El ruido de la bomba, con frecuencia, le da a un hombre de mantenimiento experimentado una indicación definida de las causas de la falla. Si una bomba produce un ruido de crepitación, el motivo de la falla probablemente se encuentra en la succión de la bomba. Este ruido generalmente se asocia con la cavitación. Algo de líquidos se transforma en vapor, y las burbujas de vapor son acarreadas con el líquido, si esto sucede en el área de succión de una bomba centrífuga o en la entrada del impulsor, las burbujas sufren un aumento de presión, y por lo tanto se condensan. La cavitación, por lo tanto es un resultado directo de presión insuficiente en la succión de la bomba.

Este diagnóstico puede verificarse, por ejemplo, estrangulando la descarga de la bomba se reducirá la capacidad de la bomba y posiblemente se restablezca la operación de ella a un rango en el que se cuente con suficiente NPSH en la succión de la bomba.

Si este paso elimina el ruido, el diagnóstico es correcto, y las medidas correctivas permitirán aumentar la NPSH para las condiciones normales, o reponer el impulsor resistente con uno que pueda operar con las condiciones existentes.

Un ruido de resonancia sordo y prolongado en los conductos de descarga de la cubierta, generalmente es debido a la operación de la bomba con capacidad menor cuando la bomba no es apropiada para esa operación, o por operar la bomba con capacidades excesivas.

El golpe de ariete es causado por un cambio repentino de la velocidad del flujo de la columna del líquido, es serio sólo cuando intervienen líneas largas de tubería. El golpe de ariete puede evitarse arrancando una bomba contra una válvula de compuerta cerrada y abriéndola lentamente. Durante el ciclo de parada es necesario cerrar lentamente la válvula de compuerta y parar la bomba después de que se ha cerrado la válvula totalmente.

ENTRADA DE AIRE A UNA BOMBA

Si una bomba opera con una elevación de succión, algunas veces el aire entrará a la bomba por los estoperos, el aire puede entrar también abajo de los manguitos de la flecha. Algunas veces la propia tubería de succión no es totalmente hermética y entra aire para acumularse en la parte superior de la cubierta; otras veces, el agua que maneja la bomba está saturada con aire y éste puede desprenderse de la bomba.

Si entra aire a los conductos de succión y pasa por la bomba, hay una reducción en la cantidad de agua manejada de la fuerza requerida. Si la cantidad de aire que se permite entrar del lado de la succión aumenta, se alcanza un punto en el cual la bomba ya no puede arrastrar agua, y la bomba perderá su cebado.

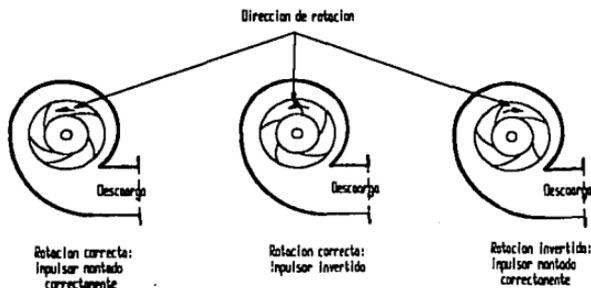
La presencia de aire generalmente disminuye la eficiencia de la bomba y puede acelerar la corrosión. Además, la presencia de aire en el agua bombeada es indeseable. El hecho de que una mínima cantidad de aire que entra a la línea de succión, ciertas bombas ruidosas se debería utilizar como una prueba para saber si la causa del ruido se encuentra en la succión o en la descarga, pero la admisión del aire no debe usarse como remedio.

DIFICULTADES EN EL SISTEMA.

Algunas dificultades son relativamente fáciles de corregir. Por ejemplo, si las terminales del motor están conectadas incorrectamente, la bomba girará en dirección contraria. Tan pronto como se diagnostica esta condición se pueden cambiar las terminales del motor invirtiéndolas y queda lista la instalación para operación correcta. El motor de una bomba que se instala por primera vez debería probarse y ver cuál es su correcta rotación antes de conectarse

En la figura 4.4.1 se ve la dirección correcta del giro, y un impulsor colocado correctamente. En la figura 4.4.2 se observa una bomba con rotación correcta pero con el impulsor invertido y en la figura 4.4.3 muestra una bomba con rotación

invertida y el impulsor montado correctamente. La pérdida de carga y capacidad y el aumento del consumo de energía cuando el impulsor está montado al revés es mucho menos severo que con un impulsor montado correctamente operando en sentido contrario



Montaje y rotación de una bomba

Figura 4.4.1

COJINETES.

Las dificultades con los cojinetes ocurren en la instalación de bombas centrífugas muy frecuentemente. La siguiente lista de causas deberá analizarse cuidadosamente si la reposición de los cojinetes se convierte en un problema consistente:

1. Carga excesiva radial o de empuje causada por alguna falla mecánica dentro de la bomba.
2. Exceso de grasa o aceite en la pista de un balero antifricción. Este defecto puede causar sobrecalentamiento y falla del balero.
3. Calentamiento excesivo del cojinete debido a disipación inadecuada del calor o una falla del sistema enfriador.

4. Falla de lubricación.
5. Mugre o materia extraña en el lubricante.
6. Instalación defectuosa de los baleros antifricción, daño que pudo ser causado durante el montaje.
7. Oxidación de los baleros debido a agua en la caja de baleros.
8. Enfriamiento excesivo de los cojinetes enfriados con agua, dando por resultado condensación de la humedad atmosférica en la caja de los baleros.
9. Desalineamiento de la unidad, flecha doblada o vibración severa que imponen cargas excesivas en los cojinetes.

Deberá hacerse notar que la mayoría de los fabricantes publican excelentes tratados sobre su equipo, proporcionan muestras fotográficas de los distintos tipos de fallas, permitiendo así analizar su propio problema, diagnostican sus dificultades y su reparación.

DESALINEAMIENTO Y DAÑOS A LAS PARTES INTERIORES.

Nunca deberá permitirse que se presenten dificultades por desalineamiento. No hay absolutamente ninguna excusa para no seguir correctamente las instrucciones dadas por el fabricante. Además de los efectos obvios en los cojinetes, un desalineamiento serio con frecuencia interfiere con el buen funcionamiento de los estoperos y provocando la falla de la flecha por fatiga.

Raras veces, una bomba puede tener dificultades mecánicas en su arranque inicial debido a rozamiento de las partes giratorias, una flecha doblada, partes internas dañadas, un rotor desbalanceado o causas similares. La mayoría de estos defectos deberán descubrirse antes del embarque, durante la prueba del fabricante, sin embargo, pueden presentarse estos problemas en campo después de que una bomba se desarma y se vuelve a armar.

La primera en la lista de las dificultades que pueden ocurrir al volver a armar los rotores en el campo, es el contacto entre las partes giratorias y estacionarias del rotor. Se deben tomar precauciones para eliminar las posibilidades de que ese contacto ocurra.

Otros procedimientos que pueden causar que se pegue un rotor en sus espacios libres interiores, son el arrancar una bomba que maneja líquidos a alta temperatura antes de calentarla y correrla a una velocidad reducida, aproximadamente la mitad o la cuarta parte de lo normal.

La bomba puede pegarse porque si cualquiera de sus partes interiores roza ligeramente, se genera calor y si la bomba no ha llegado a su velocidad, no hay suficiente líquido que fluya por los espacios libres para enfriar los elementos que se ponen en contacto.

MATERIA EXTRAÑA EN LA BOMBA.

La presencia de materia extraña en el impulsor o la cubierta de una bomba centrífuga puede conducir a dificultades serias y deberá evitarse cuidadosamente. siempre deberán colocarse coladeras en la línea de succión si se espera que haya materia extraña en el líquido manejado por la bomba. Aún en operación normal sin probabilidad de que haya materia extraña, es posible que gotas de soldadura, pernos, tuercas y otros objetos puedan entrar a la succión de la bomba, después de que la bomba ha estado en operación correcta durante algún tiempo pueden retirarse las protecciones.

CORROSIÓN.

Entre las dificultades más dañinas y más costosas que pueden afectar a las bombas centrífugas está la falla de los materiales que se usan en la construcción de la bomba para resistir las propiedades corrosivas o abrasivas de los líquidos manejados. Para solucionar este problema se deberá tomar en cuenta, que la tendencia actual en la selección de materiales es ser conservador, es decir escoger materiales más resistentes de lo necesario a la corrosión, para evitar costosas fallas y la interrupción del servicio.

CAPITULO V

APLICACIONES

5.1 MÉTODO PARA EXTRAER EL AGUA DEL NIVEL FREÁTICO.

Cuando las cimentaciones de edificios requieren excavaciones para la construcción de cajones por debajo del nivel freático en la zona del lago de la Ciudad de México, se recurre a la implementación de sistemas de bombeo constituidos por pozos perforados en 25 cm. de diámetro, además cuentan con tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y ranurados para permitir la filtración del agua hacia adentro del tubo, pero forrados de malla de mosquitero para evitar que se pase el lodo, y por último puntas tipo eyector para la extracción del agua.

Para el funcionamiento del sistema lo recomendable es poner una punta eyectora cada 50 m², estas puntas se conectan entre sí formando una red de bombeo que es gobernada por una bomba centrífuga, ésta toma agua de un cárcamo y la manda al sistema, en donde llega a la puntas eyectoras provocando un vacío que hace absorber el agua del subsuelo.

DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO.

