

CAPITULO 13. ESTACIONES DE BOMBEO.

13.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

Este capítulo trata exclusivamente del bombeo de las aguas potables, pluviales y residuales (negras), cuando éstas no pueden incorporarse por gravedad a una red de distribución de agua potable o de alcantarillado pluvial y/o sanitario del sistema Intermunicipal; o en su caso, a la planta de Tratamiento respectiva, o hacia algún punto de descarga determinada.

13.2. CONSIDERACIONES BÁSICAS DE PROYECTO.

13.2.1. Gastos de Bombeo.

La estación de bombeo trabajará con un gasto máximo igual al del día de máximo consumo y se deberán considerar capacidades de bombas para los gastos mínimo y menores que el máximo, mientras que se llega al periodo de diseño. El periodo de diseño para las estructuras civiles deberá ser el máximo posible dentro de las limitaciones de financiamiento eligiéndose un mínimo de 20 años. En cambio los equipos de bombeo pueden ir aumentándose a medida que lo requieran las necesidades.

13.2.2. Cargas de Bombeo.

Deberá obtenerse y analizarse la información relacionada con la Carga Dinámica Total (CDT): alturas de succión y descarga y alturas totales, estáticas y dinámicas, que se tendrán bajo las diferentes condiciones de bombeo.

13.2.3. Requisitos de Potencia (teórica).

Los requisitos de potencia son el producto de los gastos y altura de bombeo, considerando la eficiencia de los equipos. La fórmula principal para estimar la potencia teórica necesaria para los motores, es la siguiente:

$$Pot (HP) = QH / K\eta$$

Donde:

HP = Potencia necesaria (en caballos).

Q = Gasto, en litros por segundo, o galones por minuto.

H = Carga dinámica total, en metros columna de agua (mca) o en pies.

K = Coeficiente de conversión: 76 para Sistema Métrico, 3960 para Sistema Inglés.

η = Eficiencia del equipo de bombeo:

Bombas chicas ¾" a 2" de succión	=	30 – 50%.
Bombas medianas 2" a 6" de succión	=	50 – 75%.
Bombas grandes 6" o mayores	=	75 – 80%..

13.2.4. Localización.

Para la ubicación de esta estructura hidráulica, deberá considerarse lo siguiente :

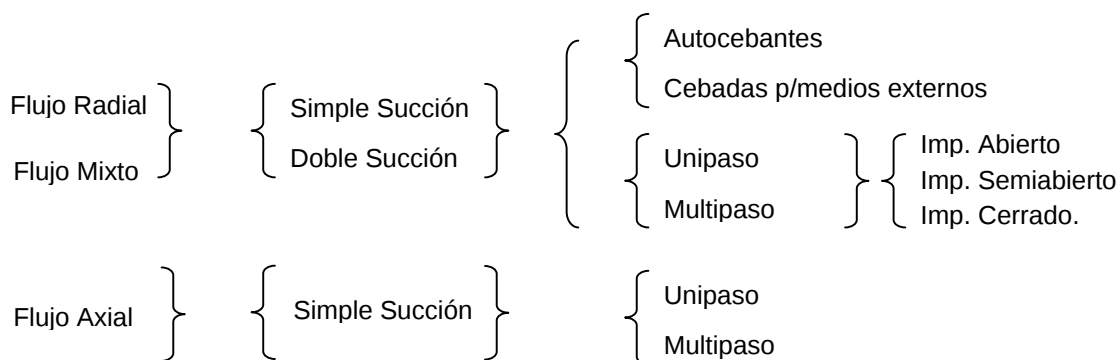
- Topografía.
- Geotecnia (mecánica de suelos).
- Comunicaciones y accesos.
- Alimentación eléctrica, en baja y alta tensión.
- Terreno disponible.

13.2.5. Tipo de Energía a Utilizar en el Bombeo.

Si se selecciona energía eléctrica, deberá conocerse : el ciclaje, fases, voltaje, limitaciones de carga, demanda máxima permisible y demandas ordinarias, factor de potencia y costos entre otras variables.

13.2.6. Tipo y Números de Bombas.

Los diferentes tipos de bombas que existen en la industria, son de características tan variadas que rebasan, con mucho, los alcances del presente documento, por lo que a continuación se presenta su clasificación, considerando únicamente las de mayor utilización, en los sectores de agua potable, aguas negras y pluviales que son de tipo centrífuga.



Clasificación de las bombas por el tipo de succión.

Las Bombas, de acuerdo con su tipo de succión, se pueden clasificar en :

Simple Succión.

Doble Succión.

Clasificación de las bombas por su dirección de flujo.

Bombas de Flujo Radial.

Bombas de Flujo Axial.

Bombas de Flujo Mixto.

Clasificación de las bombas por la posición de su flecha.

Bombas horizontales.

Bombas verticales.

Bombas con motor sumergido.

Para la selección de cada tipo de bomba, deberán tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Succión
- Numero de pasos.
- Tipo de impulsores.
- Curvas características.
- Velocidad.
- Sumergencia, carga neta positiva de succión (NPSH), y Estudio de cavitacion si fuera necesario.

El número de bombas a instalar dependerá del gasto, sus variaciones y seguridad del sistema, con un mínimo de dos bombas para el 100% del gasto de proyecto cada una. Inclusive en sistemas de abastecimiento para grandes poblaciones se aconseja tener un equipo de bombeo para manejar el 200% del gasto de diseño de la estación. Este

valor puede reducirse pero en general es conveniente un valor mínimo de 150%, con tres bombas, cada una para el 50% del gasto de diseño.

13.2.7. Características del Cárcamo de Bombeo.

Pueden ser de una sola cámara o de dos; alturas de succión; accesos.

