

Las transparencias son el material de apoyo del profesor para impartir la clase. No son apuntes de la asignatura. Al alumno le pueden servir como guía para recopilar información (libros, ...) y elaborar sus propios apuntes

En esta presentación se incluye un listado de problemas en el orden en el que se pueden resolver siguiendo el desarrollo de la teoría. Es trabajo del alumno resolverlos y comprobar la solución

Departamento: Ingeniería Eléctrica y Energética
Area: Máquinas y Motores Térmicos

CARLOS J RENEDO renedoc@unican.es
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO fernandei@unican.es
JUAN CARCEDO HAYA juan.carcedo@unican.es
FELIX ORTIZ FERNANDEZ felix.ortiz@unican.es

1.1.- Introducción a las Máquinas Hidráulicas

1.2.- Bombas Hidráulicas

1.1.1.- Generalidades de las Bombas Hidráulicas

1.2.2.- Bombas Centrífugas

1.2.3.- Bombas Volumétricas

1.3.- Turbinas Hidráulicas

- Características
- Campos de Aplicación
- Partes
- Rodetes
- La Voluta
- Clasificación
- Ec. De Euler
- Curva Característica
- **Cebado**
- **Instalación**
- **Acoplamiento**
- Potencias, Rendimientos y Pérdidas
- Cavitación
- Golpe de Ariete
- Catálogos de Fabricantes
- Leyes de Semejanza
- Número Específico de Revoluciones
- Influencia del Número de Alabes
- Grado de Reacción del Rodete
- Punto de Funcionamiento
- Selección de una Bomba

Cebado de una Bomba (I):

Una bomba “no es capaz” de crear altura de aspiración con aire en su interior

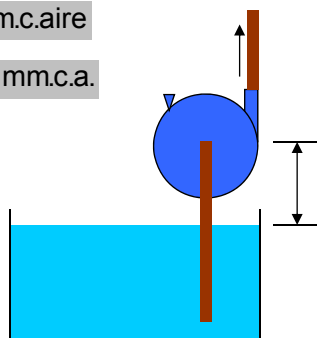
1ª Ec. EULER $H_{G.H.} = \frac{u_2 \cdot C_{2u} - u_1 \cdot C_{1u}}{g}$

Independiente del fluido bombeado

Llena de aire, crea una altura en m.c.aire

$\rho_{\text{aire}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ } 1 m.c.a. \approx 830 m.c.aire
 $\rho_{\text{agua}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$ } 1 m.c.aire \approx 1,2 mm.c.a.

$H_{\text{geom}} = H_{\text{elev}} = H_{\text{imp}} + H_{\text{asp}}$
 $H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{\text{L-tub}}$
 $H_{\text{Euler}} = H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{\text{L-intB}}$



Por cada m, la bomba debiera crear 830 m.c. para cebarse

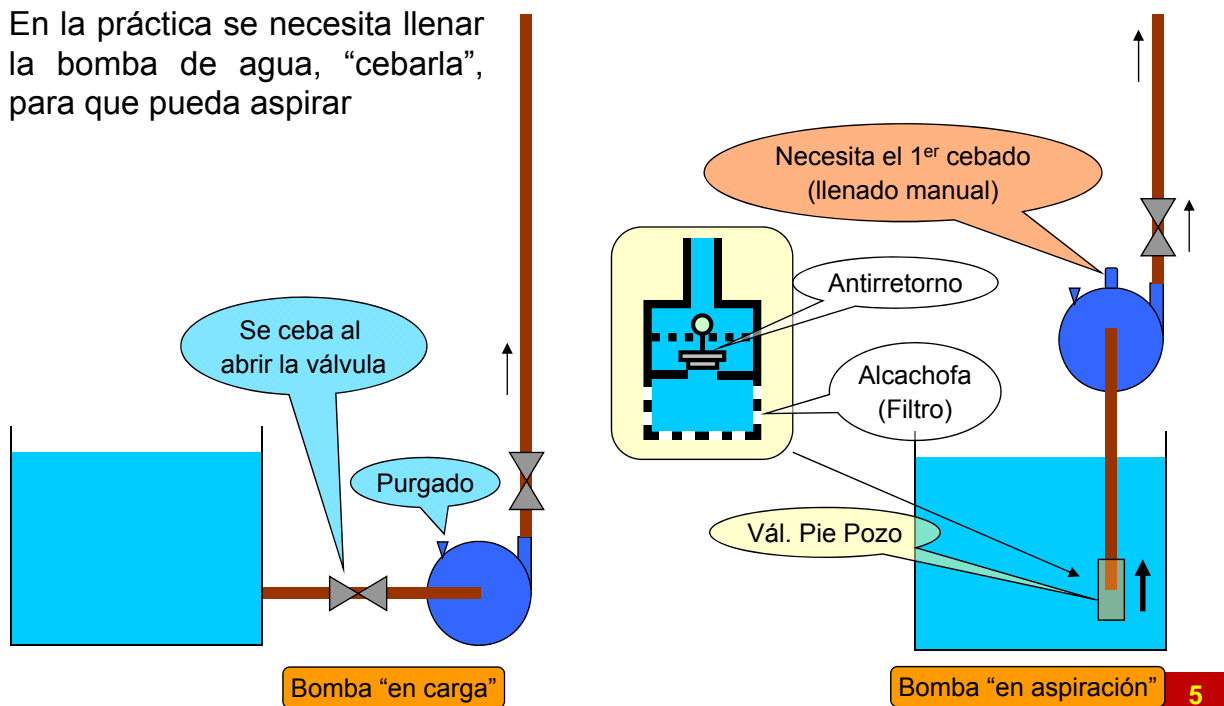
Una bomba que creara 100 m, sería capaz de cebarse 12 cm

Además limitado por la cavitación

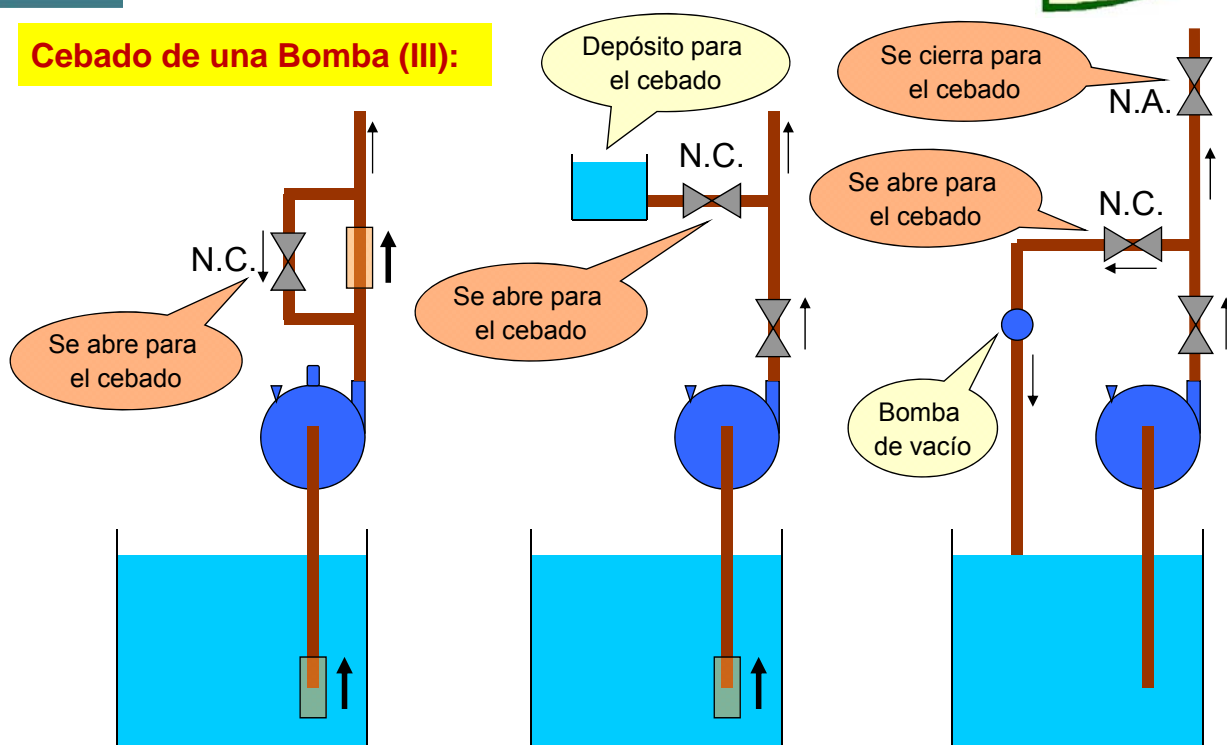
La P_{atm} es “la que hace ascender el agua”, por lo que el límite de aspiración de la bomba es: $P_{\text{atm}} \approx 100.000 \text{ Pa} \approx 10 \text{ m.c.a.}$