Para determinar la profundidad del abatimiento adecuado se considera la siguiente ecuación:

$$Z_0 > \frac{l}{\gamma} (\sigma_d - \gamma D_2) + (D_1 - D_{wt})$$

donde:

Z_0 : Profundidad de abatimiento del nivel del agua.

σ_d : Esfuerzo efectivo vertical correspondiente a la elevación de la losa de cimentación. Este dato se obtiene de los planos estructurales de cada proyecto en ton/m^2 .

γ : Peso volumétrico del material excavado. También depende de cada proyecto.

D_1 : Espesor de suelo excavado en la primera etapa.

D_2 : Espesor de suelo excavado en la segunda etapa.

D_{wt} : Profundidad de nivel freático.

Si suponemos que para una obra el esfuerzo efectivo vertical de la losa de cimentación es $\sigma_d = 4.84 \text{ ton/m}^2$; el peso volumétrico excavado es $\gamma = 1.42 \text{ ton/m}^3$; en la primera etapa se excavan $D_1 = 3.6 \text{ m}$; y en la segunda $D_2 = 0.8 \text{ m}$; el nivel freático se encuentra en $D_{wt} = 2.5 \text{ m}$. Se obtiene que la profundidad de abatimiento de nivel freático debe ser de $Z_0 = 4.8 \text{ m}$, que representa el abatimiento requerido para que la presión efectiva al nivel de desplante resulte similar o ligeramente mayor que la presión efectiva inicial.

Por lo tanto se define que la profundidad de abatimiento mínima es dada por $Z = D_1 + D_2 + Z_0$; y haciendo la operación se obtiene que $Z = 9.2 \text{ m}$ bajo el nivel del terreno natural, abatiendo el nivel freático aproximadamente 6m respecto a su posición inicial

Para el espaciamiento de los pozos, se toma en cuenta la experiencia de las compañías que realizan estos trabajos, y recomiendan un pozo de bombeo cada 50 m^2 .

Para saber a qué profundidad se dejan las bombas eectoras se recurre a una tabla que tienen las compañías, que depende del tipo de terreno y del abatimiento del nivel freático, y para este caso se recomienda dejarlas a 13m del terreno natural.

INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.

Perforación de pozos. Las perforaciones de pozos de 25 cm de diámetro para los pozos de bombeo se llevan a cabo con máquina rotatoria, equipada con una broca del tipo de aletas, inyectando agua como fluido de perforación; esta metodología permite evitar el remoldeo en las paredes del pozo.

Una vez alcanzada la profundidad especificada, se lava el pozo, hasta comprobar que el agua de retorno sale limpia, libre de lodo y arena.

Instalación de bombas eyectoras. En la perforación terminada y lavada, se coloca un tubo de PVC de 10 cm de diámetro interior, con ranuras de 1 cm espaciadas 190 mm entre sí; el tubo se ranura únicamente, en sus 6 m inferiores.

El espacio entre el tubo y la pared del pozo se rellena con gravilla de tamaños variables entre 5 y 10 mm en toda la longitud del pozo.

Dentro del tubo se instalan las puntas de eyector a una elevación de 0.50 m sobre el fondo de la perforación, sobre una cama de material filtrante.

Por cada 10 pozos eyectores aproximadamente, se instala en la superficie una bomba centrífuga con motor eléctrico de 10 HP, con una línea alimentadora y otra de descarga, formada por tuberías de fierro de 3 pulgadas de diámetro.

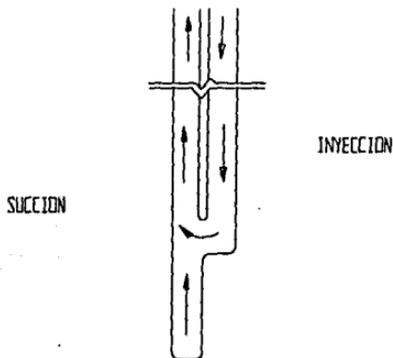


Figura 1 Pozo Para Puntas o Bombas Eyectoras.

Para llevar un control de los abatimientos logrados con el bombeo durante las diferentes etapas de la excavación y construcción de la cimentación, se instalan

tubos de observación del nivel del agua, piezómetros abiertos en los estratos permeables y piezómetros neumáticos en estratos arcillosos

Las bombas eyectoras tienen dentro de ellas una tubería de inyección de 1/2 pulgada y una de retorno de 3/4 de pulgada. En la de inyección va el agua que es mandada por la bomba centrífuga que al llegar a la bomba eyectora produce un vacío dentro de ella y succiona el agua del nivel freático que es llevada hasta el cárcamo que abastece a la bomba centrífuga, el excedente de agua es desechado, y así es como se abate el nivel freático en el subsuelo.

5.2 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

En construcción se usan generalmente bombas portátiles accionadas por motores de combustión interna ya que en el lugar de la construcción muchas veces se carece de energía eléctrica suficiente.

Las principales aplicaciones son:

- Bombeo de concreto.
- Suministro de agua.
- Extracción de agua.
- Drenaje.

Podríamos considerar aquí las bombas usadas en fuentes y obras de ornato en donde se usan bombas centrífugas de cargas medianas y altas , así como, bombas regenerativas para gastos muy reducidos y presiones elevadas.

En la construcción de túneles se usan bombas neumáticas de diafragma, para desalojar el agua. En perforación de pozos se emplean bombas adecuadas para manejar lodos, y para inyectar agua que sirve para limpiar el pozo.

En el caso del centro de la ciudad de México, la cual está asentada sobre agua, y el nivel frático se encuentra a 70 cms por debajo del nivel de banqueta en promedio, es necesario extraer el agua cuando se hace una cimentación profunda para algún edificio o cuando se hacen obras subterráneas.

Por ejemplo: fue necesario extraer agua del subsuelo en la construcción del estacionamiento del Palacio de Bellas Artes, a su vez esto ayudará a detener el hundimiento de este edificio, ya que como se ha reforzado su cimentación y eliminado el agua que tenía debajo, el edificio se hundirá en menor proporción.

Otro ejemplo es la construcción del metro, el cual, en la ciudad de México generalmente es subterráneo, y el nivel frático es necesario abatirlo entre 5 y 10 metros dependiendo del resultado del estudio de mecánica de suelos y de las dimensiones de los túneles. En el caso de una cimentación profunda y también del metro, el nivel frático se hace descender 70 u 80 centímetros más de lo que será la parte mas profunda de la construcción.

Para estos trabajos, es necesario utilizar bombas centrífugas comunes y corrientes, cuya capacidad dependerá de todos los datos que hemos mencionado en este trabajo. No es necesario que sea una bomba especial, porque únicamente manejará agua a pesar de que lo existente en el subsuelo es lodo.

El sistema funciona de la siguiente manera:

Es un sistema cerrado en el cual se coloca un cárcamo lleno de agua, el cual estará en contacto con la bomba centrífuga, que suministrará el líquido al sistema, y cuando dicho fluido llega al fondo del pozo, encuentra a una mini bomba que funciona por medio de diferencia de presión, en la cual, cuando pasa el agua se crea un vacío y succiona el líquido que se encuentra en el subsuelo, entonces el agua regresa al cárcamo, pero acompañada por el agua que se está extrayendo. En el cárcamo se coloca una salida en la parte superior por donde sale el agua excedente de éste, y únicamente queda la suficiente para que el sistema siga trabajando.

Una vez que se ha llevado al agua al nivel deseado, el sistema deja de trabajar al cien por ciento, se cierran válvulas y otras se dejan abiertas, dependiendo de las necesidades que indiquen las curvas de nivel obtenidas por las lecturas que se hacen cada ocho horas.

Para realizar éstas lecturas es necesario hacer otros cinco pozos de observación en el caso de un terreno cerrado, los cuales se colocan de manera que formen una " X " ; en el caso del metro se deben colocar cuantos pozos sean necesarios en forma diagonal, ya que el terreno es poco ancho y muy largo.

Para solucionar el problema del hundimiento en la Catedral de la ciudad de México, se ha implementado un sistema similar que controla el nivel del agua que hay debajo de ella, pero en este lugar el sistema es permanente, ya que no cuenta con " Ataguías " o muro " Milán ", que impidan el acceso del agua a la zona que se quiere controlar.

5.3 AIRE ACONDICIONADO, CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN.

AIRE ACONDICIONADO.

A medida de que los individuos logran satisfacer sus necesidades elementales, tratan de contar con ciertas comodidades, el aire acondicionado es una de ellas y es muy popular en lugares en donde la variación del clima es muy grande, o en lugares donde se congrega mucha gente como en los restaurantes, hoteles, cines, etc.

Se encuentran comúnmente cuatro servicios en instalaciones de aire acondicionado para edificios industriales y comerciales. Estos son:

- 1) Suministro de agua.
- 2) Circulación para el lavado de aire.
- 3) Agua enfriada.
- 4) Bombas de agua condensada.

En el acondicionamiento de aire el único requisito del sistema es que el agua sea fría, las bombas centrífugas con aditamentos de bronce son muy comunes, y son muy poco usadas las bombas rotatorias y las reciprocantes.

Para el lavado de aire se usan las bombas centrífugas de un solo paso de succión en el extremo, montada sobre pedestal, horizontales y verticales, de tamaño pequeño y mediano. El líquido que circula es una mezcla de agua enfriada y recirculada, y la cantidad se controla con una válvula de tres vías, en la línea de succión de la bomba, como está libre de sólidos y relativamente no es corrosiva, el agua se puede manejar fácilmente por bombas normales con aditamentos de bronce. En invierno se usan las mismas bombas, pero en lugar de agua fría se usa agua tibia.

