

BOMBAS DE REGADIO

Dr. Jorge Jara R. Dr. Alejandro Valenzuela y Claudio Crisóstomo F.

Ing. Agrónomo, Ph.D., Ing. Agrónomo, Ph.D. y Ing. Civil Agrícola, M.Sc.

Facultad de Ingeniería Agrícola

Universidad de Concepción

I. GENERALIDADES

Las bombas son elementos modernos que para elevar agua utilizan energía eléctrica, petróleo o eólica para transformarla en energía cinética que mueve grandes cantidades a una velocidad tal que logra vencer la energía gravitacional.

Las bombas de riego más comúnmente usadas en captaciones de aguas, se pueden clasificar de acuerdo a la categoría del impulsor en:

1. Radiales : Son aquellos impulsores en que el agua suele salir en un ángulo de 90° al eje de rotación
2. Axiales o helicoidales: Son aquellos que impulsan el agua análogamente a un ventilador que impulsa aire. O sea, el fluido sale paralelo al eje de rotación.
3. Mixtos: Son aquellos en el ángulo de impulsión está en 0° y 90° con respecto al eje.

1.1. Bombas centrífugas o radiales

Son las más populares y, a veces, las únicas existentes en el mercado. Se caracterizan por hacer uso de la fuerza centrífuga para impulsar el agua, razón por la cual el agua sale perpendicular al eje de rotación del álabe o rodete.

Este tipo de bomba proporciona un flujo de agua suave y uniforme. Se adapta a trabajos a velocidades altas, las que son normales en motores eléctricos. Son especialmente indicadas para elevar caudales pequeños a gran altura.

1.2. Bombas axiales o helicoidales

No hacen uso de la fuerza centrífuga para elevar el agua, sino que empujan el agua tal como un ventilador impulsa el aire que lo rodea, razón por la cual el agua sale paralela al eje de rotación del impulsor. Son especialmente indicadas, para elevar grandes caudales a baja altura, pudiendo elevar hasta 11 m³/seg a alturas de 1 a 6 metros.

1.3. Bombas de flujo mixto

Para aprovechar las ventajas de sencillez y poco peso de las bombas helicoidales y aumentar la altura de elevación, se modifica la forma de los álabes de la hélice, dándoles una forma tal que imparten al agua una cierta fuerza centrífuga. Alcanzan su mejor rendimiento con gastos entre 30 y 3000 litros/segundo y alturas de elevación de 3 a 18 metros.

Casi la totalidad de las bombas comercializadas en Chile corresponden a las del tipo centrífuga, existiendo modelos específicos para caudal y otros para altura de presión.

De acuerdo a su construcción los impulsores se clasifican en:

- a) *Cerrados*: Que se caracterizan por estar constituidos por una envoltura que une a los alabes (aspas)
- b) *Semicerrados*: Poseen una sola envoltura, por un lado.
- c) *Abiertos*: Consisten solo de alabes unidas al eje de rotación y reforzadas por uniones metálicas.

Se prefiere aquellos abiertos y semicerrados para condiciones de bombear agua con lodo o basura, dado que permiten una autolimpieza. Aquellas que poseen impulsores cerrados, podrían, en esas condiciones, deteriorar el metal y por tanto bajar la eficiencia de operación.

El agua es aspirada por una tubería que sale desde el centro de la carcaza u ojo y es impulsada al exterior por la tubería de salida. En otras palabras, el agua sube impulsada por el gradiente de presión que se produce entre la atmósfera y el interior de la carcaza. El agua es aspirada por el desplazamiento de masa, el que produce un vacío que se trasmite por la tubería, hasta el chupador. Así, se utiliza la aspiración diferencial de presión que impulsa el agua al interior de la carcaza. Las alabes están diseñados para impulsar el agua hacia la zona externa del rodete. Por ello se conocen como centrífuga.

La tubería de aspiración debe estar perfectamente sellada al aire, para evitar que se rompa la columna aspirante y, por ende, se mantenga el diferencial de presión. Esta es una de las fallas más comunes en la instalación de plantas de bombeo.

Las bombas centrífugas pueden ser de una o varias etapas. Cuando son de multietapas el agua que impulsa la primera etapa es vaciada a la segunda, en donde recibe un nuevo impulso y llega a la tercera donde es tomada por un nuevo rodete que la vuelve a impulsar y así sucesivamente. Los impulsores están conectados en series.

También se utiliza como pauta de clasificación de bombas la orientación del eje de rotación. Así las hay horizontales y verticales.

II. PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Se consideran parámetros que miden el funcionamiento de una bomba el caudal, presión, potencia que consumen, altura neta de succión positiva y velocidad específica. Estos parámetros se consideran en este escrito.

- 1) **Caudal:** El caudal se mide como el volumen que descarga la bomba por unidad de tiempo. Esto es litros por segundo, o litros por minutos, o $\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$. Se determina vaciando el flujo que sale de la tubería en un tambor de 200 litros o balde de capacidad conocida y se registra el tiempo en que el agua alcanza el volumen total del envase o alguna altura de referencia.
- 2) **Presión, carga hidráulica, altura manométrica total o dinámica:** Es una expresión del trabajo que realiza el equipo por unidad de peso elevada. Así, la presión de una bomba o la energía mecánica transmitida al líquido debe ser tal (Figura 1), que permita al agua vencer los siguientes factores:
 - La altura estática (diferencia de nivel entre la toma y entrega del agua)
 - Las pérdidas de carga por fricción del fluido con la tubería (H_f).
 - Pérdidas por singularidades o accesorios (H_s).
 - Los requerimientos de presión (P) si, por ejemplo, se hace funcionar un equipo de riego presurizado
 - La altura representativa de velocidad ($V^2/2g$).

