

4. SISTEMA DE BOMBEO

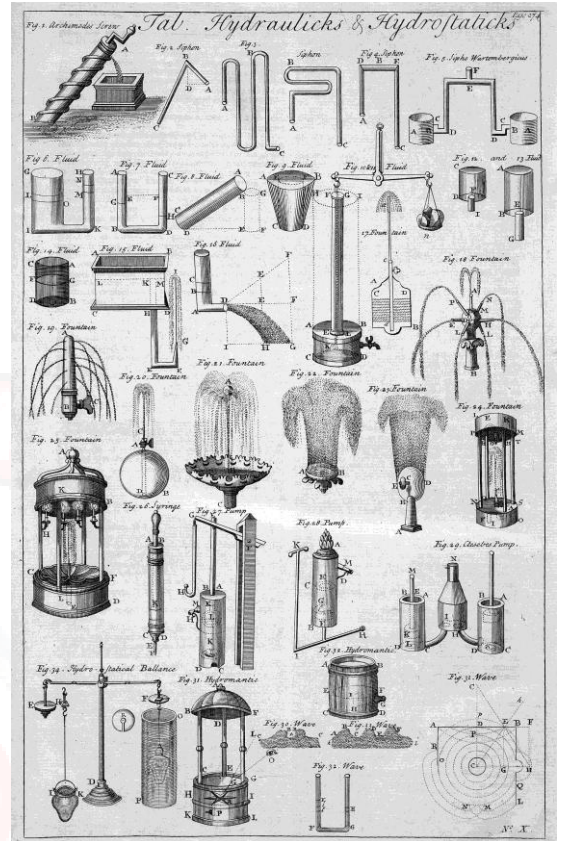
La hidráulica es la rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos en función de sus propiedades específicas. Es decir, estudia las propiedades mecánicas de los líquidos dependiendo de las fuerzas a las que son sometidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa y a las condiciones a las que esté sometido el fluido, relacionadas con la viscosidad de este.

Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

En el siglo XII, Al-Jazari describió e ilustró diferentes tipos de bombas, incluyendo bombas reversibles, bombas de doble acción, bombas de vacío, bombas de agua y bombas de desplazamiento positivo.



Al-Jazari era ingeniero e inventor islámico, considerado el primer hombre en construir y desarrollar con éxito el sistema de abastecimiento de agua impulsado por engranajes y la energía hidroeléctrica para abastecer de agua a las mezquitas y hospitales de Diyarbakir, en la Anatolia de principios del siglo XIII.



Al-Jazari es considerado el inventor de la ingeniería hidráulica. La primera bomba hidráulica conocida fue diseñada por Arquímedes en el siglo III a. C. y se conoce como el tornillo de Arquímedes, si bien se tiene registro que este sistema ya había sido empleado anteriormente bajo el reinado de Senaquerib, rey de Asiria en el siglo VII a. C.

Sin embargo, no es hasta el siglo XII, en que el diseño y desarrollo de lo que hoy conocemos como ingeniería hidráulica comienza a formalizarse con las aportaciones de Al-Jazari.

Al-Jazari era ingeniero e inventor islámico, considerado el primer hombre en construir y desarrollar con éxito el sistema de abastecimiento de agua impulsado por engranajes y la energía hidroeléctrica para abastecer de agua a las mezquitas y hospitales de Diyarbakir, en la Anatolia de principios del siglo XIII.

Describió e ilustró diferentes tipos de bombas, incluyendo bombas reversibles, bombas de doble acción, bombas de vacío, bombas de agua y bombas de desplazamiento positivo.