Las bombas de agua enfriada circulan el agua del enfriador a las bobinas de enfriamiento de la unidad de aire acondicionado. Las bombas seleccionadas para este servicio son del mismo tipo general de las que se usan para circulación del lavado de aire excepto que la columna y la capacidad deben ser mayores.

Las bombas de agua condensada circulan el agua del suministro normal de la ciudad al condensador que sirve a la unidad de refrigeración que se usa en conjunto con el sistema de aire acondicionado. Para este servicio sirven la misma clase de bombas que para el aire lavado. Sin embargo, la columna y capacidad requeridas pueden ser mayores que para el servicio del lavado de aire. La columna que puede desarrollar incluye las pérdidas del condensador, torre de enfriamiento, accesorios, tubería y cualquier elevación estática.

CALEFACCIÓN.

Los sistemas de calefacción de edificios requieren bombas de circulación de agua caliente, y en algunos casos, unidades para el retorno de condensados. Para ello se usan bombas centrífugas pequeñas.

Actualmente se observa la tendencia a diseñar sistemas con temperaturas que varían de 250° F a 400° F a la salida de la caldera. El sistema consiste de una caldera, un tambor de expansión, un sistema de bombeo y el sistema para aprovechar el calor.

Se usan comúnmente dos tipos de bombas en sistemas de calefacción de edificios: Bombas de circulación de agua caliente y bombas de retorno de condensado. El primer tipo es invariablemente una bomba centrífuga con aditamentos de bronce y sello mecánico para reducir al mínimo el mantenimiento. Las bombas de retorno de condensado deben usarse siempre que la columna de gravedad no pueda regresar el agua a la caldera y se usan bombas rotatorias.

REFRIGERACIÓN.

Los fluidos que se manejan para refrigeración son agua, freones, amoníaco, etano y propano entre otros. El manejo de los mismos requiere construcciones especiales.

Las bombas que manejan refrigerantes deben tener una columna de succión por lo menos de 2.4 metros del líquido. La tubería de succión debe diseñarse de manera que haya poca posibilidad de acumulación de vapor. Los sellos mecánicos se usan frecuentemente en lugar de empaques. Las bombas de tipo centrífuga son las más empleadas para éste uso.

Para temperaturas extremadamente bajas, el sello mecánico usado debe ser de materiales especiales para evitar que se vuelva quebradizo a bajas temperaturas.

5.4 BOMBEO DE GAS.

El llamado " gas natural " es una mezcla de hidrocarburos gaseosos, principalmente metano, etano, propano y butano de la serie parafínica.

Es el mejor combustible que se tiene en la actualidad, ya que por sus múltiples cualidades, tales como gran eficiencia calorífica, limpieza en el manejo y bajo costo, es insustituible para calderas, quemadores, motores de combustión interna, etc. debido a que su consumo ha aumentado tremendamente, se necesita bombearlo a través de grandes distancias. Desde los pozos el gas llega por bombeo a las plantas de absorción en donde es tratado a fin de separar impurezas tales como el ácido sulfhídrico, bióxido de carbono y sustancias condensables, obteniéndose así el gas seco. De estas plantas es necesario bombearlo hasta los centros de consumo a través de largos gasoductos.

Para el bombeo del gas se emplean nueve estaciones de bombeo que constan de dos motocompresoras cada una de 3300 HP. Por último la estación número diez , en Venta de Carpio consta de dos máquinas de 1530 HP que bombean el gas a Salamanca situada a más de 300 Kms. La presión media a la llegada en Salamanca es de 28 kg./cm².

Pasando al ámbito mundial, las instalaciones en los países petroleros de Asia y América son gigantescos. Recordemos que el gas natural es una de las fuentes más importantes de:

- Gasolinas naturales.
- Gas licuado (compuesto de propano y butano).
- Etano (materia básica de productos petroquímicos).
- Helio (el 90 % de la producción de éste elemento proviene de los E.U.).
- Metano (combustible excelente, superior en muchos aspectos al gas licuado y a la gasolina, y materia prima de la petroquímica para la producción de negro de humo, amoníaco, acetileno, etileno, metanol, hule sintético, fertilizantes, bióxido de carbono y una gran variedad de otros productos).

5.5 INDUSTRIA SIDERÚRGICA Y MINERA.

INDUSTRIA SIDERÚRGICA.

Las principales aplicaciones dentro de la industria siderúrgica son: enfriamiento de molinos, enfriamiento de hornos, servicio de suministro de agua, eliminación de escoria en los lingotes, etc.

En general las unidades son bastante grandes, con gastos superiores a 12,000 galones sobre minuto. Pueden ser horizontales o verticales y de uno o varios paso. Las plantas siderúrgicas siempre deben estar cerca de algún suministro de agua superficial o subterráneo.

El proceso de eliminación de escoria mediante el impacto de un chorro de agua, requiere de bombas con presiones superiores a las 1800 lb/in² las cuales pueden descargar directamente o a través de una cámara de compensación.

Debido a que la industria siderúrgica tiene procesos continuos, se requieren más bombas duraderas, lo cual obliga al fabricante a usar materiales de alta resistencia.

MINERA.

Las bombas que se usan en ésta actividad manejan especialmente líquidos con sólidos en suspensión. Las aplicaciones en minería de carbón incluye eliminación de agua, alimentación de filtros, manejo de productos pesados, manejo de lodos, flujo de pesadores, eliminación de desperdicios, lavado de carbón, etc. Se utilizan bombas reciprocantes, pero las más usadas son las bombas centrífugas.

En los diferentes procesos de la minería, tanto de materiales metálicos como no metálicos, las bombas se usan en las fases del proceso de beneficio, alimentación de calcificadores, alimentación de filtros, eliminación y recuperación de productos, transferencia de precipitados, manejo de productos pesados, etc.

En canteras se usan bombas para manejar lodos de cemento, mezclas corrosiva, lodos de cal, drenaje, transferencia de lodos y desperdicios, etc.

Otras de las aplicaciones más importantes es el desagüe de minas. Estas unidades de bombeo tiene que desarrollar cargas muy elevadas y deben ser resistentes los materiales abrasivos y corrosivos, por lo cual en muchos casos tienen

que fabricarse de acero inoxidable. Deben ser bombas de fácil ensamble porque a menudo el acceso a ellas es difícil.

También son importantes para la aplicación del desagüe constante de los túneles de las minas, para que éstas no se vayan a inundar debido a los escurrimientos que tienen.

5.6 INDUSTRIA ALIMENTICIA Y LABORATORIOS.

INDUSTRIA ALIMENTICIA

Generalmente las bombas para el manejo de alimentos o bombas sanitarias como también se les conoce, deben tener características especiales que no son necesarias en otro tipo de servicio. Para ésta aplicación específica, las bombas sanitarias deben tener las siguientes características:

- a) Gran resistencia a la corrosión.
- b) No deben producir espuma o triturar los alimentos.
- c) Deben ser fáciles de limpiar interiormente.
- d) Poseer un sistema de lubricación totalmente hermético.
- e) Tener el menor número de partes que se desgasten durante su funcionamiento.
- f) Sus empaques deben estar totalmente sellados del lado interior de la carcaza.
- g) Las superficies interiores de las carcazas deben ser tersas y sin esquinas.

Las bombas generalmente están hechas de acero inoxidable, aluminio, hierro, porcelana u otras aleaciones especiales, las tuberías y accesorios son de acero inoxidable, aleaciones de níquel, hule duro o plástico

Además de resistir el ataque químico del alimento, los materiales de construcción deben resistir los detergentes, jabones y productos germicidas que se emplean en el lavado de la bomba el cuál, en algunos procesos, es bastante frecuente.

Dichas bombas suelen ser centrífugas y se fabrican en una gran variedad de tipos, según el fluido manejado.

Para evitar que las aletas del impulsor dañen la apariencia de los alimentos, las rotatorias o reciprocantes de ésta clase tienen impulsores con solo una o dos de ellas y, a menudo, se fabrican con el impulsor sin aletas. Estas últimas pueden manejar suavemente y sin maltratar los alimentos tales como las manzanas, naranjas, fresas, maíz, ostiones, camarones, huevo, aceitunas, jugos de frutas, etc.

Para alimentos que contienen pocos sólidos tales como el jugo de caña, purés, aceites vegetales se usan rotatorias o reciprocantes centrífugas normales, aunque de materiales que no los contaminen.

En el caso de bombeo de leche, todas las partes de la bomba en contacto con el líquido deben ser de acero inoxidable.

Cuando se trata del bombeo de líquidos en el cual no debe haber ningún contacto con metales, se utilizan bombas de tubo flexible, en donde el tubo es de hule sintético.

LABORATORIOS.

La industria farmacéutica, es una de las que tiene los más altos índices de crecimiento. Para sus procesos utiliza gran variedad de bombas que incluyen bombas de vacío, compresoras, bombas para sustancias químicas, agua tratada, vapores, gases, licuados, etc.

Las características propias de dichas bombas son la protección absoluta contra la contaminación y la posibilidad de dosificar con la mayor precisión posible la cantidad exacta de sustancias que se requieren.

5.7 INDUSTRIA EMBOTELLADORA DE REFRESCOS Y CERVECERA.

EMBOTELLADORA DE REFRESCOS.

La industria de las bebidas gaseosas refrescantes tienen un mercado que abarca millones de consumidores. Dado que maneja esencialmente líquidos requiere gran cantidad de bombas de diversos tipos. Los principales sistemas de una planta embotelladora son:

- * Sistema de tratamiento de agua para potabilizarla.
- * Sistema de fabricación de jarabes.
- * Sistema de lavado de botellas.
- * Sistema de llenado.

