

Capacitación para técnicos aspirantes a operadores de una refinería de petróleo

2021

Ing. Héctor A. Perez

Cómo seleccionar una Bomba Centrífuga

Consideraciones al momento de elegir una Bomba centrífuga

Bombas Centrifugas

- Esta bomba está constituida por un rotor dentro de una carcasa
- El fluido entra axialmente a través del ojo, en el eje de la carcasa, los álabes del rotor la fuerzan a tomar un movimiento tangencial y radial hacia el exterior del rotor, donde es recogido por una carcasa que hace de difusor.
- El fluido aumenta su velocidad y presión cuando pasa a través del rotor. La parte de la carcasa, de forma toroidal, o *voluta*, decelera el flujo y aumenta más la presión.

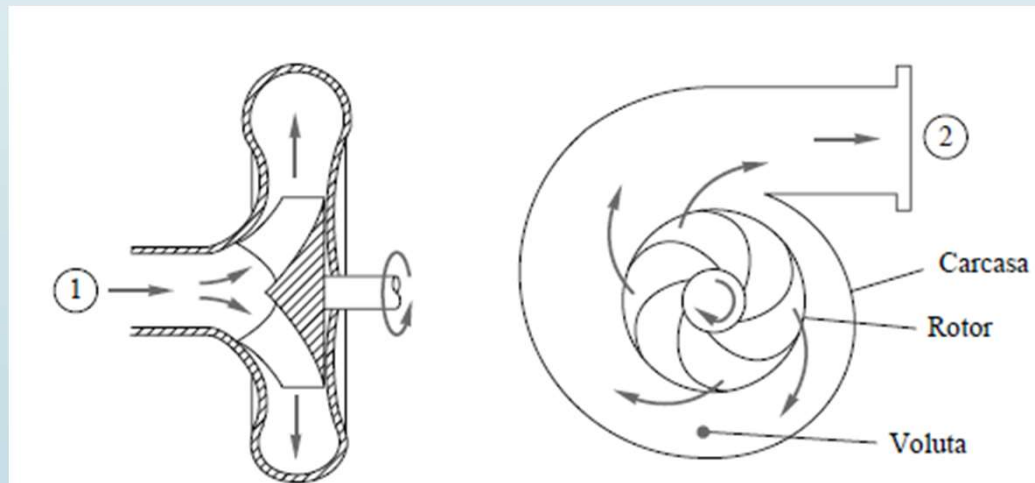


Figura 11.3. Esquema de una bomba centrífuga típica.

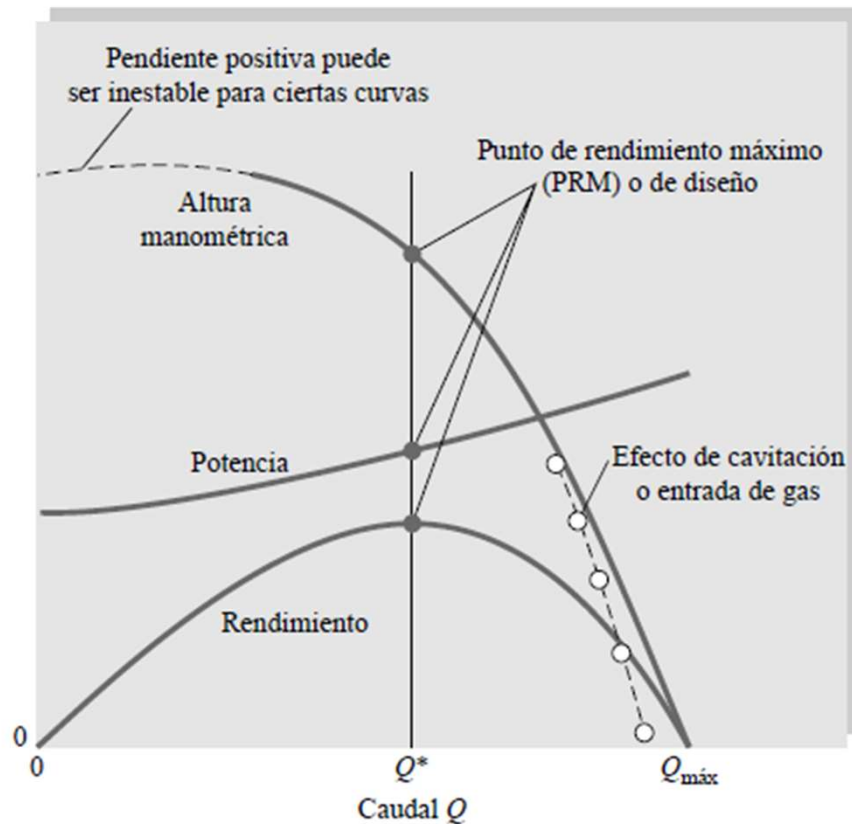


Calculo de carga, potencia y caudal

- Para *calcular* realmente la carga, potencia, rendimiento y caudal de una bomba se pueden usar dos aproximaciones teóricas diferentes:
- (1) simples fórmulas unidimensionales
- (2) complejos modelos por ordenador, que tienen en cuenta la viscosidad y tridimensionalidad del movimiento. No obstante, muchas de las mejoras en el diseño de bombas aún se deben a ensayos y a la experiencia.

Curva característica de una Bomba

- La única forma de obtener las curvas característica, es apoyarse en ensayos.
- Las curvas características se trazan casi siempre para velocidad de giro del eje n (normalmente en rpm) constante. El caudal Q (normalmente en litros por minuto para líquidos y en pies cúbicos por minuto para gases) se toma como variable independiente. Como variables dependientes, o «de salida», se consideran la altura manométrica H (En metros o Kg/cm² para líquidos ; incremento de presión Δp para gases), la potencia al freno P_f y el rendimiento η , se apoya también en los ensayos.