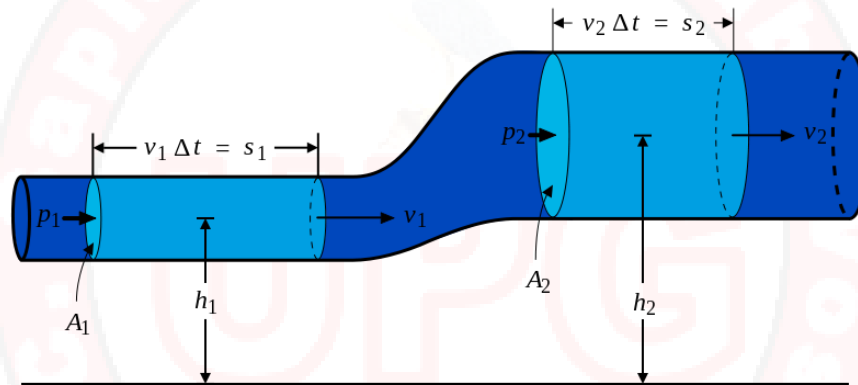
Todos sus conocimientos han sido recopilados en varios volúmenes siendo El Libro del Conocimiento de Dispositivos Mecánicos Ingeniosos en 1206, el más conocido, donde Al-Jazari conceptualizó y diseñó 50 dispositivos mecánicos que actualmente siguen vigentes en la ingeniería moderna.

4.1 Principio de Bernoulli

En dinámica de fluidos, el principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una corriente de agua. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) y expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido.



La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres



componentes:

cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido;

potencial o gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea;

energía de presión: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

La siguiente ecuación conocida como "ecuación de Bernoulli" (trinomio de Bernoulli) consta de estos mismos términos.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

donde:

V= velocidad del fluido en la sección considerada.

ρ = densidad del fluido.

P= presión a lo largo de la línea de corriente.

g = aceleración gravitatoria

z = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

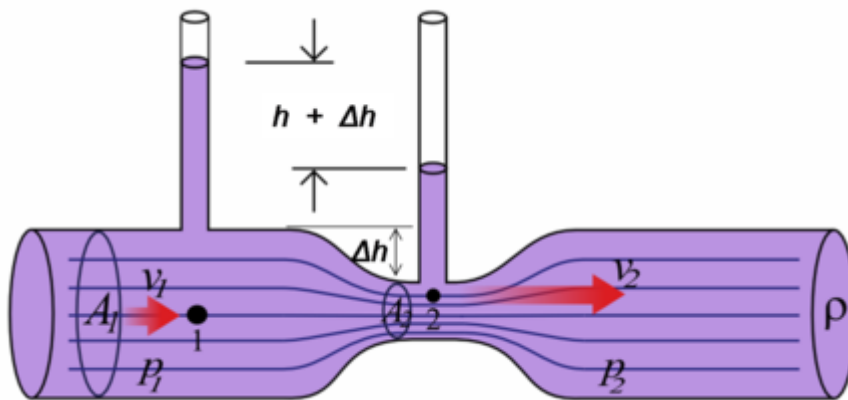
Para aplicar la ecuación se deben realizar los siguientes supuestos:

1. Viscosidad (fricción interna) = 0 Es decir, se considera que la línea de corriente sobre la cual se aplica se encuentra en una zona 'no viscosa' del fluido.
2. Caudal constante
3. Flujo incompresible, donde ρ es constante.
4. La ecuación se aplica a lo largo de una línea de corriente o en un flujo laminar.

Aunque el nombre de la ecuación se debe a Bernoulli, la forma arriba expuesta fue presentada en primer lugar por Leonhard Euler.

Un ejemplo de aplicación del principio se da en el flujo de agua en tubería.

También se puede reescribir este principio en forma de suma de presiones multiplicando toda la ecuación por γ de esta forma el término relativo a la velocidad se llamará presión dinámica, los términos de presión y altura se agrupan en la presión estática.