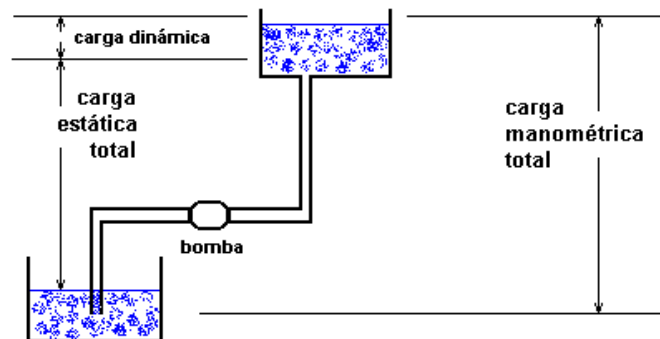


FIGURA 1. Esquema de carga dinámica en un sistema de bombeo.

2.1. Altura estática

Se denomina altura estática o carga estática total (Figura 2) a la diferencia de altura entre el punto de toma de agua y donde se entrega. Se divide en carga estática de aspiración y carga estática de elevación.

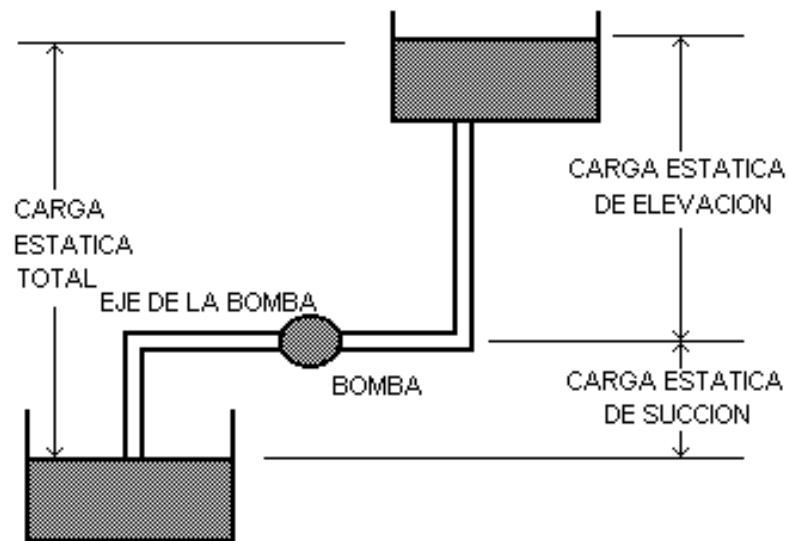


FIGURA 2. Esquema de cargas estáticas en un sistema de bombeo.

Las pérdidas de carga por fricción (H_f) y pérdidas por singularidades (H_s) se determinan acorde a lo señalado en el capítulo de hidráulica de tuberías

2.2. Requerimientos de presión (P) del sistema

Es la presión mínima que se requiere, para que un determinado sistema funcione. Normalmente se expresa en metros de columna de agua (m.c.a.), y vale cero si la bomba descarga a través de la tubería libremente hacia la atmósfera. Si la bomba debe llenar un

estanque a presión, o mover un aspersor, o salir a través de un gotero, se debe considerar la presión de trabajo de estos elementos de riego, valores que figuran en los respectivos catálogos.

Se debe considerar, además, los requerimientos de presión o pérdidas de energía que se producen en accesorios de riego tales como filtros, válvulas, etc. (Tabla1)

TABLA 1. Presión de trabajo (m.c.a.) de los accesorios de riego más comunes.

Filtros de malla	3 - 5
Filtros de arena	1 - 3
Cintas	3 - 6
Goteros	3 - 12
Micro aspersores	16
Aspersores	25 - 35
Válvulas de aire	0.5
Válvulas de no retorno	1

2.3. Altura representativa de velocidad ($V^2/2g$)

Corresponde a la energía cinética del agua dentro de la tubería, que depende de la velocidad del agua (V). Se relaciona con la velocidad de salida del agua desde la tubería. Su valor, se expresa en m.c.a.

Para efectos de diseño, ésta se suma a los requerimientos de presión del sistema, con el fin de obtener la Altura o Carga Manométrica Total.

Ejemplo : Se están bombeando 17 lt/seg a través de una tubería de 100 mm de diámetro interior, entonces la altura de velocidad que se debe vencer se calcula de la siguiente manera:

- Se utiliza la fórmula propuesta para el cálculo de la velocidad en el Capítulo Hidráulica de Tuberías:

$$V = \frac{4 * 0.017}{\pi * 0.10^2} = 2.16 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto la altura representativa de velocidad es:

$$\frac{V^2}{2 * g} = \frac{2.16^2}{2 * 9.8} = 0.24m$$

Este valor, aunque es pequeño, se debe considerar en el cálculo de la Altura Manométrica Total.

2.4. Potencia de la bomba

La energía que entrega la bomba al fluido se conoce como potencia. De este modo, la potencia en el eje de la bomba, considerando su eficiencia, es aquella que corresponde para elevar una determinada masa de agua por unidad de tiempo, comunicándole una cierta presión al fluido para vencer la carga magnética. Se puede determinar a partir de:

$$HP = \frac{QH}{75 * \eta} \quad \text{Ec.N}^\circ 1$$

o bien

$$KW = \frac{Q * H}{102 * \eta} \quad \text{Ec.N}^\circ 2$$

donde:

- HP = Potencia consumida por la bomba (o potencia en el eje de la bomba), (HP).
 KW = Potencia consumida por la bomba (o potencia en el eje de la bomba), (KW).
 Q = Caudal elevado (l/s).
 H = Carga total o dinámica (m).
 η = Eficiencia de la bomba, $0 < \eta < 1$

Observación: 1 HP = 745 Watts.

Ejemplo: Se desean elevar 15 lt/s, con una carga manométrica total de 25 m y una eficiencia de la bomba de 85% (0.85). La potencia calculada es:

$$HP = \frac{15 * 25}{75 * 0.85} = 5.9$$

O bien en KW:

$$KW = \frac{15 * 25}{102 * 0.85} = 4.3$$

La bomba seleccionada deberá tener una potencia de por lo menos 6 HP (4.5 KW), con el propósito de no sobrecargarla durante su funcionamiento.