- H se mantiene relativamente constante a Q bajos.
- H decrece cuando Q aumenta, hasta hacerse cero en $Q = Q_{\text{máx}}$ (para un rpm y rotor dado)
- Pendiente positiva, muy inestable.
- η es nulo cuando $Q=0$ o $Q = Q_{\text{máx}}$.
- Rendimiento máximo en $0,6Q_{\text{máx}}$, considerado **caudal de diseño Q**

Qué hay que calcular?

- Conocemos condiciones de operación y fluido?
 - Densidad - temperatura
 - Viscosidad
 - Corrosivo – SS
 - Presión de vapor
- Conocemos caudal? (rangos de capacidades)
- Conocemos construcción del sistema de bombeo? (altura de aspiración y descarga – total)
- Conocemos diámetro de tubería?
- Calcular carga y curva del sistema
- Seleccionar bomba
- Verificar ANPA

Diámetro óptimo de bombeo.

- Conociendo Q y características de fluido.

$$v = Q/A$$

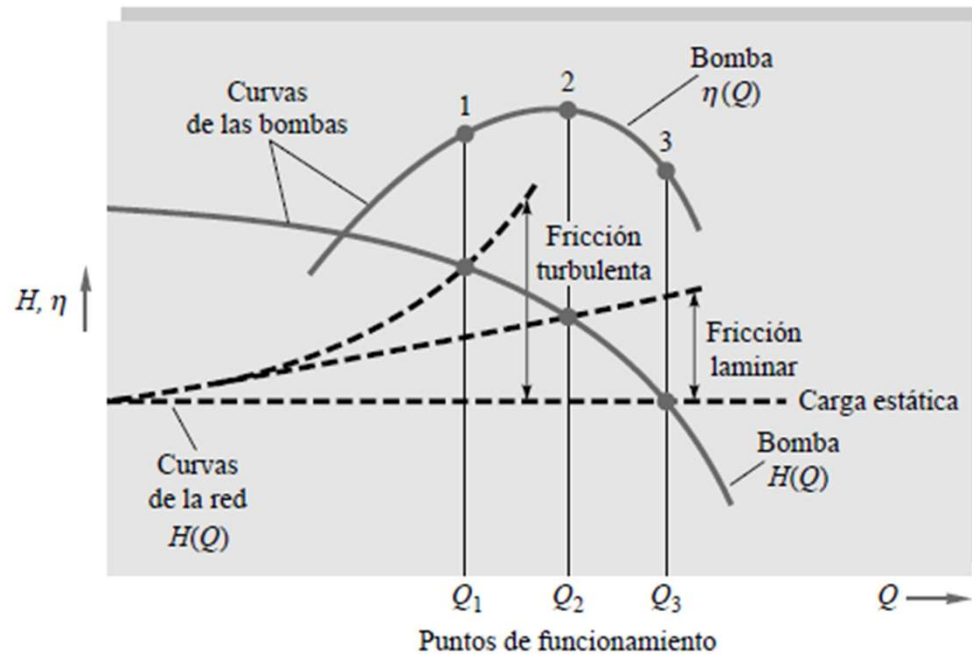
Tabla 1. Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Cálculo de carga del sistema.

$$H_{\text{sys}} = (z_2 - z_1) + \frac{V^2}{2g} \left(\sum \frac{fL}{D} + \sum K \right) \quad \text{Ecuación de Darcy-Weisbach}$$

- La carga del sistema está compuesto por la:
 - La Diferencia de alturas estática de succión y descarga.
 - Las pérdidas asociadas la fricción de la tubería
 - Más las cargas puntuales (acoplamientos, máquinas, válvulas, etc). Proporcional al cuadrado del caudal (volumen)
 - Generalmente las cargas puntuales se consideran despreciables (cuando son menores al 5%)



- En la Figura se presentan tres ejemplos: carga estática $H_s = a$, carga estática más fricción laminar $H_s = a + bQ$ y carga estática más fricción turbulenta $H_s = a + cQ^2$. La intersección de las curvas del sistema con la curva característica de la bomba $H(Q)$ determina el punto de funcionamiento

•
$$H_s = \Delta Z + \frac{v^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum k \right)$$

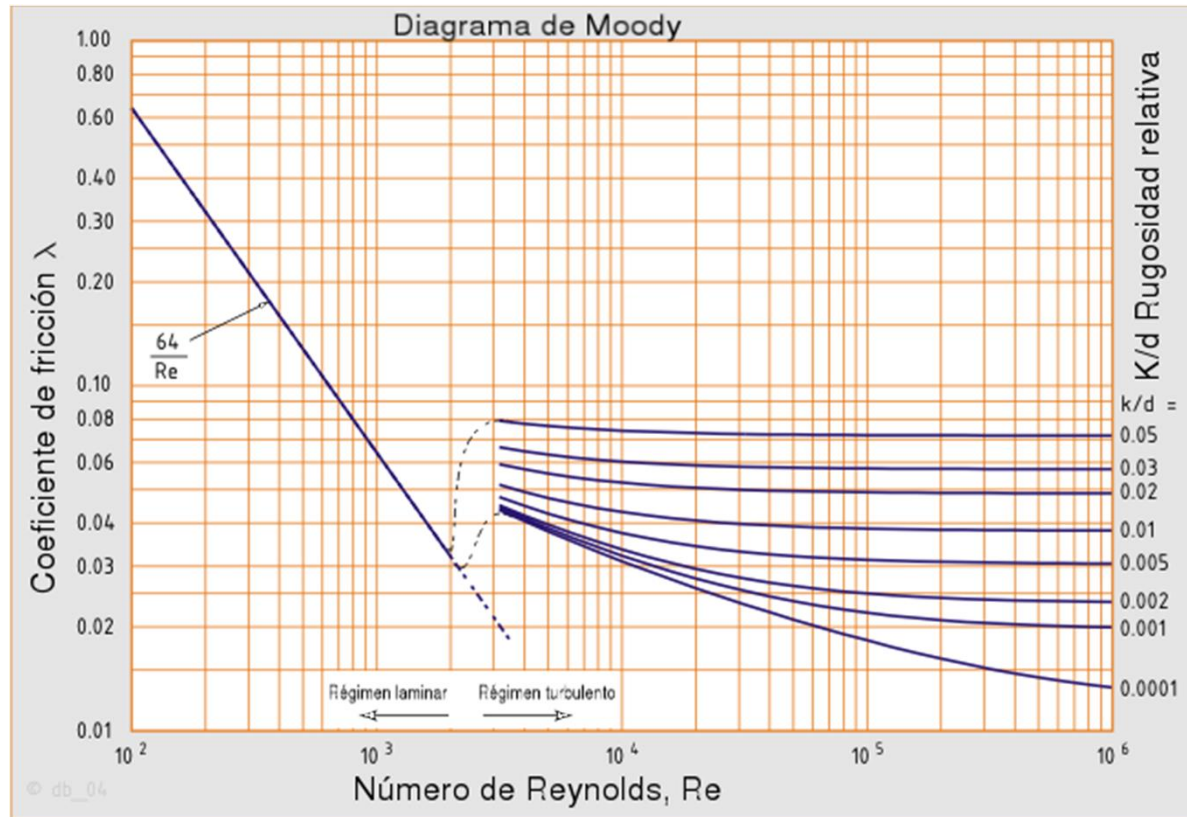
$$v = Q/A$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$H_s = \Delta Z + \frac{Q^2}{A^2 2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum k \right)$$

