

Introducción teórica*

Potencia. Las bombas son aparatos que confieren energía para transportar líquidos de un lugar a otro. Suministra la energía necesaria para succionar el líquido de un tanque y descargarlo con una velocidad volumétrica de flujo constante a través de la salida de conducción. Como la única fricción existente es la que se produce en el interior de la bomba y esta se incluye en el rendimiento mecánico, entonces $h_f = 0$, por lo que la ecuación de Bernoulli puede escribirse, aplicada a la entrada y a la salida de la bomba, como:

,

donde las magnitudes entre paréntesis suelen denominarse H y reciben el nombre de cargas totales, por lo que . A la energía necesaria para accionar la bomba se la denomina potencia de freno y se calcula mediante , siendo $\dot{m}$ la velocidad de flujo de masa en Kg/seg.

Cavitación. La potencia de la bomba depende de la diferencia de presión entre la descarga y la succión. Por consideraciones energéticas es indiferente que las presiones de succión y descarga estén por debajo de la atmosférica o por encima de ella. En la práctica, el límite inferior de la presión de succión está fijado por la presión de vapor del líquido correspondiente a la temperatura del mismo en la toma de succión. Si la presión sobre el líquido alcanza su presión de vapor, parte del mismo sufre vaporización súbita, proceso que recibe el nombre de cavitación. Cuando tiene lugar la cavitación en la conducción, no puede succionarse líquido con la bomba. La cavitación no tendrá lugar, siempre que la suma de las cargas de velocidad y presión en la toma de succión sea sensiblemente mayor que la presión de vapor del líquido. La cantidad en exceso respecto de la suma de estas cargas, sobre la presión de vapor, recibe el nombre de carga neta de aspiración positiva y se representa CNPA, Carga Neta Positiva de Aspiración. Para una bomba que hace succión de un tanque:

Si aplicamos la ecuación de Bernoulli sobre un punto (a') al nivel del líquido en el tanque e igualando con la ecuación anterior llegamos a:

Si el líquido no es volátil, la fricción es despreciable y la presión en a' es la atmosférica, CNPA es la carga barométrica media en altura del líquido y representa la altura máxima de succión posible desde un tanque que está en comunicación con la atmósfera. Para el agua fría es de aproximadamente 10 metros. La cavitación se puede dar dentro de la bomba si la presión en algún punto alcanza $CNPA = 0$. Este hecho da lugar a que la bomba no funcione normalmente y además origina un gran desgaste y deterioro mecánico.

Para evitar la cavitación se puede reducir el caudal o variar la carga total en el punto de succión suficientemente para que $CNPA < 0$. El CNPA se representa en gráficas suministradas por el fabricante en función de las características del líquido, la velocidad de la bomba, de su capacidad y del diseño del rodete, se denominan gráficas $H-Q$.

Gases. En este caso se utilizan ventiladores, soplantes y compresores.

Bombas de Desplazamiento Positivo. En la mayor parte de los tipos de bomba, un volumen determinado de líquido queda encerrado en una cámara, la cual alternativamente se llena por la entrada y se vacía por la salida. Pueden ser alternativas o rotatorias.

Alternativas. Poseen un cilindro estacionario que contiene un pistón o émbolo. En estas el líquido es succionado hacia el interior del cilindro a través de una válvula de retención, por acción de un pistón, y luego es forzado a salir a través de una válvula de retención de descarga, en la carrera de vuelta del pistón. La mayor parte de las bombas de pistón son de doble efecto, es decir el líquido puede admitirse a ambos lados del pistón, de modo que mientras se llena por un lado se vacía por otro y viceversa. La forma de los pistones se

adapta para evitar las fluctuaciones de descarga. El émbolo puede accionarse mediante un motor equipado con un engranaje reductor o puede emplearse un cilindro de vapor que accione directamente el vástago del émbolo. La presión máxima de descarga en bombas comerciales de pistón es aproximadamente de 50 Kgf/cm². Para presiones mayores se emplean **bombas de émbolo**, donde el émbolo es en realidad una ampliación del vástago. Pueden descargar a una presión de 1400 Kgf/cm² o superiores. El rendimiento para bombas pequeñas es del 40–50% y para bombas grandes del 70–90%. Es prácticamente independiente de la velocidad, dentro de los límites normales de operación y disminuye ligeramente al aumentar la presión de descarga debido a la fricción adicional y a las fugas.