La potencia comunicada a la bomba es proporcionada por una máquina motriz la cual, en su eje, deberá entregar una potencia efectiva igual o mayor a la requerida por roce y otras; la potencia del motor se determina por la siguiente expresión:

$$Potencia\ motor = \frac{Potencia.B\ omba}{\eta_{motor}} \quad Ec.N^{\circ}3$$

donde:

η_{motor} = Eficiencia del motor

El valor de la potencia del motor eléctrico indica la potencia absorbida en la red y que es aproximadamente un 20% mayor que las necesidades de la bomba. Esto en atención a que las eficiencias de los motores eléctricos oscilan alrededor del 84% ($\eta = 0,84$); en cambio, los de combustión interna tienen una eficiencia variable, según su antigüedad y forma de utilización, siendo substancialmente menor a la de los motores eléctricos ($\eta = 0.40$ a 0.60).

2.5. Altura neta de Succión Positiva (NPSH)

Es la cantidad de energía requerida para mover el agua dentro del impulsor, y depende del diseño de la bomba. Corresponde a la energía que necesita una bomba para no cavitarse. La presión con que inicia su movimiento el agua, antes de entrar a la bomba, es la atmosférica, y conocemos que al someter a un fluido a presiones menores que la atmosférica, el líquido tiende a hervir. Precisamente, en una tubería esto ocurre al momento que el equipo aspira el agua, ya que se debe desarrollar una presión menor a la atmosférica. En esa condición, se producirán zonas de baja presión que pueden producir burbujas de vapor (de baja presión), las que al ser arrastradas a zonas de mayor presión interna seguramente colapsarán. Este fenómeno se llama cavitación. El proceso al repetirse con alta frecuencia en la superficie metálica de la bomba, libera una gran cantidad de energía y producirá algunas “caries” en el metal. Esto debe ser evitado.

Cuando la altura neta de succión positiva evita la cavitación evitará también la producción de burbujas. Los fabricantes de los equipos de bombas, mediante pruebas de laboratorio, establecen el valor mínimo requerido de la altura neta de succión positiva (NPSHR)

Si este mínimo de energía no está presente en el líquido en la succión de entrada de la bomba, al moverse el fluido hacia el centro del impulsor este vaporizará, produciendo cavitación que físicamente destruirá la bomba.

2.6. Velocidad específica (η_q)

La velocidad específica es un valor empleado para clasificar los rodets de acuerdo con sus características. Se define como la velocidad en r.p.m. (n) a la cual funcionaría el rodete si se redujera proporcionalmente su tamaño para dar un gasto igual a 1 con una carga total unitaria.

Desgraciadamente, en los países de habla inglesa se toma como gasto unitario un galón por minuto (g.p.m.) y como altura unitaria 1 pie. En los países que usan el sistema métrico no hay uniformidad: algunos toman como unidad de gasto $1 \text{ m}^3/\text{s}$, otros 1 lt/s y también 75 lt/s . La unidad de altura es siempre el metro. Si expresamos el gasto en m^3/s y la altura en metros, debemos usar la siguiente fórmula para tener los mismos valores que en USA.

$$\eta_q = 52 \frac{n\sqrt{q}}{H^{3/4}} \quad \text{Ec.N}^\circ 4$$

Es decir, si ponemos al caudal q en m^3/s y la altura monométrica o carga total H en metros, debemos multiplicar por 52 para tener la velocidad específica en unidades norteamericanas (con unidades g.p.m. y pie).

Se debe dejar bien en claro que la velocidad específica indica las proporciones y características del rodete y no es una velocidad de la bomba para condiciones especiales. Un rodete puede funcionar a alta velocidad u estar clasificado como de baja velocidad específica y viceversa.

Cuando se trata de rodete con succión doble, se debe usar como gasto total en la fórmula la mitad del gasto total.

En general, mientras más baja es la altura de elevación, más alta será la velocidad específica llegando a más de 8000 en las de tipo hélice (en unidades norteamericanas).

En las bombas mientras más baja es la altura de elevación, más alto será la velocidad específica.

III. CURVAS CARACTERISTICAS

Las curvas características de las bombas son relaciones gráficas entre la carga, el gasto, potencial y rendimiento. Excepto cuando se trata de bombas de muy pequeño tamaño, es indispensable conocer las curvas características antes de adquirir una bomba, ya que sólo así se podrá saber el comportamiento de ellas instaladas en un determinado sistema hidráulico. Estas curvas son entregadas por los fabricantes.

Cada bomba está diseñada para condiciones determinadas respecto a caudal, altura de elevación, potencia y velocidad o revoluciones del rodete (Figura 3).

Gráficamente se puede operar con la Figura 3, a modo de ejemplo, conociendo el caudal a transportar y la altura manométrica a vencer.

De esta manera es posible conocer la potencia consumida, la eficiencia a la cual estará operando el sistema y el diámetro del rodete de la bomba.

Para operar con estas curvas, se deben seguir las siguientes etapas:

1. En los ejes horizontales de la figura, ubicar el caudal a impulsar en lt/s o lt/min. Para la curva de la figura 3 se trabajará con los datos de un caudal de 150 lt/min o 2.5 lt/seg.
2. En el eje vertical del gráfico, ubicar la altura manométrica total que para este caso es de 30.71 m.
3. Desde los valores anteriormente citados, proyectar una línea vertical, para el caso del caudal y una línea horizontal, para el caso de la altura manométrica, tal como se indica en la figura 3.
4. El punto de intersección de ambas líneas se desplaza hacia arriba, hasta tocar con la curva de diámetro de rodete más cercana, en el caso del ejemplo, 160 mm.
5. La ubicación del punto anterior, indicará la eficiencia a la cual operará el sistema; en el caso del ejemplo aproximadamente 80%.

