

INFORME FINAL

**Anteproyecto y proyecto ejecutivo para un banco de pruebas para
caracterización de equipos de bombeo.**

HC1108.1

M.I. Ricardo Andrés Álvarez Bretón
Subcoordinación de Obras y Equipos Hidráulicos

DICIEMBRE, 2011

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	4
1.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DOCUMENTAL	6
2.- ANÁLISIS DE PROPUESTA DE ALTERNATIVAS	43
3.- ELABORACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO	47
4.- RESULTADOS	49
4.1 NORMAS SUGERIDAS	59
5.- ANEXOS	62

INTRODUCCIÓN

Las curvas características típicas permiten la selección adecuada del equipo de bombeo, cuya representación gráfica describe el comportamiento bajo diversas condiciones de dichos equipos, y su operación, de tal manera que se economice tanto en la inversión inicial, como en los gastos de energía necesarios para su funcionamiento. Los fabricantes de equipos de bombeo presentan las curvas características de los equipos de bombeo que ofertan, pero no hay forma de verificar el comportamiento real de dichos equipos, lo que sería de suma importancia para organismos operadores de sistemas de agua, o cualquier usuario, ya que podrían revisar la operación de sus equipos al contar con una instalación de verificación aún antes de adquirirlos, a través de un convenio con el proveedor o fabricante al contar con una instalación de verificación.

Es pretensión de este proyecto, que el IMTA cuente con una instalación de pruebas de equipos de bombeo centrífugo que permita evaluar su desempeño como soporte para el mejor empleo de la energía eléctrica por parte de los usuarios.

ANTECEDENTES

Las curvas características de bombeo representan en forma gráfica el comportamiento bajo diversas condiciones de operación y permiten establecer a priori el gasto (m^3/s) de operación del equipo para una carga dada (columna de agua) siendo los extremos de la curva fácilmente identificables, es decir, para una carga cero, el gasto será el máximo posible de bombeo y para un gasto cero, la columna de agua que se obtenga será la máxima. Como puede observarse, estos puntos resultan de utilidad totalmente impráctica pues a nadie le interesa bombear a la máxima altura sin obtener flujo. El otro extremo es difícil de obtener en la práctica, pues siempre se tendrán pérdidas de energía que establecen cierta carga, por lo que el gasto máximo no se alcanza a presentar, a menos que la descarga del equipo de bombeo sea completamente libre. Sin embargo, estos puntos definen los extremos del comportamiento práctico de una bomba centrífuga. Ahora hay que determinar los puntos intermedios, y se puede observar que para obtenerlos se requiere medir la presión en la sección de descarga y el gasto proporcionado por el equipo. Al mismo tiempo, conviene medir la cantidad de energía entregada por el equipo, para compararla con la cantidad de energía que se le proporciona al sistema, de esta manera se conocerá la eficiencia de operación.

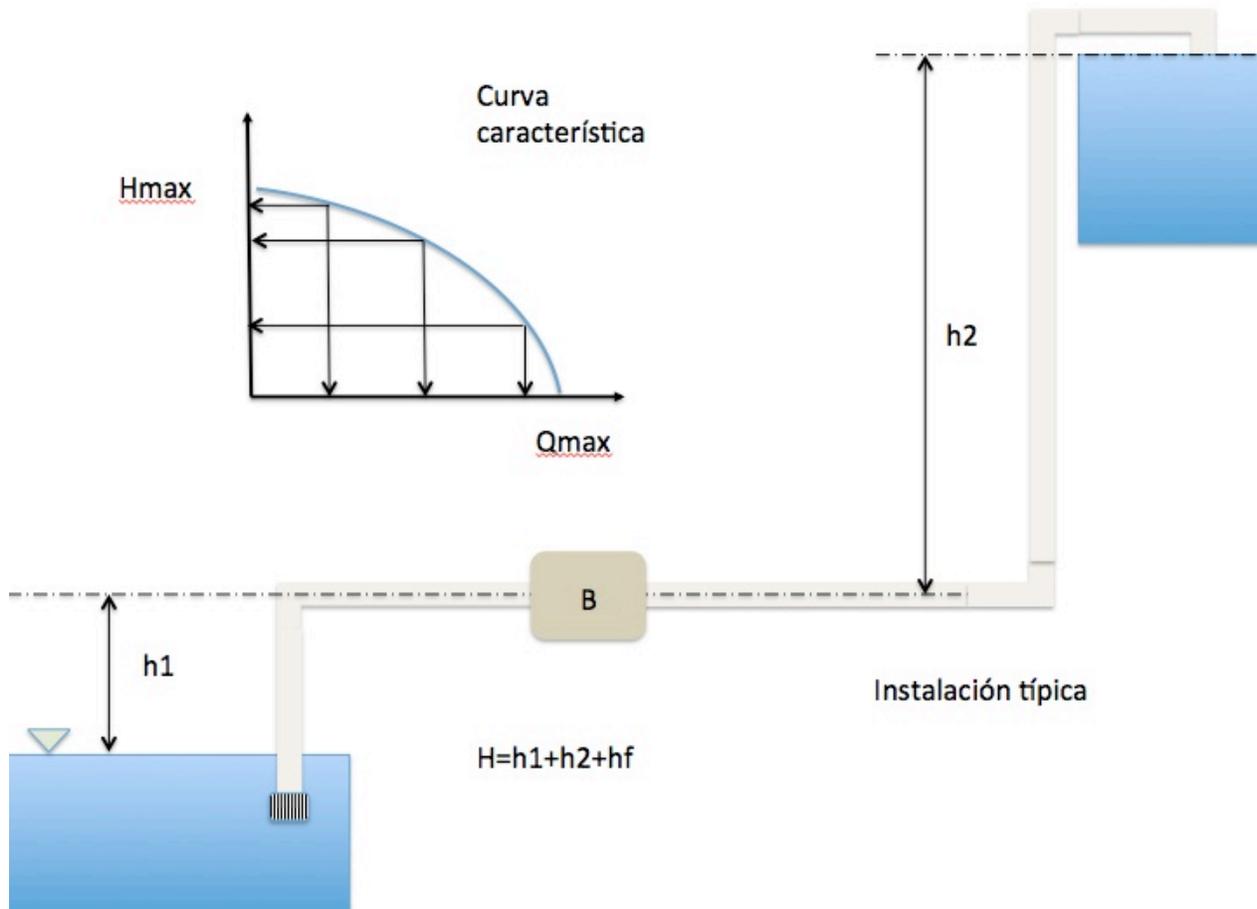
La selección de un equipo de bombeo centrífugo requiere entonces de conocer en el proyecto de instalación:

- a) la carga hidráulica total a vencer y
- b) la cantidad de flujo que hay que mover

todo esto con la mayor eficiencia energética posible.

Con éstos principios básicos se puede tener un banco de pruebas midiendo para ello la presión de succión, la presión de descarga, el gasto, el voltaje, el amperaje y el factor de potencia, así como dispositivos para variar las condiciones de operación, tales como válvulas, conectores, reducciones, tubería y un depósito de agua que provea el flujo necesario.

Se muestra en el diagrama 1, una instalación típica de bombeo centrífugo de tanque bajo a tanque elevado.



Diag.1 Disposición de la instalación típica de un sistema de bombeo cetrífugo

1.- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DOCUMENTAL

Información teórico - práctica de equipos de bombeo centrífugos y sus características de operación.

(tomado del libro **Carrier** Air Conditioning Company, -Manual de aire acondicionado, Handbook of air conditioning system design, Editorial Marcombo, S.A. de Boixareu Editores, Avda, José Antonio, 594, Barcelona-7 – España, 1970, obra original HANDBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN, publicada por McGraw-Hill, New York

BOMBAS CENTRÍFUGAS ASPECTOS MECÁNICOS

Existen dos tipos principales de bombas:

A) De desplazamiento positivo: de émbolo, rotativas y de tornillo.

B) Centrífugas: con distintos tipos de rodetes, clasificados en rodetes de flujo radial, mixto y axial, dentro de un cuerpo en forma de espiral, llamado generalmente caracol o voluta; también existen bombas con difusores, al igual que las turbinas.

La figura 1 presenta los dos tipos principales de bombas centrífugas así como los cuatro tipos básicos de rodetes.

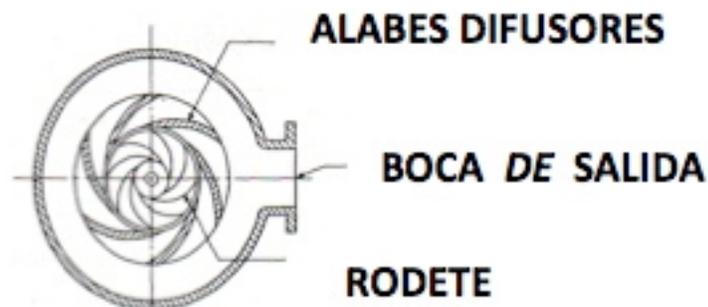
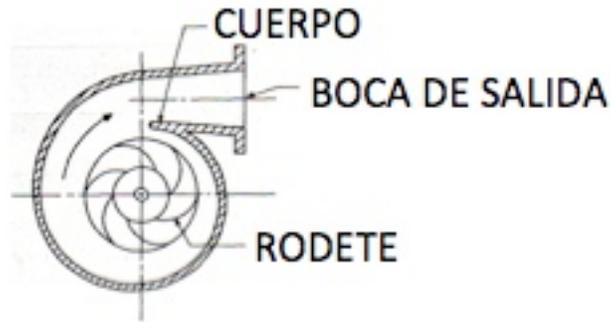


Fig.1 Bomba eje horizontal con carcasa de voluta



Bomba eje vertical con difusores



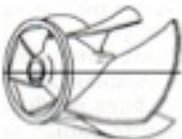
Alabes Francis



Alabes de rodete



Alabes de rodete de flujo axial



Alabes de rodete de flujo mixto

Rodetes de bombas centrifugas.

En refrigeración y acondicionamiento de aire, la bomba centrífuga que se utiliza con más frecuencia es la de flujo radial. Se utiliza para la circulación de agua fría, caliente, agua para condensación del refrigerante, vapor condensado, salmueras, aceite lubricante o refrigerante.

La bomba centrífuga es de fácil accionamiento. Su par de arranque es pequeño y representa una carga constante durante su funcionamiento. Generalmente para accionar la bomba se utiliza un motor eléctrico de inducción de jaula de ardilla y velocidad constante con un par de arranque normal, aunque también pueden utilizarse turbinas de vapor, motores de gasolina o máquinas de vapor, y motores eléctricos acoplados con poleas y bandas.

La bomba centrífuga produce un flujo continuo representado gráficamente por sus curvas características; de presión y potencia en función del caudal. La presión disminuye con el aumento de caudal, mientras que la potencia aumenta, según puede verse en la figura 2.

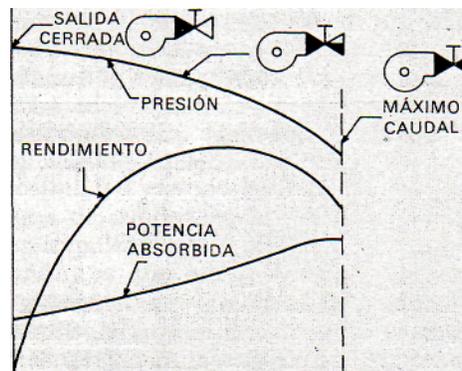


Fig.2 Curvas características

Los datos característicos de una bomba centrífuga son su capacidad es decir, su caudal (volumen / tiempo), la presión correspondiente a dicho caudal (generalmente expresada en su columna agua, p.e. metros de columna de agua m.c.a.) y la potencia necesaria a un número dado de revoluciones por unidad de tiempo.

Existen dos tipos de circuitos de líquido, abierto y cerrado. En los sistemas abiertos la bomba desplaza al líquido desde un manantial situado por encima o por debajo del nivel a que está situada, pero abierto a la presión atmosférica (fig. 3a y 3 b). Sistema cerrado es aquel en el que el circuito de líquido no está abierto a la atmósfera (fig. 3 c y 3 d). En

los sistemas de refrigeración y de acondicionamiento de aire, el más utilizado es el circuito de agua cerrado.

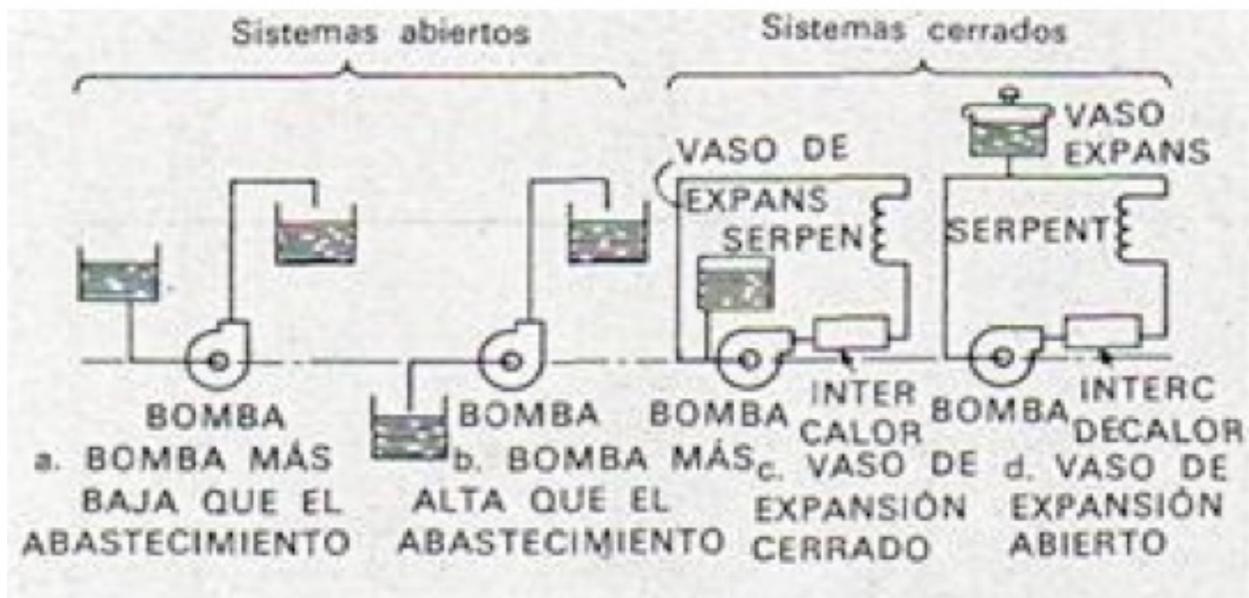


Fig 3 Sistemas de conducción abiertos y cerrados.

NORMAS Y REGLAMENTOS

El *Standards of the Hydraulic Institute* (organización formada por los principales fabricantes de bombas de los EE. UU.) determina el producto, material, fabricación y métodos para proyectar y verificar cualquier tipo de bomba.

La instalación de la bomba debe ajustarse a las ordenanzas y reglamentaciones locales.

VENTAJAS

La bomba centrífuga tiene las siguientes características favorables:

Sencillez de construcción.

Ausencia de válvulas y partes con movimiento alternativo.

Pocas piezas móviles.

Sin tolerancias muy estrictas.
Mínimas pérdidas de potencia por transmisión.
Caudal constante, sin pulsaciones.
Funcionamiento en vacío sin excesivo aumento de presión.
Ausencia de contacto entre el lubricante y el líquido bombeado.
Es compacta y pesa poco.

Puede montarse en conexión directa con los motores corrientes.
Vida prolongada.
De fácil mantenimiento y pocas averías.
De precio razonable.

DESVENTAJAS

La bomba centrífuga tiene dos inconvenientes
No se autoceba, mientras no tenga un dispositivo especial de cebado (o una válvula de pie).
Es de poco rendimiento con caudales menores de 3 m³/h, a alturas mayores de 10 m.

CARACTERÍSTICAS DE SUS COMPONENTES

Rodetes

Los rodetes se construyen de tres formas distintas:
Cerrados (los alabes situados entre dos placas laterales).
Semi-cerrados (los alabes montados sobre una placa lateral).
Abiertos (sin paredes, haciendo la carcasa el efecto de las placas laterales).

Aspiración

La entrada del líquido en la bomba puede hacerse:
A través de una entrada con una sola boca de aspiración en el rodete.
A través de una sola entrada con doble aspiración en el rodete, entrando el líquido en el mismo por los dos costados a lo largo del eje (fig. 4).

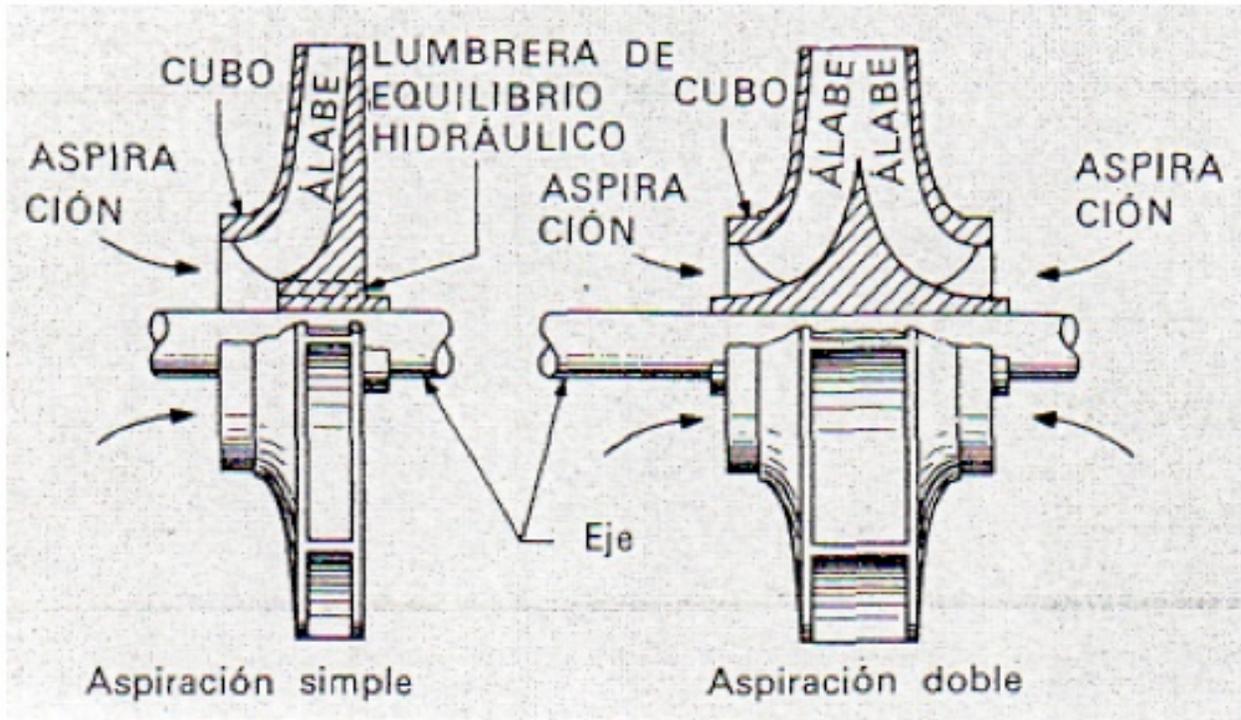


Fig. 4 Rodetes.