La potencia suministrada es directamente proporcional a la altura por el caudal. Así, para una velocidad de funcionamiento dada (caudal constante) la potencia absorbida es igual al rendimiento por la altura. El rendimiento crece rápidamente al principio, con la altura, y luego permanece sustancialmente constante. Por tanto, para que el rendimiento sea máximo, una bomba alternativa debería hacerse funcionar a valores de altura correspondientes al tramo plano de la curva de rendimiento. En tal caso, el rendimiento no variará mucho si la bomba funciona en un intervalo de alturas, o en un intervalo de caudales (es decir, a diferentes velocidades). Como la potencia absorbida es directamente proporcional a la altura, una bomba alternativa puede sobrecargarse. Con el exceso de potencia disponible, existe el riesgo de que la presión interna sea excesiva. Con una válvula de relajación se puede proteger la bomba. También se deduce que no es práctico el control del caudal por estrangulamiento de la descarga. La única manera de conseguir la variación del caudal consiste en alterar la velocidad de la bomba o el desplazamiento de la máquina. Este último método suele basarse en la variación de carrera, si bien hay otros métodos, como el de variación de los tiempos de la válvula y el uso de derivaciones (by-pass).

Cuanto más viscoso sea el fluido, mayor será la carga o altura necesaria y, por tanto, la potencia absorbida. Una considerable proporción de dicha potencia se disipará como altura y dará lugar a un aumento apreciable de la temperatura del fluido. Este fenómeno se autocompensa porque la viscosidad del fluido disminuirá al aumentar la temperatura. Pero, si se quiere mantener un buen rendimiento con fluidos más viscosos y limitar el incremento de temperatura a un grado aceptable, es frecuente rebajar la velocidad de bombeo (degradando la capacidad de la bomba) cuando se manejan fluidos viscosos.

El caudal de una bomba alternativa es inherentemente pulsatorio. En las bombas motorizadas, el flujo de descarga es de características sinusoidales. Con una bomba de acción directa, la descarga es pulsatoria, pero con una modalidad de flujo básicamente constante en casi toda la carrera. Sin embargo, en ambos casos, el flujo se anula momentáneamente en ambas posiciones extremas de la carrera, cuando el pistón queda estacionario en el instante de inversión. Si la bomba es de simple efecto, el flujo de descarga sigue siendo nulo durante el período que ocupa la carrera de aspiración, lo cual exagera notablemente la naturaleza pulsatoria de dicho flujo. Un sencillo método de suavizar el flujo en una bomba de doble efecto consiste en incluir una cámara amortiguadora hacia la que parte del flujo es forzado bajo presión y expulsado cuando la presión se anula. El efecto es un bucle de enlace, de flujo constante, durante el período entre el final de la carrera y el principio de la siguiente, con lo que se suavizan las pulsaciones. Esta solución es normal en bombas de un cilindro de doble efecto. Otra forma de suavización consiste en emplear dos o más cilindros que trabajen desfasados. Así, con el flujo propio de una bomba de dos cilindros, las variaciones se reducen apreciablemente, incluso sin amortiguación. En el caso de bombas de tres cilindros, el flujo aún es más suave y, cuando se llega al funcionamiento en cinco cilindros, el flujo suele mantenerse dentro de un reducido porcentaje del flujo medio, aún sin amortiguación, lo cual permite despreciar el efecto de ondulación.

Rotatorias. Pueden ser de engranaje, de lóbulo, de husillo, excéntricas y de paletas. Al contrario que las alternativas no tienen válvulas de retención. Cuanto mayor sea el ajuste entre las partes móviles y las estacionarias, menores serán las fugas desde la cámara de descarga hacia la de succión. Por otra parte esto limita la velocidad. Trabajan mejor con fluidos limpios y moderadamente viscosos (aceites lubricantes ligeros). Pueden operar con presiones de descarga superiores a 210 Kgf/cm².

En las de **engranaje cilíndrico** los engranajes giran con buen aguaste dentro de la carcasa. El líquido entra a través de la tubería de succión por la parte inferior de la carcasa, es ocluido entre los espacios existentes entre los dientes y la carcasa, y circula periféricamente hacia la parte superior de la misma y es lanzado hacia el punto de descarga. El líquido no puede volver a la cámara de succión debido al estrecho ajuste de los engranajes en el centro de la bomba.

La bomba de **engranaje interno**, consta de una carcasa, dentro de la cual hay un piñón que engrana con una corona dentada. La corona dentada es coaxial con la carcasa, pero el piñón que es movido desde el exterior, está montado excéntricamente. Una media luna metálica estacionaria llena el espacio que existe entre los dos engranajes. El líquido es transportado desde la entrada hasta el orificio de descarga por ambos engranajes, ocluido entre los dientes de los engranajes y la media luna.

