



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

BOMBAS

Centrífugas

**CURSO PARA ASPIRANTES A OPERADOR DE REFINERIA DE
PETRÓLEO**

2023

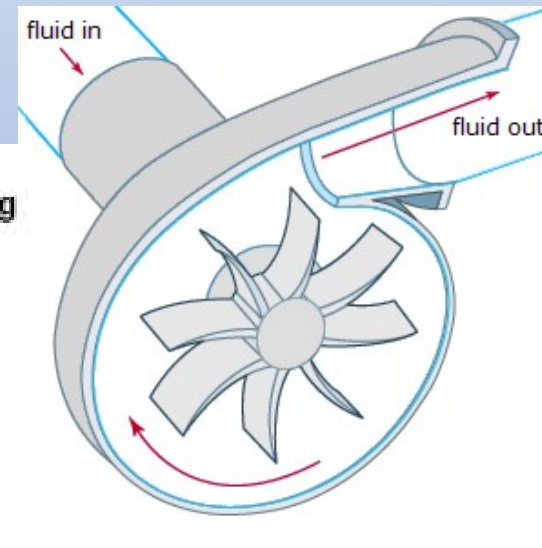
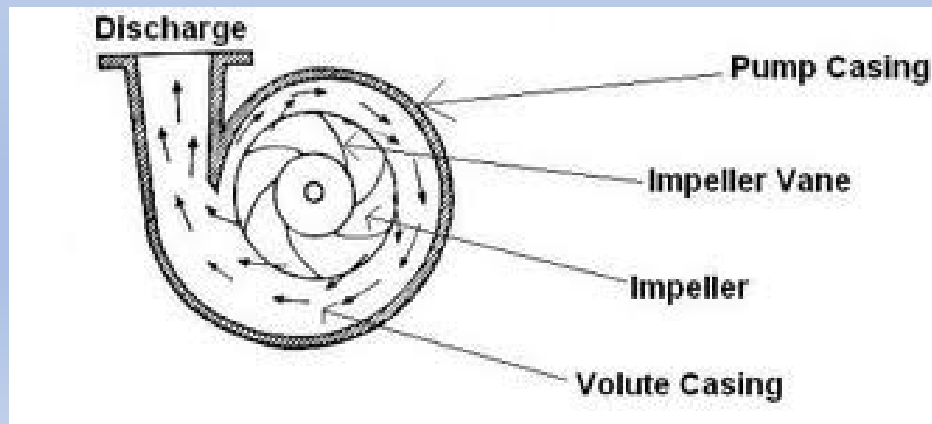
2- BOMBA CENTRÍFUGA

2- Bomba centrífuga

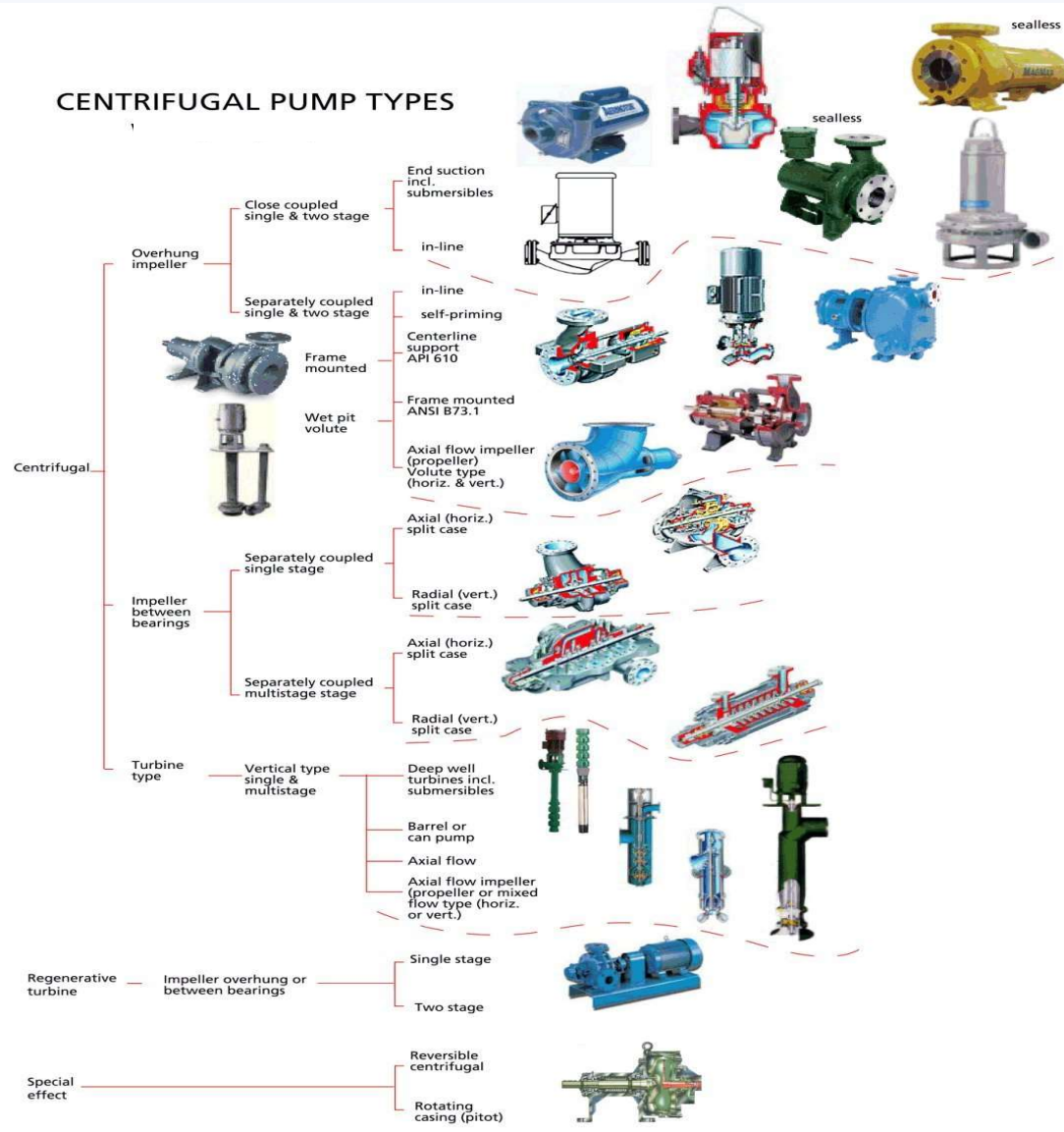
Máquina que consiste de un conjunto de álabes rotatorios encerrados dentro de una caja. Estos imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga.

Tiene dos partes principales:

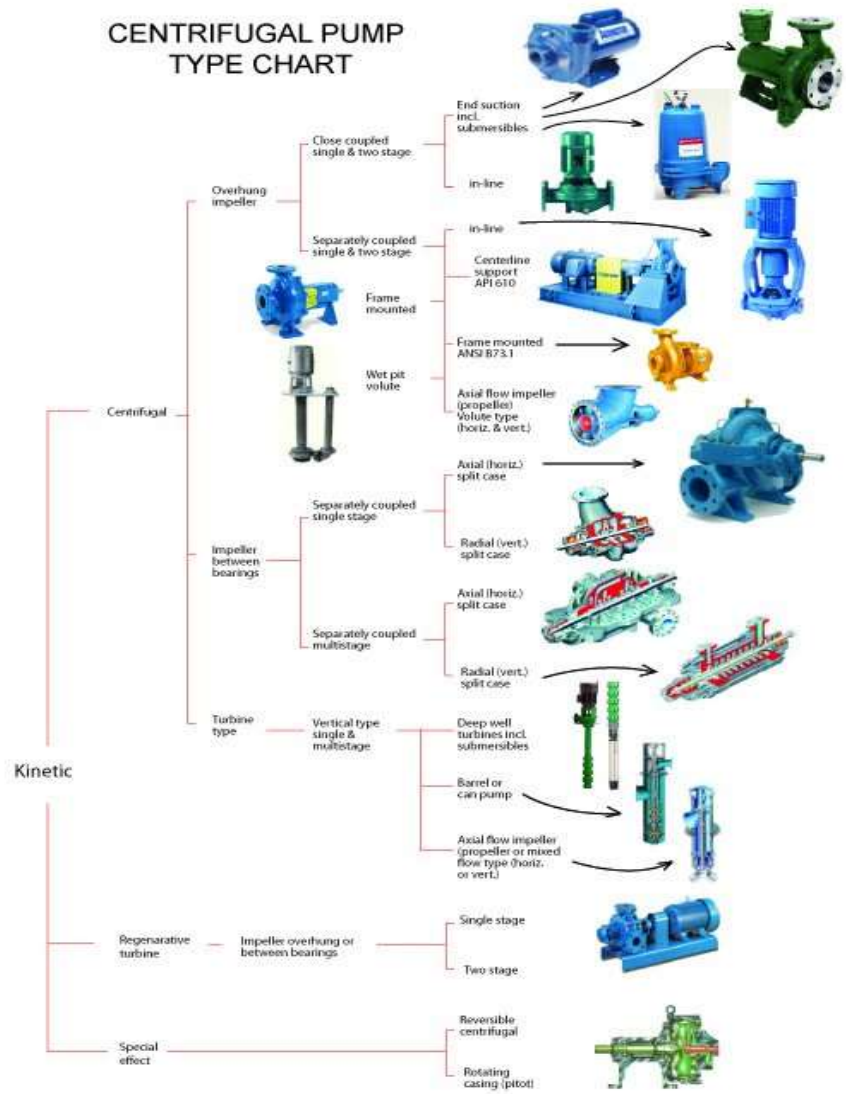
- Elemento giratorio, el impulsor y la flecha
- Elemento fijo la caja o voluta.

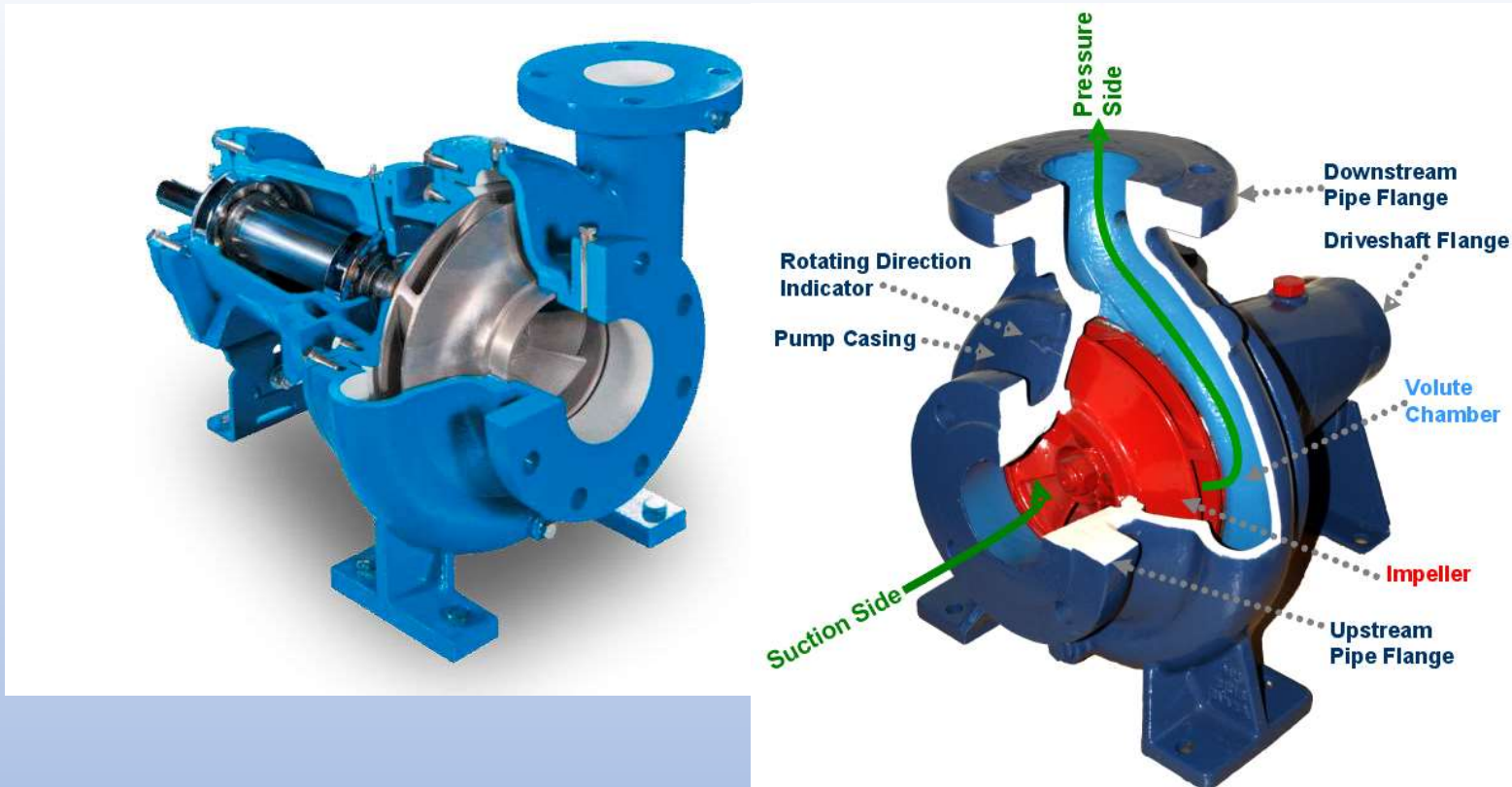


CENTRIFUGAL PUMP TYPES

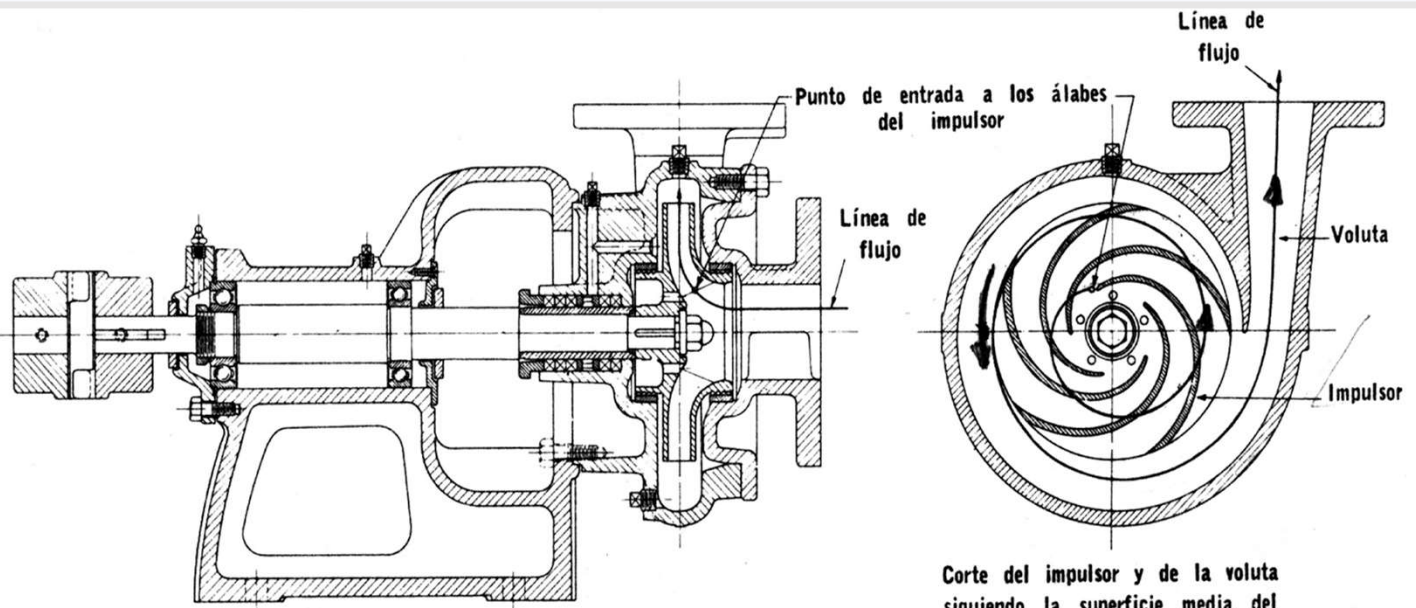


CENTRIFUGAL PUMP TYPE CHART

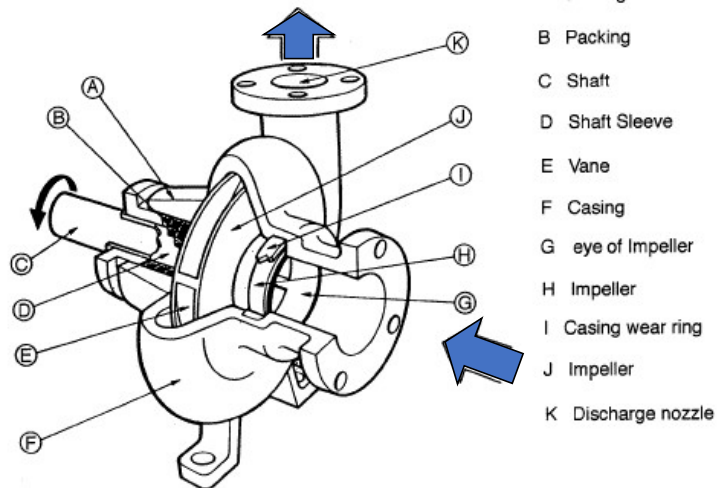




- El impulsor de las Bombas Centrífugas descarga líquido a una velocidad alta.
- Una función de la cubierta de la bomba es reducir esta velocidad y convertir la energía cinética en energía de presión, ya sea por medio de una voluta o de un conjunto de paletas o alabes difusores.



Corte del impulsor y de la voluta siguiendo la superficie media del flujo



Ventajas

- ✓ Ofrece un flujo sostenido a presiones uniformes sin variación de carga.
- ✓ Diseño simple
- ✓ Bajo costo inicial
- ✓ Flexibilidad de aplicaciones
- ✓ Gran rango de H-Q
- ✓ Marcha suave y silenciosa

Desventajas

- Rendimiento inferior a las alternativas
- No poseen autoaspiración entonces debemos cebarlas.
- Caudal sensible al cambio de presión.

Clasificaciones, según...

Eje de Rotación	Tipo de impulsor	Cantidad de etapas	Disposición del eje o árbol del motor
Bomba de flujo radial: el fluido se desplaza perpendicular al eje.	Cerrados	Una etapa	De succión en el extremo
Bombas de flujo axial: fluido se desplaza en la dirección del eje.	Abiertos	Múltiples etapas	Succión lateral
Bombas de flujo mixto: El fluido se desplaza en ambas direcciones.	Semiabiertos	-	Succión fondo
-	-	-	Succión superior

Clasificaciones, según...

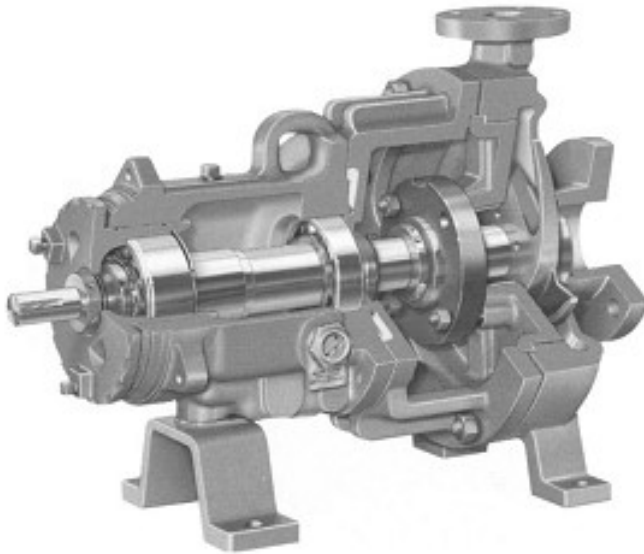
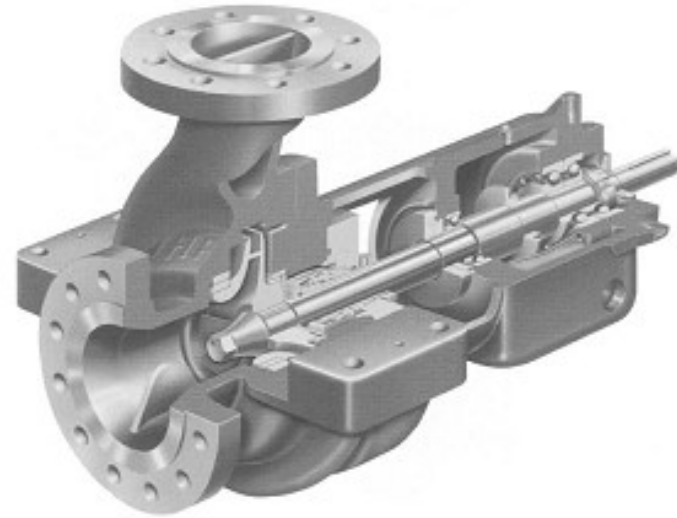


Figure 1.1: ANSI process pump (Reproduced by permission of flowserve Corporation)



1.2: API process pump (Reproduced by permission of Flowserve Corporation)

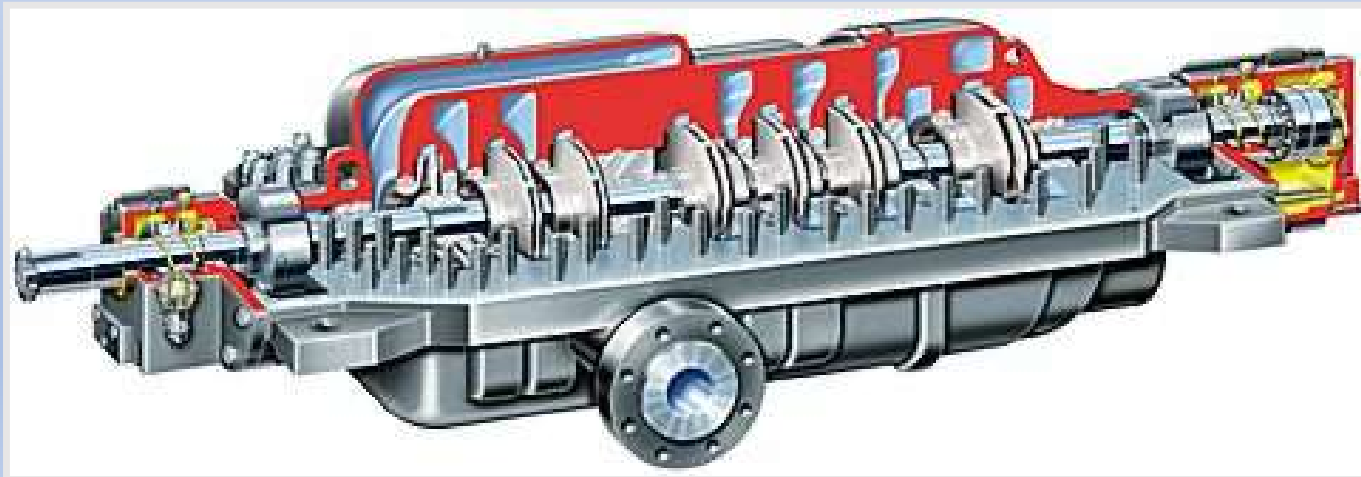
ANSI Pump Rating = 300 PSIG at 300° F

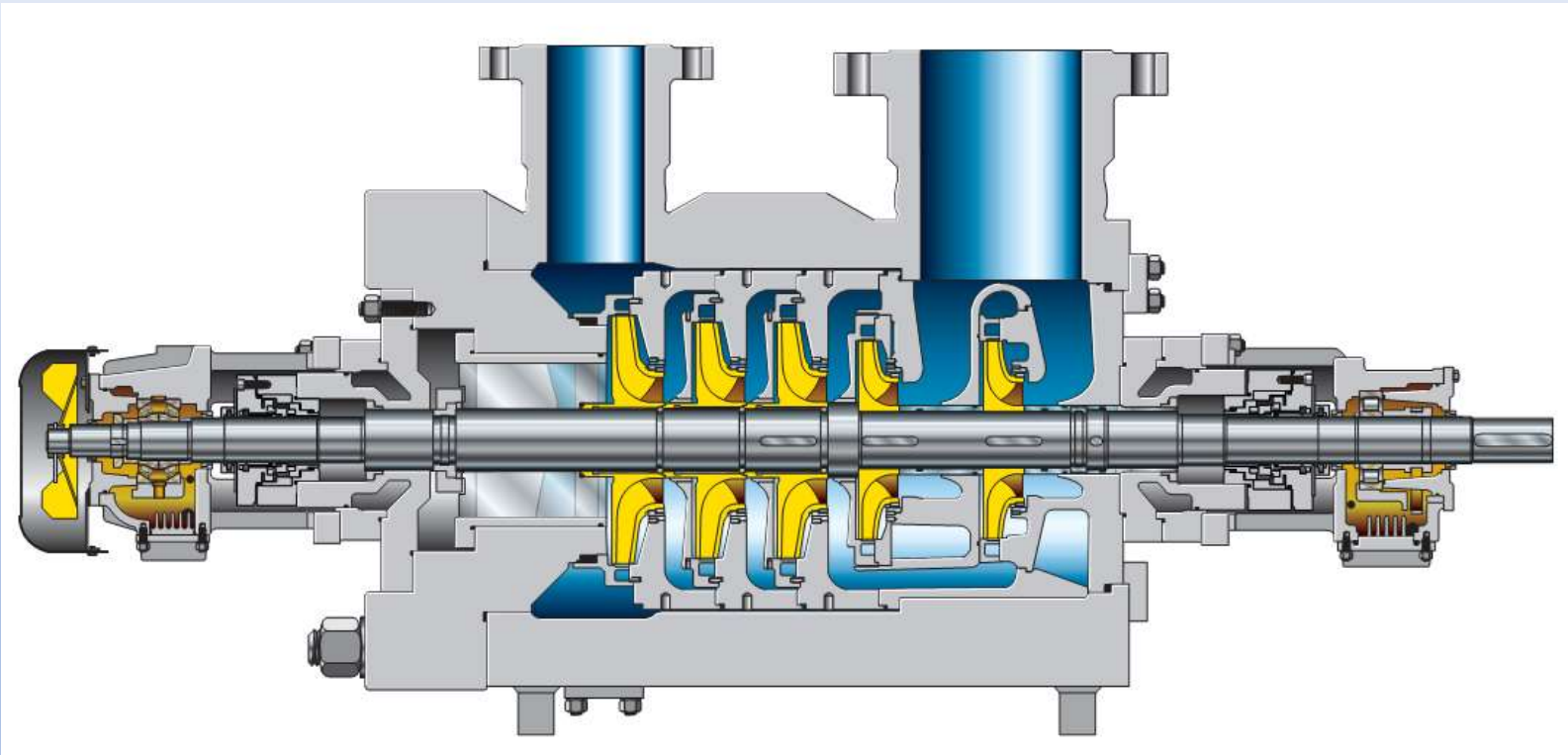
API Pump Rating = 750 PSIG at 500° F

Según cantidad de etapas:

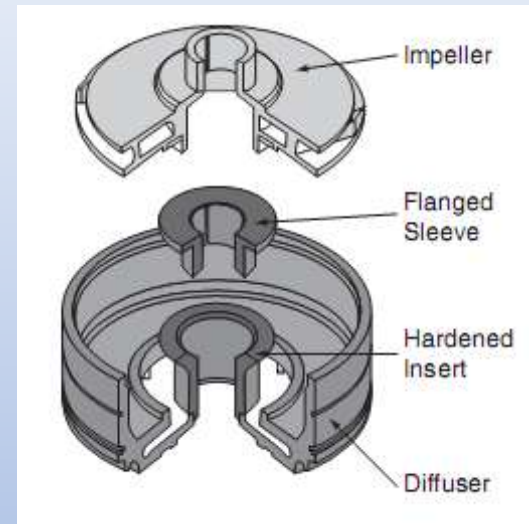
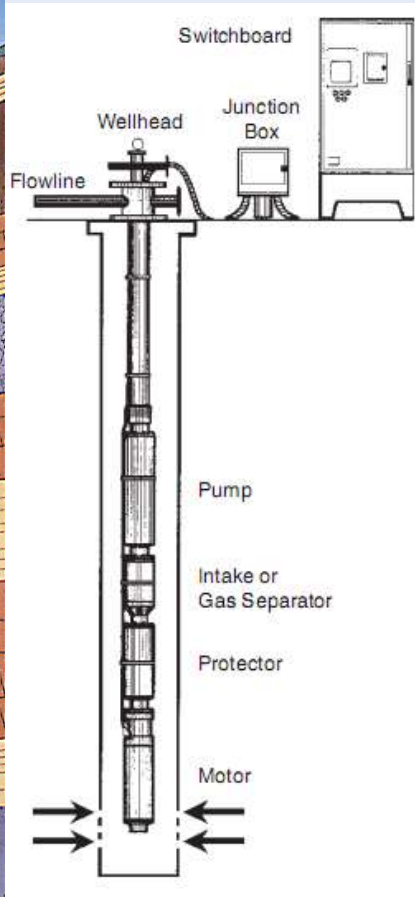
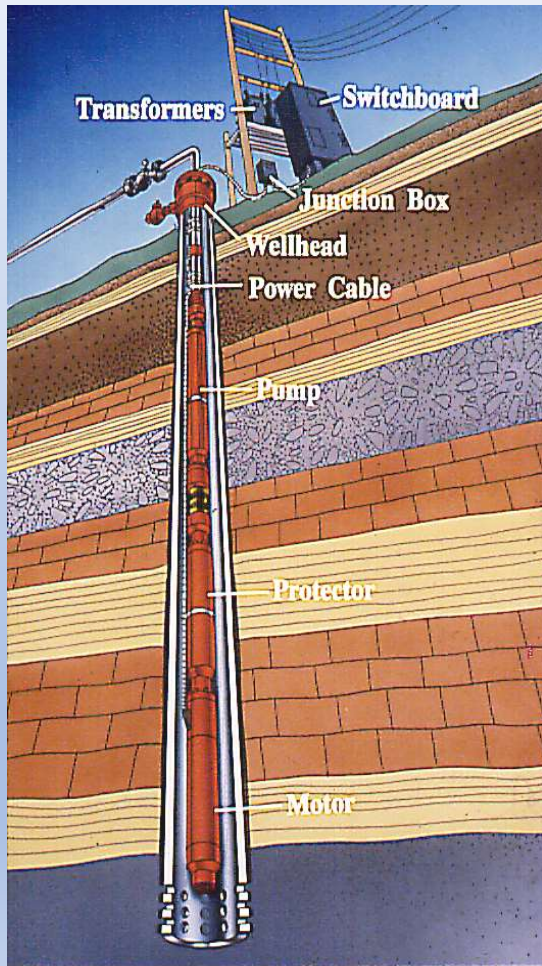
- ✓ Una sola etapa
- ✓ Múltiples etapas

Ejemplo: Bomba centrífuga de 6 pasos o etapas

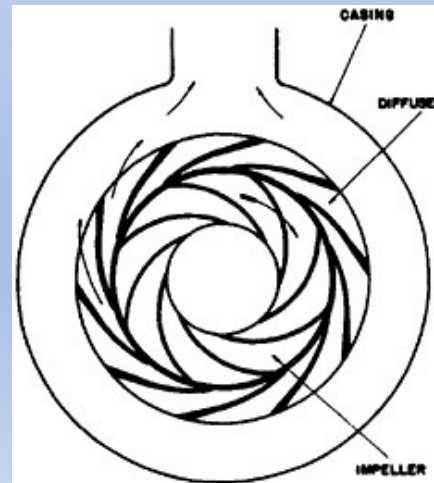
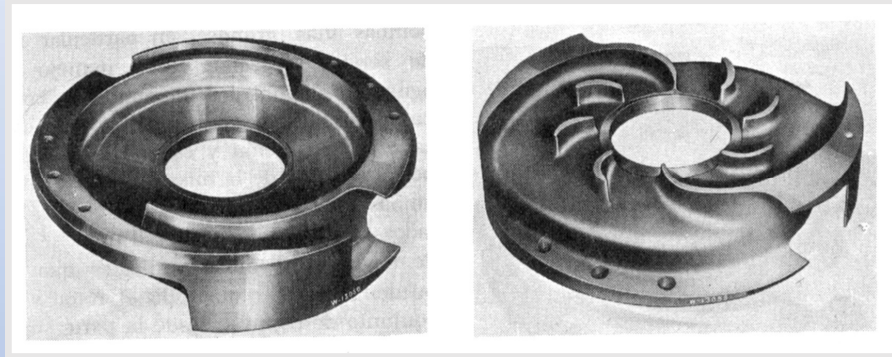
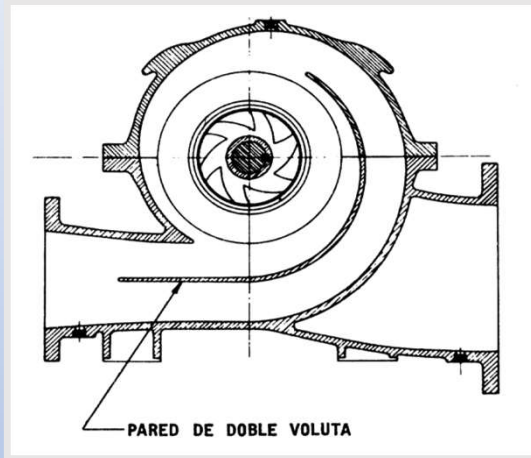




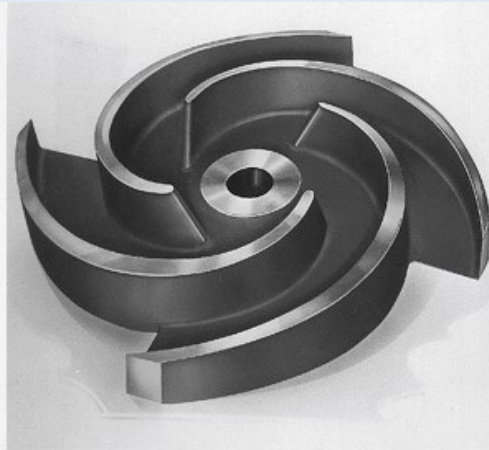
ESP



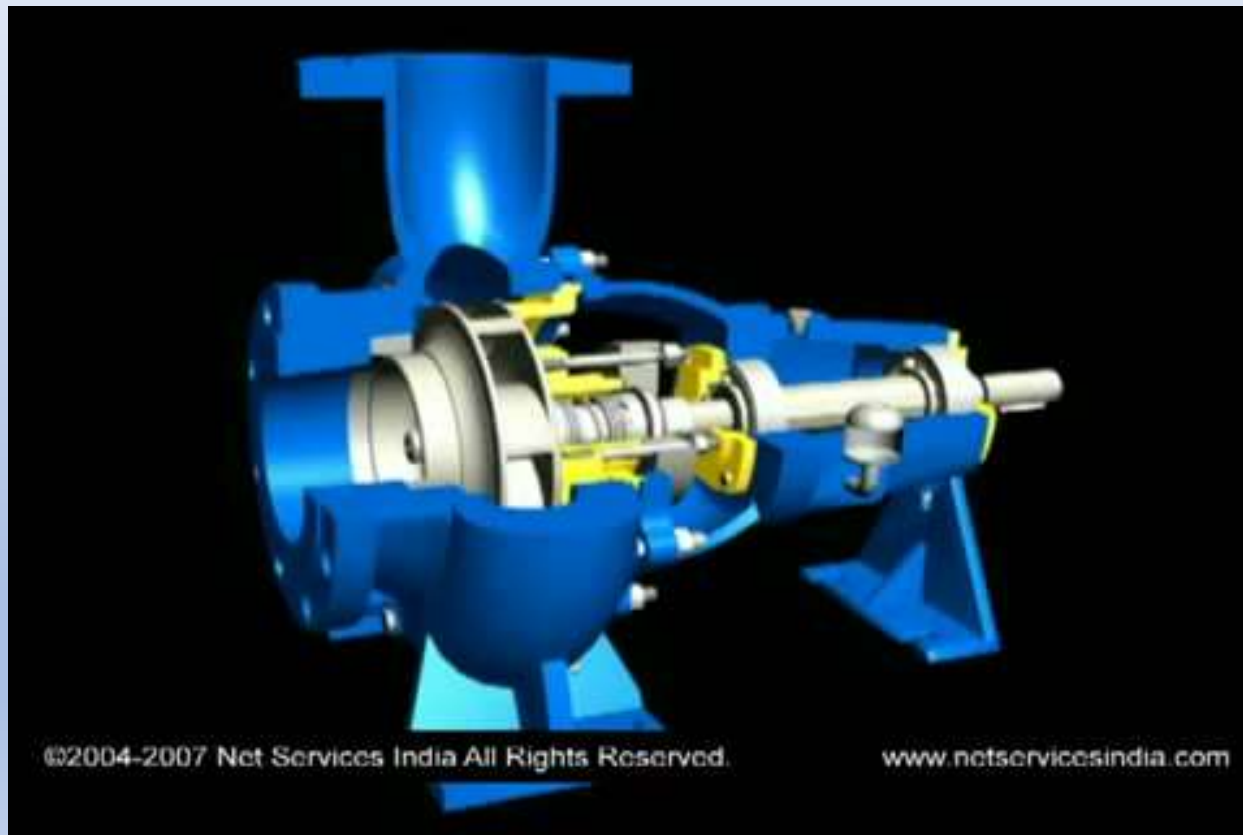
Partes Principales - Voluta



Partes Principales - Impulsores



Tipos de Impulsores



Velocidad Específica

$$N_s = \text{RPM} * Q^{1/2} / H^{3/4}$$

La velocidad específica nos da una idea del **diseño hidráulico del impulsor**, ya que:

- ***un número bajo de N_s*** nos dice que la bomba nos entregará poco caudal y mucha altura de presión.
- ***Un número de N_s es alto*** la bomba entrega grandes caudales y bajas alturas de presión.

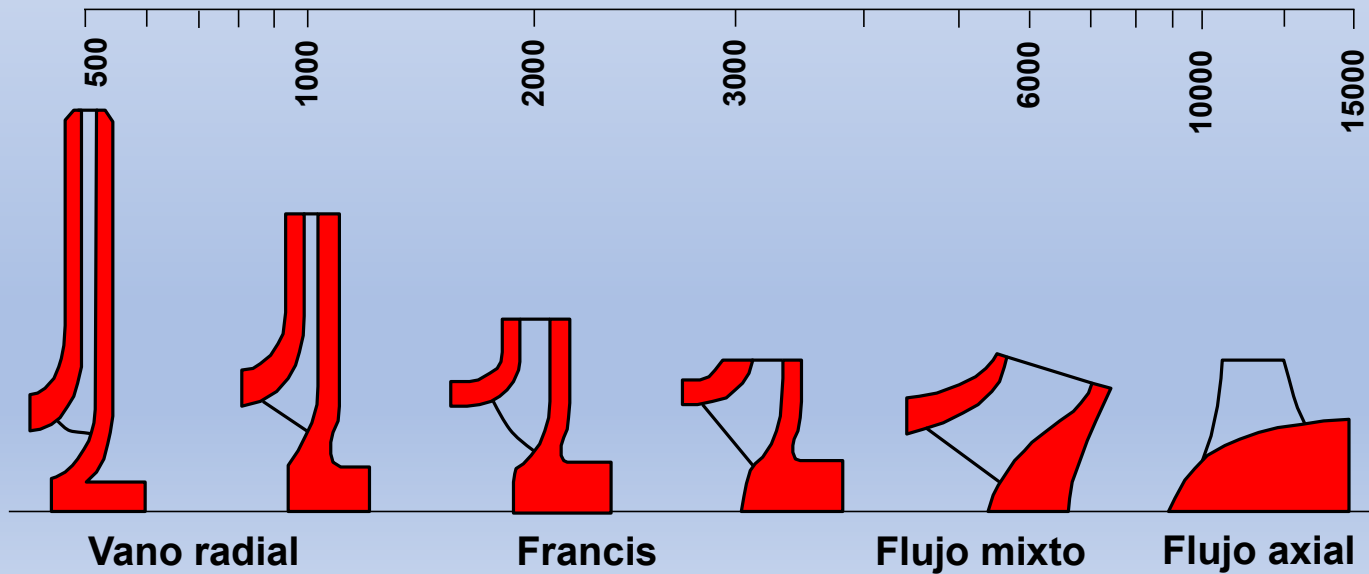
$$N_s = \frac{\sqrt{Q} \times \text{RPM}}{H^{3/4}}$$

donde:

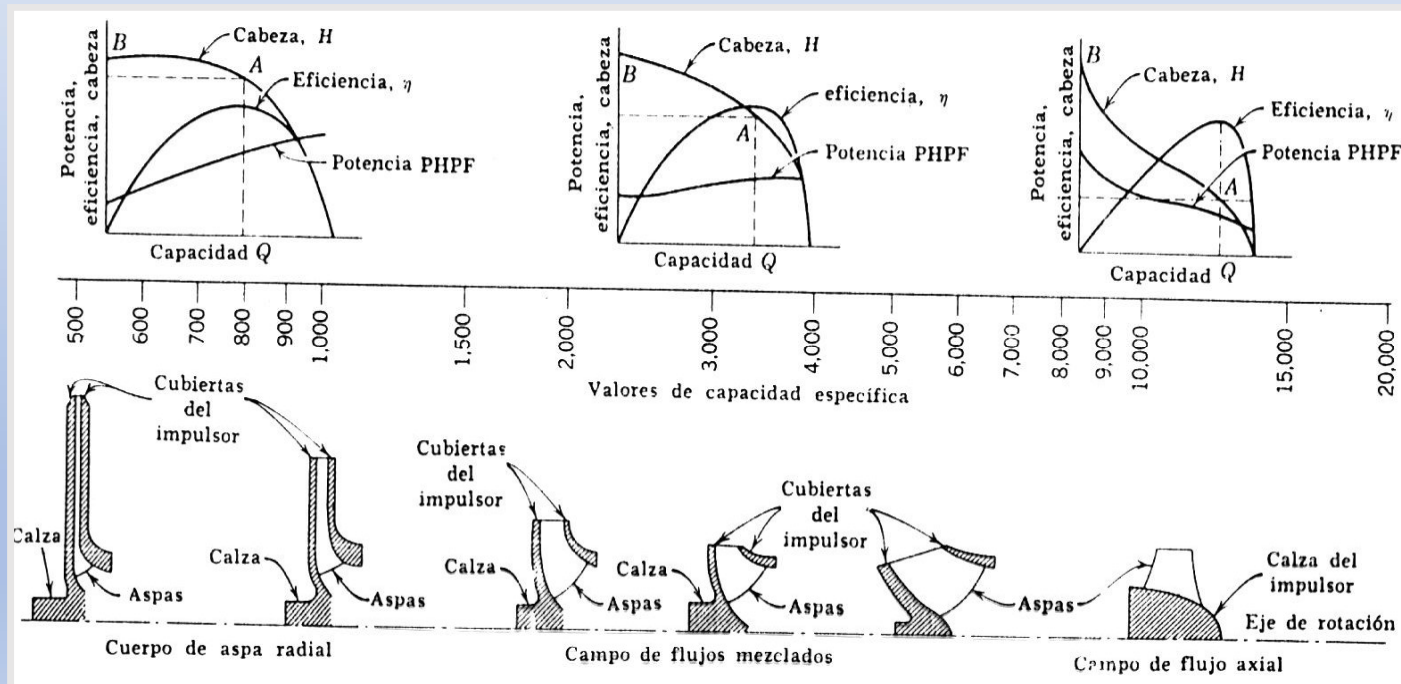
Q = Caudal @ BEP in gpm

H = Altura por etapa, en ft., basada en max. diámetro de impulsor

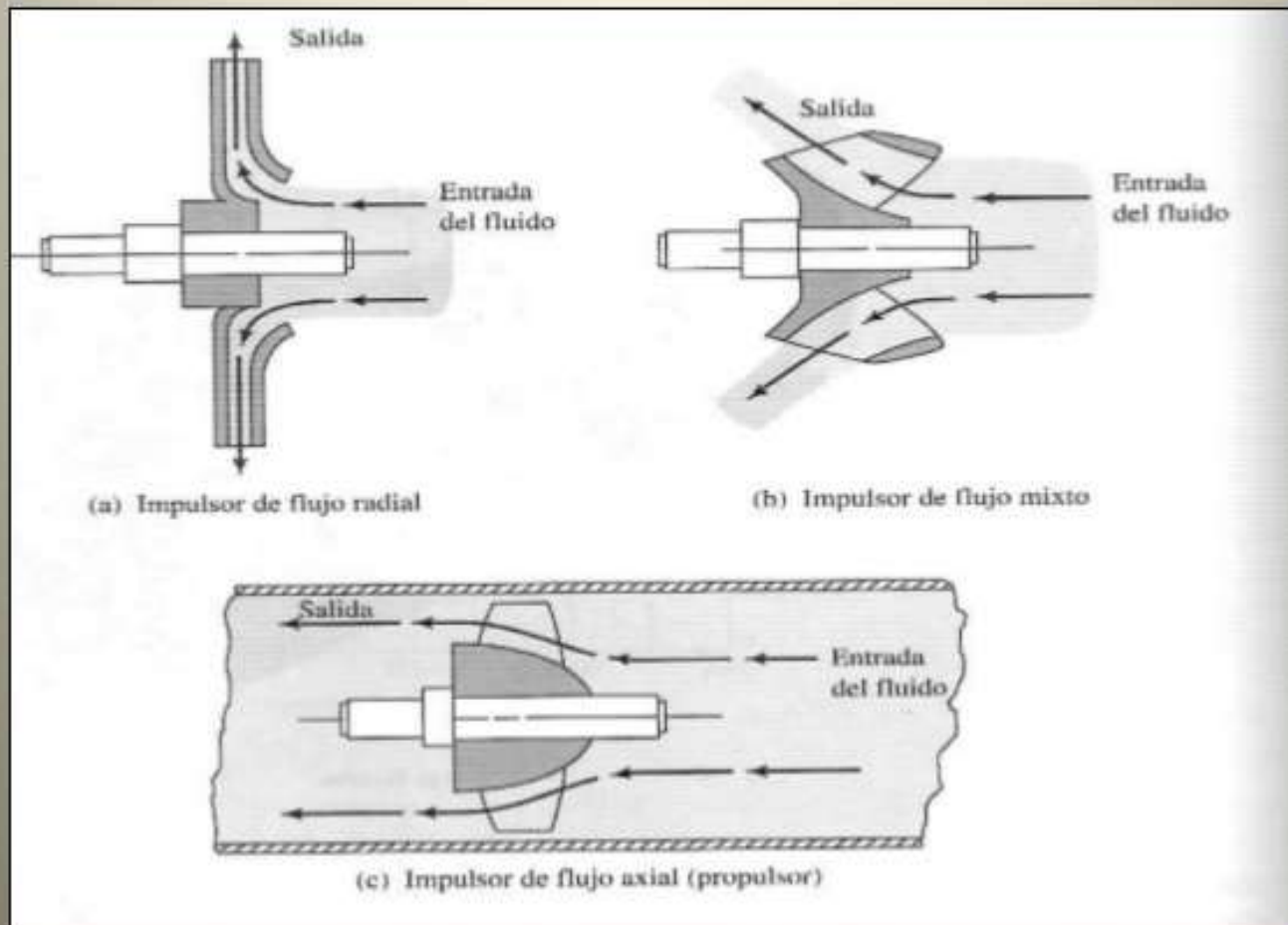
Valores de velocidades específicas (Simple Succión)



En catalogo...