Carcasa

La voluta (fig. 5) puede estar partida axialmente (horizontalmente, como suele ocurrir en las bombas de doble aspiración) o radialmente (verticalmente, en las de aspiración simple).

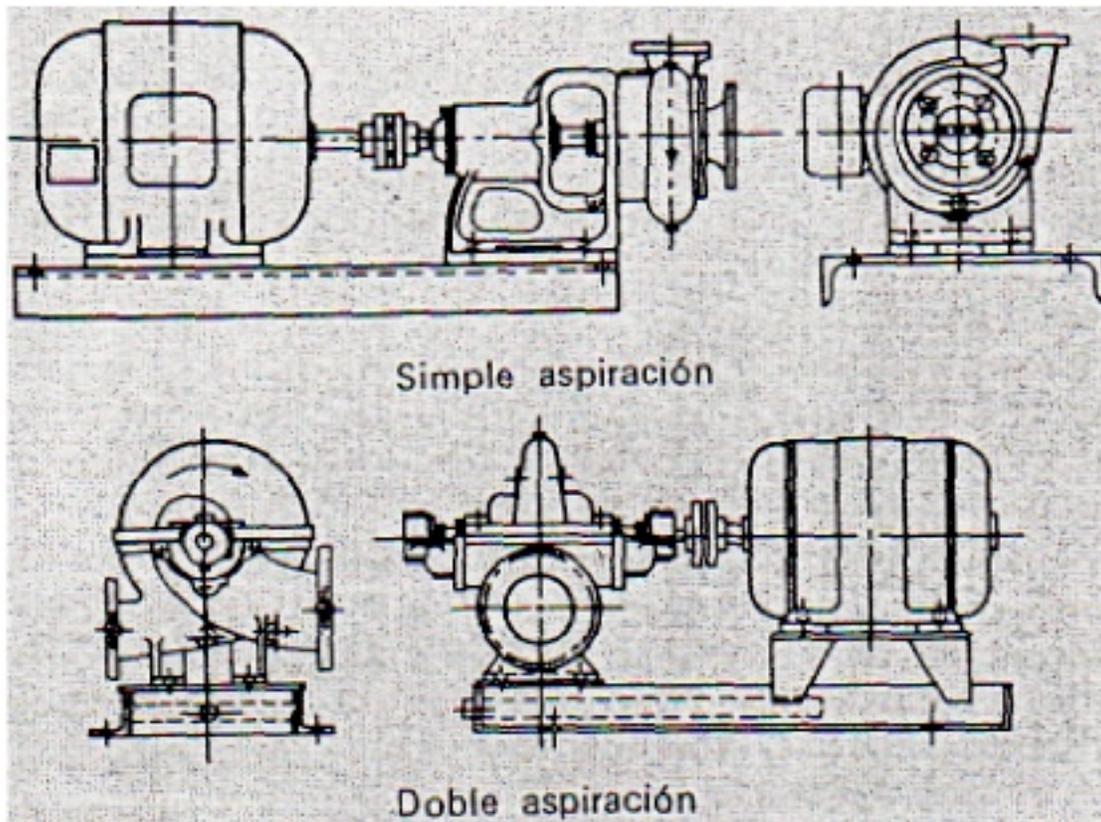


fig. 5. Bombas centrífugas de simple y doble aspiración

Fases

La bomba de una sola fase es la que tiene un solo rodete, con aspiración simple o doble. Si la presión necesaria es mayor que la que puede obtenerse con un solo rodete, se pueden utilizar bombas de dos o más fases en serie, o sea un conjunto de rodetes sobre un mismo eje, y dentro de una sola carcasa. Este último conjunto se designa con el nombre de bomba multi-fase, o multicelular.

Montaje

En relación con el eje de rotación, las bombas centrífugas pueden ser de montaje horizontal o vertical (en algunos casos inclinado). Las bombas horizontales se montan con entradas de aspiración lateral o de aspiración vertical; las bocas de aspiración también pueden estar en la parte superior o en la inferior. Las bombas de aspiración doble se construyen generalmente con bocas de descarga lateral.

Normalmente las bombas de aspiración simple están construidas de forma que pueda adoptarse una posición de entrada de líquido y distintas posiciones de la boca de salida (fig. 6).

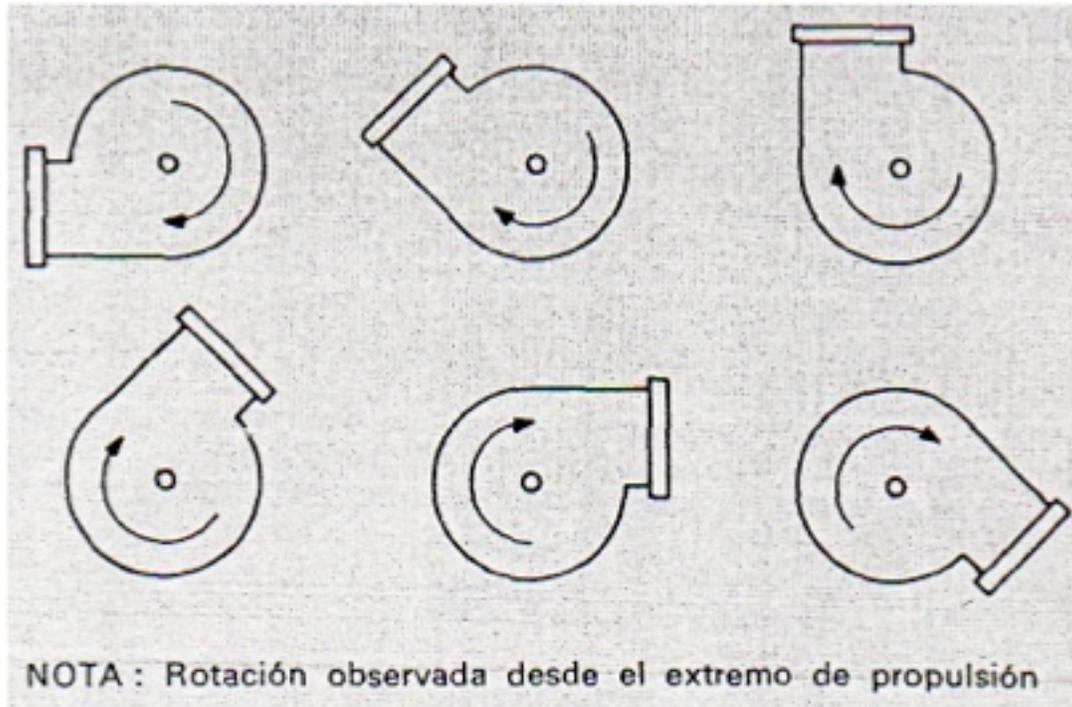


fig. 6. Disposiciones de la boca de salida. Bomba centrífuga de simple aspiración

La boca de salida o descarga es una o dos veces más pequeña que la de aspiración. Las bombas centrífugas se identifican en ocasiones por medio de un número que corresponde al tamaño de la boca de descarga; no obstante, esto no da idea de su capacidad, que tiene que definirse en cada caso.

Rotación

La rotación de la bomba se determina mirando desde el motor hacia la bomba. Si el líquido se mueve dentro de la voluta en el sentido de movimiento de las agujas de un reloj hacia la boca de descarga, se dice que el sentido de giro es dextrorso y en caso contrario siniestroso (o bien, a derecha y a izquierda respectivamente) (figura 7)

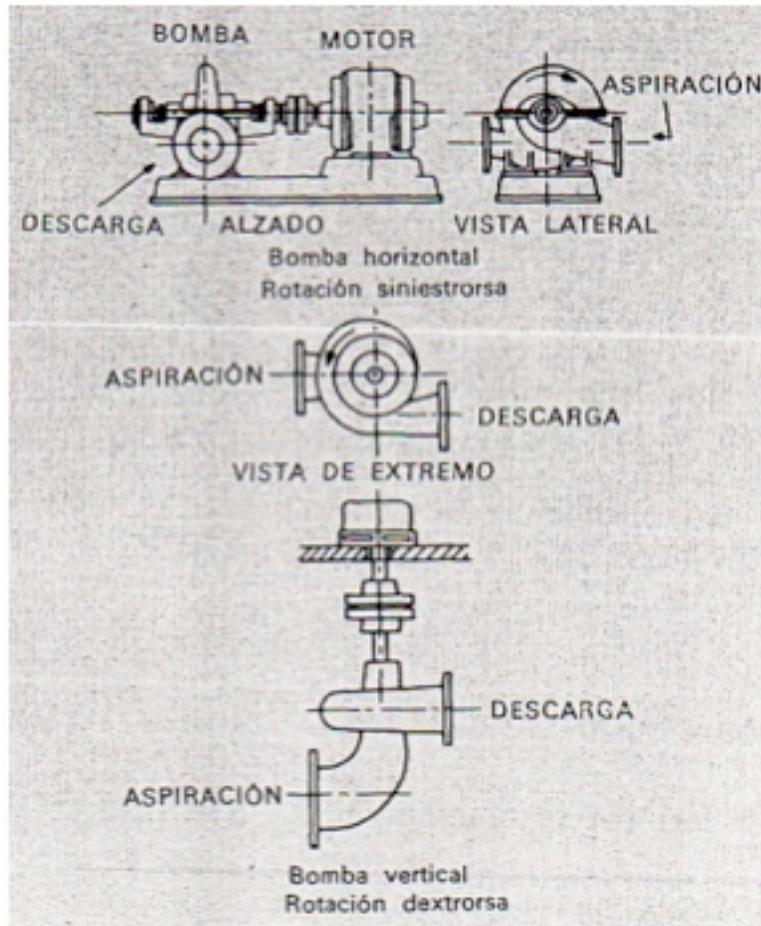


fig. 7. Bomba centrífuga. Designación sentido giro

Accionamiento

Los motores más empleados para mover las bombas centrífugas son los eléctricos. Con bombas pequeñas los motores que más se emplean son los monofásicos con condensador. Entre los polifásicos, los más empleados son los de inducción de jaula de ardilla. En determinadas circunstancias y por razones especiales de distribución de energía o de conveniencia económica del cliente una bomba puede ser movida por un motor síncrono o de rotor bobinado.

Las bombas de tamaños pequeños se encuentran con frecuencia acopladas directamente al motor; el rodete se monta sobre el eje del motor y la voluta y la carcasa del motor forman un solo conjunto. Las bombas son accionadas por motores mediante un acoplamiento.

La disponibilidad de vapor puede sugerir el empleo de una turbina. No debe desestimarse esta posibilidad cuando las bombas de agua fría y el agua de condensación del refrigerante pueden ser impulsadas por una sola turbina con un eje común, ya que ambas bombas funcionan simultáneamente.

Las bombas de gran velocidad (por encima de las 3500 rpm) son particularmente adaptables a la conexión directa con turbinas.

Para casos de emergencia puede disponerse de motores auxiliares para funcionar en el caso de que se averíe el motor principal.

COMPONENTES SUPLEMENTARIOS

Completan el conjunto de la bomba centrífuga formada en esencia por el rodete, el eje y la carcasa una serie de elementos cuya misión es:

Evitar el desgaste del rodete o de la carcasa; al mismo tiempo establecer una separación dentro de esta última entre las zonas de aspiración de baja presión, y las de alta presión en la descarga (anillos de desgaste).

Evitar las fugas hacia dentro o hacia fuera entre el interior de la bomba y el exterior (prensaestopas). El sentido de la fuga dependerá de que la presión en el interior de la bomba sea mayor o menor que la atmosférica.

Soportar y alinear el eje del rodete dentro de la carcasa (cojinetes).

Conectar el eje de la bomba al eje del motor (acoplamiento) a menos que el rodete de la bomba esté montado sobre la prolongación del eje del motor, como ocurre en las bombas de pequeño tamaño.

Soportar el conjunto motor-bomba (bancada).

Anillos de desgaste

Para cumplir la primera misión de protección, la superficie exterior del cubo del rodete, en la zona de aspiración, y la superficie adyacente de la carcasa, están equipados con anillos de desgaste (fig. 8). Se designan respectivamente como anillo del rodete y anillo de la carcasa. Cuando es necesario a causa del desgaste, solamente se substituyen los anillos, en vez de substituir todo el rodete o la carcasa. Existen muchos tipos de anillos en cuanto a su diseño y disposición, como es la disposición en laberinto que puede verse en la figura 8.

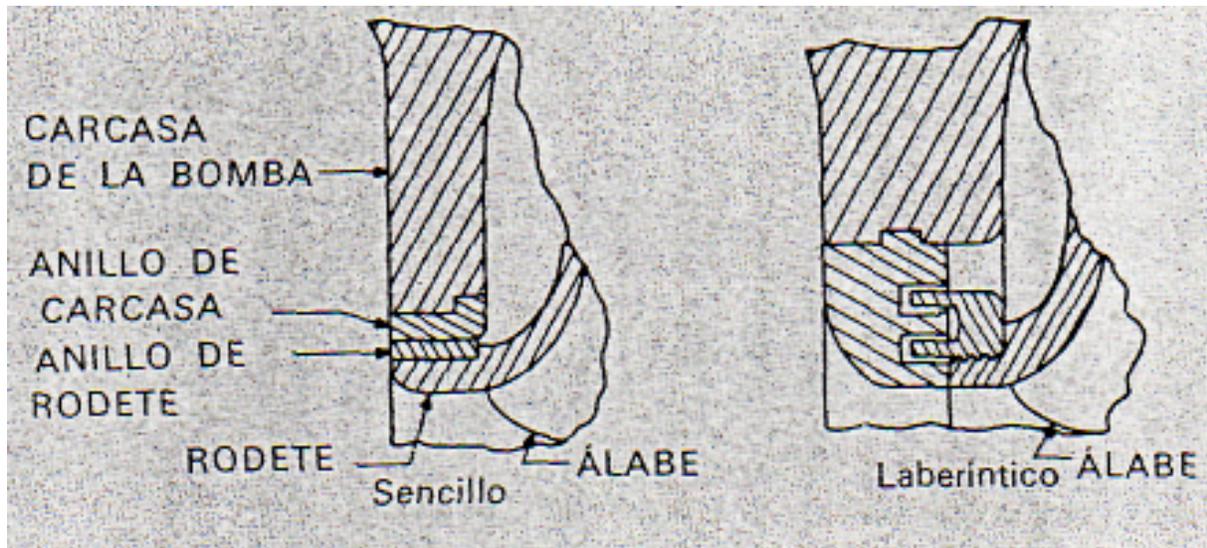


fig. 8. Anillos de desgaste

Eje

El eje, que es un elemento proyectado cuidadosamente, se trata junto con el rodete como un solo elemento giratorio. El eje está protegido contra el desgaste, la corrosión y la erosión, dentro de un soporte fijo, por medio de un manguito acoplado de muy distintas formas. Este manguito cubre el eje por medio de un prensaestopas o de un obturador mecánico. Las bombas muy pequeñas suelen estar construidas con ejes especiales muy resistentes para evitar los inconvenientes del aumento de diámetro del eje acoplado.

Prensaestopas (sello mecánico)

Para evitar las fugas entre el interior y el exterior de la bomba, ésta dispone de una caja de prensaestopas (fig. 9) o de un obturador mecánico. En la caja del prensaestopas la obturación entre el eje o su manguito y el soporte fijo se realiza por medio de unos anillos de materiales especialmente lubricados como el amianto o empaquetaduras metálicas, que se mantienen comprimidos por medio de un casquillo. Cuando se observan fugas, mediante el casquillo o tapa pueden comprimirse hasta cierto límite con lo que vuelve a obtenerse la obturación. La obturación, lubricación y refrigeración se obtienen de la zona de alta presión dentro de la carcasa, o de fuentes externas a la bomba.

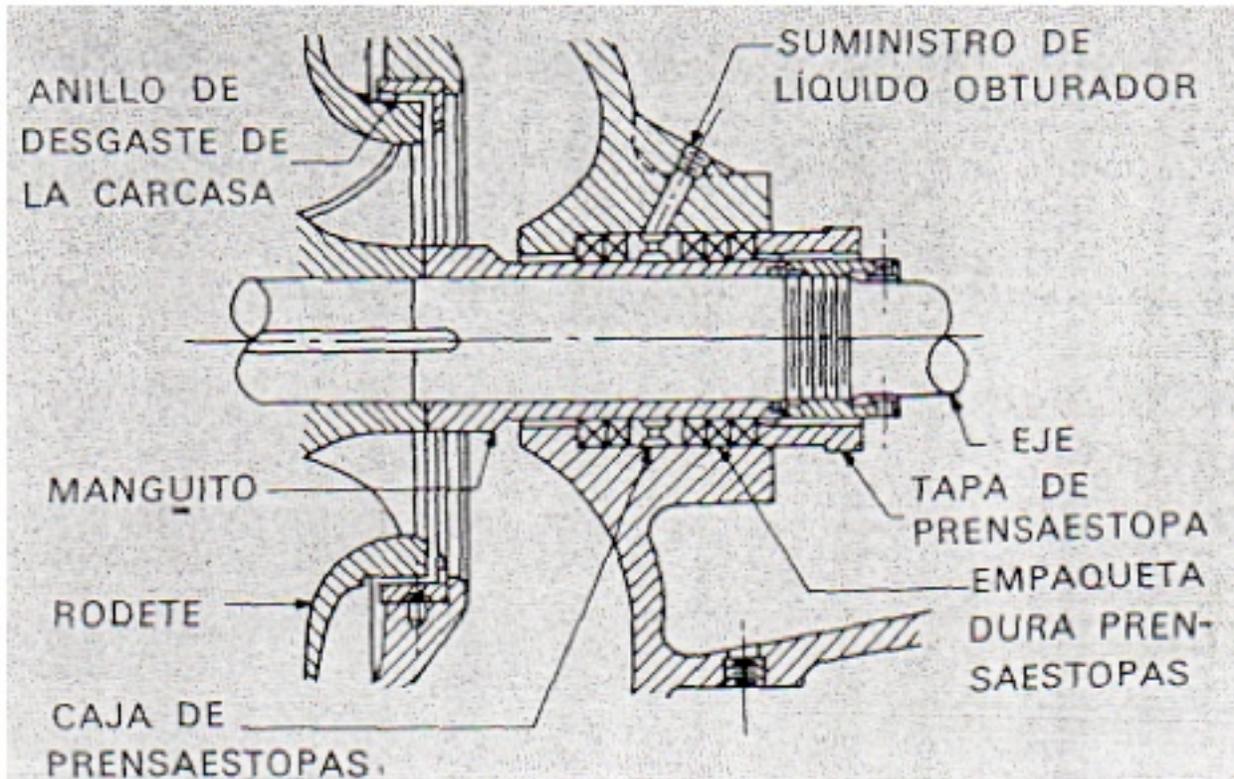


Fig. 9 . Manguito, empaquetadura y caja tapa de prensaestopas.

Sello mecánico

Cuando se manejan líquidos volátiles caros, líquidos a altas temperaturas y distintas presiones o, sencillamente, cuándo se quiere obtener un cierre perfecto, se realiza una obturación mecánica simple o doble, la cual se diferencia de la caja prensaestopas por el sentido de la obturación. El prensaestopas obtura axialmente a lo largo del eje (fig. 9), mientras que el sello mecánico se realiza por contacto de dos superficies muy pulimentadas de metales diferentes, colocados perpendicularmente al eje. La superficie interior, fijada con un muelle, está acoplada al eje y gira con él; la superficie exterior se une a la parte fija de la bomba.

