

GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE



Lima, 2005

Tabla de contenido

	Página
1. Objetivo	3
2. Requisitos previos	3
3. Estaciones de bombeo	3
3.1. Elementos de las estaciones de bombeo	3
3.2. Ubicación de la estación de bombeo	4
3.3. Capacidad de la estación de bombeo	4
3.3.1. Periodo de bombeo	4
3.3.2. Tipo de abastecimiento	5
3.4. Carga dinámica o altura manométrica total	6
3.4.1. Carga de succión	6
3.4.2. Carga de impulsión	8
3.5. Potencia del equipo de bombeo	11
3.6. Número de unidades de bombeo	12
3.7. Tipos de bombas	12
3.7.1. Bombas centrífugas horizontales	12
3.7.2. Bombas centrífugas verticales	14
3.7.3. Bombas sumergibles	15
3.7.4. Motores	17
3.8. Selección de bombas centrífugas	21
3.8.1. Datos requeridos para seleccionar bombas centrífugas	21
3.8.2. Determinación de la curva del sistema	23
3.8.3. Curvas características de bombas centrífugas	23
3.8.4. Relaciones y características de las bombas centrífugas	23
3.8.5. Determinación de la bomba	25
3.9. Cisterna de bombeo	26
3.9.1. Condiciones y dirección del flujo	27
3.9.2. Entrada de aire y vórtices	28
3.9.3. Dimensiones de la cisterna	28
3.9.4. Preservación de la calidad del agua	31
3.10. Caseta de bombeo	32
3.10.1. Tuberías y accesorios de succión	34
3.10.2. Tuberías y accesorios de impulsión	37
4. Referencias	39

Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable

1. Objetivo

El presente documento tiene como objetivo fijar parámetros y establecer criterios, que sirvan como guía para diseñar estaciones de bombeo de agua potable para poblaciones rurales hasta 2000 habitantes.

2. Requisitos previos

Para diseñar una estación de bombeo de agua potable, previamente se deben conocer los siguientes aspectos:

- Fuente de abastecimiento de agua: superficial (cisterna de agua) o subterránea (pozo perforado).
- Lugar a donde se impulsará el agua: reservorio de almacenamiento o la red de distribución.
- Consumo de agua potable de la población y sus variaciones.
- Población beneficiada por el proyecto: actual y futura.
- Características geológicas y tipo de suelo del área de emplazamiento de la cámara de bombeo.
- Nivel de conocimiento de la población de operara el sistema.

3. Estaciones de bombeo

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

3.1 Elementos de las estaciones de bombeo

Los componentes básicos de una estación de bombeo de agua potable son los siguientes:

- Caseta de bombeo.
- Cisterna de bombeo.
- Equipo de bombeo.
- Grupo generador de energía y fuerza motriz.
- Tubería de succión.
- Tubería de impulsión.
- Válvulas de regulación y control.
- Equipos para cloración.
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- Tableros de protección y control eléctrico.
- Sistema de ventilación, natural o mediante equipos.
- Área para el personal de operación.
- Cerco de protección para la caseta de bombeo.

La figura 1 muestra un esquema típico de una caseta de bombeo empleado en el área rural, constituido por bombas centrífugas de eje horizontal. Sin embargo, esta configuración puede variar de acuerdo a las condiciones particulares de cada proyecto.

3.2 *Ubicación de la estación de bombeo*

La ubicación de la estación de bombeo debe ser seleccionada de tal manera que permita un funcionamiento seguro y continuo, para lo cual se tendrá en cuenta los siguientes factores:

- Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de la calidad del agua de fuentes contaminantes.
- Protección de inundaciones, deslizamientos, huaycos y crecidas de ríos.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
- Topografía del terreno.
- Características de los suelos.

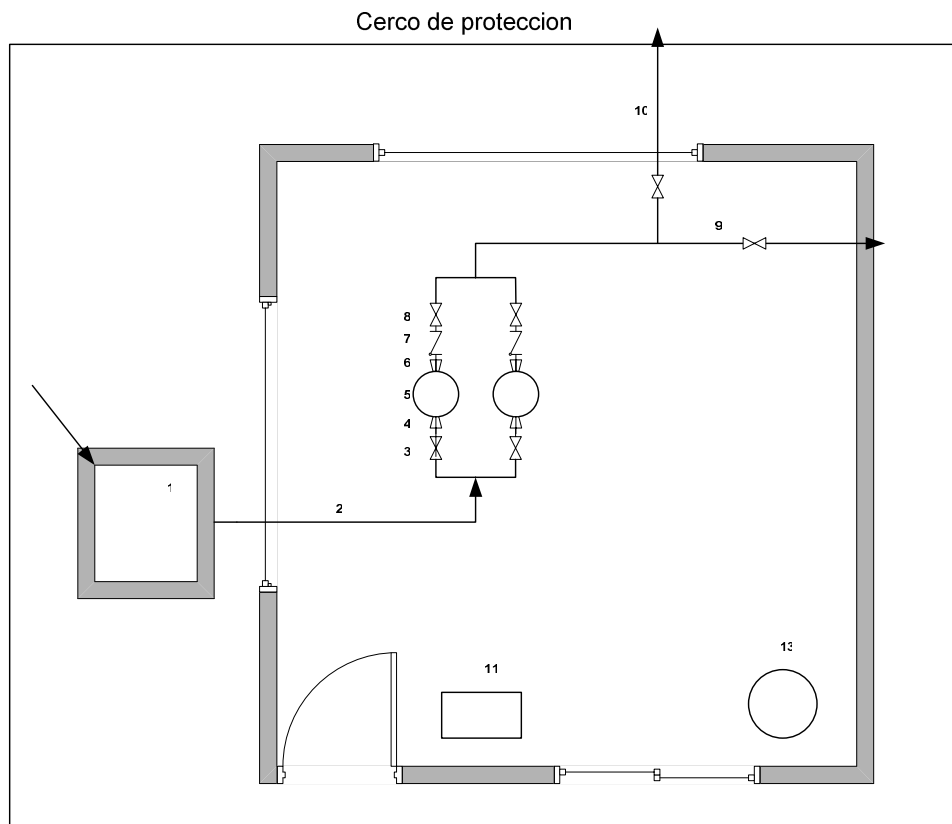
3.3 *Capacidad de la estación de bombeo*

La determinación del caudal de bombeo debe realizarse sobre la base de la concepción básica del sistema de abastecimiento, de las etapas para la implementación de las obras y del régimen de operación previsto para la estación de bombeo. Los factores a considerar son los siguientes:

3.3.1 *Periodo de bombeo*

El número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación.

Por razones económicas y operativas, es conveniente adoptar un periodo de bombeo de ocho horas diarias, que serán distribuidas en el horario más ventajoso. En situaciones excepcionales se adoptará un periodo mayor, pero considerando un máximo de 12 horas.



LEYENDA

- 1 Pozo o cámara de succión
- 2 Tubería de succión
- 3 Válvula compuerta
- 4 Reducción excéntrica
- 5 Bomba
- 6 Reducción concéntrica
- 7 Válvula de retención
- 8 Válvula compuerta
- 9 Tubería de impulsión
- 10 Tubería de limpieza
- 11 Tablero de control

Figura 1. Esquema típico de una estación de bombeo.

3.3.2 Tipo de abastecimiento

Se deben considerar dos casos:

- Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo; la capacidad de la tubería de succión (si corresponde), equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo.

$$Q_b = Q_{\max} \cdot d \frac{24}{N}$$

Donde:

Q_b	=	Caudal de bombeo, l/s.
$Q_{\max} \cdot d$	=	Caudal máximo diario, l/s.
N	=	Número de horas de bombeo.

- Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad del sistema de bombeo debe ser calculada en base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red distribución.

3.4 Carga dinámica o altura manométrica total

La altura dinámica puede ser definida como el incremento total de la carga del flujo a través de la bomba. Es la suma de la carga de succión más la carga de impulsión:

$$H_b = H_s + H_i$$

Donde:

H_b	=	Altura dinámica o altura de bombeo, m.
H_s	=	Carga de succión, m.
H_i	=	Carga de impulsión, m.

3.4.1 Carga de succión (H_s)

Viene dado por la diferencia de elevación entre el eje de la bomba y el nivel mínimo del agua en la fuente o captación, afectado por la pérdida de carga en el lado de la succión.

$$H_s = h_s + \Delta h_s$$

Donde:

H_s	=	Altura de succión, esto es, altura del eje de la bomba sobre el nivel inferior del agua, m.
Δh_s	=	Pérdida de carga en las succión, m.

Debe considerarse que la carga de succión está limitada por la carga neta de succión positiva (NPSH), además, que debe existir un sumergimiento mínimo de la tubería de succión en el agua.

a) Carga neta de succión positiva (NPSH)

Cuando el agua fluye a través de la bomba, la presión en la entrada y en la tubería de succión tiende a disminuir debido a las altas velocidades del flujo. Si la reducción va

más allá de la presión de vapor del agua, se producirá la vaporización y se formarán burbujas de vapor en el seno del líquido.

Estas burbujas son transportadas por el líquido hasta llegar a una región de mayor presión, donde el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, "aplastándose" bruscamente las burbujas. Este fenómeno se llama cavitación.

La cavitación se produce principalmente en los alabes del impulsor de la bomba, donde las fuerzas ejercidas por el líquido al aplastar la cavidad dejada por el vapor dan lugar a presiones localizadas muy altas, erosionando su superficie y causando esfuerzos que pueden originar su destrucción. El fenómeno generalmente va acompañado de ruido y vibraciones, dando la impresión de que se tratara de grava que golpea en las diferentes partes de la máquina.

La cavitación además de producir daños físicos y ruidos molestos, puede llegar a reducir de manera considerable el caudal y rendimiento de la bomba.

La carga neta de succión positiva es la diferencia entre la presión existente a la entrada de la bomba y la presión del vapor del líquido que se bombea. Esta diferencia es la necesaria para evitar la cavitación. En el diseño de bombas destacan dos valores de NPSH, el NPSH disponible y el NPSH requerido.

El NPSH requerido es función del diseño de fábrica de la bomba, su valor, determinado experimentalmente, es proporcionado por el fabricante. El NPSH requerido corresponde a la carga mínima que necesita la bomba para mantener un funcionamiento estable. Se basa en una elevación de referencia, generalmente considerada como el eje del rodete.

El NPSH disponible es función del sistema de succión de la bomba, se calcula en metros de agua, mediante la siguiente fórmula (véase figura 2):

$$NPSH_{disponible} = H_{atm} - (H_{vap} + h_s + \Delta H_s)$$

Donde:

NPSH disponible	=	Carga neta de succión positiva disponible, m.
H _{atm}	=	Presión atmosférica, m (véase tabla 1).
H _{vap}	=	Presión de vapor, m (véase tabla 2).
h _s	=	Altura estática de succión, m.
ΔH _s	=	Pérdida de carga por fricción de accesorios y tubería, m.