SUCCIÓN MÁXIMA A DIFERENTES ALTITUDES			
Altura sobre el nivel del mar	Presión barométrica, Kg/cm ²	Altura equivalente m de agua	Succión máxima disponible de las bombas m.
0	1.033	10.33	7.60
400	0.966	9.86	7.30
800	0.938	9.38	7.00
1200	0.890	8.90	6.40
1600	0.845	8.45	6.10
2000	0.804	8.04	5.80
2400	0.765	7.65	5.50
3200	0.695	6.95	5.20

13.2.8. Diseño de los Cárcamos.

Se deberán considerar: Capacidad, dimensiones, controles, acceso, limpieza, drenaje, demasías, iluminación y ventilación.

13.2.9. Motores Eléctricos.

Considerar: Tipo, velocidad, voltaje potencia y sobrecarga, reguladores de velocidad, corriente de arranque y operación, eficiencias con carga y sin carga.

13.2.10. Subestación Eléctrica.

Considerar: Tipo, capacidad, dimensiones, tableros y contactos.

13.2.11. Tuberías, Válvulas y Accesorios.

Consideración general a la economía. Accesibilidad para reparaciones y operación. Pendientes, apoyos, atraques, desfuegos, amortiguadores de golpe de ariete, protección contra corrosión y cargas externas. Operación de las válvulas.

13.2.12. Edificios Complementarios.

Servicios, talleres, almacén, vigilancia.

13.2.13. Automatización.

Control de niveles, máximo y mínimo, influente, medición, etc. (ver cap. 11).

13.3. CLASIFICACION Y TIPOS DE ESTACIONES DE BOMBEO.

13.3.1. Clasificación.

Se acostumbra clasificar las estaciones de bombeo en **primarias y secundarias**.

Las estaciones primarias toman el agua de alguna fuente de abastecimiento o de algún cárcamo, y la elevan a otro almacenamiento, al tratamiento, a la red directamente o a una combinación de ellas.

Las estaciones secundarias mejoran las condiciones de una primaria incrementando presión o gasto, pero con la alimentación de una estación primaria.

13.3.2. Tipos Básicos.

Las **estaciones primarias** pueden construirse básicamente de dos tipos :

- a) Estaciones de dos cámaras, y
- b) Estaciones de una cámara.

a) **Estaciones de dos cámaras.** Se consideran dos cámaras o cárcamos. En uno se tendrá la entrada del agua y un deposito que sirva para conectar la succión; en el otro, que se denomina **cámara seca**, se colocan los equipos de bombeo. La primera cámara puede no existir como tal, sino que puede ser simplemente una fuente natural.

b) **Estaciones de una cámara.** Generalmente se usan para bombas de eje vertical o sumergibles y consisten de una sola cámara donde se tiene la entrada del agua, el almacenamiento necesario y los equipos de bombeo, antes mencionados.

13.4. Dimensiones de las Cámaras Secas.

Las **cámaras secas** se dimensionaran de acuerdo con el numero y dimensión de las unidades de bombeo a instalarse. Sin embargo, deberá considerarse el espacio para lo siguiente :

1. Válvulas y accesorios.
2. Controles eléctricos.
3. Amortiguadores de golpe de ariete.
4. Apoyos y atraques.
5. El múltiple a construirse adentro o fuera del cárcamo.

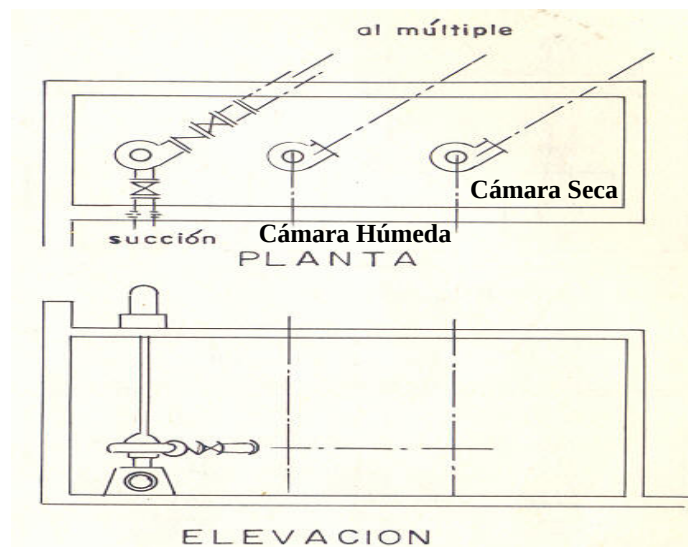


Figura 13.1. Estación de bombeo con bombas verticales en dos cámaras.