Es muy importante que exista una película de líquido entre las superficies interior y exterior, con objeto de proveer la lubricación y la refrigeración. Los sellos mecánicos se construyen de muchas formas distintas, mejorándose constantemente y reduciendo su coste. Prácticamente no necesitan mantenimiento.

Los grupos motobombas no necesitan ni el prensaestopas ni sellos mecánicos por estar blindados y no tener fugas de ninguna clase.

Cojinetes

Los cojinetes son elementos destinados a soportar el eje y lograr su correcto alineamiento. En las bombas de doble aspiración, los cojinetes están situados a ambos lados de las mismas; uno situado entre la bomba y el motor, cojinete interior, y el otro, situado al otro lado de ella, cojinete exterior. En las bombas de simple aspiración, los dos cojinetes están situados entre el motor y la bomba; llamándose, el más próximo a la bomba, cojinete interior, y el más próximo al motor, exterior. Los cojinetes pueden ser de casquillo (menos empleados) o de rodamientos a bolas, que son los más usuales. Los cojinetes se proyectan con frecuencia para eliminar el empuje que resulta al desequilibrarse las fuerzas que se ejercen en el interior de la bomba al entrar el líquido en ésta.

Acoplamientos

Excepto en los grupos motobombas, existe un acoplamiento entre el motor y la bomba. Hay dos clases de acoplamientos, rígidos y flexibles. El acoplamiento rígido es aquel que no permite el movimiento axial o radial, estando constituido por una conexión rígida que proporciona un eje continuo; este acoplamiento se utiliza en las bombas verticales.

El acoplamiento flexible, al mismo tiempo que transmite la energía del motor a la bomba, permite un ajuste transversal para corregir pequeñas desalineaciones del eje. No obstante, el alineamiento de la bomba no debe omitirse, rígidamente reforzado. La falta de alineamiento produce un golpeteo del eje que se suma al empuje de la bomba y de los cojinetes, y a resulta de todo ello, un desgaste excesivo. La falta de alineamiento no debe tolerarse.

Los acoplamientos flexibles son muy efectivos al proporcionar ajustes laterales (a lo largo del eje) 'a consecuencia de dilataciones térmicas, o desplazamientos del centro magnético del motor. Existen numerosos tipos de acoplamientos flexibles, así como combinaciones adaptables a cada caso particular, tanto en lo referente al funcionamiento como al mantenimiento.

Bancada

El motor y la bomba deben estar perfectamente alineados. Las motobombas están montadas de forma que poseen una alineación y un equilibrio dentro de una misma unidad, pero las bombas que funcionan acopladas a un motor deben montarse, en fábrica o al pie de obra, sobre una bancada de fundición con pernos de acero. El montar y ajustar en fábrica un motor y una bomba sobre la bancada, no garantiza que el montaje sea perfecto, puesto que durante el transporte puede producirse un desajuste de estos elementos. Por este motivo, al realizarse el montaje debe comprobarse el funcionamiento, alineamiento y nivelación. Las bancadas tienen a veces un cerco para el drenaje de las pérdidas que pueda tener la bomba. En caso contrario debe preverse algún medio de drenaje.

Materiales de construcción.

Según la terminología del Hydraulic Institute los materiales que normalmente se utilizan en los distintos elementos de una bomba corriente son: Carcasa de fundición de hierro, eje de acero, rodete de bronce, así como los anillos de desgaste y manguito del eje (cuando se utiliza). Una bomba construida de esta forma (rodete de bronce) se la denomina, en general, simplemente de bronce. Si todas las partes de la bomba que están en contacto con el líquido que va a ser bombeado están hechas de bronce, bomba construida toda en bronce. En el caso de que todas las partes sean de acero o fundición, se denomina construcción toda en hierro. No obstante lo dicho, también se emplean otros materiales cuando las necesidades de la bomba lo requiere. La figura 10 muestra las partes principales de una bomba construida en bronce.

Las bombas centrífugas que se emplean en refrigeración y acondicionamiento de aire se construyen con materiales normales, salvo en los casos especiales de bombeo de líquidos como el agua de mar o salmueras muy corrosivas. También se construyen con materiales especiales en los casos en que se trabaja en condiciones forzadas desde el punto de vista hidráulico, o cuando se manejan líquidos a temperaturas muy bajas. En estos últimos casos deben tenerse en cuenta las características mecánicas de los materiales que componen la bomba. Las bombas que trabajan con agua a temperaturas de 150 a 175 °C pueden utilizar una carcasa normal de fundición.

Cuando el agua está a más de 125 °C o por debajo de 10 °C, deben estudiarse las características del conjunto formado por el eje, rodete y elementos auxiliares, ya que su elección puede ser crítica. Los materiales deben seleccionarse de forma que las dilataciones y contracciones térmicas se equilibren.

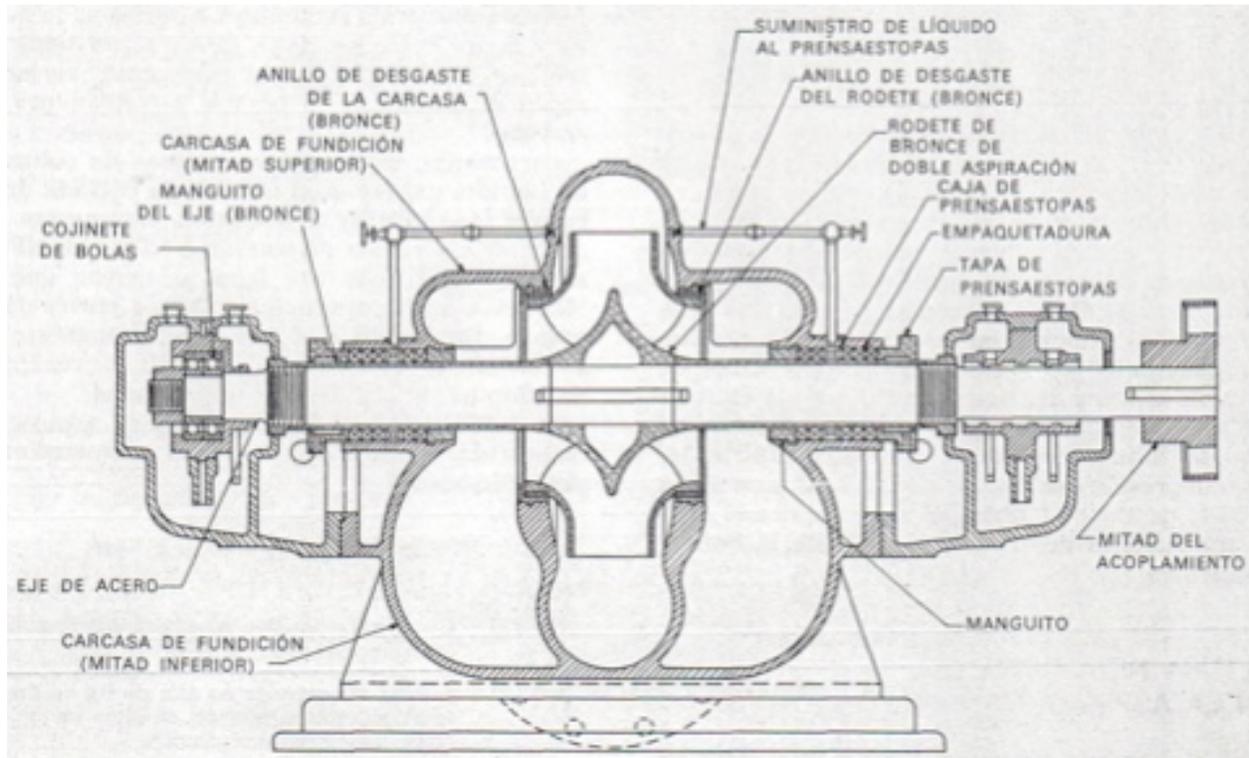


fig. 10. Partes principales de una bomba

Existen dos formas fundamentales de seleccionar los materiales de que debe estar construida la bomba:

Si el ingeniero que proyecta la instalación posee una amplia experiencia sobre el caso que se está tratando, es él quien dicta las normas para la selección.

Si el constructor tiene mucha experiencia en la selección de los materiales adecuados, el ingeniero proyectista le proporciona los datos sobre el líquido bombeado, incluyendo la temperatura y características físicas del mismo a esta temperatura, así como las peculiaridades del funcionamiento.

Los cojinetes y otras partes de la bomba que no están en contacto con el líquido se construyen con los materiales más apropiados que se utilizan normalmente en la industria.

FUNDAMENTOS DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

TEORÍA FUNDAMENTAL

El rodete en rotación imparte fuerza centrífuga al líquido, o sea energía cinética. La voluta (carcasa en forma de caracol) convierte aproximadamente el 50 % de la energía cinética en carga de presión, energía potencial medida en metros de columna de líquido. Cuando éste circula entre los alabes del rodete, se crea una zona de presión reducida en su entrada. La presión atmosférica o presión del sistema y la carga de presión estática del líquido actúan en la entrada de aspiración de la bomba y obliga a entrar al líquido. Esta presión en la entrada de aspiración, más la presión creada por el rodete al girar en la voluta, produce el flujo del líquido, siendo esto el fundamento de funcionamiento de la bomba centrífuga.

ALTURA NETA POSITIVA EN LA ASPIRACIÓN (NPSH)

Si el bombeo se limita sólo al que normalmente se aplica en sistemas de circuito cerrado para acondicionamiento de aire, no hay que preocuparse de que la presión de aspiración sea suficiente para forzar al líquido a entrar en la bomba. Pero a determinada temperatura los líquidos se convierten en vapor cuando son sometidos a una cierta presión, llamada de saturación. En las aplicaciones de acondicionamiento de aire y refrigeración las circunstancias imponen el tratamiento de agua, salmuera y refrigerantes a temperaturas y presiones que plantean problemas en el funcionamiento y la aplicación de la bomba, y el ingeniero tiene que asegurarse de que, cualesquiera que sean dichas circunstancias, el líquido entrara en la bomba con la suficiente presión para no vaporizarse instantáneamente (*flashing*).

Entre la boca de aspiración de la bomba y el punto de mínima presión existente en el rodete, además de la carga debida a la velocidad de aspiración hay una caída de presión debida a las pérdidas originadas por aceleración, rozamiento y turbulencia. La altura total del líquido respecto a una línea o eje de referencia (eje de la bomba centrífuga, si es horizontal) menos la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo y medida en metros de columna del líquido, se denomina *altura neta positiva en la aspiración* o NPSH (del inglés «net positive suction head», *NPSH*). La altura o presión necesaria para hacer llegar el líquido a toda la parte de aspiración y vencer las pérdidas por rozamiento y por aumento de velocidad desde la boca de aspiración de la bomba hasta el punto en que ésta le comunica energía, recibe el nombre de NPSH_r o NPSH *requerida* («required NPSH») de la bomba y figura entre los datos de características nominales facilitados por el fabricante, variando según el diseño de la bomba y condiciones de servicio.

La presión, expresada en metros de columna de líquido, existente en la boca de entrada de la bomba (aspiración) se denomina *altura neta positiva de aspiración*

disponible o NPSHd («NPSH available») y debe ser igual o mayor que la NPSHr, a fin de producir un flujo a través de la bomba. En previsión de un posible aumento de la NPSHr, se deberá considerar la conveniencia de adoptar un coeficiente de seguridad. La NPSHd (altura neta positiva de aspiración disponible) es la suma algebraica determinada por la fórmula:

$$NPSHd = \frac{13,6 (P_a - P_{vp})}{1.000} + H_s - H_f$$

donde:

NPSHd = altura neta positiva de aspiración disponible (presión absoluta, metros).

P_a = presión atmosférica en mm de Hg en un sistema abierto; o presión absoluta en un sistema completamente cerrado.

P_{vp} = presión de vapor del líquido en mm de Hg a la temperatura de bombeo; en un sistema totalmente cerrado es una parte de la presión total P_a .

H_s = Altura geométrica o carga hidrostática (m) por encima o por debajo del eje de la bomba. Si es por encima, la carga estática es positiva; si es por debajo, la carga es negativa y se la denomina también altura de aspiración (*suction Hft*).

H_f = Pérdidas (expresadas en metros) en la conducción de aspiración del sistema, incluyendo la tubería, los acoplamientos, las válvulas y los cambiadores de calor a la velocidad de proyecto (V , en m/seg) dentro del sistema de aspiración.

Las figuras 11 y 12 ilustran la aplicación del cálculo NPSHd a circuitos abiertos y cerrados. En estas figuras se han introducido tres términos adicionales:

H_{vp} = Presión del vapor del líquido (m) a la temperatura de bombeo.

H_e = Pérdida de presión en la entrada (m); pérdida en la entrada del tubo de aspiración en sistemas abiertos.

H_{vse} = Pérdida de presión debida a la velocidad (altura dinámica) en la boca de aspiración de la bomba (m), $(V)^2/2g$. Este término suele ser muy pequeño, como indica la siguiente tabla:

Velocidad m/seg	1	1,5	2	2,5
Altura dinámica, m	0,051	0,115	0,204	0,318
Velocidad m/seg	3	3,5	4	4,5

Altura dinámica, m	0,458	0,624	0,815	1,032
--------------------	-------	-------	-------	-------

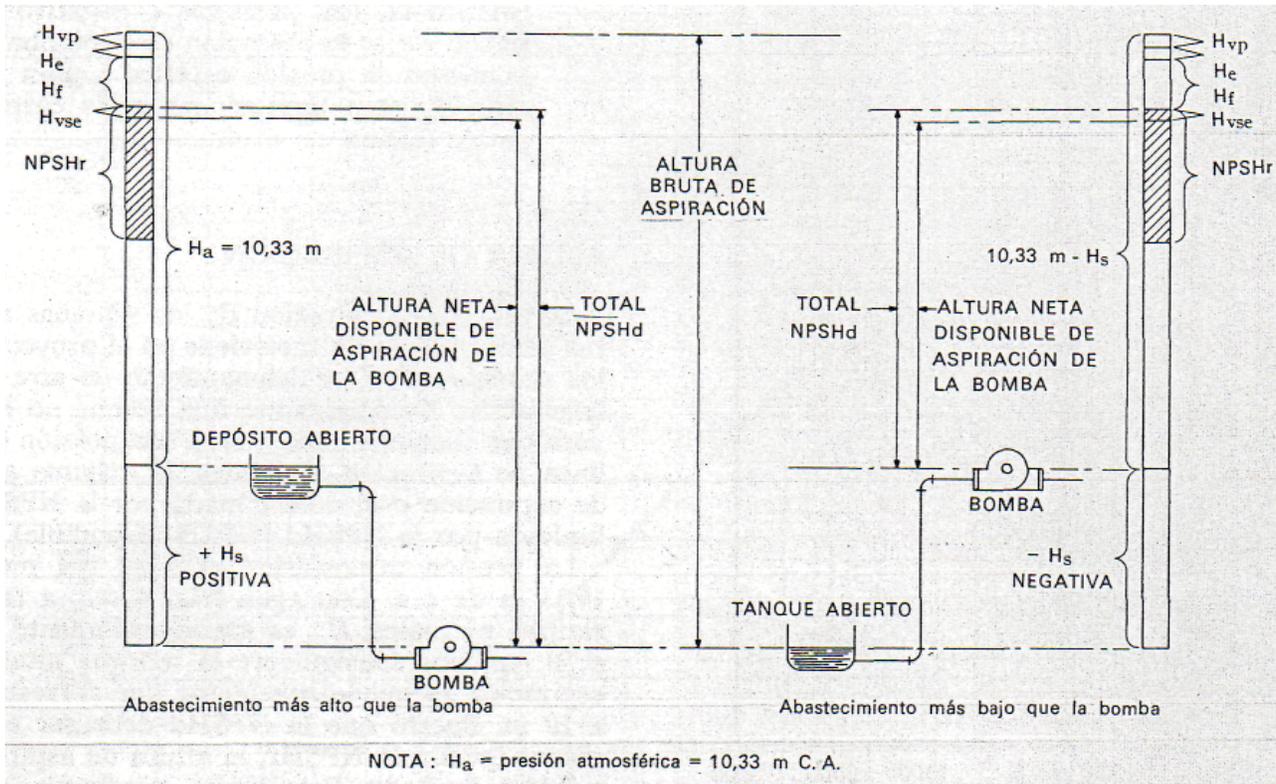


fig. 11. Altura neta positiva en la aspiración. Sistemas abiertos (agua fría)

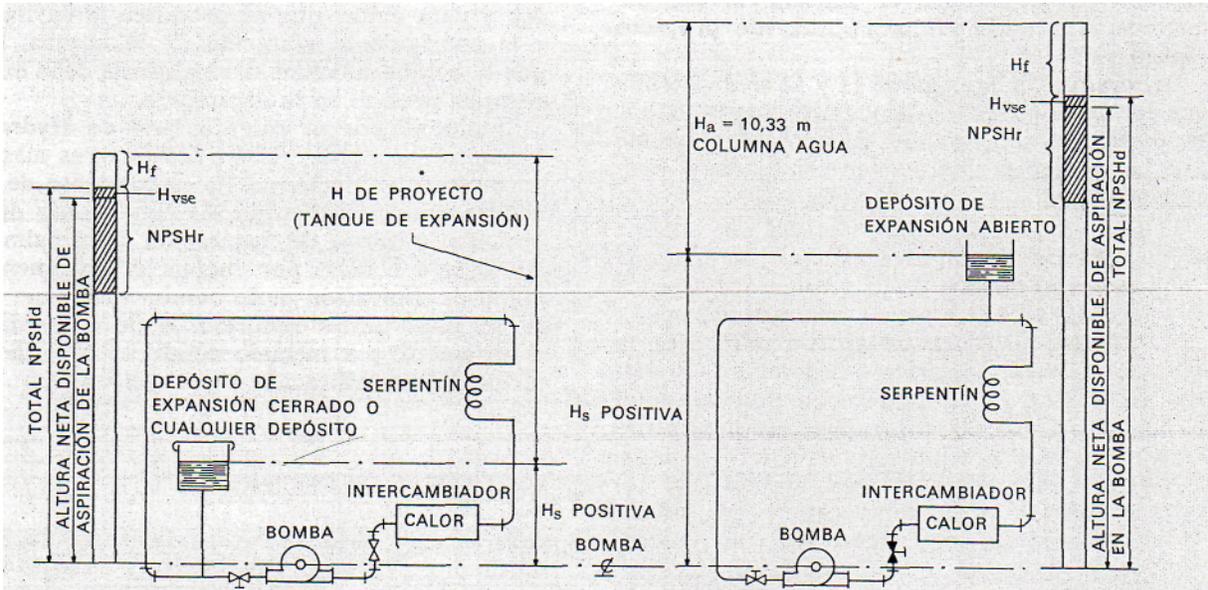


fig. 12. Altura neta positiva en la aspiración. Sistemas cerrados (agua fría)

a. tanque de expansión cerrado y a sobrepresión

b. tanque de expansión abierto a la atmósfera (tanque de expansión) (metros) = presión de proyecto en tanque expansión = $13,6 * (\text{mm hg } 13,6 * \text{kg/cm}^2 \text{ abs } 13,6 * (\text{mm hg presión manométrica} + \text{mm hg presión atmosférica}))$ la presión de vapor del líquido forma parte de la presión del recipiente.