Cebado de una Bomba (II):

En la práctica se necesita llenar la bomba de agua, "cebarla", para que pueda aspirar



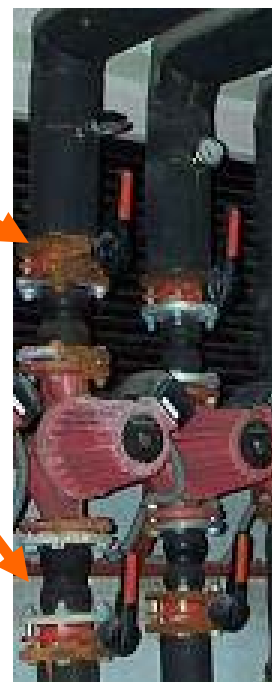
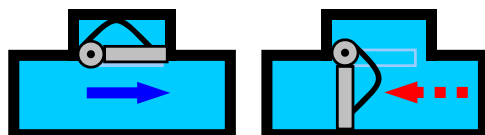
Cebado de una Bomba (III):



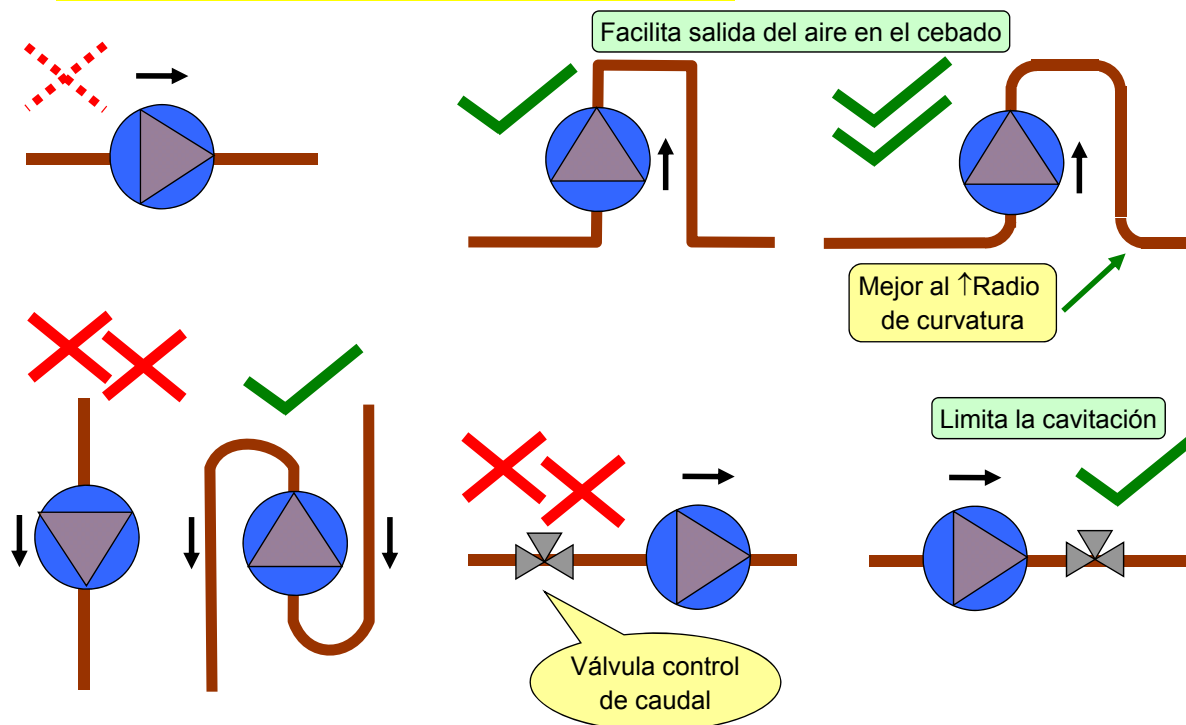
Instalación de una Bomba (I):

Se debe tener en cuenta:

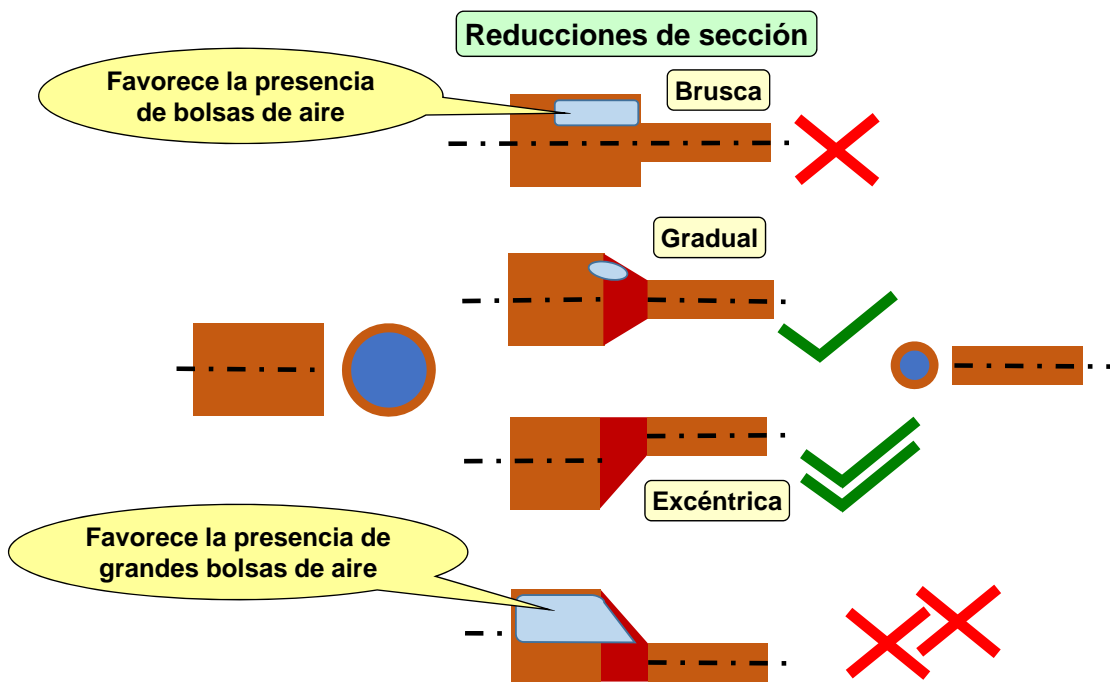
- Lugar accesible y con espacio para mantenimiento
- Instalar válvulas de cierre antes y después (reparación)
- Fácil aspiración (limitar codos, válvulas, ...)
- Preveer el cebado
- Impulsión hacia arriba (facilitar la salida del aire)
- Mantener la alineación de las tuberías
- Si $\varnothing_{\text{tubería}} \neq \varnothing_{\text{brida}}$ instalar conos difusores
- Colocar uniones flexibles para evitar transmisión de vibraciones
- Colocar elementos de medida (presión, T, caudal, ...)
- Considerar el llenado y vaciado de la red
- Instalar válvulas de retención