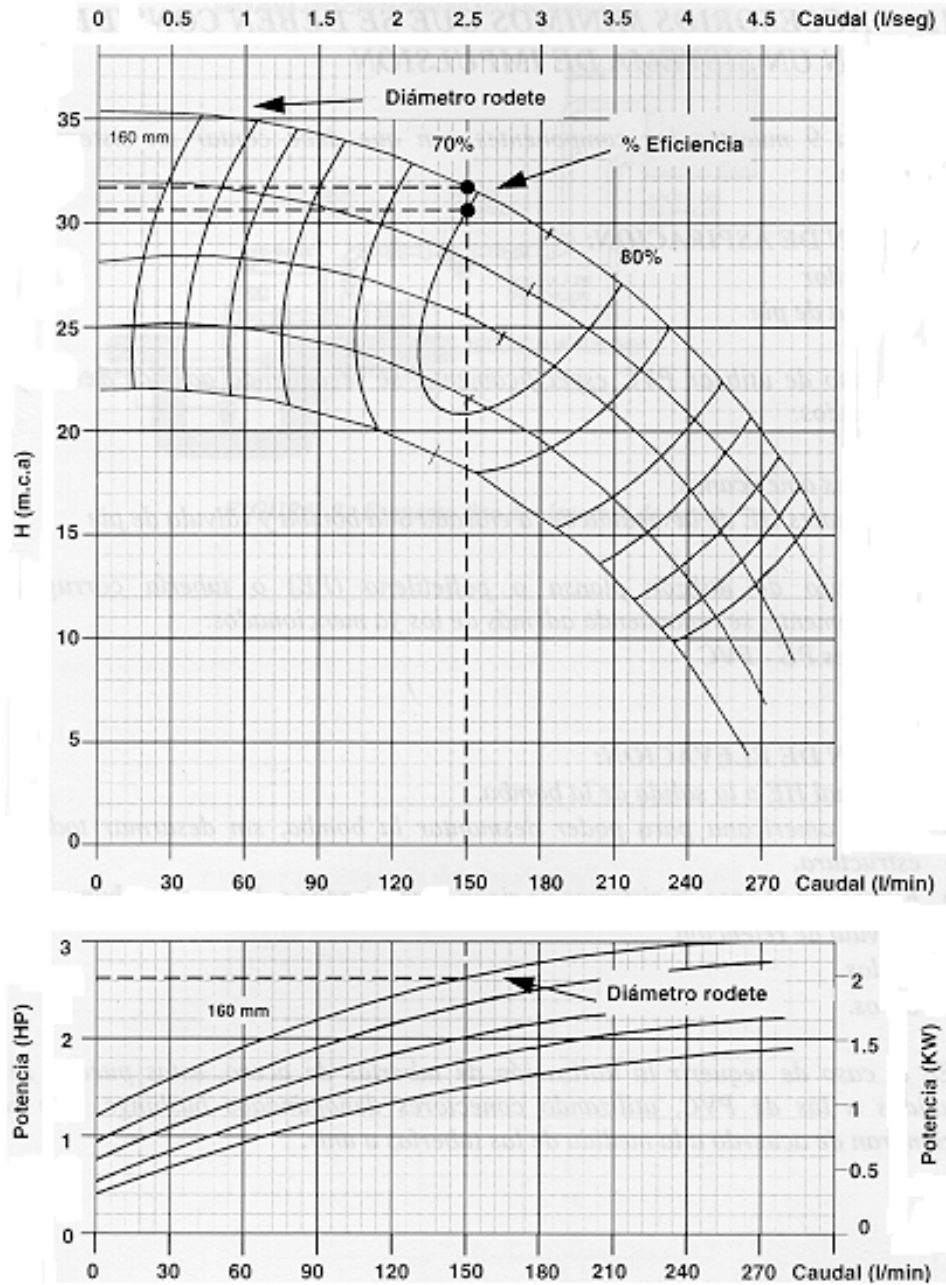


FIGURA 3. Selección de diámetro de rodete, eficiencia y potencia en una curva característica, según caudal y altura manométrica.

6. Para obtener la potencia que consumirá el sistema, se prolonga una línea vertical desde el valor de caudal determinado, hacia el gráfico inferior de la figura, hasta interceptar la curva de igual diámetro de rodete, tal como lo indica la figura 3.
7. Desde ese punto se prolonga una línea horizontal hasta el eje vertical del gráfico, el cual indicará la potencia que consumirá el sistema, que para el ejemplo será de 2.6 HP (1.9 KW).
8. Es conveniente señalar, que en el caso de vaciarse la tubería al detener la bomba, para llenar la tubería nuevamente, sin provocar un sobre calentamiento de la bomba, se debe elegir una de mayor potencia, manteniendo el mismo diámetro de rodete. En el caso del ejemplo, la bomba elegida es de 3 HP.

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si al seleccionar un tipo de bomba desde un catálogo, los valores de caudal que entrega esa bomba no satisfacen la altura manométrica necesaria, se debe descartar esa bomba y buscar otro tipo.
- Si se satisfacen los requerimientos de caudal y altura manométrica, pero los valores de eficiencia son muy bajos, se debe descartar esa bomba y buscar una que entregue un valor de eficiencia mayor.
- La potencia requerida por el sistema puede ser abastecida con las fuentes energéticas disponibles, es decir, electricidad mono o trifásica, y se debe considerara además, la potencia contratada en el predio y el amperaje del sistema. La terminología eléctrica utilizada es la de kilo-volt-ampere (KVA), que corresponde al producto de $V_n * I_n$, en donde V_n es el voltage nominal de la alimentación e I_n es la corriente nominal del motor, dato obtenible de la lectura de la placa del motor.

3.1. Curvas Q_H

En esta curva se lleva en abscisas el gasto Q y en ordenadas la carga total, a velocidad constante (Figura 3).

El valor H que resulta para $Q = 0$ es la presión que desarrolla la bomba cuando la válvula de salida está totalmente cerrada y es, generalmente, un 15% a un 30% superior a la presión de operación normal. Las bombas centrífugas, al contrario que las de émbolo, permiten que se cierre la válvula de salida pues su presión de estrangulamiento es limitada y su caja resiste perfectamente esa presión.

Las curvas pueden ser crecientes o decrecientes, denominadas inestables o estables.

Las bombas de curva Q_H inestable tienen grandes problemas para colocarlas en paralelo debido a que cuando una está funcionando en la parte alta de la curva, la otra no puede entrar en servicio ya que su presión es menor.

También se habla de curvas planas o inclinadas según sea la pendiente. Las bombas de curva Q_H inclinadas son más convenientes cuando las condiciones de altura de elevación son variables, ya que para una variación dada de H la variación Q es mucho menor que en el caso de curvas planas.