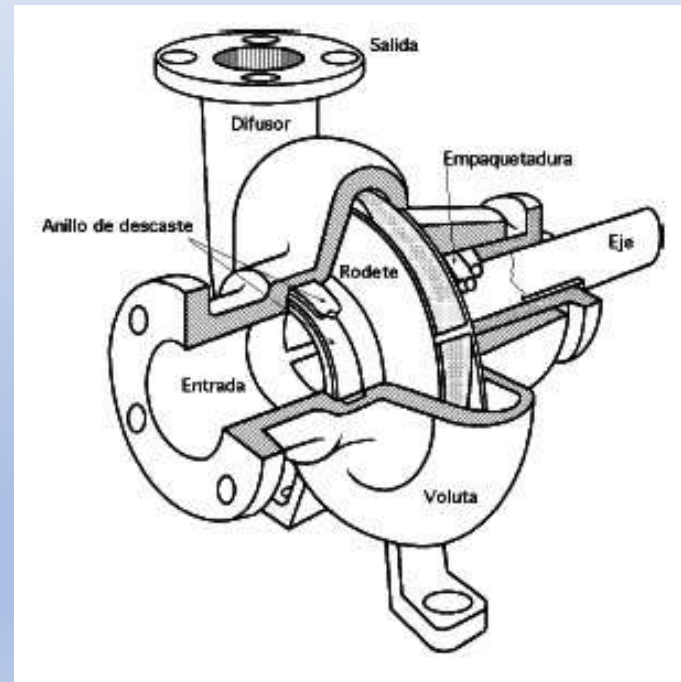
Impulsores para bombas cinéticas



Anillos de Desgaste

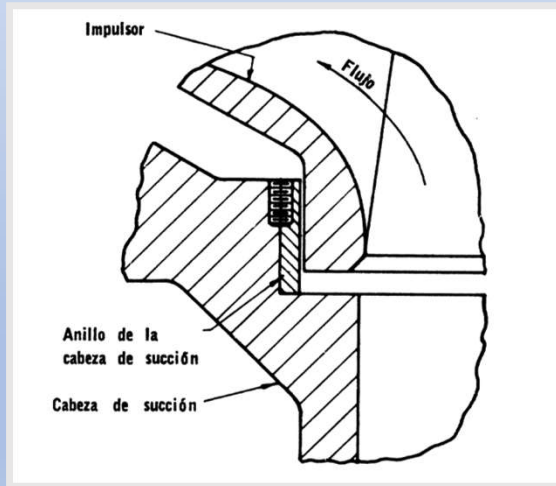
Anillos de Desgaste

- ✓ Son anillos diseñados para proteger a las partes mecánicas del desgaste.
- ✓ Estos anillos se colocan en el rotor y en la voluta.

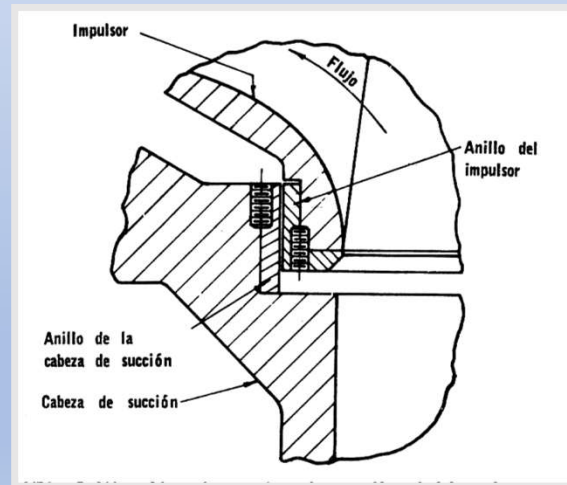


Anillos de Desgaste

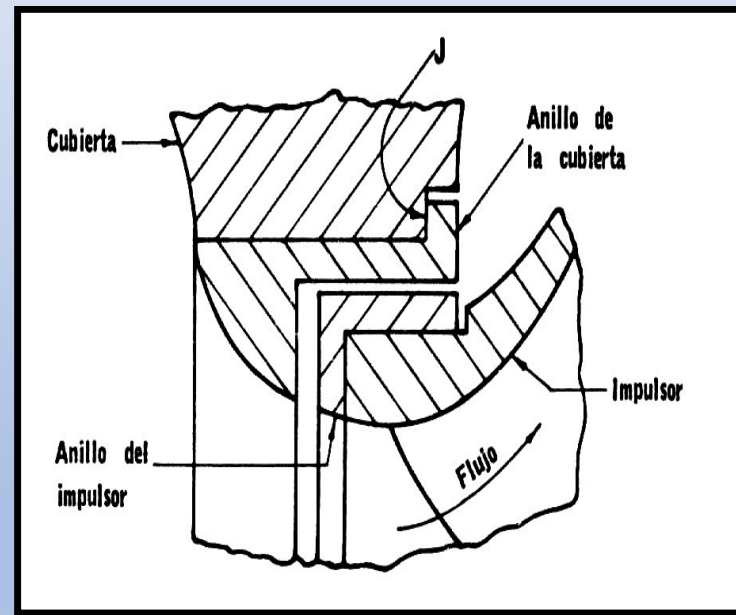
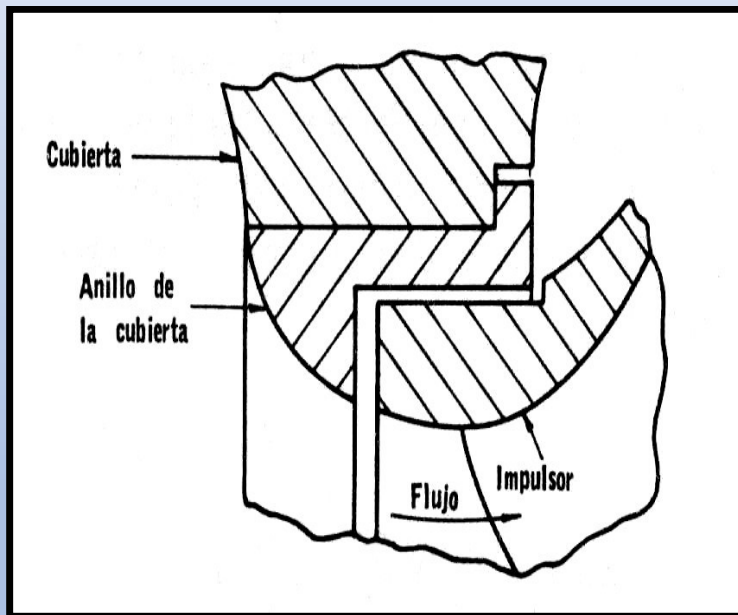
Anillo simple colocado sobre la cabeza de succión



Anillo doble colocado sobre la cabeza de succión y el rotor



Anillos de desgaste



Estoperos y Sellos Mecánicos

Estoperos y Sellos Mecánicos

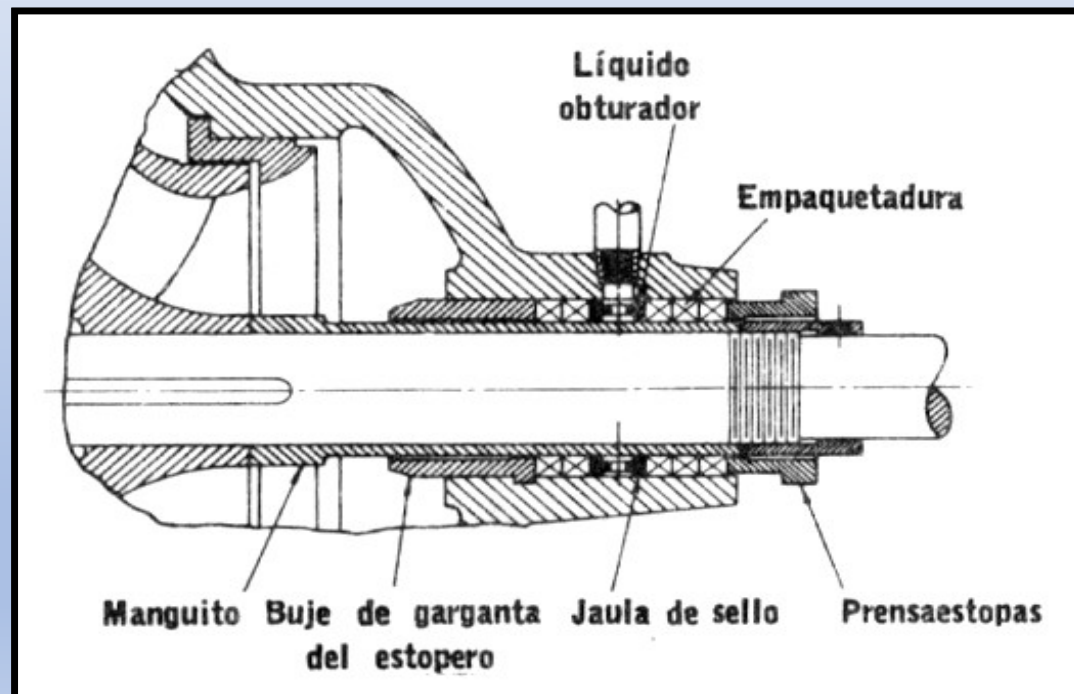
La función principal es la de proteger a la bomba contra el escurrimiento en el punto en que la flecha atraviesa la cubierta de la bomba



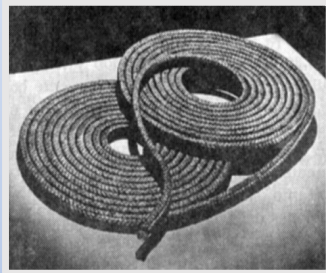
Estoperos

- De gran importancia si se ha de bombear líquidos calientes o las presiones son grandes, o los líquidos corrosivos, radioactivos, etc.
- Generalmente un estopero tiene forma de un hueco cilíndrico que aloja varios anillos de empaquetadura alrededor de la flecha o del manguito de la flecha.
- La empaquetadura puede ser en forma de espiral o de anillos
- La empaquetadura está comprimida para dar el ajuste deseado en la flecha o manguito por medio de un cuello o casquillo de prensaestopas
- Los prensaestopas permiten comprimir el material de cierre contra el eje disminuyendo así la posibilidad de fuga, pueden ser sólidos o divididos

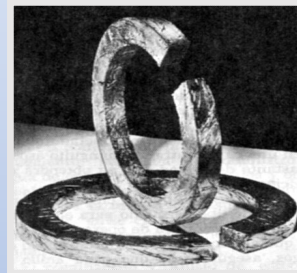
Estoperos



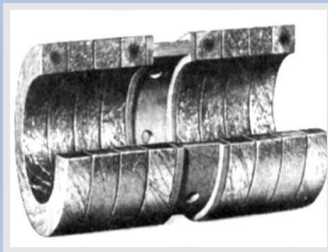
Tipos de Empaquetaduras



De amianto



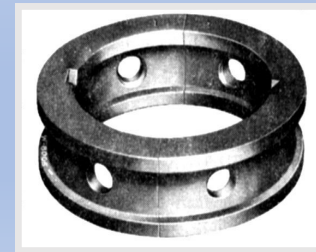
De anillo de metal



Suave y dura



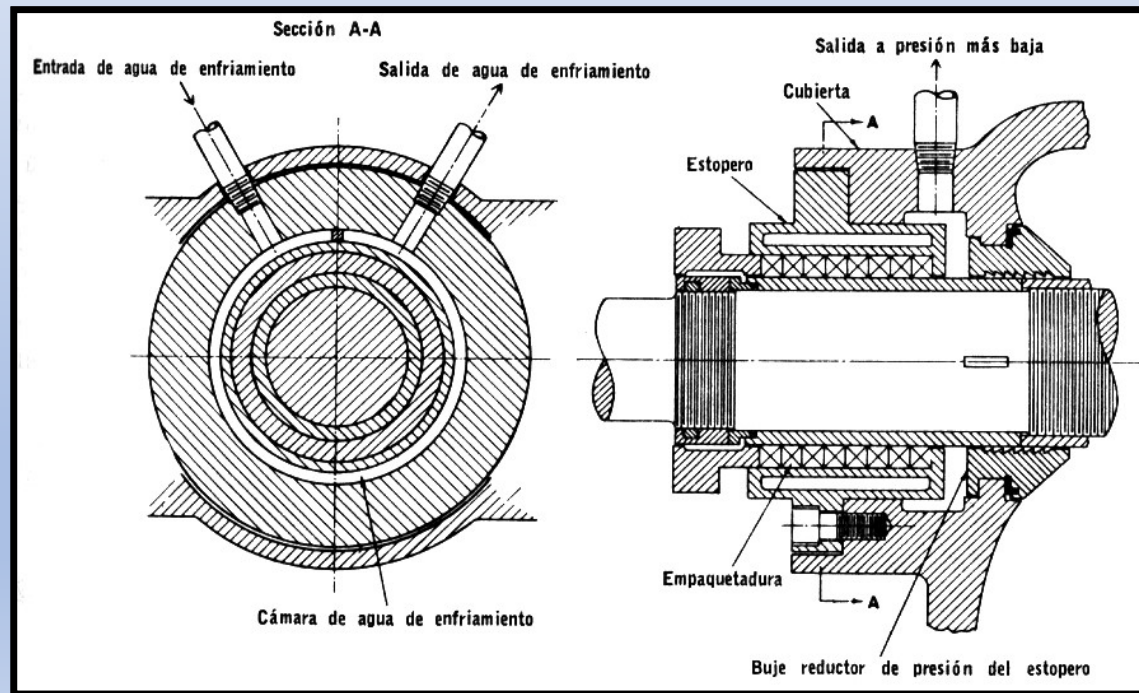
En espiral



Anillo farol o jaula

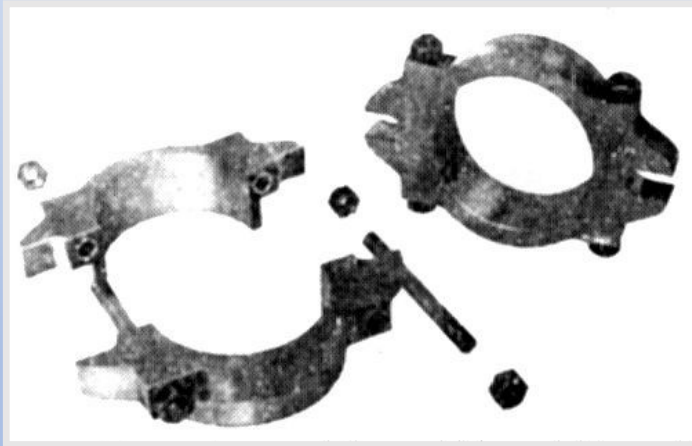
Estoperos

Estopero enfriado por agua

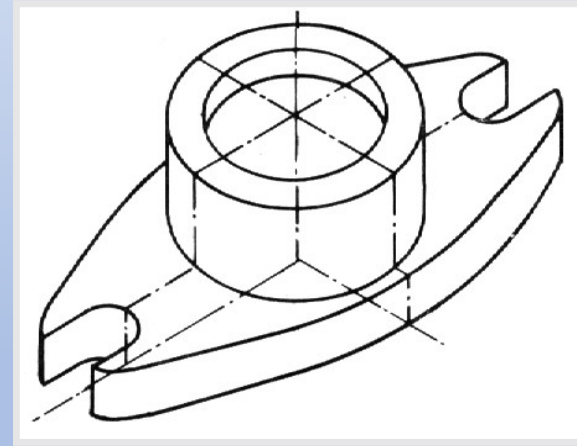


Estoperos

TIPOS DE PRENSAESTOPA

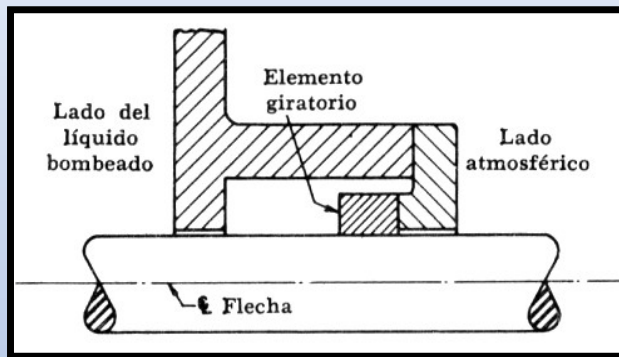


Prensa estopas dividido

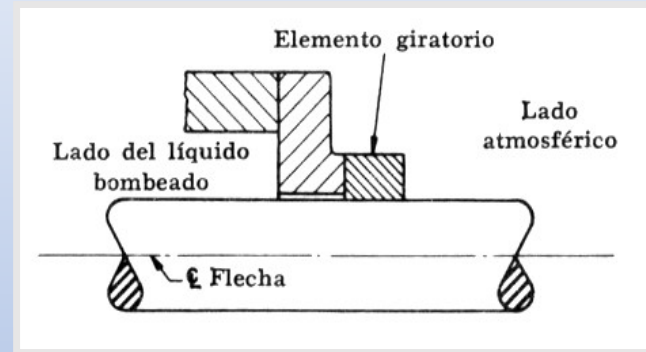


Prensa estopas solido

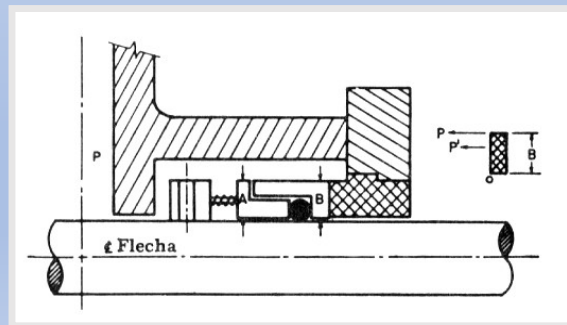
Sellos Mecánicos - Tipos



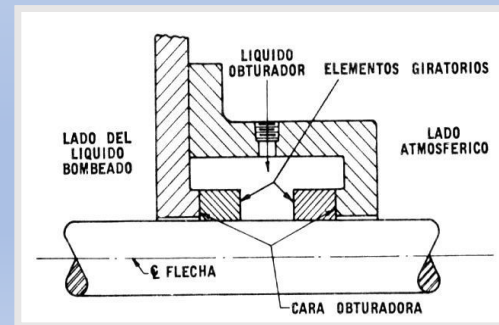
De montaje interior



De montaje exterior

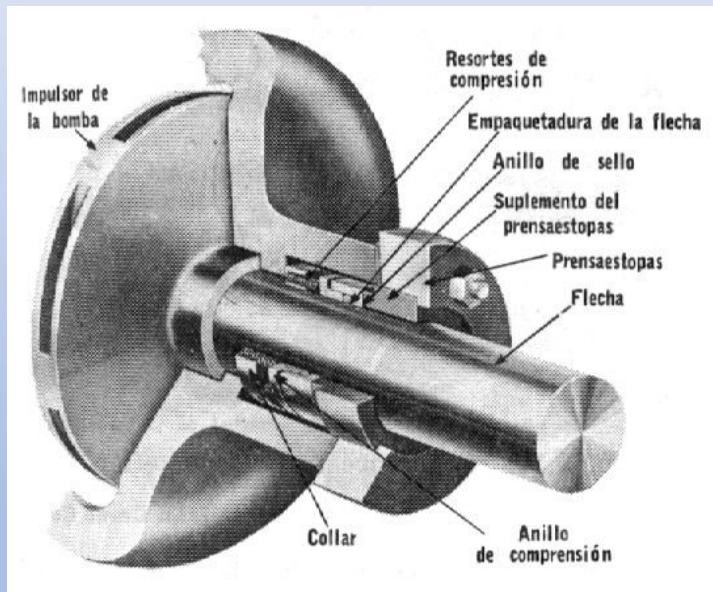


Sello sin compensar

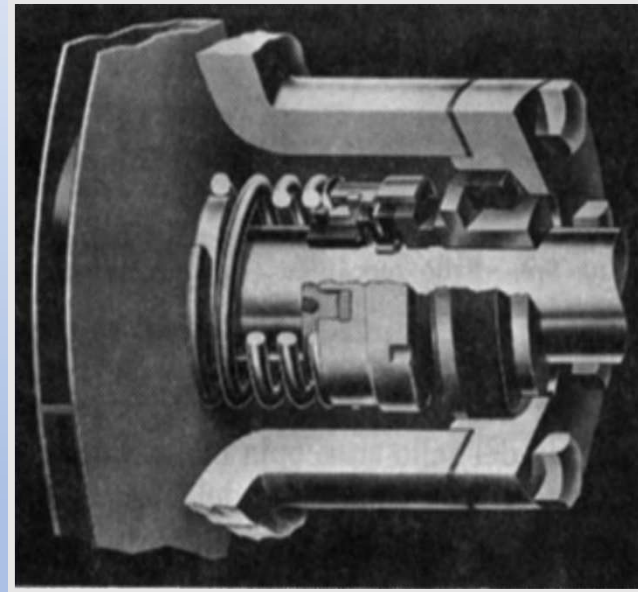


Sello compensado

Sellos Mecánicos

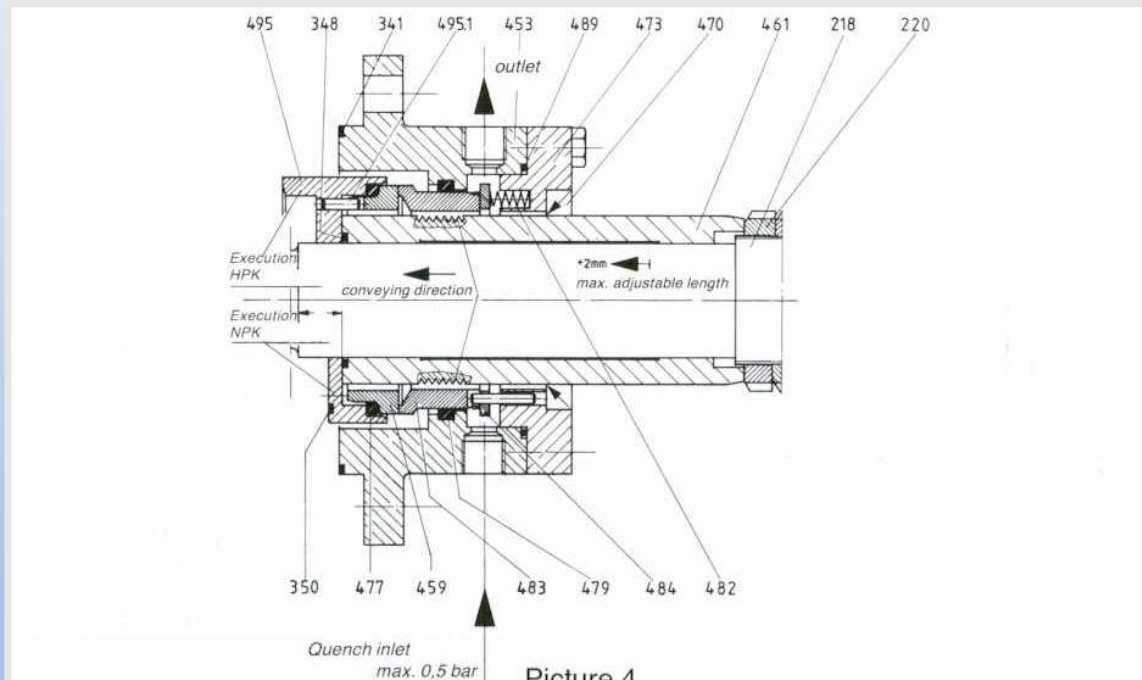


Sello mecanico



Sello mecanico tipo fuelle

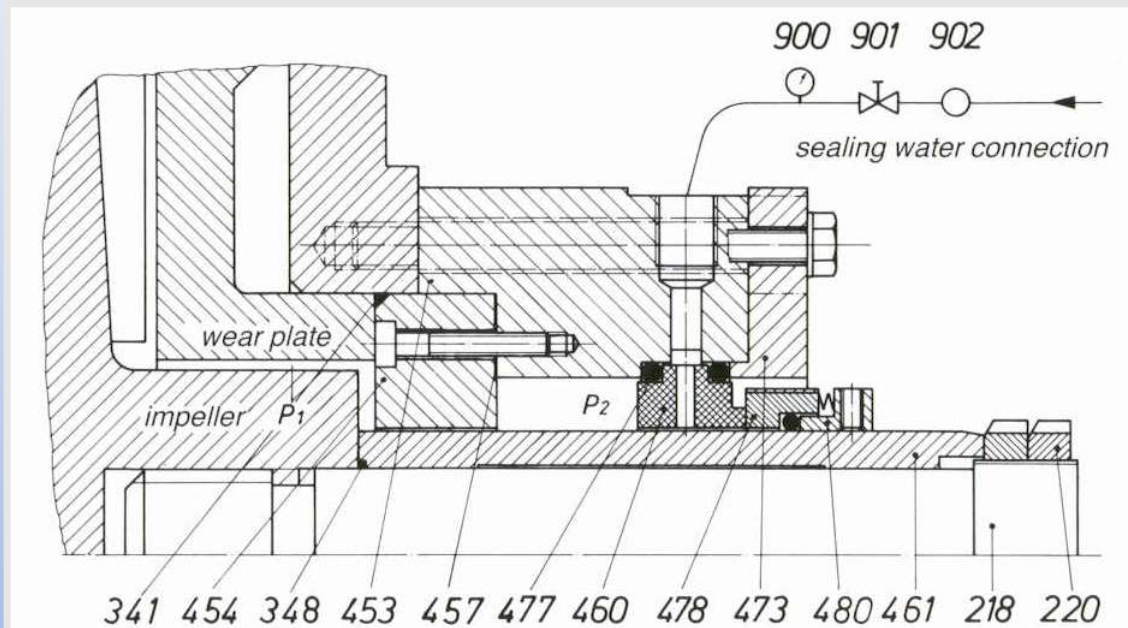
Sellos Mecánicos



Shaft Sealing by Inside Mechanical Seal with Quench Connection

218	shaft	473	sealing cover, drive side
220	shaft nut KM	482	spring
453	sealing casing	483	stationary seal ring
459	rotating seal ring	484	thrust collar
461	shaft sleeve	495	clutch drive ring
470	shaft seal ring		