Esquema del efecto Venturi.

$$\underbrace{\frac{\rho V^2}{2}}_{\text{presión dinámica}} + \underbrace{P + \gamma z}_{\text{presión estática}} = \text{constante}$$

o escrita de otra manera más sencilla:

Donde:

- $q = \frac{\rho V^2}{2}$
- $p = P + \gamma z$
- p_0 es una constante-

Igualmente podemos escribir la misma ecuación como la suma de la energía cinética, la energía de flujo y la energía potencial gravitatoria por unidad de masa:

$$\underbrace{\frac{V^2}{2}}_{\text{energía cinética}} + \underbrace{\frac{P}{\rho}}_{\text{energía de flujo}} + \underbrace{\widehat{gz}}_{\text{energía potencial}} = \text{constante}$$

En una línea de corriente cada tipo de energía puede subir o disminuir en virtud de la disminución o el aumento de las otras dos. Pese a que el principio de Bernoulli puede ser visto como otra forma de la ley de la conservación de la energía realmente se deriva de la **Conservación de la Cantidad de Movimiento**.

Esta ecuación permite explicar fenómenos como el efecto Venturi, ya que la aceleración de cualquier fluido en un camino equipotencial (con igual energía potencial) implicaría una disminución de la presión. Este efecto explica porqué las cosas ligeras muchas veces tienden a salirse de un automóvil en movimiento cuando se abren las ventanas. La presión del aire es menor fuera debido a que está en movimiento respecto a aquél que se encuentra dentro, donde la presión es necesariamente mayor. De forma, aparentemente, contradictoria el aire entra al vehículo pero esto ocurre por fenómenos de turbulencia y capa límite.

4.1.1 Ecuación de Bernoulli con fricción y trabajo externo

La ecuación de Bernoulli es aplicable a fluidos no viscosos, incompresibles en los que no existe aportación de trabajo exterior, por ejemplo mediante una bomba, ni extracción de trabajo exterior, por ejemplo mediante una turbina. De todas formas, a partir de la *Conservación de la Cantidad de Movimiento* para fluidos incompresibles se puede escribir una forma más general que tiene en cuenta fricción y trabajo:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 + W = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2$$

Donde:

γ es el peso específico ($\gamma = \rho \cdot g$). Este valor se asume constante a través del recorrido al ser un fluido incompresible.

W trabajo externo que se le suministra (+) o extrae al fluido (-) por unidad de caudal másico a través del recorrido del fluido.

H_f disipación por fricción a través del recorrido del fluido.

Los subíndices 1 y 2 indican si los valores están dados para el comienzo o el final del volumen de control respectivamente.

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

4.2 Tipos de bombas

Un equipo de bombeo transforma la 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 y de velocidad.

Así se tendrán bombas que funcionen para cambiar la posición de un cierto fluido. Por ejemplo la bomba de pozo profundo, que adiciona energía para que el agua del subsuelo se eleve a la superficie.

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

Existen tres criterios de clasificación para las bombas de extracción.

Según la manera en que el agua es movida entre los dos niveles:

-bombas centrífugas.

Cuentan con un mecanismo rotativo que impele el agua. Pueden ser sumergibles o de superficie y obtienen óptimos rendimientos cuando se requieren abundantes caudales de agua en pozos de poca profundidad (ríos o cisternas). Se usa frecuentemente para el riego de cultivos.



- volumétricas (o de desplazamiento efectivo).

Usando un desplazamiento gradual, toman un determinado volumen de agua dentro de un compartimento cerrado, empujándolo hacia arriba por el volumen que le sucede. Una vez el agua llega a la boca del pozo, el volumen que empuja la bomba iguala al que emerge del pozo y a partir de ese momento, la fuerza de impulsión permanece invariable, permitiendo el bombeo de caudales moderados en pozos de gran profundidad.



Estas bombas pueden ser de inmersión o superficiales y trabajan a profundidades entre 10 m. y 500 m.

Según la ubicación de la bomba respecto a la fuente de agua:

- Bombas de superficie.

Estos dispositivos autoaspirantes resultan muy adecuados para uso doméstico o riego por goteo, con un consumo muy bajo.