Para evitar el riesgo de la cavitación por presión de succión, se debe cumplir que:

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerida}$$

Para el cálculo del NPSH se debe fijar un nivel de referencia con respecto a la bomba. En las bombas que trabajan horizontalmente (eje horizontal) el plano de referencia se localiza a través del centro del eje y en las bombas verticales (eje vertical) a través del plano que atraviesa la parte mas inferior de los alabes del impulsor, en caso de tener mas de un impulsor se considerara la ubicación del inferior (véase figura 2).

Otras causas de cavitación en bombas son las excesivas revoluciones del rotor. En este caso se debe verificar que la velocidad específica de operación no sobrepase la máxima dada por el fabricante.

✓ Sumergencia mínima (ΔH)

La altura del agua entre el nivel mínimo y la unión de la rejilla, o la boca de entrada a la tubería, debe ser igual o superior a los límites siguientes (véase figura 3):

- a) Para dar cumplimiento a requerimientos hidráulicos. Considerando la velocidad para el caudal de bombeo requerido:

$$\Delta H = \frac{v^2}{2g} + 0.20$$

- b) Para impedir ingreso de aire, de acuerdo al diámetro de la tubería de succión (d):

$$\Delta H = 2.5 d + 0.10$$

- c) Se seleccionará el valor mayor.

3.4.2 Carga de impulsión

Está dada por la diferencia de elevación entre el nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada y el eje de las bombas más la pérdida de carga del lado de la tubería de impulsión:

$$H_i = h_i + \Delta h_i$$

Donde:

h_i = Altura de impulsión, o sea, la altura del nivel superior en relación al eje de la bomba, m.

Δh_i = Pérdida de carga en la tubería de impulsión, m.

Reemplazando las ecuaciones de carga de succión y de carga de impulsión en la ecuación de altura manométrica total se tienen las siguientes relaciones:

- Bombeo con bombas de eje horizontal y de eje vertical:

$$Hb = hs + hi + \Delta hs + \Delta hi$$

- Bombeo con bombas sumergibles:

$$Hb = hi + \Delta hi$$

El proyectista por seguridad podrá incrementar la altura de pérdida de carga en las tuberías, en función a la edad de las mismas, considerar la altura por carga de velocidad ($v^2/2g$) y/o adoptar una altura de presión mínima de llegada.

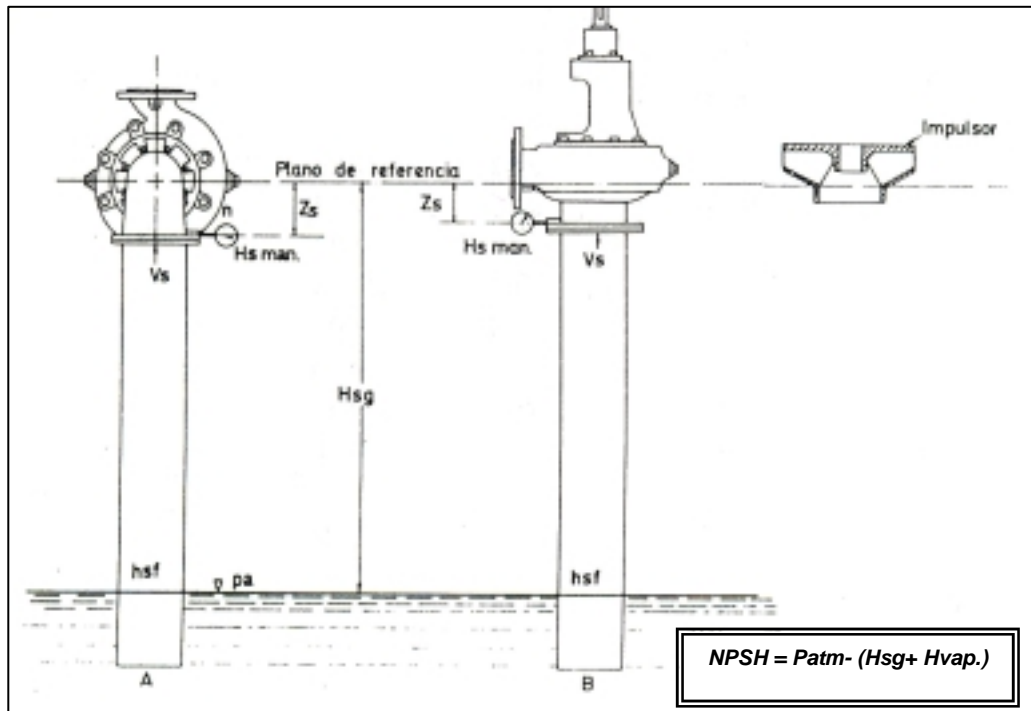


Figura 2. Esquema de la tubería de succión en un sistema de tubería con el fin de ilustrar el NPHS.

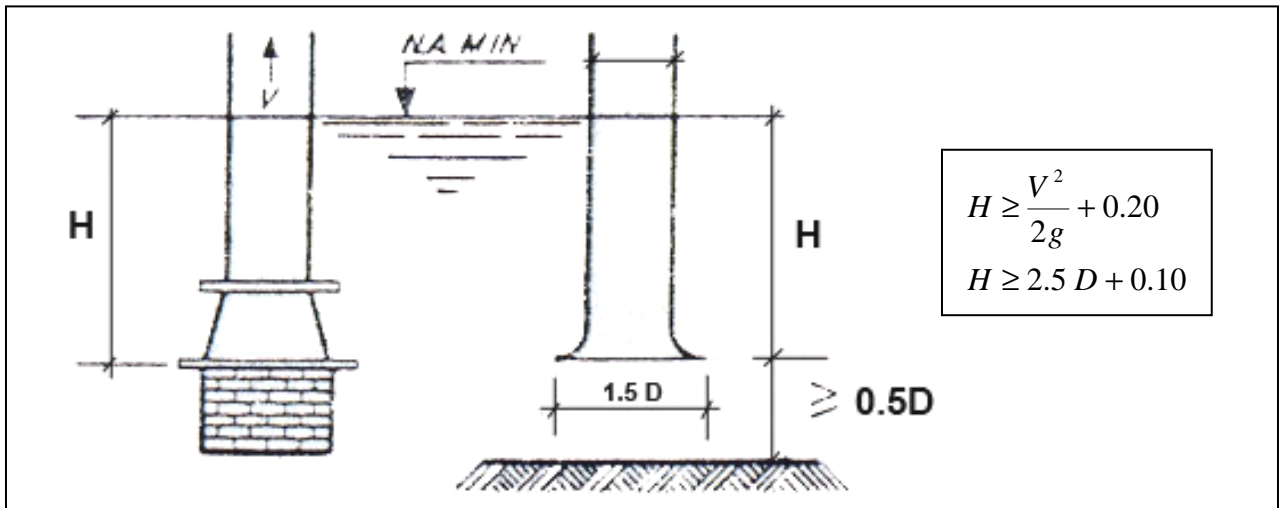


Figura 3. Sumergencia mínima para evitar ingreso de aire en la tubería de succión y deficiencias en el funcionamiento de la bomba.

Tabla 1. Disminución de la presión atmosférica.

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica (Pa)	
m	ft	m	Pa
0	0	10.33	14.69
250	820	10.03	14.26
500	1640	9.73	13.83
750	2640	9.43	13.41
1000	3280	9.13	12.98
1250	4101	8.83	12.55
1500	4291	8.53	12.13
1750	5741	8.25	11.73
2000	6561	8.00	11.38
2250	73.81	7.75	11.02
2500	8202	7.57	10.68
2750	9022	7.28	10.35
3000	9842	7.05	10.02
3250	10662	6.83	9.71
3500	11483	6.62	9.42
3750	12303	6.41	9.12
4000	13123	6.20	8.82
4250	13943	5.98	8.52
4500	14764	5.78	8.22

Tabla 2. Presión de vapor del agua.

Temperatura		Peso especifico Kg/dm ³	Presión de vapor (P.V.P)	
C°	F°		M. Abs.	P.SI.Abs
0	32	0.9998	0.062	0.088
5	41	1.000	0.089	0.127
10	50	0.9996	0.125	0.1781
5	59	0.9990	0.174	0.247
20	68	0.9982	0.238	0.338
25	77	0.9970	0.323	0.459
30	86	0.9955	0.432	0.614
35	95	0.9939	0.573	0.815
40	104	0.9921	0.752	1.070
45	113	0.9900	0.977	1.389
50	122	0.9880	1.258	1.789
55	131	0.9857	1.605	2.283
60	140	0.9831	2.031	2.889
70	158	0.977	3.177	4.519
75	167	0.9748	3.931	5.591
80	179	0.9718	4.829	6.869
85	185	0.9687	5.894	8.383
90	194	0.9653	7.149	10.168
95	203	0.9619	8.619	12.259
100	212	0.9583	10.332	14.696

3.5 Potencia del equipo de bombeo

El cálculo de la potencia de la bomba y del motor debe realizarse con la siguiente fórmula:

$$Pb = \frac{Qb Hb}{76 \eta}$$

Donde:

- Pb = Potencia de la bomba y del motor (HP).
- Qb = Caudal de bombeo (l/s).
- Hb = Altura manométrica total (m).
- η = Eficiencia del sistema de bombeo, $\eta = \eta_{motor} \eta_{bomba}$

Debe consultarse al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales.

La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada, con una eficiencia (η) mayor a 70%

3.6 *Número de unidades de bombeo*

Depende del caudal de bombeo y de sus variaciones, además, de la necesidad de contar de equipos de reserva para atender situaciones de emergencia.

En situaciones donde se requiere solo un equipo de bombeo, es recomendable instalar uno idéntico de reserva, estableciendo un coeficiente de seguridad del 200%; pero si el tamaño de los equipos resulta muy grande, es recomendable incrementar el número de ellos, estableciendo coeficientes de seguridad menores, pero mayores alternativas y menores costos de operación. En tales casos puede admitirse hasta 150% como coeficiente de seguridad de los equipos.

3.7 *Tipos de bombas*

Las bombas más frecuentemente usadas en el abastecimiento de agua son las bombas centrifugas, horizontales y verticales, y las bombas sumergibles. El proyectista de acuerdo a las características del proyecto, seleccionará el tipo de bomba más adecuada a las necesidades del mismo.

3.7.1 *Bombas centrifugas horizontales*

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc.

Este tipo de bomba se debe emplear en cisternas, fuentes superficiales y embalses. Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional.

Se pueden clasificar, de acuerdo a la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna de bombeo, en bombas de succión positiva y bombas de succión negativa. Si la posición del eje está sobre la superficie del agua, la succión es positiva y en la situación inversa la succión es negativa (véase figura 4).

La mayor desventaja que presentan estas bombas es la limitación en la carga de succión, ya que el valor máximo teórico que alcanza es el de la presión atmosférica del lugar (10,33 m. a la altura del mar), sin embargo, cuando la altura de succión es de 7 metros la bomba ya muestra deficiencias de funcionamiento.

De acuerdo a las variantes constructivas, estos equipos se pueden clasificar en los siguientes:

✓ *Bombas Monobloc*

Son equipos sencillos que forman un conjunto compacto con su electromotor. Tienen una caja compacta integral, en los tamaños pequeños, y/o partida verticalmente en

los de gran tamaño. La succión es axial y la descarga tangencial. Los modelos pequeños tienen conexión de succión y descarga roscada y los modelos más grandes, a bridas. Tienen dos impulsores cerrados que pueden trabajar en serie o en paralelo (véase figura 5). Este tipo de bombas es adecuado para pequeñas instalaciones, cuya potencia no sea mayor a 10 HP.