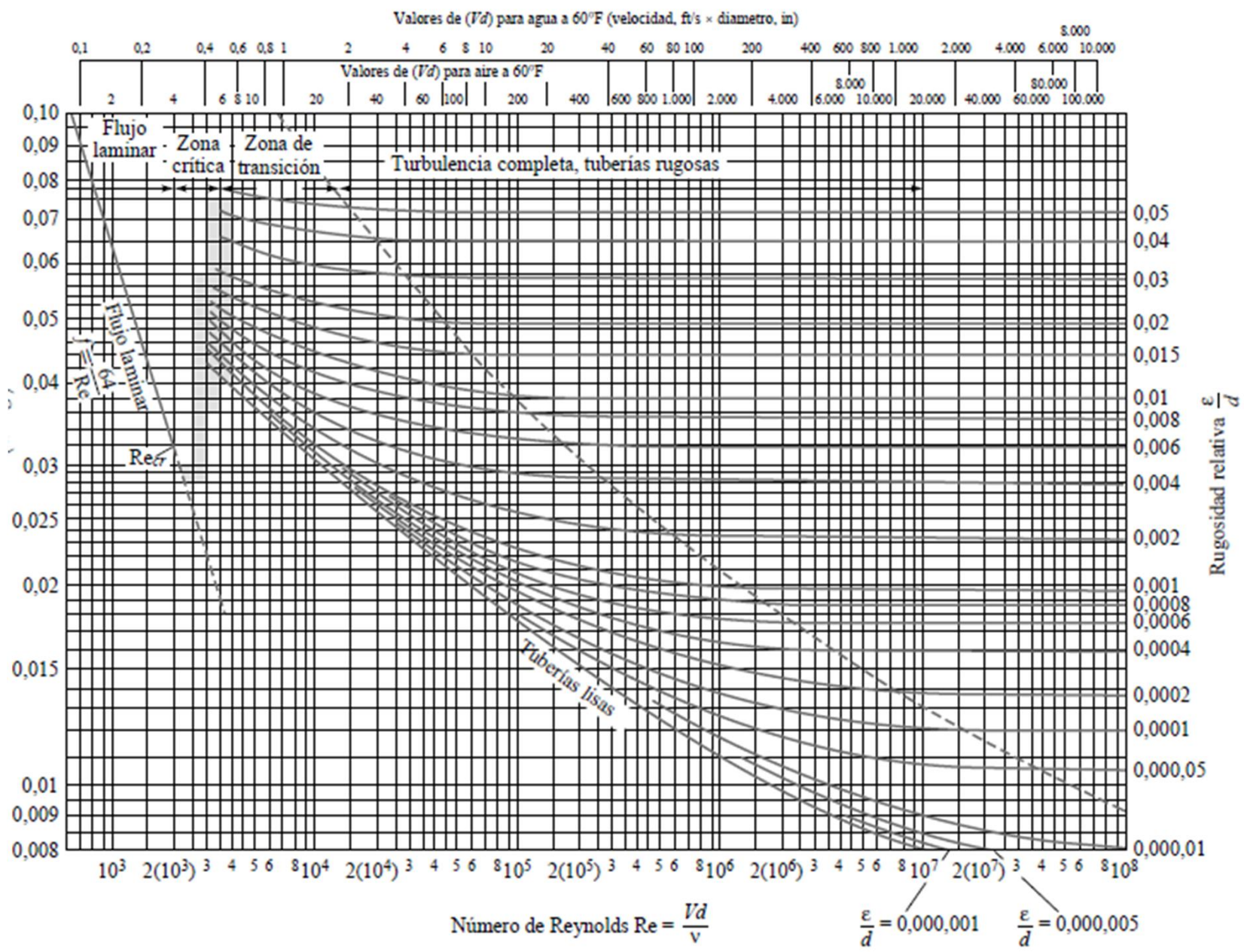
$$H_s = \Delta Z + \frac{Q^2}{A^2 2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum k \right)$$

Cómo calcular f



$$Re = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu}$$

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}



Ejemplo: Se requiere usar una bomba de 32" de diámetro de impulsor a 1170 rpm para bombear agua a 60°F desde un reservorio a otro 120 ft más alto por medio de una tubería de 1500 ft de 16" de diámetro interior con un factor de fricción $f = 0.030$. Se desea saber:

Cuál será el punto de operación (Q y H) para este sistema

Solución:

Para reservorios (tanques de almacenamiento) la velocidad inicial y final es cero, así la altura del sistema queda:

$$H_s = z_2 - z_1 + \frac{V^2}{2g} \frac{fL}{D} = 120 \text{ ft} + \frac{V^2}{2g} \frac{0.030(1500 \text{ ft})}{\frac{16}{12} \text{ ft}}$$

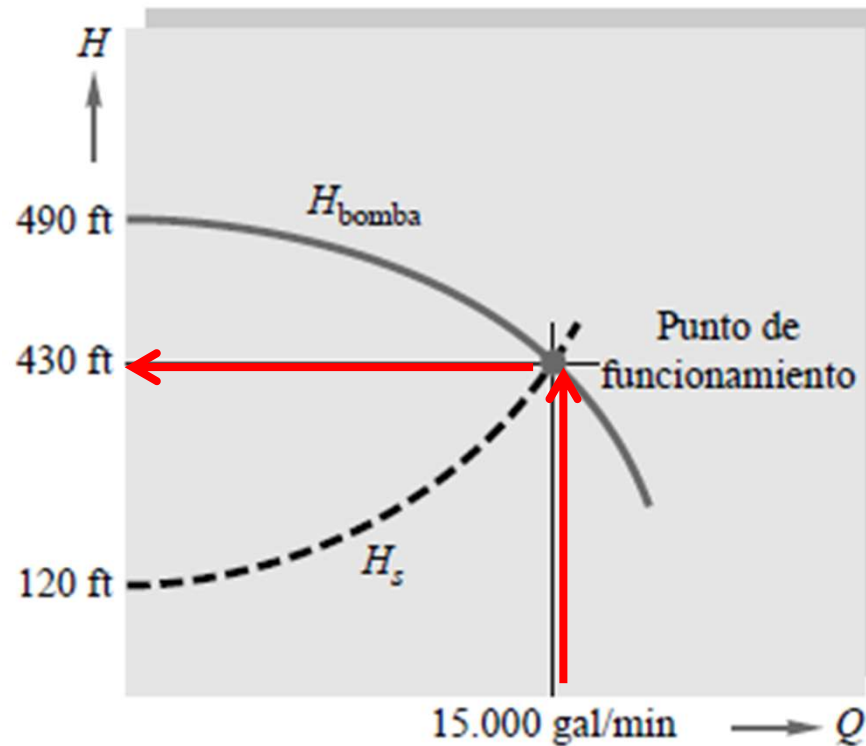
De la ecuación de Continuidad en la tubería: $V = Q/A = Q/ [1/4 \pi (16/12 \text{ ft})^2]$ y sustituyendo por V, la altura del sistema en función del caudal queda:

$$H_s = 120 + 0.269 Q^2 \text{ donde } Q \text{ está expresado en } (\text{ft}^3/\text{s})$$

Debido a que Q viene expresado en 10^3 gpm para la absisa en las gráficas de bombas, la ecuación anterior queda:

$$H_s = 120 + 1.335 Q^2$$

- Dibujando el comportamiento del sistema con la curva de la bomba la solución gráfica queda:
- $Q = 15000 \text{ gpm}$ y $H = 143 \text{ ft}$



Hazen-Williams (sólo para agua)

- Es difícil obtener f de la fórmula anterior. Por ello existe una fórmula que simplifica la confección de la curva del sistema.

- $$H_{hw} = \frac{10,674 * L * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}}$$

L: Longitud tubería (m)

Q: Caudal (m³/s)

D: Diámetro interno (m)

C: Factor de Hazen-Williams

- $$H_l = k \frac{v^2}{2g}$$

- $$H_t = \Delta Z + H_s + H_l$$

Hazen Williams Coefficient, C

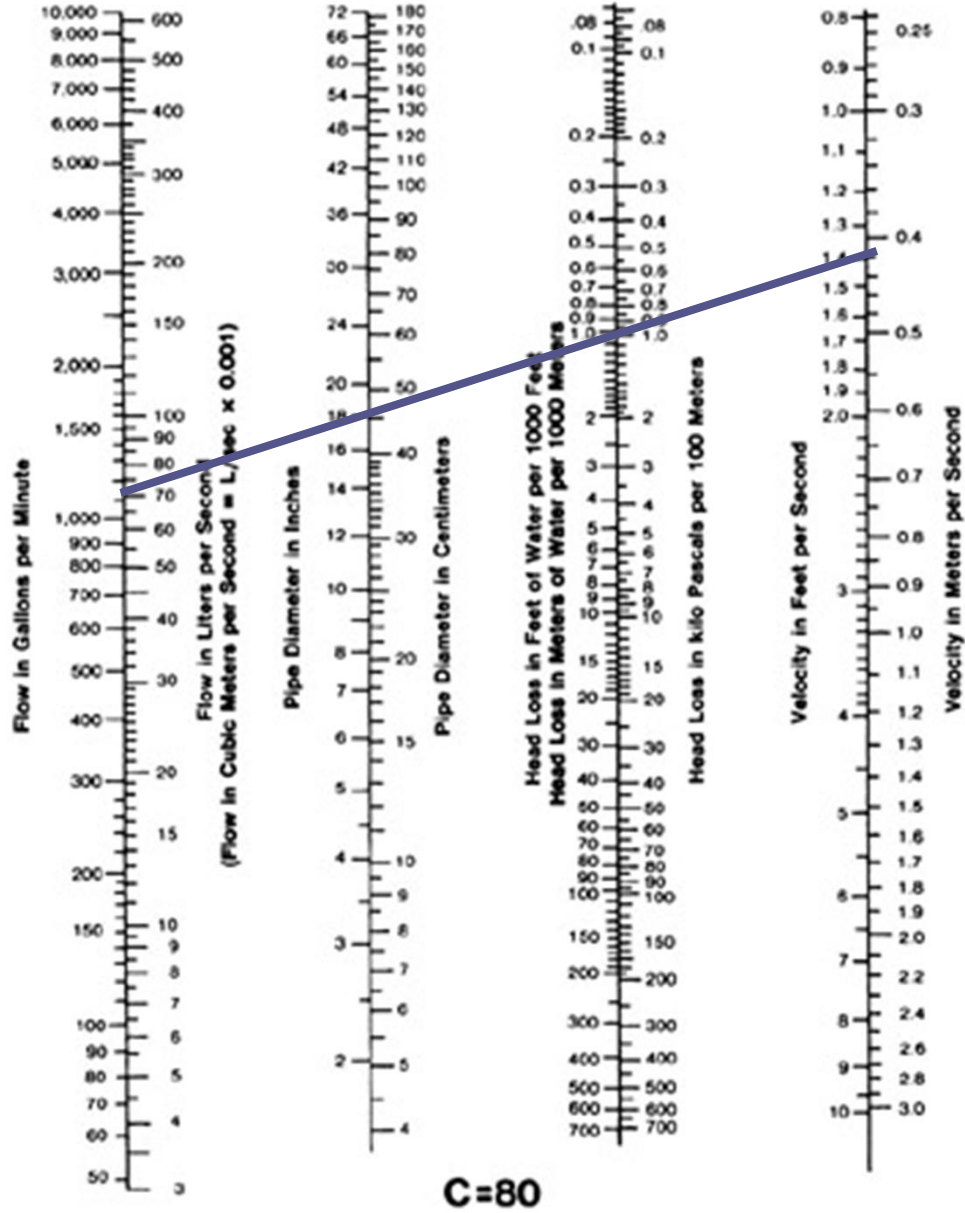
<u>Pipe Material</u>	<u>Design C</u>
PVC	150
Asbestos Cement	140
Welded Steel	100
Concrete	100
Cast Iron	100
Copper or Brass	130
Vitrified Clay	100
Corrugated Steel	60