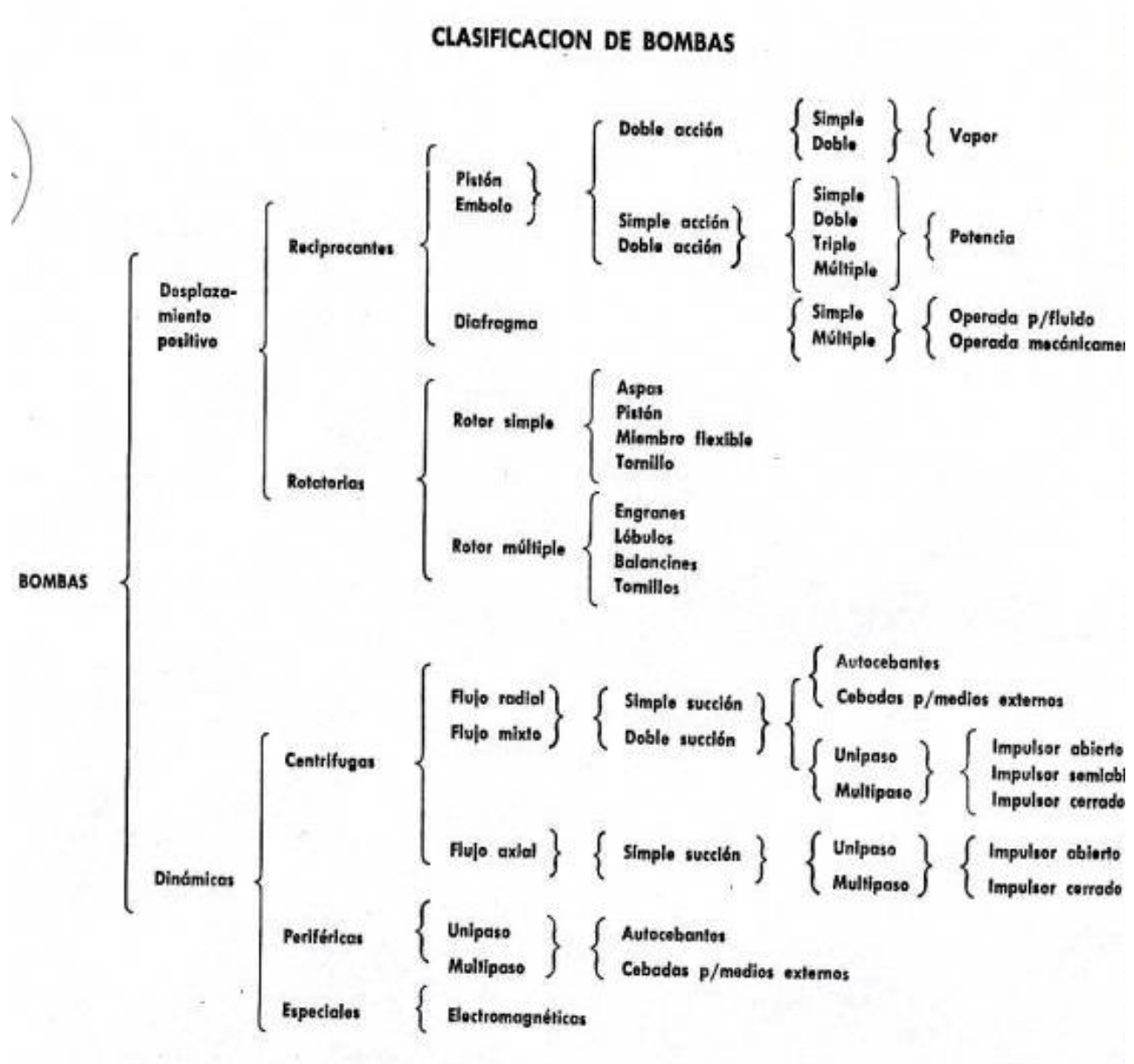


- Sumergibles.

Indicada para pozos profundos, donde permite la elevación por encima de 100 mts.

Según el tipo de motor eléctrico requerido:

- bombas de CC -corriente continua-
- y las de CA - corriente alterna.