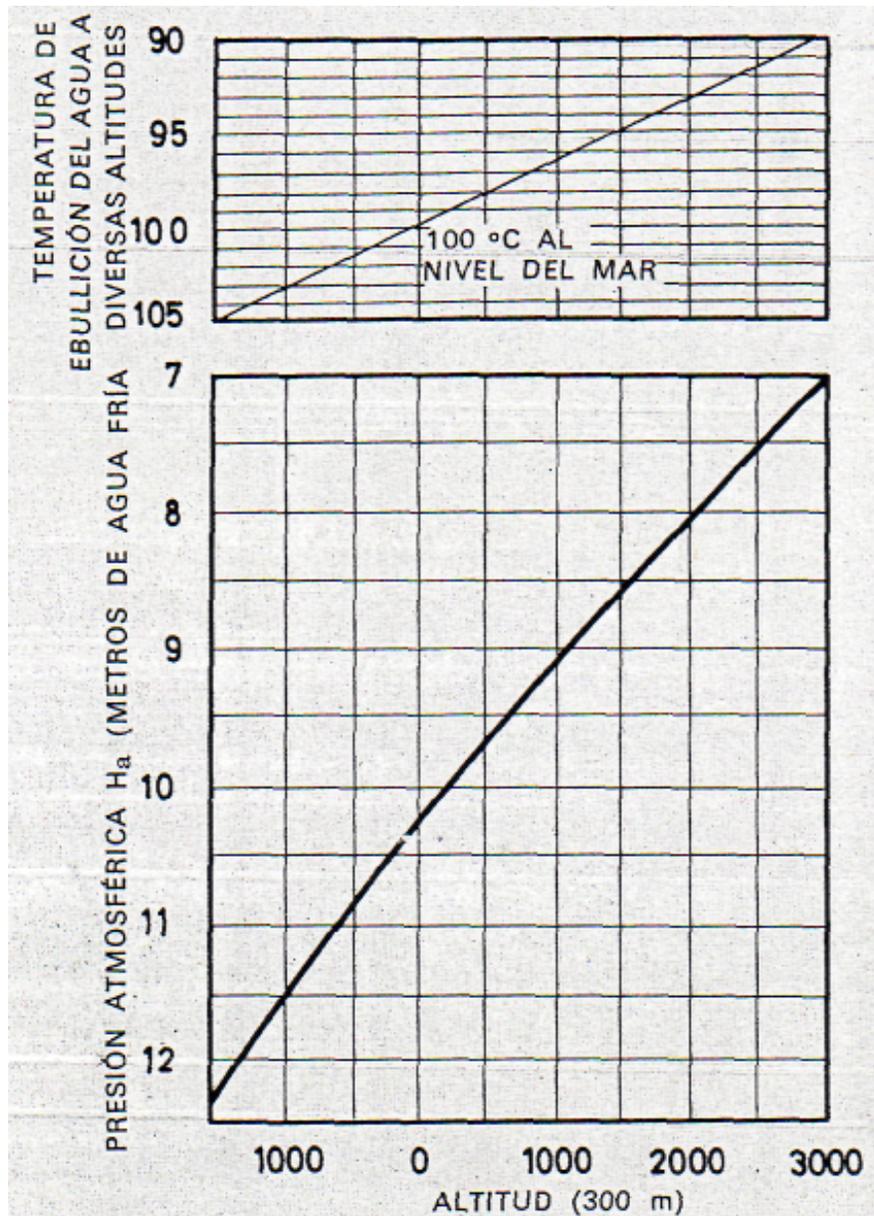


fig. 13. Efecto de la altitud sobre la presión atmosférica

La presión elegida que debe ser mantenida por encima de la presión atmosférica en el circuito superior de un sistema de tubería cerrado determina la presión $H_{<vas08 de en^{\wedge}, i6n\}$ de proyecto (figura 12).

Del examen de las figuras 11 y 12 se desprende que la NPSHd (NPSH disponible) puede variar, en particular con líquidos de propiedades críticas. Las variables que pueden ser fijadas o bien ajustadas son:

Altitud geográfica del sistema por encima o por debajo del nivel del mar; la figura 13 indica el cambio de la presión atmosférica con la altitud (metros columna de agua). Cuanto mayor es la altitud menor es la presión atmosférica disponible (P , en mm Hg o H_a en metros) que influye en un sistema abierto. En un sistema totalmente cerrado la presión P puede ser regulada.

La presión de vapor del líquido (fig. 14) bombeado a la temperatura de funcionamiento $P_{,p}$ (mm Hg) o $H_{,p}$ (m); la figura 14 indica la presión del vapor de agua a varias temperaturas. Esta presión puede o no ser regulada.

Las pérdidas por rozamiento en la tubería de aspiración de la bomba; cuanto mayor es el diámetro del tubo, menores son las pérdidas por rozamiento H , (m) correspondientes a un líquido dado.

4. Altura del depósito productor de la presión estática H , (m, positivos o negativos); se puede variar la ubicación de la bomba para aumentar la presión estática o para reducirla. Existen limitaciones en la carga negativa (altura de aspiración).

ALTURA DE ASPIRACIÓN

La altura de aspiración de los sistemas abiertos generalmente no interviene en el proyecto de los sistemas de acondicionamiento de aire y refrigeración. Esencialmente una bomba no eleva; para que funcione debe existir una presión en su línea de aspiración. Así, pues, la máxima altura de aspiración está determinada por la NPSHr y limitada por la NPSHd (NPSH disponible).

La presión atmosférica al nivel del mar es 10,33 m. de c. a. Con agua fría, o sea, a temperaturas normales, $H_{,f}$ es aproximadamente igual a 30 cm; por consiguiente la máxima altura de aspiración se puede considerar que corresponde a 10 m. Puesto que la NPSHd debe ser por lo menos igual a la NPSHr, la altura de aspiración quedará limitada. Este límite queda fijado por la altura que resulta al restar de la NPSHd (altura neta positiva disponible en la aspiración), las pérdidas de presión H , en la entrada del tubo de aspiración, las pérdidas por rozamiento H , en la conducción de aspiración y la NPSHr (fig. 11) de la bomba y multiplicar por un coeficiente de seguridad en previsión

de posibles irregularidades y para evitar que se produzca la cavitación y la consiguiente vibración de la bomba. Para que la bomba funcione normalmente debe existir siempre presión en la aspiración.

Entre los factores más importantes que afectan al funcionamiento de una bomba centrífuga figuran las condiciones de aspiración. Alturas de aspiración anormalmente altas (bajo NPSH) por encima del régimen nominal de aspiración de la bomba suelen ser causa de importantes reducciones de capacidad y rendimiento, y a menudo conducen a seria perturbación por vibración y cavitación.

VELOCIDAD ESPECÍFICA

En el párrafo B-45 de Hydraulic Institute Standards dice: «El efecto de la altura de aspiración en una bomba centrífuga afecta a su carga (altura), capacidad y velocidad. La relación de estos factores para fines de proyecto se expresa por un índice conocido por velocidad específica».

$$\text{Velocidad específica } N_s = 3,65 \frac{N \cdot Q^{0,5}}{H^{0,75}}$$

siendo:

H = Presión o altura (m)* basada en el rodete de máximo diámetro a la capacidad de proyecto.

Q = Caudal en m^3 / segundo para rendimiento óptimo.

N = Velocidad del rodete en rpm con que se obtienen el caudal y altura máximos.

Se puede definir la velocidad específica como número de revoluciones por minuto a que debe funcionar una bomba de una construcción determinada para elevar 75 kg cada segundo a una altura de un metro, o sea, para una potencia útil de 1 CV. La velocidad específica es un índice del tipo de rodete (fig. 1).

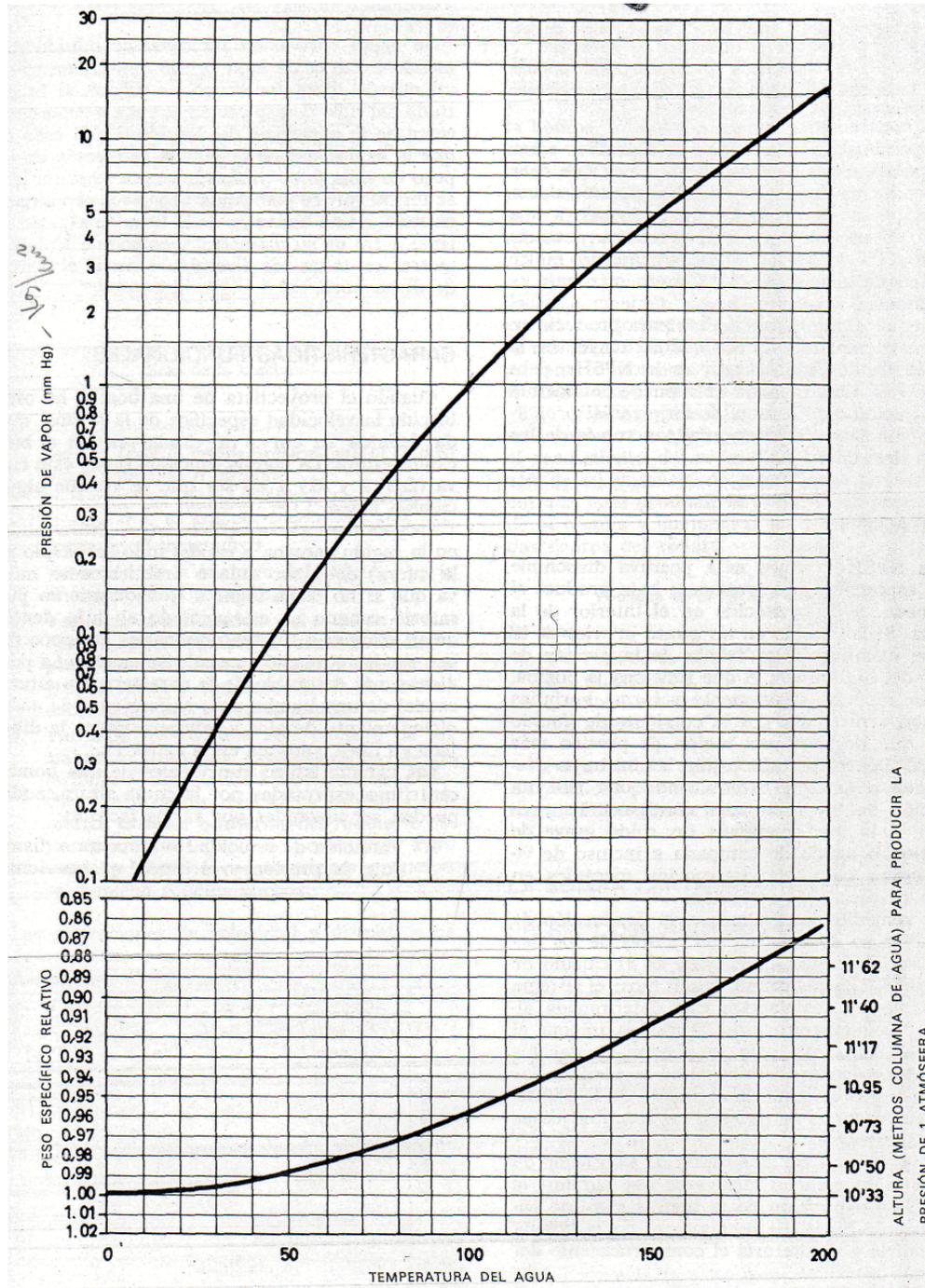


fig. 14. Propiedades del agua a diversas temperaturas

Cuanto más baja es la velocidad específica, mayor tiene que ser el número de alabes de un rodete para producir un flujo estrictamente radial; cuanto mayor es la presión de descarga, menor es la NPSHr, pero la excesiva reducción de ésta puede conducir a la cavitación. Los rodetes de flujo radial proporcionan un flujo mejor regulado a través de los alabes del rodete.

CAVITACIÓN

Una NPSHd (altura neta positiva disponible en la aspiración) excesivamente baja produce el fenómeno de la cavitación en el interior de la bomba. Si la presión en un punto interior de la bomba disminuye por debajo de la presión de vapor del líquido con el que funciona la bomba, éste se vaporiza, súbitamente y forma burbujas que son arrastradas por la corriente de líquido hasta que llegan a una región de presión más elevada. Dentro de esta región las burbujas desaparecen o explotan produciendo una violenta agitación en las superficies contiguas. La cavitación, a la que acompaña un ruido grave de frotación o agudo de campana e incluso de vibración, es causa de destrucción mecánica en forma de picaduras o erosión.

Los remedios para eliminar la producción de cavitación se deducen de los valores de los factores variables que intervienen en el cálculo de la NPSHd. Los dos primeros son fijos: el sistema tiene que ser instalado a una determinada altitud, y la temperatura del líquido la impone el proceso. Por tanto, sólo se pueden ajustar los otros dos factores disminuyendo la pérdida por rozamiento o variando la elevación de la bomba para aumentar la carga estática, o ambas cosas simultáneamente.

No se debe alterar la entrada de aspiración de la bomba, ni pedir al fabricante que agrande la sección de aspiración de la bomba a fin de aumentar la NPSHr. El rendimiento de la bomba disminuiría y se alteraría el comportamiento del rodete.

VÓRTICE

Se llama vórtice a un remolino de líquido formando un área de baja presión en el centro de un círculo. Este fenómeno se origina si la entrada del tubo de aspiración se coloca demasiado cerca de la superficie del líquido. En el caso de que la aspiración de la bomba se efectúe en un pozo de agua poco profundo se puede evitar que se forme vórtice colocando una placa cerca de la entrada, a una distancia de la boca de aspiración igual a $1/3$ de su diámetro, y extendida $2 \sqrt{2}$ diámetros en todas las direcciones desde el centro de dicha boca.

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES

Cuando el proyectista de una bomba ha establecido la velocidad específica de la misma, queda definida su curva de caudal-presión o bien caudal-altura. La bomba funciona según esta curva (figs. 2 y 22) a no ser que se efectúe algún cambio físico.

La pendiente de la característica altura-caudal en la región cercana a caudal nulo (principio de la curva) debe ser nula o prácticamente nula, ya que si no daría lugar a

funcionamiento pulsatorio cuando es estrangulado el flujo dentro de su margen o límites nominales. Tampoco deben ser las curvas demasiado aplanadas. La pendiente más favorable de la característica altura-caudal de una bomba para aplicaciones de acondicionamiento de aire y refrigeración es la dibujada en línea continua en la figura 15.

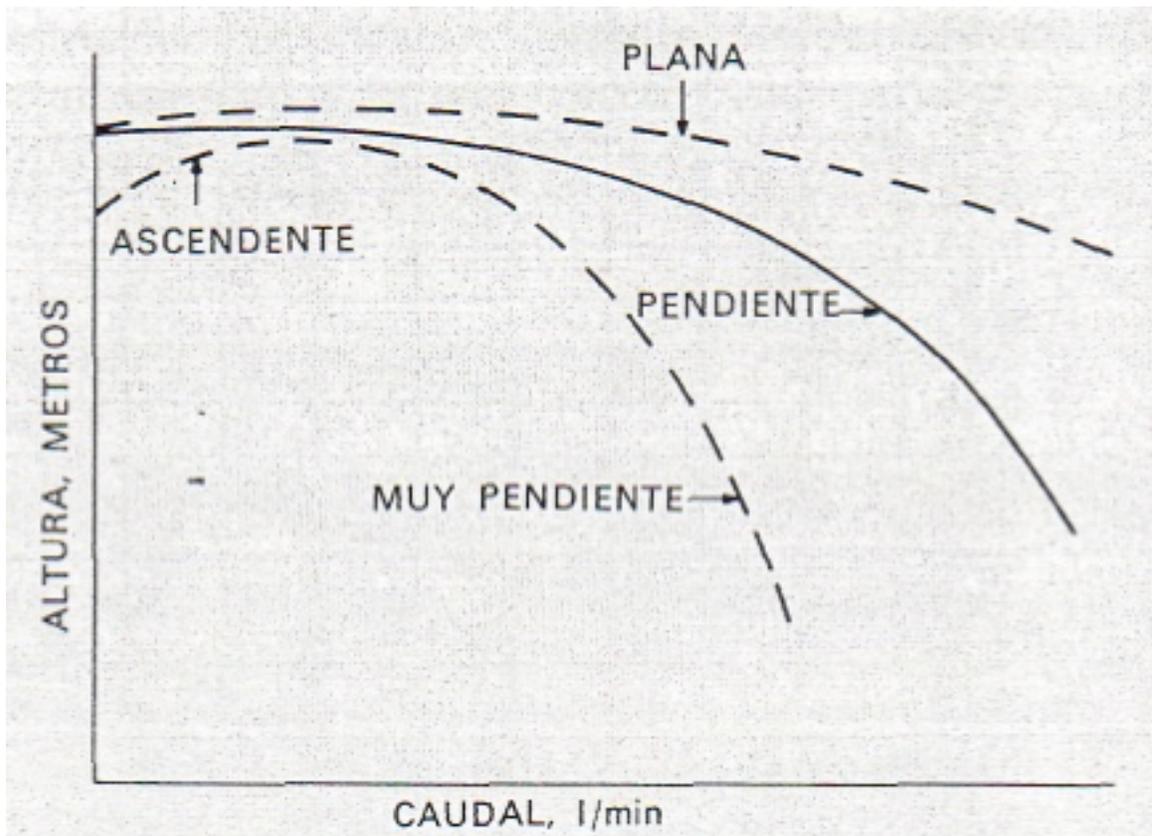


fig. 15. Característica altura-caudal conveniente

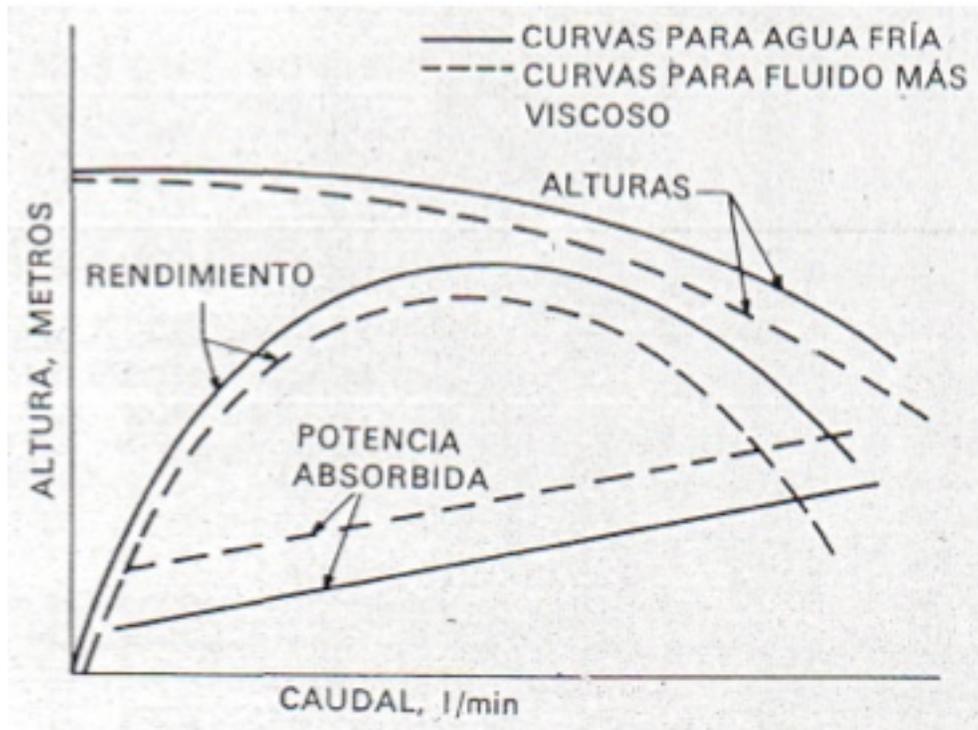


fig. 16. Influencia de la viscosidad sobre las características de la bomba

Las características funcionales de una bomba centrífuga expresadas por la curva altura-caudal pueden ser afectadas por varios factores:

Variación de velocidad — aumenta o disminuye la presión y el caudal proporcionalmente. Toda la curva presión-caudal se desplaza subiendo o bajando.