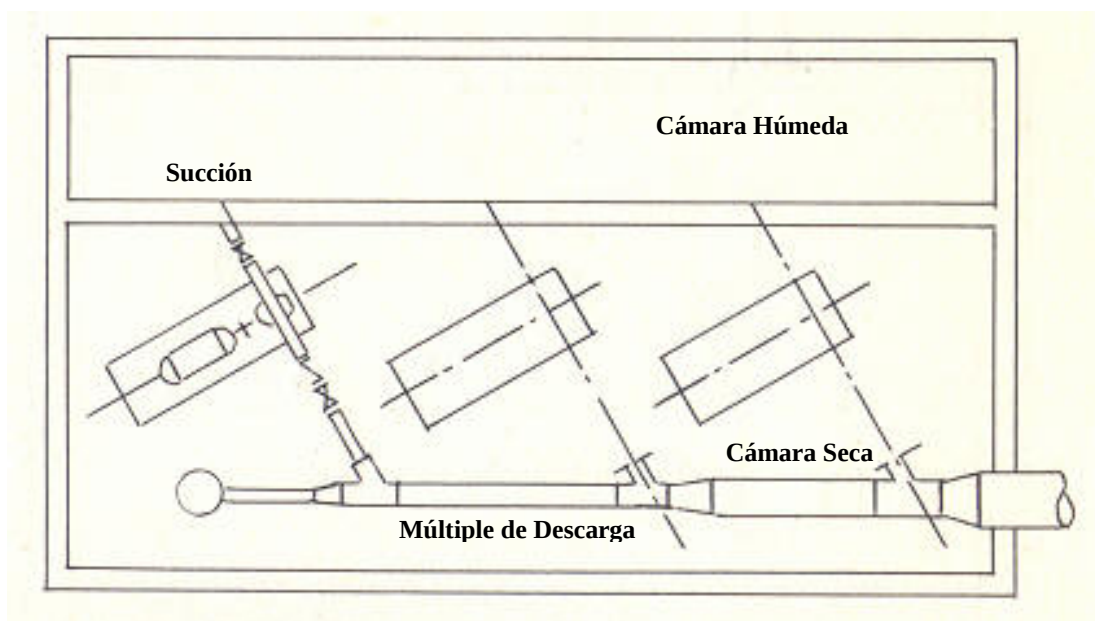
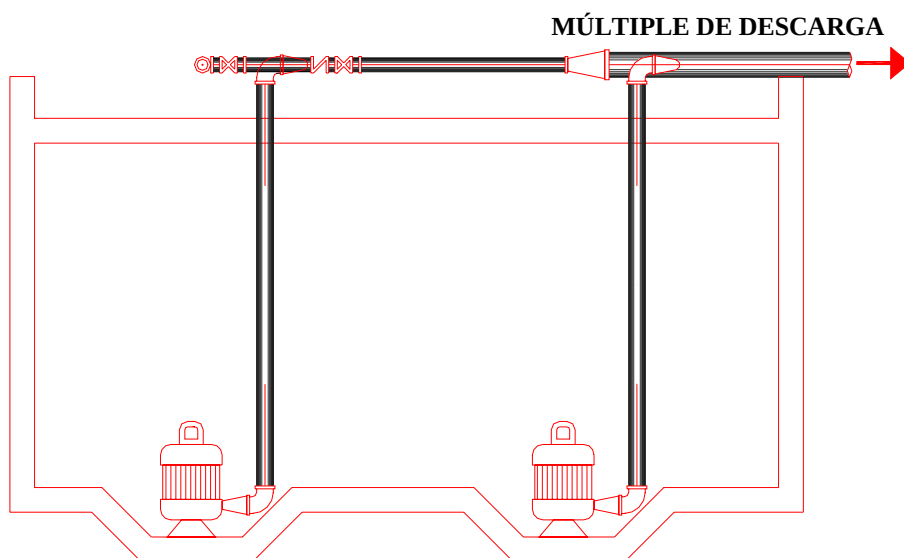


FIG. 13.2 Estación de Bombeo con bombas horizontales en dos cámaras (generalmente con cargas de succión).



Las unidades se colocaran de modo que ocupen el mínimo espacio y debe considerarse la circulación entre unidades y el tamaño de las bases.

Las **cámaras de succión (pozo húmedo)** en estaciones de dos cámaras se dimensionaran según se tenga una instalación con carga de succión o altura de succión.

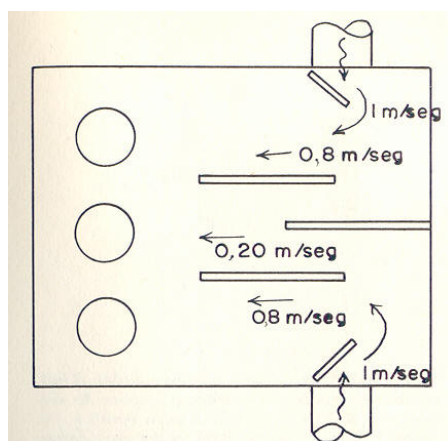
Con Carga de Succión:

- a) Se debe considerar una altura mínima del agua de 1m sobre el eje de las bombas para asegurar que siempre estarán cebadas. En caso de bombas muy grandes, debe considerarse un mínimo de 0.50m por sobre la parte mas alta de la carcasa de la bomba.
- b) La longitud será la misma que la de la cámara seca.
- c) Podrán quedar ambas cámaras adosadas con un muro común o separadas, dependiendo esto primordialmente del comportamiento del suelo.
- d) El ancho será el mismo para asegurar un volumen que permita absorber fluctuaciones entre entradas y salidas del tal manera que las bombas no paren y arranquen con frecuencia. Un mínimo de 15 minutos puede considerarse aceptable aun cuando deberá tenderse a valores mayores.

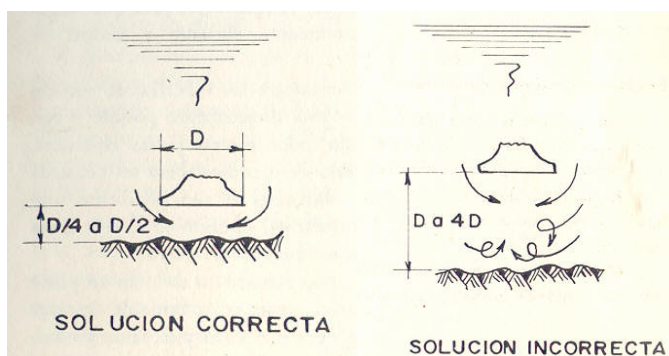
Con Altura de Succión :

- a) El nivel mínimo del agua en la cámara de succión se considerara en atención a :
 - I. La carga neta positiva de succión para evitar cavitacion, vibraciones y reducción en la capacidad y eficiencia.
 - II. La altura mínima sobre la boca de succión para evitar la entrada del aire (valor común : mas de 0.50m dependiendo del diámetro de la boca).
- b) La longitud y el ancho se consideraran igualmente que en el caso anterior.
- c) Las cámaras para bombas de eje vertical se dimensionarán de acuerdo con : las dimensiones de lo equipos; el volumen de compensación, y la altura mínima del agua para tener la sumergencia adecuada (*dato del fabricante*).

La distancia entre el fondo del cárcamo y la campana de succión deberá ser como se indica en la fig.13.5.