INDUSTRIA CERVECERA.

La materia prima que consiste en arroz y malta de cebada se almacena en silos, de donde pasa a un cocedor y macerador, a los cuales se les agrega agua fría y en el caso del macerador, también agua caliente. Posteriormente se bombea hasta una olla de cocimiento donde se le agrega el lúpulo, que le da el sabor amargo a la cerveza.

Una vez cocida la levadura se bombea hasta un filtro, después pasa a un tanque de almacenamiento. De éste tanque es bombeado hacia un enfriador que tiene una temperatura menor de 0°.

La levadura se envía de los laboratorios y se deposita en un tanque de fermentación primaria a donde también es conducido el mosto del enfriador.

Estos tanques de fermentación también son enfriados a temperaturas menores de 0°, posteriormente el mosto se bombea a un segundo tanque de fermentación donde permanece en reposo durante 30 días. Después pasa a otro tanque de fermentación donde se le somete a presión y enfría a una temperatura menor de 0°. A continuación el líquido se bombea de este tanque a un filtro para quitar impurezas, después se le conduce a los tanques de control y posteriormente a los tanques de pasteurización.

Para la operación de llenado, primero se lava el bote o barril, después se llenan los barriles y las botellas con la cerveza pasteurizada

5.8 INDUSTRIA PAPELERA Y TEXTIL.

INDUSTRIA PAPELERA

El papel se fabrica a partir de la celulosa obtenida de diferentes tipos de madera, caña de azúcar, trapo, desperdicios de papel, etc.

Existen fabricantes de pulpa de papel, papel y otros que laboran ambos productos. La manufactura de la pulpa consiste en separar fibras de celulosa y transformarlas en una pasta adecuada para la manufactura de papel, cartón, rayón, y gran variedad de otros productos.

La pulpa se elabora, ya sea a base de procesos mecánicos o a base de cocimiento con sustancias químicas. La pulpa puede ser alcalina, es decir al sulfato; o ácida, que es al sulfito, según el proceso químico usado.

Una fábrica de pulpa utiliza bombas que manejan líquidos tales como agua, ácidos, sosas, y productos químicos. Las bombas manejan pastas cuya consistencia varía de 1 a 6% en peso; y tienen impulsores del tipo inatascable con el menor número posible de aspas, generalmente son dos. En algunos casos se necesita una bomba auxiliar especial o un alimentador tipo tornillo que ayuda a la pulpa de alta consistencia a entrar a la bomba.

A la salida de los refinadores se requiere otra bomba para enviar la pasta para los limpiadores y al depurador, donde finalmente se le bombea a la máquina confeccionadora de papel.

INDUSTRIA TEXTIL.

Las bombas de fábricas textiles manejan colorantes, agua, sulfuros de carbono, ácidos, sosa comercial, sosa cáustica, solventes, decolorantes, alcoholes, sales, peróxido de hidrógeno y butano.

Se usan muchas bombas de medición y dosificación en las aplicaciones textiles para manejar las soluciones de decolorantes, control de pH del agua de lavado de las fibras sintéticas, control de color en los teñidos, carbonización de la lana, etc.

5.9 INDUSTRIA QUÍMICA.

La industria química es la que presenta problemas de bombeo más complejos y la que requiere bombas para manejar sustancias de diferente naturaleza.

Las materias primas en estado líquido generalmente son abastecidas en carros tanque. Dichos líquidos tienen distinta composición química, corrosividad, consistencia, viscosidad, por lo cual se requiere usar diferentes tipos de bombas.

Las bombas centrífugas se usan en las plantas químicas para manejar aproximadamente el 90% de los líquidos corrosivos. La razón de esto, es la ventaja que presentan las bombas centrífugas de trabajar con holguras más amplias, lo cual es una ventaja cuando se usan aleaciones inoxidables.

Los principales materiales usados en las bombas para la industria química son: acero inoxidable, vidrio, plástico, grafito, acero, bronce, fierro, hule duro, porcelana y una gran variedad de otros materiales resistentes a la corrosión y a la abrasión.

Los líquidos que manejan, abarcan ácidos, bases, sales, acetatos, hidrocarburos, cloruros, almidones, aceites, etcétera.

Las bombas para la industria química se construyen en varios diseños especiales. En cuanto al problema de las fugas en los estoperos, éste se resuelve con bombas provistas de sellos mecánicos de materiales especiales para resistir la abrasión y la corrosión.

También se han diseñado bombas de las llamadas "Cero Fugas" que son de movimiento magnético. El extremo motriz y el lado en contacto con el líquido están separados por un diafragma no magnético y el líquido bombeado sirve como lubricante de la bomba. Este diseño es especialmente adecuado para líquidos peligrosos, tóxicos, odoríferos, extremadamente calientes o fríos o altamente corrosivos.

También se usan bombas con motores de cierre hermético similares a las empleadas en las plantas nucleares.

En lo que se refiere al problema que presentan los líquidos muy abrasivos, se ha recurrido a recubrimientos de sustancias sintéticas que pueden ser remplazadas periódicamente, sin que afecte el material básico de la carcasa.

Existen diseños especiales para bombear metales fundidos y para manejar sustancias con sólidos en suspensión tales como pulpas químicas, residuos de zinc, bauxita, etc.

5.10 PLANTAS TERMOELÉCTRICAS.

Los elementos básicos de una planta termoeléctrica son la caldera y el grupo turbogenerador. En la caldera se efectúa la transferencia de energía del combustible al vapor de agua. En la turbina de vapor, se efectúa la transformación de la energía del vapor en energía mecánica, que a su vez, será transformada por el generador en energía eléctrica.

A fin de mejorar el ciclo básico, se conecta un condensador en la descarga de la turbina, incrementando la caída de presión en esta última, con lo cual se logra mayor transferencia de energía. El condensador, además, recupera una gran parte del agua, ya condensada, que se había suministrado a la caldera.

El ciclo de alimentación de agua a la caldera y de condensado requiere un mínimo de tres bombas: *la bomba de condensado* que envía el agua desde el condensador hasta los calentadores, *la bomba de alimentación* de agua a la caldera, y *la bomba de circulación* que impulsa el agua fría a través de los tubos del condensador, con lo cual se logra condensar el vapor.

Las principales bombas de una planta termoeléctrica son:

- * Bombas de agua de alimentación
- * Bombas de aceite para los multiplicadores o reductores de engranes.
- * Bombas de aceite combustible.
- * Bombas de condensado.
- * Bombas de inducción de fosfatos.
- * Bombas de agua ácida a las plantas desmineralizadas.
- * Bombas para agua de servicios generales.
- * Bomba para mezcla de cloro.
- * Bombas de aceite lubricante.
- * Bombas de aceite sellado.
- * Bombas de extracción de condensado.
- * Bombas de vacío.

5.11 SERVICIOS PARA LA MARINA Y EN LA ENERGÍA NUCLEAR.

SERVICIOS PARA LA MARINA.

Los servicios de bombas son de suma importancia en los barcos tanto mercantes, militares o de pasajeros. Las bombas centrífugas se usan para servicios auxiliares de condensador, drenajes atmosféricos, balastos, desperdicios, alimentación de calderas, salmueras, cargamento, circulación, condensado, control de daños, destilados, agua potable, elevadores, enfriamiento de máquinas evaporadoras, protección de incendio, lavado, agua fresca, gasolina, servicios generales, enfriamiento de artillería, drenaje de calentadores, circulación de agua caliente, agua helada y agua de limpieza.

Las bombas rotatorias se usan para enfriamiento de máquinas, cargamentos, descarga de crudos, servicio de elevadores, mecanismo del timón, servicio y transferencia de combustibles y gasolina, circulación de aceites lubricantes, etc.

Las bombas reciprocantes se usan en servicios marítimos debido a su sencillez y confiabilidad, ya que las condiciones de operación, y mantenimiento en alta mar y la disponibilidad de repuestos no son iguales a los servicios en tierra. Se usan para bombeo de aire, para alimentación de calderas, sistemas contra incendio, pruebas hidráulicas, bombas de vacío, etc. Las bombas reciprocantes accionadas por vapor se siguen usando como unidades en reserva, mientras que las principales tienen motores eléctricos.

La construcción de modernos barcos impulsados por energía nuclear y por turbinas de gas, obligaron a los fabricantes de bombas a ajustar sus diseños a estas necesidades.

APLICACIONES EN ENERGÍA NUCLEAR.

La característica principal de las bombas usadas en plantas nucleares es la máxima reducción de fugas, para evitar cualquier posibilidad de contaminación con material radioactivo. La segunda característica es la confiabilidad del equipo.

Los líquidos que se manejan son agua pesada, agua radioactiva, sodio líquido, lodos radiactivos y bismuto líquido.

Para cumplir los requisitos de servicio de las plantas de energía nuclear, se han diseñado los siguientes tipos de bombas:

- * Bomba con motor de cierre hermético.
- * Bomba de motor sumergido.
- * Bomba con motor en atmósfera de gas.
- * Bomba con motor en aceite.
- * Bomba con fuga controlada.
- * Bomba electromagnética.
- * Bomba de diafragma especial.

El continuo aumento de plantas nucleares para la generación de energía eléctrica requiere que se construyan más y mayores bombas, diseños nuevos que permitan reducir el costo total de este tipo de centrales.