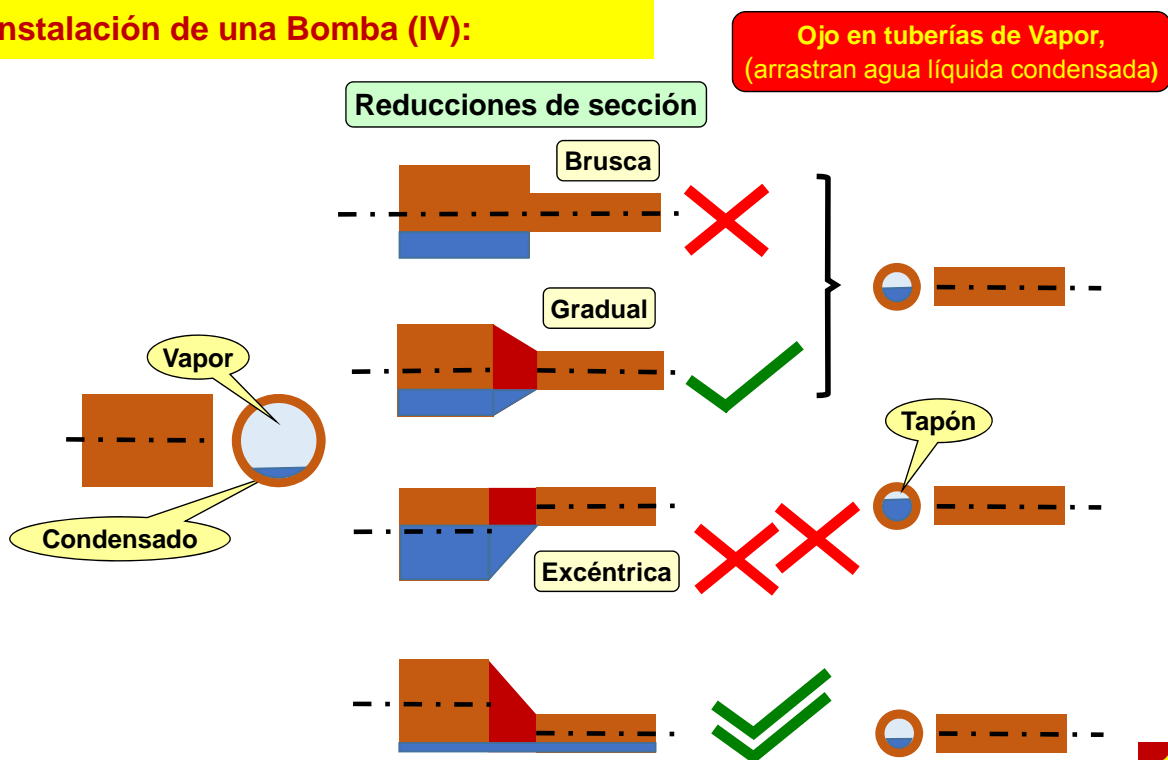
Instalación de una Bomba (II):



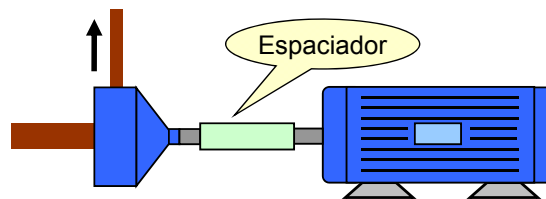
Instalación de una Bomba (III):



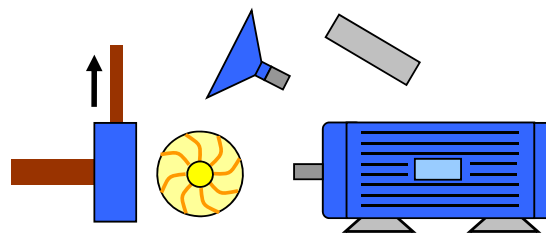
Instalación de una Bomba (IV):



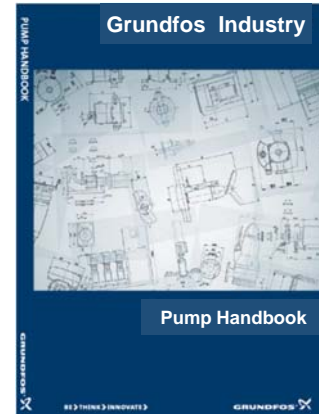
Instalación de una Bomba (V):



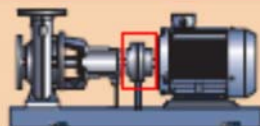
El espaciador permite desmontar la bomba sin soltar las tuberías ni mover el motor



Cuidado con el correcto alineamiento

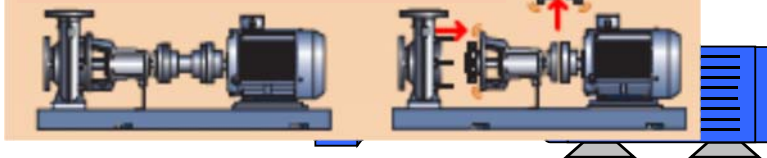


Long-coupled pump with basic coupling

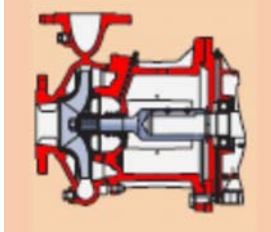


Instalación de una Bomba (V):

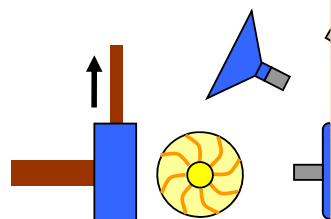
Long-coupled pump with spacer coupling



Close-coupled pump with rigid coupling



El espaciador permite desmontar la bomba sin soltar las tuberías



Cuidado con el correcto alineamiento

	Basic coupling type	Spacer coupling (option)
Long-coupled pump with flexible coupling		
Close-coupled pump with rigid coupling		

Long-coupled pump with basic coupling

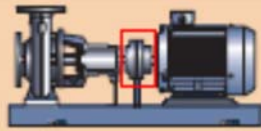
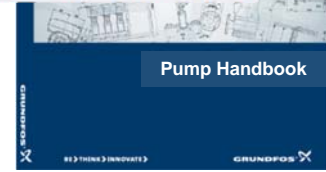
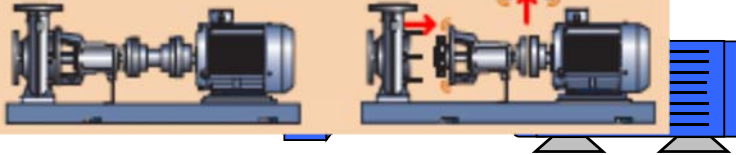


Fig. 1.2.1: Long-coupled standard pump

Instalación de una Bomba (V):

Long-coupled pump with spacer coupling



Close-coupled pump with rigid coupling



Fig. 1.2.3: Long-coupled split-case pump

El espaciador permite...
sin soltar las tuberías

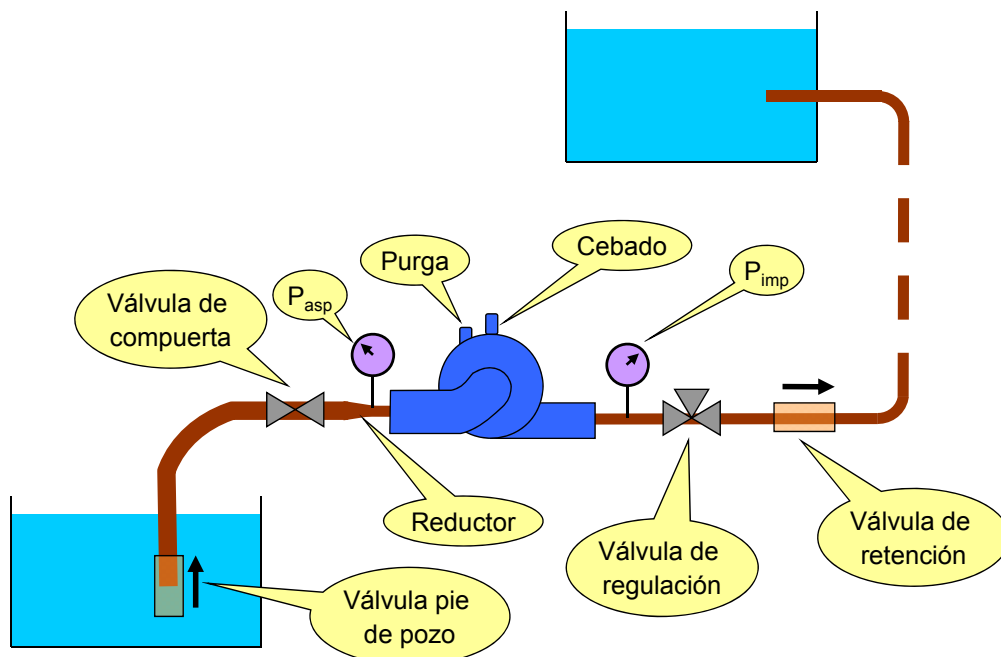
Cuidado con el corre

	Basic coupling type	Spacer coupling (option)
Long-coupled pump with flexible coupling		
Close-coupled pump with rigid coupling		

