

## *Bombas*

En una planta de proceso industrial existen multitud de bombas y, como es de esperar, entre ellas la diversidad de tipos es enorme. La función de estos equipos es trasegar líquidos y fluidos de elevada viscosidad mediante el aumento de energía del mismo en forma de presión y/o velocidad, energía transmitida al equipo bomba por medio de un motor eléctrico, una turbina de vapor o un motor de explosión (típicamente diesel).

### *Recordatorio de mecánica de fluidos*

Resulta necesario hacer un breve recordatorio de mecánica de fluidos para comprender mejor el funcionamiento de la bomba. Con su utilización conseguimos incrementar la energía del fluido, por lo que haremos un repaso a este tema.

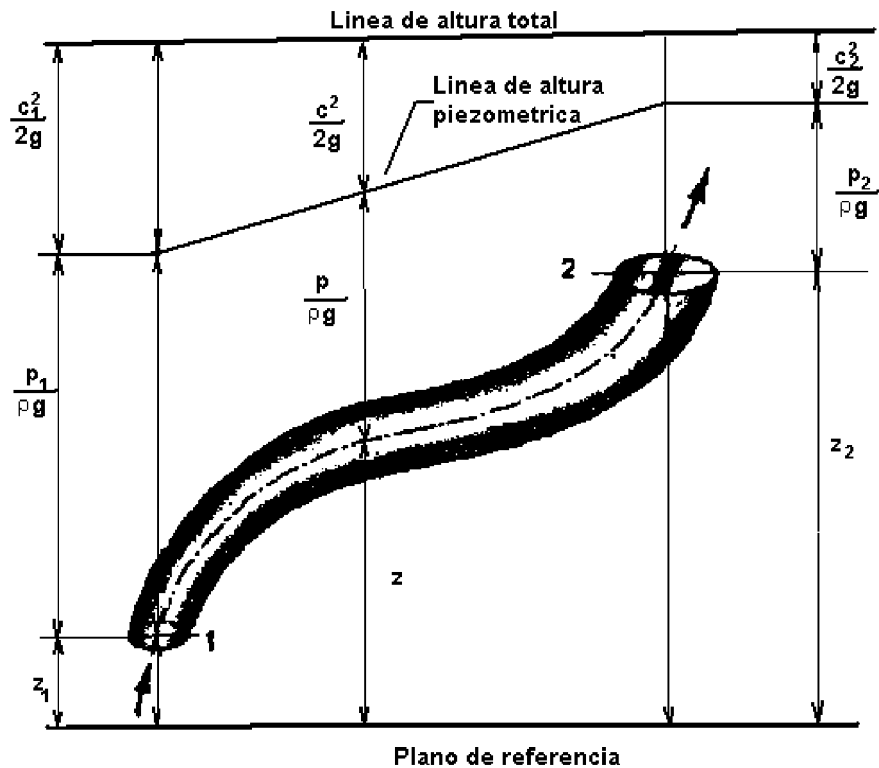
### *Interpretación de alturas:*

Los fluidos, en su desplazamiento por una tubería, poseen una energía total, que se descompone en tres diferentes:

- Energía potencial: La debida a la altura geodésica de la partícula de fluido o altitud respecto de un plano horizontal cualquiera.
- Energía debida a la presión del fluido, llamada altura de presión.
- Energía cinética debida a la velocidad del fluido, llamada altura de velocidad.

La suma de las tres alturas (altura total) permanece constante en un fluido ideal, tal como se ve en la siguiente figura, a lo largo de una tubería (filamento de corriente) y es lo que se conoce como ecuación de Bernoulli:

$$H = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{\gamma}$$



En el caso de tener un fluido real habría que tener en cuenta las pérdidas que se produzcan por rozamiento con la tubería que contiene el fluido, que son proporcionales con el cuadrado de la velocidad de circulación del mismo.

***Bernoulli aplicado a una bomba:***

Si aplicamos el Bernoulli al caso de una bomba, hay que hacerlo entre la brida de aspiración (a) y la de impulsión (i), y se debe tener en cuenta la energía que proporciona la bomba al fluido (altura de la bomba,  $H_b$ ), quedando la ecuación:

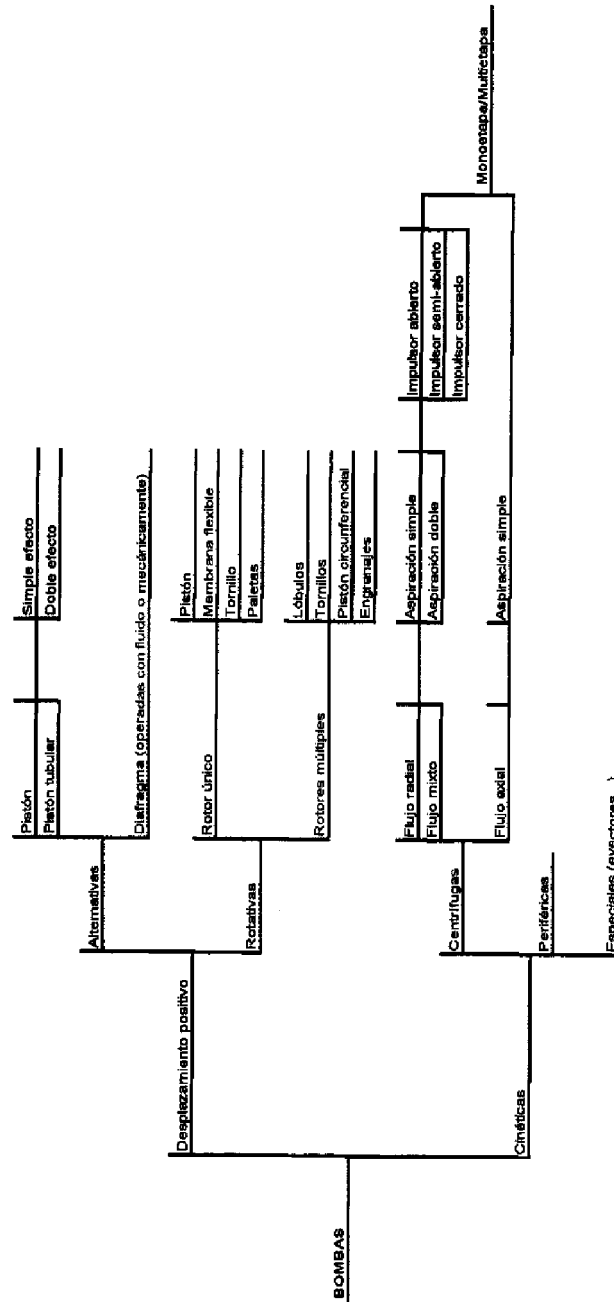
$$H_B = \left( z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} \right) - \left( z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g} \right)$$

Todas las alturas (de presión, velocidad, geodésico y de la bomba) se suelen expresar en metros de columna de líquido (m.c.l.).

## *Tipos de bombas:*

Divididas en dos grupos principales, centrífugas y de desplazamiento positivo, existe una gran diversidad de bombas. A continuación presentamos una clasificación de los diferentes tipos de bombas que existen, así como las secciones de algunos de estos tipos.

### CLASIFICACION DE LAS BOMBAS



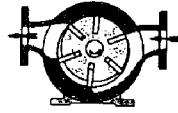


Fig. 2 SLIDING VANE PUMP



Fig. 3 EXTERNAL VANE PUMP

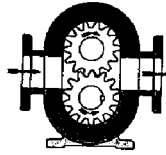


Fig. 10 EXTERNAL GEAR PUMP

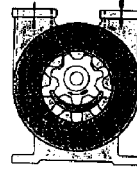


Fig. 11 INTERNAL GEAR PUMP (with crescent)

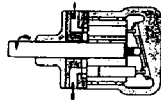


Fig. 4 AXIAL PISTON PUMP

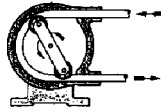


Fig. 5 FLEXIBLE TUBE PUMP

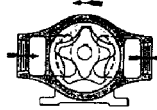


Fig. 12 INTERNAL GEAR PUMP (without crescent)

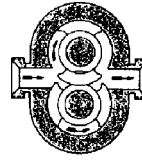


Fig. 13 CIRCUMFERENTIAL PISTON PUMP

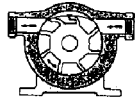


Fig. 6 FLEXIBLE VANE PUMP

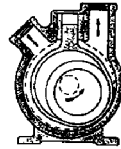


Fig. 7 FLEXIBLE LINER PUMP

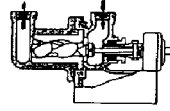


Fig. 14 SINGLE SCREW PUMP

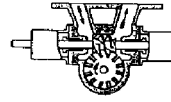


Fig. 15 SCREW AND WHEEL PUMP

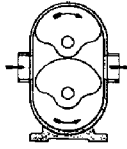


Fig. 8 SINGLE LOBE PUMP

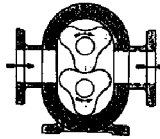


Fig. 9 THREE-LOBE PUMP

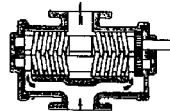


Fig. 16 TWO SCREW PUMP

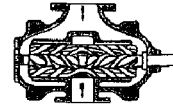
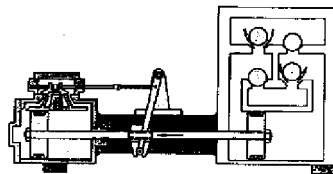
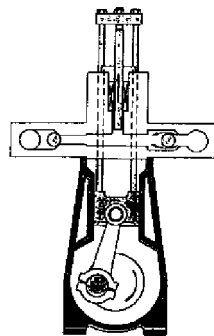