✓ **Bombas de silla**

Son equipos algo más complicados por que tienen cuatro partes distintas:

- a) La carcasa de la bomba, sujeta en voladizo a un soporte especial o silla, que a su vez sirve de soporte al eje de la bomba.
- b) Un motor eléctrico.
- c) Una base metálica común.
- d) Un acoplamiento elástico para los ejes.

Estas bombas también tienen dos impulsores, que pueden ser iguales o diferentes y trabajar en serie o en paralelo (véase figura 6).

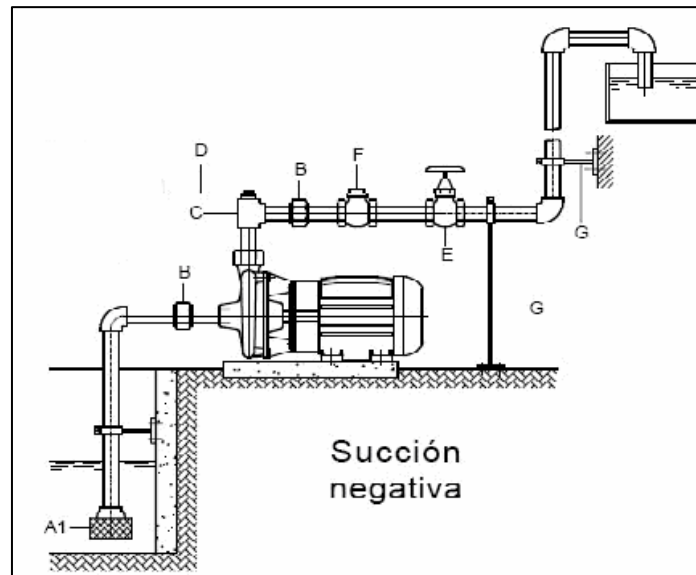
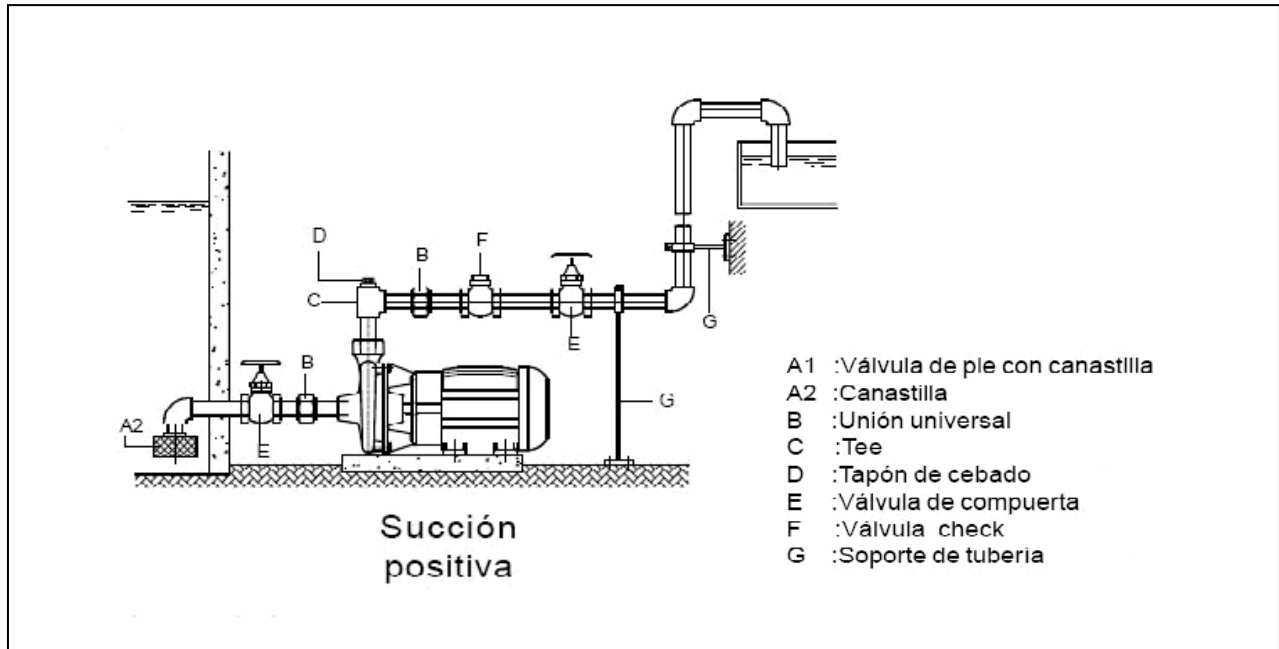


Figura 4. Bombas centrífugas de eje horizontal.



✓ Bombas de caja partida horizontal

En estos equipos la caja de la bomba está dividida en dos partes según un plano horizontal que pasa por el eje de la misma. Generalmente son construidas de tamaño grande. Pueden tener dos o más impulsores, pero por lo general tienen solo uno de gran tamaño y de doble entrada, lo que obliga a bifurcar tanto la conexión de la succión como la descarga (véase figura 7). Este tipo de bombas es adecuado para emplearlas en medias y grandes casetas de bombeo.

3.7.2 Bombas centrifugas verticales

Son equipos que tienen el eje transmisión de la bomba en forma vertical sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su uso a pozos profundos.

Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducir las en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo.

Una unidad de bombeo de un pozo consta seis partes principales, que son: a) la máquina motriz, b) el cabezal de transmisión, c) eje de transmisión, d) la columna o tubería de impulsión, e) la bomba, y f) la tubería de succión (véase figura 8).

De acuerdo al tipo de lubricación del eje de transmisión de la bomba, pueden ser de dos tipos: lubricadas con el mismo líquido que se bombea y lubricadas con aceite.

Los motores eléctricos para montaje vertical y, sobretodo, los especiales llamados de eje hueco, son los más utilizados para accionar este tipo de bombas.

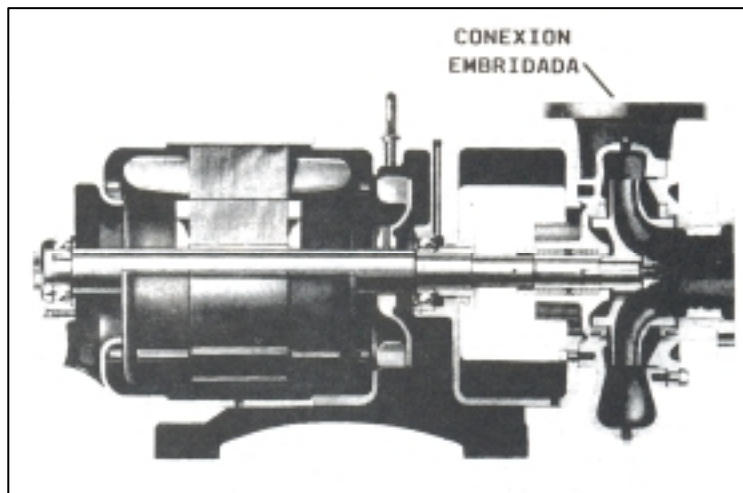
La ventaja principal de estos equipos es su versatilidad y su capacidad para trabajar en un amplio rango de velocidades. Entre sus desventajas están lo ruidosas que son y la estricta verticalidad que exige a los pozos para su instalación.

Los costos de instalación de este tipo de bombas son menores a los demandados por la instalación de una bomba de eje horizontal; sin embargo, la operación y mantenimiento exige cuidado especial y mayores costos.

3.7.3 Bombas sumergibles

Son equipos que tienen la bomba y motor acoplados en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical.

Estas bombas tienen la desventaja de poseer eficiencia relativamente bajas, por lo cual, aun cuando su costo puede ser relativamente bajo, el costo de operación es elevado por su alto consumo de energía (véase figura 9).



**Figura 5. Corte longitudinal de una bomba Monobloc para alta presión.
(El impulsor tiene anillo posterior de sello)**

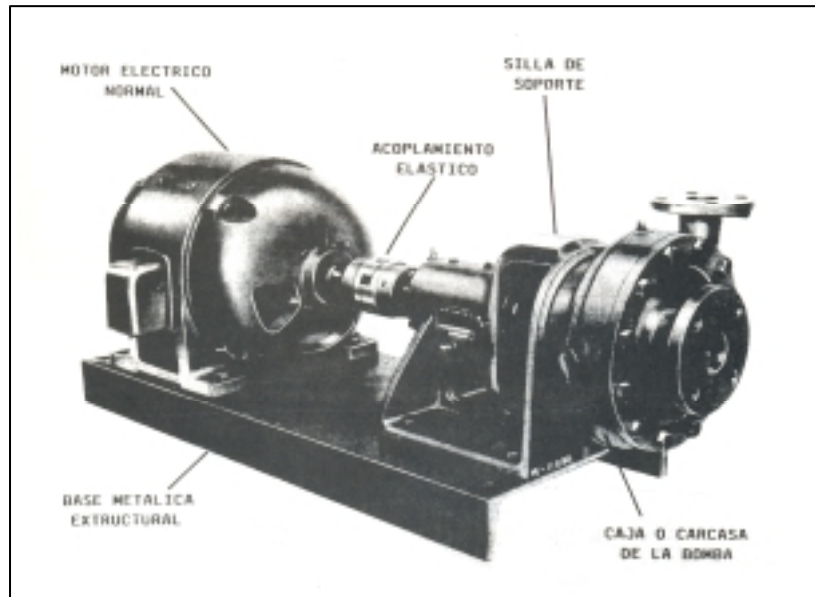


Figura 6. Vista exterior de una bomba de silla montada en fábrica sobre base estructural.

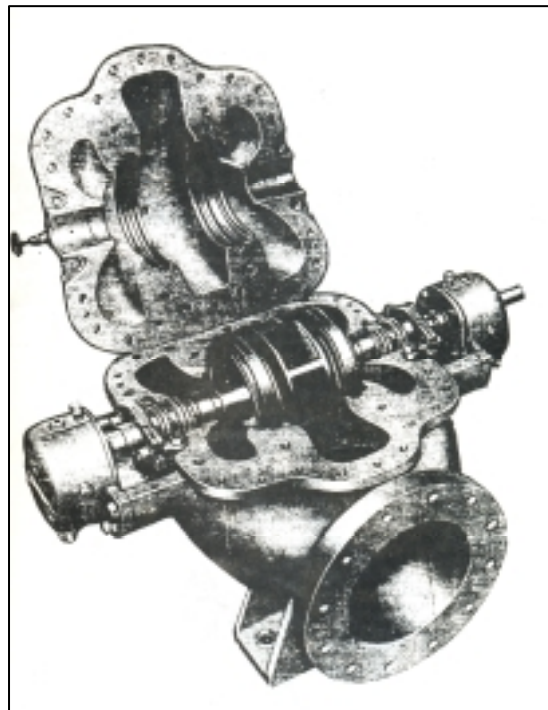


Figura 7. Bomba con caja partida horizontal destapada.