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas



Instalación de una Bomba (VI): Lineal





Instalación de una Bomba (VII):

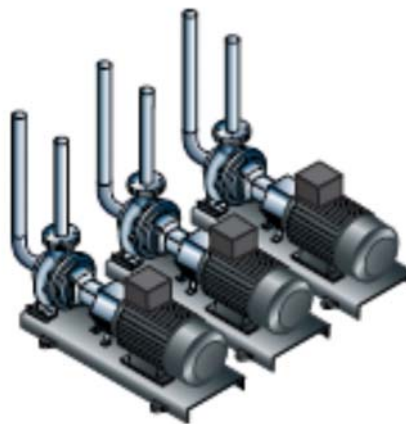
Pump type		Pipework		
		A. In-line close-coupled (horizontal or vertical mounting)	B. End-suction close-coupled (horizontal or vertical mounting)	C. End-suction long-coupled (only horizontal mounting)
To the pump:	From the pump:			
Along floor	Along floor	↕ Best choice	↔ Good choice	↔ Good choice
	To ground	↕ Best choice	↔ Good choice	↔ Good choice
	To ceiling	↔ Good choice	↕ Best choice	↕ Best choice
From ground	Along floor	↔ Good choice	↕ Best choice	↗ Least good choice
	To ground	↔ Good choice	↕ Best choice	↗ Least good choice
	To ceiling	↔ Good choice	↕ Best choice	↕ Best choice
From ceiling	Along floor	↕ Best choice	↗ Least good choice	↗ Least good choice
	To ground	↕ Best choice	↔ Good choice	↔ Good choice
	To ceiling	↔ Good choice	↕ Best choice	↕ Best choice
Wall-mounted	Wall-mounted	↕ Best choice	↔ Good choice	✗ Not applicable



Instalación de una Bomba (VIII):



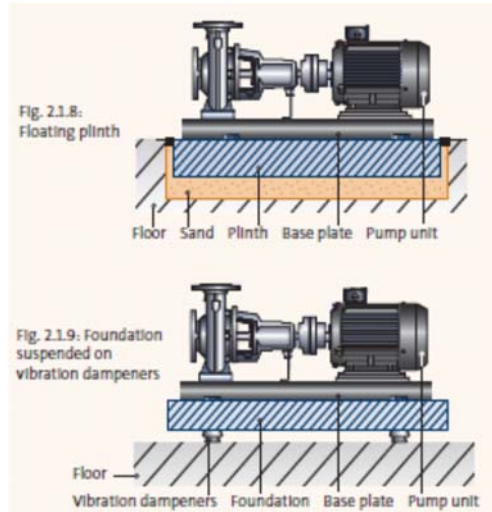
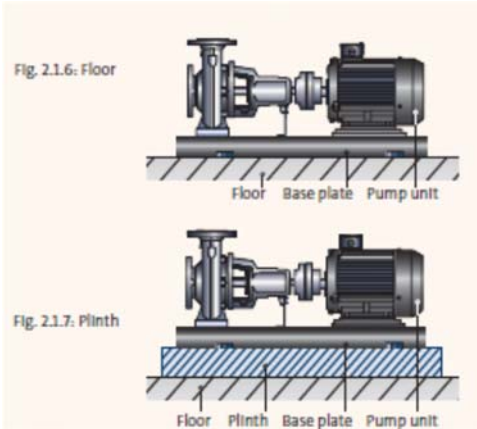
3 in-line pumps in parallel
limited maintenance access
because of pipework



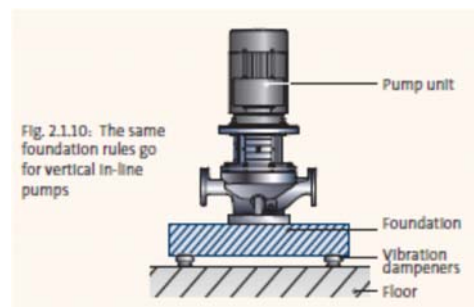
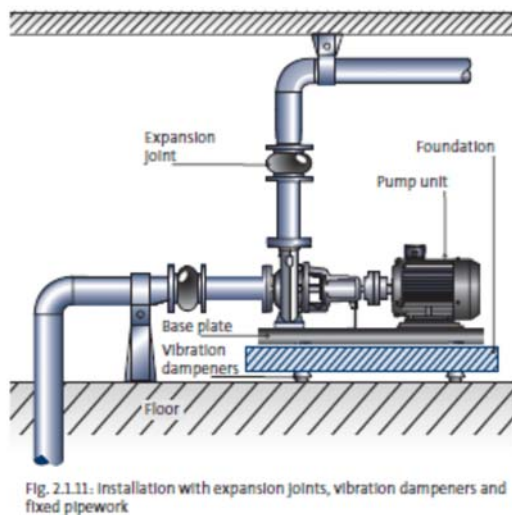
3 end-suction pumps in parallel
easier maintenance access
because of pipework



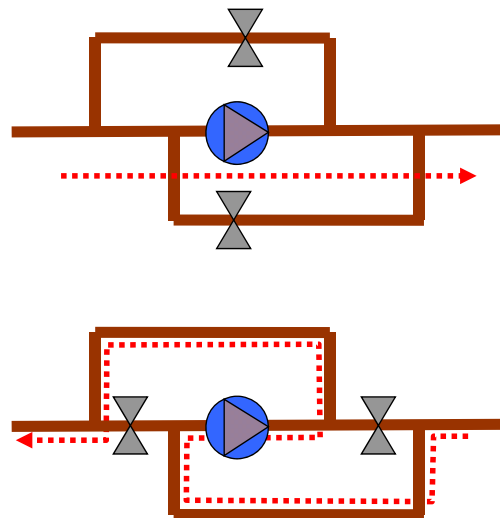
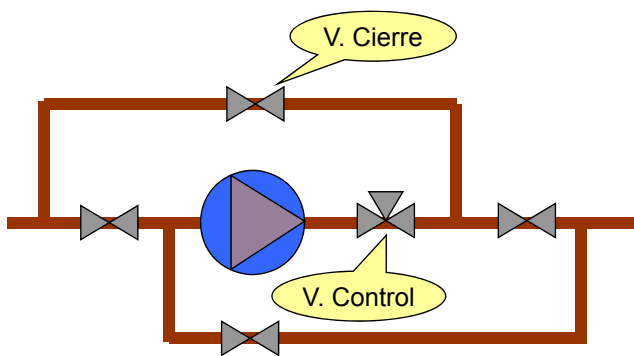
Instalación de una Bomba (IX):



Instalación de una Bomba (X):

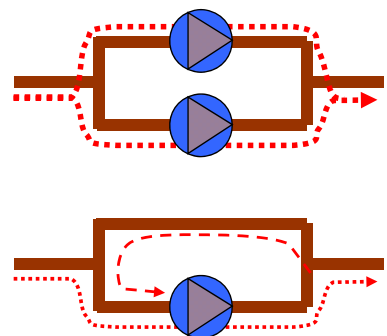
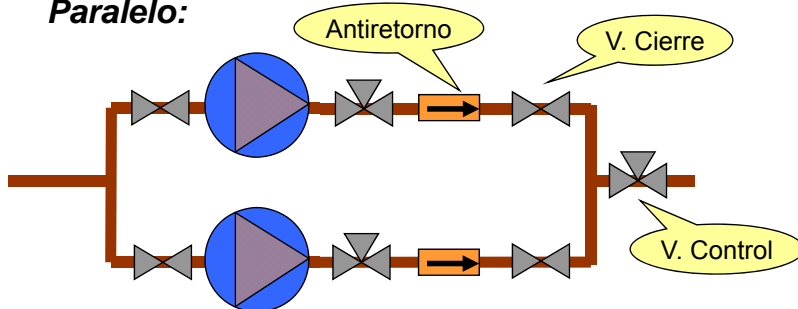


Instalación de Bomba (XI): Bidireccional

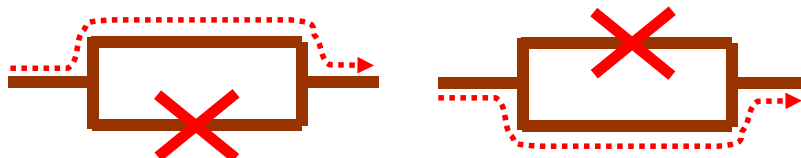


Instalación de Bombas (XII): Acoplamientos (I)