Fig. 17 THREE SCREW PUMP



HORIZONTAL DOUBLE-ACTING STEAM PUMP



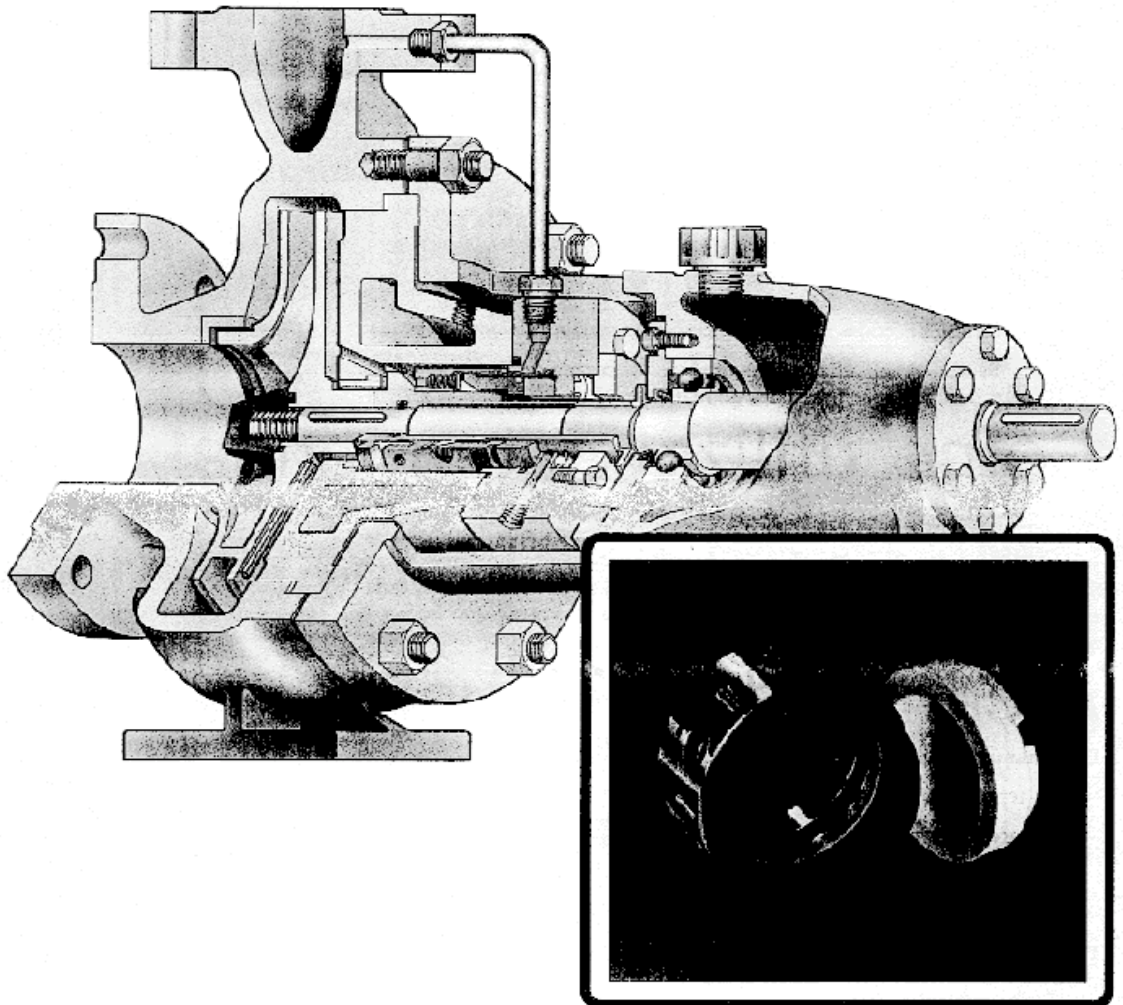
VERTICAL SINGLE-ACTING PLUNGER POWER PUMP

### *Bombas centrífugas*

Este tipo de bombas es el más común. Su característica principal es que aumentan la energía del fluido por la acción de la fuerza centrífuga provocada por el movimiento del fluido dentro de un rodete. Estos equipos constan básicamente de:

- elemento giratorio: formados por un eje y uno o varios rodetes;
- elemento estacionario (carcasa);
- elementos de cierre.