Variación del diámetro del rodete — varían el caudal y la presión proporcionalmente, como en el apartado 1.

Variación de la anchura del rodete — varía el caudal proporcionalmente.

Variando la inclinación y el número de álabes del rodete cambia la forma de la curva presión-caudal. Con álabes en forma de rayos de rueda o con más álabes se obtiene usualmente una curva aplanada.

Variando los diseños del rodete y de los álabes se producen variaciones en las relaciones presión-caudal. Con rodetes estrechos de mayores relaciones entre los diámetros exterior e interior del rodete se obtienen mayores presiones o alturas. Para caudales grandes con presiones pequeñas se emplean rodetes anchos.

Las alteraciones de velocidad y diámetros de rodete afectan a las características de la bomba como sigue:

$$\frac{\text{rpm}_1}{\text{rpm}_2} \circ \frac{\text{diám rodete}_1}{\text{diám rodete}_2} = \frac{\text{caudal}_1}{\text{caudal}_2} = \left(\frac{\text{presión}_1}{\text{presión}_2} \right)^{1/2} = \left(\frac{\text{potencia}_1}{\text{potencia}_2} \right)^{1/3}$$

o sea:

El caudal varía en razón directa con la velocidad y el diámetro del rodete.

La presión varía en razón directa con el cuadrado.

La potencia en el eje varía en razón directa con el cubo.

El comportamiento de una bomba centrífuga es afectado cuando funciona con líquidos viscosos. Los efectos son un notable aumento de la potencia en el eje y la disminución de la presión, el caudal y el rendimiento (fig. 16).

POTENCIA Y RENDIMIENTO

Para el correcto funcionamiento y aplicación de la bomba se deben calcular dos factores: la potencia de bombeo del líquido o potencia útil y la potencia que debe ser aplicada al eje de la bomba, o potencia motor, para obtener la anterior (potencia que tiene en cuenta el rendimiento de la bomba). La potencia neta necesaria para el bombeo del líquido es el producto del peso de líquido bombeado (litros/minuto), por la altura o presión de la bomba (m), por los factores de conversión. La potencia motor es la potencia real suministrada al rodete, la potencia absorbida por la bomba o la potencia *útil* dividida por el rendimiento de la bomba. Este último es la relación entre la potencia útil (teórica) y la de entrada, o potencia mecánica real (que es una cantidad mayor debido a las pérdidas que se originan en la máquina). El rendimiento se expresa en forma decimal, y no debe ser confundido con el rendimiento del rodete, ya que éste es la razón de su potencia de salida a su potencia de entrada para producir la potencia de propulsión de la bomba y compensar las pérdidas producidas dentro del rodete.

$$P = \frac{Q \cdot H_{\text{man}}}{75 \cdot \rho}$$

Potencia en el eje =

En donde:

P = Potencia en CV.

Q = Caudal en l/s.

H_{man} = Altura manométrica en m c.a.

ρ = Rendimiento.

La viscosidad* del líquido bombeado afecta a las pérdidas por rozamiento y por tanto a la potencia motriz de la bomba.

LA BOMBA CENTRÍFUGA Y EL SISTEMA

PRESIÓN DEL SISTEMA

La circulación de líquido en un sistema de tubería que comprende acoplamientos, válvulas e Ínter cambiadores de calor requiere una presión capaz de vencer las pérdidas de presión debidas a la velocidad o altura dinámica (generalmente insignificante), pérdidas de presión debidas al rozamiento y superar una carga o presión estática. Así, en todo sistema de tubería la carga, presión o altura del sistema es la suma algebraica de la presión estática en la boca de aspiración más las pérdidas por rozamiento producidas en todo el sistema de flujo del líquido. Con el aumento de éste las pérdidas por rozamiento aumentan aproximadamente con el cuadrado del flujo; cuando se representa gráficamente la altura o presión en función del caudal, se obtiene una curva de forma parabólica (fig. 17).

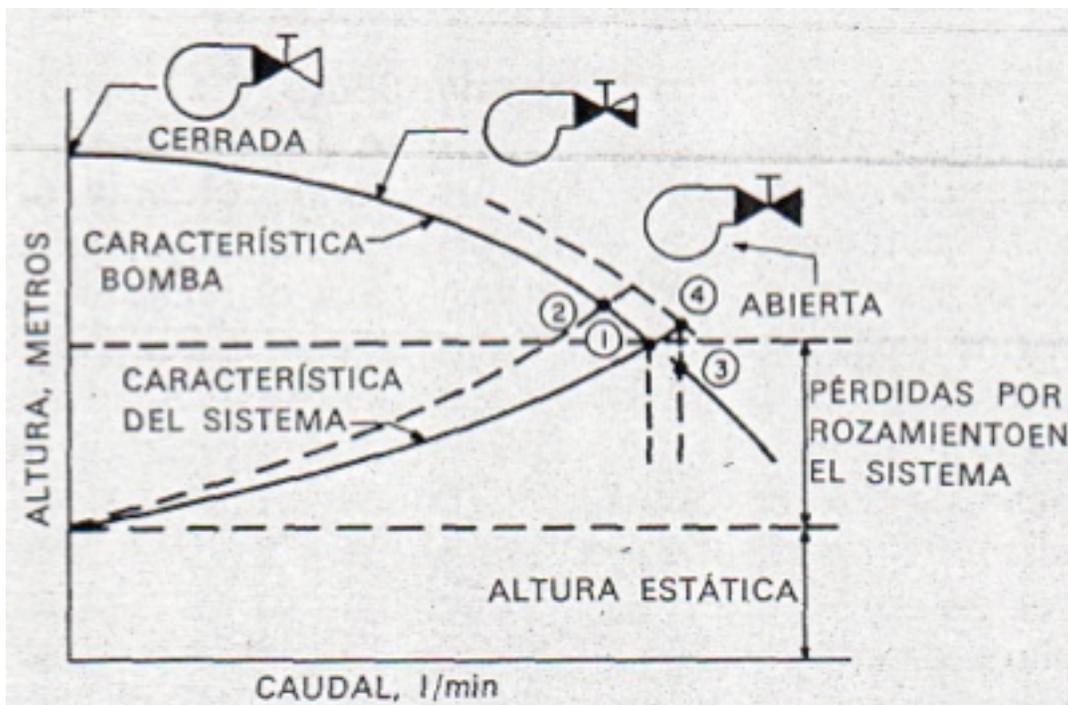


Fig. 17. Intersección característica de la bomba y del sistema.

* Las viscosidades y los pesos específicos correspondientes a varias salmueras y temperaturas medias de éstas se encontrarán en la Parte 4. Las viscosidades deben ser expresadas en unidades convenientes.

FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA EN EL SISTEMA

Una bomba centrífuga dada funciona de acuerdo con su característica propia altura-caudal. El caudal entregado por la bomba viene determinado por la intersección de las curvas características altura-caudal de la bomba y del sistema (punto 1, fig. 17). Si mediante la válvula reguladora de caudal se disminuye éste, el punto de funcionamiento se desplaza hacia arriba en la curva de altura-caudal (punto 2); si se desea obtener mayor caudal para que el punto de funcionamiento descienda en la curva (punto 3) se deberá facilitar la circulación del líquido en el sistema para reducir las pérdidas por rozamiento, o bien habrá que aumentar la velocidad de la bomba o aumentar el diámetro del rodete. Entonces se establece una nueva curva presión-caudal (punto 4). El ingeniero debe analizar cuidadosamente el sistema y elegir la bomba mediante estudio de las curvas características presión-caudal (o altura-caudal).

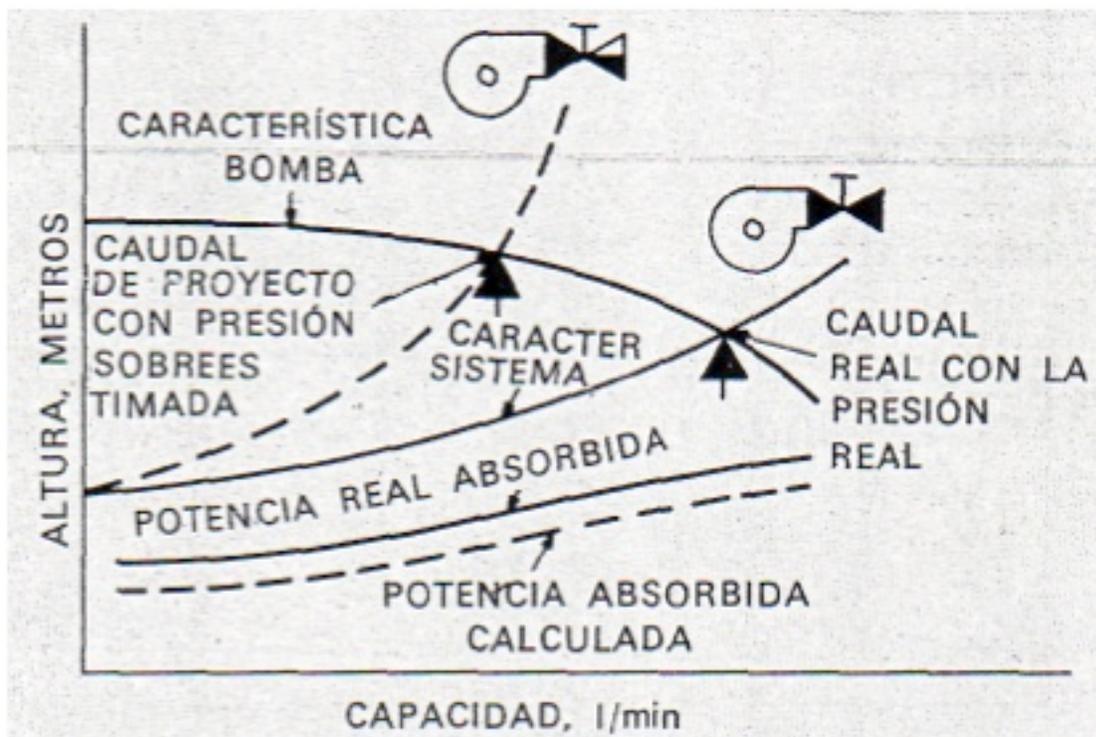


Fig. 18. Efecto de sobre - estimar la presión del sistema.

Si se sobrestima la presión del sistema y se selecciona la bomba con una curva alta de presión-caudal, el resultado puede ser desafortunado. La bomba funcionará, de acuerdo con su curva característica presión-caudal, produciendo mayor caudal con presión disminuida y un mayor consumo de potencia (fig. 18). La presión del sistema se debe calcular siempre con un factor de seguridad que no sea injustificadamente grande y lo más aproximada posible al verdadero valor en la práctica, a fin de impedir posibles dispendios de potencia o posibles sobrecargas del motor de la bomba en un sistema que no posea válvulas de regulación de caudal.

El cálculo de la verdadera presión es especialmente importante cuando se proyecta un sistema con bombas en paralelo o en serie.

FUNCIONAMIENTO EN PARALELO

El funcionamiento de bombas en paralelo multiplica el caudal con la misma presión (fig. 19).

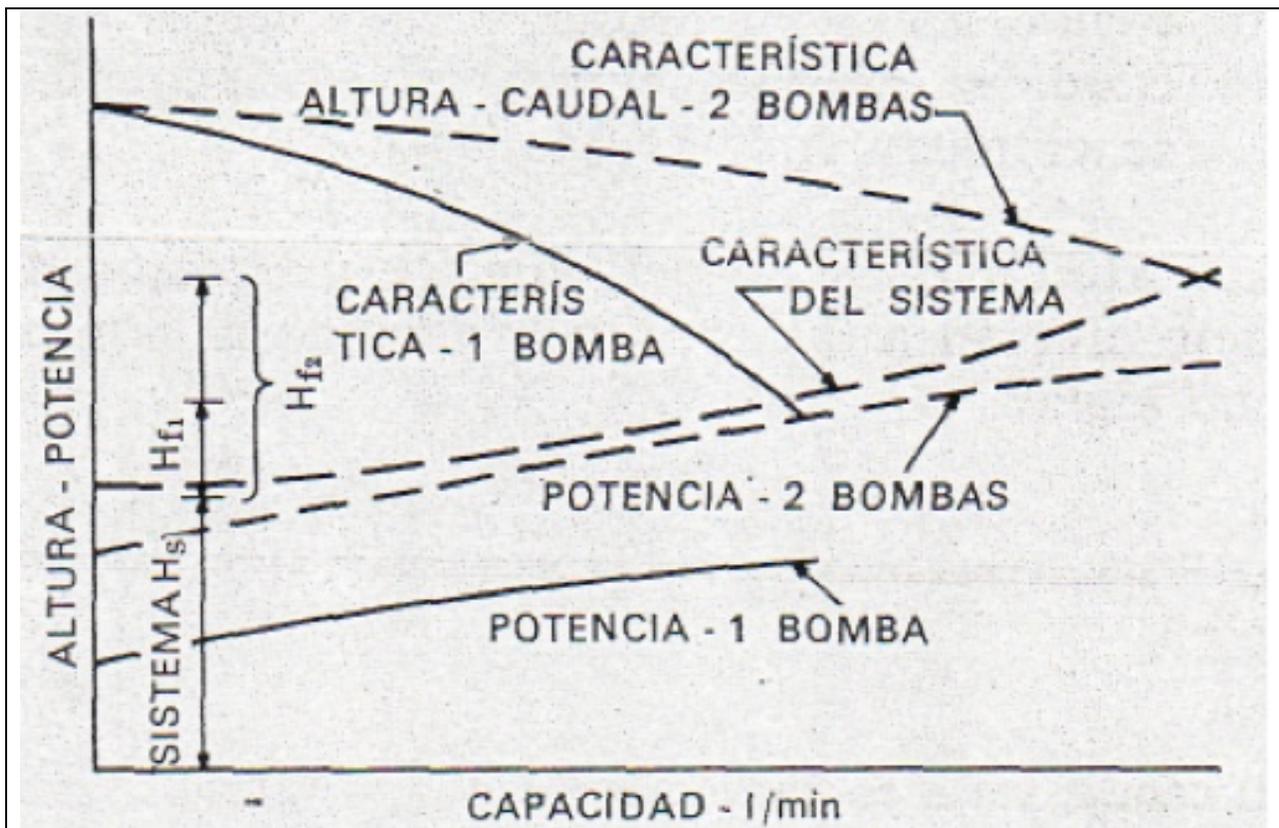


Fig. 19. Dos bombas de la misma capacidad, funcionamiento en paralelo.

Este tipo de aplicación es apropiado para un sistema que requiera gran capacidad o caudal con presión relativamente baja o para sistemas variables en que varias bombas pequeñas asumen la carga, pudiéndose parar una o más bombas cuando convenga. Las características de las bombas deben ser iguales, y los márgenes de potencia de los motores propulsores deben ser amplios para evitar la sobrecarga cuando funcionen solas.

FUNCIONAMIENTO EN SERIE

El funcionamiento de bombas en serie multiplica la presión con el mismo caudal correspondiente a una de ellas (fig. 20). Este tipo de aplicación es apropiado para sistemas que requieran alta presión con caudal relativamente pequeño. Debe calcularse meticulosamente el caudal para salvaguardar la bomba reforzadora. Normalmente el flujo serie lo provee una bomba multicelular o de varias etapas.

EDIFICIOS ALTOS

El funcionamiento de bombas situadas en la base de altos edificios requiere un análisis de las presiones en los lados de descarga y de aspiración de la bomba. La presión estática del líquido en el sistema de tubería más la presión desarrollada en la bomba puede requerir el uso de tubería reforzada y de acoplamientos y carcasa o envolvente de bomba también reforzados.

PRESIÓN DE TRABAJO

La presión de trabajo en la carcasa de la bomba es la presión total desarrollada por la bomba para contrarrestar las pérdidas por rozamiento del sistema, más la presión estática, menos pérdidas por rozamiento en la tubería o línea de aspiración de la bomba desde la unión de la línea del vaso o tanque de expansión hasta la entrada de la bomba. El problema propuesto en la figura 21 y su solución sirve de ejemplo.

Ejemplo 1. Calcular la altura total y la presión de trabajo Solución:

(basada en los datos de la figura 21 y de Parte 3, capítulo 2, Tuberías de agua)

Pérdidas por rozamiento H_f , línea de aspiración (desde el tanque de expansión hasta la bomba)

tubo recto = 29 m

cinco codos = 15 m

una válvula de compuerta = 2,1 m

presión total de aspiración = 46,1 m

luego 46,1 x 22,5 mm c.a.

por m = 1.037,25 mm

$H_f=1,03$ m Pérdidas por rozamiento

H_f , tubería de descarga (desde la bomba hasta el tanque de expansión)

tubo recto = 58 m

un ensanchamiento $2/3 = 2,7$ m
 seis codos = 18 m
 cuatro válvulas de compuerta = 8,4 m
 una válvula esférica = 52 m
 presión total descarga = 139,1 m,
 luego $139,1 \times 22,5$ milímetros c.a. por m = 3.121,75 mm
 $H_i = 3,12$ m
 Pérdidas totales por rozamiento en el sistema de bomba H_j
 tubería de aspiración = 1,03 m
 tubería de descarga = 3,12 m
 intercambiador de calor = 6 m
 serpentín = 3,5 m
 presión total-bomba = 13,65 m
 Presión de trabajo en carcasa bomba
 presión estática = 25 m
 menos tubería aspiración $H_i = 1,03$ m
 subtotal = 23,97 m
 más presión sistema $H_i = 13,65$ m
 presión de trabajo = 37,62 m c.a.;

Altura manométrica de aspiración

presión estática = $25 - 1 = 24$ m
 menos H_j de tubo recto* = 27 m
 3 codos = 9 m
 1 válvula compuerta = 2,1 m
 $27 + 9 + 2,1 = 38,1$ m
 menos presión aspiración = $38,1 \times 22,5$ mm c.a.
 por metro = 857,25 mm = - 0,85 m
 Neta = 23,15 m
 Presión de aspiración = 23,15 kg/cm²
 Altura manométrica de descarga
 altura manométrica de aspiración más pérdida total por rozamiento
 $H_j = 23,15 + 13,65 = 36,80$ m
 menos H_i de tubo recto** = 4 m
 1 ensanchamiento = 2,7 m
 3 codos = 9 m
 $4 + 2,7 + 9 = 15,7$ m
 menos altura de impulsión o descarga = $15,7 \text{ m} \times 22,5^* \text{ mm c.a. por m} = 353,25 \text{ mm}$
 = - 0,35 m
 Neta = 36,45 m

presión de descarga = 36,45 m = 3,52 kg/cm²

* Distancia entre el medio de expansión y el manómetro.