Antes de conocer los fundamentos de operación de las bombas es necesario distinguir las diferentes clases de bombas que existen, y para esto la clasificación dada por el "Hydraulic Institute" de E.U.A. (1984) parece ser la más adecuada.

Existe una diversidad de clasificación de bombas que ocasionalmente puede causar confusión al intentar ubicarlas dentro de un cierto tipo, clave u otra distinción, sin embargo la más adecuada es la proporcionada por el instituto de Hidráulica de los E.E.U.U.

Esta clasificación toma en cuenta la forma cómo el fluido se desplaza dentro de los elementos de la bomba, así para aquellos en los que el fluido se desplaza a presión dentro de una carcasa cerrada, como resultados del movimiento suavizada de un pistón o embolo, se le denomina "bombas de desplazamiento positivo", mientras que las bombas en las cuales el fluido es desplazado por el movimiento circular de uno o varios impulsores provistos de alabe, se les denomina "Bombas Centrifugas" y es en el presente trabajo a estas últimas a las que se hará referencia.

La clasificación anterior parece ser la más adecuada sin embargo, puede ser útil conocer dentro de esta clasificación algunas características o situaciones que ayudara a seleccionar la bomba más adecuada. Si por ejemplo éstas pueden ser clasificadas de la siguiente manera; según el sistema donde funcionarán o la forma física de ella. Para la primera clasificación que es conocer el sistema donde la bomba tendrá su funcionamiento.

Respecto a la forma física de la bomba se debe tener en cuenta que existen bombas de eje horizontal o vertical, ambas de empujes centros o de desplazamiento positivo, baja o alta velocidad , también la especificación de los materiales deben ser compatibles con los líquidos que se bombearán.

Una práctica común es definir la capacidad de una bomba con el número adimensional llamado velocidad específica, que se describe posteriormente que es función del número de revoluciones a las que giren sus participantes rotatorias, de la siguiente forma se puede ser de alta o baja velocidad.

4.2.1 Bombas centrifugas

Las bombas centrífugas, debido a sus características, son las bombas que más se aplican en la industria.

Las bombas centrífugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico. Los elementos constructivos de que constan son (ver figura):

- a) **Una tubería de aspiración**, que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- b) **El impulsor o rodete**, formado por una serie de álabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular. El rodete va unido solidariamente al eje y es la parte móvil de la bomba.

El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta el centro del rodete, que es accionado por un motor, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), adquiriendo una aceleración y absorbiendo un trabajo.

Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación; en la voluta se transforma parte de la energía dinámica adquirida en el rodete, en energía de presión, siendo lanzados los filetes líquidos contra las paredes del cuerpo de bomba y evacuados por la tubería de impulsión.

La carcasa, (voluta), está dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior; la separación va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión; en algunas bombas existe, a la salida del rodete, una directriz de álabes que guía el líquido a la salida del impulsor antes de introducirlo en la voluta.

c) Una tubería de impulsión. La finalidad del difusor es la de recoger el líquido a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. El impulsor, también llamado genéricamente voluta es también un transformador de energía, ya que disminuye la velocidad (transforma parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión), aumentando la presión del líquido a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta.

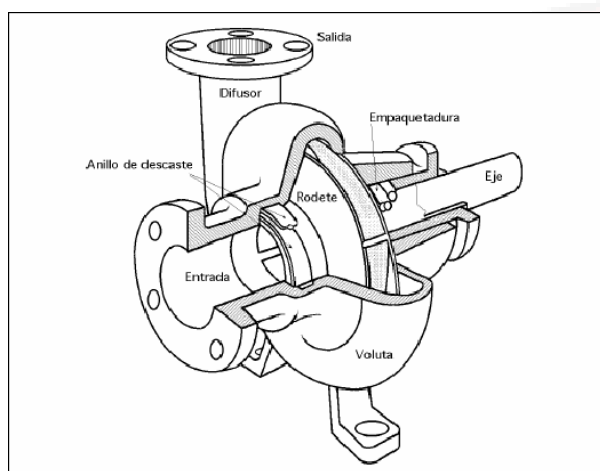


FIGURA *Perspectiva de una bomba centrífuga*

Este es, en general, el funcionamiento de una bomba centrífuga aunque existen distintos tipos y variantes. La estructura de las bombas centrífugas es análoga a la de las turbinas hidráulicas, salvo que el proceso energético es inverso; en las turbinas se aprovecha la altura de un salto hidráulico para generar una velocidad de rotación en la rueda, mientras que en las bombas centrífugas la velocidad comunicada por el rodete al

líquido se transforma, en parte, en presión, lográndose así su desplazamiento y posterior elevación.