Nota: como el eje debe atravesar la caja de la bomba en dos sitios, estas bombas requieren doble juego de prensa estopas.

Otra desventaja es que al estar el motor y la bomba sumergidos, no existe forma de llegar a ellos cuando están instalados, en otras palabras la unidad no es susceptible de recibir mantenimiento sin paralizar el bombeo.

Los motores sumergibles están concebidos con velocidades de operación altas y son máquinas muy rígidas con respecto a la misma, no es factible hacer regulaciones durante la operación para variar la velocidad.

3.7.4 Motores

Los motores para bombas se clasifica en dos grupos principales: de combustión y eléctricos.

✓ Motores eléctricos

Estos motores utilizan la corriente eléctrica como fuente exterior de energía. Los más empleados en abastecimiento de agua son los de velocidad constante o los que tienen velocidad prácticamente constante. Es decir, se puede considerar únicamente los dos tipos siguientes:

- a) Motor síncrono de velocidad rigurosamente constante, dependiente del número de polos y al ciclaje o frecuencia de la línea de alimentación.
- b) Motor de inducción, es decir, asincrono con velocidad dependiente al valor de la carga.

Los motores sincrónicos pueden resultar más económicos para accionamientos de gran potencia y baja velocidad. En todo caso, la eficiencia del motor sincrónico es ligeramente mayor que el motor de inducción. Las desventajas de estos motores están en que requieren una operación más cuidadosa y no soportan bien las caídas de tensión.

Los motores de inducción con rotor bobinado, particularmente los de tipo de rotor en jaula o cortocircuito, ya sea común o de alto par de arranque, constituyen en la actualidad las máquinas motrices más empleadas en la industria. La ventaja de estos motores está en su simplicidad, fiabilidad y economía.

Los motores eléctricos por su principio sencillo y construcción robusta, no exigen grandes requisitos de mantenimiento, evitando costosas interrupciones en el servicio que prestan y los gastos consiguientes de reparación, si se tiene el cuidado de emplearlas correctamente, sobretodo en lo que se refiere las siguientes características de placa: potencia, corriente, tensión, frecuencia, velocidad, número de fases, temperatura, lubricación y condición del medio ambiente donde opera.

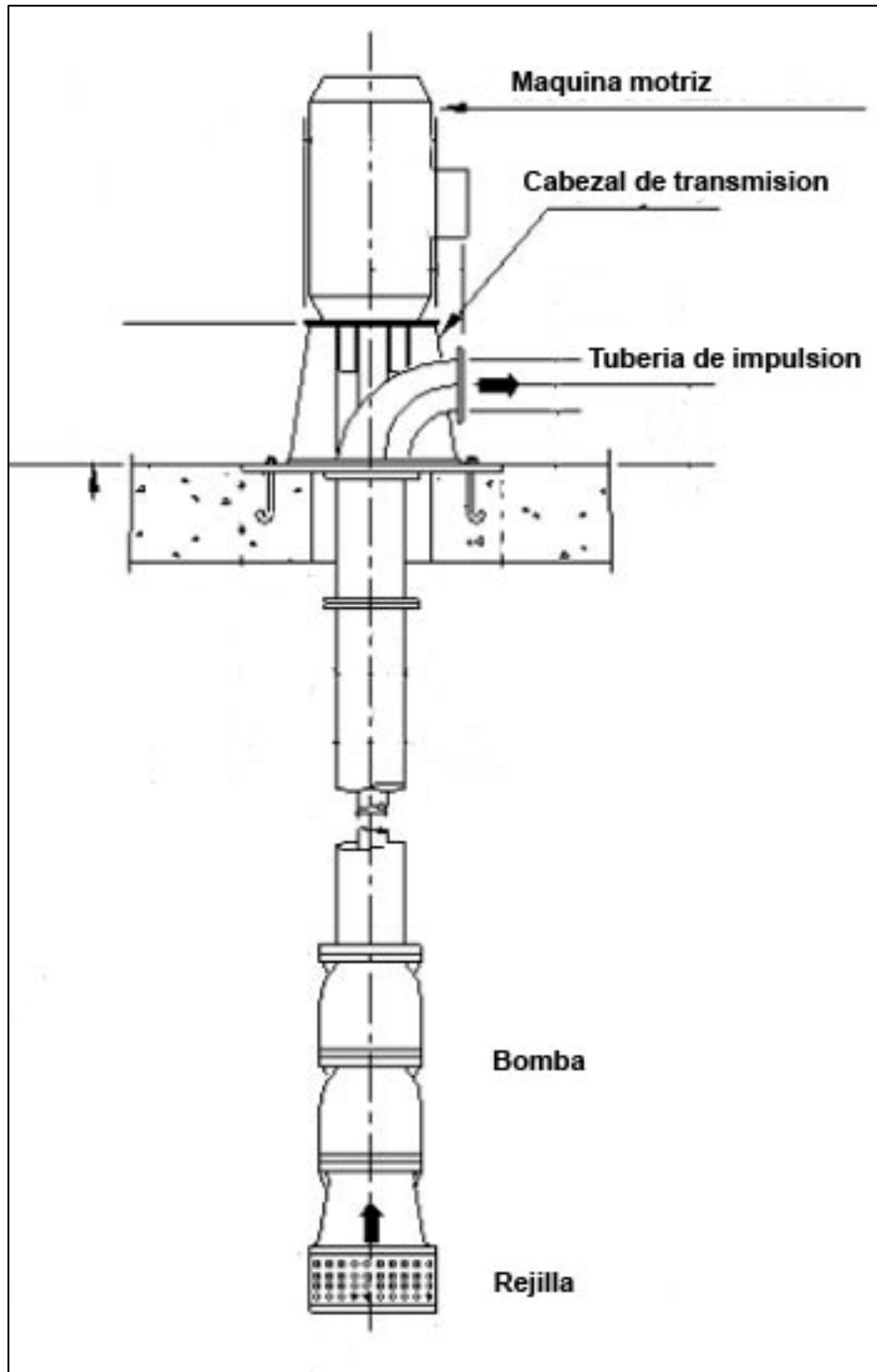


Figura 8. Bombas centrifugas de eje vertical.

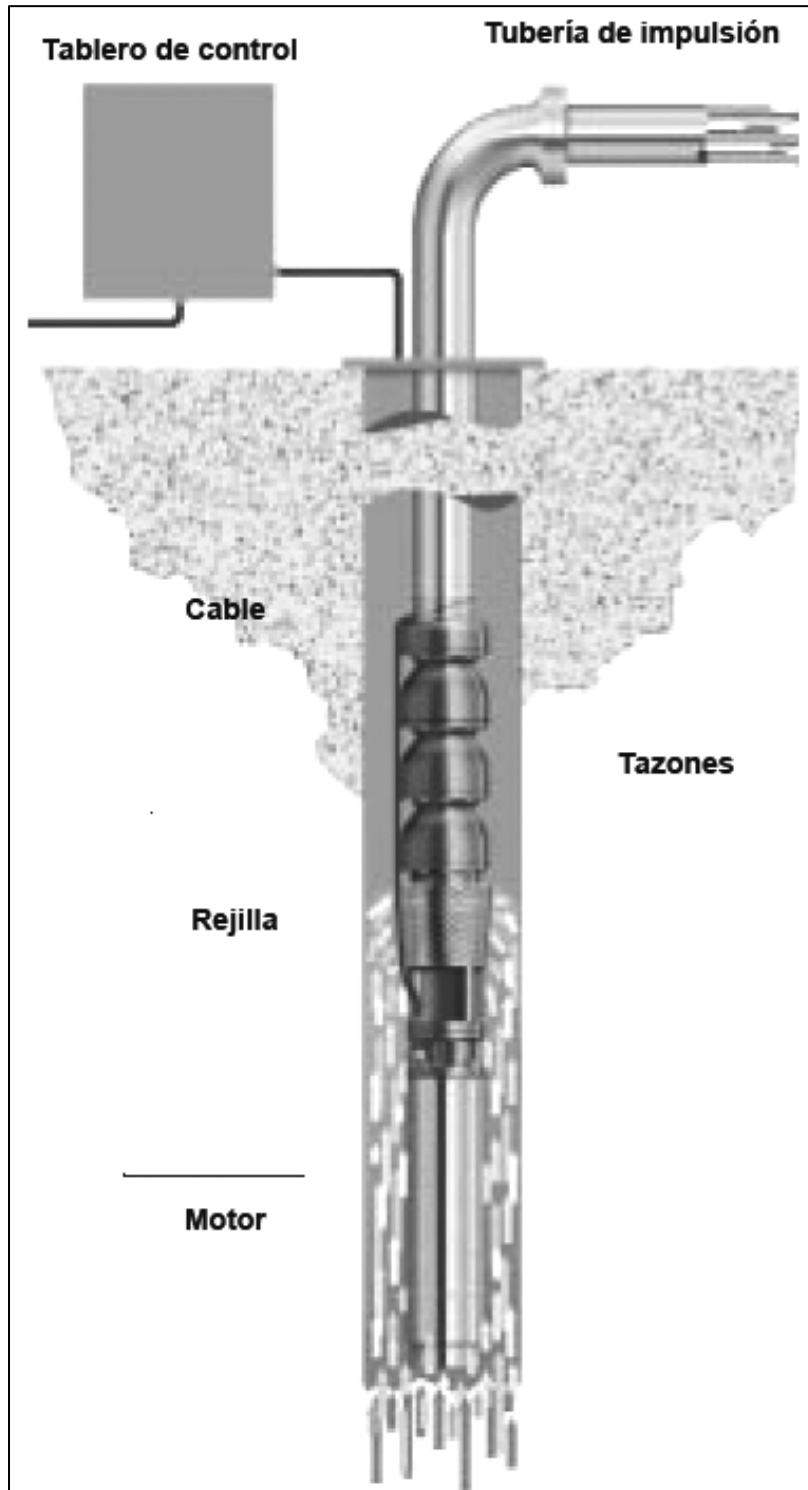


Figura 9. Bombas sumergibles.

Este tipo de motores es de menor costo comparado con los motores de combustión. Son de más sencilla construcción, fáciles de utilizar para mover las bombas centrífugas, y su costo de mantenimiento es prácticamente despreciable.

La velocidad de los motores sincrónicos depende de la corriente (ciclaje y frecuencia) y del número de pares de polos. En los motores de inducción el fenómeno de deslizamiento disminuye la velocidad aproximadamente en 2 - 6%. Los valores más de la velocidad de giro de los motores eléctricos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Velocidad de giro de motores eléctricos.

Polos	Motor sincrono		Motor de inducción	
	50 ciclos	60 ciclos	50 ciclos	60 ciclos
1	3000	3600	2800	3450
2	1500	1800	1450	1750
3	1000	1200	960	1150
4	750	900	720	870
5	600	720	580	690
6	500	600	480	580
7	428	514	410	495

✓ **Motores de combustión interna**

La potencia es desarrollada al quemar el combustible dentro de los cilindros del motor. Se pueden emplear los motores diesel o de encendido por bujías, alimentados por gas natural o propano. En algunos casos se han instalado motores a gasolina, pero su uso no es recomendable por los problemas derivados del almacenamiento del combustible.