Accesorios

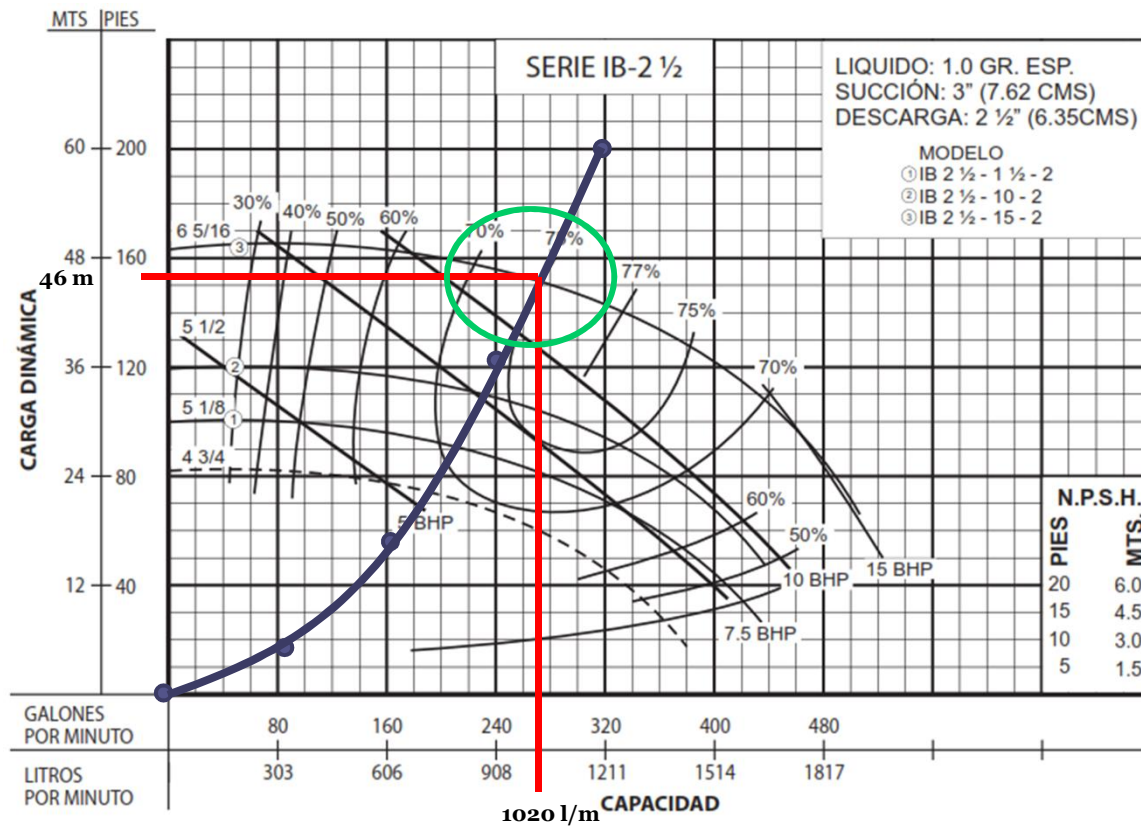
K

Válvula esférica (totalmente abierta)	10
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5
Válvula de retención (totalmente abierta)	2
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2
Válvula de compuerta (abierta $\frac{3}{4}$)	1.15
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{2}$)	5.6
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{4}$)	24.0
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-
"T" por la salida lateral	1.80
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.90
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.60
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35