Paralelo:

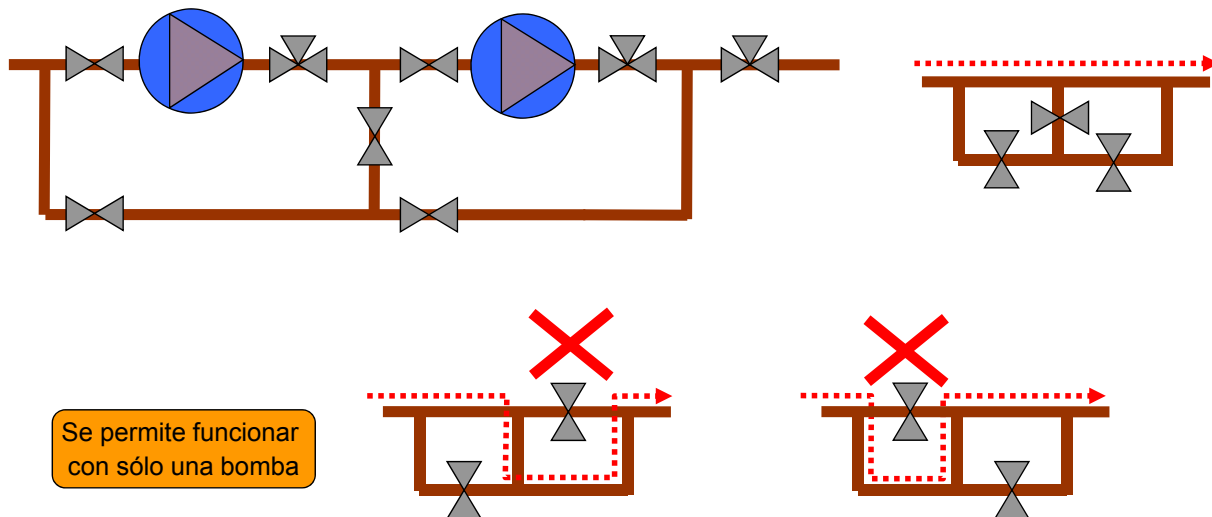


Las válvulas antiretorno evitan reflujos por paro de una bomba



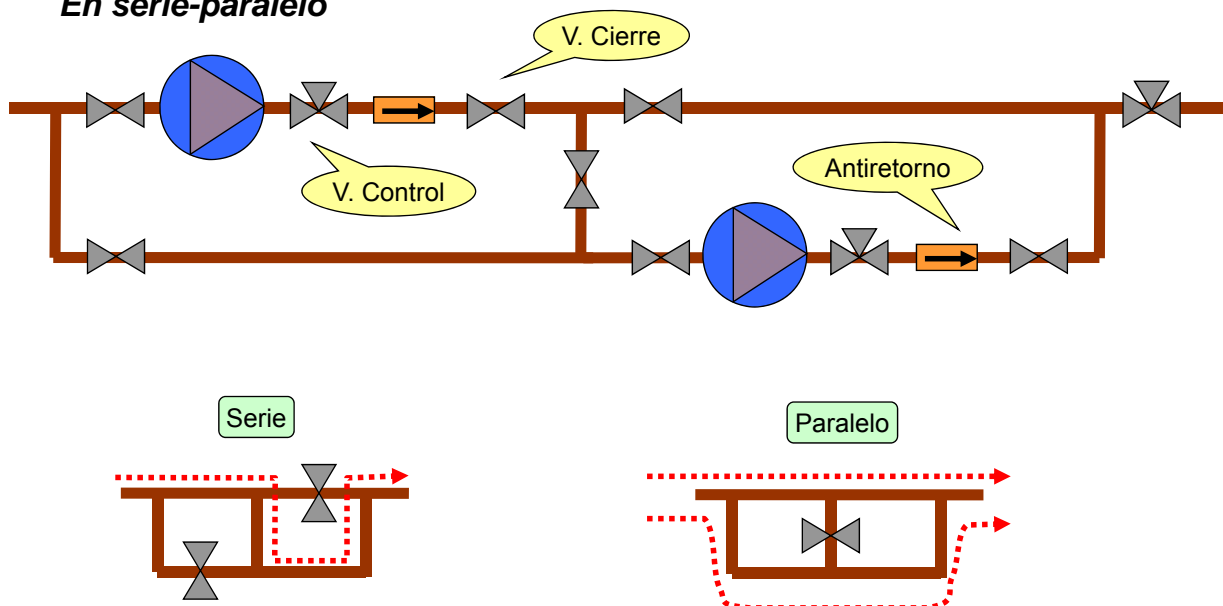
Instalación de Bombas (XIII): Acoplamientos (II)

Serie:

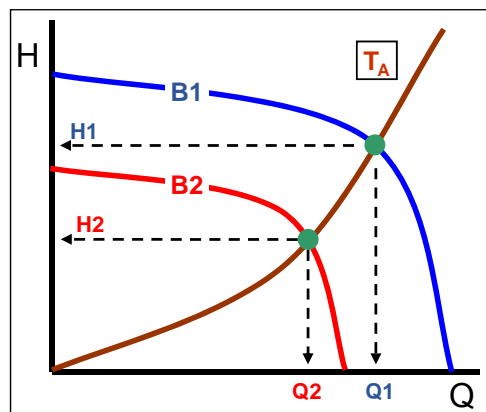
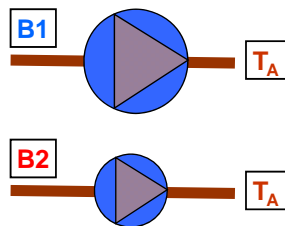


Instalación de Bombas (XIV): Acoplamientos (III)

En serie-paralelo



Acoplamiento de Bombas (I):

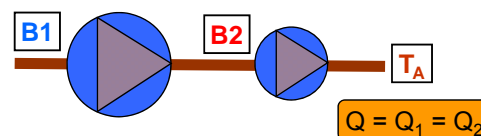
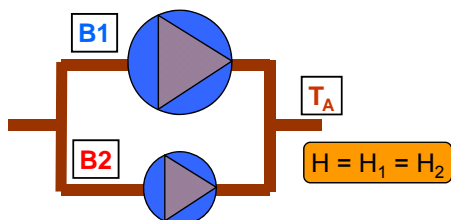


Paralelo: "suma caudales"

La presión suministrada por las dos bombas es la misma

Serie: "suma alturas"

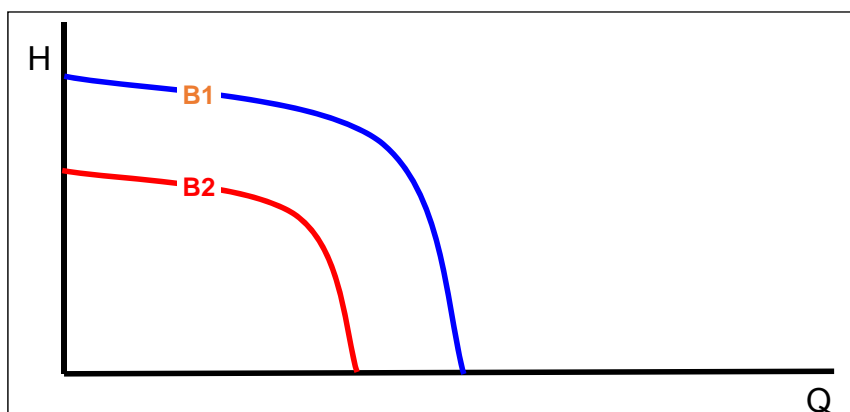
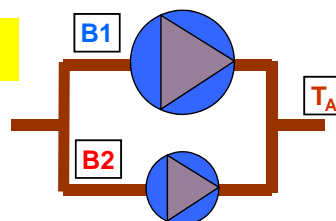
El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



Acoplamiento de Bombas (II):

Paralelo: "suma caudales"