Estos equipos tienen una velocidad de giro menor que los motores eléctricos, generalmente se encuentran entre 1700 a 2400 rpm.

El empleo de estos motores es recomendable para el accionamiento de bombas en lugares muy apartados en donde no se dispone de suministro eléctrico o este es muy poco fiable.

Podría extenderse su uso en estaciones gran capacidad, como fuente de energía de reserva para el accionamiento de las bombas y de los controles eléctricos críticos en caso de fallo del suministro de energía.

3.8 Selección de bombas centrifugas

3.8.1 Datos requeridos para seleccionar bombas centrifugas

La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema donde ella trabajará. El ingeniero que especifica una bomba puede hacer una selección errónea por no haber investigado los requisitos totales del sistema. Dejar la responsabilidad de la selección de la bomba al representante del proveedor no es una buena decisión, en vista que le puede ser difícil o imposible conocer los requisitos totales de la operación.

Por ello, previo a la elección de la bomba el ingeniero debe obtener los siguientes datos del sistema:

✓ **Bomba**

- Número de unidades.
- Tipo de bomba (sólo si existe una preferencia predeterminada).
- Servicio de horas por día y, si es continuo o intermitente.

Características del líquido:

a) Temperatura

Se debe indicar la temperatura de trabajo, así como posibles rangos de variación de la misma.

b) Gravedad específica

Debe ser indicada para la temperatura de bombeo y es vital para una correcta determinación de la potencia.

c) pH

Se debe indicar la acidez o alcalinidad del agua, por que permite elegir el material adecuado de la bomba. Si existe análisis químico es preferible suministrarlo.

✓ **Condiciones de operación**

a) Caudal

Debe ser especificado en litros por segundo. Es muy importante indicarlo en el punto exacto de operación ya que permitirá seleccionar la bomba más eficiente.

b) Altura manométrica total

Se debe especificar en metros de acuerdo a lo calculado, o dar al fabricante todos los datos en un croquis de la instalación, para su cálculo.

c) Condiciones de succión

Para bombas de eje horizontal se debe indicar la altura manométrica total y el NPHS disponible. En los demás tipos de bomba, especificar todos los datos en un croquis de la instalación.

✓ **Accionamiento**

Se debe indicar claramente si es motor a gasolina, petróleo, eléctrico. En caso de contar con el motor, indicar todas las especificaciones del mismo para seleccionar una bomba que pueda trabajar con él.

Indicar la velocidad de operación, en caso contrario dejar que el fabricante lo indique. En caso de contar con motor indicar la potencia continua a determinada velocidad.

Si el motor seleccionado es eléctrico, se debe indicar las características de la corriente eléctrica disponible: voltaje, ciclos y fase.

✓ **Material requerido**

Se debe indicar el material que se requiere para la carcasa, impulsor, bocina, prensa-estopa y sello mecánico; caso contrario dejar que el fabricante indique lo más apropiado. El criterio primario a considerar en esta elección es la característica del agua con la cual tendrá contacto la bomba.

Los materiales comúnmente empleados son:

- El hierro, que tiene buena resistencia a la abrasión y a la presión; es empleado para los cuerpos, bases e impulsores de las bombas.
- El bronce, que tiene buena resistencia a la corrosión, pero muy poca a la abrasión.
- El acero, que tiene buena resistencia a las temperaturas y presiones elevadas.

✓ **Posición o instalación de las bombas**

Debe ser determinada la siguiente información:

- Cómo será la instalación de la bomba: horizontalmente o verticalmente.
- Si se requiere base común.
- Dimensiones de la bomba.
- Tipo de acoplamiento: flexible o cardán.
- Tipo de tablero de control.

✓ **Requerimientos especiales**

Se debe comprometer al proveedor del equipo a lo siguiente:

- Entregar curvas certificadas.
- Presenciar prueba de operación.
- Presenciar prueba hidráulica.
- Servicio de puesta en marcha.
- Copia lista de partes.
- Copia plano de conjunto.

3.8.2 Determinación de la curva del sistema

Con la información obtenida en la etapa de levantamiento de datos se elaborará la curva característica del sistema, la cual representará la altura de la carga total que deben vencer las bombas funcionando a los diversos caudales del proyecto. La curva del sistema es la representación gráfica de la suma de la altura estática, las pérdidas por fricción y las pérdidas singulares del sistema con respecto al caudal.

3.8.3 Curvas características de bombas centrífugas

Las características de funcionamiento de una bomba centrífuga se representa mediante una serie de curvas en un gráfico de coordenada caudal - altura (Q-H); caudal presión (Q-P) y caudal - eficiencia (Q- η). A cualquier punto Q_x le corresponde un valor en las coordenadas H_x , P_x y η_x (véase figura 10).

Cada curva corresponde a una determinada velocidad de rotación y un diámetro de impulsor.

La curva característica representa el comportamiento de la bomba bajo diferentes condiciones de trabajo, las cuales son definidas por la altura total del sistema contra el cual está trabajando, es decir, por el punto de intersección de las curvas de la bomba y del sistema.

3.8.4 Relaciones y características de las bombas centrifugas

Estas relaciones se utilizan en los siguientes casos:

- Para obtener la curva característica de la bomba que tiene una velocidad de rotación diferente, de aquella para la cual se conoce su curva característica.
- Predecir la nueva curva característica de una bomba, si fue reducido el diámetro del rotor.

Las relaciones que se emplean son las siguientes:

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{D1}{D2}$$

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right)^2 = \left(\frac{D1}{D2}\right)^2$$

$$\frac{P1}{P2} = \left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right)^3 = \left(\frac{D1}{D2}\right)^3$$

Donde:

Q1, Q2 y Q3	=	caudales
D1 y D2	=	diámetros del rodete.
η_1 y η_2	=	velocidades de rotación.
H1 y H2	=	alturas
P1 y P2	=	potencias absorbidas.

La confiabilidad de estas relaciones es limitada a variaciones de más o menos 20% respecto a las características originales, especialmente por lo que se refiere a la relación de potencia; puesto que en ellas se supone que el rendimiento se mantiene constante, condición esta que no se verifica en la práctica (véase figura 11).

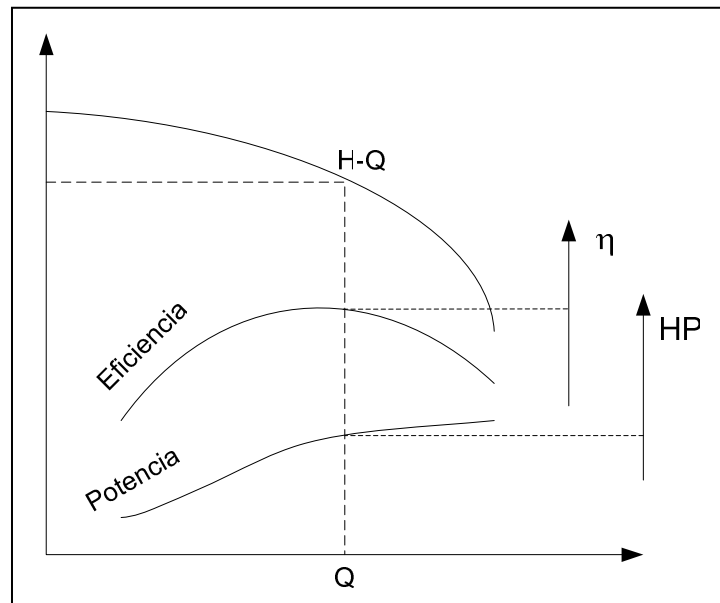


Figura 10. Curvas características de la bomba centrífuga.

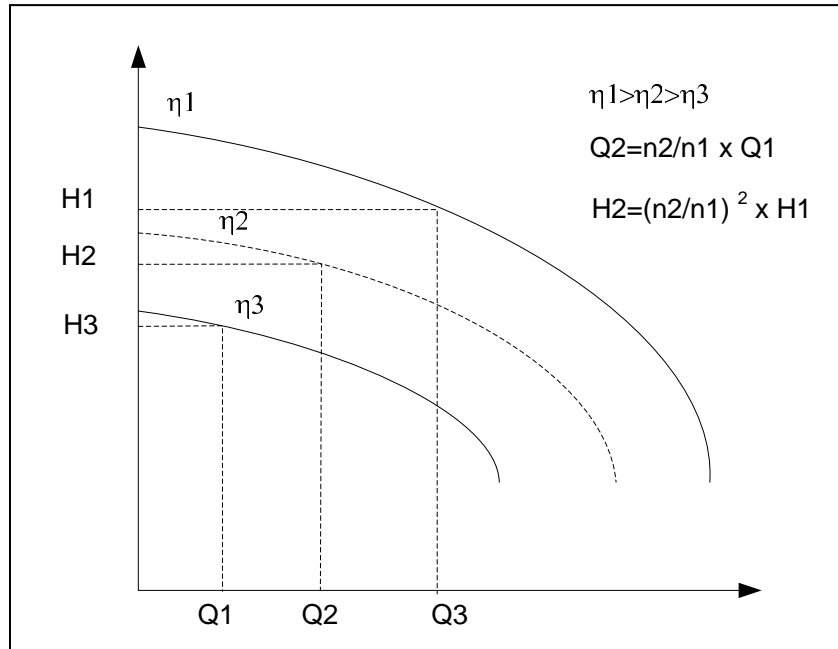


Figura 11. Determinación de características de la bomba para una velocidad de rotación distinta al original (n_2).

3.8.5 Determinación de la bomba

En este apartado se describirá el procedimiento para la selección de bombas centrífugas de eje horizontal, ya que son las más apropiadas para pequeñas instalaciones como las existentes en el medio rural.

✓ Punto de operación del sistema

En primer lugar, se debe recurrir al catálogo de curvas características de bombas proporcionado por el fabricante. Enseguida, buscamos la bomba más adecuada a las condiciones de caudal de bombeo y altura dinámica total de nuestro sistema. Finalmente, trazamos sobre las curvas de la bomba seleccionada, la curva del sistema y determinamos su punto de operación. De preferencia la bomba deberá tener una velocidad de rotación de 3600 rpm. La selección debe realizarse tratando de obtener la máxima eficiencia del sistema de bombeo (véase figura 12).

En el diagrama de las curvas de la bomba, también están dibujadas las curvas para determinar la eficiencia, la potencia y el NPSH requerido por la bomba. Se debe comparar el NPSH disponible del sistema con el NPSH requerido por la bomba. El disponible debe ser mayor que el requerido.

✓ **Diámetro impulsor**

No siempre la curva suministrada por el fabricante está construida para las características deseadas, de forma que se hace necesario modificarlas y lograr la selección del equipo mas apropiado, técnica y económicamente.

Por ejemplo, si el punto de operación de la bomba cae entre dos impulsores, se debe emplear las leyes de afinidad para determinar el diámetro exacto del impulsor de la bomba seleccionada.

✓ **Selección del motor**

Anteriormente se determinó la potencia consumida por la bomba. Si el motor fuera eléctrico se podría colocar uno de estas mismas características siempre y cuando se tenga la seguridad de lo siguiente:

- Se va a trabajar al nivel del mar.
- Que se va a arrancar contra válvula descarga cerrada.
- El cálculo de la altura manométrica sea confiable.