**FIG. 13.4 LAS MAMPARAS
AYUDAN A DISMINUIR LA TURBULENCIA**



**FIG. 13.5. DISTANCIA DEL FONDO DEL
CARCAMO A LA CAMPANA DE SUCCIÓN.**

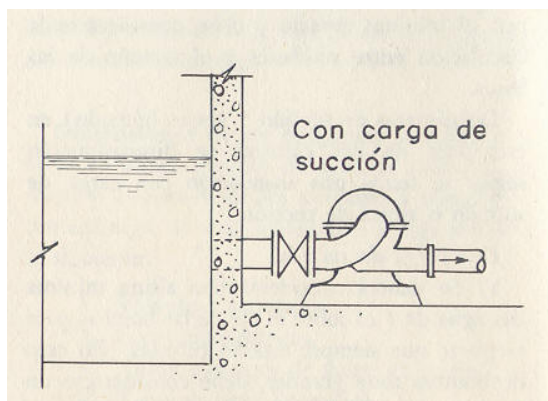


FIG. 13.6. CÁMARA CON CARGA DE SUCCIÓN.

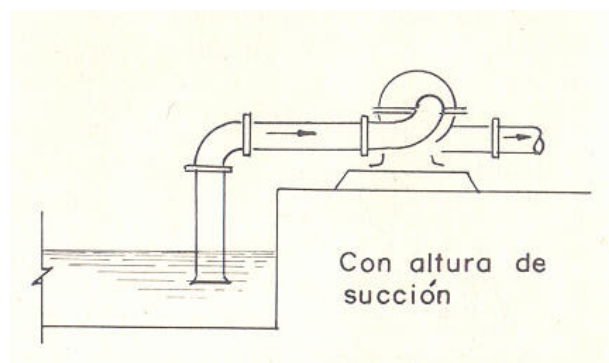


FIG. 13.7. CÁMARA CON ALTURA DE SUCCIÓN.

13.5. Planteamiento de la Instalación.

El fabricante del equipo de bombeo deberá proporcionar todos los datos necesarios para poder plantear correctamente la instalación. Sin embargo, pueden hacerse anteproyectos de la estación utilizando catálogos o usando los datos de una bomba semejante a la que se pretenda instalar.

Una vez conocidas las características del equipo que se adquirirá, pueden hacerse los ajustes necesarios.

Una instalación puede estar incorrecta cuando afecta:

- I. El consumo de potencia debido a pérdidas por fricción, alta carga de velocidad y otras pérdidas, sin afectar directamente la eficiencia de la bomba.
- II. La eficiencia de la bomba debido a pérdidas hidráulicas, turbulencia, vórtices y/o entrada de aire en la succión.

13.6. Dimensionamiento de la Cámara Húmeda.

El dimensionamiento de un cárcamo depende del tipo de que se trate. En un **cárcamo de flujo constante** no es importante el volumen del mismo, aunque se deben guardar ciertas dimensiones geométricas (que son las que definen su volumen), ya que las cámaras no retienen ni regulan el gasto, puesto que el agua que entra es evacuada por las bombas inmediatamente. En un **cárcamo de tipo intermitente** es muy importante el volumen que se retiene en la o cámaras de bombeo. Sin embargo, el dimensionamiento geométrico para un gasto normal de operación es el mismo para ambos tipos.

En el caso de las aguas negras, la retención de éstas en un cárcamo por un tiempo mayor de un cierto límite, generalmente produce condiciones sépticas que ocasionan olores desagradables. Este es un problema especialmente en climas cálidos. Se ha sugerido en tiempo máximo de retención de 30 minutos.

Por otro lado, es conveniente diseñar un cárcamo cuyo volumen sea el mínimo posible, pero compatible con las condiciones adecuadas de operación.

Esto plantea la necesidad de establecer una relación conveniente entre dicho volumen, los caudales, el requisito de tiempo de retención, las características del equipo de bombeo y el programa de operación (tiempos de arranque y parada) de dicho equipo.

La duración mínima de un ciclo de bombeo se presenta cuando el caudal de entrada es exactamente igual a la mitad de la capacidad de la bomba; en estas condiciones la duración del tiempo en que está encendida la bomba es igual al tiempo en que permanece apagada. Si el caudal es mayor la bomba permanecerá encendida por más tiempo y viceversa; en ambos casos, la duración del ciclo es mayor que el mínimo.

Para bombas y motores grandes, T (duración mínima de un ciclo de bombeo en minutos) no debe ser menor que 20 minutos. Para bombas menores, T puede ser reducido a 10 minutos, aunque lo recomendable es 15 minutos. Si esto conduce a un volumen excesivo de una estación de bombeo pequeña que tiene dos bombas idénticas, una de las cuales es de reserva, se puede reducir a la mitad el volumen del cárcamo operando las bombas en forma alternada, ya que esto ocasiona que el valor de T para el cárcamo sea la mitad del valor efectivo de T para el equipo.

En lo que se refiere a la capacidad de los equipos de bombeo, es conveniente asignar 2 equipos para cada capacidad (las bombas menores, serían destinadas a los caudales cercanos al mínimo) y operarlos alternadamente.

La determinación del volumen del cárcamo se hace en función de los tiempos de duración del ciclo de operación y de las capacidades de los equipos de bombeo.

13.7. Alternativas para calcular el volumen del cárcamo.

Análisis del diseño de un sistema de bombeo, que trabaja parando, la ó las bomba(s) a nivel mínimo y arrancando cuando el agua alcanza el nivel máximo. Los valores límites que deben observarse son:

Variable	Valor Límite	Observaciones
tp (min). Tiempo de paro en flujo mínimo	30 minutos	Se requiere evitar sedimentación excesiva y septicidad.
Tf (min). Tiempo de funcionamiento en flujo mínimo.	3 a 5 minutos	
K Número de ciclos por hora en flujo máximo	12 ciclos/hr	Se requiere evitar un número excesivo de arranques al motor.