En la bomba de motor sumergido el líquido bombeado rodea los baleros de la flecha y el rotor del motor, por lo que se requiere aislamiento a prueba de agua en el motor.

En la bomba con motor en atmósfera de gas, el líquido bombeado no puede entrar al motor. Un gas inerte, que puede ser nitrógeno o helio, rodea completamente el rotor y el estator. Se usan baleros lubricados con grasa en el motor.

Las bombas de fugas controladas usan un sello mecánico para mantener las fugas en la flecha en un mínimo. Este tipo de bomba puede usar un motor normal o moverse por turbina o máquina de combustión interna, dando una eficiencia de operación mayor.

Las bombas electromagnéticas no tienen partes móviles, lo que significa que se eliminan los sellos de todos los tipos. Como resultado, no hay peligro de fugas en la flecha. Pero solamente los metales líquidos que tienen una conductividad muy alta pueden bombearse en estas unidades. Los metales típicos con conductividad adecuada influyen magnesio, aluminio, sodio, potasio, y sus aleaciones.

El reactor de agua a presión usa una bomba sin fugas para circular agua a través del reactor a una caldera del tipo de cambiador de calor, y luego regresa. El reactor de agua hirviendo requiere de una bomba sin fuga para alimentar agua a su núcleo en donde se forma el vapor. Se usa sodio líquido como refrigerante.

Frecuentemente la bomba o bombas que circulan líquido radioactivo se encuentran encerradas dentro de la coraza de protección biológica. El ciclo de reactor de agua a presión es el tipo que se utilizó para suministrar energía al *Nautilus* el primer submarino nuclear.

5.12 INDUSTRIA PETROLERA, REFINACIÓN Y BOMBAS DE CRISTAL.

INDUSTRIA PETROLERA.

Las bombas que se usan en la industria petrolera se dividen en ocho grupos:

- | | |
|----------------|---------------------------|
| 1) Perforación | 5) Fracturación. |
| 2) Producción. | 6) Pozos submarinos. |
| 3) Transporte | 7) Pozos portátiles. |
| 4) Refinería. | 8) Pozos de dosificación. |

En perforación se usan las llamadas bombas de lodo. Deben desarrollar presiones altas, a veces, superiores a las 1200 lb/in².

Las bombas de lodo son invariablemente bombas reciprocantes y cuando se refieren a ellas se hace en caballos hidráulicos, en lugar de capacidad. Muchas bombas de lodos se encuentran dentro de la clase de 30 a 60 lps.

En producción se usan cuatro tipos de sistemas de bombeo para extraer el crudo de los pozos de producción y descargarlo a nivel del suelo, que son:

- 1) Sistema de cilindro de succión.
- 2) Sistema hidráulico.
- 3) Sistema sumergible.
- 4) Sistema de elevación por gas.

Hay algunos pozos que no necesitan bombeo ya que es suficiente la presión del crudo.

Las estaciones de bombeo se instalan a intervalos adecuados, pues aún en terreno plano las cargas de fricción son grandes y se requieren bombas de alta presión.

El bombeo hidráulico consiste de una bomba reciprocante triple montada en la superficie, una unidad de bombeo montada abajo de la superficie, tubería de conexiones y fluido hidráulico.

Las bombas sumergibles son operadas por motor eléctrico y se usan en algunos pozos de petróleo.

Se usan bombas portátiles autocebantes de uno o varios pasos en la perforación de pozos de prueba, para chorrear agujeros existentes y para protección contra incendios.

REFINACIÓN.

El proceso de refinación es uno de los procesos industriales más complejos y el que requiere mayor variedad de bombas. Los productos que se manejan en una refinería tienen densidades que varían desde 0.6 a mayores; viscosidades menores que las del agua y otras tan altas que ni siquiera las bombas centrífugas las pueden manejar, las temperaturas llegan a 850°F y las presiones alcanzan hasta 1200 lb/in².

En el proceso de refinación existen muchos procesos específicos, que quedan fuera del alcance de este trabajo. En general, se puede decir que la mayoría de las bombas centrífugas son construidas de acero, ya que el hierro no resiste bien las tensiones existentes y que y que las especificaciones para los motores establecen claramente que deben ser a prueba de explosiones.

También se usan materiales tales como el acero inoxidable, acero al cromo, etc. El diseño de los estoperos requiere cuidado especial, ya que no debe haber ningún tipo de fugas, y para ello se usan los sellos mecánicos.

Las condiciones de succión son de suma importancia debido a dos razones:

1) En muchas aplicaciones, la bomba debe manejar hidrocarburos a temperaturas correspondientes al punto de vaporización

2) Sería muy costoso instalar en posición elevada los tanques para el líquido que se va bombear de los mismos y así obtener una gran carga neta positiva de succión .

Por esto, el diseño hidráulico de las bombas para refinería, se adapta a valores de NPSH o CNPS muy bajos. Esta es una de las razones, por las cuales las bombas de tipo vertical cada día tiene más aplicaciones.

Otras aplicaciones son: acidulación de pozos de petróleo, almacenamiento subterráneo, servicios en estación, carga de reactores, bombeo de pozos de fondo, etc.

BOMBAS DE CRISTAL.

Éstas manejan una gran variedad de ácidos, jugos de fruta, leche.

El cristal resiste todos los ácidos y compuestos químicos, excepto el ácido fluorhídrico y el ácido fosfórico glacial.

En textos especializados de ingeniería química, deberán estudiarse todas las posibles aplicaciones de las bombas para las diferentes sustancias.

CONCLUSIONES

En el transcurso del trabajo realizado se trató de cumplir con el objetivo, que pretende integrar la información requerida para que sea posible seleccionar el equipo de bombeo adecuado para un sistema de suministro de agua de ciertas características además de que todo lo necesario para elegir o seleccionar un equipo se puede encontrar en dicho trabajo, quedando a disposición de cualquier interesado en el tema en forma práctica.

Durante el desarrollo del presente, se ha mencionado a grandes rasgos el funcionamiento de las turbomáquinas hidráulicas, pues para ello se tiene un capítulo destinado a éste tema, así también fue necesario mostrar cuales son los aspectos necesarios para lograr la instalación de una bomba y dar los requisitos para proporcionar el mantenimiento adecuado del equipo, ya sea preventivo o correctivo.

También se ha dado la interpretación del uso, manejo y características de las curvas de las bombas, pues de ello dependerá elegir el modelo adecuado de la misma, también se ha hecho mención que para elegir de manera óptima una turbomáquina determinada será en función de las dimensiones y materiales adecuados.

Durante el desarrollo de dicho trabajo, se describen los diferentes tipos de bombas con sus ventajas y desventajas, así como los materiales empleados para su fabricación y sus características de operación, lo cual permite darle la aplicación adecuada a un equipo de bombeo según las necesidades requeridas en la industria.

APENDICE

NOMENCLATURA

P_f - Potencia al freno	H_n - Carga neta
Q - Gasto	H_T - Carga total
N - Velocidad angular R.P.M.	N_s - Velocidad específica
P_e - Peso específico.	g - Gravedad
V_l - Velocidad absoluta en el punto l	u_l - Velocidad tangencial en el punto l
ρ - Densidad	P - Potencia
D - Diámetro	Q_γ - Caudal en peso
M - Momento aplicado	γ - Peso específico
ω - Velocidad angular	A - Area
V_{ul} - Proyección de V_l sobre u_l a componentes tangenciales de velocidades absolutas	V_{m_l} - Componente meridiana de la velocidad absoluta del fluido en el punto l
P_s - Presión en el sistema	P_v - Presión barométrica
H_H - Altura hidráulica	PHC - Plano de referencia
H_{pw} - Altura de presión en piezómetro	H_{ss} - Altura que sube el agua (a bomba)
H_T - Energía específica comunicada	H_E - Altura de Euler
H_{se} - Carga estática efectiva de succión	H_{T1} - carga total del impulsor
P_a/γ - Carga de succión positiva neta	H_{sv} - Diferencia de energía con P_a/γ
CSPN Columna de succión positiva neta	CSPN - H_{sv}
Q_v - Gasto por unidad	O_c - Coeficiente de Thoma (O_{th})
E - Elevación sobre el nivel del mar	K_v - factor para O_{th}
E_t - Energía entregada a la entrada del tubo de succión	E_r - Energía recuperada por el tubo de succión
η_{ts} - Eficiencia del tubo de succión	μ - Viscosidad absoluta
V_s - Velocidad absoluta en el sistema	V_t - Velocidad en la tubería de succión
C_Q - Coeficiente de gasto	C_H - Coeficiente de carga
C_P - Coeficiente de potencia	C_M - Coeficiente del par o momento
H - Carga teórica	H_{ma} - Altura manométrica
W - Trabajo	q - Fugas de Q
f - Factor de reducción o multiplicador	Z - Número de álabes
S_u - Espesor tangencial del álabe	D_m - Diámetro medio
K_{m1} - Velocidad de entrada	ϕ - Coeficiente de capacidad
K_{m2} - Constante de capacidad	R_1 - Grado de prerrotación
ψ - Coeficiente de carga	R_1 - Relación de pérdidas de capacidad a la capacidad nominal
d - ancho del impulsor a la entrada	d - ancho del impulsor en la descarga
m - Masa	V - Volúmen