A continuación presentamos el esquema de una bomba centrífuga en el cual podremos apreciar las distintas partes del equipo.



*Terminología habitual*

Los términos habituales para caracterizar una bomba son:

- Caudal (Q): Volumen de líquido que maneja una bomba por unidad de tiempo en las condiciones de operación.
- Altura de elevación de una bomba (H): es el trabajo neto cedido a una unidad de peso del fluido bombeado al pasar desde la brida de aspiración a la de impulsión.
- Potencia hidráulica (P): es la potencia cedida por la bomba al fluido expresada habitualmente en C.V.:

$$P(C.V.) = \frac{Q \cdot H \cdot \delta}{75}$$

donde

$Q(l/seg)$  Caudal

$H(mcl)$

- Eficiencia o rendimiento hidráulico ( $\eta$ ): es el coeficiente resultante de dividir la potencia hidráulica por la potencia suministrada al eje de la bomba, por lo que representa el porcentaje de potencia que se transmite al fluido respecto del total suministrado al eje.
- Carga neta de aspiración. NPSH (Net Positive Suction Head): Es la carga de aspiración total, determinada en la boca de succión de la bomba, menos la presión de vapor del líquido a la temperatura que circula, ambas expresadas en metros.
- $NPSH_d$  (disponible): Es característica del sistema. Es el Nla máxima energía disponible de un líquido en un punto del sistema, que se puede invertir en recorrer la línea desde el punto hasta la boca de succión de la bomba, de forma que no se produzca cavitación en la bomba. Es la diferencia entre la energía total del fluido en la aspiración de la bomba y la presión de vapor del líquido.
- $NPSH_r$  (requerido): Es una característica de la misma. Es la mínima energía necesaria que debe tener un líquido en la entrada de la bomba, para que no se presente cavitación.

$$NPSH_d > NPSH_r$$

Si no se obtiene el NSPH requerido se producirá una vaporización más o menos parcial del líquido, con el resultado de la formación de bolsas de gas. El fenómeno se conoce con el nombre de cavitación y puede ocasionar desperfectos mecánicos en la bomba al desaparecer las burbujas de gas cuando la presión aumenta que posteriormente implosionan; al mismo tiempo se produce un apreciable aumento de la vibración y del ruido, así como una disminución de las presiones de descarga y de aspiración, lo que puede provocar que la bomba se vacíe de líquido.

- Velocidad específica ( $N_s$ ): es una correlación entre la capacidad, altura y velocidad de una bomba a eficiencia óptima. Su expresión es:

$$N_s (rpm) = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

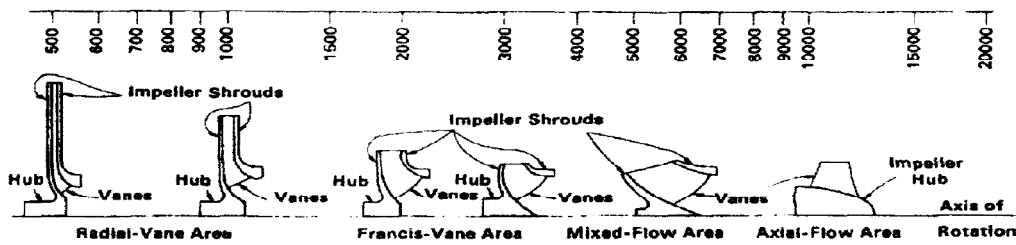
donde

N= rpm

Q= m<sup>3</sup>/seg

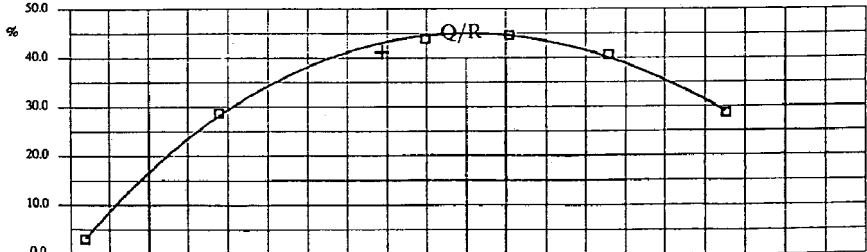
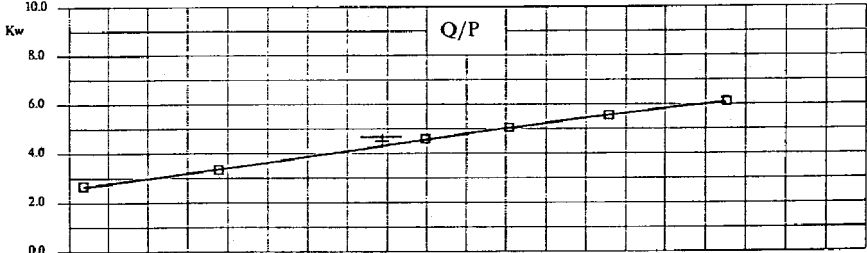
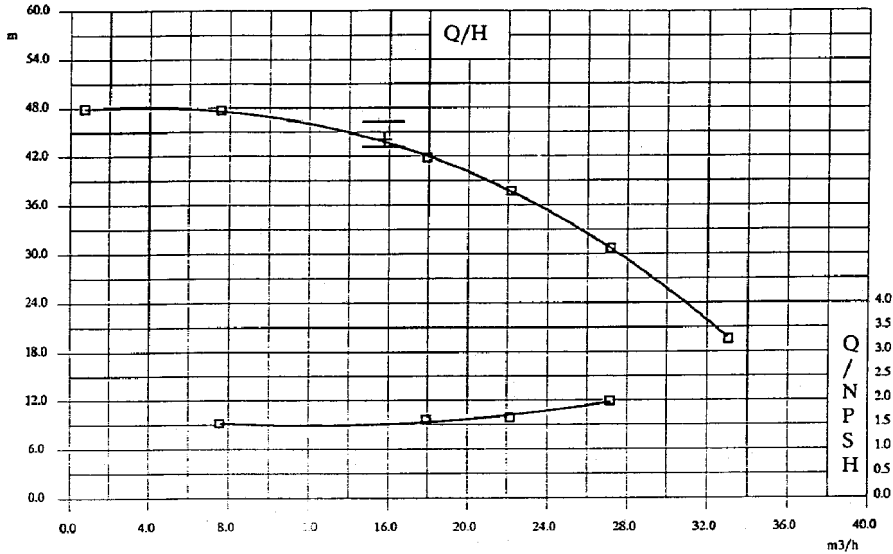
H= mcl

Clasifica el rodete o rodetes de la bomba con respecto a su semejanza geométrica.



— Curvas características: es la representación gráfica de las variables mencionadas, caracterizando la bomba en función del caudal que trasiega.

Generalmente, son cuatro las curvas características que se utilizan para caracterizar la bomba: H(Q), P(Q), η(Q) y NPSHr(Q). A continuación presentamos las curvas correspondientes a una bomba centrífuga (Q nominal = 15,7 m<sup>3</sup>/h; H nominal = 44,2 mcl).



Densidad = 1000 (Kg/m³) Viscosidad = 1 (mm²/s)



## *Sistema de sellado (cierres mecánicos):*

Un sistema de cierre es un mecanismo que impide que se produzcan fugas de líquido desde el interior de la bomba, a través del espacio existente entre el eje y la carcasa, como consecuencia de la mayor presión existente en el interior de la bomba.

Existen, en general, dos sistemas diferentes de sellado para bombas centrífugas:

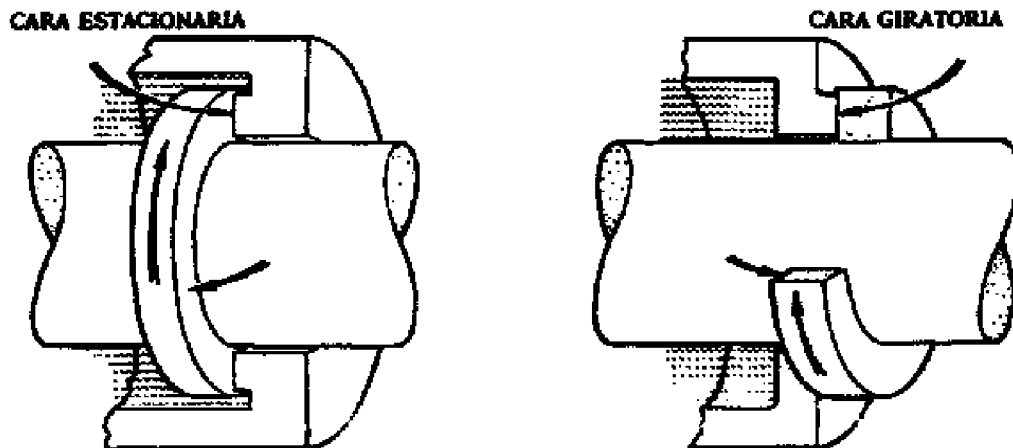
- Empaquetaduras.
- Cierres mecánicos.

Las empaquetaduras han sido utilizadas tradicionalmente para el sellado de ejes giratorios, pero hoy día ha sido sustituida en la gran mayoría de situaciones por cierres mecánicos, ya que éste es mucho más efectivo, utiliza piezas recambiables y no desgasta ni origina cualquier otro efecto sobre los equipos en los que se ha instalado.