13.8. Recomendaciones para una correcta instalación del equipo.

El fabricante deberá proporcionar todos los datos necesarios para poder planear correctamente la instalación. Sin embargo, pueden hacerse anteproyectos de la estación utilizando catálogos o usando los datos de una bomba semejante a la que se pretenda instalar. Una vez conocidas las características del equipo que se adquirirá. Pueden hacerse los ajustes necesarios.

Es común que se de mayor importancia a la elección de la bomba y equipos de cebado sin consideración debida a la importancia de las tuberías y accesorios, lo que puede afectar la eficiencia de la estación. Por consiguiente, deberá tomarse en cuenta lo mostrado en el siguiente dibujo y lo descrito en el inciso 3.9.

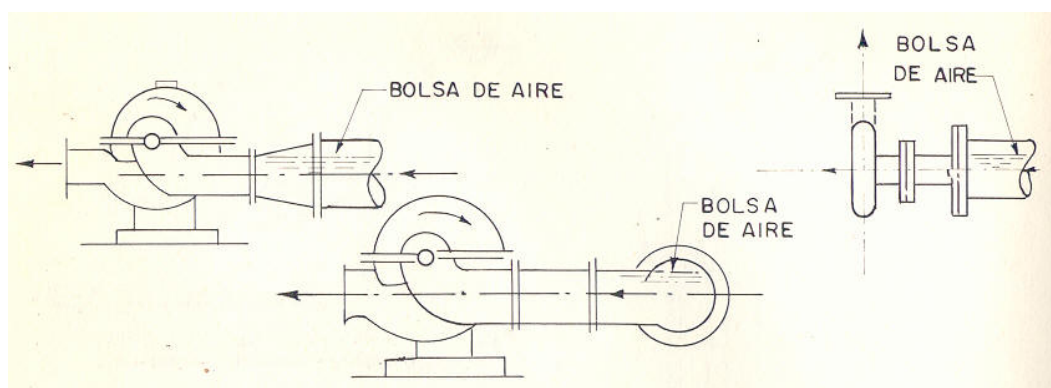


Figura 13.8. Instalación incorrecta de Tuberías.

13.8.1. Reglas generales a considerar.

1. Nunca deberán usarse tuberías de diámetro menor que los diámetros de succión y descarga de la bomba, de preferencia mayores.
2. El diámetro de la tubería de succión será igual o mayor que el diámetro de la tubería de descarga.
3. Úsense reducciones excéntricas en la succión para evitar la formación de bolsas de aire. Las figuras 13.8 y 13.9 ilustran la instalación incorrecta y correcta, respectivamente.
4. Los aumentos y reducciones en la descarga y succión deberán graduales para que aseguren un escurrimiento eficiente y ahorro de energía.
5. Deben instalarse las tuberías de succión y descarga lo más directamente posible y con un mínimo de codos y otras piezas especiales.
6. La tubería de succión deberá ser colocada exactamente horizontal o con pendiente uniforme hacia arriba del cárcamo de succión hacia la bomba.
7. Nunca debe ponerse un codo en un plano horizontal directamente en la brida de descarga de la bomba. Entre el codo y la brida de succión úsese un tramo recto de por lo menos 4 a 6 veces el diámetro del tubo. Las figuras 13.10 13.11 muestran instalaciones incorrecta y correcta, respectivamente. Un codo en las circunstancias desfavorables señaladas causa empuje desigual y pérdidas hidráulicas. Esto se debe a un mejor llenado de un lado de la cámara de succión y ojo del impulsor que en el otro.
8. Siempre que sea posible, la reducción en la succión y el aumento en la descarga deberán instalarse directamente a las bridas de la bomba. Esto producirá las pérdidas hidráulicas que puedan afectar la eficiencia de la bomba. Esto producirá mejor conversión de la velocidad y reducirá las pérdidas hidráulicas que puedan causar válvulas o codos conectados directamente y que puedan afectar la eficiencia de la bomba.
9. Selecciónense tuberías, válvulas y piezas especiales de un tamaño tal que resulte económica la instalación.
En general, se puede decir que los diámetros pequeños aumentan el costo de bombeo, pero el costo inicial es menor; los diámetros grandes reducen el costo de bombeo, pero el costo inicial es grande.
10. Las instalaciones con codos verticales pueden hacerse como se indica en las figuras siguientes :

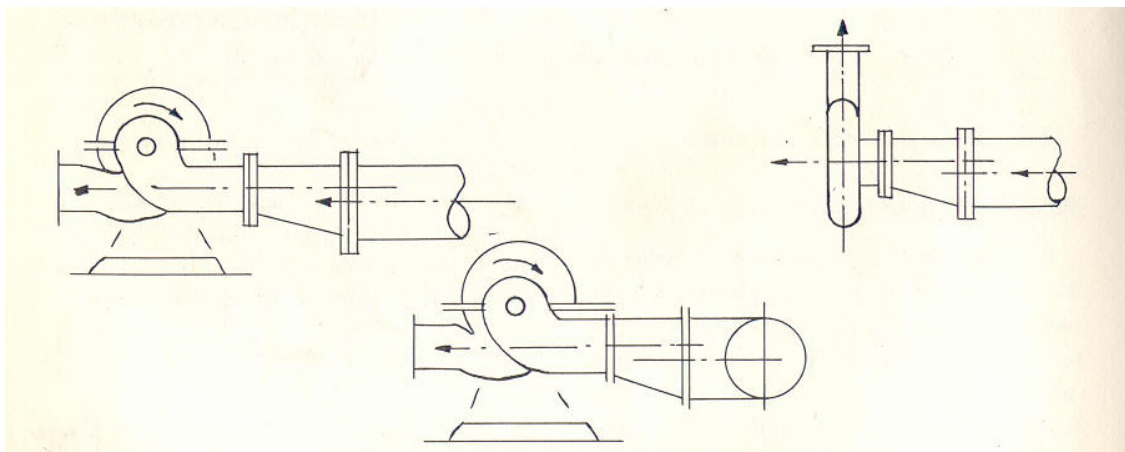


Figura 13.9. INSTALACIÓN CORRECTA DE TUBERÍAS.