TABLAS DE EQUIVALENCIAS

ENERGÍA Y POTENCIA

1 WATT - 0.00136 CV	1 CV - 0.9863 HP
1 KW - 1.36 CV	1 CV - 0.804 KW
1 KW - 14.34 Cal/min	1 CV - 75 Kg m / seg
1 KW - 1.341 HP	1 CV - 10.5 Kcal/min
1 WATT / seg - 1 Joule	1 HP - 745.7 Watt
1 WATT / Hr - 860.4 cal	1 HP - 0.746 KW
1 KW / Hr - 3600 Joules	1 HP - 1.014 CV
1 BTU - 1.055 KJ	1 HP - 0.746 KJ / seg
1 BTU - 778 Ft lb	1 HP - 33,000 Ft lb/min
1 BTU - 107.6 Kg m	1 HP - 2545.9 BTU/Hr
1 BTU - 0.252 Cal	1 HP - 76 Kg m / seg
1 BTU / lb - 2.326 KJ / Kg	1 HP - 0.1782 K cal / seg
1 cal - 3.968 BTU	1 Ft lb / seg - 1.356 Watt
1 K cal - 4.1868 KJ	1 Ft lb - 1.356 Joule
1 K cal / seg - 4.1868 KW	1 Kg m - 9.801 Joule
1 K cal - 426.44 Kg m	1 CHU - 1.8 BTU

LONGITUD

1 m - 3.281 ft	1 ft - 12 in
1 m - 39.37 in	1 ft - 30.48 cm
1 m - 0.9144 m	1 ft - 0.3048 m
1 Km - 0.6214 milla	1 in - 2.54 cm
1 cm - 0.0328 ft	1 in - 0.0833 ft
1 cm - 0.3937 in	1 in - 0.0254 m
1 milla - 1.609 Km	1 yd - 36 in
1 milla - 1760 yd	1 yd - 3 ft
1 milla - 5280 ft	1 yd - 0.9144 m
1 Braza - 2 yd	1 Braza - 1.829 m
1 Braza - 6 ft	

AREA

1 m ² - 10.76 ft ²	1 in ² - 6.45 cm ²
1 m ² - 1.196 yd ²	1 ft ² - 929 cm ²
1 m ² - 1550 in ²	1 ft ² - 144 in ²
1 m ² - 10 000 cm ²	1 milla ² - 2.59 km ²
1 cm ² - 0.001576 ft ²	1 milla ² - 640 Acres
1 cm ² - 0.155 in ²	1 milla ² - 259 Ha
1 cm ² - 0.0001 m ²	1 Acre - 43 560 ft ²
1 Ha - 10 000 m ²	1 Acre - 4047 m ²
1 Ha - 2.471 Acre	1 Acre - 0.4047 Ha

FUERZA

1 Kg - 2.205 lb	1 lb - 444,986 dinas
1 kg - 9.81 Nw	1 lb - 4.448 Nw
1 gr - 981 dinas	1 lb - 453.6 gr
1 kip - 1000 lb	1 lb - 16 oz
1 kip - 4.46 KN	1 Nw - 1x105 dinas
1 oz - 0.0625 lb	1 Nw - 7.23 poundal
1 dina - 0.00102 gr	1 poundal - 13823 dinas

VELOCIDAD

1 nudo - 1.152 mph	1 m/hr - 3600 m/seg
1 nudo - 0.853 Km/hr	1 m /seg - 3.26 ft /seg
1 mph - 8 ft / min	1 ft/seg - 0.6817 mph
1 mph - 609 Km/hr	1 mph - 1.467 ft /seg

VELOCIDADES ANGULARES

1 rev - 6.2832 rad	1 rad /seg - 9.0549 rpm
1 rad - 57.3 grados	1 rad - 0.15915 rev

MASA

1 gr - 15.432 granos	1 lb - 453 gr
1 gr - 0.0353 oz	1 lb - 0.453 kg
1 kg - 2.205 lb	1 UTM - 9.81 kg
1 Geokilo - 9.81 kg	1 UTM - 21.63 lb
1 Slug - 1.491 UTM	1 oz - 28.35 gr
1 Slug - 32.2 lb	1 Ton - 907.2 kg
1 Slug - 14.03 kg	1 Ton - 2000 lb

PRESIÓN

1 mm Hg - 1 torr	1 cm Hg - 0.0136 kg/cm ²
1 atm - 1.013 bar	1 bar - 100 Kpa
1 atm - 101.325 K Pa	1 bar - 10 ⁵ N/m ²
1 atm - 1.033 kg /cm ²	1 bar - 0.986 atm
1 atm - 14.7 lb/in ²	1 bar - 14.5 lb/in ²
1 atm - 1.013x10 ⁵ N/m ²	1 m bar - 0.402 m H ₂ O
1 atm - 33.91 ft H ₂ O	1 lb/ft ² - 47.88 Pa
1 atm - 760 mm Hg	1 lb/in ² - 6.895 kPa
1 atm - 29.92 in Hg	1 lb/in ² - 0.07031 kg/cm ²
1 Kg/cm ² - 98.066 K Pa	1 torr - 1.333 m bar

1 Kg/cm ² - 10 m H ₂ O	1 N/m ² - 1 Pa
--	---------------------------

VOLUMEN

1 mm ³ - 0.001 cm ³	1 in ³ - 16.39 cm ³
1 cm ³ - 0.061 in ³	1 ft ³ - 1.728 in ³
1 cm ³ - 1000 mm ³	1 ft ³ - 28,320 cm ³
1 cm ³ - 1x10 ⁻⁶ m ³	1 ft ³ - 28.32 lt
1 m ³ - 1x10 ⁶ cm ³	1 ft ³ - 7.48 gal
1 m ³ - 35.31 ft ³	1 yd ³ - 27 ft ³
1 m ³ - 1000 lt	1 gal - 3.7854 lt
1 m ³ - 1.308 yd ³	1 gal - 231 in ³

DENSIDAD

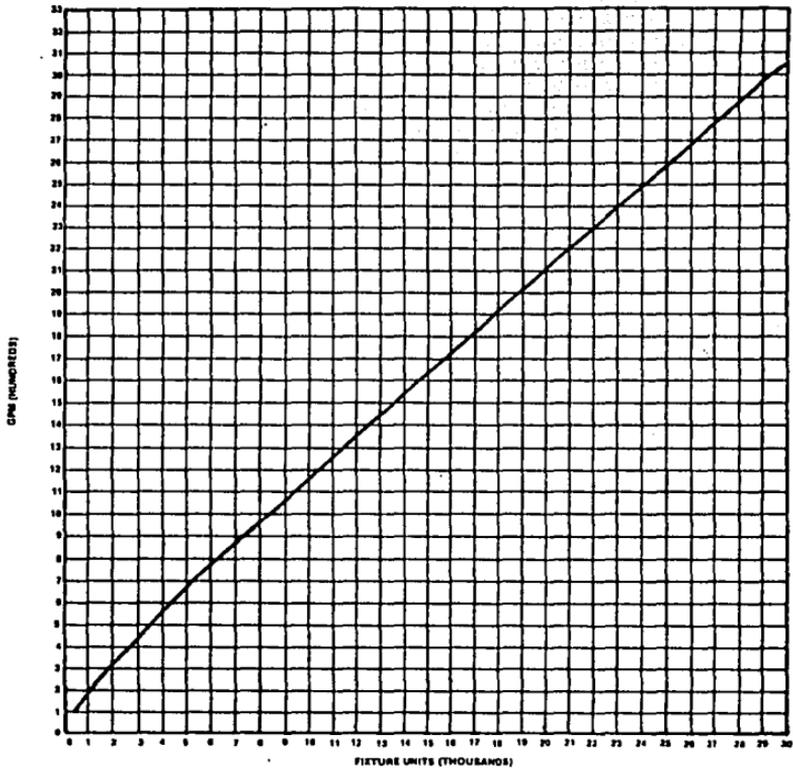
1 ctp = 1 x 10 ⁻³ Kg/m-s	ctp = centipoises
-------------------------------------	-------------------

PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA

Temperatura del agua t Grados centigrados	Presión de saturación p' Bar absolutos	Volumen específico v x 10 ³ Decímetros ³ / Kg	Densidad ρ Kg/m ³
.01	.0061	1.0002	999.8
5	.0087	1.0001	999.9
10	.0122	1.0003	999.7
15	.0170	1.0010	999.0
20	.0233	1.0013	998.2
25	.0316	1.0030	997.0
30	.0424	1.0044	995.6
35	.0562	1.0060	994.0
40	.0737	1.0079	992.2
45	.0958	1.0099	990.2
50	.1233	1.0121	988.0
55	.1574	1.0145	985.7
60	.1991	1.0171	983.2
65	.2500	1.0199	980.5
70	.3116	1.0228	977.7
75	.3854	1.0258	974.8
80	.4735	1.0290	971.8
85	.5780	1.0324	968.6
90	.7010	1.0359	965.3
95	.8452	1.0396	961.9
100	1.013	1.0435	958.3
140	3.613	1.0798	926.1
180	10.027	1.1275	886.9
250	39.776	1.2512	799.2

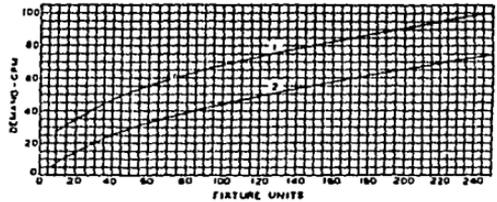
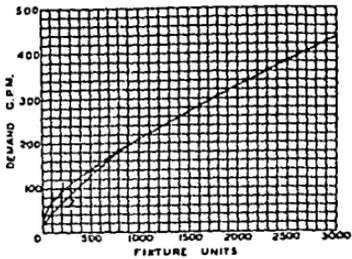
PERDIDA DE FRICCION EN TUBO PARA AGUA