3.2. Curvas Potencia-Gasto

En la figura 3 se puede observar que el mínimo de potencia se produce para gasto cero, o sea con válvula de salida cerrada. La potencia se gasta sólo en sostener el agua contra la válvula y no hay consumo de energía para hacerla circular por el sistema. Esta potencia es aproximadamente un 50% - 60% de la potencia normal de funcionamiento. Se comprende que no sólo es posible cerrar la válvula de salida sino que es conveniente debido a que se gasta

el mínimo de energía. Efectivamente, en las grandes instalaciones se hacen partir las bombas con la válvula totalmente estrangulada y se va abriendo poco a poco.

Se debe tratar en lo posible que la curva de potencia sea plana en la zona de funcionamiento, cuando la carga es variable, es decir, que la potencia sea apenas ligeramente diferente a la de funcionamiento normal.

3.3. Rendimiento – Gasto = Eficiencia

En abscisas se lleva el gasto de caudal y en ordenadas el rendimiento en porcentaje, siempre con velocidad constante. Para $Q = 0$, la eficiencia es mínima y llega a su máximo para la condición de funcionamiento normal. Luego empieza a descender. Las pérdidas o disminución de rendimiento de una bomba pueden ser:

- a) Hidráulicas, debido a pérdidas de carga al escurrir el líquido
- b) Mecánica, debido a rozamientos mecánicos
- c) Filtración, debido a que una pequeña cantidad de agua se filtra desde el lado de alta presión hacia el lado de baja presión.

El ideal es que la curva sea plana homogénea en el tramo que nos interesa. El rendimiento puede ser tan alta como de 92% para bombas grandes y tan pequeño como el 10% y aún el 5% para las bombas chicas.

En general, podemos decir que las bombas centrífugas obtienen su máxima eficiencia al elevar un bajo caudal a gran altura. Si disminuye la altura de elevación, aumentará el caudal, disminuirá la eficiencia de la bomba y aumentarán los requerimientos de potencia. En las bombas helicoidales, la máxima eficiencia es lograda cuando se elevan caudales a baja altura, y al aumentar la altura de elevación, disminuye el caudal y aumenta la potencia consumida. Esto influenciaría en quemar un motor eléctrico o sobrecalentar un motor a combustión interna.

IV. COMO CALCULAR LA POTENCIA DE LA BOMBA

Ejemplo:

Se desea elevar 2.5 lt/s de agua a un desnivel de 20 m para almacenarla en un estanque. El agua antes de ser almacenada deberá ser filtrada por un filtro de arena y por otro de malla.

4.1. Estimación del diámetro

En primer lugar, se debe estimar el diámetro para el sistema de impulsión, utilizando la siguiente expresión:

$$\phi = \sqrt{(0.236 * Q)} \quad \text{Ec.N}^{\circ}5$$

donde:

ϕ = Diámetro de la tubería (mm)

Q = Caudal a transportar en (lt/hr),

$$2.5 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} * 3600 \frac{\text{seg}}{\text{hora}} = 9000 \frac{\text{lt}}{\text{hora}}$$

Por lo tanto, el diámetro estimado debe ser el calculado con la expresión anterior, es decir,

$$\phi = \sqrt{(0.236 * 9000)} = 46.1 \text{ mm}$$

Por lo que se recomienda un diámetro de 50 mm (1 1/2") para aspiración y elevación.

De acuerdo a las disponibilidades de bombas comerciales, se debe seleccionar un diámetro de aspiración y elevación coherente con la oferta de equipos.

4.2. Pérdidas de energía por fricción

La longitud de la tubería para este ejemplo es de 40 m, por lo que las pérdidas por fricción son las siguientes:

Caudal : 0.0025 m³/s.

Diámetro interior : Se calcula restando el espesor de paredes para el diámetro y clase de material elegido (1.8 mm)

$$\phi_{interior} = 50 - (2 * 1.8) = 46.4 \text{ mm (Asumiendo PVC clase 6)}$$

Reemplazando los valores en la fórmula de pérdidas por fricción de Hazen y Williams:

$$J = \frac{Q^{1.85}}{(0.28 * 150)^{1.85} * D^{4.86}}$$

Donde C = 150 para PVC de la Tabla 1, Capítulo Hidráulica de Tuberías.

$$J = \frac{0.0025^{1.85}}{(0.28 * 150)^{1.85} * 0.0464^{4.86}} = 0.046 \frac{m}{m}$$

Como la longitud de la tubería es de 40 m, la pérdida por fricción es de 1.84 m.

4.3. Pérdidas singulares

Las pérdidas singulares deben ser calculadas para cada uno de los accesorios que se incorporen, tanto para la sección de elevación, como aspiración.

Accesorios de aspiración:

Como mínimo se deben contemplar, los siguientes accesorios:

Válvula de pie $K = 2.5$

Codo de 90' $K = 0.9$

Accesorios de elevación:

Codo de 90' $K = 0.9$

Válvula de no retorno $K = 2.5$

Por lo tanto, para calcular las pérdidas por singularidades, se debe estimar la velocidad de escurrimiento al interior de la cañería, lo cual se hace por medio de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Si se utilizan distintos diámetros para la tubería de aspiración y de elevación, se debe calcular la velocidad para cada uno de ellos. En el caso del ejemplo es:

$$V = \frac{4 * 0.0025}{\pi * 0.0464^2} = 1.48 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto las pérdidas por singularidades están dadas por:

$$H_s = \sum \frac{K * V^2}{2 * g}$$

$$H_s = \sum \left(\frac{K_{codo} * V^2}{2 * g} \right) ASP + \sum \left(\frac{K_{codo} * V^2}{2 * g} \right) EL + \sum \left(\frac{K_{valpie} * V^2}{2 * g} \right) ASP + \sum \left(\frac{K_{valretorno} * V^2}{2 * g} \right) EL$$

Reemplazando los valores obtenidos de la tabla 4, se tiene que:

$$H_s = \frac{0.9 * 1.48^2}{2 * 9.8} ASP + \frac{0.9 * 1.48^2}{2 * 9.8} EL + \frac{2.5 * 1.48^2}{2 * 9.8} ASP + \frac{2.5 * 1.48^2}{2 * 9.8} EL$$

$$H_s = 0.76 \text{ m}$$

Observación:

ASP = Sección de aspiración.