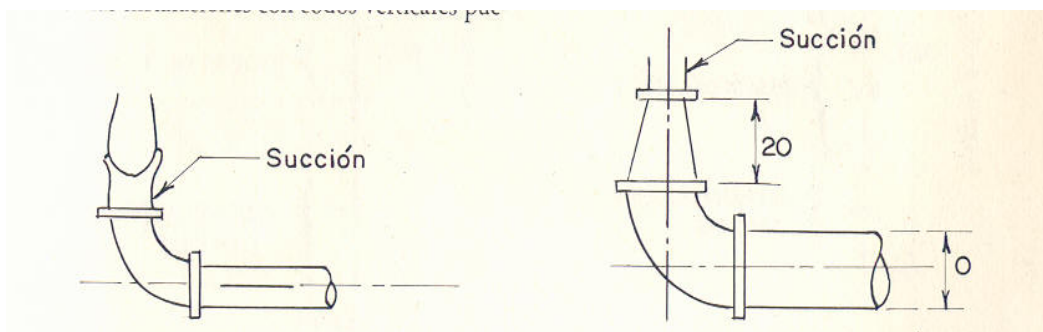


FIG. 13.10A. INSTALACIÓN INCORRECTA DE CODO EN PLANO HORIZONTAL.

FIG. 13.11A. INSTALACIÓN CORRECTA DE CODO EN PLANO HORIZONTAL.

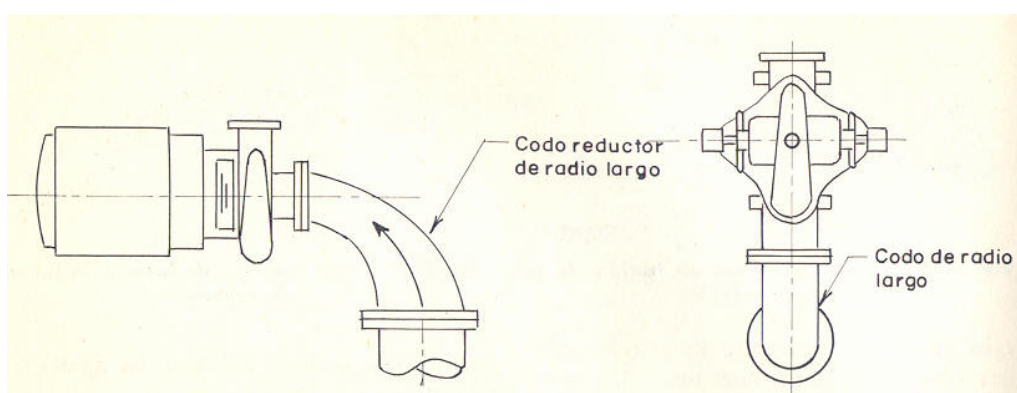


FIG. 13.10A. INSTALACIÓN RECOMENDADA DE CODO VERTICAL.

FIG. 13.11A. INSTALACIÓN NO RECOMENDADA PERO PERMISIBLE DE CODO VERTICAL.

13.8.2. Requisitos en la succión.

1. Asegúrese que la presión absoluta sea mayor que la presión de vapor de agua.
2. Siempre que sea posible evítense las instalaciones con altura de succión. Cuando se tenga que hacer así, se deberá hacer el estudio de la altura de succión permisible.

13.8.3. Requisitos en la descarga.

1. Deberá instalarse una válvula de seccionamiento y una de retención junto a la bomba. Colóquense la válvula de retención entre la bomba y la válvula de seccionamiento y después del aumento. La válvula de retención protegerá la bomba contra sobrepresiones durante un golpe de ariete si se usa válvula de pie, y contra rotación contraria si no se usa válvula de pie.
2. La válvula de seccionamiento puede usarse para controlar el gasto de la bomba.
3. Los aumentos en la descarga son concéntricos.
4. Las conexiones al múltiple de descarga deberán ser similares a las que se recomiendan en el inciso anterior, considerándose obviamente el escurrimiento en sentido contrario.
5. En muchas ocasiones es necesario mantener el nivel en el cárcamo de succión. Si las salidas son mayores que las entradas podrán tenerse arranques y paradas frecuentes. Esto podría eliminarse con el uso de una derivación o paso lateral, conectando el múltiple de descarga con el cárcamo de succión intercalando una válvula de seccionamiento.

13.8.4. Materiales.

1. En general, las válvulas son de hierro fundido y requieren conexión con bridas.
2. Las piezas especiales pueden ser de acero, hierro fundido o hierro negro.
3. En general, se recomienda que los múltiples sean de acero con piezas soldadas. Los múltiples de hierro fundido usados con conexiones con bridas pueden requerir la función de muchas piezas que no sean de fabricación estándar.
4. Las líneas de succión y descarga pueden ser de acero, hierro fundido y hierro negro.

13.8.5. Accesorios.

1. Juntas flexibles. En general, se usan juntas Gibault para conectar tuberías de hierro fundido y asbesto-cemento y juntas Dresser para tuberías de acero.
2. Atraques. Las tuberías deberán atracarse perfectamente y se deberá hacer el cálculo de la fuerza que actuará en ellas para lograr un diseño adecuado.
3. Provéanse las conexiones para el dispositivo amortiguador del golpe de ariete.
4. En las líneas de descarga habrá que colocar válvulas de entrada y alivio de aire en las crestas para evitar vacíos por rotura de la columna de agua y para eliminar aire acumulado.