Como estas condiciones raramente se cumplen, se recomienda usar un factor de servicio de 1.15 al motor, siempre y cuando se cuente con válvula, en caso contrario habría que calcular sobre la potencia máxima absorbida por la bomba.

Si la bomba fuera a trabajar con un motor a petróleo a una elevación diferente a la del mar, habrá que tener en cuenta la recomendación del fabricante del motor, sobre pérdidas de potencia por elevación. Generalmente como promedio se puede considerar una pérdida.

Matriz del 1% en cada 100 metros de elevación (cada fabricante especifica en sus hojas técnicas).

3.9 Cisterna de bombeo

Son cámaras de forma circular, cuadrada o rectangular (vista de planta) que tienen la función de almacenar el agua, previa a su bombeo.

Esta cámara, desde donde parte la tubería que conduce el agua hacia la bomba debe poseer dimensiones mínimas para facilitar el asentamiento de las piezas, evitar grandes velocidades y agitación de las aguas, y permitir el acceso para labores de mantenimiento.

A veces, no existe propiamente una división estructural con las características de una cisterna, pues la toma de agua es hecha directamente de un río, represa un reservorio de agua muy amplio.

En el diseño de la cisterna de bombeo deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

3.9.1 Condiciones y dirección del flujo

La distribución de flujo y las líneas de corriente en las cisternas de bombeo, ejercen gran influencia sobre el trabajo de las bombas. Por tanto, es recomendable evitar los siguientes aspectos geométricos que pueden conducir a un mal diseño:

- Flujo irregular, régimen turbulento y cambios bruscos en la dirección del flujo.
- Paredes contiguas y rotación del flujo.
- Pozos rápidamente divergentes.
- Pendientes pronunciadas.
- Distribución asimétrica de flujo en el pozo.
- Entrada de agua al pozo por debajo del nivel de la tubería de succión.

Son medidas aconsejables la adopción de velocidades moderadas (inferiores a 0,90 m/s), la cuidadosa adopción de dimensiones, la introducción de cortinas o paredes guías. La figura 13 muestra los cuidados tomados en instalaciones bien realizadas.

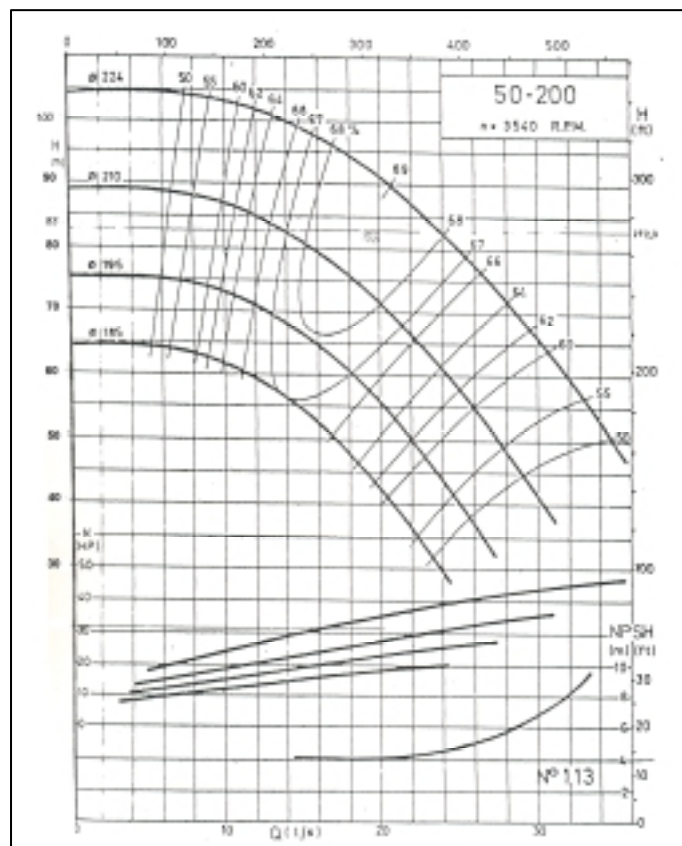


Figura 12. Curva característica de bomba centrífuga de eje horizontal.

3.9.2 *Entrada de aire y vórtices*

La entrada de aire en la tubería de succión puede ser causada por:

- Piezas y uniones que filtran.
- La formación de vórtices.
- La introducción y liberación de aire (aire enrarecido, aire emulsionado y aire disuelto), por una configuración inadecuada de la entrada de agua a la cisterna y de la tubería de succión de la bomba (véase figura 14).

Las condiciones que favorecen la formación de vórtices son:

- Sumergimiento muy pequeño de la tubería de succión.
- Altas velocidades de flujo en la succión.
- Mala distribución del flujo.

La entrada de aire a través de vórtices interfiere con el funcionamiento de las bombas, con las condiciones de cebaje, con el ruido y con el caudal de bombeo.

Para evitar vórtices se debe tener una profundidad mínima y reducir la velocidad de entrada en la boca de succión. Valores hasta 0,90 m/s son aceptables. Se recomienda también instalar una ampliación en forma de campana.

3.9.3 *Dimensiones de la cisterna*

Las especificaciones siguientes son referentes a la posición y disposición de las bombas de eje vertical; sien embargo, también pueden ser aplicadas para las bombas de eje horizontal.

En el cálculo del volumen de las cámaras de bombeo se presentan dos casos:

- Cisterna de bombeo con almacenamiento, que se debe emplear cuando el rendimiento de la fuente no sea suficiente para suministrar el caudal de bombeo.
- Cisterna de bombeo sin almacenamiento, que se debe emplear cuando la fuente de provisión de agua tenga una capacidad mayor o igual al caudal de bombeo.

✓ **Cisterna de bombeo con almacenamiento**

El volumen de la cisterna de bombeo con almacenamiento debe ser calculado realizando un balance o diagrama de masas, considerando el caudal mínimo de la fuente de agua y el caudal de bombeo.

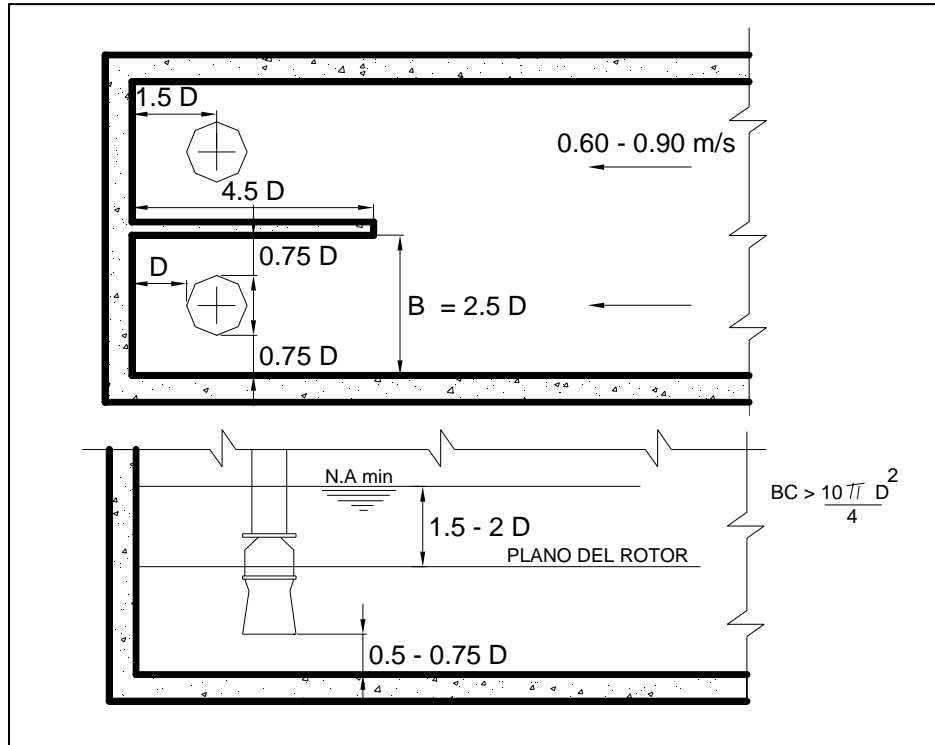


Figura 13. Dimensiones mínimas recomendadas y disposición de las cisternas de bombeo.

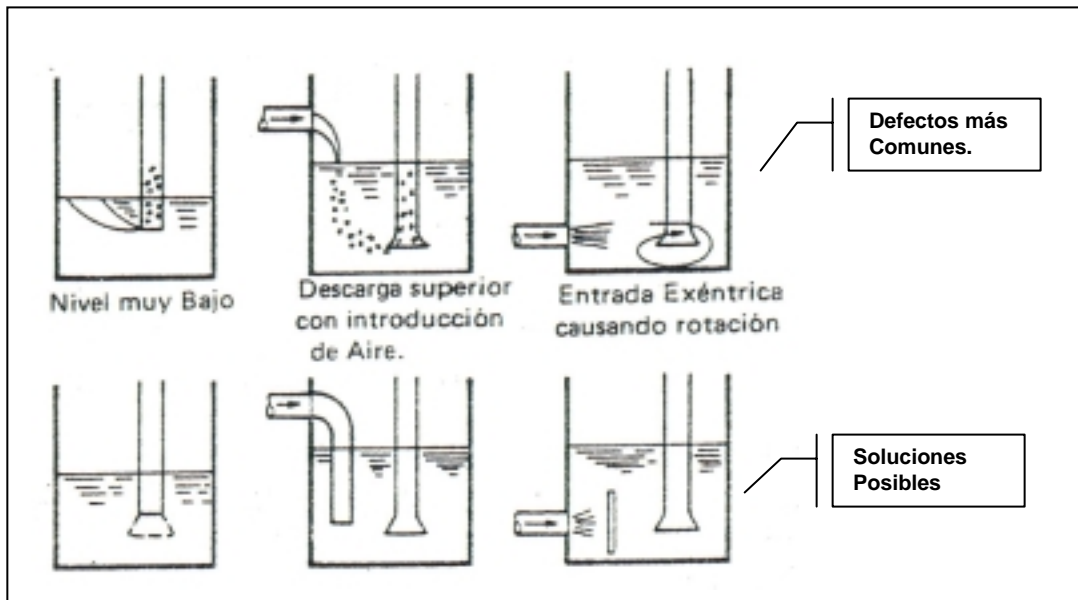


Figura 14. Defectos más comunes en las cisternas que originan ingreso de aire en la tubería de succión.

La sumergencia mínima será fijada mayor a $1,5D$ (D es el diámetro de la tubería de succión), a partir del plano del rotor en el caso de las bombas verticales del tipo axial; mayor a $2D$, a partir de la superficie inferior de la boca de entrada en el caso de bombas centrífugas con aspiración; y, no menor a $0,50$ m en el caso de bombas pequeñas.

La holgura comprendida entre el fondo del pozo y la sección de entrada de la canalización de succión será fijada en un valor comprendido entre $0,5D$ y $0,75 D$ (véase figura 13).