** Distancia entre los manómetros.

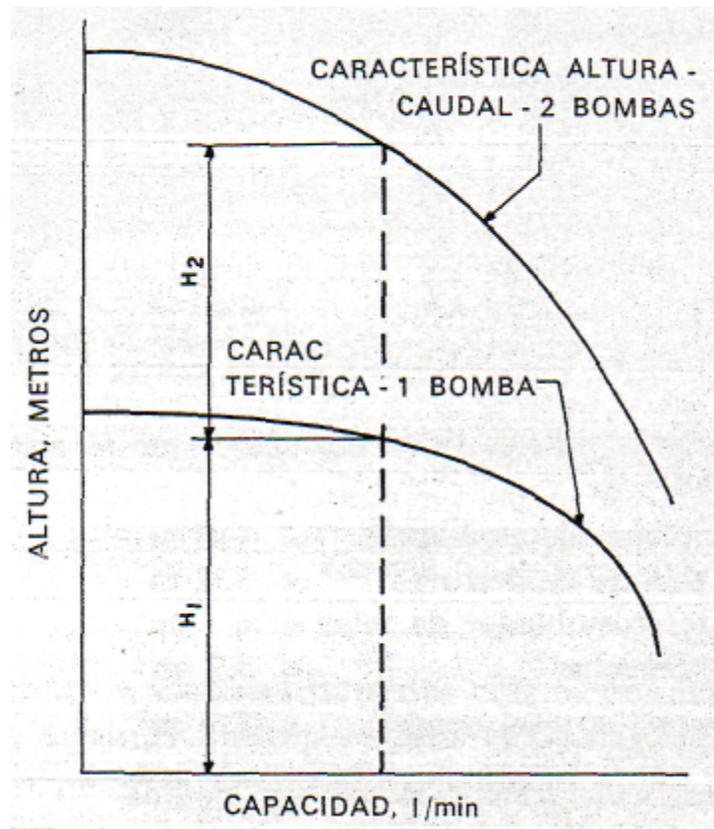


fig. 20. Dos bombas de igual capacidad, funcionamiento en serie

RUIDO

La bomba centrífuga es una máquina relativamente silenciosa, pero son posibles perturbaciones producidas por el ventilador del motor, los cojinetes y ruido magnético además de las perturbaciones hidráulicas y mecánicas originadas en la propia bomba.

Una bomba accionada por una máquina motriz demasiado grande puede provocar una vibración de frecuencia fija (número de revoluciones por minuto, por número de alabes, dividido por 60). Para que el funcionamiento sea silencioso se recomienda que el diámetro de la máquina motriz sea un 10 a 15 % más pequeño que la mayor dimensión de la carcasa de la bomba.

El funcionamiento de la bomba en condiciones de una NPSH insuficiente debe ser evitado para impedir que se produzcan o aumenten el ruido y la cavitación. Se deben emplear bombas bien proyectadas que funcionen a velocidades comprendidas entre 1.750 y 3.500 rpm. La frecuencia de una bomba puede coincidir con la frecuencia natural o de vibración propia del sistema de tuberías o de la estructura del edificio, y en tal caso debe evitarse el ruido producido por resonancia mecánica.

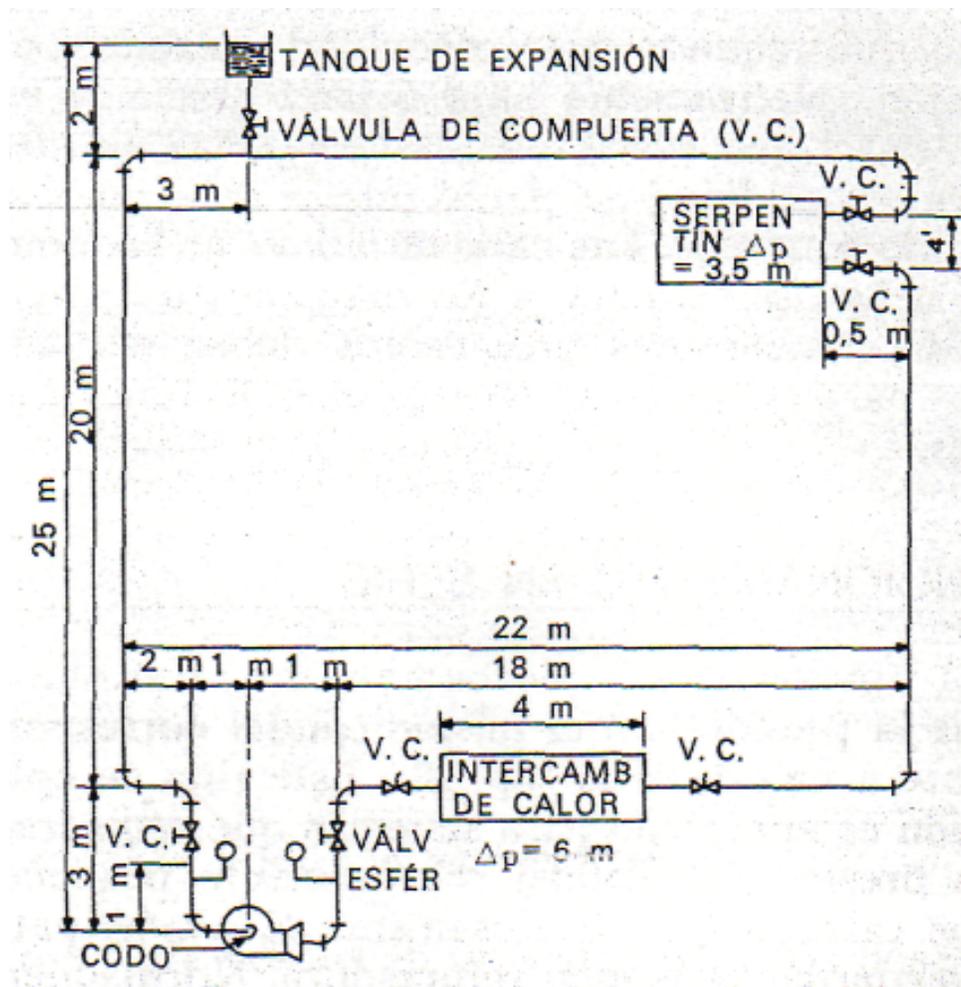


fig. 21. Altura total del sistema de bomba y presión de trabajo en la carcasa de la bomba

Datos :
2.250 l/min de agua
Tubo de acero de 6", standard

Codos, radio grande, $R/D = 1,5$

Hallar:

Altura o presión total de bomba (metros)

Presión de trabajo de la carcasa de la bomba (kg/cm^2)

Presión de aspiración (kg/cm^2)

Presión de descarga (kg/cm^2)

SELECCIÓN DE LA BOMBA

Las bombas se eligen basándose en las curvas características de las mismas dadas por el fabricante (fig. 22). La mayoría de bombas están proyectadas para que funcionen a pleno rendimiento en el punto medio de su característica presión-caudal. La selección en el punto de máximo rendimiento, o algo desplazado a la izquierda, contribuye a simplificar los problemas de ruido y vibración. En cambio, si su punto de funcionamiento se elige demasiado distanciado a la derecha del de máximo rendimiento, puede producirse la cavitación por aumento de la NPSHr.

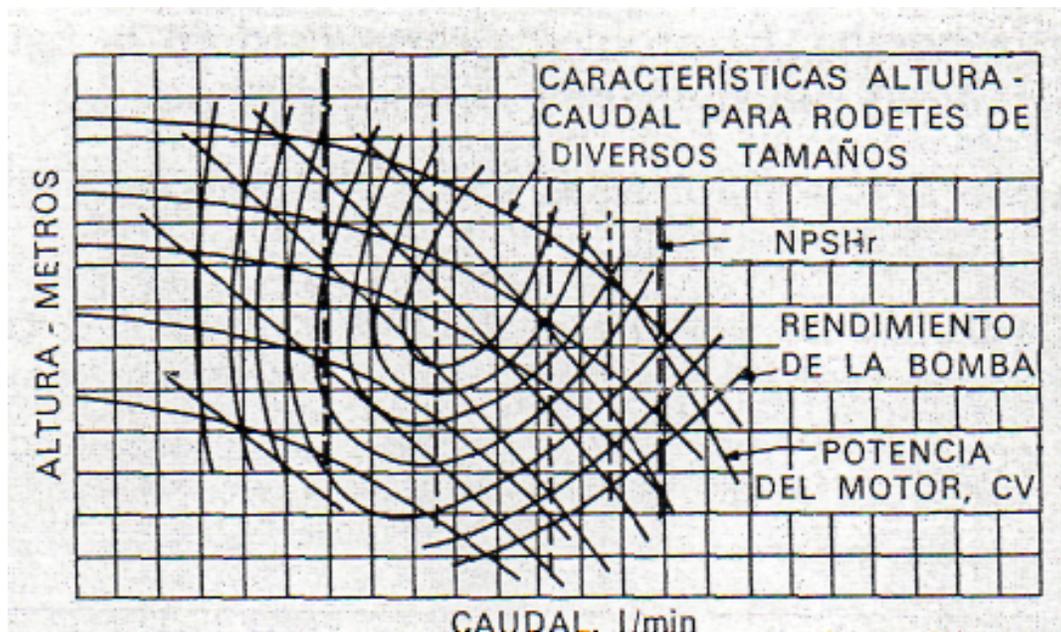


fig. 22. Curvas típicas para la selección de la bomba

El rendimiento de la bomba no es el único criterio de selección; también hay que tener en cuenta los costes de funcionamiento y de adquisición y que funcione silenciosamente.

SELECCIÓN DEL MOTOR

La potencia del motor seleccionado para propulsar una bomba debe ser igual o mayor que la de la potencia necesaria en el eje de la misma para el punto de funcionamiento de la característica presión-caudal de la bomba. Siempre existe el riesgo de que la bomba funcione fuera del punto de trabajo elegido y que se sobrecargue el motor. En las combinaciones de bomba y motor no sobrecargables se ha adoptado una potencia del motor mayor que la potencia al freno o útil de la bomba y está provisto un margen de seguridad. Si la bomba está provista de rodete no sobrecargable, se puede elegir un motor de menor potencia. En cualquiera de los casos la potencia útil es la misma.

INSTALACIÓN DE LA BOMBA CENTRÍFUGA

En la aplicación de una bomba centrífuga hay que tener en cuenta algunas condiciones que, aunque no son intrínsecas de la propia bomba, son importantes en la instalación.

La tubería de aspiración debe ser todo lo recta posible en la proximidad de la bomba y todos los codos deben ser de radio grande.

En la entrada de aspiración de la bomba debe ser conectada una sección recta de tubo para que el líquido siga una trayectoria rectilínea hasta entrar en la bomba; esto es particularmente importante en las bombas de doble aspiración.

El diámetro del tubo de aspiración debe ser una o dos veces mayor que el de la entrada de la bomba.

Con una tubería de aspiración sobredimensionada se debe emplear un reductor excéntrico para que la superficie superior del tubo quede alineada horizontalmente..

La tubería de aspiración debe ser hermética al aire y no debe haber en ella puntos altos en que el aire o los gases puedan separarse del líquido.

En un sistema de varias bombas se deben instalar una válvula de retención y una válvula de compuerta en las descargas de las bombas. Se las instalará en el orden enumerado para que se pueda operar en la primera sin vaciar la línea de descarga.

Los soportes de las conexiones de los tubos de aspiración y de descarga deben ser independientes y no deben ejercer esfuerzos sobre la bomba.

La tubería de aspiración de una bomba que funcione con presión estática negativa (altura de aspiración) no debe tener más válvulas que una de aspiración o de pie. La tubería de aspiración debe ser de diámetro grande y lo más directa posible.

AISLAMIENTO

No es aconsejable proveer de aislamiento anti vibratorio a las bombas destinadas a los servicios de agua enfriada (salmuera) o agua caliente. Tampoco se tienen que aislar las

bombas para agua de condensación de refrigerante. En todo caso, el aislamiento debe aplicarse de modo que permite desarmar la bomba sin romper el aislamiento.

AISLAMIENTO EN EL SUELO

El corcho no es un material aislante eficaz con velocidades inferiores a 2.000 rpm. Los tacos de caucho o caucho corrugado son eficaces en instalaciones hechas en planta baja. En instalaciones más críticas y en suelos situados por encima de espacios ocupados (especialmente oficinas, despachos, bibliotecas y hospitales) se recomienda emplear muelles de acero para que la eficacia del aislamiento se aproxime al 100 %. Como masa amortiguadora puede servir un cimientado o basamento de hormigón cuyo peso sea igual o doble que el de la maquinaria.

BASAMENTO

Donde los requisitos de aislamiento anti vibratorio de una bomba centrífuga sean mínimos (sótanos, ubicación exterior o remota) es conveniente un basamento para que la bomba no esté al nivel del suelo.

PUESTA EN MARCHA

Si la bomba no se ceba por sí misma, deberá ser cebada antes del arranque.

Cuando arranca la bomba, generalmente la válvula de descarga está cerrada y luego se abre gradualmente sin riesgo de sobrecarga del motor.

Los fabricantes de bombas incluyen una extensa información en sus catálogos y manuales, incluyendo las instrucciones de montaje y mantenimiento, con numerosos trabajos de sus ingenieros.

Bibliografía

CENTRIFUGAL AND AXIAL FLOW PUMPS, segunda edición, por A. J. Stepanoff, 1957.

- Revisión de la información disponible relacionada con los equipos de bombeo centrífugos y las curvas características que se ofertan en el mercado, así como su normativa vigente.

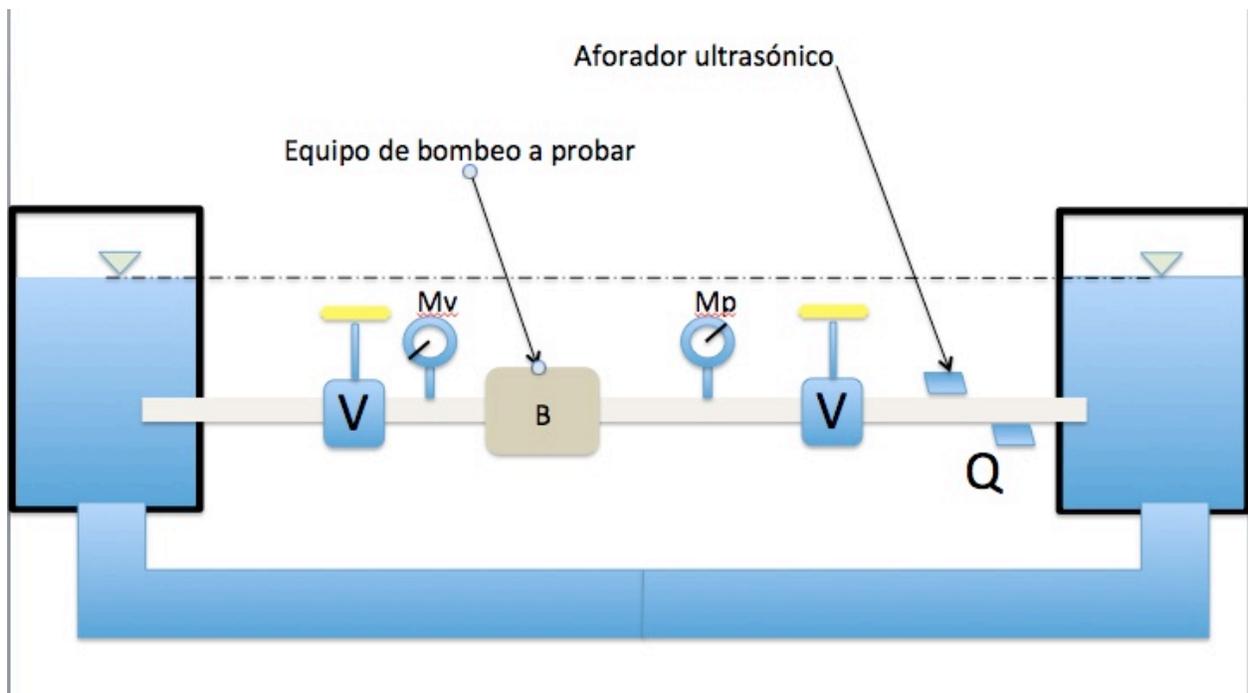
Ver otras propuestas y notas en Anexos.

2.- ANÁLISIS DE PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

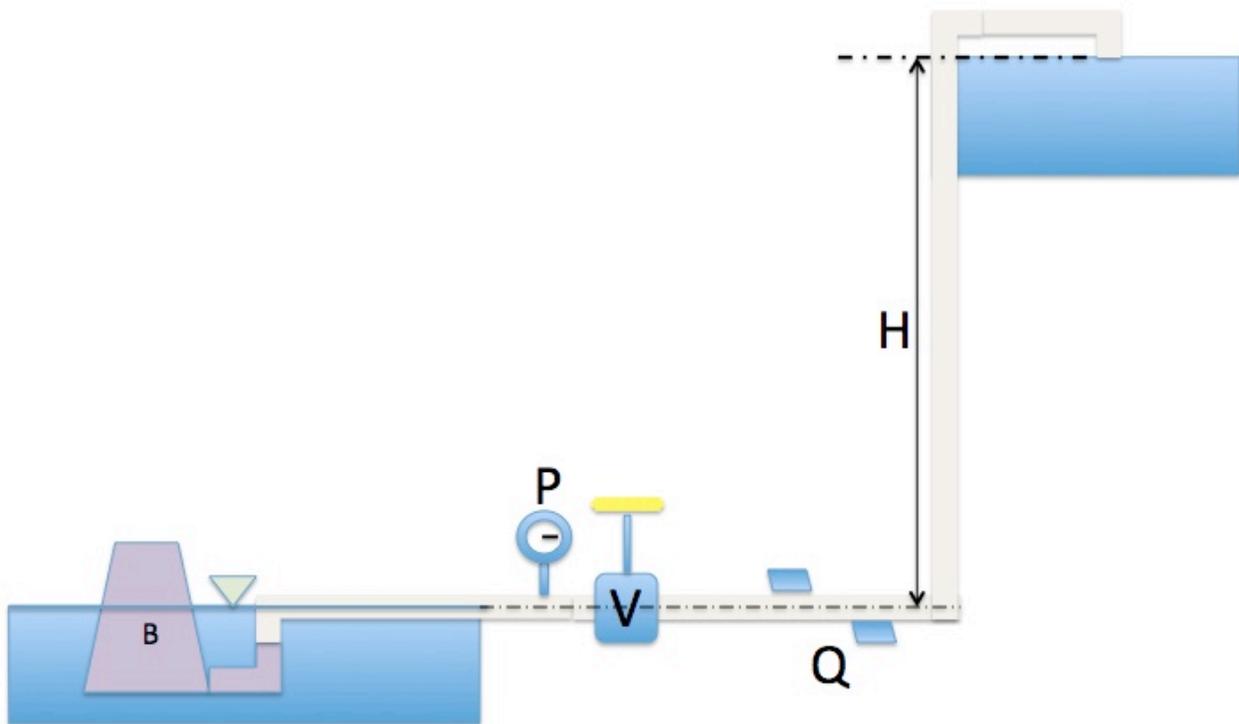
Elaboración de una estadística general, agrupando los equipos por sus diferentes capacidades de operación con lo que será posible establecer el alcance de la instalación.