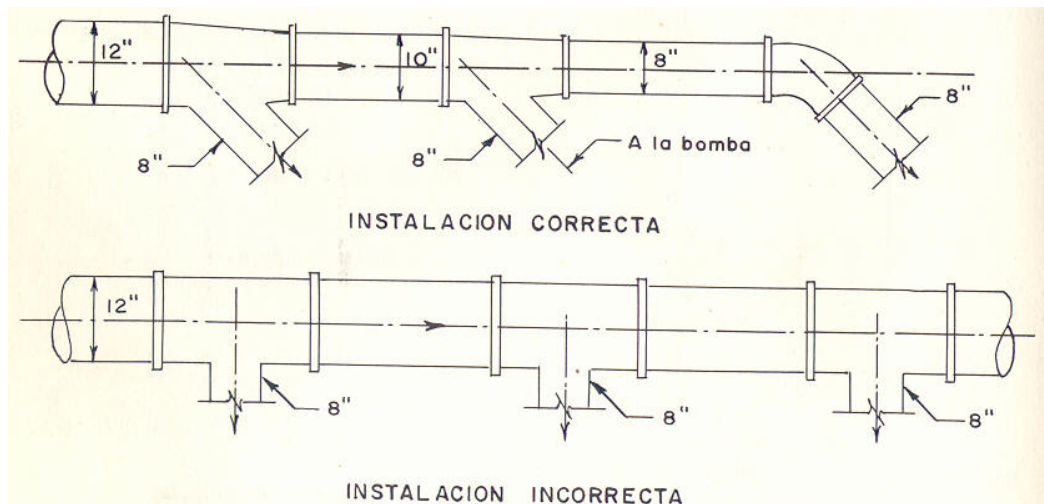


Figura 13.12. INSTALACIÓN DE DESCARGA MEDIANTE MÚLTIPLE.

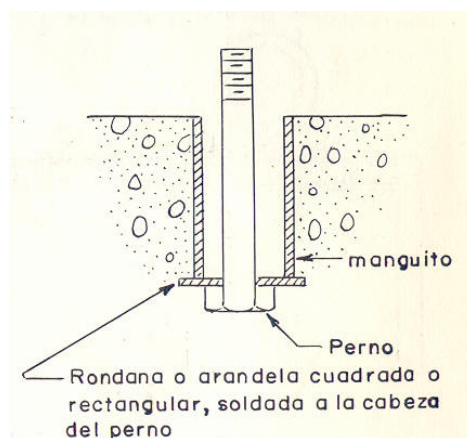


Figura 13.13. MÉTODO RECOMENDADO PARA LA FIJACIÓN DE PERNOS DE ANCLAJE.

13.8.6. Consideraciones adicionales.

- Las bombas en instalaciones interiores se colocarán en lugares limpios, secos e iluminados.
- En instalaciones exteriores, lo importante es la elección apropiada del motor (a prueba de goteo, a prueba de polvo o ambas).
- Se proporcionará suficiente espacio para que, en un caso dado, se pueda desarmar la bomba.
- Para bombas grandes con carcasas y rotores pesados deberá preverse una grúa viajera o facilidades para colocar un polipasto.
- En estaciones interiores conviene tener un buen sistema de drenaje o un sumidero con bomba de achique.
- Las bases para apoyar bombas centrífugas operadas con motores eléctricos no requieren un análisis dinámico como sería el caso de apoyar bombas recíprocas, o bombas centrífugas operadas con motores de combustión.
- Para el caso más común, como bombas con motores eléctricos, las bases son cualquier estructura suficientemente pesada para proporcionar un soporte rígido al área total de la placa de apoyo y absorber cualquier esfuerzo y vibración normales.
- Las bases de concreto semienterradas son las más satisfactorias. Las dimensiones dependerán del tamaño del equipo y de las características del suelo.
- El fabricante proporcionará los dibujos necesarios para la localización de los pernos de anclaje.

13.8.7. Protección sanitaria de la calidad del agua.

Cuando se usa una estación de dos cámaras, deberán tomarse las precauciones necesarias para que la cámara de succión sea perfectamente impermeable y esté protegida contra: a) inundaciones; b) posible contacto del agua con objetos, personas o animales, y c) entrada del agua pluvial. Para ello, los registros y ventilas deberán diseñarse adecuadamente; asimismo, se tomarán las precauciones debidas a fin de que el sitio de localización tenga un drenaje adecuado.

13.8.8. Edificios.

La arquitectura y el acceso de una estación de bombeo deben ser atractivos y la operación no debe causar molestias a la vecindad. Deberá tenderse siempre hacia la construcción de estaciones estéticas, interior y exteriormente, con acceso libre al público.

Los materiales de muros, pisos, etc., deberán requerir poco mantenimiento (vitricotas, losetas de granito o vinílicas, etc.).

La ventilación e iluminación, tanto natural como artificial, son especialmente importantes. Deberá pensarse en posibles modificaciones y expansiones.

Las estaciones situadas en áreas residenciales deberán, de preferencia, ser subterráneas y muy silenciosas. Si no es posible, la arquitectura deberá armonizar con la zona circundante.

El problema puede también resolverse con el uso de bombas sumergibles.

Otros factores que influyen en el diseño son:

- a) Existencia de taller, almacén, oficinas, baños, etc.
- b) La localización interior o exterior de la subestación.
- c) La localización de los tableros de control.

- d) Las facilidades para mover los equipos.
- e) La adecuada localización de los drenajes para evitar la contaminación del agua.