Díámetro mm	Flujo lps	Velocidad m/seg	Velocidad de la columna m de agua	Pérdida de fricción m de agua x 100 m de tubo
51	3.15	1.46	0.11	4.67
51	6.3	2.91	0.43	17.4
51	9.4	4.36	0.97	38.0
51	12.6	5.82	1.73	66.3
51	18.9	8.75	3.90	146
102	12.6	1.53	0.12	2.27
102	18.9	2.30	0.27	4.89
102	31.5	3.84	0.75	13.0
102	63.1	7.68	3.00	50.2
102	126	15.36	12.04	196
153	12.6	0.67	0.023	0.299
153	31.5	1.69	0.14	1.66
153	63.1	3.38	0.58	6.17
153	126	6.76	2.34	23.8
153	252	13.53	9.36	93.1
203	31.5	0.98	0.048	0.424
203	126	3.90	0.78	5.86
203	504	15.63	12.46	88.6
254	63.1	1.19	0.073	0.497
254	315	5.97	1.82	10.8
254	631	11.98	7.31	42.2
305	126	1.74	0.16	0.776
305	631	8.75	3.90	17.4
305	1292	17.46	15.57	68.1



HUNTER'S CURVE

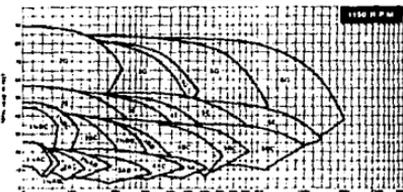
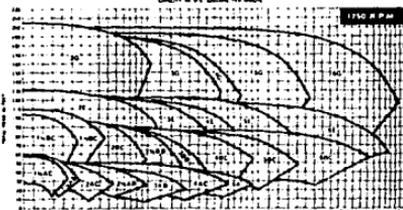
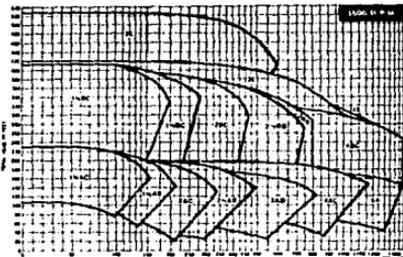
HUNTER'S CURVE EXPLODED



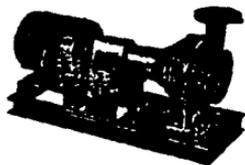
BELL & GOSSETT

CURVE BOOKLET

B-260E



60 HERTZ PERFORMANCE CURVES



SERIES 1510 PUMP

SERIES 1510

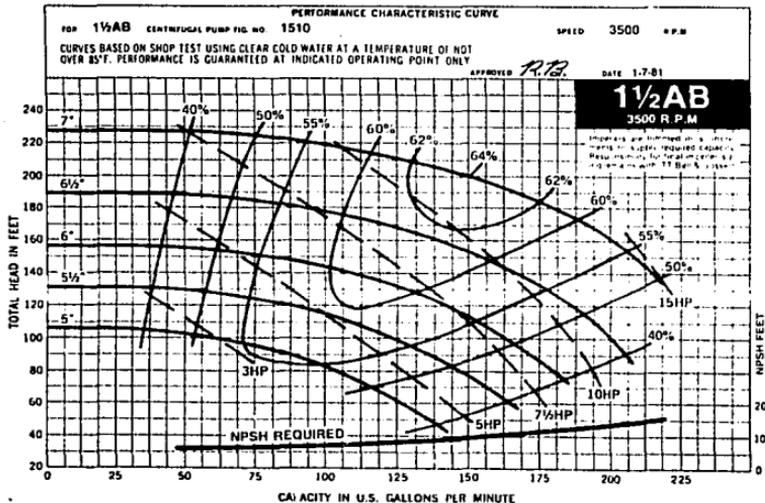
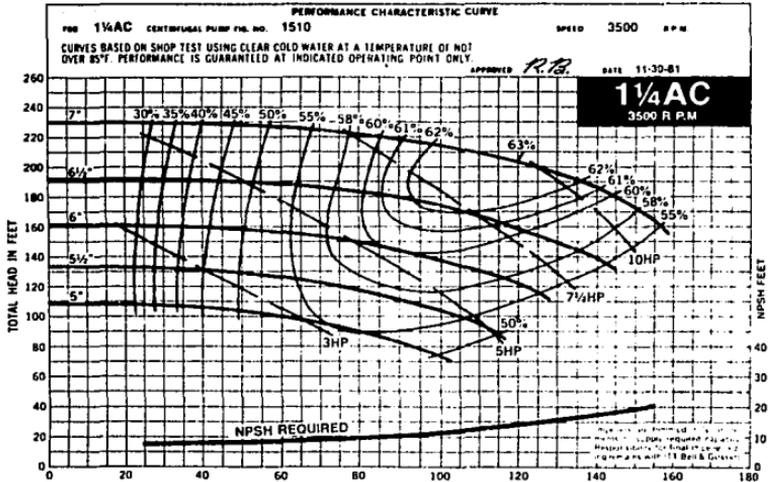
Base Mounted Centrifugal Pump Performance Curves



© COPYRIGHT 1987 BY ITT CORPORATION

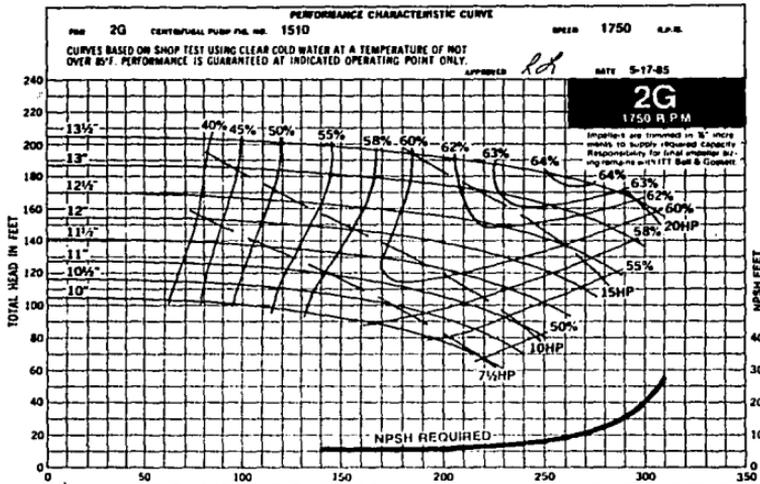
ITT Bell & Gossett
ITT Fluid Technology Corporation

3500 RPM PUMP CURVES



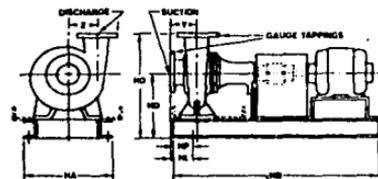
FALLA DE ORIGEN

1750 RPM PUMP CURVES



Dimensions

Series 1510 Centrifugal Pumps



Motor Horsepower and Frame Tabulation
(Three phase (Dripproof Enclosure))

Motorhorsepower	Frame Size 1750 RPM	Frame Size 1500 RPM	Motorhorsepower	Frame Size 1750 RPM	Frame Size 1500 RPM
1/2	56		20	256T	254T
3/4	56		25	254T	254T
1	143T		30	296T	294TS
1 1/2	145T		40	324T	296TS
2	145T	145T	50	326T	324TS
3	182T	145T	60	364T	326TS
5	184T	182T	75	362T	364TS
7 1/2	213T	184T	100	404TG	362TS
10	215T	213T	125		404TS
15	254T	213T			