✓ **Cisterna de bombeo sin almacenamiento**

En este caso el volumen de la cisterna debe ser calculado considerando un tiempo de retención entre 3 a 5 minutos, para el caudal máximo diario. Deben considerarse además las siguientes recomendaciones (véase figura 15).

- a) El área mínima de una cisterna individual (aislada) debe ser 12,5 veces el área de la sección de entrada de la tubería. El área de la sección de flujo en la parte inicial de la cisterna, debe ser por lo menos 10 veces el área de la sección de entrada en la tubería de succión.
- b) La disposición de la tubería de succión debe ser como lo explicado en el ítem 3.9.3.
- c) En las cisternas con deflectores la distancia entre el eje de la canalización y las paredes adyacentes será fijada como mínimo en $1,5D$
- d) En las cámaras sin deflectores, la distancia entre el eje de la canalización y las paredes adyacentes laterales será como mínimo de $1,5D$, y la distancia entre el eje de la canalización y la pared de fondo será del orden de $1,1D$ a $1,2D$.
- e) Cuando las bombas sean dispuestas ortogonalmente a la dirección de la corriente líquida, los cantos de las paredes que limitan cada bomba formarán ángulos de 45° con relación a cada una de las paredes y los catetos serán fijados en $0,5D$ para las cámaras con deflectores y en $0,75$ para las cámaras sin deflectores.
- f) Las cortinas que separan una bomba de otra, en un conjunto de bombas dispuestas ortogonalmente a la corriente líquida, tendrán una dimensión mayor a $3D$ en la dirección de la corriente, a partir del eje de la canalización.
- g) La forma de los bordes de ataque de las cortinas y de los deflectores será redondeada, permitiéndose la forma circular para las cortinas y la forma ovoidal para los deflectores.
- h) El escurrimiento en la entrada de la cámara será regular, sin dislocamientos y zonas de velocidades elevadas. La velocidad de aproximación del agua a la sección de entrada en la cámara de succión no excederá de $0,6$ m/s.

- i) Sin perjuicio de las formas y dimensiones establecidas anteriormente, la cámara de succión debe contar con:
- Holguras necesarias para el montaje y desmontaje de los equipos e instalaciones complementarias y circulación del personal de operación y mantenimiento.
 - Disponibilidad de espacio físico, cuando fuera el caso, para la instalación de las bombas sumergibles.
- j) No deben ser admitidas las formas y los arreglos indicados en la figura 16.

3.9.4 *Preservación de la calidad del agua*

Deberán tomarse precauciones especiales, en el bombeo de agua tratada, para que no haya contaminación de la misma con la entrada de líquidos o materiales extraños a la cisterna. Es necesario que el pozo sea cubierto y que las aguas de escorrentía, de lavado de pisos o de la salpicadura de las bombas sean impedidas de entrar.

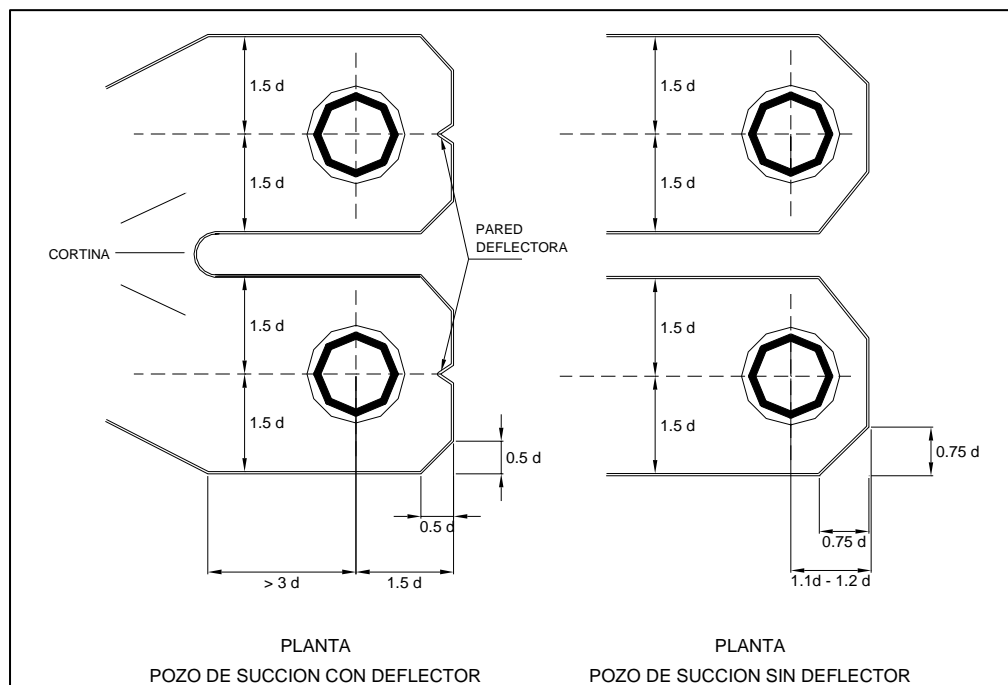


Figura 15. Disposiciones y dimensiones recomendadas para cisternas de bombeo.

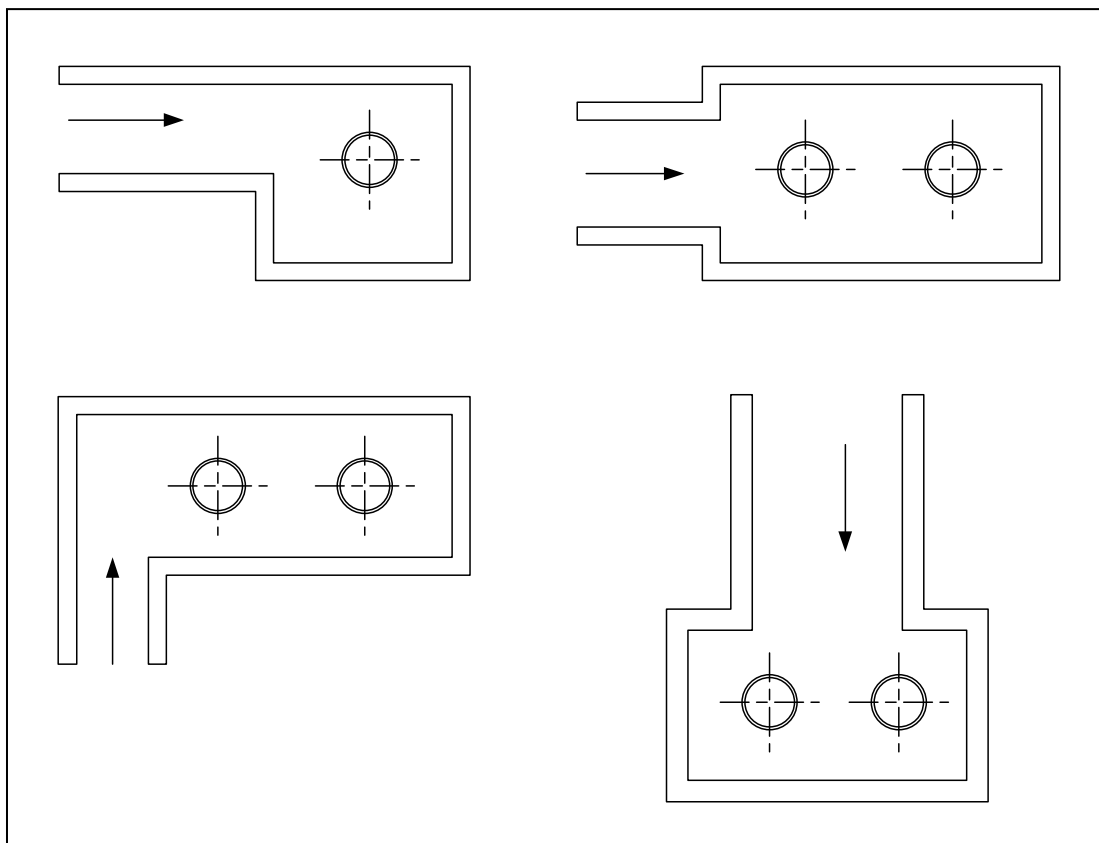


Figura 16. Formas incorrectas de disponer las bombas en las cisternas de bombeo.

3.10 Caseta de bombeo

El dimensionamiento de la caseta de bombeo debe ser adecuado para albergar el total de los equipos necesarios para la elevación del agua. Cuando fuese necesario, la caseta albergará los dispositivos de maniobra y desinfección. Debe permitir facilidad de movimientos, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipos.

El dimensionamiento de la caseta dependerá del tipo de bomba que se emplee. Los casos más comunes son:

- a) Cuando se emplean bombas estacionarias de eje horizontal y de eje vertical: estarán albergadas en la caseta de bombeo, junto con los motores, generadores, tableros, circuitos y válvulas de accionamiento necesarias.
- b) Cuando se empleen bombas sumergibles: la caseta de bombeo servirá para alojar los circuitos y tablero de control, eventualmente el generador y válvulas de accionamiento de la línea de impulsión.

Las dimensiones de la sala de bombas deben permitir igualmente facilidad de movimiento, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipamientos y además abrigar, cuando fuere el caso, los dispositivos de servicio para maniobra y movilización de las unidades instaladas. Se debe considerar:

- El espacio libre para la circulación en torno a cada bomba, debe preverse de preferencia con un valor mayor a 1,50 m pero no menor a 1,0 m. En el caso de bombas de escurrimiento axial, la distancia mínima es de tres diámetros de la bomba.
- Todos los accesos a la sala de bombas deben situarse a un mínimo de 1,0 m por encima de nivel máximo del pozo de succión, si fuera el caso.
- Cuando la sobre elevación del piso de la sala de bombas fuera menor que 1,0 m con relación al nivel máximo de agua en el pozo de succión, el asentamiento de la misma debe ser hecho como para una instalación sujeta a inundación.
- En el caso que el piso de la sala de bombas se localizase por debajo del nivel máximo de agua en el pozo de succión, deben ser previstas bombas de drenaje.

La superficie de la sala de bombas deberá ser establecida tomando en cuenta el tamaño del pozo de succión, y las dimensiones complementarias deben ser estudiadas a fin de posibilitar una buena distribución, minimizando la construcción civil.

La disposición de los grupos moto-bombas, siendo éstas del tipo horizontal, debe obedecer, tanto como sea posible, las disposiciones en zig-zag o en diagonal (véase figura 17).