Ejemplo de cálculo:

$$Q_{\max} \text{ (aguas negras)} = 60 \text{ lps}$$

$$Q_{\min} \text{ (aguas negras)} = 15 \text{ lps}$$

Se asume:

$$T_f = 5 \text{ min}$$

$$\text{Caudal de bombeo} = Q_B = m Q_{\max} : m > 1 ; m = \frac{Q_{\max} + Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

$$Q_B = 1.25 (60 \text{ lps})$$

$$Q_B = 75 \text{ lps}$$

Se procede a calcular las otras variables del problema:

$$Q_{\min} = \eta Q_{\max} ; \eta < 1$$

$$\eta = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

$$\eta = \frac{15 \text{ lps}}{60 \text{ lps}}$$

$$\eta = 0.25$$

$$tF(\text{min}) = \frac{tP(\text{min})\eta}{m - \eta}$$

$$5 \text{ minutos} = \frac{tP(\text{min})0.25}{1.25 - 0.25} \text{ de donde:}$$

$$tP(\text{min}) = \frac{tF(\text{min})/\eta}{m - \eta}$$

$$tP(\text{min}) = \frac{5 \text{ min}/0.25}{1.25 - 0.25} = \frac{20 \text{ min}}{1} = 20 \text{ min}$$

Vol = Volumen del cárcamo

$$\text{Vol} = tP(\text{min}) * Q_{\min}$$

$$\text{Vol} = 20 \text{ min} * 15 \text{ lps} * 60 \text{ seg}$$

$$\text{Vol} = 20 \text{ minutos} * 900 \text{ LPM}$$

$$\text{Vol} = 18,000 \text{ litros}$$

$$\text{Vol} = 18 \text{ m}^3$$

$t_c (\text{min})$ = Tiempo del ciclo en flujo mínimo

$$t_c (\text{min}) = tF (\text{min}) + tP (\text{min})$$

$$t_c (\text{min}) = 5 \text{ minutos} + 20 \text{ minutos}$$

$$t_c (\text{min}) = 25 \text{ minutos}$$

$$\text{Número de ciclos en flujo mínimo} = 60 \text{ minutos} / 25 \text{ minutos} = 2.4 \text{ ciclos/hora}$$

$$tP (\text{max}) = \text{Tiempo de paro en flujo máximo}$$

$$tP (\text{max}) = tP (\text{min}) * \eta$$

$$tP (\text{max}) = 20 \text{ minutos} (0.25)$$

$$tP (\text{max}) = 5 \text{ min}$$

$$tF (\text{max}) = \text{tiempo de funcionamiento en flujo máximo}$$

$$tF (\text{max}) = tP (\text{max}) / m - 1$$

$$tF (\text{max}) = 5 \text{ minutos} / 1.25 - 1$$

$$tF (\text{max}) = 20 \text{ minutos}$$

$$K = \text{No. ciclos} / \text{Hora en flujo máximo}$$

$$K = \frac{60(m-1)}{mtP(\text{max})}$$

$$K = \frac{60(1.25-1)}{1.25(5 \text{ min})}$$

$$K = \frac{15}{6.25}$$

$$K = 2.4 \text{ ciclos/hora}$$

$$V = tP(\text{max}) Q_{\text{max}}$$

$$V = 5 \text{ minutos} (60 \text{ lps} * 60 \text{ seg})$$

$$V = 5 \text{ minutos} (3,600 \text{ LPM})$$

$$V = 18,000 \text{ lts.}$$

$$V = 18 \text{ m}^3.$$

NOTA: En general el número de ciclos en flujo máximo es mayor que el número de ciclos en flujo mínimo; los valores numéricos asumidos de las variables produjeron resultados iguales en este ejemplo y siempre que se cumpla la relación:

$$\eta = \frac{m-1}{(m-\eta)}$$

13.7.2. Alternativa No.2.: Para un ciclo mayor a 10 minutos que es lo que recomiendan los fabricantes de bombas.

$$Q_{\text{max}} = 60 \text{ lps}$$

$$Q_{\text{min}} = 15 \text{ lps}$$

De la fórmula:

$$Vol_{\text{teórico}} = \frac{600}{\frac{1}{Q_{\text{max}}} + \frac{1}{Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}}$$

$$Vol_{\text{teórico}} = \frac{600}{\frac{1}{0.06} + \frac{1}{0.06 - 0.015}}$$

$$Vol_{teórico} = \frac{600}{16.66 + 22.22}$$

$$Vol_{teórico} = \frac{600}{38.88}$$

$$Vol_{teórico} = 15.43 \text{ m}^3$$

De la fórmula:

$$Vol_{real} = (Q_{\max} \text{ previsto} - Q_{\max}) 600$$

$$Vol_{real} = ((0.06 * 1.5) - 0.06) 600$$

$$Vol_{real} = (0.03) 600$$

$$Vol_{real} = 18 \text{ m}^3.$$

$$\text{Tiempo llenado } Q_{\min} = \frac{Vol}{Q_{\min}}$$

$$\text{Tiempo llenado } Q_{\min} = \frac{18 \text{ m}^3}{0.015 \text{ m}^3 / \text{seg}}$$

$$\text{Tiempo llenado } Q_{\min} = 1,200 \text{ seg} / 60 = 20 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo llenado } Q_{\max} = \frac{Vol}{Q_{\max}}$$

$$\text{Tiempo llenado } Q_{\max} = \frac{18 \text{ m}^3}{0.060 \text{ m}^3 / \text{seg}}$$

$$\text{Tiempo llenado } Q_{\max} = 300 \text{ seg} / 60 = 5 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de Vaciado} = \frac{Vol}{Q_{\max} - Q_{\min}}$$

$$\text{Tiempo de Vaciado} = \frac{18 \text{ m}^3}{0.060 \text{ m}^3 / \text{seg} - 0.015 \text{ m}^3 / \text{seg}}$$

$$\text{Tiempo de Vaciado} = \frac{18 \text{ m}^3}{0.045 \text{ m}^3 / \text{seg}} = 400 \text{ seg}$$

$$\text{Tiempo de Vaciado o gasto mínimo} = 6.66 \text{ minutos}$$

$$\text{Ciclo} = \text{Tiempo llenado} + \text{Tiempo vaciado}$$

$$\text{Ciclo} = 30 \text{ minutos} + 6.66 \text{ minutos} = 26.66 \text{ minutos}$$

$$\text{Ciclos / Hora} = 60 \text{ minutos} / 26.66 \text{ minutos} = 2.25 \text{ ciclos/hora}$$