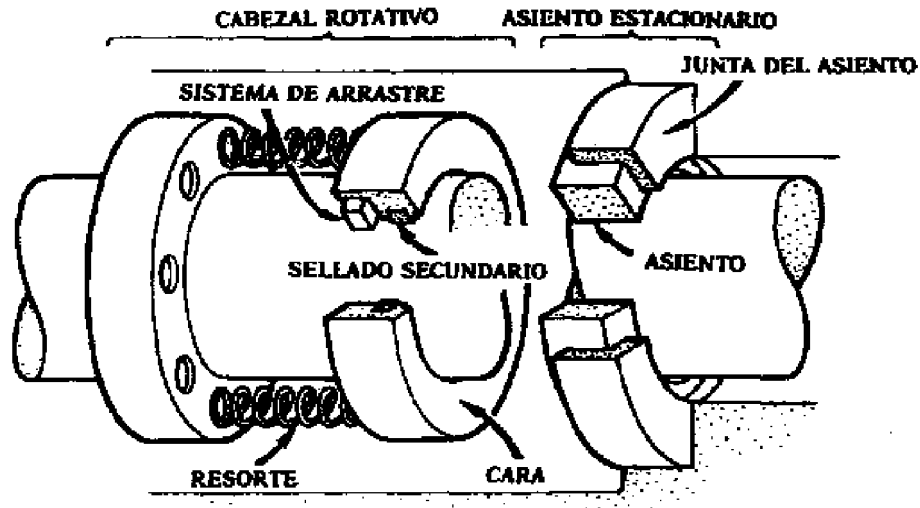
### **Cierre mecánico:**

Consiste esencialmente en dos superficies planas radiales: una montada sobre el eje giratorio y otra estacionaria, de forma que el sellado se produce mediante el contacto entre ambas con una cierta presión.. Una de ellas tiene una posición fija, mientras que la otra está dotada de una cierta flexibilidad radial y axial, a fin de compensar los movimientos del eje.

En la siguiente figura se muestra como las dos superficies radiales retienen el líquido.

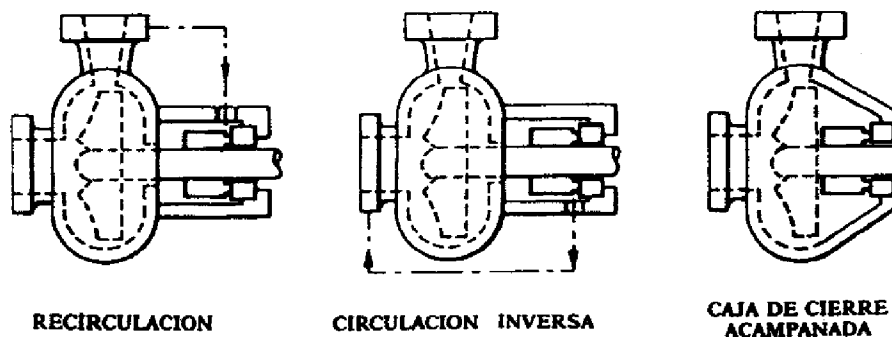


Los seis elementos principales de un cierre mecánico son: resorte, sistema de arrastre de la cara, elemento secundario de sellado, cara giratoria, asiento y junta de asiento. Su concepción e interrelación determinan una amplia variedad de diseños en cierres mecánicos.



Excepto en aplicaciones específicas, los cierres mecánicos están diseñados para el montaje interno con el conjunto flexible (cabezal) instalado sobre el eje. En este tipo de disposición el caudal que fluye alrededor del cierre podrá ser controlada de forma efectiva, al estar sometidos sus componentes a tensiones de compresión.

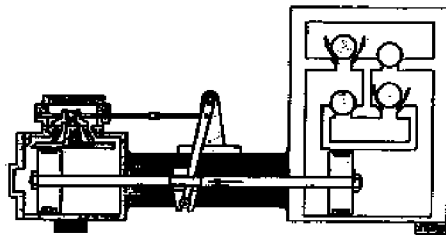
*Flushing:* Debido al movimiento relativo de una cara respecto de la otra se produce calor que hay que disipar porque, de lo contrario, se produciría la ebullición del fluido de sellado, lo que provocaría la destrucción del cierre. Por tanto, el líquido que lo baña se renueva con el mismo líquido bombeado (generalmente), bien mediante inyección desde la impulsión (recirculación), bien desde la cámara de cierre a la zona de aspiración



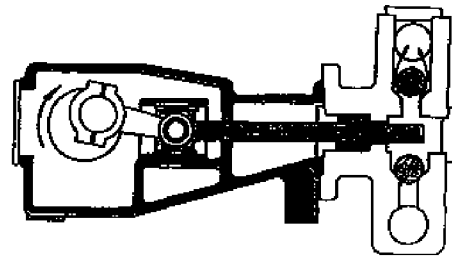
*Vapor (quenck):* Permite sellar eficazmente disoluciones que al evaporar pueden dejar residuos cristalinos. El quenck no penetra en la bomba y sirve para limpiar el espacio entre el cierre y el eje.