Este tipo de bombas son las más utilizadas en el riego, por numerosas ventajas que tienen: reducido tamaño, caudales constantes, presiones uniformes, bajo mantenimiento y flexibilidad de regulación.

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extendido en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier uso. Las más comunes son las que están construidas bajo normativa DIN 24255 (en formas e hidráulica) con un único impulsor, que abarcan capacidades hasta los 500 m³/h y alturas manométricas hasta los 100 metros con motores eléctricos de velocidad normalizada. Estas bombas se suelen montar horizontales, pero también pueden estar verticales y para alcanzar mayores alturas se fabrican disponiendo varios impulsores sucesivos en un mismo cuerpo de bomba. De esta forma se acumulan las presiones parciales que ofrecen cada uno de ellos. En este caso se habla de bomba multifásica o multietapa, pudiéndose lograr de este modo alturas del orden de los 1200 metros para sistemas de alimentación de calderas.

Constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para mover más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

No hay válvulas en las bombas de tipo centrífugo; el flujo es uniforme y libre de impulsos de baja frecuencia.

Los impulsores convencionales de bombas centrífugas se limitan a velocidades en el orden de 60 m/s (200 pie/s).

4.2.2 Características generales de las bombas centrífugas

Una vez es estudiado el funcionamiento de una bomba centrífuga vamos a estudiar en detalle los elementos más importantes que la forman, como es el rodete y el difusor o voluta

a) Rodete o impulsor.

El rodete o impulsor es un elemento móvil, formado por unas paletas o álabes divergentes unidos a un eje que recibe energía del exterior como podemos observar en la figura que nos muestra el despiece de una bomba centrífuga.

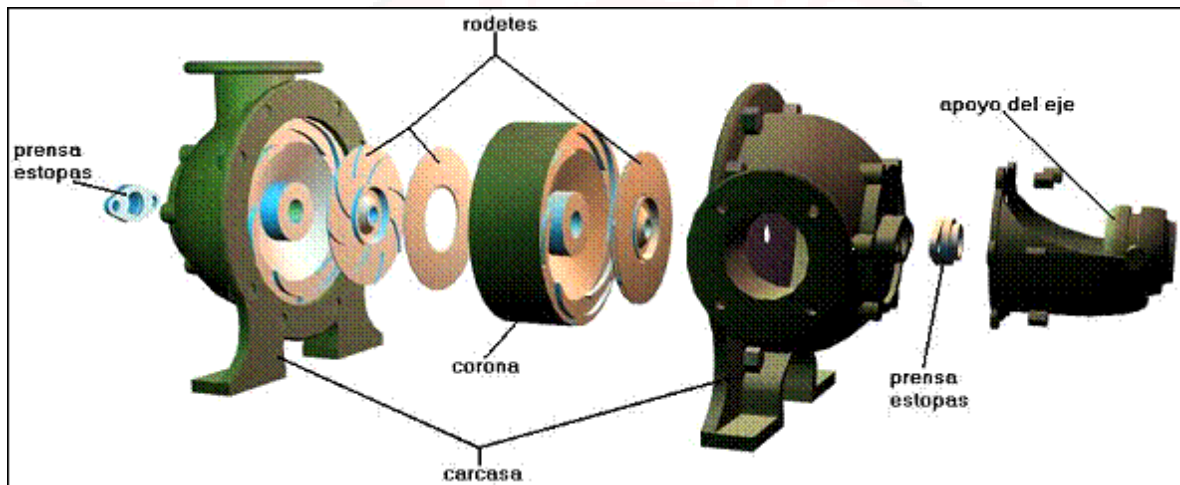


FIGURA. Despiece de una bomba horizontal centrífuga donde se aprecian dos rodetes colocados en serie.