EL = Sección de elevación.

4.4. Requerimientos de presión

El sistema del ejemplo bombea agua desde un pozo, por lo tanto se requiere un filtrado utilizando un filtro de arena y otro de malla antes de ser acumulada para su posterior utilización.

De la tabla 1 se obtiene la presión de trabajo de los filtros

Filtro de arena = 3 m

Filtro de malla = 5 m

Se eligen los valores más altos para asegurar el buen funcionamiento del diseño debido a que la bomba debe ser capaz de superar la pérdida de carga original por las impurezas acumuladas en los filtros, cuando éstos están sucios.

Presión de trabajo = 5 + 3 = 8 m

4.5. Altura representativa de velocidad

$$H_{\text{velocidad}} = \frac{V^2}{2 * g}$$

La altura representativa de velocidad, se calcula utilizando la siguiente fórmula: reemplazando la expresión de velocidad:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

al interior de esta fórmula se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{V^2}{2 * g} = \frac{8 * Q^2}{g * \pi^2 * d^4} = \frac{8 * 0.0025^2}{9.8 * \pi^2 * 0.0464^4} = 0.11m$$

Este valor se debe sumar a los anteriormente calculados, para obtener Energía de la Bomba o Altura Manométrica Total (H), pero generalmente se desprecia por ser de poca magnitud, comparado con los otros factores que intervienen en dicho cálculo.

4.6. Energía de la Bomba o Altura Manométrica Total (Hmt)

Finalmente la energía de la bomba se debe calcular como sigue:

$$E_B = AZ + H_f + H_s + P_{\text{trabajo}} + H_v \quad \text{Ec.N}^\circ 6$$

donde:

E_B = Energía de la bomba o altura de carga manométrica total (m).

AZ = Diferencia de cota entre el nivel del agua en la captación y el punto de entrega del agua (m).

H_f = Pérdidas de energía debido a la fricción (m).

H_s = Pérdidas de energía debido a singularidades (m).

P_{trabajo} = Presión de trabajo de los accesorios considerados (m).

H_v = Altura de velocidad (m).

Finalmente:

$$E_B = 20 + 1.84 + 0.76 + 8 + 0.11 = 30.71m$$

Con este valor calculado se debe seleccionar de los catálogos respectivos, el tipo de bomba más adecuado.

V. FENOMENO DE ASPIRACION

Una bomba puede, teóricamente, aspirar agua desde 10.33 metros de profundidad, que es el equivalente a una atmósfera de presión (o vacío); esto significa que la máxima distancia a la que puede colocarse la bomba sobre la superficie de agua libre es de 10.33 m a 45° de latitud y a nivel del mar.

En la práctica, esta altura de succión es menor debido a factores como la altura de instalación respecto al nivel del mar, a la tensión de vapor de agua, a la altura neta de succión positiva (NPSH) y a las pérdidas por fricción del agua en la tubería de aspiración, entre la válvula de aspiración y el eje de la bomba.

El eje de la bomba debe quedar ubicado a una altura menor que la calculada como altura de succión máxima, desde el espejo de agua hasta el eje de la bomba, debido a que se deben prever los posibles descensos del nivel del agua, con el potencial riesgo de dejar colgado al equipo. Además, si un equipo de bombeo opera sin succionar agua, se corre el riesgo de quemar los sellos de la bomba.

La altura teórica de succión varía con la altitud y latitud. Para condiciones generales se tiene la siguiente tabla:

TABLA 2. Altura de succión máxima teórica, en función de la altitud sobre el nivel del mar.

Altitud sobre el nivel del mar (m)	Altura teórica de succión (m.c.a.)
0	10.00
1000	9.2
2000	8.1
3000	7.2
4000	6.3

En instalaciones de cierta magnitud, o en condiciones especiales de funcionamiento, es necesario tener en cuenta la carga neta de succión positiva. Considerando que el fabricante debe proporcionar los requerimientos de energía para mover el agua a través del rodete, y que dicho valor fue definido como altura neta de succión positiva requerida (NPSHR), se debe asegurar que dicha energía está disponible. Lo contrario implicaría problemas de cavitación.

Para ello, se debe determinar de la altura neta de succión positiva disponible (NPSHA). Si el valor de NPSHA es menor que el NPSHR proporcionado por el fabricante, entonces la bomba cavitará.

El cálculo de NPSHA, en m.c.a., se determina a partir del valor de altura teórica de succión menos la altura de aspiración, menos las pérdidas por fricción en la tubería de aspiración (H_f) y menos la presión de vapor del líquido (e) a la temperatura de operación.

Así:

$NPSHA(m) = \text{Altura teórica de succión (Tabla 2)} - \text{Carga estática de aspiración (Fig.2)} - H_f - e$ Ec.N°7

Las pérdidas por fricción en la tubería de aspiración incluye además, todas las pérdidas por singularidades en dicho recorrido. La presión de vapor del líquido, (e), puede ser estimada a partir de:

Temperatura agua (°C)	0	5	10	15	20	25	30	40	50
Presión vapor, e, (m)	0.06	0.09	0.13	0.17	0.24	0.32	0.43	0.76	1.18

En general, para los distintos tipos de bombas comerciales se recomiendan las siguientes alturas máximas de succión:

- Bombas centrífugas: entre 5 y 7 m
- Bombas tipo Jet o autocebantes: entre 8 y 9 m

En USA se ha fijado como norma una altura de aspiración máxima normal de 4.5 m para bombas centrífugas y 6.5 m para otro tipo de bombas.

VI. CONEXIÓN DE BOMBAS

De acuerdo a los requerimientos de presión y caudal del sistema, es posible conectar las bombas en serie o en paralelo.