Las **bombas lobulares** se asemejan a las bombas del tipo de engranes en su forma de acción, tienen dos o más rotores cortados con tres, cuatro, o más lóbulos en cada rotor. Los rotores se sincronizan para obtener una rotación positiva por medio de engranes externos. Debido a que el líquido se descarga en un número más reducido de cantidades mayores que en el caso de la bomba de engranes, el flujo del tipo lobular no es tan constante como en la bomba del tipo de engranes. Existen también combinaciones de bombas de engrane y lóbulo.

El desplazamiento de una bomba rotatoria varía en forma directamente proporcional con la velocidad, sólo que la capacidad puede verse afectada por viscosidades y otros factores. Los líquidos gruesos y viscosos pueden limitar la capacidad de la bomba en altas velocidades debido a que el líquido no puede fluir a la carcasa con la rapidez necesaria para llenarla completamente.

La mayor parte de las bombas rotatorias son autocebantes y pueden, de ser necesario, trabajar con gas o aire. Las aplicaciones típicas incluyen el paso de líquido de todas las viscosidades, procesos químicos, alimento, descarga de barcos, lubricación a presión, pintura a presión, sistemas de enfriamiento, servicio de quemadores de aceite, manejo de grasa, gases licuados (propano, butano, amoníaco, freón, etc.), y un gran número de otros servicios industriales. Cuando han de bombearse líquidos a temperaturas más elevadas de 82 °C, debe consultarse al fabricante para obtener sus recomendaciones.

Sí se desprecian los escapes, las bombas rotatorias descargan un gasto constante independiente de las presiones variables de descarga. Así, la curva usual H-Q es prácticamente una línea horizontal.

Bombas Centrífugas. En este tipo de bombas la energía mecánica del líquido se aumenta por acción centrífuga. El líquido penetra a través de una unión de succión, concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamada impulsor o rodete. El rodete está provisto de álabes radiales solidarios con el mismo. El líquido circula hacia fuera por el interior de los espacios que existen entre los álabes, y abandona el rodete con una velocidad mucho mayor que a la entrada del mismo. En una bomba que funciona normalmente, el espacio comprendido entre los álabes está totalmente lleno de líquido que circula sin cavitación. El líquido que sale periféricamente del rodete se recoge en una carcasa en espiral, llamada voluta, y sale de la bomba a través de una conducción tangencial de descarga. En la voluta, la carga de velocidad del líquido procedente del rodete, se convierte en carga de presión. El fluido recibe energía del rodete, que a su vez es transmitida al mismo mediante conexión directa un motor de velocidad constante, del orden de 1750 rpm. Tienen un alto rendimiento pero están muy limitados a las condiciones de operación determinadas por el fabricante.

Las características de una bomba centrífuga se calculan para una bomba ideal, teniendo pues que ajustarla por comprobaciones experimentales para cada caso específico. La carga desarrollada por una bomba real es considerablemente menor que la calculada para una bomba ideal, por consiguiente, el rendimiento es menor que la unidad. Las pérdidas de choque son debidas al choque del líquido contra las paredes de la voluta. Esto se puede solucionar colocando un difusor entre la voluta y los álabes reduciendo al máximo el choque del líquido con la pared de la voluta. En el difusor se produce una considerable reducción de velocidad y un

aumento de la presión. También se dan pérdidas de potencia originadas por la fricción del fluido y las pérdidas de choque, por cuanto implican conversión de energía mecánica en calor. También hay que tener en cuenta que la potencia consumida aumenta, sin variación de la carga, debido a fugas, fricción de los discos y pérdidas en los cojinetes. El primero origina una disminución del volumen de descarga por unidad de potencia que se consume, la fricción de los discos tiene lugar entre la superficie exterior del rodete y el líquido situado entre el rodete y el interior de la carcasa, y la pérdida en los cojinetes corresponde a la potencia que se requiere para vencer la fricción mecánica que tiene lugar en los cojinetes y las cajas prensaestopas de la bomba.

Se trata de bombas de construcción sencilla, bajo coste inicial y de mantenimiento, tienen ausencia de válvulas en el cuerpo de la bomba. Tienen la posibilidad de acoplamiento directo a un motor eléctrico. Es la mas pequeña de las bombas para una determinada capacidad. Posee un funcionamiento muy estable y puede manejar líquidos con sólidos en suspensión.