PUMP SIZE DISCHARGE	SUCTION SIZE	MOTOR FRAME SIZE	STANDARD MECHANICAL SEAL PUMP MODEL 1510, 1510-P										STUFFING BOX CONSTRUCTION PUMP MODEL 1510-PF, 1510-S											
			HA	HB	HD	HE	HO	HP	V	Z	HA	HB	HD	HE	HO	HP	V	Z						
1 1/2 AC (NPT)	1 1/2 (NPT)	56	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		143T	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		145T	14 1/2	34 1/2	31	10 1/2	1 1/2	18 1/2			3	3 1/2												
		213T-215T	16	46 1/2	32	2 1/2	20			5	5 1/2	16	46 1/2	12	2 1/2	21								
		254T-256TS	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2					3	3 1/2	4 1/2
1 1/2 AD (NPT)	2 (NPT)	56	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		143T-145T	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		145T	14 1/2	34 1/2	31	10 1/2	1 1/2	18 1/2			3	3 1/2												
		213T-215T	16	46 1/2	32	2 1/2	20			5	5 1/2	16	46 1/2	12	2 1/2	21								
		254T-256TS	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2					3	3 1/2	4 1/2
1 1/2 BC (NPT)	2 (NPT)	56	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		143T-145T	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		145T	14 1/2	34 1/2	31	10 1/2	1 1/2	18 1/2			3	3 1/2												
		213T-215T	16	46 1/2	32	2 1/2	20			5	5 1/2	16	46 1/2	12	2 1/2	21								
		254T-256TS	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2					3	3 1/2	4 1/2
2 AC	2 1/2	56	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		143T-145T	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		145T	14 1/2	34 1/2	31	10 1/2	1 1/2	18 1/2			3	3 1/2												
		213T-215T	16	46 1/2	32	2 1/2	20			5	5 1/2	16	46 1/2	12	2 1/2	21								
		254T-256TS	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2					3	3 1/2	4 1/2
2 BC	2 1/2	56	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		143T-145T	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2				3	3 1/2	4 1/2	
		145T	14 1/2	34 1/2	31	10 1/2	1 1/2	18 1/2			3	3 1/2												
		213T-215T	16	46 1/2	32	2 1/2	20			5	5 1/2	16	46 1/2	12	2 1/2	21								
		254T-256TS	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2					3	3 1/2	4 1/2
2 EF	1 1/2	56	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5				6 1/2	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5						
		143T	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5				6 1/2	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5						
		145T	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5				6 1/2	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5						
		213T	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5				6 1/2	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5						
		254T	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5				6 1/2	16	42 1/2	14	6 1/2	22	5						
2 GF	3	56	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5				7 1/2	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5						
		143T	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5				7 1/2	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5						
		145T	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5				7 1/2	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5						
		213T	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5				7 1/2	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5						
		254T	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5				7 1/2	16	46 1/2	14	3 1/2	23	5						
2 1/2 AB	1 1/2	56	12	28 1/2	31	9 1/2	4 1/2	15 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	3	15 1/2	3						
		143T-145T	12	28 1/2	31	9 1/2	4 1/2	15 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	3	15 1/2	3						
		145T	14 1/2	34 1/2	31	10 1/2	2 1/2	17 1/2			3	3 1/2												
		213T-215T	16	46 1/2	32	2 1/2	20			5	5 1/2	16	46 1/2	12	2 1/2	21								
		254T-256TS	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2					3	3 1/2	4 1/2
2 1/2 BD	1 1/2	56	12	28 1/2	31	9 1/2	4 1/2	15 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	3	15 1/2	3						
		143T-145T	12	28 1/2	31	9 1/2	4 1/2	15 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	3	15 1/2	3						
		145T	14 1/2	34 1/2	31	10 1/2	2 1/2	17 1/2			3	3 1/2												
		213T-215T	16	46 1/2	32	2 1/2	20			5	5 1/2	16	46 1/2	12	2 1/2	21								
		254T-256TS	12	28 1/2	31	9 1/2	3 1/2	14 1/2				4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	1 1/2	14 1/2					3	3 1/2	4 1/2
3 AD	4	56	16	46 1/2	12	2 1/2	19 1/2					4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	2 1/2	15 1/2	3						
		143T-145T	16	46 1/2	12	2 1/2	19 1/2					4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	2 1/2	15 1/2	3						
		145T	16	46 1/2	12	2 1/2	19 1/2					4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	2 1/2	15 1/2	3						
		213T-215T	16	46 1/2	12	2 1/2	19 1/2					4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	2 1/2	15 1/2	3						
		254T-256TS	16	46 1/2	12	2 1/2	19 1/2					4 1/2	14 1/2	34 1/2	9 1/2	2 1/2	15 1/2	3						

These dimensions are not to be used for installation purposes unless certified
All dimensions in inches

1750 psi available

Maximum Working
Pressure 175 psi

DIMENSIONS			STANDARD MECHANICAL SEAL PUMP MODEL 1810, 1810-F							STUFFING BOX CONSTRUCTION PUMP MODEL 1810-9F, 1810-S										
PUMP SIZE DISCHARGE	SUCTION SIZE	MOTOR FRAME SIZE	HA	HB	HD	HL	HO	HP	V	Z	HA	HB	HD	HL	HO	HP	V	Z		
3 BB		1821-184T	14%	31	10%	3 1/4"	18 1/2"	3	4%	8 1/2"	18	34%	10%	3 1/4"	18 1/2"	3				
		213T-213T		39%								48 1/2"							12	18 1/2"
		284T-284TS		48 1/2"								12							4 1/4"	20 1/2"
3 E1	4	184T	16	42%	14	6 1/4"	23 1/2"	5	5%	7 1/2"	18	42%	14	6 1/4"	23 1/2"	5	5 1/2"	7 1/2"		
		213T-213T		46%								48 1/2"							12	18 1/2"
		284T-284TS		56%								56%							16 1/2"	4 1/4"
3 G1		213T-213T	16	48 1/2"	14	4 1/4"	23 1/2"	5	5%	8	18	48 1/2"	14	4 1/4"	23 1/2"	5	5 1/2"	8		
		284T-284T		51%								49%							6	
		324T		14 1/2"																
4 AC1		182T-184T	14%	31	10 1/4"	4 3/4"	18 1/2"	3	4 1/4%	5 1/2"	14%	34%	10 1/4"	4 3/4"	18 1/2"	3				
		213T		34%								39%							4	
		284T-284T		48 1/2"								12							18 1/2"	
4 BC	5	213T-213T	14%	34%	12 1/4"	4	20 1/4"	3	5	7	10	51%	13	5 1/4"	20 1/4"	5				
		284T-284TS		54%								12							18 1/2"	
		324T-324TS		58%								12							18 1/2"	
4 E1	5	254T	16	48 1/2"	14	5 1/4"	22 1/2"	5	5%	7 1/2"	18	48 1/2"	14	5 1/4"	22 1/2"	5	5 1/2"	7 1/2"		
		284T-284TS		51%								48 1/2"							6	
		364T-364TS		56%								56%							16 1/2"	5 1/4"
4 G1		213T-213T	18	48 1/2"	15	5 1/4"	25	5	6	8 1/4"	18	48 1/2"	15	5 1/4"	25	5	6	8 1/4"		
		284T-284T		51%								49%							6	
		324T		14 1/2"																
5 A1		182T-184T	14%	31	12 1/4"	5 1/4"	21 1/4"	3	5 1/4%	8 1/2"	14%	34%	12 1/4"	5 1/4"	21 1/4"	3				
		213T-213T		34%								39%							4	
		284T-284TS		48 1/2"								14							6 1/4"	22 1/2"
5 BC1	6	213T-213T	16	48 1/2"	15	6 1/4"	25	5	6	7 1/2"	16	48 1/2"	15	6 1/4"	25	5	6	7 1/2"		
		284T-284T		51%								49%							6	
		324T		14 1/2"																
5 E1	6	254T	18	48 1/2"	15	4 1/4"	25 1/2"	5	5 1/2%	7 1/2"	18	48 1/2"	15	4 1/4"	25 1/2"	5	5 1/2%	7 1/2"		
		284T-284TS		51%								49%							6	
		364T-364TS		56%								56%							16 1/2"	5 1/4"
5 G1		213T-213T	24	56%	17	6 1/4"	30 1/2"	6	6	9	24	56%	17	6 1/4"	30 1/2"	6	6	9		
		284T-284T		51%								49%							6	
		364T-364TS		56%								56%							16 1/2"	6 1/4"
6 BC1	6	254T	20	58%	15	8 1/4"	25 1/2"	5	7	8 1/2"	16	51%	15	8 1/4"	25 1/2"	5	7	8 1/4"		
		284T-284T		51%								49%							6	
		324T-324T		56%								56%							16 1/2"	6 1/4"
6 E1	6	284T-284T	24	56%	16 1/2"	6	27 1/2"	6	6 1/4"	8 1/2"	24	56%	16 1/2"	6	27 1/2"	6	6 1/4"	8 1/2"		
		284T-284T		51%								49%							6	
		324T-324T		56%								56%							16 1/2"	6 1/4"
6 G1		254T	24	56%	18 1/2"	6 1/4"	30 1/2"	6	6 1/4"	9 1/4"	24	56%	18 1/2"	6 1/4"	30 1/2"	6	6 1/4"	9 1/4"		
		284T-284T		51%								49%							6	
		364T-364TS		56%								56%							16 1/2"	6 1/4"
			1" FRAME - TO AND INCLUDING 12" IMPELLER																	
			2" FRAME - 12" IMPELLER AND LARGER																	
			3" FRAME - TO AND INCLUDING 12" IMPELLER																	
			4" FRAME - 12" IMPELLER AND LARGER																	
			5" FRAME - TO AND INCLUDING 12" IMPELLER																	
			6" FRAME - 12" IMPELLER AND LARGER																	

These dimensions are not to be used for installation purposes unless certified.
All dimensions in inches.

1250 psi available

Maximum Working
pressure 175 psi

BIBLIOGRAFÍA

1. Ing. Manuel Viejo Subicaray. 1979. Bombas, Teoría, Diseño y Aplicaciones. Editorial Limusa.
2. George E. Russell. 1974. Hidráulica. Compañía Editorial Continental.
3. Claudio Mataix. 1970. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. New York. Harper & Row.
4. Claudio Mataix. 1972. Turbomáquinas Térmicas. Ed Dossat.
5. Igor J. Karassik , Roy. 1975. Bombas Centrifugas, Selección, Operación y Mantenimiento. Editorial Continental.
6. Manuel Polo Encinas. Turbomáquinas Hidráulicas Principios Fundamentales. Editorial Limusa.
7. R. H. Warring. 1977. Selección de Bombas, Sistemas y Aplicaciones. Editorial Labor.
8. Fuchslocher Shulz. 1964. Bombas, Funcionamiento, Cálculo y Construcción. Editorial Labor.
9. Tyler G. Hicks. 1978. Bombas su Selección y su Aplicación. Editorial Continental.
10. Manual de Entrenamiento para la Selección y Aplicación de Sistemas y Bombas Centrifugas Bell & Gossett. 1994.
11. Catálogo de Equipos Bell & Gossett. 1994.
12. Compendio de Curvas de Bombas Bell & Gossett. 1994.
13. Compendio de Curvas de Bombas Taco. 1995.