Sellos Mecánicos



Picture 3

Shaft Sealing by Outer Single-Acting Mechanical Seal

218	shaft	473	sealing cover, atmospheric side
220	shaft nut KM	478	rotating seal ring
453	casing for mechanical seal	480	set collar
454	sealing cover, medium side (throttle section)	900	manometer
460	stationary seal ring with round section joints	901	throttle valve
461	shaft sleeve	902	flow meter

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

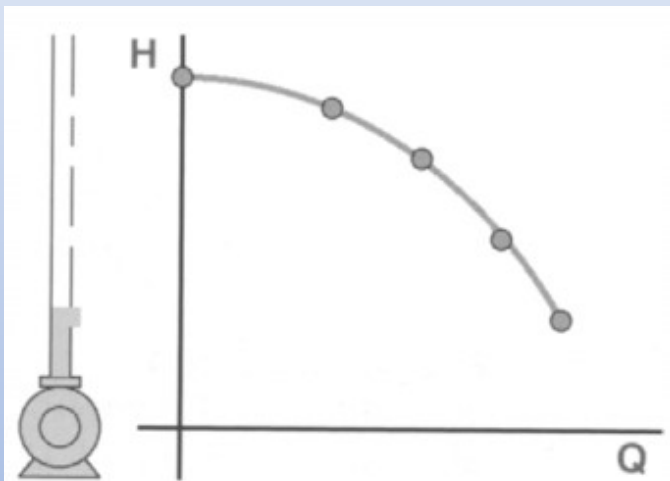


Figure 2.4: Effect of reducing head on capacity



Figure 2.5: Single line pump performance curve

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

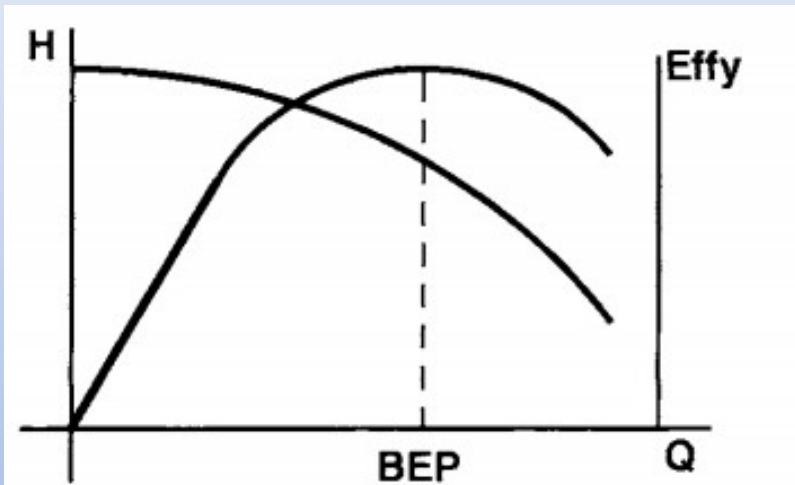


Figure 2.6: Efficiency curve

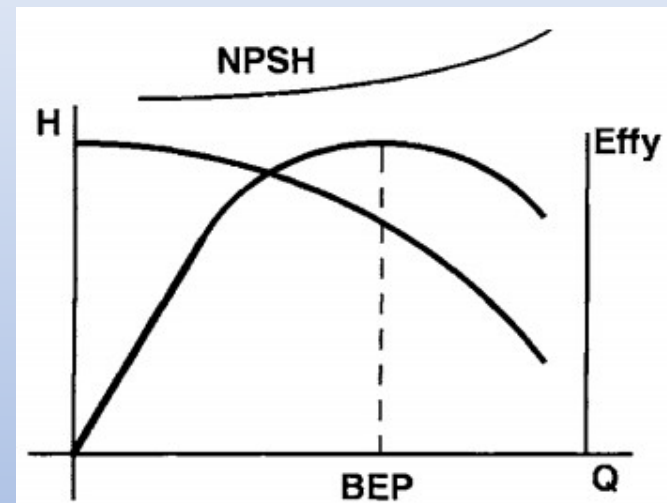
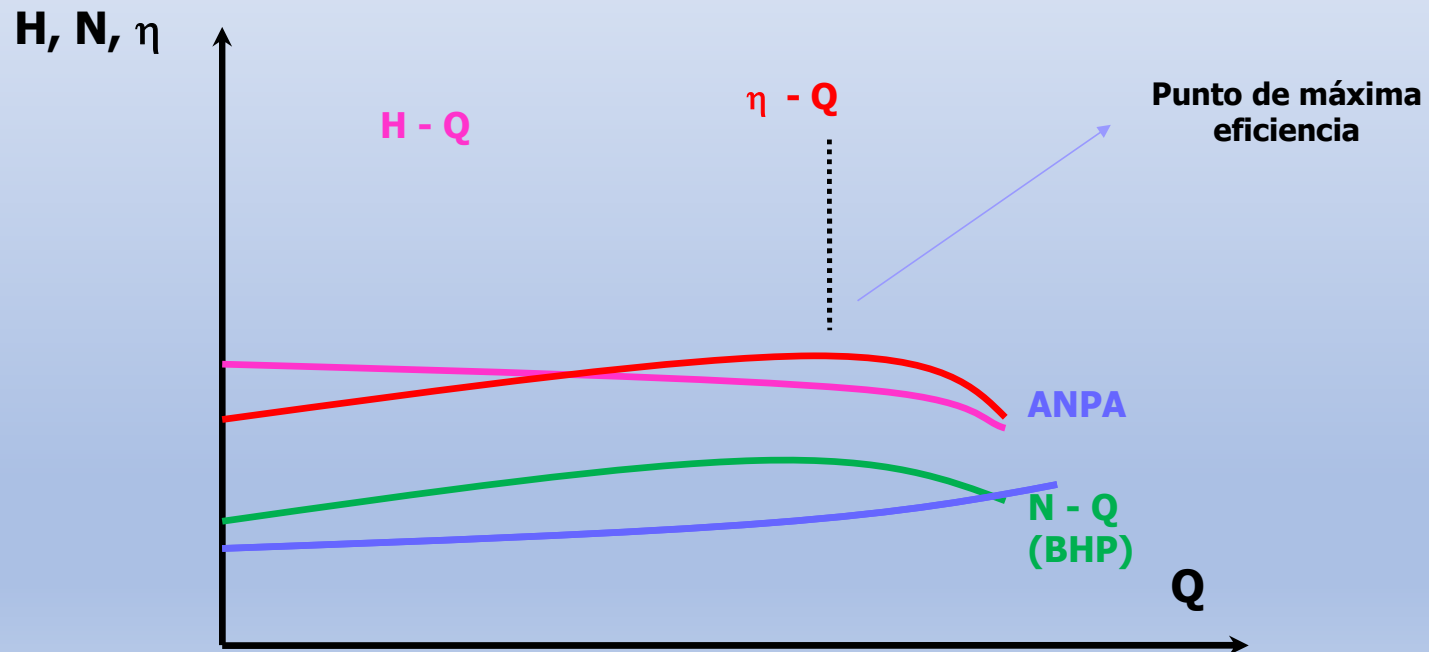


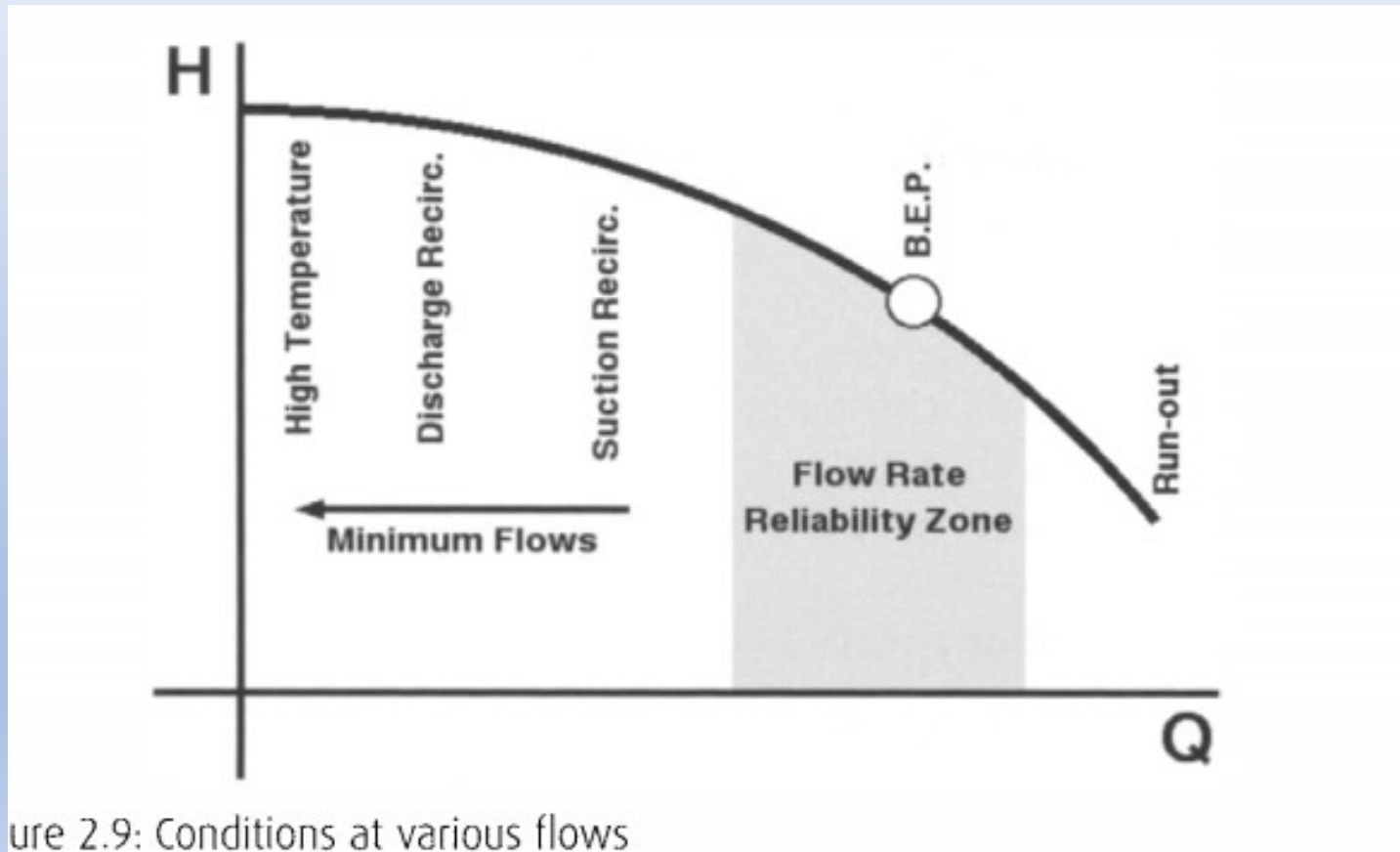
Figure 2.7: NPSH curve

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Curvas más comunes a rpm = cte

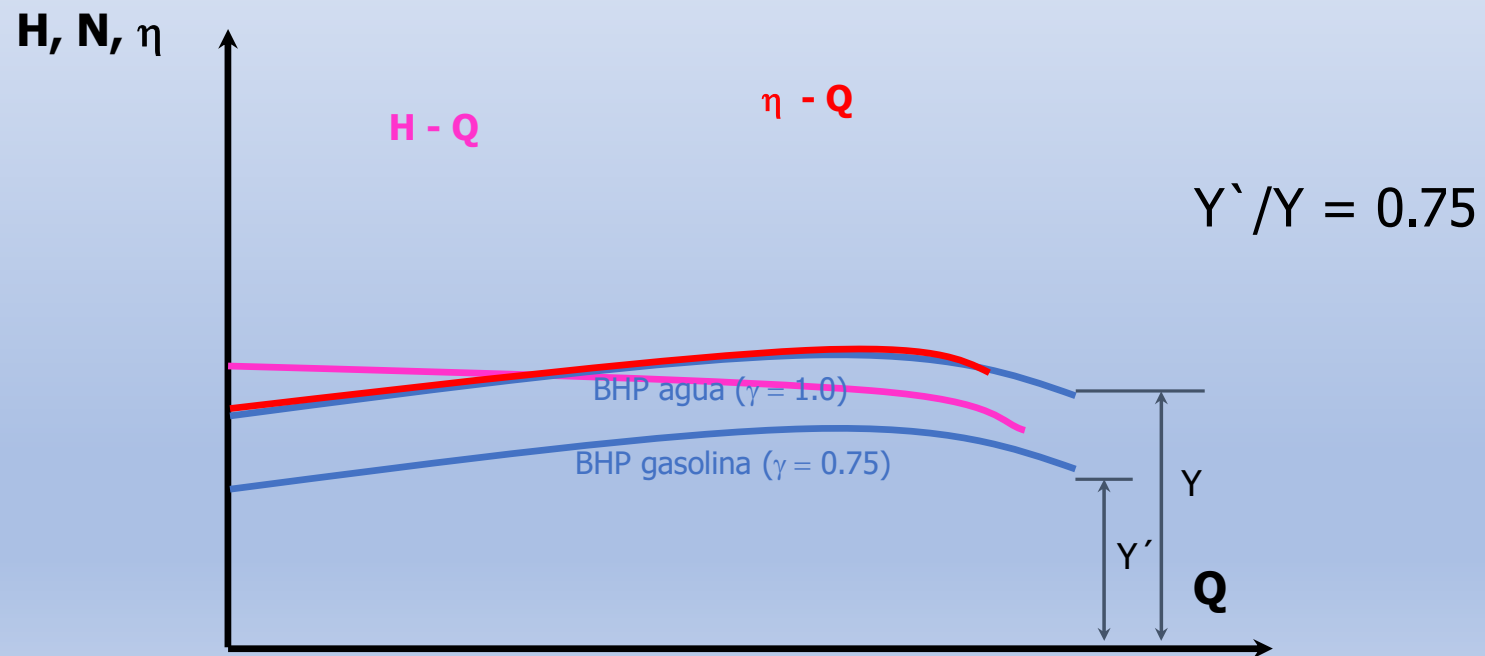


CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS



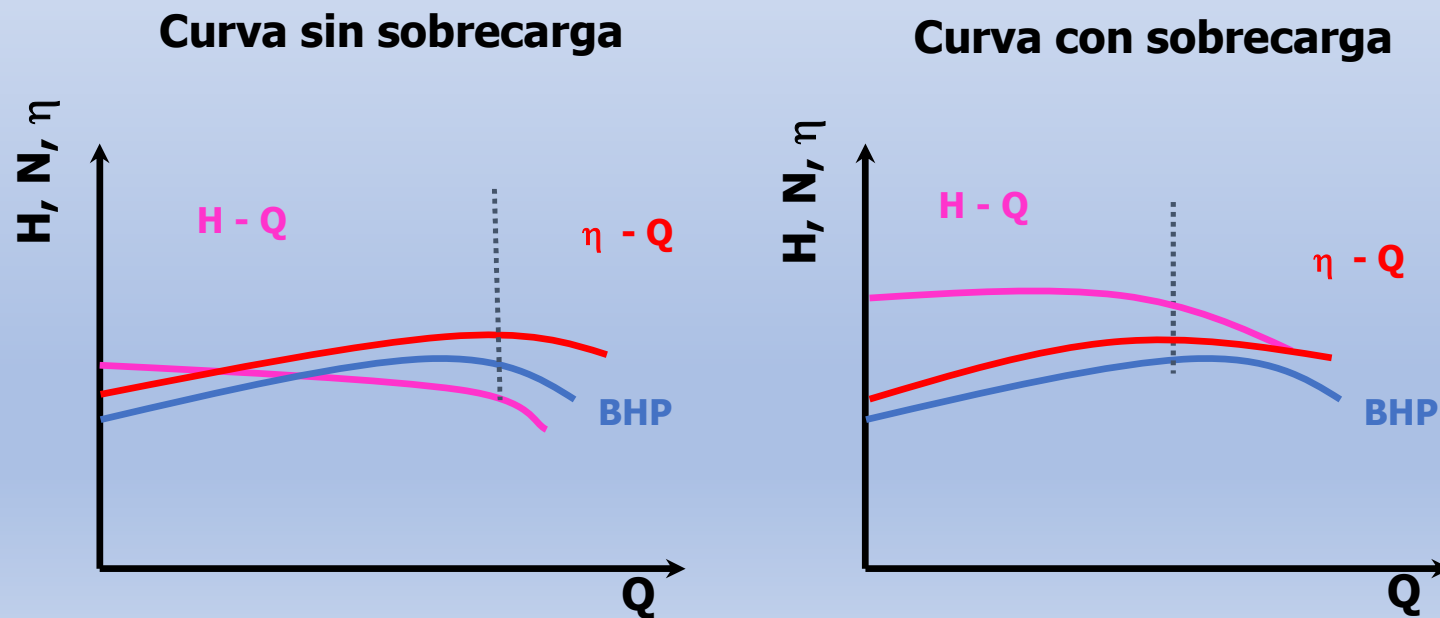
CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Curva de Potencia al Freno



CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Curva de Potencia al Freno



CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Pérdidas y Rendimiento de una bomba centrífuga

Rendimiento Hidráulico

$$\eta_H = \frac{H_e}{H_t} \times 100$$

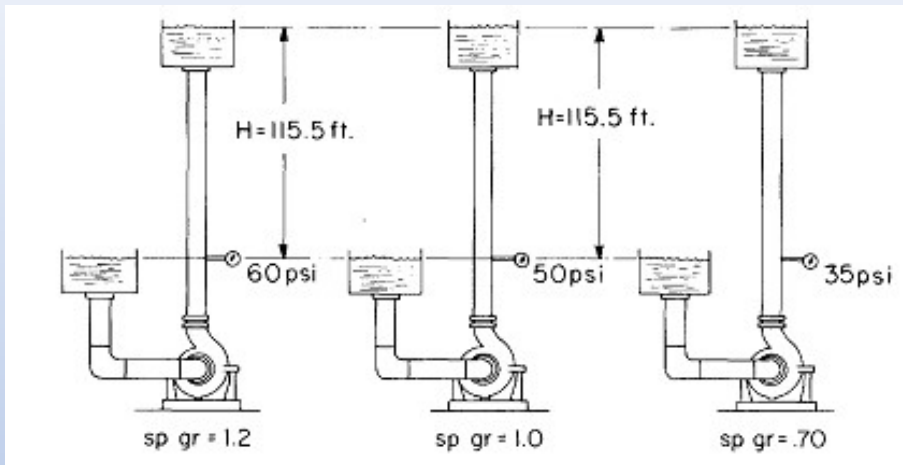
Rendimiento Volumétrico

$$\eta_V = \frac{Q \times 100}{Q + (Q_1 + Q_2)}$$

Rendimiento Total

$$\eta_T = \eta_H \cdot \eta_V \cdot \eta_M$$

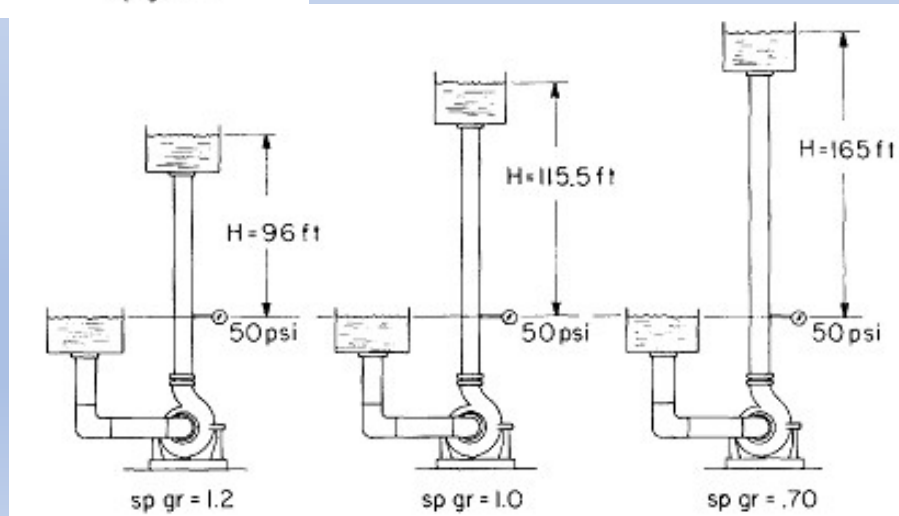
$$\eta_T = \frac{N_u}{N_a}$$

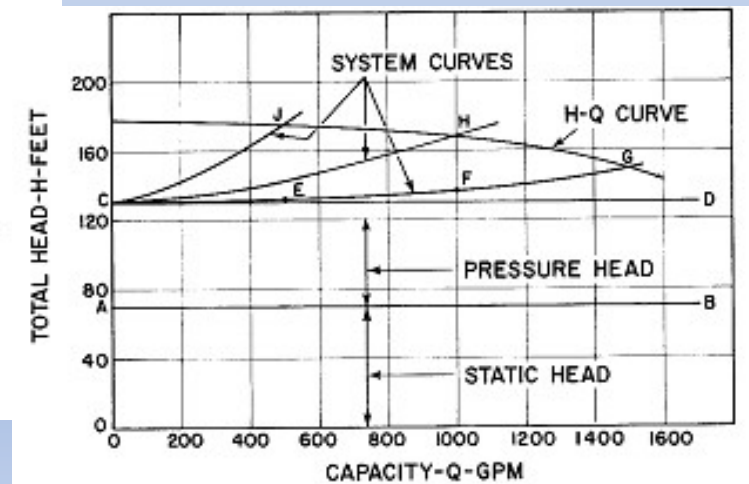
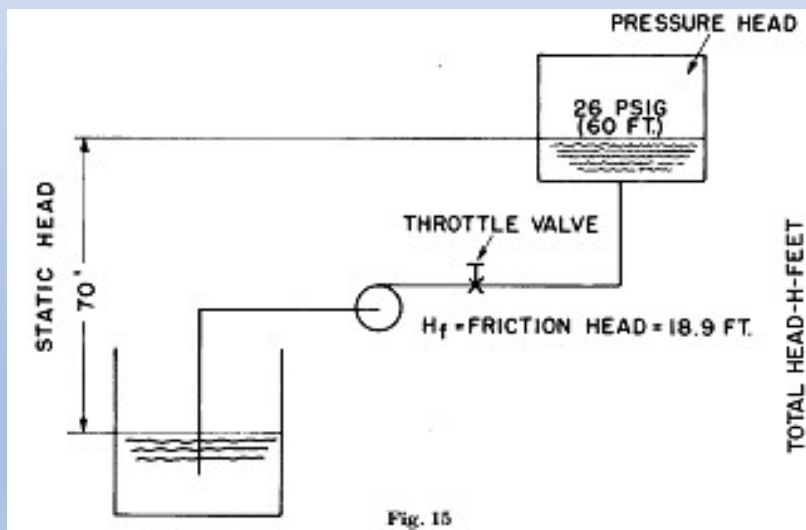
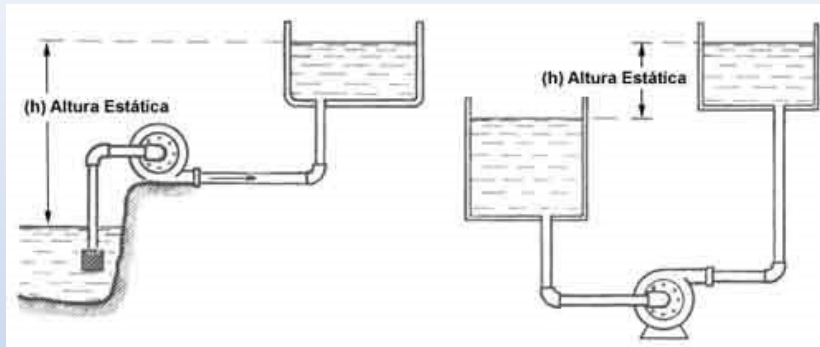