En los anexos, se presenta la recopilación de la información comercial de diversos fabricantes y su oferta de equipos. Se observan diferentes tamaños y capacidades y del análisis que se establece en un concentrado en hojas de Excel que aparecen en los anexos, se determinó que, por limitaciones de capacidad instalada del laboratorio de hidráulica “Enzo Levi” del IMTA, no se podrán probar equipos de mas de 220 volts, se atenderá equipo vertical, horizontal y sumergible de succión positiva, centrífugo, desde 2 “Ø hasta 6”Ø de succión y de hasta 10”Ø de descarga.

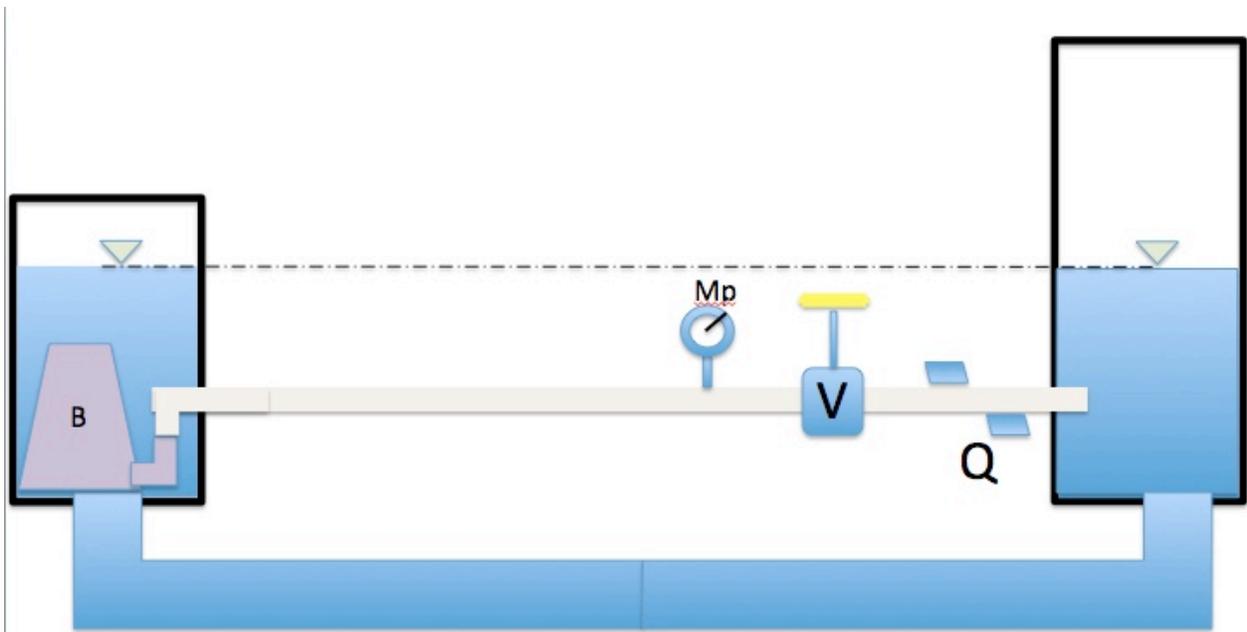
El banco de prueba más conveniente es un sistema abierto a la atmósfera de circuito cerrado o recirculante.



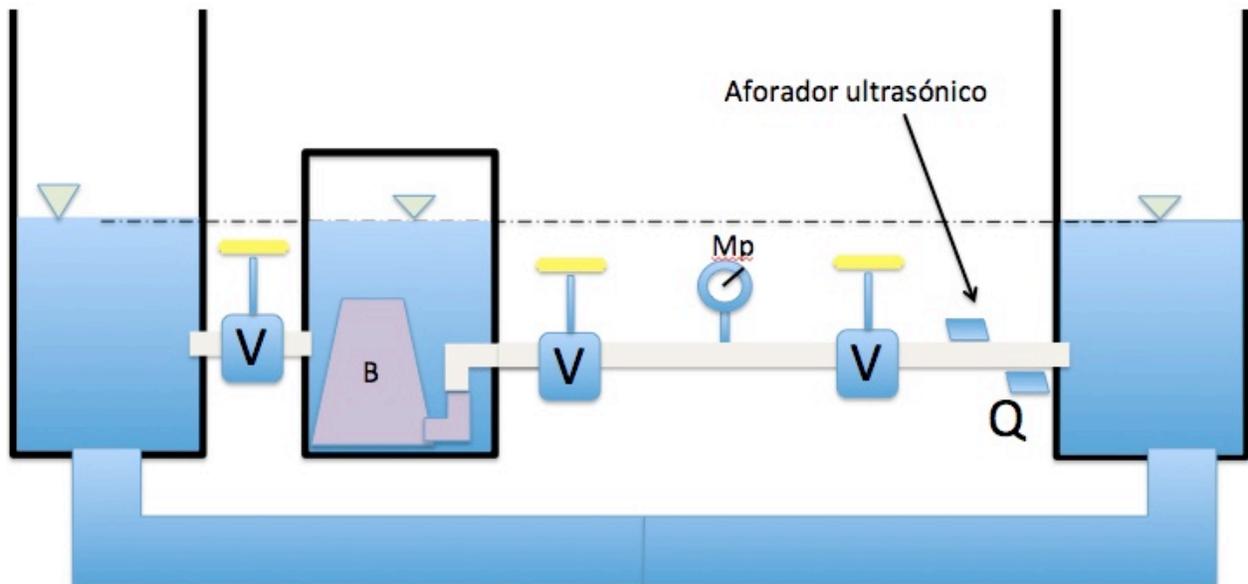
Diag. 2 Alternativa de instalación para bombas centrífugas horizontales y verticales.



Diag. 3 Alternativa para equipo de bombeo sumergible



Diag 4 Alternativa de instalación de bomba sumergible.



Diag.5 Alternativa de instalación dispositivo para prueba de bomba sumergible.

3.- ELABORACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO

En los anexos, se presentan los planos de Autocad básicos, tanto de instalación como los diagramas eléctricos necesarios para la medición.

Se presenta a continuación la elaboración del catálogo de conceptos y presupuesto, donde se estima la infraestructura necesaria, equipamiento e instrumentación de acuerdo a la alternativa seleccionada, definiendo en forma aproximada los costos de suministro e instalación.

CATALOGO DE CONCEPTOS			
NOMBRE	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
Suministro e Instalación de Válvula de compuerta 6" bridada	6	\$2,980.10	\$17,880.60
Suministro e Instalación de Sensor de Presión (Vacuómetro)	3	\$-	\$-
Suministro e Instalación de Junta Dresser 6"	2	\$1,658.00	\$3,316.00
Suministro e Instalación de Sensor de Presión (Manómetro)	3	\$-	\$-
Suministro e Instalación de Codo 90° 6"	4	\$890.34	\$3,561.36
Suministro e Instalación de Reducción bushing FoFo. 4" a 2" bridado	2	\$687.50	\$1,375.00
Suministro e Instalación de Reducción bushing FoFo. 6" a 4" bridado	2	\$1,368.75	\$2,737.50
Suministro e Instalación de Reduccion bushing FoFo. 6" a 8" bridado	2	\$2,312.50	\$4,625.00
Suministro e Instalación de Reduccion bushing FoFo. 6" a 10" bridado	2	\$2,937.50	\$5,875.00
Suministro e Instalación de Estructura para soporte de tanque de almacenamiento según diseño 2 X 2, incluye ruedas para su desplazamiento	1	\$11,660.00	\$11,660.00
Suministro e Instalación de Tanque de almacenamiento reforzado Fofo. 2mt. Ancho, X 2mt. largo X 2mt. de profundidad.	1	\$35,550.00	\$35,550.00
Suministro e Instalación de Estructura según diseño para bomba sumergible.	1	\$14,580.00	\$14,580.00
Suministro e Instalación de Carrete 60 cm. de FoFo. 6", bridado	12	\$3,362.50	\$40,350.00
Suministro e Instalación de Tranquilizador según diseño	1	\$11,950.00	\$11,950.00
Suministro e Instalación de Tornillería 1" x 1/4"	144	\$24.37	\$3,509.28
Suministro e Instalación de Vertedor Triangular según diseño, 0 - 8 lts/seg	1	\$8,500.00	\$8,500.00

Suministro e Instalación de Vertedor Triangular según diseño, 0 - 14 lts/seg	1	\$8,500.00	\$8,500.00
Suministro e Instalación de Vertedor Rectangular según diseño, 20 - 160 lts/seg	1	\$8,500.00	\$8,500.00
Suministro e Instalación de Junta de Neupreno	24	\$315.20	\$7,564.80
Construcción de Canal en muro de tabique asentando con mortero-arena y aplanado en ambas caras. De 8 Mt. Largo x 1 Mt. Ancho x 1mt. De profundidad.	1	\$ 9,990.00	\$ 9,990.00
Suministro y aplicación de pintura epóxica c/azul en muros interiores y aplicación de pintura vinilica en muros exteriores, en canal de mampostería.	42	\$ 54.90	\$ 2,305.80
		TOTAL	\$190,034.54

4.- RESULTADOS

Se construyó una línea prototipo en el laboratorio de hidráulica para probar el funcionamiento de los diversos dispositivos de medición instalados de acuerdo al proyecto ejecutivo concluyendo que hace falta que el equipo de bombeo probado descargue en un canal aforador para determinar el punto de gasto máximo con carga nula, ya que es el más difícil de conseguir. Con esta limitante aceptada, es posible la construcción del banco definitivo como un circuito similar al probado, que presentó buenos resultados en la obtención de la curva característica de la bomba centrífuga instalada. En las siguientes fotos, se muestra la instalación básica del banco como línea prototipo llevada a cabo con las pruebas preliminares efectuadas en laboratorio para el proyecto ejecutivo.



1 Instalación, vista general



2 Aforador y válvula para presurizar



3 Bomba, espécimen de prueba



4 Bomba, espécimen de prueba



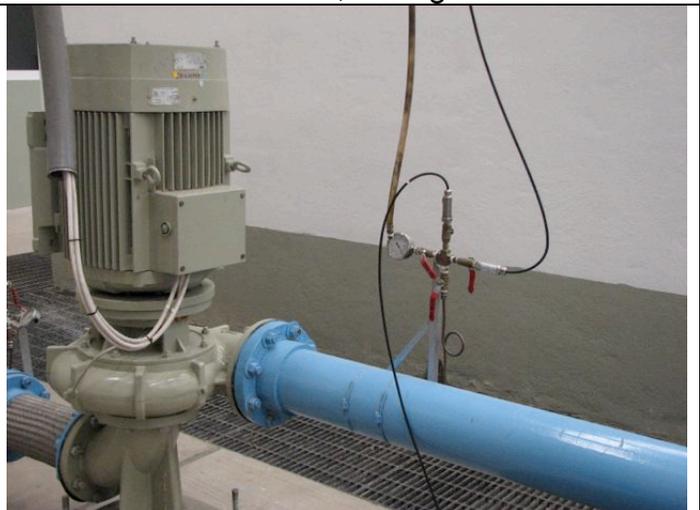
5 Instalación, vista general



6 Instalación, vista general



7 Instalación, vista general



8 Equipo para medir presión a la descarga



9 Equipo para medir presión en la succión



10 Línea de conducción



11 Circuito cerrado, Sistema abierto



12 Tableros electrico y electrónico



13 Tableros electrico y electrónico



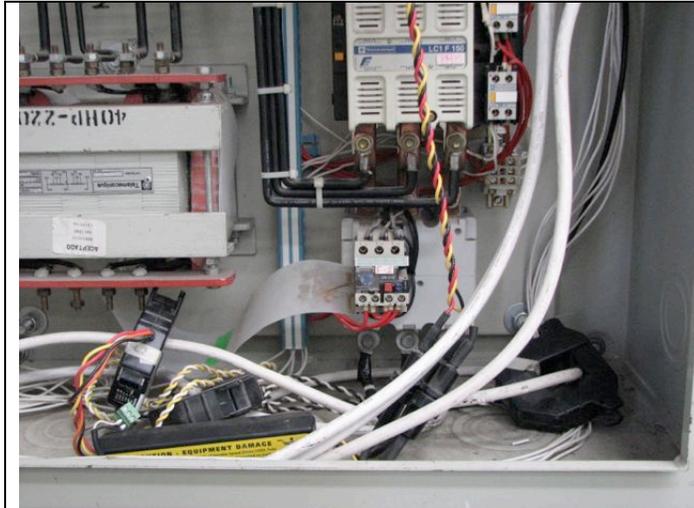
14 Tableros electrico y electrónico



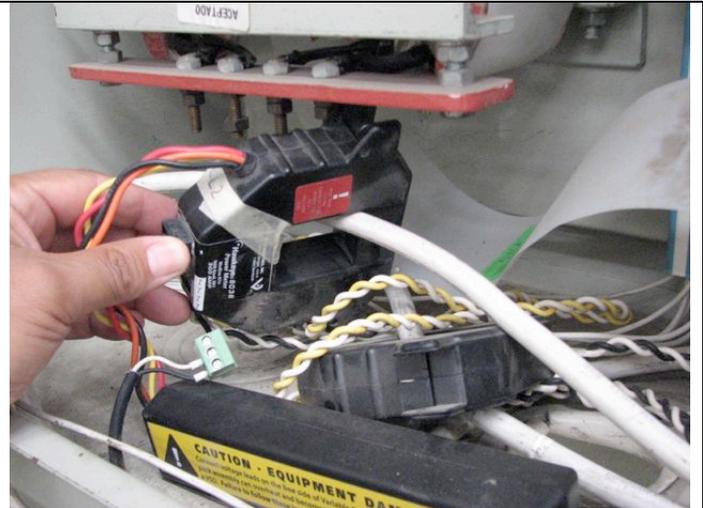
15 Tableros electrico y electrónico



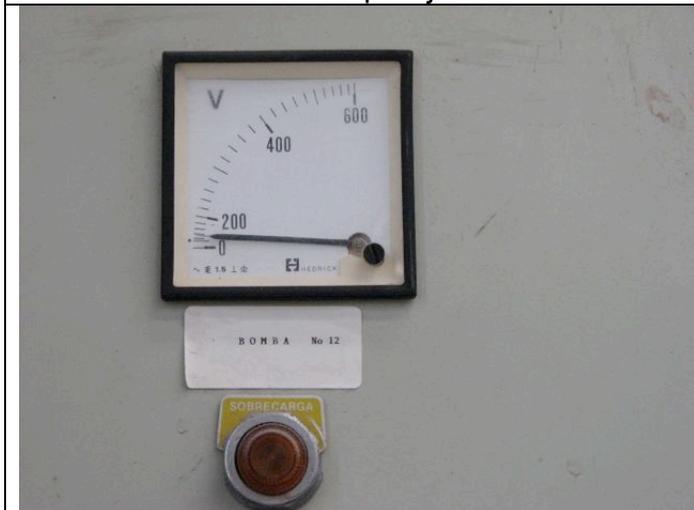
16 Medición eléctrica



17 Medición del amperaje - multímetro



18 Medición del amperaje multímetro.



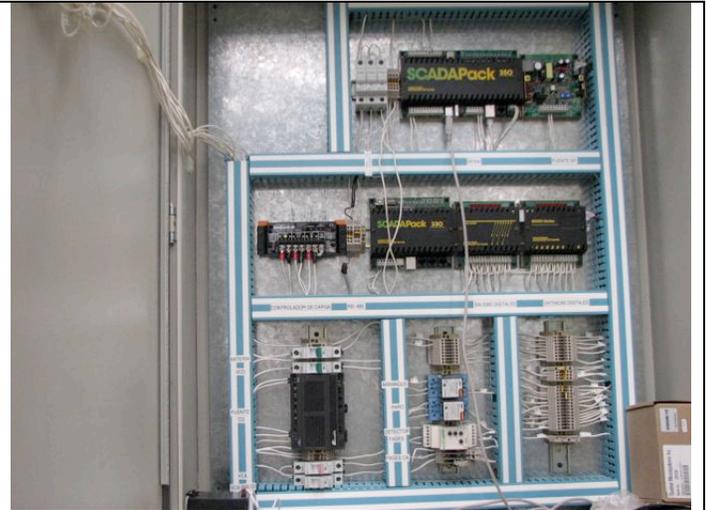
19 Medición del voltaje, analógico



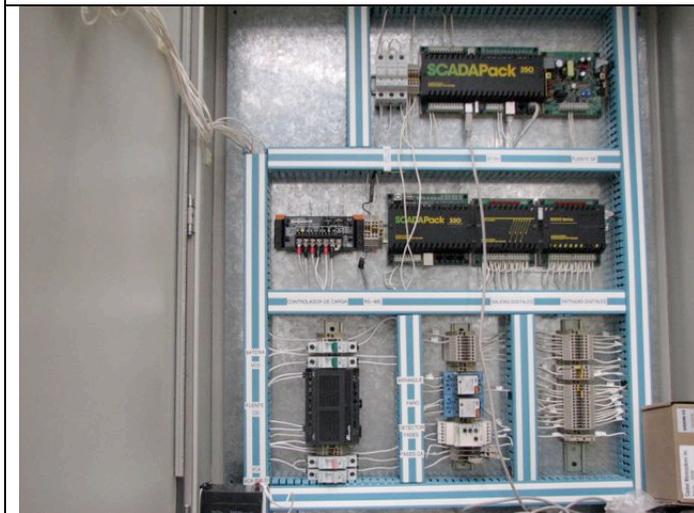
20 Interfase hombre-máquina



21 Unidad terminal remota



22 Unidad terminal remota con módulos de
entradas y salidas



23 Unidad terminal remota con módulos de
entradas y salidas



24 Unidad terminal remota con fuente de
alimentación

En las siguientes tablas se muestran los datos obtenidos probando una bomba centrífuga vertical, de motor trifásico de 40 HP a 240 volts, succión 4"Ø y descarga de 6"Ø y el trazo de su curva característica.