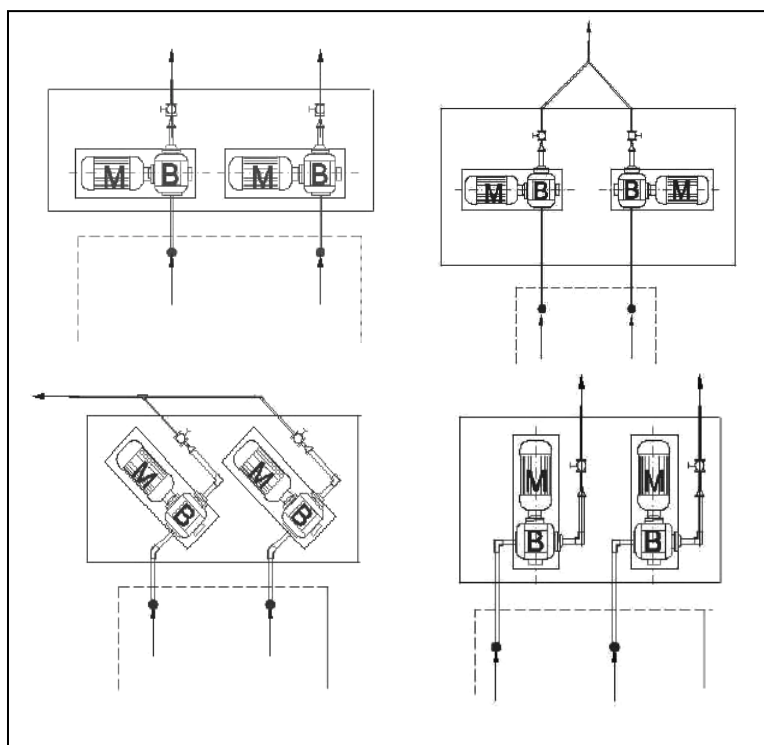


Figura 17. Disposición de bombas centrífugas de eje horizontal en una cisterna de bombeo.

3.10.1 Tubería y accesorios de succión

La tubería de succión debe ser la más corta posible, evitándose al máximo, piezas especiales como curvas, codos, etc. La tubería de succión debe ser siempre ascendente hasta alcanzar la bomba. Se pueden admitir pequeños tramos perfectamente horizontales.

La altura máxima de succión más las pérdidas de carga, debe satisfacer las especificaciones establecidas por el fabricante de las bombas. Teóricamente, la altura de succión máxima sería de 10,33 m a nivel del mar (una atmósfera), sin embargo, en la práctica es muy raro alcanzar 7,50 m. Para la mayoría de las bombas centrífugas la altura de succión debe ser inferior a 5 m. (Los fabricantes generalmente especifican, las condiciones de funcionamiento, para evitar la aparición de fenómenos de cavitación. Para cada tipo de bomba debe ser verificada la altura máxima de succión). En la tabla 4 se especifica las alturas máximas permisibles de succión en función de la presión atmosférica:

El diámetro de la entrada de la bomba no debe ser tomado como indicación para el diámetro de la tubería de succión. Para la tubería se adoptan diámetros mayores con el objeto de reducir las pérdidas de carga. El diámetro de la tubería de succión debe ser tal que la velocidad en su interior no supere los valores especificados en la tabla 5.

La pérdida de carga por fricción a lo largo de la tubería de succión puede calcularse mediante la fórmula de Hazen – Williams:

$$V = 0.355 D^{0.63} S_f^{0.54}$$

Donde:

- V = Velocidad media, m/s.
- D = Diámetro, m.
- S_f = Pérdida de carga unitaria, m/m.
- C = Coeficiente que depende de la naturaleza de la paredes de los tubos (material y estado).

Los valores mas empleados del coeficiente de pérdida de carga se muestran en la tabla 6.

Para el cálculo de las pérdidas de carga localizadas en la tubería de succión o impulsión se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$h_f = K \frac{V^2}{2g}$$

Tabla 4. Alturas máximas de succión.

Altitud (m)	Presión Atmosférica (m H ₂ O)	Límite práctico de succión (m)
0	10.33	7.60
300	10.00	7.40
600	9.64	7.10
900	9.30	6.80
1200	8.96	6.50
1500	8.62	6.25
1800	8.27	6.00
2100	8.00	5.70
2400	7.75	5.50
2700	7.50	5.40
3000	7.24	5.20

Nota: La altura de succión admisible para un determinado tipo de bomba depende de otras condiciones y deberá ser verificada en cada caso

Fuente: Manual de Hidráulica de Azevedo Netto.

Tabla 5. Diámetro de la tubería de succión en función a la velocidad.

Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
50	0,75
75	1,10
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
400 o mayor	1,80

Fuente: Manual de Hidráulica de Azevedo Netto.

Donde:

- h_f = Pérdida de carga, m.
- K = Coeficiente de pérdida de carga singular adimensional.
- V = Velocidad media en la sección, m/s.
- g = Aceleración de la gravedad, m/s^2 .

Para piezas o accesorios comunes, se utilizarán los coeficientes de pérdida de carga especificadas en la tabla 7:

El diámetro interno de la tubería de succión puede calcularse con la siguiente expresión:

$$d = 1.1284 \sqrt{\frac{Q}{V}}$$

Donde:

- d = Diámetro interno de la tubería de succión, m.
 Q = Caudal de bombeo, m³/s.
 V = Velocidad media de succión, m/s.

Otros aspectos que deben tomarse en consideración en el diseño y cálculo de tubería de succión son los siguientes:

- En la extremidad de la tubería de succión debe ser instalada una rejilla, con un área libre de los orificios de la criba de 2 a 4 veces la sección de la tubería de succión.
- En el caso de que no se disponga de otro medio de cebar la bomba, deberá ser prevista la utilización de válvula de pie en la extremidad de la tubería de succión.
- Cuando el diámetro de la tubería de succión es mayor que el de admisión de la bomba, la conexión debe realizarse por medio de una reducción excéntrica con su parte superior horizontal a fin e evitar la formación de bolsas de aire.
- En tuberías de succión verticales, las reducciones serán concéntricas.
- La tubería de succión generalmente tiene un diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de descarga.
- En una tubería de succión con presión positiva debe instalarse una válvula de compuerta.
- En una tubería de succión que no trabaje con presión positiva debe instalarse una válvula de retención en su extremo inferior para evitar el cebado.
- Siempre que las diversas bombas tuvieran sus tuberías de succión conectadas a una tubería única (de mayor diámetro), las conexiones deberán ser hechas por medio de Y (uniones), evitándose el empleo de Tes.
- No deben ser instaladas curvas horizontales, codos o tes junto a la entrada de las bombas.

Tabla 6. Valores del coeficiente C de Hazen-Williams.

Material	C
Acero galvanizado	125
Acero soldado, tubos nuevos.	130
Acero soldado, tubos en uso.	90
Fierro fundido, nuevos	130
Fierro fundido, después de 15 o 20 años	100
Fierro fundido, gastados	90
PVC	140
Concreto, con buena terminación	130
Concreto, con terminación común.	120

Fuente: Manual de Hidráulica, Azevedo Netto.

Tabla 7. Valores aproximados de K (pérdidas de carga locales).

Pieza o accesorio	K
Compuerta abierta	1
Codo 90°	0.90
Codo 45°	0.40
Curva de 90°	0.40
Curva de 45°	0.20
Curva de 22.30°	0.10
Rejilla	0.75
Boquillas	2.75
Válvula de angula abierta	5.00
Válvula de compuerta abierta	0.20
Válvula tipo globo abierta	10.0
Salida de tubo	1.00
Entrada normal de tubo	0.50
Entrada de borda	1.00
Válvula de pie	1.75
Válvula de retención	2.50
Ampliación gradual	0.30*
Reducción gradual	0.15*

*Con base en la velocidad mayor (sección menor)
Fuente: Manual de hidráulica, Azevedo Netto

3.10.2 Tuberías y accesorios de impulsión

El diámetro de la tubería de impulsión deberá ser determinado en base a un análisis técnico económico; teóricamente puede asumir cualquier valor; sin embargo, existe un valor para el cual cumple los criterios mencionados.

El análisis debe considerar que si el diámetro adoptado es grande, la pérdida de carga en la tubería será pequeña y por tanto la potencia de la bomba será reducida; consecuentemente el costo de la bomba será reducido, pero el de la tubería de impulsión será elevado. El análisis inverso también es valedero, es decir, si adoptamos un diámetro pequeño, al final, el costo de la tubería de impulsión será reducido y el de la bomba será elevado.

El cálculo de la tubería de impulsión para sistemas que trabajan continuamente se puede calcular empleado la fórmula de Bresse:

$$D = K \sqrt[3]{Q}$$

Donde:

- D = Diámetro económico, m.
- K = Coeficiente entre 0.9-4.0.
- Q = Caudal de bombeo, m³/s.

De acuerdo a esta fórmula la medición de una línea de impulsión se hace básicamente por imposiciones económicas, por tanto, el valor del coeficiente K es consecuencia del precio de la energía eléctrica, de los materiales y de las máquinas empleadas en las instalaciones, variando por esto con el tiempo y con la región considerada.

Tratándose de instalaciones pequeñas, como son las que existen en el área rural, la fórmula de Bresse puede llevar a un diámetro aceptable. Para el caso de grandes instalaciones, dará una primera aproximación y es conveniente un análisis económico, en el cual sean investigados los diámetros más próximos inferiores y superiores.

Para estaciones que no son operadas las 24 horas del día, el diámetro económico viene dado por la siguiente expresión:

$$D = 1.3 \lambda^{1/4} \sqrt{Q}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{Número de horas de bombeo}}{24}$$

En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión, además, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Dotar al sistema de los dispositivos que aseguren los riesgos debido al fenómeno del golpe de ariete.
- A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Asimismo, debe considerarse la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.
- En todo cambio de dirección debe considerarse elementos de anclaje y sujeción.
- El diámetro de las tuberías largas, debe ser calculado con velocidades relativamente bajas, generalmente entre 0,65 a 1,50 m/s.
- El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias cortas, debe calcularse para velocidades mayores, que esté entre 1,50 a 2,00 m/s.

La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo. Deben instalarse los dispositivos necesarios para evitar el contra flujo del agua, cuando la bomba deja de trabajar o en caso de que exista falla eléctrica.

4. Referencias

- Manual de Hidráulica, J.M de Azevedo Netto y Acosta A. Guillermo. Sao Paulo, 1975. Ed. HARLA
- Abastecimiento de agua. Arocha R. Simón. Caracas 1980. Ediciones Vega s.r.l.
- Abastecimientos de agua y alcantarillado. Mijares R. Gustavo. 3era Edición, Caracas 1980. Ediciones Vega s.r.l.
- Estaciones de Bombeo, Bombas y Motores utilizados en abastecimiento de agua, Ferreccio N. Antonio. Lima, 1985. CEPIS -Programa de Protección de la Salud Ambiental.
- Módulos para capacitación de personal de servicios de abastecimiento de agua en países de desarrollo. GTZ, Cooperación Técnica República Federal de Alemania. Lima, 1988. CEPIS.
- Manual de Instalación, Operación y Mantenimiento de bombas. HIDROSTAL. Lima, 2000.
- Bombas y estaciones elevatorias utilizadas en abastecimiento de agua. Yassuda R. Eduardo et al. Sao Paulo, 1966. Universidad de Sao Paulo.
- Manual de Operación y Mantenimiento de sistemas de agua potable y letrinas en el medio rural. Ministerio de Salud, Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental.
- Expedientes de proyectos de abastecimiento de agua. SEDAPAL, Lima 2005.
- Nuevo reglamento de elaboración de proyectos de agua potable y alcantarillado para habilitaciones urbanas de Lima y Callao. SEDAPAL, Lima, 1994.
- Normas de diseño para proyectos de abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales. Ministerio de Salud, DIGESA.
- Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales. PRONASAR, Lima 2004.