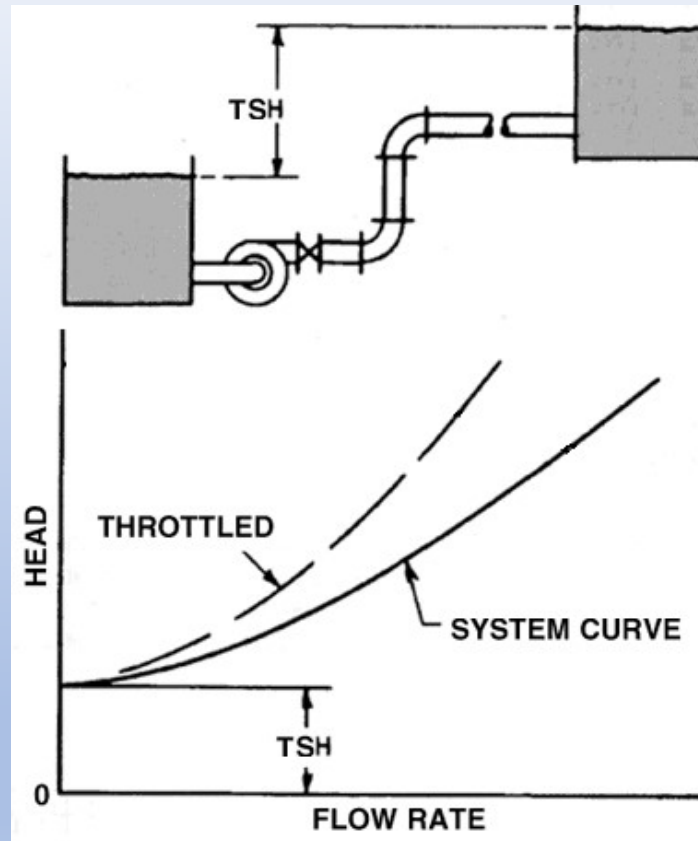
Relación Presión Altura para Diferentes densidades

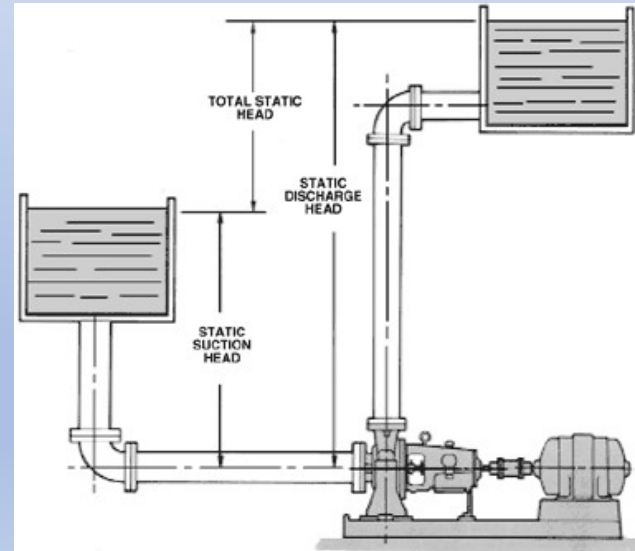
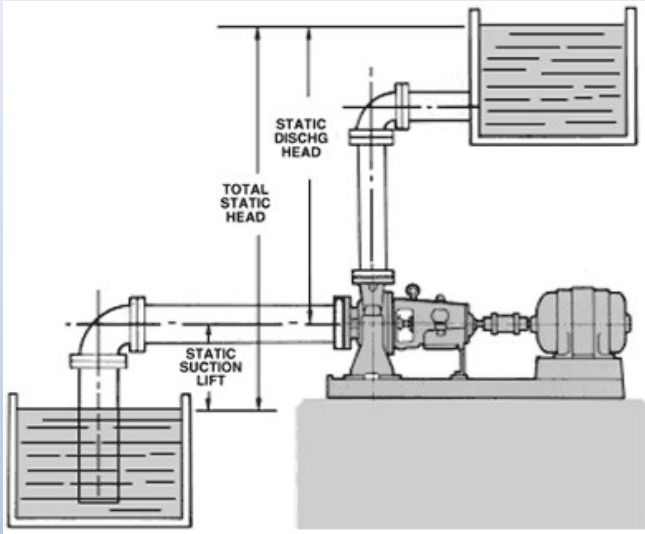
Igual Altura H

Igual Presión



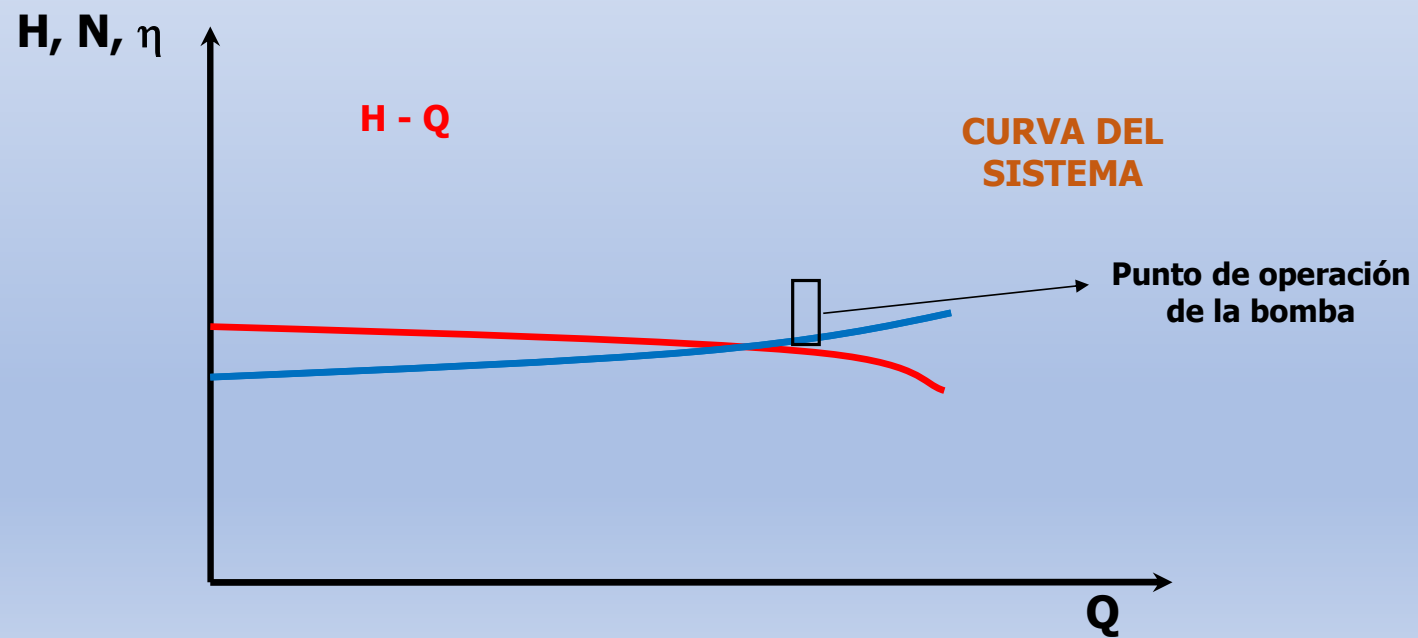




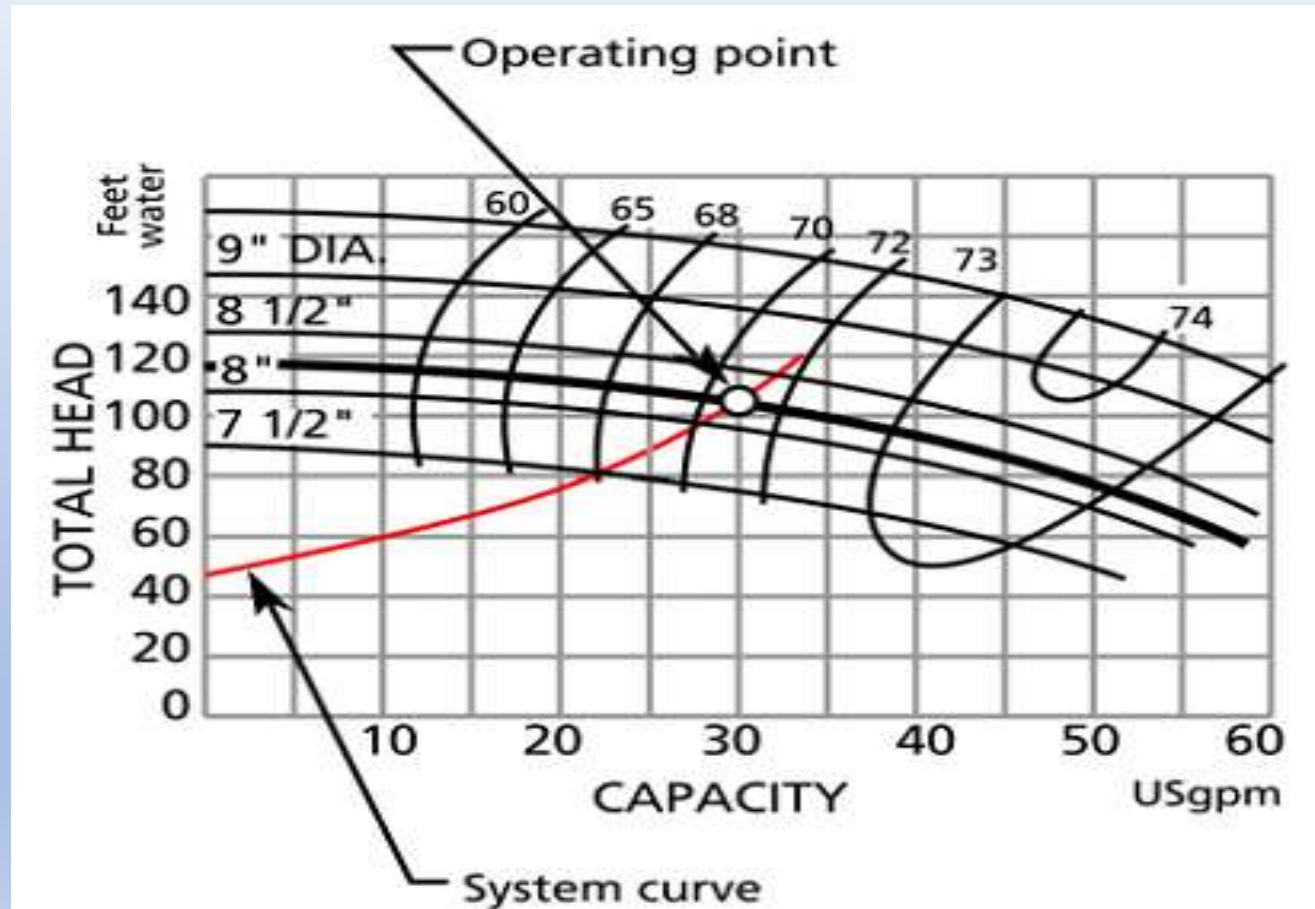


CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

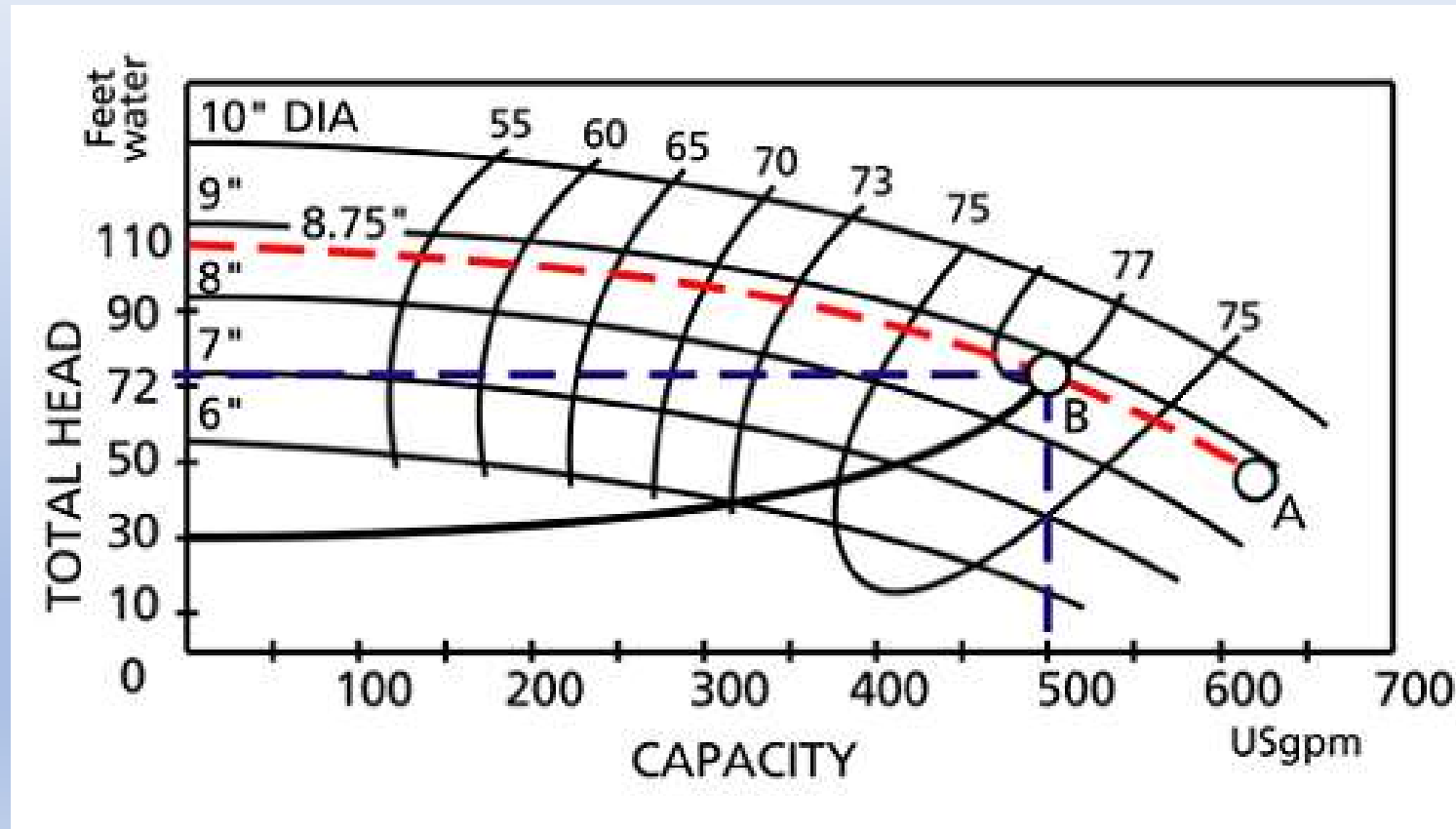
Curva del Sistema



CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

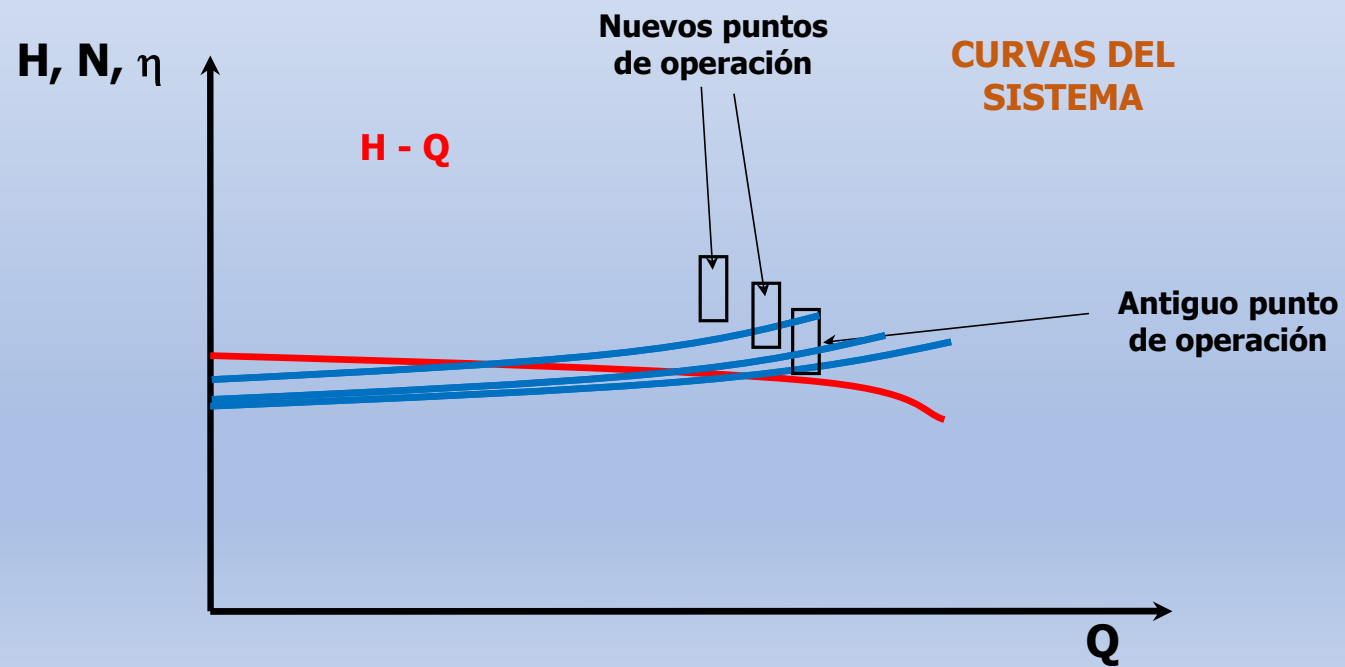


CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS



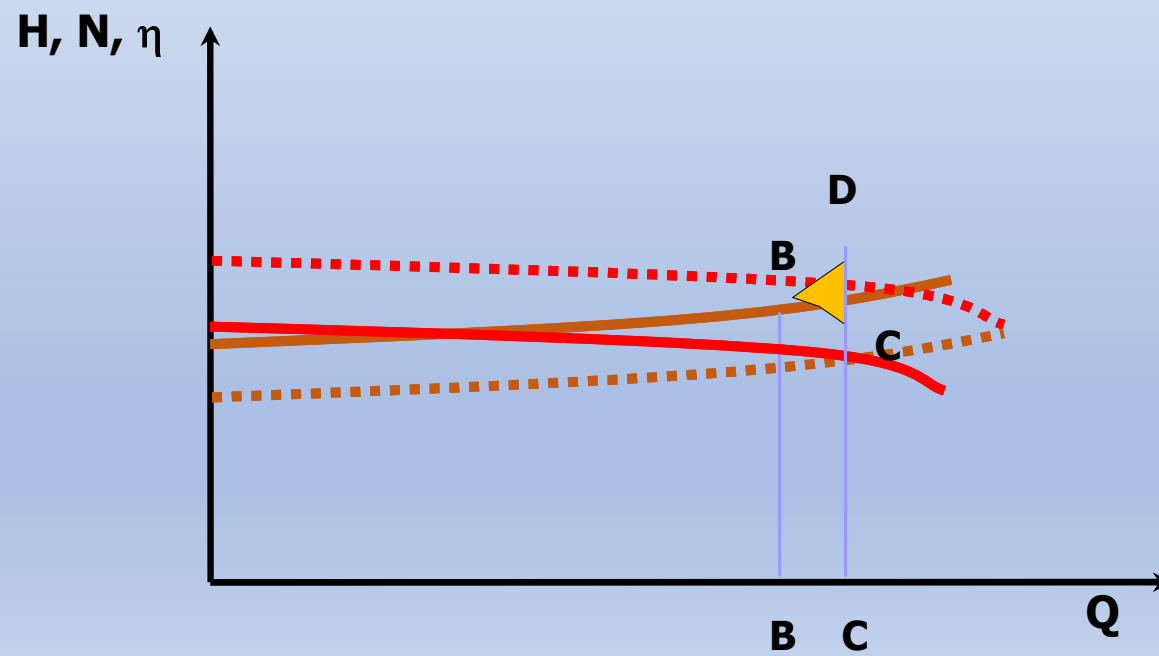
CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Punto de operación de la bomba



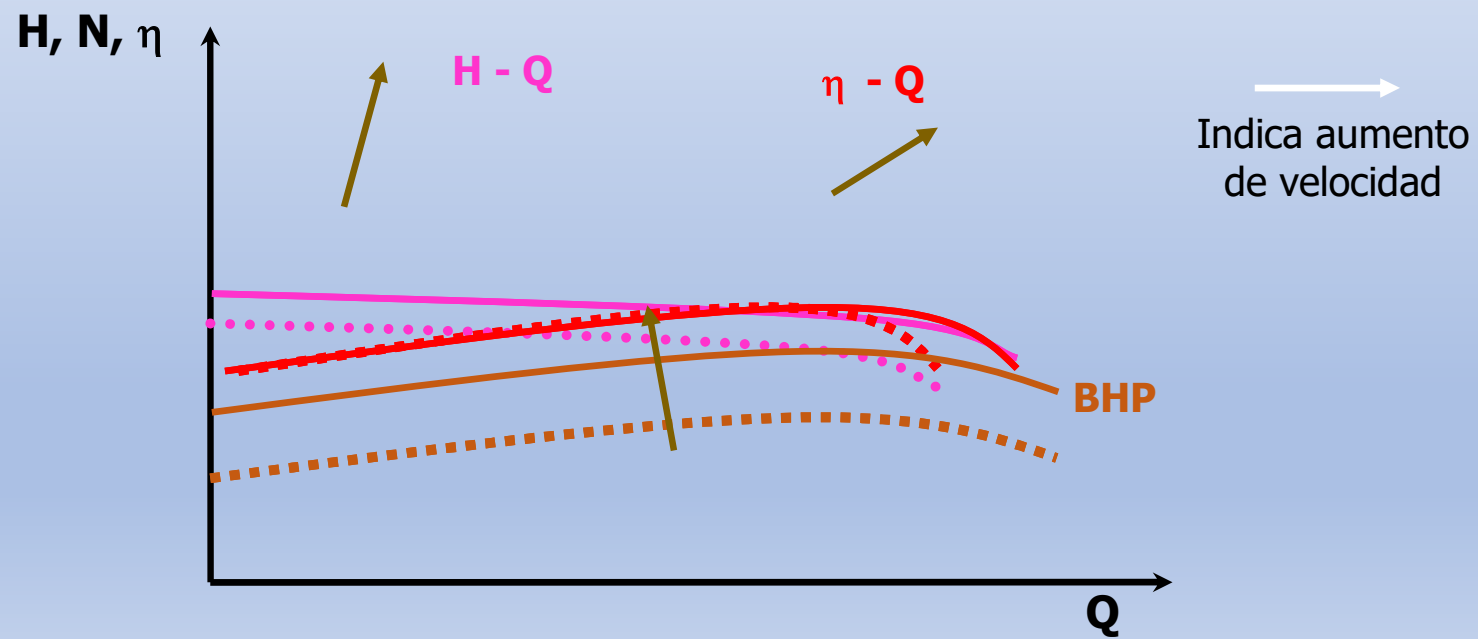
CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Efectos de un aumento de caudal



CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Efectos del cambio de velocidad



Leyes de afinidad

Cambios de velocidad:

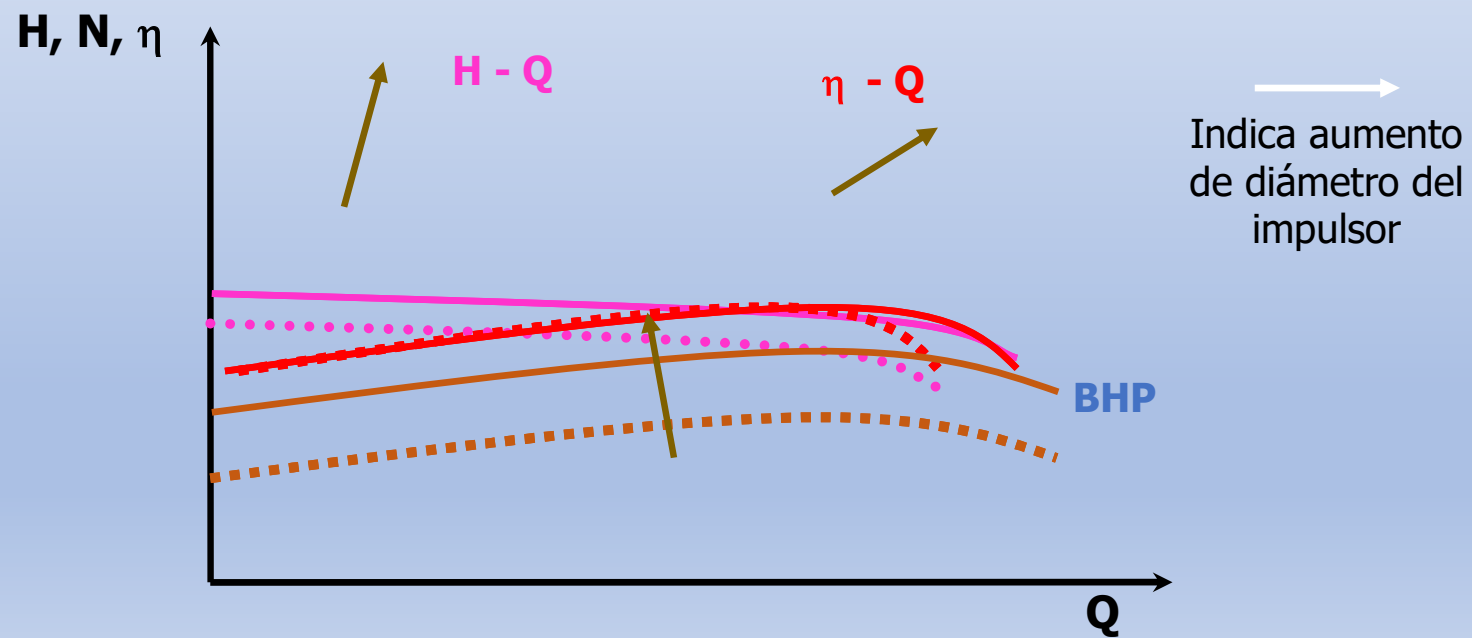
$$\frac{RPM_1}{RPM_2} = \frac{GPM_1}{GPM_2} = \sqrt{\frac{Altura_1}{Altura_2}} = \sqrt[3]{\frac{BHP_1}{BHP_2}}$$

$$\left[\frac{RPM_1}{RPM_2} \right]^3 = \frac{BHP_1}{BHP_2}$$

$$\left[\frac{RPM_1}{RPM_2} \right]^2 = \frac{HEAD_1}{HEAD_2}$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Efectos del cambio de impulsor



Leyes de afinidad

Cambios de diámetro de impulsor:

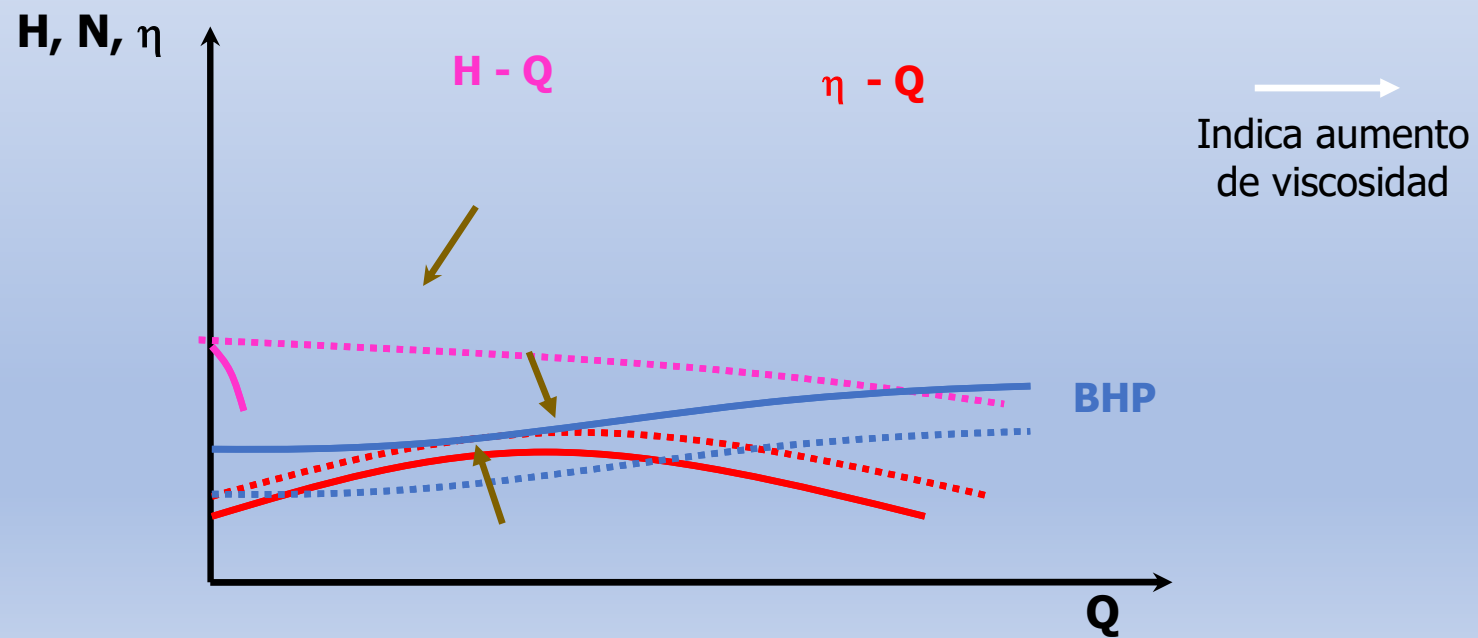
$$\frac{IMP_1}{IMP_2} = \frac{GPM_1}{GPM_2} = \sqrt{\frac{Altura_1}{Altura_2}} = \sqrt[3]{\frac{BHP_1}{BHP_2}}$$

$$\left[\frac{IMP_1}{IMP_2} \right]^3 = \frac{BHP_1}{BHP_2}$$

$$\left[\frac{IMP_1}{IMP_2} \right]^2 = \frac{HEAD_1}{HEAD_2}$$

CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

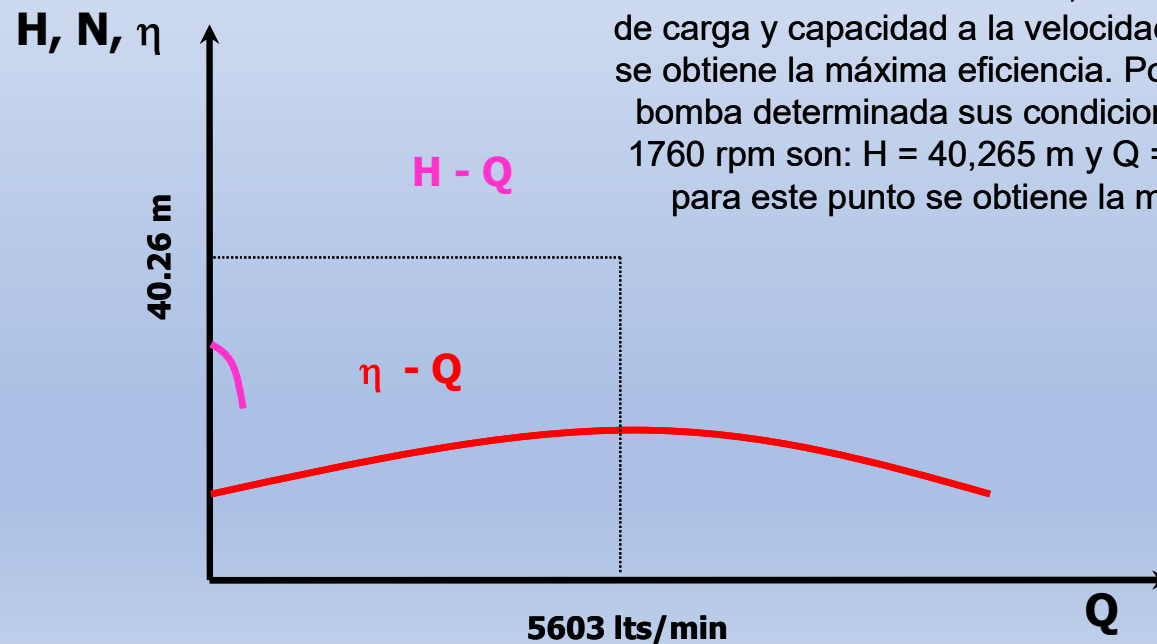
Efectos de la viscosidad del líquido



CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

Número específico de revoluciones

Las bombas se analizan y comparan básicamente en sus “condiciones de diseño”, es decir, en la condición de carga y capacidad a la velocidad clasificada a la que se obtiene la máxima eficiencia. Por ejemplo, para una bomba determinada sus condiciones de diseño a $n = 1760$ rpm son: $H = 40,265$ m y $Q = 5602$ lt/min ya que para este punto se obtiene la máxima eficiencia.



Altura de Elevación

Altura de Elevación

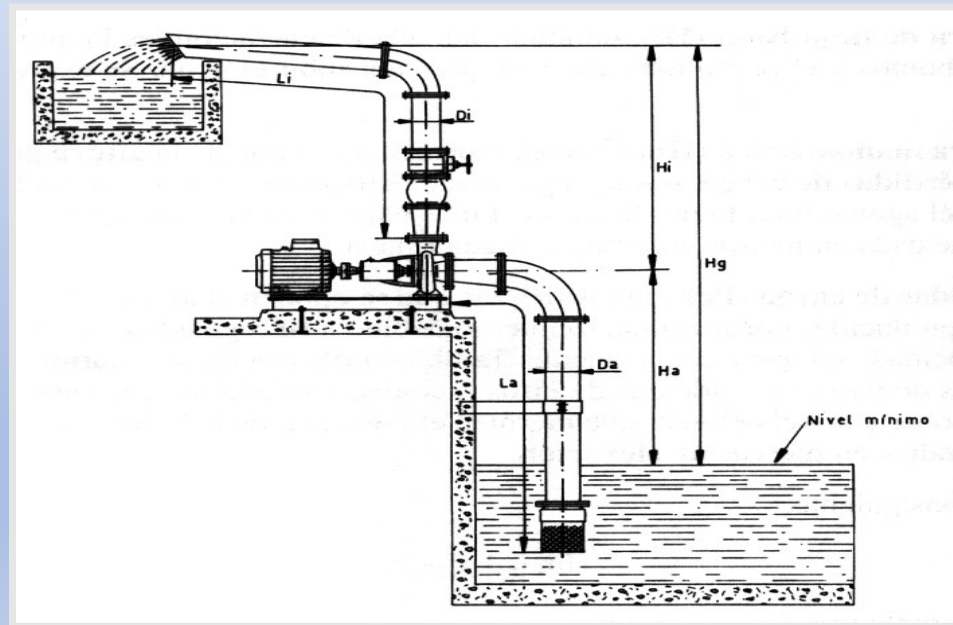
Planteamiento del problema

- **La ubicación de la bomba centrífuga en la instalación puede ser variada**
- **Las características de la cañería de aspiración determinan las pérdidas**
- **Las bombas centrífugas no poseen autoaspiración como las bombas de desplazamiento positivo**
- **Altura de aspiración estática (depende la presión en la cámara de aspiración)**

Altura de elevación

ANPA (Altura Neta Positiva de Aspiración)

Determina las características que se deben dar en la aspiración de una bomba, siendo la diferencia entre la presión del líquido a bombear referido al eje del impulsor (plano de referencia) y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo (todo referido a metros).



Altura de elevación

Tipos de ANPA

- **ANPA Disponible**

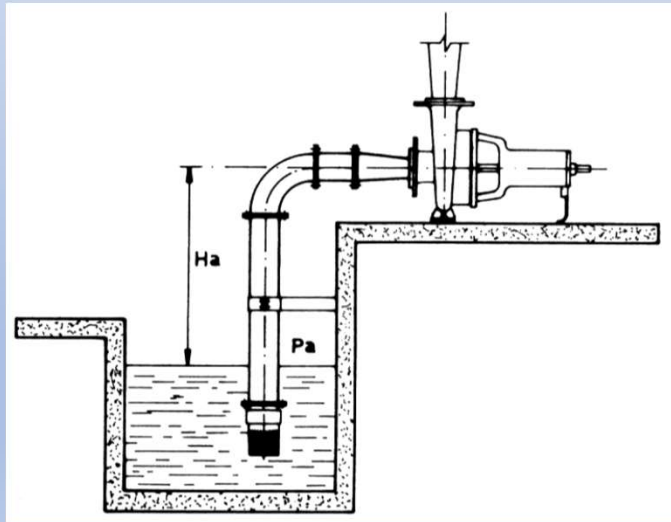
Se define como la energía que tiene un líquido en la toma de aspiración de la bomba (independientemente del tipo de ésta), por encima de la energía del líquido, debido a su presión de vapor

$$\text{ANPA}_D = \frac{P_a - P_v}{\gamma} \pm H_a - \frac{v^2}{2 \cdot g} - \Delta h$$

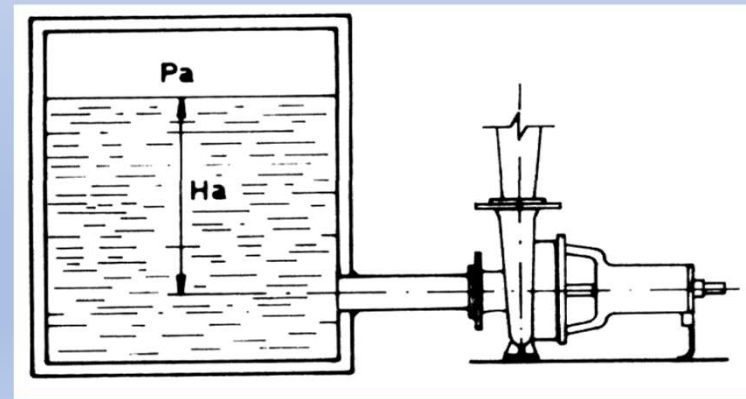
Altura de Elevación – Tipos de ANPA

- **ANPA Disponible**

- H_a



+ H_a



Altura de Elevación – Tipos de ANPA

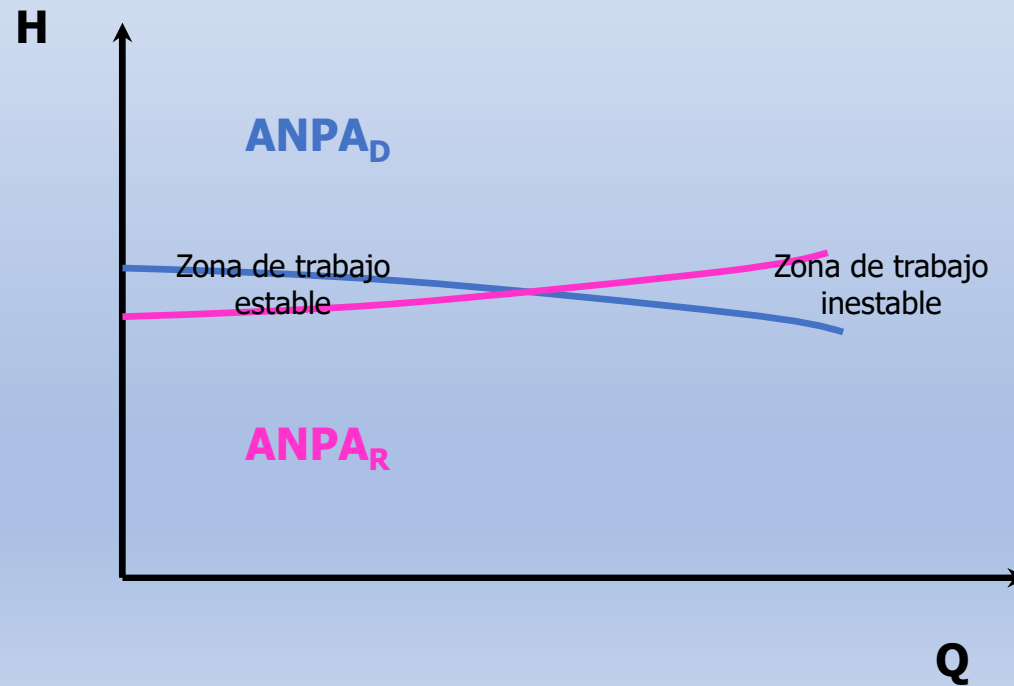
- **ANPA Requerido**

Es una característica de la bomba. Es aquella energía necesaria para llenar la parte de aspiración y vencer las pérdidas por rozamiento y el aumento de la velocidad desde la conexión de aspiración de la bomba hasta el punto en que se añade más energía en el rotor.

Varía según el diseño de la bomba, tamaño de ésta y condiciones de servicio, y es un dato a facilitar por el fabricante de la bomba, que lo determina mediante ensayos experimentales.

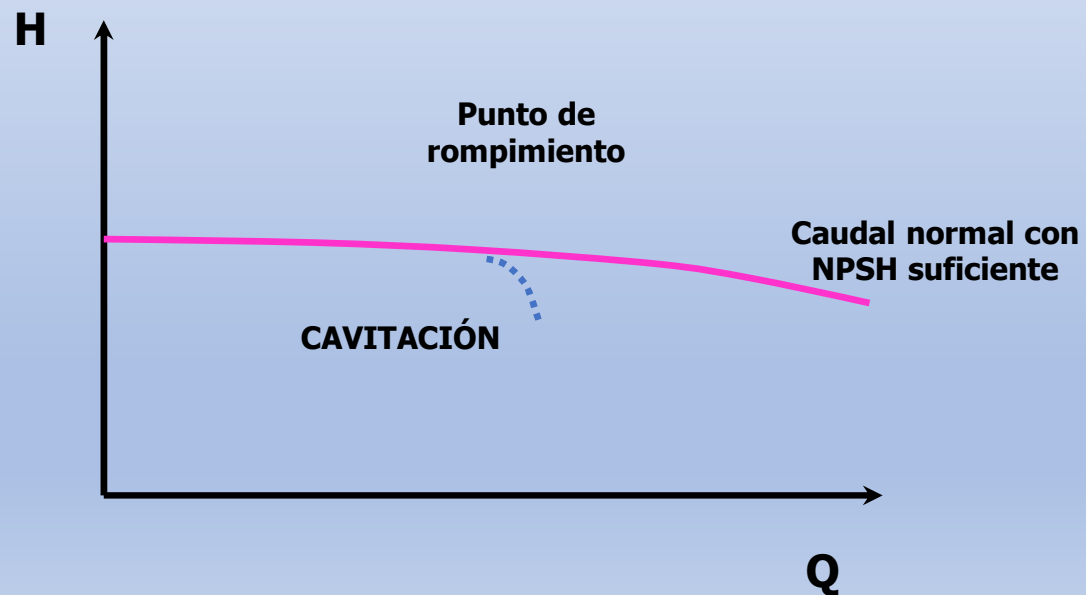
Altura de Elevación – Tipos de ANPA

Tipos de ANPA

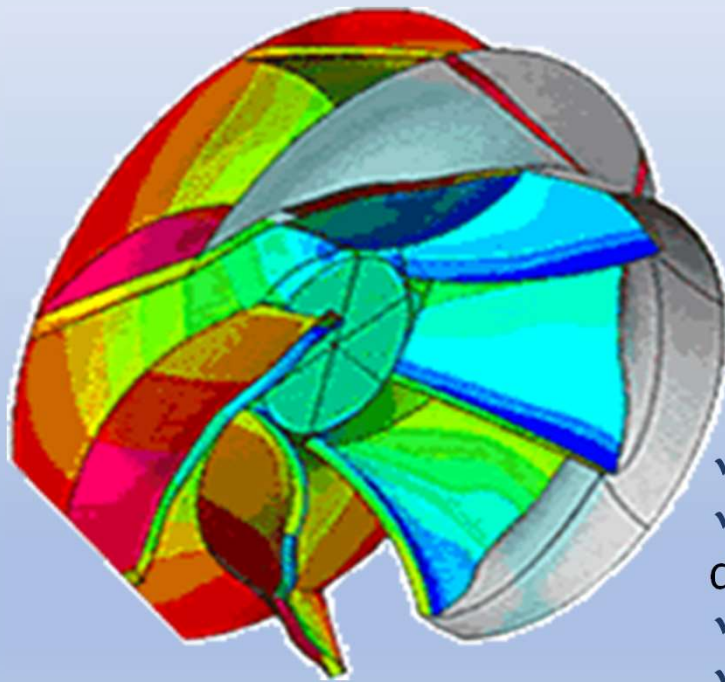


CAVITACIÓN

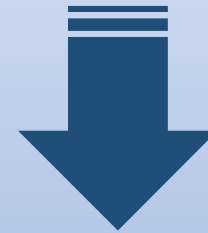
“Es un fenómeno de vaporización, más o menos brusca del líquido bombeado cuando la presión desciende a la presión de vapor”.



CAVITACIÓN

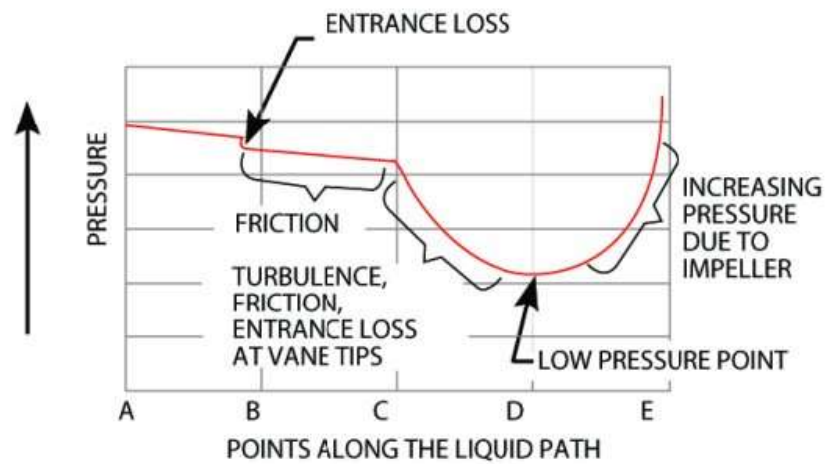
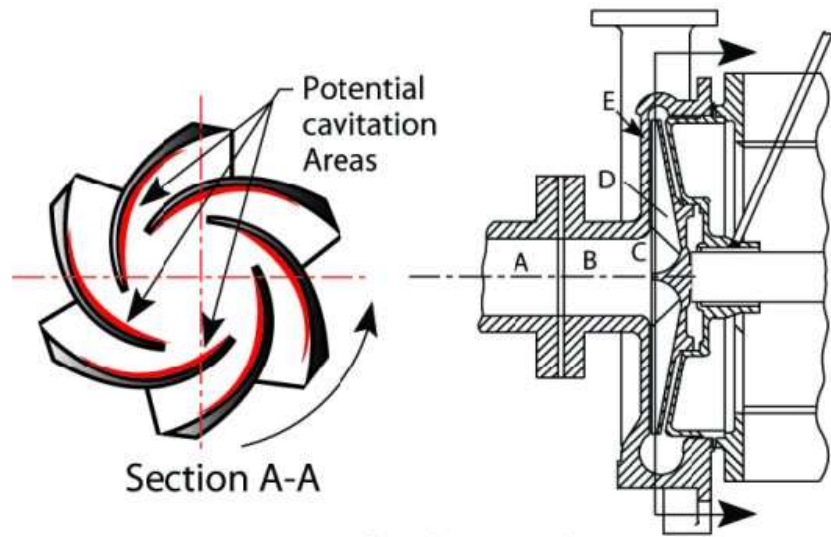


La cavitación afecta las condiciones de servicio de la bomba



- ✓ Picaduras en los álabes del impulsor.
- ✓ Tensiones alternativas de alto valor (que deteriora las superficies internas)
- ✓ empujes axiales anormales
- ✓ Vibración
- ✓ Ruidos.