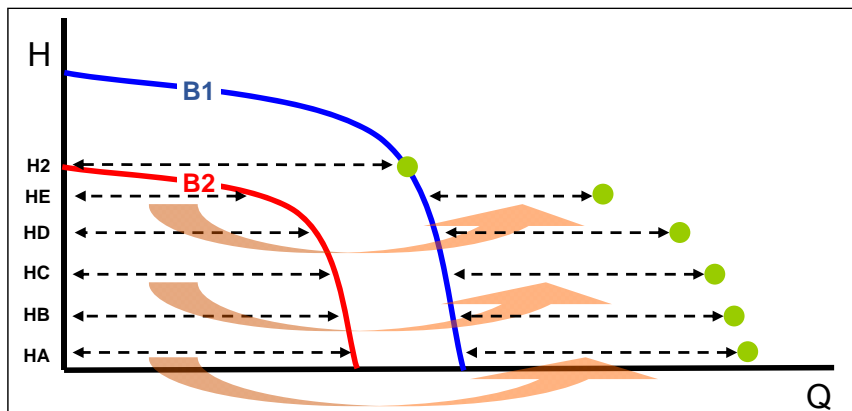
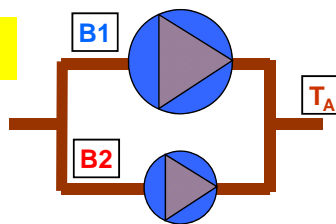
La presión suministrada por las dos bombas es la misma



Para cada H se suman los Q

Acoplamiento de Bombas (II):

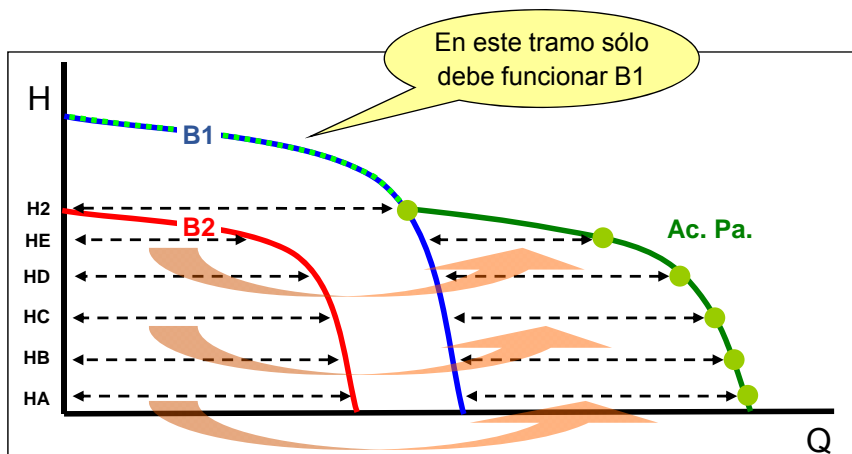
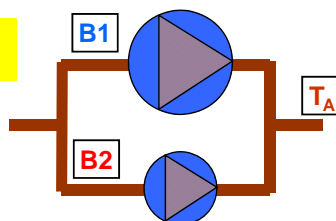
Paralelo: "suma caudales"
La presión suministrada por las dos bombas es la misma



Para cada H se suman los Q

Acoplamiento de Bombas (II):

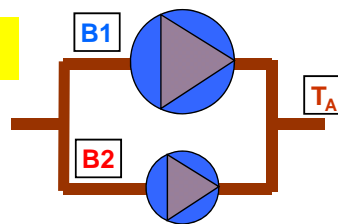
Paralelo: "suma caudales"
La presión suministrada por las dos bombas es la misma



Para cada H se suman los Q

Acoplamiento de Bombas (II):

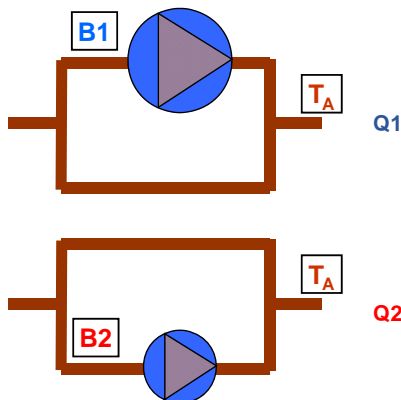
Paralelo: "suma caudales"
La presión suministrada por las dos bombas es la misma



Q_{Ac}

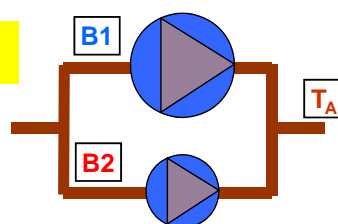
$Q_{Ac} < Q_1 + Q_2$

El caudal resultante al enfrentar el acoplamiento a la misma tubería que cada una de las bombas individualmente, es menor que la suma de los caudales de las bombas individuales



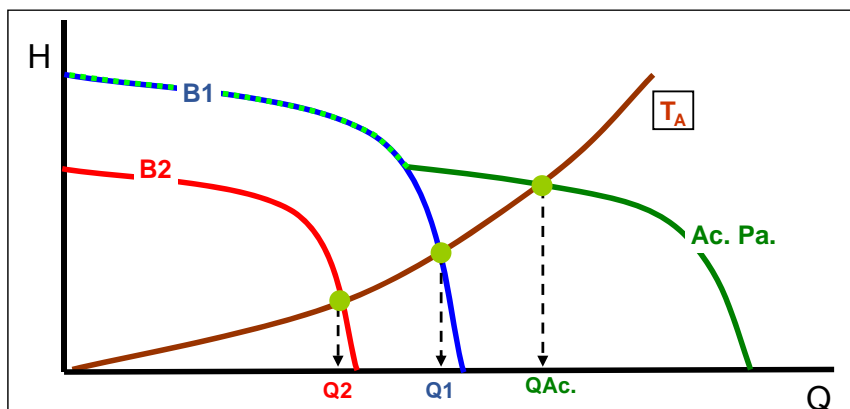
Acoplamiento de Bombas (II):

Paralelo: "suma caudales"
La presión suministrada por las dos bombas es la misma



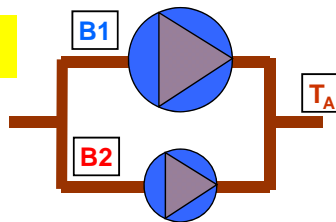
$Q_{Ac} < Q_1 + Q_2$

El caudal resultante al enfrentar el acoplamiento a la misma tubería que cada una de las bombas individualmente, es menor que la suma de los caudales de las bombas individuales



Acoplamiento de Bombas (II):

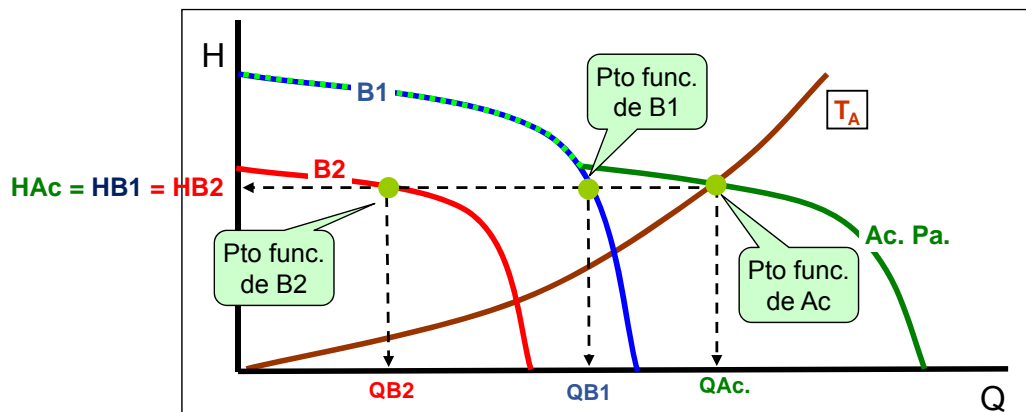
Paralelo: "suma caudales"



$Q_{Ac} < Q_1 + Q_2$

El caudal suministrado por cada bomba: Q_{B1} y Q_{B2}

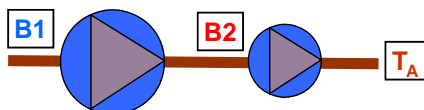
$Q_{Ac} = Q_{B1} + Q_{B2}$



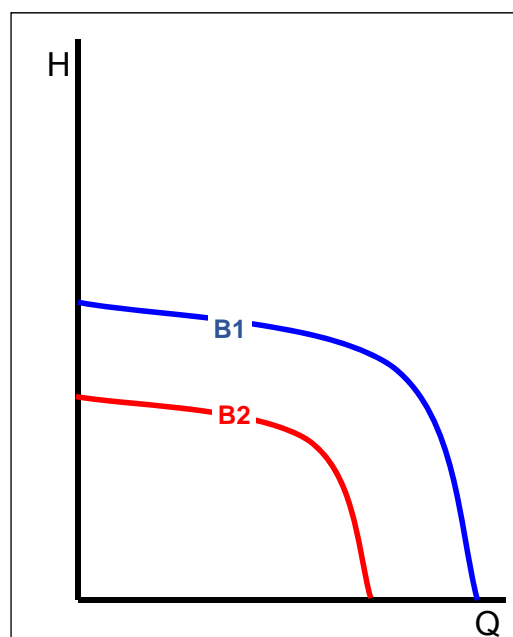
Acoplamiento de Bombas (III):