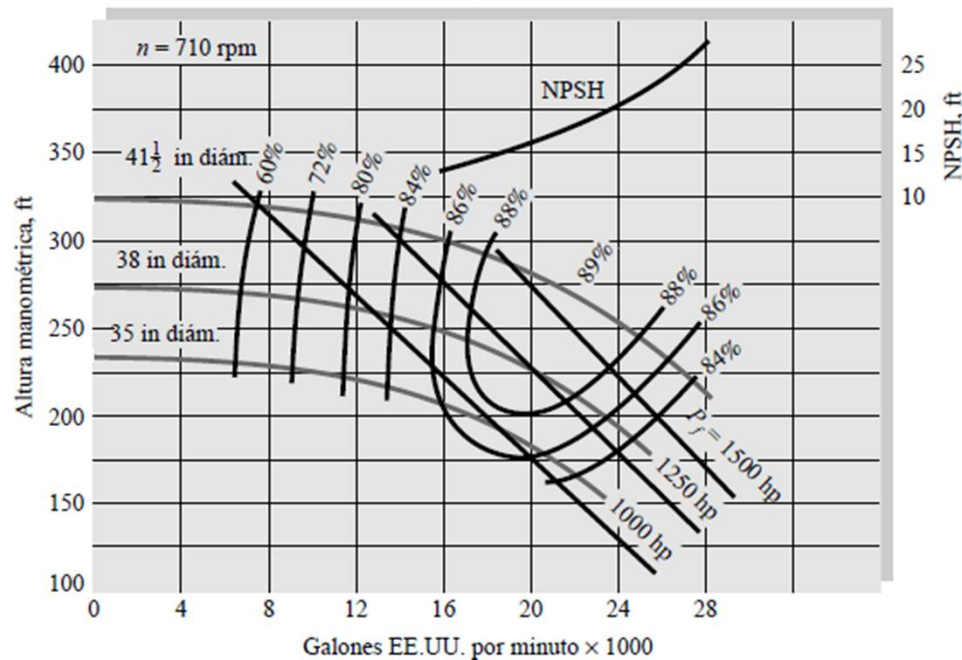
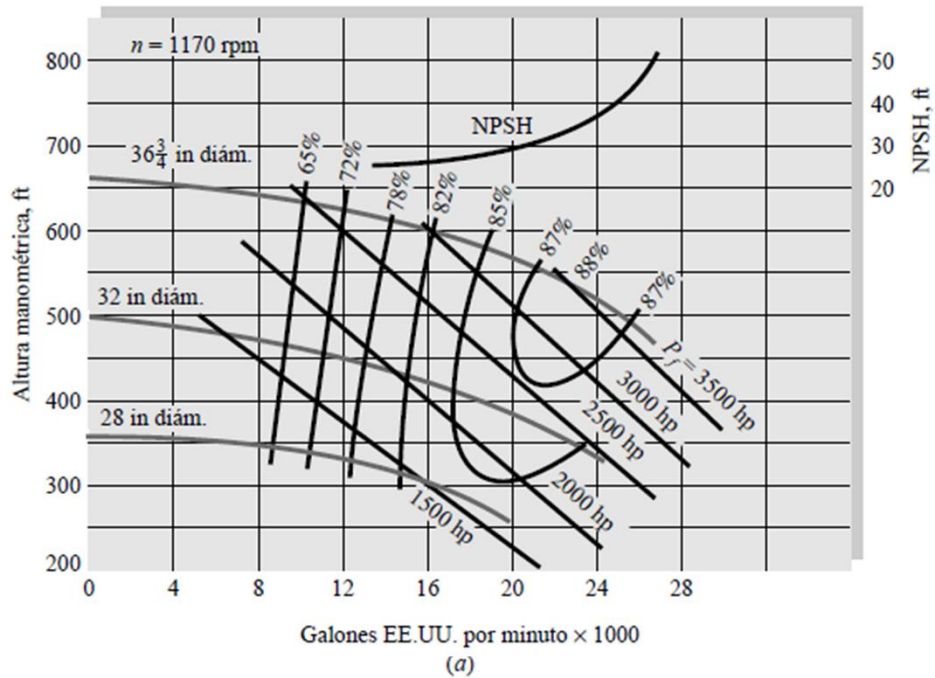
English/Metric Units



Confección de curva del sistema. Punto de funcionamiento.

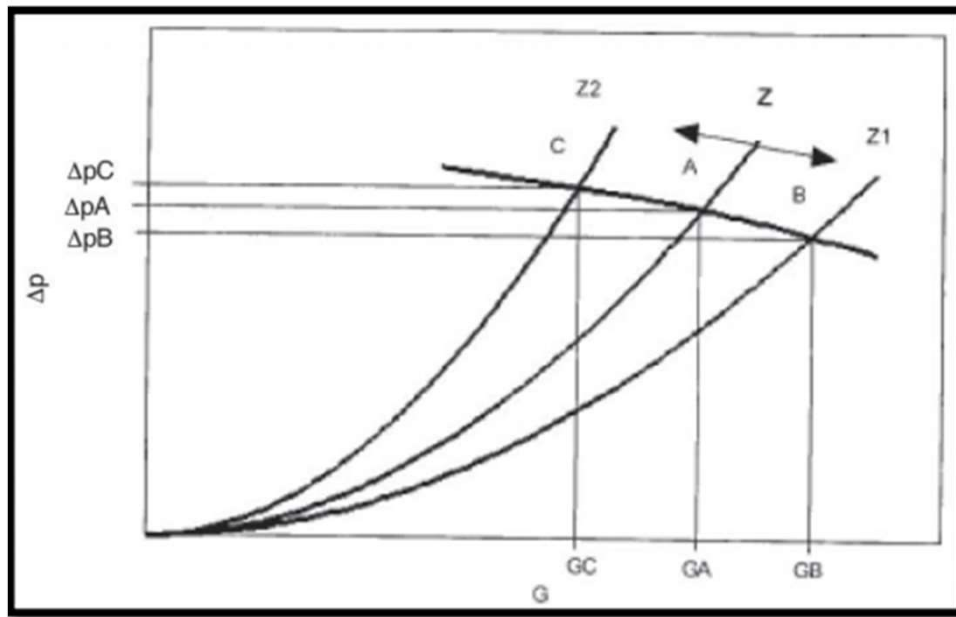


Q	H
303	4,7
606	16,9
908	36,3
1211	60,8
1514	92,0
1817	128,9



- La Figura muestra las curvas características reales de una bomba centrífuga comercial.
- Una carcasa con 3 diámetros de rotor
- Si bien las curvas de abajo, poseen mayor diámetro de rotor, están consideradas para fluidos más densos. (no es lo mismo 1 metro de agua que 1 metro de mercurio)

Desplazamiento de la curva del sistema al punto óptimo.