PRUEBA DE EQUIPO DE BOMBEO CON MOTOR TRIFÁSICO DE 240 VOLTS 40HP												
DATOS DEL BANCO												
Prueba no.	Presión de succión (in Hg)	Presión de descarga (bar)	Gasto (l/s)	Potencia (KW)	V1 (volts)	V2 (volts)	V3 (volts)	A1 (amper)	A2 (amper)	A3 (amper)	Factor de potencia	
1	-7	0.97	117	28	226.59	225.41	226.06	104.13	98.69	92.45	0.738	
2	-6	1.16	111.5	27.89	226.84	225.38	226.34	102.66	97.98	90.91	0.735	
3	-5.5	1.2	109	27.56	227.47	226.06	226.91	102.05	96.69	89.94	0.732	
4	-5	1.35	106.4	27.41	227.56	226.09	227.03	101.55	96.64	89.86	0.73	
5	-4	1.4	99	27.23	227.69	226.22	227.06	101.11	96.08	89.23	0.729	
6	-2.5	1.7	88.8	26.22	227.59	226.34	227.06	98.55	93.5	87.2	0.72	
7	-1.5	1.86	79.2	25.17	227.66	226.44	227.28	95.75	91	84.48	0.71	
8	0	2.15	64.2	23.19	227.63	226.56	227.38	91.03	86.63	80.08	0.688	
9	0	2.24	52.5	21.16	228.75	227.19	227.97	86.69	82.55	75.3	0.66	
10	0	2.35	34.8	17.47	228.47	227.22	227.97	79.05	75.48	68.22	0.598	
11	0	2.4	15.3	13.53	228.75	227.63	228.31	71.75	69.5	61.5	0.508	
12	0	2.43	3.8	11.77	228.63	227.41	228.34	68.56	67	59.05	0.461	
13	0	2.47	0	10.86	228.66	227.53	228.31	67.14	65.91	57.64	0.434	
1	0	2.46	0	10.86	228.56	227.34	228.28	67.19	65.83	57.75	0.435	
2	0	2.5	5.2	11.88	228.34	227.13	228.06	68.52	66.92	58.84	0.466	
3	0	2.47	11.7	12.78	228.75	227.31	228.31	70.09	68.45	60.16	0.491	
4	0	2.48	17.3	13.81	228.47	227.06	228.09	71.66	69.72	61.8	0.518	
5	0	2.43	25.9	15.48	228.16	226.97	227.91	74.66	72.02	64.67	0.559	
6	0	2.4	33.7	17.16	228.38	226.88	227.88	77.84	75.08	67.31	0.595	
7	0	2.39	39.1	18.23	228.25	226.91	227.91	80.06	76.92	69.52	0.615	
8	0	2.41	44.9	19.23	228.13	226.81	227.72	82.2	78.7	71.55	0.632	
9	0	2.26	50.4	20.47	228.09	226.72	227.66	84.78	81.13	73.89	0.653	
10	0	2.27	55.4	21.53	228.28	226.94	227.94	86.81	83.45	76.13	0.667	
11	0	2.02	63.5	22.95	228.22	226.94	227.88	90.09	86.25	79.11	0.686	
12	0	2.19	67.3	23.45	228.19	226.78	227.81	91.13	87.27	80.14	0.692	
13	-0.5	1.95	75.8	24.61	228.06	226.66	227.63	93.88	89.58	82.67	0.706	
14	-2	1.8	84.4	25.69	227.81	226.44	227.5	96.33	92.2	85.25	0.718	
15	-3.5	1.6	92.7	26.59	227.81	226.53	227.44	98.19	93.63	86.7	0.726	
16	-7	1	117	27.77	227.91	226.44	227.34	101.23	96.66	89.7	0.738	

Se hace la prueba controlando la válvula en la descarga y con la válvula de succión totalmente abierta.
Se inicia con la válvula de descarga totalmente abierta y termina con la válvula de descarga totalmente cerrada

Se efectuaron las pruebas, controlando la válvula de descarga para variar el gasto, primero totalmente abierta hasta llegar al gasto cero, y después, de gasto cero al gasto máximo, sin mover la válvula de succión.

Los sensores de presión de succión y descarga dan lecturas en inHg y bar, por lo que hay que homogeneizar los datos haciendo las transformaciones correspondientes para presentar los datos en metros de columna de agua. (m.c.a.).

El gasto se obtuvo con un aforador electromagnético de 6"Ø instalado en línea con la tubería de pvc.

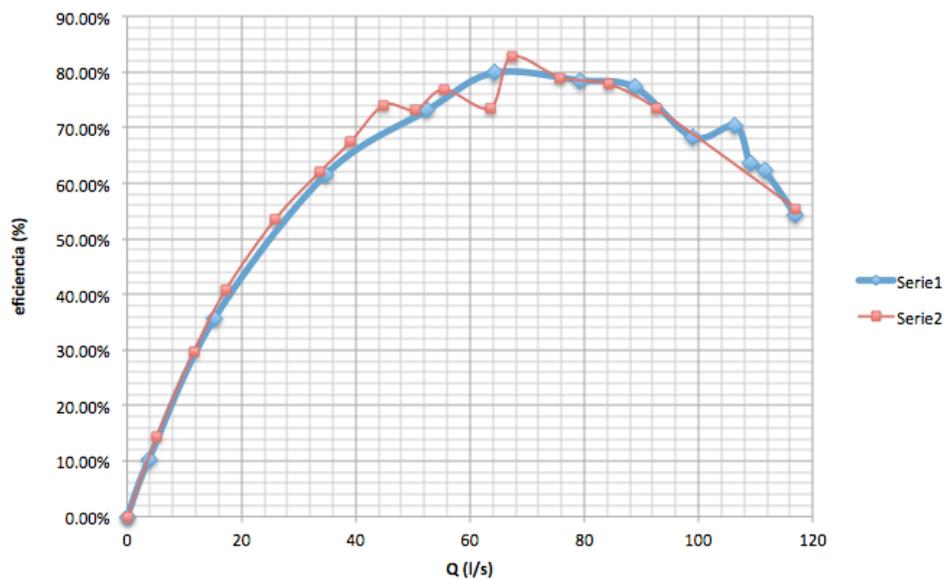
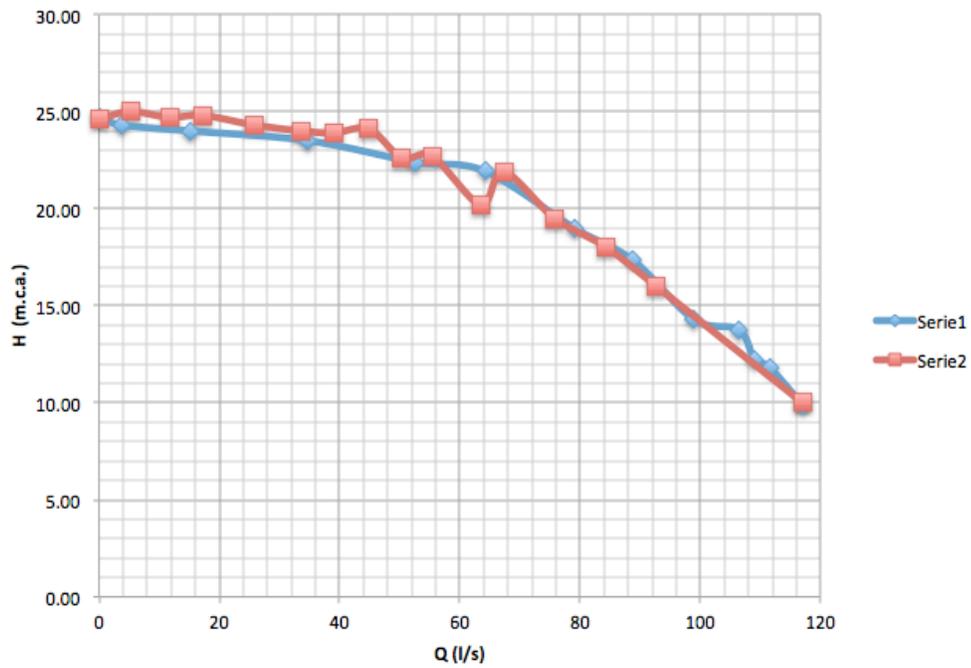
Con los dispositivos electrónicos, se midió el voltaje, el amperaje, el factor de potencia y la potencia suministrada.

PRUEBA DE EQUIPO DE BOMBEO CON MOTOR TRIFÁSICO DE 240 VOLTS 40HP DATOS HOMOGÉNEOS

DATOS CALCULADOS CON LA TABLA ANTERIOR

Prueba no.	Presión de succión (m.c.a.)	Presión de descarga (m.c.a.)	Gasto (l/s)	Potencia Hca	Potencia eléctrica (KW)	eficiencia	V1 (volts)	V2 (volts)	V3 (volts)	A1 (amper)	A2 (amper)	A3 (amper)	Factor de potencia
1	-2.42	9.89	117	15.2282674	28	54.39%	226.59	225.41	226.06	104.13	98.69	92.45	0.738
2	-2.07	11.83	111.5	17.3550454	27.89	62.23%	226.84	225.38	226.34	102.66	97.98	90.91	0.735
3	-1.90	12.24	109	17.5509505	27.56	63.68%	227.47	226.06	226.91	102.05	96.69	89.94	0.732
4	-1.73	13.77	106.4	19.273842	27.41	70.32%	227.56	226.09	227.03	101.55	96.64	89.86	0.73
5	-1.38	14.28	99	18.5975668	27.23	68.30%	227.69	226.22	227.06	101.11	96.08	89.23	0.729
6	-0.86	17.34	88.8	20.2560512	26.22	77.25%	227.59	226.34	227.06	98.55	93.5	87.2	0.72
7	-0.52	18.97	79.2	19.7665568	25.17	78.53%	227.66	226.44	227.28	95.75	91	84.48	0.71
8	0.00	21.93	64.2	18.5210833	23.19	79.87%	227.63	226.56	227.38	91.03	86.63	80.08	0.688
9	0.00	22.40	52.5	15.4736842	21.16	73.13%	228.75	227.19	227.97	86.69	82.55	75.3	0.66
10	0.00	23.50	34.8	10.7605263	17.47	61.59%	228.47	227.22	227.97	79.05	75.48	68.22	0.598
11	0.00	24.00	15.3	4.83157895	13.53	35.71%	228.75	227.63	228.31	71.75	69.5	61.5	0.508
12	0.00	24.30	3.8	1.215	11.77	10.32%	228.63	227.41	228.34	68.56	67	59.05	0.461
13	0.00	24.70	0	0	10.86	0.00%	228.66	227.53	228.31	67.14	65.91	57.64	0.434
1	0.00	24.60	0	0	10.86	0.00%	228.56	227.34	228.28	67.19	65.83	57.75	0.435
2	0.00	25.00	5.2	1.71052632	11.88	14.40%	228.34	227.13	228.06	68.52	66.92	58.84	0.466
3	0.00	24.70	11.7	3.8025	12.78	29.75%	228.75	227.31	228.31	70.09	68.45	60.16	0.491
4	0.00	24.80	17.3	5.64526316	13.81	40.88%	228.47	227.06	228.09	71.66	69.72	61.8	0.518
5	0.00	24.30	25.9	8.28118421	15.48	53.50%	228.16	226.97	227.91	74.66	72.02	64.67	0.559
6	0.00	24.00	33.7	10.6421053	17.16	62.02%	228.38	226.88	227.88	77.84	75.08	67.31	0.595
7	0.00	23.90	39.1	12.2959211	18.23	67.45%	228.25	226.91	227.91	80.06	76.92	69.52	0.615
8	0.00	24.10	44.9	14.2380263	19.23	74.04%	228.13	226.81	227.72	82.2	78.7	71.55	0.632
9	0.00	22.60	50.4	14.9873684	20.47	73.22%	228.09	226.72	227.66	84.78	81.13	73.89	0.653
10	0.00	22.70	55.4	16.5471053	21.53	76.86%	228.28	226.94	227.94	86.81	83.45	76.13	0.667
11	0.00	20.20	63.5	16.8776316	22.95	73.54%	228.22	226.94	227.88	90.09	86.25	79.11	0.686
12	0.00	21.90	67.3	19.3930263	23.45	82.70%	228.19	226.78	227.81	91.13	87.27	80.14	0.692
13	-0.17	19.50	75.8	19.4486842	24.61	79.03%	228.06	226.66	227.63	93.88	89.58	82.67	0.706
14	-0.69	18.00	84.4	19.9894737	25.69	77.81%	227.81	226.44	227.5	96.33	92.2	85.25	0.718
15	-1.21	16.00	92.7	19.5157895	26.59	73.40%	227.81	226.53	227.44	98.19	93.63	86.7	0.726
16	-2.42	10.00	117	15.3947368	27.77	55.44%	227.91	226.44	227.34	101.23	96.66	89.7	0.738

Se presentan las curvas características obtenidas: Carga-Gasto y Eficiencia-Gasto



4.1 NORMAS SUGERIDAS

Se requerirá adquirir los siguientes títulos para elaborar los procedimientos de verificación de la prueba, estableciendo la metodología correspondiente a cada tipo de bomba y su instalación particular.

No	Concepto	Costo \$USD	Incluye
0	Rotodinámicas (centrífuga y vertical) Predicción de la eficiencia de la bomba (HI 20.3-2,010)	\$45.00	<p>El Instituto de la bomba hidráulica Eficiencia directriz predicción está disponible en una independiente, autónomo de la publicación</p> <p>Esta guía presenta un método simple que ayudará a los usuarios de la bomba predecir los niveles de eficiencia normalmente posible en el mejor punto de eficiencia (BEP) para determinados tipos de bombas rotodinámicas cuando la tasa de flujo de carga total por etapa, la cabeza de succión positiva neta disponible (NPSHA), y las condiciones de servicio son conocidos</p> <p>Los gráficos se utilizan ampliamente para describir la relación de eficiencia de la bomba frente a diferentes parámetros</p> <p>Los tipos de bombas siguientes se incluyen en esta guía: Lechada, aspiración axial Manejo de sólidos, bombas de succión en el extremo -sumergible en aguas residuales, de aspiración axial Colección de succión en el extremo multietapa horizontal, dividido axial, el barril segmentado anillo difusor ASME B73, la succión de la API fin, aspiración axial - pequeños 0,3 m de extremo de succión - grandes (mayores 3 / s (5000 gpm) API de doble aspiración de succión doble, de servicios generales turbina vertical, de flujo mixto y de la hélice, el tipo de difusor de una sola y en varias etapas</p> <p>Aprenda cómo rugosidad de la superficie y las separaciones internas de la bomba afectan la eficiencia de la bomba</p> <p>Comprender el consumo de energía y pérdida de eficiencia creado por rodamientos, retenes, sellos mecánicos del eje, y el embalaje del eje. Las bombas pequeñas, de baja potencia son particularmente sensibles a estas pérdidas mecánicas.</p> <p>El tipo de bombeo - viscosidad, tamaño y densidad de sólidos y lodos tendrá una influencia en la eficiencia</p> <p>Diseños especiales impulsor, tales como las destinadas a aumentar la velocidad de aspiración específicas o proporcionar una forma de la curva específica puede reducir la eficacia posible</p> <p>dispositivos de empuje equilibrio que se utilizan para equilibrar empuje hidráulico operar sobre la base de la presión diferencial y caudal de la bomba de derivación puede reducir la eficiencia de la bomba</p>

			De varias etapas de turbina vertical (difusor) bombas tipo presentan una diferencia entre la eficacia y eficiencia posible recipiente de la bomba posible
1	Prueba de bombas sumergibles (ANSI/HI 11.6)	\$56.25	<p>Esta norma se aplica a las pruebas de bombas centrífugas sumergibles impulsados por motores de inducción, a menos que se indique lo contrario. Su objetivo es establecer procedimientos uniformes para las pruebas de rendimiento hidrostática, hidráulica y eléctrica de las bombas sumergibles, registro de datos, y presentación de informes de los resultados de la prueba. Los siguientes temas están incluidos en esta norma:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipos de pruebas y Terminología • Prueba de rendimiento • Prueba hidrostática • De succión positiva neta (NPSH) prueba motor sumergible prueba de integridad • Prueba de vibración • Instrumentación y tipos de medida • Modelo de pruebas
2	Pruebas Centrífuga (ANSI / HI 1.6)	\$95.00	<p>Esta norma es para las bombas centrífugas, sin sellos de la turbina centrífuga y de regeneración de todo tipo, excepto industriales de tipo vertical difusor de múltiples etapas y bombas sumergibles. Se incluye el procedimiento detallado sobre la configuración y realización de pruebas hidrostáticas y rendimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Terminología • Tipos de pruebas • Parámetros de prueba • Neta de succión positiva cabezal de prueba • Equipo de prueba • Capacidad de Medición • Modelo de pruebas
3	Pruebas de bombas verticales (ANSI / HI 2.6)	\$95.00	<p>Esta norma es para las bombas verticales difusor de tipo centrífugo. Se incluye el procedimiento detallado sobre la configuración y realización de pruebas hidráulicas y el rendimiento. El estándar incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una nueva sección de prueba mecánica • Terminología y Tipos de pruebas • Procedimientos de ensayo de • Montaje de ensayo • Registros y cálculos • Power Measurement • Medición de temperatura y las Instrucciones
4	Rotodinámicas (centrífugas) Aplicaciones de la bomba (ANSI / HI 1.3)	\$155.00	<p>Esta norma tan esperado ha sido completamente reescrita y reordenada para facilitar su uso y es esencial para cualquier persona que quiera aprender más sobre el diseño de la bomba rotodinámicas. La norma se ha posicionado para el diseño y aplicación de rotodinámicas (flujo centrífugo, mixtos, y los tipos axial) bombas, turbinas regenerativas, y bombas de tubo de Pitot de todo tipo industrial y comercial, excepto vertical tipos de una sola bomba y difusor de varias etapas. Información sobre la clasificación de la bomba, los tipos de impulsor, carcasa configuraciones y características mecánicas están incluidos. Información adicional sobre el rendimiento,</p>

			<p>critérios de selección, y los niveles de ruido también se incluye.</p> <p>La versión 2009 incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Primera gran reorganización de la presente norma en más de una década, con un aumento significativo en el contenido y los gráficos • Mayor árbol de familia de todos los tipos de bombas señaló en su alcance, incluidos los iconos de la bomba y de las denominaciones reconocidas internacionalmente • Amplia explicación de la metodología para el cálculo del empuje axial y radial
5	Paquete de normas para Bombas	\$195.00	<p>integral del Instituto Hidráulico de la Bomba de paquete estándar del paquete está disponible a un descuento del 25% al 30 de abril de 2011. El paquete incluye el paquete de tres (3) Normas de Rotary de la bomba. El primer estándar (ANSI / HI 3,1 a 3,5), fue lanzado en 2008 y actualizado en forma sustancial, esta edición cuenta con veinte páginas adicionales, el contenido de un 40% más, y el aumento de información educativa. Esta norma se aplica a los consumidores industriales bombas rotativas de desplazamiento positivo. Se incluyen los tipos y la nomenclatura, las definiciones, el diseño y operación de aplicaciones y mantenimiento.</p> <p>El paquete también incluye Bomba de pruebas estándar (ANSI / HI 3.6). Esta norma se aplica a los consumidores industriales bombas rotativas de desplazamiento positivo. Se incluye el procedimiento detallado sobre la configuración y los métodos para la realización de la prueba hidrostática y pruebas de funcionamiento de estas bombas. Su objetivo es establecer una demostración uniforme de la capacidad de una bomba para llevar a cabo satisfactoriamente, tanto mecánica como hidráulicamente.</p> <p>La tercera norma incluye en el paquete es el paquete sin sellos, de accionamiento magnético rotatorio Bombas para nomenclatura, definiciones, aplicación, funcionamiento y prueba (ANSI / HI 4,1-4,6) estándar. Esta norma se aplica a las características únicas de sin sello, de accionamiento magnético bombas rotativas e incluye secciones sobre los tipos y la nomenclatura, las definiciones, diseño y aplicaciones, instalación, operación y mantenimiento, y la prueba. Esta norma no se aplica al miembro flexible / rotatorio tipo de bomba peristáltica.</p>

5.- ANEXOS

- 5.1 Anexos Teóricos
- 5.2 Anexos Técnicos
- 5.3 Planos y Catálogo
- 5.4 Resultados