6.1. Bombas en series

Utilizando este sistema se puede lograr una mayor altura de elevación, manteniendo constante el caudal (Q) como se detalla a continuación y la cual se puede apreciar en la Figura 4. La característica fundamental se encuentra que el caudal que eleva la primera bomba es captado por la segunda y el que ésta eleva es impulsado por la siguiente, lo que puede en teoría ocurrir en varias oportunidades, con el propósito de aumentar la altura. Se recomienda utilizar

bombas de la misma potencia para completar el sistema; cada una de estas bombas, deberá estar situada de manera que trabajen a la misma carga total, es decir, que cada una de ellas eleven agua a la misma altura manométrica total.

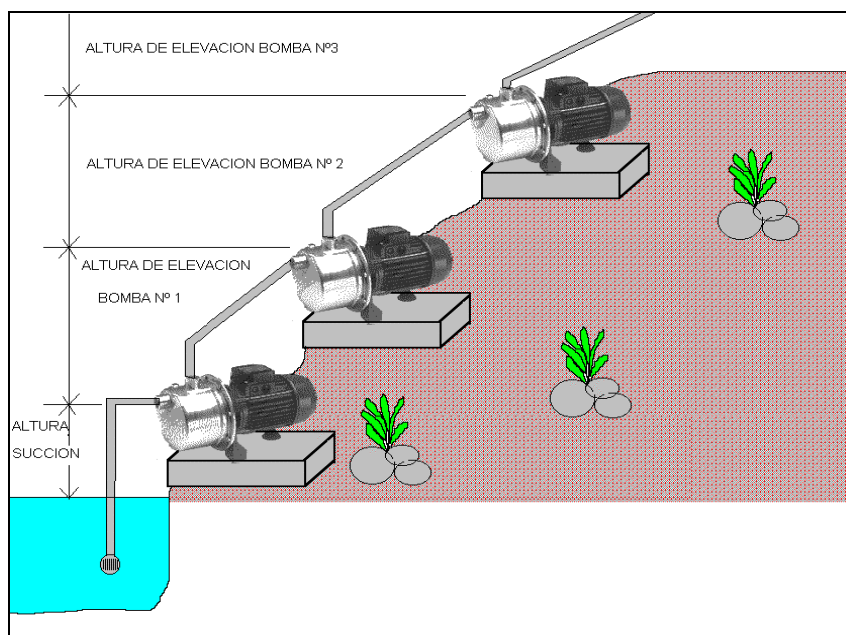


Figura 4. Esquema de bombas en serie.

6.2. Bombas en Paralelo

Con esta conexión se logra aumentar el caudal de entrada tal como se muestra en la figura 5. La bomba que entrega la menor altura de elevación será la utilizada para el diseño del sistema en paralelo. Consiste básicamente, en colocar 2 o más bombas a aspirar desde un mismo lugar, con el propósito de aumentar el caudal elevado.

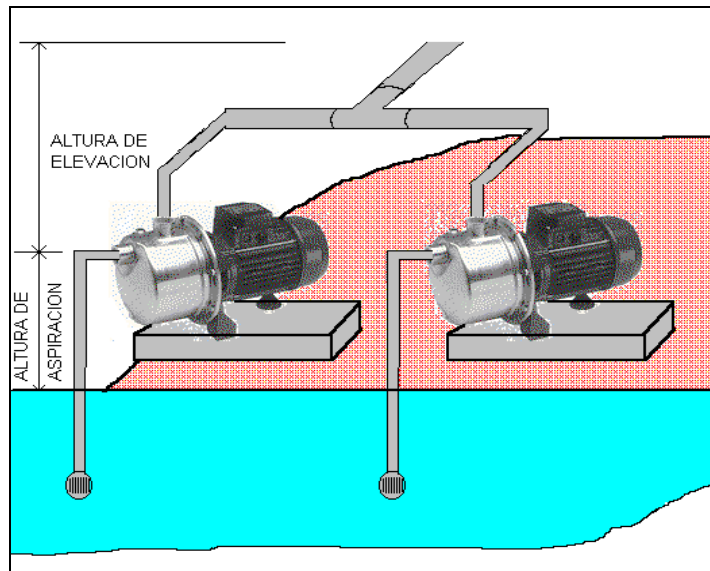


Figura 5. Esquema de bombas en paralelo.

VII. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE INSTALACIONES Y FUNCIONAMIENTO

7.1. Potencia para bombas eléctricas

Si la potencia del motor es superior a los 3 HP (2,2 KW), se debe contemplar la instalación de una red trifásica, debido a que se produce un alto consumo de energía durante el arranque o partida de la bomba.

7.2. Golpe de ariete

Cuando se interrumpe el flujo de agua en una tubería debido a cierres bruscos de válvulas y/o cortes súbitos de energía, se producen variaciones en la presión, que afecta a las paredes de la cañería. A estas presiones se les denomina golpe de ariete; su efecto puede atenuarse

utilizando válvulas de seguridad y dispositivos reguladores de presión. Si no existen estos elementos, es posible disminuirlo, cerrando lentamente la válvula de paso ubicada inmediatamente después de la bomba.

7.3. Cebado

Este proceso consiste en llenar de agua la tubería de succión y la carcasa de la bomba, con el propósito de provocar la succión del agua evitando que queden bolsas de aire en su interior. El llenado con agua se realiza a través del despiche o directamente a través del chupador. En las bombas denominadas autocebantes, este proceso no es necesario.

7.4. Accesorios mínimos en un sistema de impulsión

En la Figura 6 se muestran los componentes que debe tener un sistema de impulsión. De este modo, la sección de aspiración debe contar con un chupador y una válvula de pie; si se utiliza PVC en la tubería de aspiración, se debe incluir codos, uniones americanas y terminales HE a la entrada de la bomba y válvula de pie.

En el caso de utilizar tubería Plansa o polietileno (PE), o bien tubería corrugada, se debe disponer, además de las ya mencionadas, uniones PE – PVC.

Para la sección de elevación, se deben disponer a la salida de la bomba de un terminal HE, de una unión americana para desmontar la bomba sin desarmar toda la estructura, de filtros en el caso de sistemas de riego de baja presión o de consumo humano, de válvula de retención, de codos y otros.