- Mover la curva del sistema al punto de funcionamiento óptimo mediante la apertura o cierre de la válvula de regulación.

Desplamamiento	Causa del desplazamiento	Caudal	Presión
De A a B	Apertura de la válvula	$GB > GA$	$\Delta pB < \Delta pA$
Se necesita menos presión diferencial para garantizar el caudal GB			
De A a C	Cierre de la válvula	$GC < GA$	$\Delta pC < \Delta pA$
Se necesita más presión diferencial disponible para garantizar el caudal GC			

ANPA: Altura Neta Positiva de Aspiración

- La carga disponible a la entrada de la bomba para evitar la cavitación o evaporación del líquido. La entrada de la bomba, o zona de succión, es la región donde la presión es más baja y donde puede aparecer antes la cavitación.
- La única presión que posee el fluido para moverse hasta el rodete de la bomba, es la presión atmosférica.

$$\text{NPSH} = \frac{P_a}{\rho g} - Z_i - h_{fi} - \frac{P_v}{\rho g}$$

P_a : presión atm o del recinto.

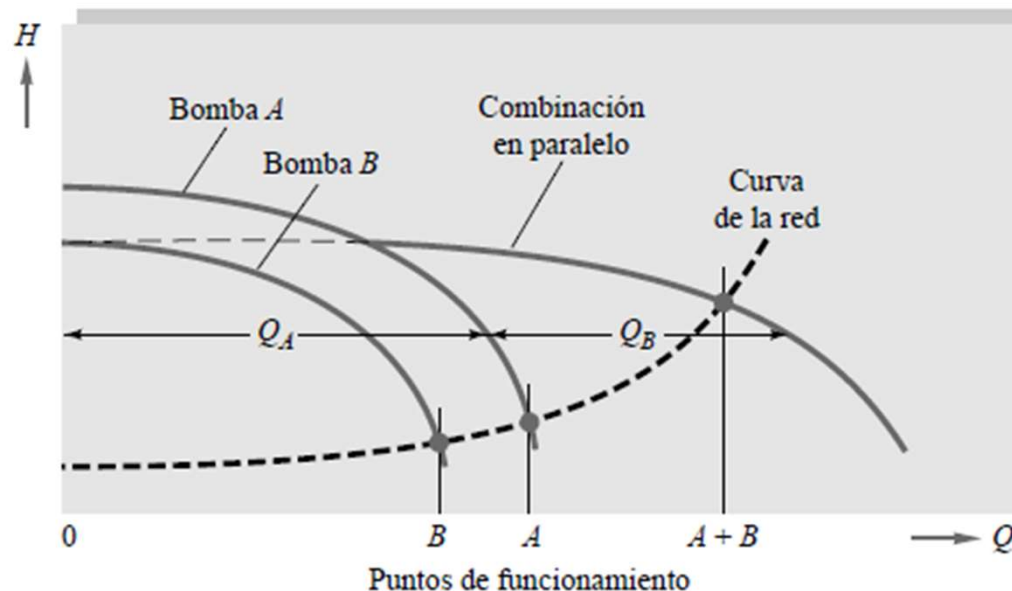
P_v : presión de vapor del líquido

Z_i : altura de la bomba.

h_{fi} : Pérdida dinámicas.

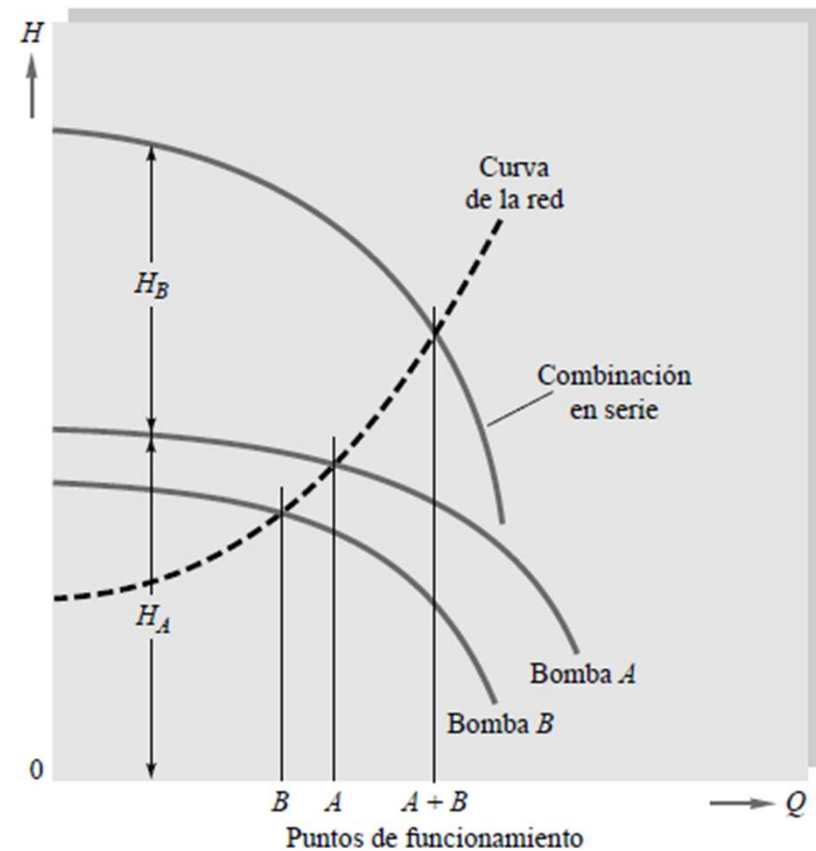
Bombas en paralelo

- Si una bomba proporciona la altura manométrica adecuada, pero un caudal demasiado bajo, una solución posible consiste en combinar dos bombas similares en paralelo, compartiendo la misma succión y las mismas condiciones de entrada. Una disposición en paralelo se utiliza también si varía el caudal de demanda, de modo que se usa una bomba para caudales bajos y la segunda bomba se arranca para caudales mayores. Ambas bombas deben disponer de válvulas que eviten flujo inverso cuando una de las dos se para.