Cavitación



Cavitación



CAVITACIÓN

Casos más susceptibles a cavitación

- ✓ Cuando la bomba está instalada a una gran altura sobre el nivel de aspiración.
- ✓ Cuando la bomba aspira de un depósito al vacío.
- ✓ Cuando la línea de succión es muy larga (elevada pérdida de carga)
- ✓ Cuando el sistema de bombeo está a una altura considerable sobre el nivel del mar (poca presión atmosférica)

Cavitación

La solución es aumentar el ANPAD

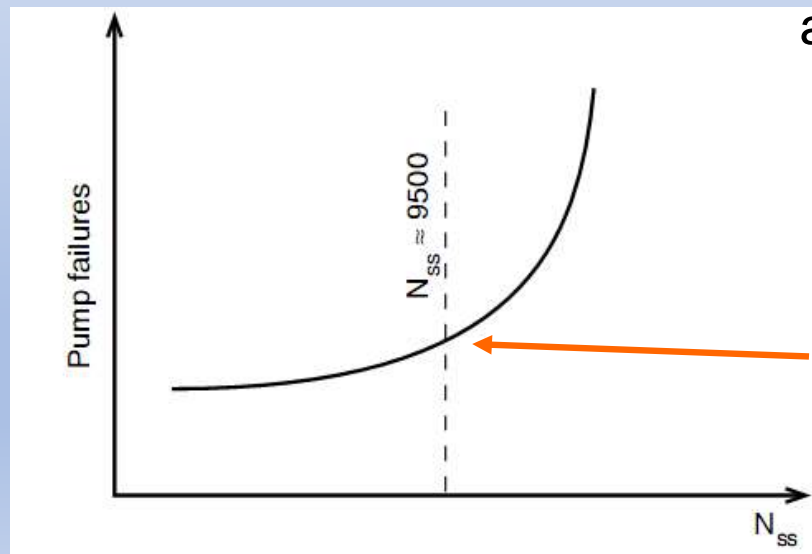


- ✓ Aumentar el diámetro de la tubería de aspiración (para reducir la velocidad de aspiración).
- ✓ Disminuir la altura geométrica de aspiración.
- ✓ Cambiar a una bomba mayor a menor velocidad.
- ✓ Rebajar la temperatura del fluido bombeado.
- ✓ Emplear válvulas y tuberías de aspiración de bajo coeficiente de fricción.
- ✓ Colocar una bomba con un ANPA requerido más bajo.

Relación Fallas vs. Velocidad Específica de Succión

$$N_{ss} = \frac{\text{RPM} \sqrt{Q}}{\text{NPSHR}^{0.75}}$$

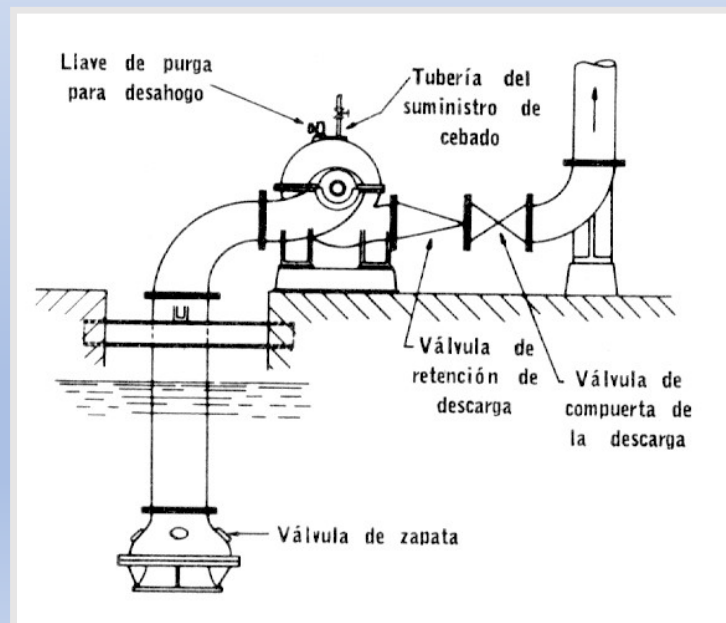
❖ La velocidad específica de succión caracteriza el tamaño del ojo de aspiración.



Incremento de la tasa de fallas por encima de $N_{ss} = 9500$

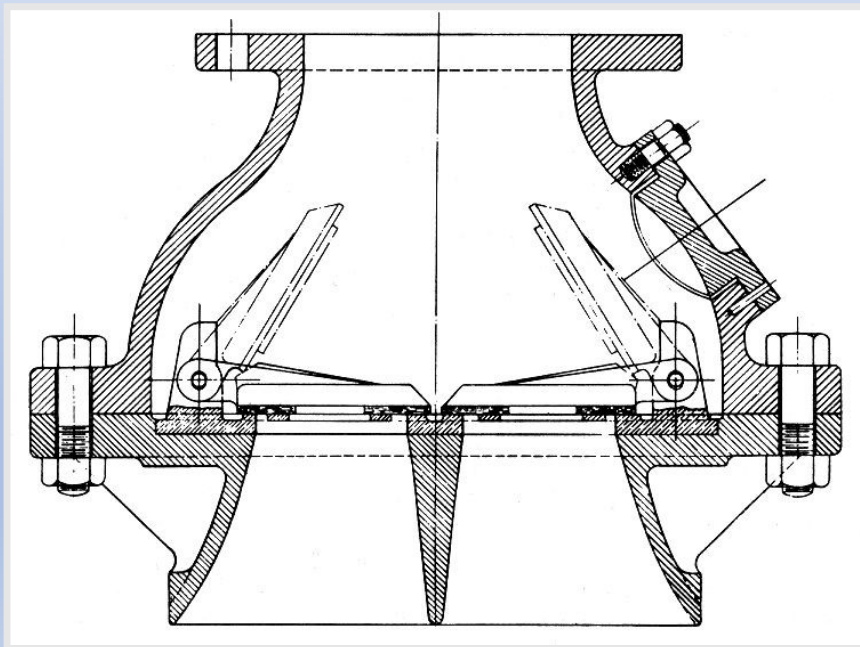
Cebado

Las bombas centrífugas deben cebarse para que sus conductos se llenen con el líquido que se va a bombear. El líquido reemplaza al aire, gas o vapor en los conductos.

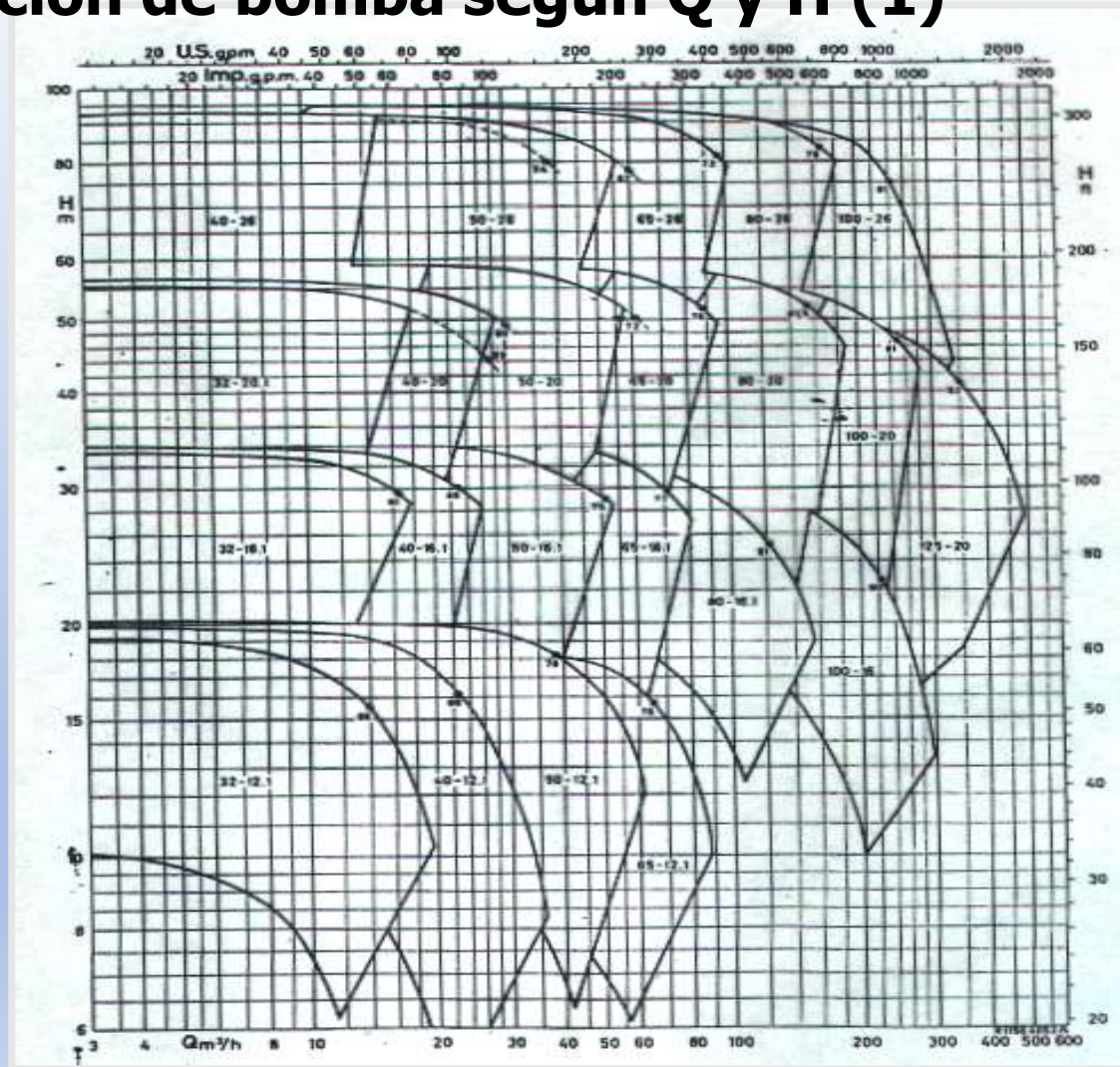


Cebado

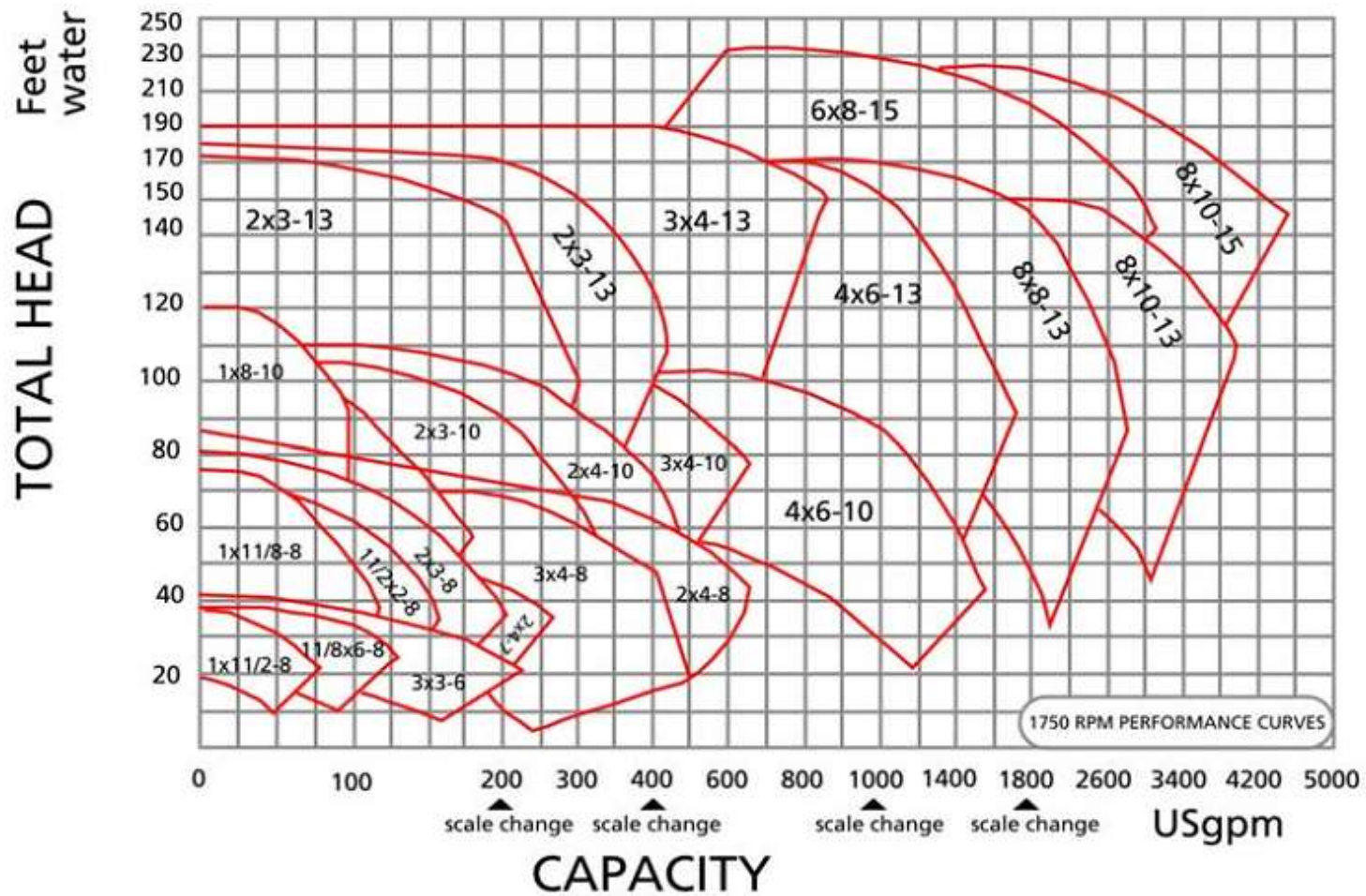
Válvulas de aspiración (retención)



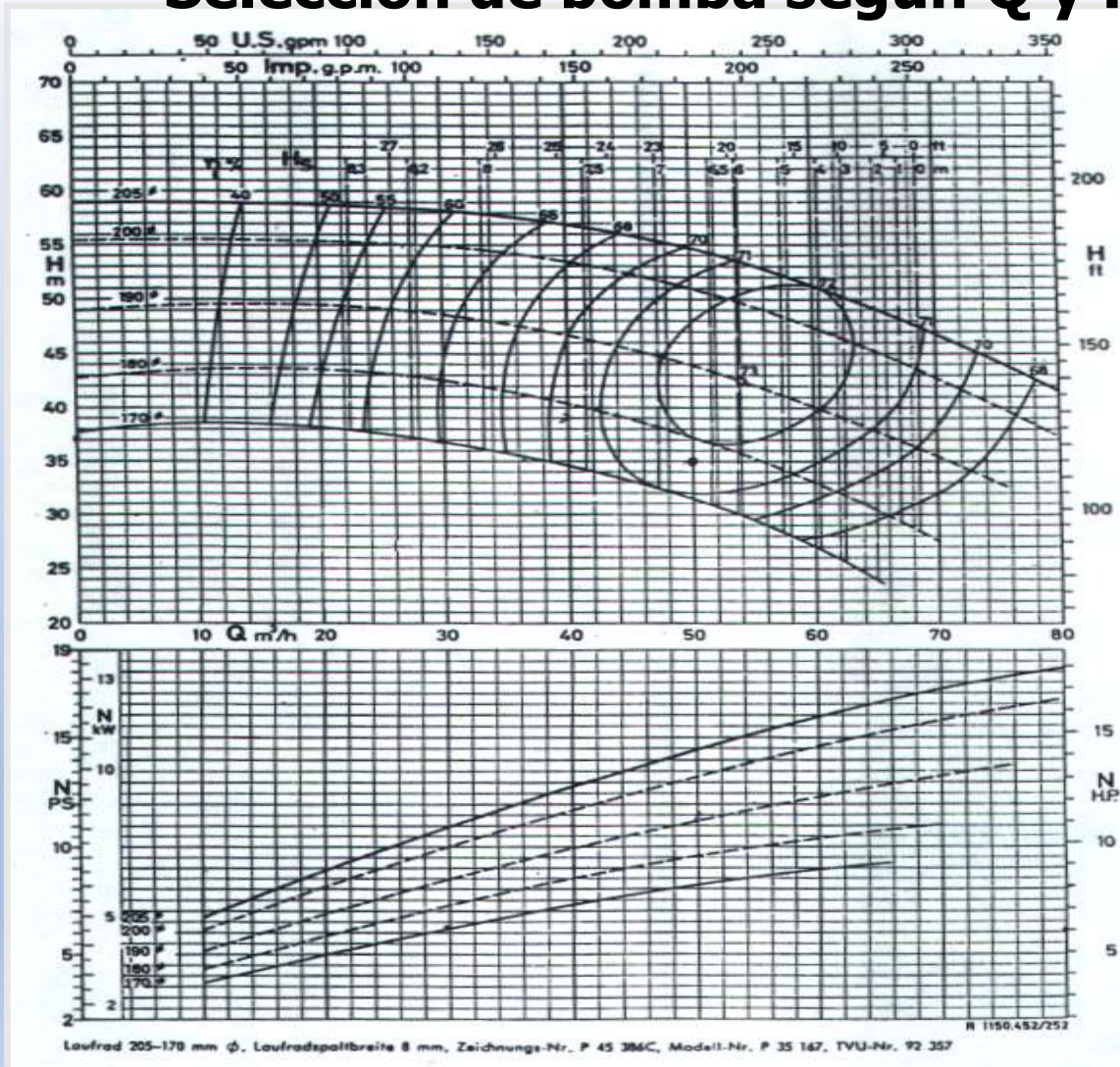
Selección de bomba según Q y H (1)



Selección de bomba según Q y H (1)

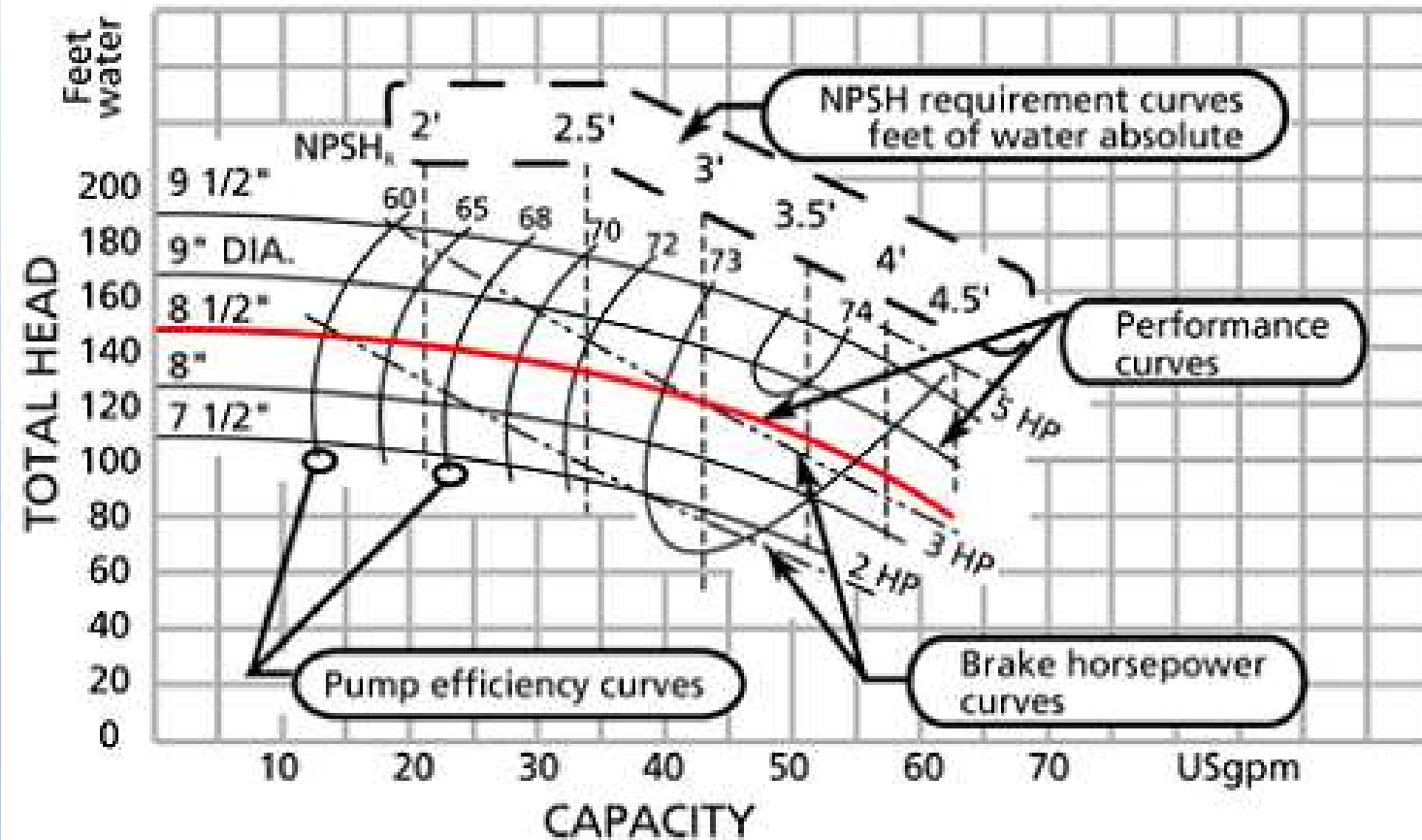


Selección de bomba según Q y H (2)