Ventiladores. Los ventiladores de gran tamaño son generalmente centrífugos. El principio de funcionamiento es exactamente el mismo que el de las bombas centrífugas. Los rodetes se montan dentro de una carcasa construida con una lámina de metal ligero. A veces prácticamente toda la energía suministrada se convierte en energía de velocidad y casi nada en carga de presión. De todas formas, el aumento de velocidad absorbe una cantidad apreciable de la energía suministrada y ha de incluirse al estimar el rendimiento de la bomba. El rendimiento total es del orden del 70 %. Una diferencia entre bombas y aparatos para el flujo de gases radica en el efecto de la presión y temperatura sobre la densidad del gas que entra al sistema. El equipo para gases se clasifica ordinariamente en función el llamado metro cúbico normal. El volumen en metros cúbicos normales se mide a una determinada presión y temperatura, independientemente de la temperatura y presión del gas que llega al aparato. En la industria se emplean diferentes normalizaciones, pero una de las más frecuentes se basa en una presión de 760 mm de mercurio a una temperatura de 15 °C y corresponde a un volumen molar de 23,645 m³/molKg.

Soplantes. Al aumentar adiabáticamente la presión de un fluido compresible, aumenta también la temperatura del mismo. Este aumento de temperatura tiene algunos inconvenientes. Como consecuencia del aumento de volumen específico de un fluido con la temperatura, el trabajo necesario para comprimir un kilogramo del mismo, es mayor que si la compresión fuese isotérmica. Las temperaturas excesivas crean problemas con los lubricantes, cajas prensaestopas y materiales de construcción; además el fluido puede no soportar temperaturas elevadas sin descomponerse. En las soplantes la relación entre la presión de salida y la de entrada es inferior a 3 ó 4 por lo que no es necesario tomar precauciones especiales para reducir el aumento de la temperatura que se origina al paso del gas por la soplante.

Las soplantes operan de igual modo a como lo hacen las bombas de engranaje, excepto que debido al diseño especial de los dientes, la holgura es solamente de unas centésimas de milímetro. La posición relativa de los rodetes, se mantiene con exactitud por medio de pesados engranajes externos. Una soplante de una sola etapa puede descargar gas a una presión de 0,4 a 1 Kg/cm² y una de dos a 2Kg/cm².

Compresores. Pueden emplearse para presiones de descarga de hasta 7 Kg/cm². La mayor parte de los compresores que operan con presiones de descarga superiores a 3,5 Kg/cm², son máquinas alternativas de desplazamiento positivo. Estos aparatos operan mecánicamente de la misma forma que las bombas alternativas, con la diferencia de que es más difícil evitar las fugas y el aumento de temperatura es aquí importante, la relación entre la presión de salida y la de entrada es superior a 10, por lo que se necesitan métodos de refrigeración para disminuir la temperatura. Las paredes y los cabezales del cilindro están encamisados para hacer circular agua u otro líquido refrigerante. Los compresores alternativos son generalmente movidos a motor y son casi siempre de doble efecto. Cuando la relación de compresión que se requiere es mayor que la que puede lograr se en un cilindro, se emplean compresores de etapa múltiple. Entre cada dos etapas se disponen refrigerantes, que son cambiadores de calor enfriados por agua u otro líquido refrigerante; y tienen la suficiente capacidad de transmisión de calor para hacer descender la temperatura del

gas hasta el valor nominal en la succión. Con frecuencia se utiliza un refrigerante final para enfriar el gas que sale de la última etapa.

Un compresor que succiona a una presión por debajo de la atmosférica y descarga a la presión atmosférica, recibe el nombre de **bomba de vacío**. Cualquier tipo de soplante o compresor alternativo, rotatorio o centrífugo, puede adaptarse para hacer vacío, modificando el diseño de forma que entre gas a densidad baja por la succión y se alcance la relación de compresión necesaria. A medida que disminuye y se hace cero para la menor presión absoluta que puede alcanzar la bomba. El rendimiento mecánico, por otra parte, es generalmente inferior que para un compresor. El volumen desplazado aumenta rápidamente al disminuir la presión de succión puesto que para hacer circular una cantidad relativamente grande de gas, se necesita un aparato de gran tamaño. La relación de compresión que se utiliza en las bombas de vacío, es mayor que en compresores y es del orden de 100 o más, de forma que la temperatura de descarga es muy alta. Sin embargo, realmente, la compresión es prácticamente isotérmica debido a que como la velocidad de flujo de masa es pequeña, la transmisión de calor desde la superficie metálica es relativamente grande.

* Todos los elementos mencionados en este trabajo son elementos impulsores de fluidos.

Bombas, ventiladores, soplantes y compresores Página 5