Bombas conectadas en Serie

- Si una bomba proporciona el caudal adecuado, pero una altura manométrica demasiado baja, se puede considerar añadir una bomba semejante en serie, con la salida de la bomba B unida directamente al lado de succión de la bomba A .
- El principio físico para combinar dos bombas en serie es sumar las alturas manométricas de ambas para el mismo caudal, para obtener así la curva característica combinada.



Bombas de Desplazamiento positivo

- Aplicación – Ventajas

Vane	Gear (External)	Gear (Internal)	Lobe
<ul style="list-style-type: none">• Can handle viscosities under 32 SSU• Self compensating for wear• Available in a variety of materials• Inexpensive	<ul style="list-style-type: none">• Can handle high viscosities• High flows and pressures• Between-the-bearing design prolongs life.• Quiet running• Integral relief valve available	<ul style="list-style-type: none">• Can handle high viscosities• Available in a wide variety of materials• Simple, inexpensive design• Integral relief valve available	<ul style="list-style-type: none">• Can handle high viscosities• Low shear pumping• Available in a variety of materials• Can run dry if seals are flushed (due to timing gears)

Bombas Centrífugas

Golpe de Ariete

Fenómeno se produce al cerrar o abrir una válvula y al poner en marcha o para una máquina hidráulica, o también al disminuir bruscamente el caudal.

- Al cerrarse por completo una válvula se origina una onda de presión que se propaga con una cierta velocidad
- Esta onda origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería, causando dos efectos:
 - **Comprime ligeramente el fluido.**
 - **Dilata ligeramente la tubería.**

Bombas Centrífugas

Golpe de Ariete

- El golpe de ariete puede producirse:
 - Si se para el motor de la bomba sin cerrar previamente la válvula de impulsión.
 - Si hay un corte imprevisto de la corriente, en el funcionamiento de la bomba.

Bombas Centrífugas

Golpe de Ariete

- Los medios empleados para reducir el golpe de ariete son:
 - Cerrar lentamente la válvula de impulsión.
 - Escoger el diámetro de la tubería de impulsión grande, para que la velocidad en la tubería sea pequeña.
 - Depósitos de expansión
 - Instalación de válvulas de retención con by-pass diferencial.
 - Válvulas de retención anti ariete.

Bombas Centrífugas

Puesta en marcha de una bomba centrífuga

- Para poner en marcha una bomba centrífuga hay que tener presente las siguientes consideraciones:
- a) Comprobar todos los purgadores, bridas, líneas, etc., asegurándose de que no se ha olvidado ninguna junta ciega.
- b) Si la bomba está recién instalada, comprobar que puede girar sin dificultad rodándola a mano. Comprobar que el sentido de rotación del motor es el correcto.

Bombas Centrífugas

Puesta en marcha de una bomba centrífuga

- c) Comprobar la lubricación de los cojinetes y demás partes móviles.
- d) Comprobar los cierres líquidos.
- e) Cerrar la válvula de impulsión, abrir la de aspiración plenamente y llenar de líquido la carcasa. Púrguese el aire o vapor por el purgador situado en la parte más alta de la carcasa. Si el líquido que vamos a bombear es caliente déjesele fluir hasta que caliente la carcasa.

Bombas Centrífugas

Puesta en marcha de una bomba centrífuga

- f) Si la bomba está accionada por una turbina, hay que purgar la línea de vapor a través de la misma con el fin de calentarla y eliminar condensados. Asegurarse que la válvula de vapor de escape está abierta. Comprobar asimismo la lubricación.

Bombas Centrífugas

Puesta en marcha de una bomba centrífuga

- g) Poner en marcha la bomba hasta alcanzar la presión normal y abrir entonces la válvula de impulsión lentamente y asegurarse que la presión se mantiene en su valor. Hay que tener en cuenta que si se abre demasiado rápidamente la válvula de impulsión, se puede originar una pulsación repentina con la pérdida de la succión.

Bombas Centrífugas

Parada de una bomba centrífuga

- a) Cerrar la válvula de impulsión; esto reduce la carga del motor y evita el retroceso si la válvula de retención no funcionase.
- b) Parar el motor o turbina.
- c) Dejar la bomba llena de líquido a menos que el producto tenga un alto punto de congelación o viscosidad. En este caso vaciar la bomba cerrando previamente la válvula de aspiración. Abrir la purga de presión de la bomba. Volver a cerrar esta purga. Si la bomba se deja preparada para entrar en servicio, dejar la aspiración abierta.

Bombas Centrífugas

Parada de una bomba centrífuga

- d) Si existen líneas que lo permiten, mantener calientes las bombas de reserva.
- e) Si se va a hacer en la bomba alguna reparación, cerrar todas las válvulas de bloqueo y vaciar la bomba.

Bombas Centrífugas

Comprobaciones de una bomba centrífuga en funcionamiento

- a) Comprobar la presión de descarga
- b) Comprobar la empaquetadura. Si tiene anillo empaquetador, comprobar que no está sobrecalentada o comprobar la presión si tiene engrase de anillo. Si el cierre es mecánico no se precisa ajuste.
- c) Comprobar el nivel de aceite lubricante en la envoltura del cojinete.
- d) Comprobar manualmente si existe una excesiva vibración y ruidos.