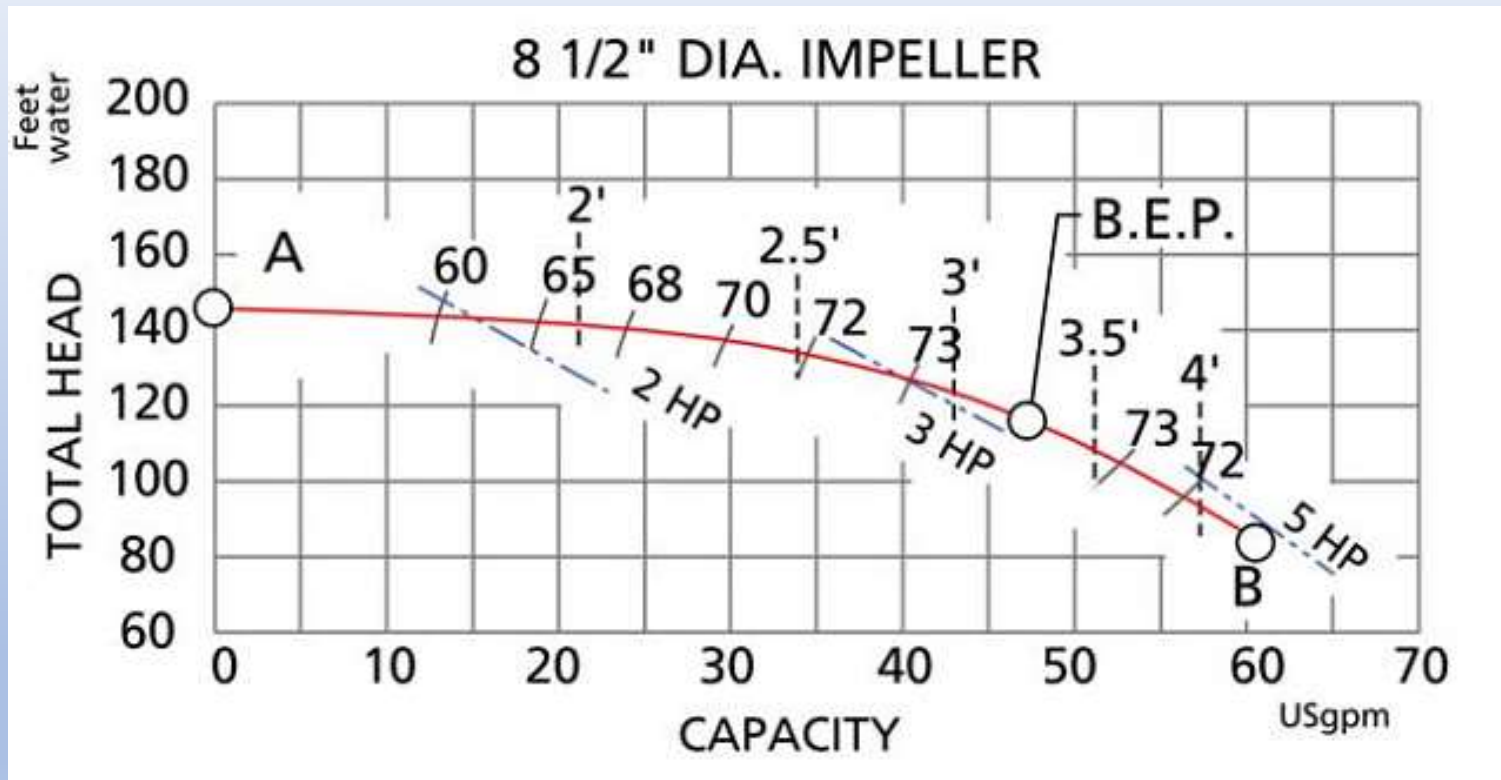


ETA 50 - 20
2900 U/min

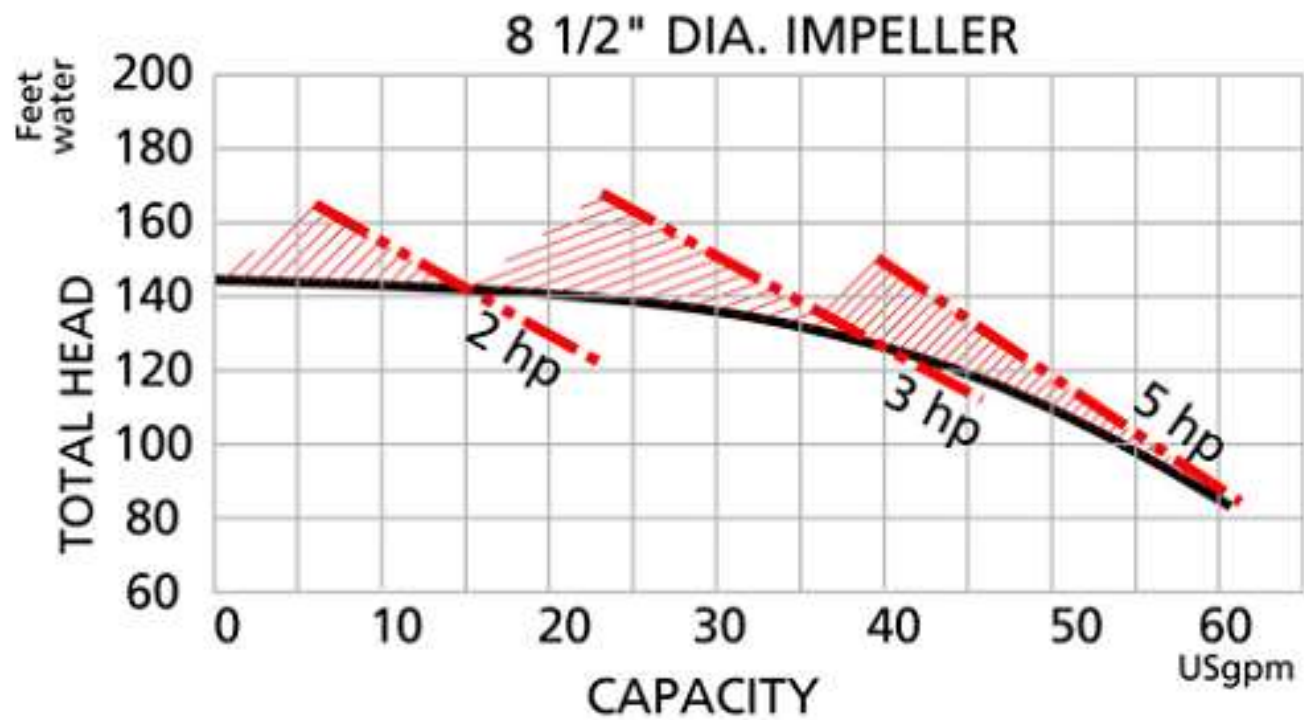
Selección de bomba según Q y H (2)



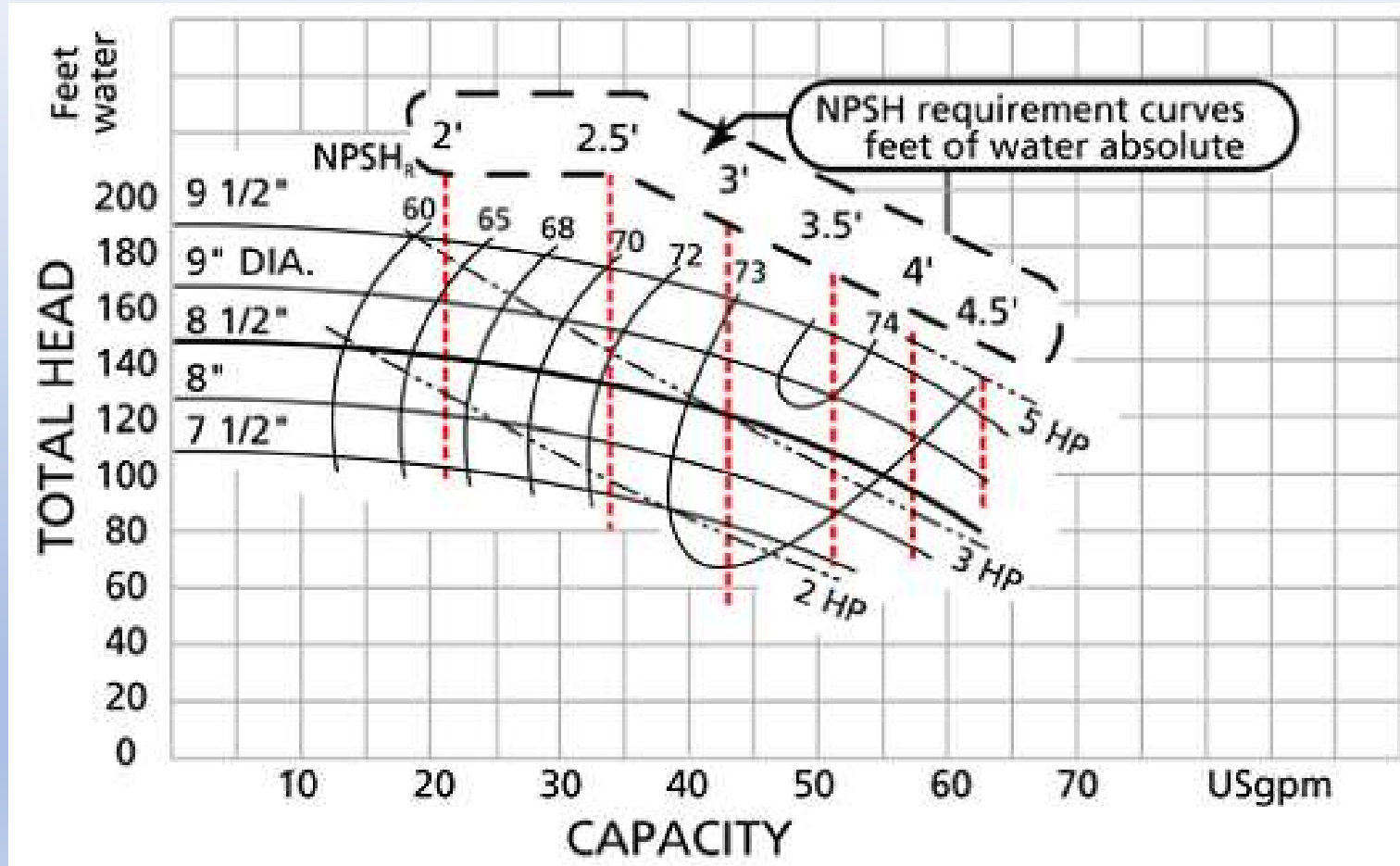
Selección de bomba según Q y H (2)



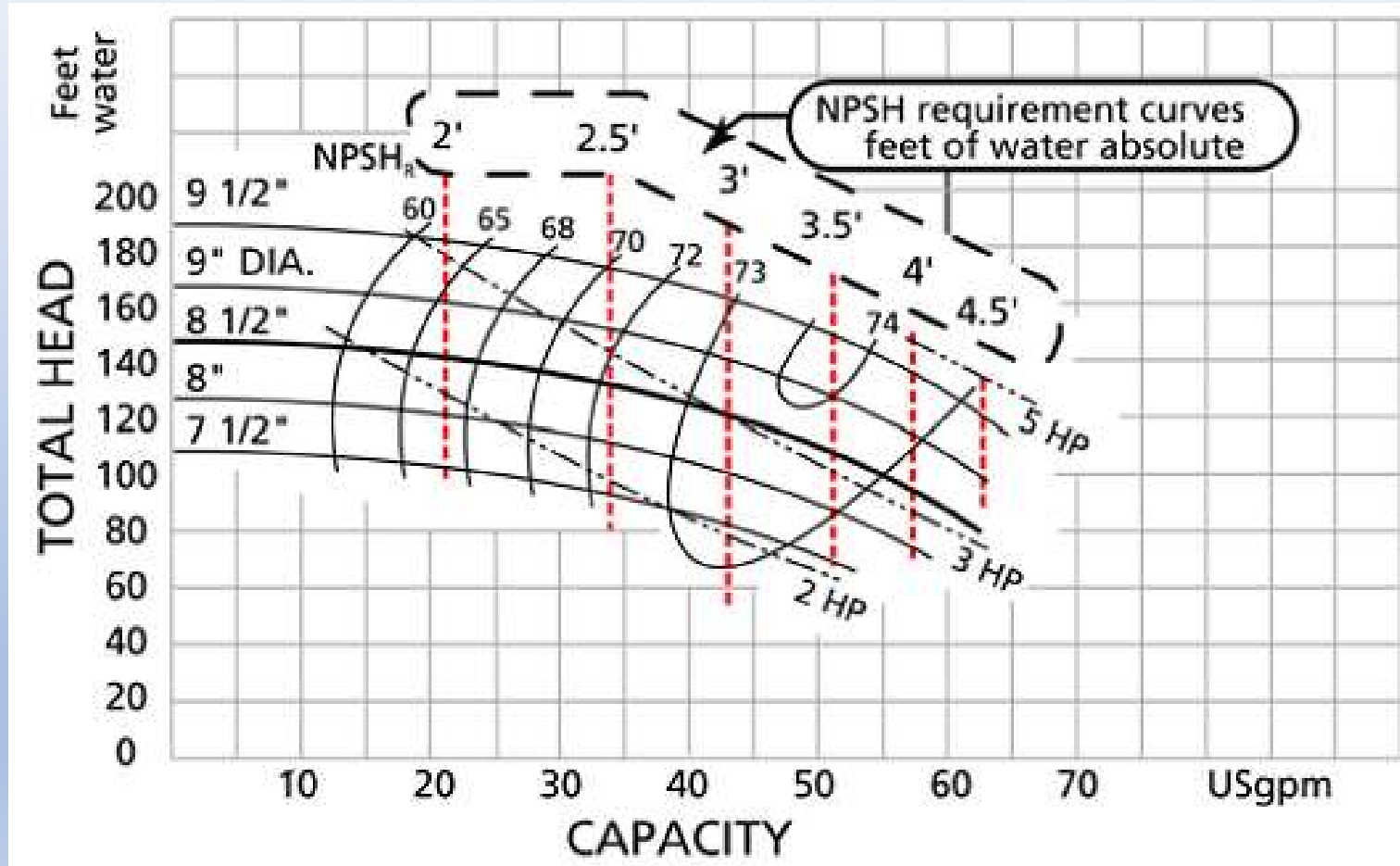
Selección de bomba - Potencia



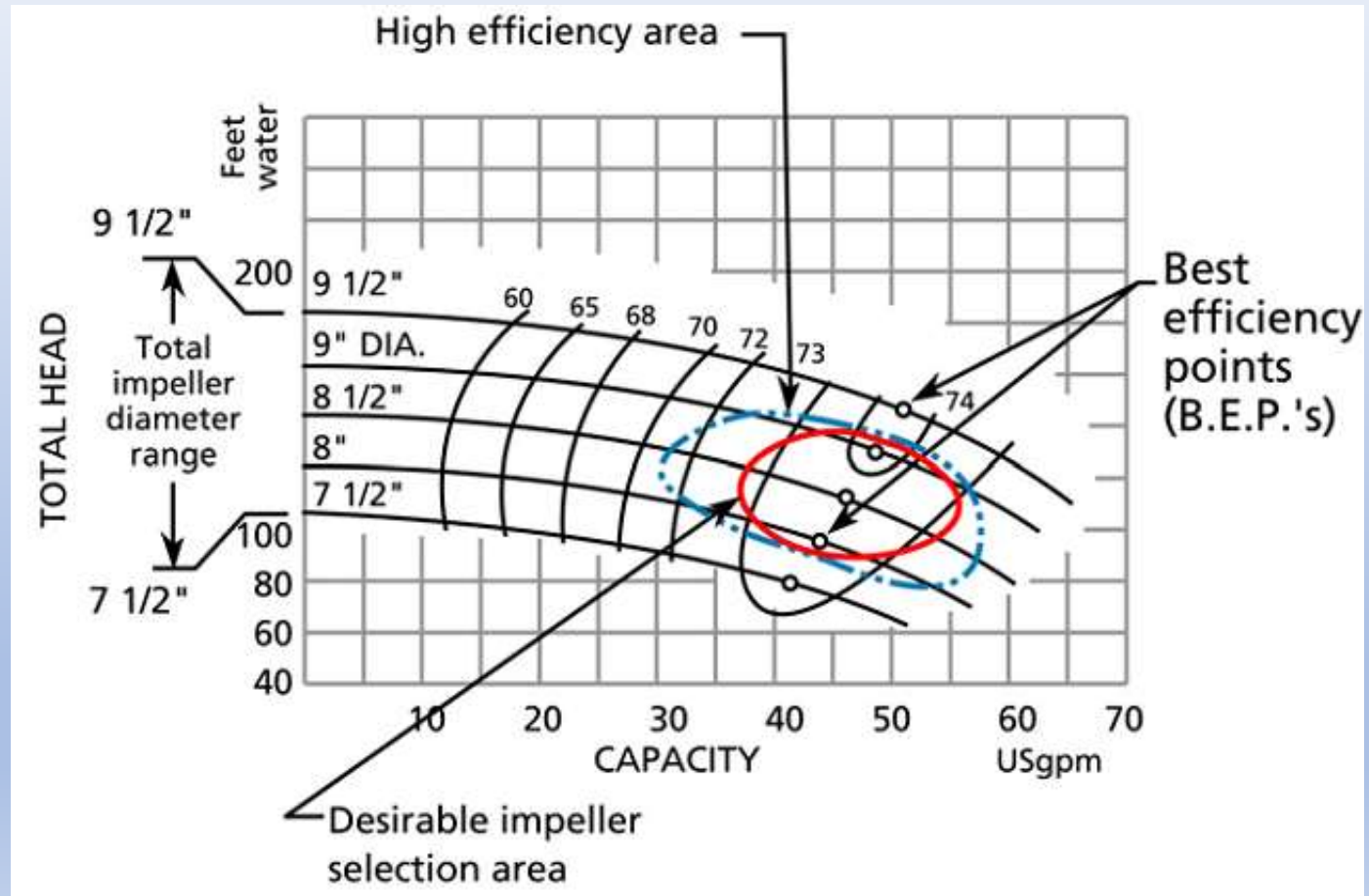
Selección de bomba según NPSH



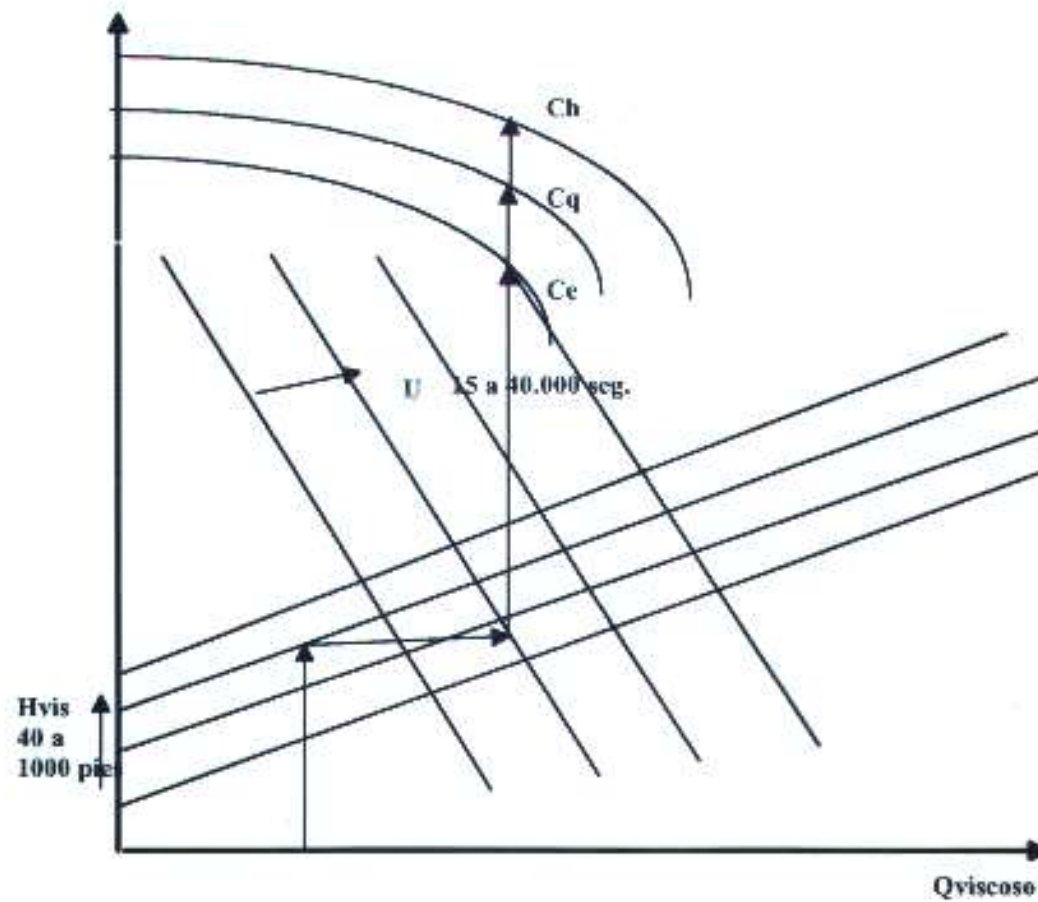
Selección de bomba según NPSH_R



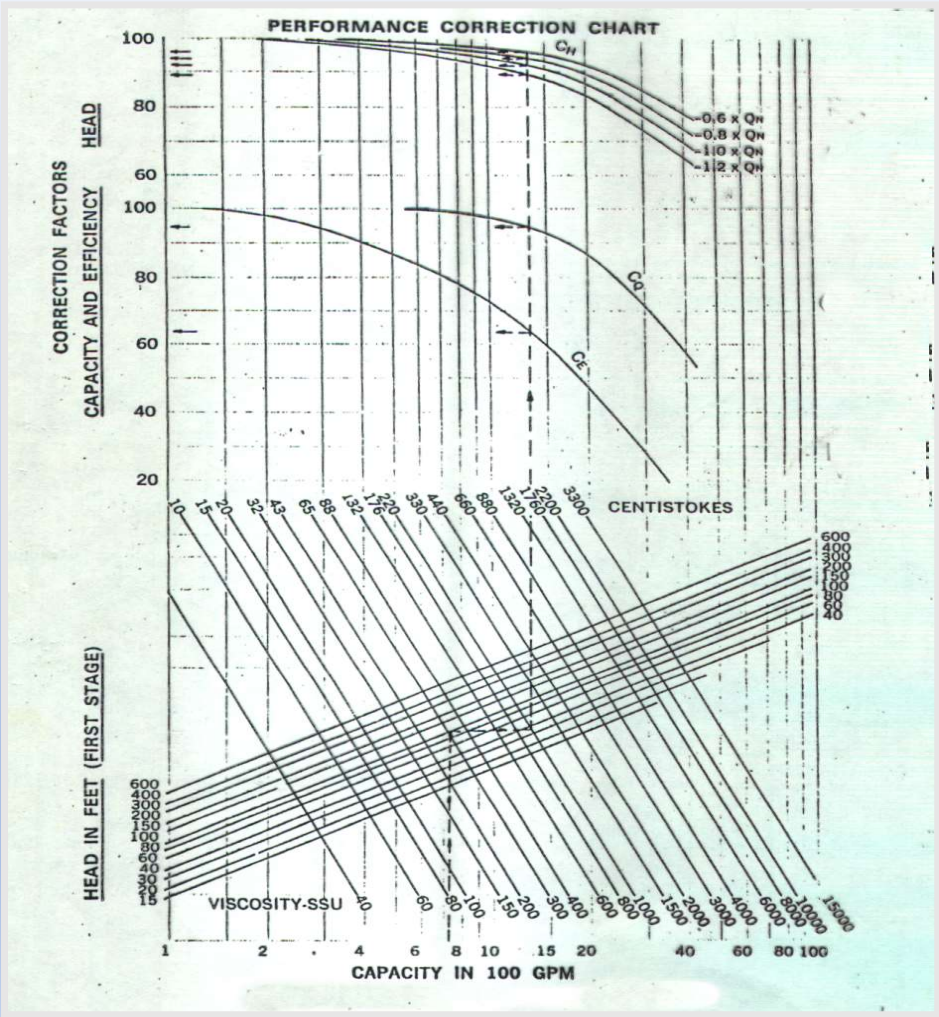
Selección de bomba Zona de Eficiencia



Influencia de la viscosidad



Factores de corrección



$$H_{H_2O} = \frac{H_{visc}}{C_H}$$

$$Q_{H_2O} = \frac{Q_{visc}}{C_q}$$

$$\eta_{H_2O} = \frac{\eta_{visc}}{C_\eta}$$

Materiales típicos de construcción de bombas

CONDICIONES DE SERIVCIO QUE AFECTAN A LA SELECCIÓN:

- ✓ Resistencia a la corrosión.
- ✓ Acción electrolítica
- ✓ Abrasividad de los sólidos suspendidos
- ✓ Temperatura de bombeo
- ✓ Carga hidráulica por paso (afecta tanto a la velocidad periférica del impulsor como a las velocidades del líquido)
- ✓ Presión de operación
- ✓ Adaptabilidad del material por las propiedades estructurales particulares
- ✓ Factor de carga y vida esperada

Materiales típicos para la construcción de bombas

- Los materiales más ampliamente difundidos son los aceros inoxidable, se utilizan con muchos productos corrosivos
- El acero al carbono, el hierro fundido y el hierro dúctil fundido también se utilizan en aplicaciones no corrosivas
- Las aleaciones a base de níquel, por su alto costo relativo, sólo se utilizan cuando no resulta adecuada ninguna aleación a base de hierro
- Las aleaciones a base de cobre como el bronce o el latón, el aluminio y el titanio son los materiales no ferrosos de empleo más frecuente, después de las aleaciones a base de níquel para las bombas. Es utilizado el circonio en algunos casos especiales.
- El caucho duro y el sintético también tienen más resistencia a los productos químicos.
- Cada vez se utilizan más los plásticos en las bombas.
- Siempre que es posible se evita emplear bombas construidas con cerámica o vidrio por su escasa resistencia física

Materiales típicos para la construcción de bombas

- Para **cubiertas** de bombas si el líquido bombeado es ligeramente corrosivo, se usa bronce. El acero fundido y el acero forjado, se usan si la presión si la presión de descarga o la temperatura de bombeo (o una combinación de ambos) hacen inapropiado al hierro colado. El acero inoxidable se emplea si el líquido bombeado es corrosivo o excesivamente abrasivo. Las cubiertas de porcelana o vidrio se usan algunas veces para aplicaciones especiales
- Para los **impulsores** se prefiere el bronce, por lo general, para manejar líquidos normales (debido a que es más fácil de fundir para secciones de modelos complicados, es fácil de maquinar, produce superficies más lisas y no se oxida). Sin embargo, no se deben usar los impulsores de bronce con cubiertas de hierro fundido si el líquido que se maneja es un electrolito fuerte. Estos líquidos requieren materiales ferrosos.
- Los materiales más comunes para los **anillos de desgaste** se hacen de bronce, y en algunas ocasiones el hierro colado, acero fundido, acero inoxidable y monel (sea de lo que fuere de lo que está hecho el impulsor) si se requiere dureza u otras propiedades que no se pueden obtener del bronce.
- Las flechas de las bombas están normalmente hechas de acero o acero inoxidable (cuando el líquido es corrosivo, utilizándose también el monel o bronce fosforado), y en caso de que hubieren grandes esfuerzos acero de alta resistencia a la tensión
- Los **prensaestopas** están hechos en general de bronce, aunque el hierro fundido o el acero pueden emplearse en las bombas equipadas totalmente de hierro.