Serie: "suma alturas"

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



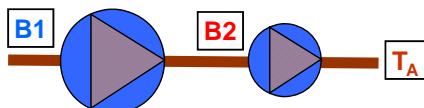
Para cada Q se suman las H



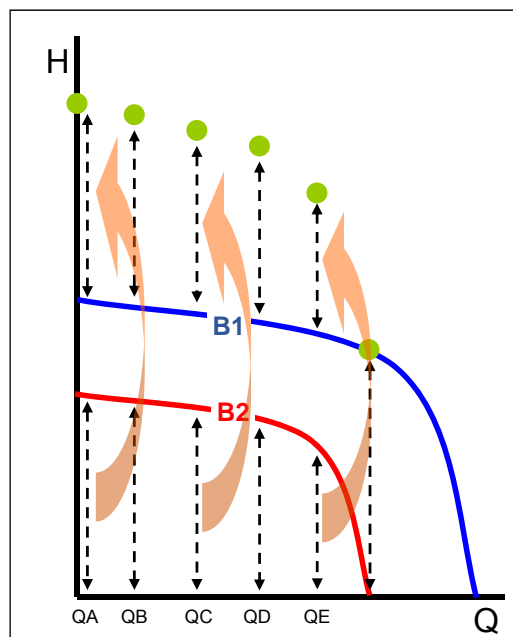
Acoplamiento de Bombas (III):

Serie: "suma alturas"

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



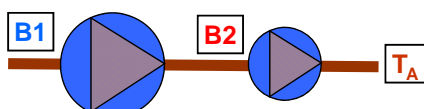
Para cada Q se suman las H



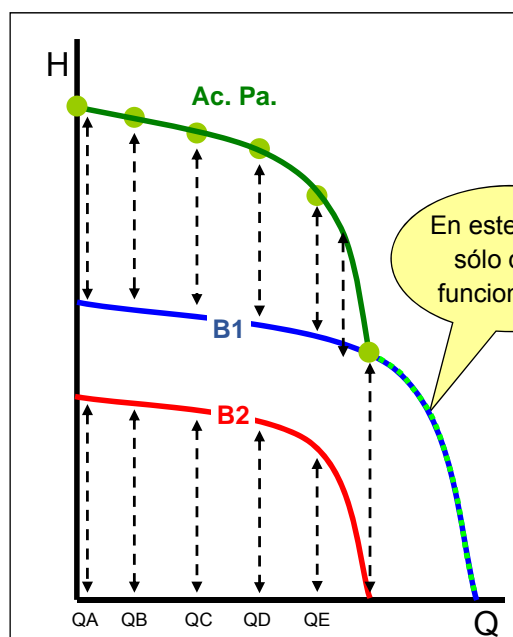
Acoplamiento de Bombas (III):

Serie: "suma alturas"

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



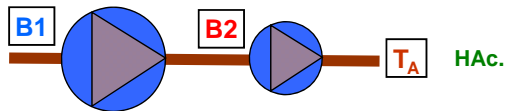
Para cada Q se suman las H



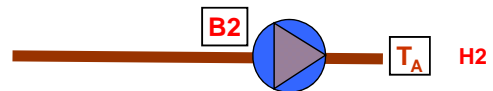
Acoplamiento de Bombas (III):

Serie: "suma alturas"

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



$$H_{Ac} < H_1 + H_2$$

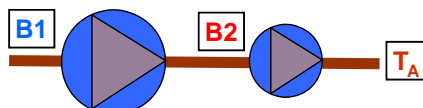


La altura resultante al enfrentar el acoplamiento a la misma tubería que cada una de las bombas, es menor que la suma de las alturas de las bombas individuales

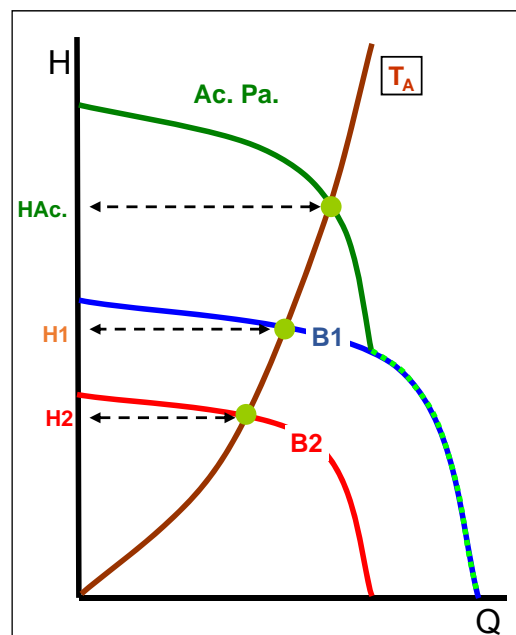
Acoplamiento de Bombas (III):

Serie: "suma alturas"

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



$$H_{Ac} < H_1 + H_2$$

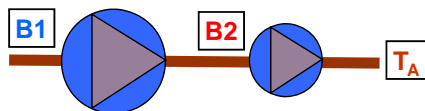


La altura resultante al enfrentar el acoplamiento a la misma tubería que cada una de las bombas, es menor que la suma de las alturas de las bombas individuales

Acoplamiento de Bombas (III):

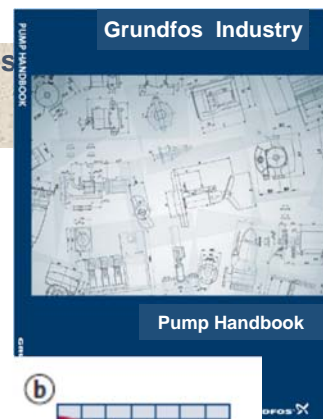
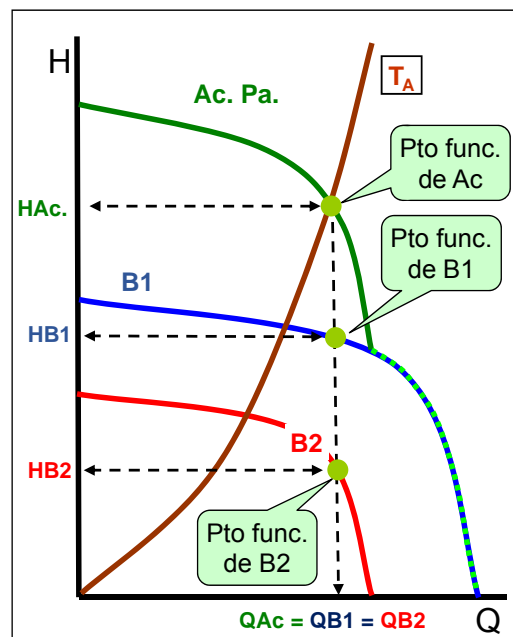
Serie: "suma alturas"

La presión suministrada por cada una de las dos bombas HB1 y HB2



$$H_{Ac} < H_1 + H_2$$

$$H_{Ac} = H_{B1} + H_{B2}$$



Acoplamiento de Bombas (IV):

Throttling method

The throttling method implies a valve connected in series with a pump, see figure 4.1.6a. This connection acts as a new pump at unchanged maximum head but reduced flow performance. The pump curve H_n , the valve curve and the curve covering the complete system - H_x , see figure 4.1.6b.