## *Bombas de desplazamiento positivo:*

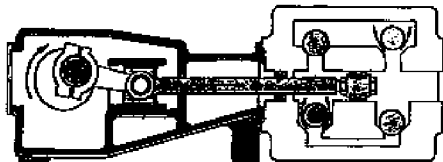
Las bombas de desplazamiento positivo son equipos impulsores oscilatorios dotados de elementos para la modificación sin escalonamientos de la longitud de la carrera para el ajuste del caudal. Son de gran aplicación en plantas industriales, generalmente como dosificadoras, y existe una gran cantidad de ellas.



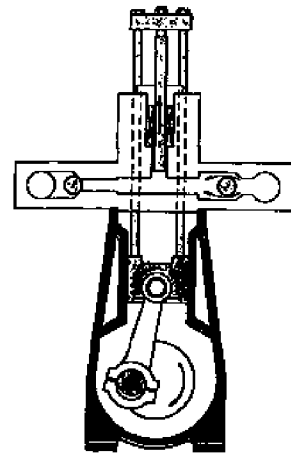
**HORIZONTAL DOUBLE-ACTING STEAM PUMP**



**HORIZONTAL SINGLE-ACTING PLUNGER POWER PUMP**



**HORIZONTAL DOUBLE-ACTING PISTON POWER PUMP**



**VERTICAL SINGLE-ACTING PLUNGER POWER PUMP**

De forma general, una bomba dosificadora consta de las siguientes unidades constructivas:

- Accionamiento, generalmente un motor eléctrico.
- Mecanismo propulsor de la bomba: se transforma el movimiento de giro del accionamiento en un movimiento oscilatorio del impulsor o pistón.
- Cabezal de la bomba: es el órgano de transporte. Trabaja con válvulas automáticas, las cuales se gobiernan por variaciones de presión en la cámara de trabajo al invertirse el movimiento de impulsión.

*Principio de funcionamiento:*

Las bombas dosificadoras transportan líquido pulsatoriamente mediante la acción de un pistón o una membrana que impulsa el líquido por presión sobre el mismo. A cada carrera de la bomba, el líquido debe ser acelerado a una velocidad máxima y, luego, ser nuevamente retardado a una velocidad cero, de forma que se producen pulsaciones senoidales de bombeo.

Con vistas a evitar estas perturbaciones discontinuas en la instalación se suelen instalar botellas amortiguadoras de pulsaciones. Otra forma de amortiguar las pulsaciones es instalando bombas de múltiples cilindros, lo que ocurre es que estas bombas son más caras que el coste de la solución monocilíndrica.

*Terminología habitual:*

Algunos de los términos habituales que caracterizan estas bombas son los mismos que para las centrífugas, otros no. De forma resumida son los siguientes:

— Caudal (Q):

$$Q=D(1-S)=d \cdot n \cdot m \cdot (1-S)$$

donde:

D: volumen desplazado por la bomba por unidad de tiempo y por cámara de bombeo.

S: porcentaje de líquido perdido por fugas, más la pérdida por compresibilidad del mismo.

d: desplazamiento por cámara de bombeo.

m: número de cámaras de bombeo.

n: ciclos por unidad de tiempo.

— Presión:

Presión de aspiración

Presión de impulsión

Presión diferencial

— Potencia

— Eficiencia

— NPSHd

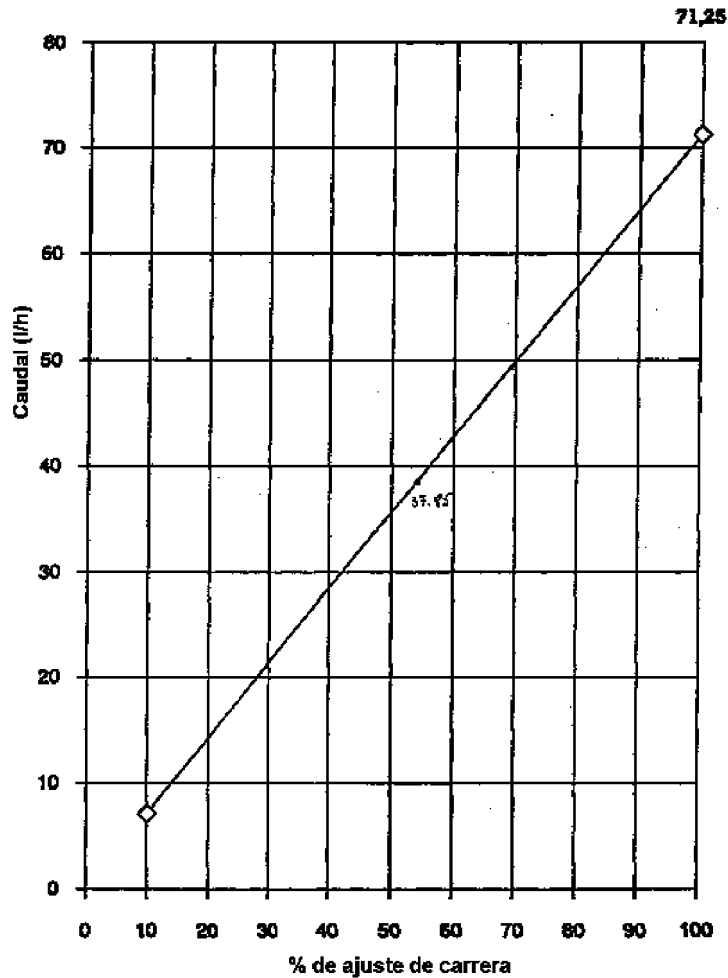
— NPSHr

*Reglaje del caudal de las bombas de desplazamiento positivo*

Las formas de reglaje del caudal trasegado por una bomba de este tipo se puede realizar de alguna de las siguientes formas:

- tornillo regulable en el cigüeñal que conduce el desplazamiento del pistón;
- absorción de una parte del desplazamiento del pistón mediante un “by-pass” hidráulico interno en algunas bombas de diafragma;
- diferentes mecanismos que proveen el ajuste de la longitud de la carrera de pistones alternativos;
- variación de velocidad, los cuales varían el caudal.

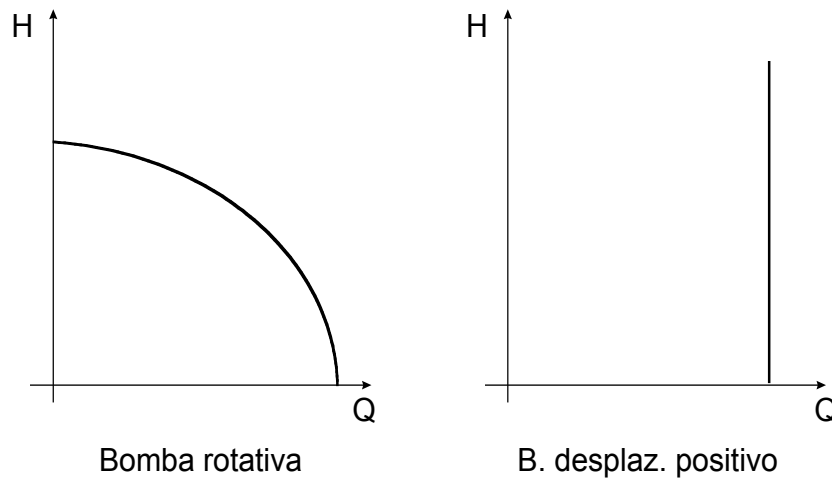
Gracias a esta posibilidad de poder variar el caudal global de la bomba se podrá usar el mismo tamaño de bomba para diferentes caudales, y esta regulación es la que da lugar a la curva (recta) de regulación de una bomba de desplazamiento positivo.



La regulación, así como la exactitud de dosificación, no sólo depende de la precisión de la bomba, sino también de sus condiciones de aplicación. Por lo general, relaciones de ajuste de carrera 1:10 se obtienen buenas exactitudes de dosificación, de forma que el margen verdadero de dosificación se sitúa entre el 10% y 100% de la máxima longitud de carrera.

### *Comparación bomba rotativa vs. Bomba desplazamiento positivo.*

Si observamos las gráficas caudal-presión características del funcionamiento de cada uno de estos tipos de bombas podremos apreciar el diferente comportamiento dinámico que cada uno de ellos ofrece.



Como podemos apreciar la presión suministrada por la bomba rotativa al fluido será función del caudal que se le exija, así conforme aumentemos la demanda de caudal tendremos una menor presión disponible en la misma.

Por otro lado las bombas de desplazamiento positivo nos ofrecerán un caudal constante proporcional al desplazamiento de su pistón, pudiéndose variar la presión de trabajo de la misma. Esta presión se podrá ir incrementando hasta llegar a límites constructivos, tales como hermeticidad de cierres, no de funcionamiento de la bomba.