Según que estos álabes vayan sueltos o unidos a uno o dos discos, los rodetes pueden ser:

Abiertos: cuando van sueltos. Tienen la ventaja de que permite el paso de impurezas, pero tiene poca eficacia.

Cerrados: cuando van unidos lateralmente a dos discos (ver figura). Se obstruyen con más facilidad que los anteriores, pero tienen mayor rendimiento.

Semiabiertos: cuando van unidos a un disco. Tienen características intermedias entre los dos tipos anteriores.

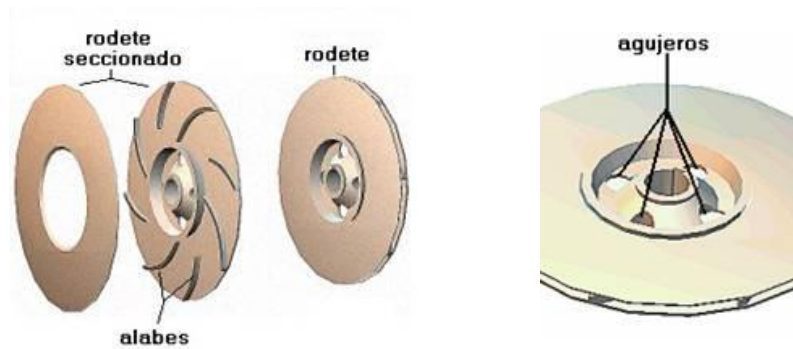


FIGURA. Detalle de un rodete cerrad. a) desmontados ; b) aperturas por donde entra el agua

b) Difusor

El difusor junto con el rodete, están encerrados en una cámara, llamada carcasa o cuerpo de bomba, según como se ve en la figura

El difusor está formado por unos álabes fijos divergentes, que al incrementarse la sección de la carcasa, la velocidad del agua irá disminuyendo lo que contribuye a transformar la energía cinética en energía de presión, mejorando el rendimiento de la bomba.

Según la forma y disposición, las bombas centrífugas son de 2 tipos:

De voluta: la carcasa tiene forma de caracol, rodeando el rodete de tal forma que el área de flujo de agua aumenta progresivamente hacia la tubería de descarga.

De turbina: la carcasa va provista de unos difusores fijos dispuestos de tal forma que el área de flujo se ensancha progresivamente hacia la salida.

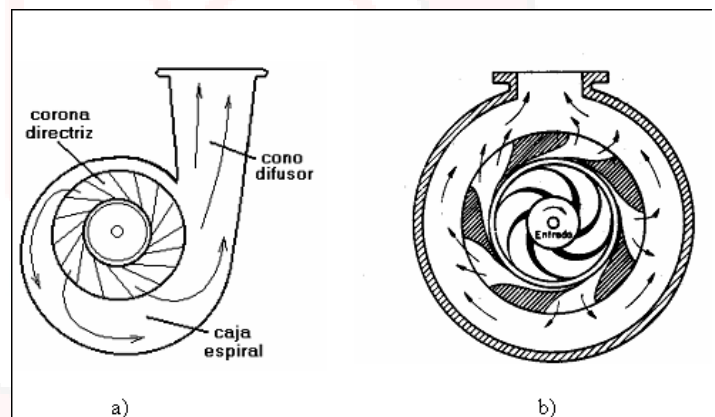


FIGURA difusor a) de voluta b) de turbina

c) Eje

El eje de la bomba es una pieza en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente sobre el impulsor y le transmite la fuerza del elemento motor, como se puede apreciar en la figura.

Las bombas centrífugas para agua se clasifican atendiendo a la posición del eje en bombas de eje horizontal y bombas de eje vertical.