En el caso de requerirse la utilización de tuberías de acero, estas pueden unirse a las de PVC utilizando conectores denominados bushings, que se compran de acuerdo a la medida de las tuberías a unir.

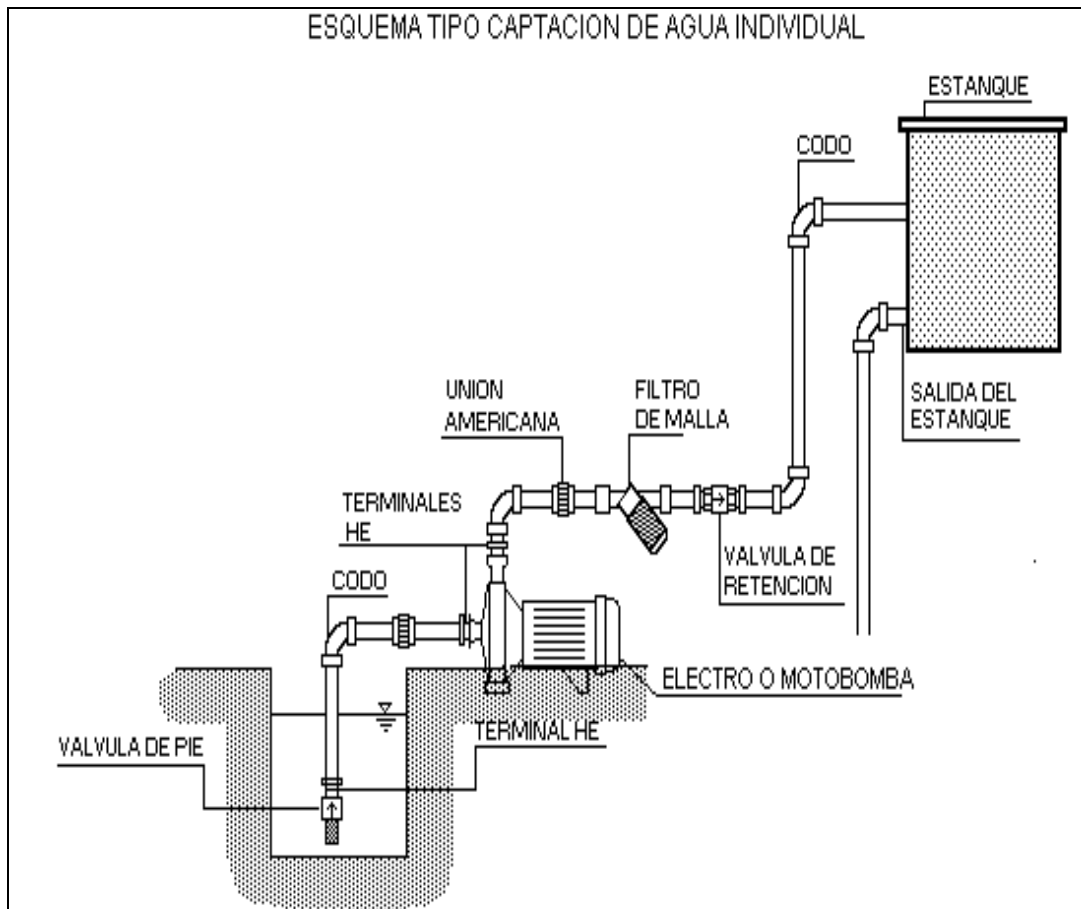


Figura 6. Esquema tipo de elevación de agua.

VIII. LEYES DE AFINIDAD Y EJEMPLO DE CALCULO

Cualquier cambio que se desee introducir a la velocidad con que giran los alabes o impulsores producirá cambios en la capacidad, la presión resultante, potencia y velocidad específica, según la siguiente proporción:

$$Q = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

Ec.N°8

$$H_2 = H_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \text{Ec. N}^\circ 9$$

$$HP_2 = HP_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad \text{Ec.}^\circ 10$$

$$(NPSHR)_2 = (NPSHR)_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \text{Ec.}^\circ 11$$

Donde los subcritos 2 son las nuevas características y el 1 son las condiciones originales, y Q es caudal, H es la presión, HP es la potencial y NPSHR es la altura neta de succión positiva y N son las r.p.m. de cada caso.

Ejemplo

Suponemos que se desea elevar 25 lt/s a una altura manométrica total de 5 m, con la velocidad de la bomba de 1000 r.p.m. y una eficiencia de la bomba de un 70%.

¿Qué caudal, presión, potencial y NPSH proporcionará el equipo cuando funciona a 1750 r.p.m.? Conociendo que la altura neta de succión positiva es de 3 m (proporcionada por el fabricante), se realiza el cálculo de la potencial según ecuación N°1.

$$HP = \frac{Q * H}{75 * Ef}$$

En base a la información del problema se tiene que:

$$HP = \frac{25 * 5}{75 * 0.7} = 2.38 \text{ HP a } 1000 \text{ r.p.m.}$$

El caudal a nueva velocidad del motor de 1750 r.p.m. es, según Ec.N°8:

$$Q_2 = 25 * \left(\frac{1750}{1000} \right) = 43.75 \text{ lt / s } \text{ al } 1750 \text{ r.p.m.}$$

La carga o presión a 1750 r.p.m. es, según Ec.Nº9:

$$H_2 = 5(1.75)^2 = 15.3 \text{ m.c.a.}$$

La potencia a 1750 r.p.m. es, según la Ec.Nº10:

$$HP_2 = 2.38 * (1.75)^3 = 12.75 \text{ HP}$$

La nueva altura neta de succión positiva a 1750 r.p.m. es según la Ec.Nº11

$$(NPSHR)_2 = 3 * (1.75)^2 = 9.18 \text{ m}$$

Con este ejercicio se demuestra que si se aumentan las r.p.m. de la bomba, el caudal aumenta en 1.75 veces, la carga aumenta en 3 veces, pero la potencia que consume aumenta en 5 veces y la altura neta de succión positiva alcanza un valor crítico. Por esta razón, cuando se desea aumentar la velocidad de la bomba, se debe realizar un cálculo previo para no producir daños a la unidad motor-bomba.