4.2.3 Tipos de bombas centrífugas

Según el número de rodetes, las bombas centrífugas pueden ser:

- Simples o monocelulares: con un solo rodete

- Múltiples o multicelulares: con varios rodetes, que se colocan en serie, de tal forma que el flujo que sale por cada uno de ellos entra en el siguiente.

A su vez, las bombas simples o múltiples, según la disposición del eje de giro pueden ser: de eje horizontal y de eje vertical, como hemos comentado anteriormente.

Bombas horizontales.- La disposición del eje de giro horizontal presupone que la bomba y el motor se hallan a la misma altura (ver figura); éste tipo de bombas se utiliza para funcionamiento en seco, exterior al líquido bombeado que llega a la bomba por medio de una tubería de aspiración.

Las bombas centrífugas, sin embargo, no deben rodar en seco, ya que necesitan del líquido bombeado como lubricante entre aros rozantes e impulsor, y entre empaquetadura y eje.

Como no son autoaspirantes requieren, antes de su puesta en marcha, el estar cebadas; esto no es fácil de conseguir si la bomba no trabaja en carga, estando por encima del nivel del líquido, que es el caso más corriente con bombas horizontales, siendo a menudo necesarias las válvulas de pie, (aspiración), y los distintos sistemas de cebado.

Como ventajas específicas se puede decir que las bombas horizontales, (excepto para grandes tamaños), son de construcción más barata que las verticales y, especialmente, su mantenimiento y conservación es mucho más sencillo y económico; el desmontaje de la bomba se suele hacer sin necesidad de mover el motor y al igual que en las de cámara partida, sin tocar siquiera las conexiones de aspiración e impulsión.

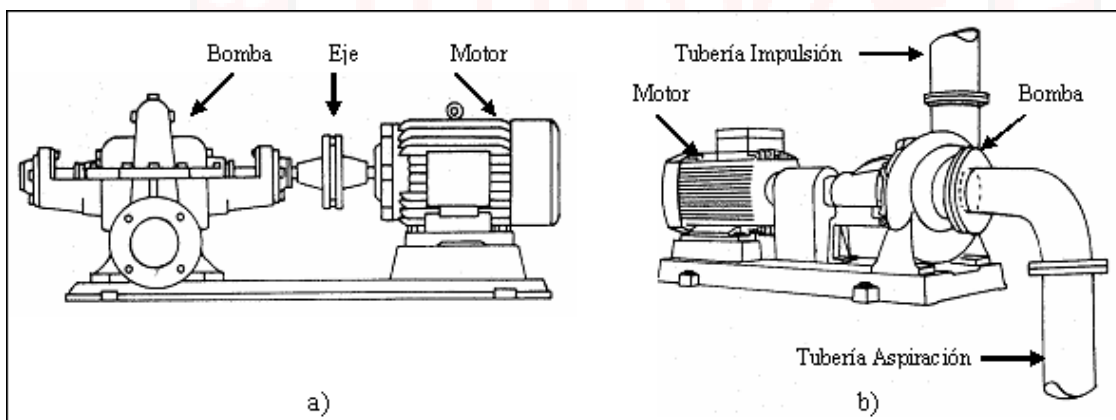


FIGURA Bombas horizontales a) Disposición del grupo motobomba b) Perspectiva grupo motobomba monocelular

Bombas verticales.- Las bombas con eje de giro en posición vertical tienen, casi siempre, el motor a un nivel superior al de la bomba, por lo que es posible, al contrario que en las horizontales, que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear, estando, sin embargo, el motor por encima de éste.

Podemos diferenciar dentro de las bombas centrífugas de eje vertical, dos tipos:

1. Bombas verticales de funcionamiento en seco.- En las bombas verticales no sumergidas, el motor puede estar inmediatamente sobre la bomba, o muy por encima de ésta. El elevarlo responde a la necesidad de protegerlo de una posible inundación o para hacerlo más accesible si, por ejemplo, la bomba trabaja en un pozo.