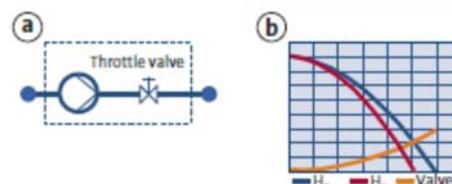


Fig. 4.1.6: Throttle valve connected in series with a pump

Bypass control

When a valve is connected across the pump, see figure 4.1.7a, this connection acts as a new pump at reduced maximum head and a QH curve with a changed characteristic. The curve will tend to be more linear than quadratic, see figure 4.1.7b

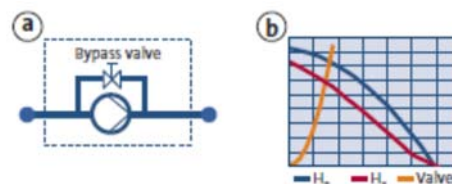
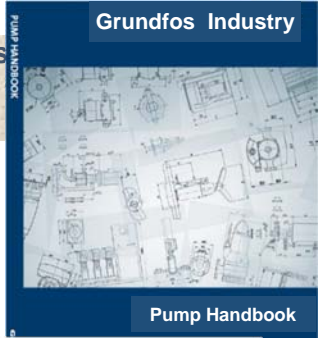


Fig. 4.1.7: Bypass valve connected across the pump



Acoplamiento de Bombas (V):

Modifying impeller diameter

The impeller-reducing method does not imply any extra components. The reduced QH curve (Hx) and the original curve characteristics (Hn).

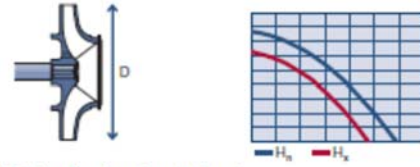


Fig. 4.1.8: impeller diameter adjustment

Speed control

The speed control method results in a new QH curve at reduced head and flow. The characteristics of the curves remain the same. However, when speed is reduced the curves become more flat, as the head is reduced to a higher degree than the flow.

Compared to the other methods the speed control method also makes it possible to extend the performance range of the pump above the nominal QH curve, simply by increasing the speed above nominal speed level of the pump. If this over-synchronous operation is used, the size of the motor has to be taken into account.

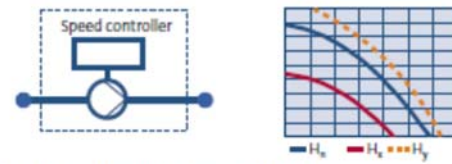


Fig. 4.1.9: Speed controller connected to a pump



Acoplamiento de Bombas (VI):

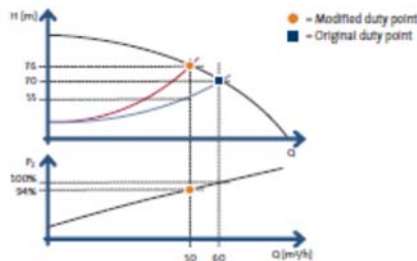


Fig. 4.1.10: Relative power consumption - throttle control

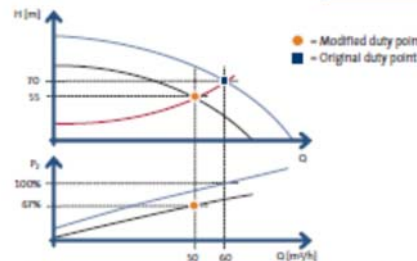


Fig. 4.1.12: Relative power consumption - modifying impeller diameter

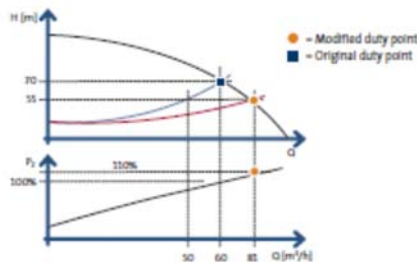


Fig. 4.1.11: Relative power consumption - bypass control

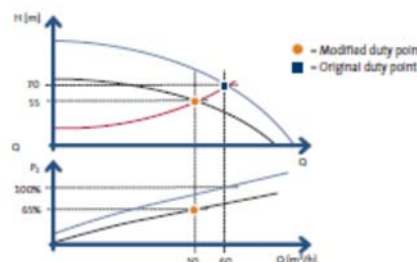


Fig. 4.1.13: Relative power consumption - speed control

Acoplamiento

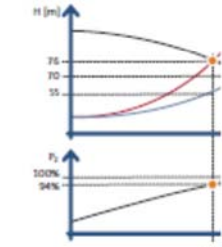


Fig. 4.1.10: Relative power consumption

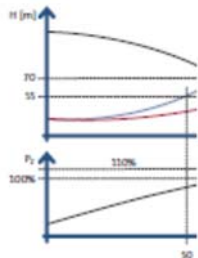


Fig. 4.1.11: Relative power consumption


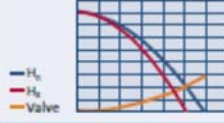

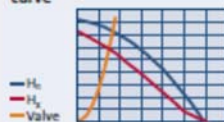
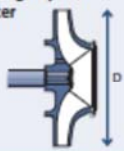



Method	Continuous adjustment possible?	The resulting performance curve will have	Overall efficiency of the pump system	Relative power consumption by 20% reduction in flow
Throttle control 	Yes	Reduced Q 	Considerably reduced	94%
Bypass control 	Yes	Reduced H and changed curve 	Considerably reduced	110%
Modifying impeller diameter 	No	Reduced Q and H 	Slightly reduced	67%
Speed control 	Yes	Reduced Q and H 	Slightly reduced	65%

Fig. 4.1.13: Relative power consumption - speed control



Acoplamiento de Bombas (VII):

Paralelo: "suma caudales"

Caso "Normal"

$\text{si } H_{B1Max} = H_{B2Max} \Rightarrow Q_{BP} = Q_{B1} + Q_{B2} \Rightarrow H_{BP} = H_{B1} = H_{B2}$

$\text{si } H_{B1Max} > H_{B2Max} \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \text{si } H_T < H_{B2Max} \Rightarrow Q_{BP} = Q_{B1} + Q_{B2} \Rightarrow H_{BP} = H_{B1} = H_{B2} \\ \Rightarrow \text{si } H_T > H_{B2Max} \Rightarrow Q_{BP} = Q_{B1} \Rightarrow H_{BP} = H_{B1} \end{array} \right.$

Sólo B1

$\text{si } H_{B2Max} > H_{B1Max} \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \text{si } H_T < H_{B1Max} \Rightarrow Q_{BP} = Q_{B1} + Q_{B2} \Rightarrow H_{BP} = H_{B1} = H_{B2} \\ \Rightarrow \text{si } H_T > H_{B1Max} \Rightarrow Q_{BP} = Q_{B2} \Rightarrow H_{BP} = H_{B2} \end{array} \right.$

Sólo B2

Serie: "suma alturas"

"Normal"

$\text{si } Q_{B1Max} = Q_{B2Max} \Rightarrow H_{BS} = H_{B1} + H_{B2} \Rightarrow Q_{BS} = Q_{B1} = Q_{B2}$

$\text{si } Q_{B1Max} > Q_{B2Max} \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \text{si } Q_T < Q_{B2Max} \Rightarrow H_{BS} = H_{B1} + H_{B2} \Rightarrow Q_{BS} = Q_{B1} = Q_{B2} \\ \Rightarrow \text{si } Q_T > Q_{B2Max} \Rightarrow H_{BS} = H_{B1} \Rightarrow Q_{BS} = Q_{B1} \end{array} \right.$

Sólo B1

$\text{si } Q_{B2Max} > Q_{B1Max} \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \text{si } Q_T < Q_{B1Max} \Rightarrow H_{BS} = H_{B1} + H_{B2} \Rightarrow Q_{BS} = Q_{B1} = Q_{B2} \\ \Rightarrow \text{si } Q_T > Q_{B1Max} \Rightarrow H_{BS} = H_{B2} \Rightarrow Q_{BS} = Q_{B2} \end{array} \right.$

Sólo B2

Una bomba centrífuga gira a 1.500 rpm, de curva característica $H_{\text{Bomba}} = 150 - 275.Q^2$ envía agua a un depósito situado 125 m más alto que ella por una tubería cuyas pérdidas por fricción son $H_{\text{L-Tub}} = 20.Q^2$

- Calcular el punto de funcionamiento y la potencia si el $\eta_{\text{bomba}} = 0,75$
- Calcular el caudal si se acoplan 3 bombas iguales en serie
- Calcular el caudal si se acoplan 3 bombas iguales en paralelo

Una bomba centrífuga gira a 1.500 rpm, de curva característica $H_{\text{Bomba}} = 180 - 250.Q^2$, envía agua a un depósito situado 125 m sobre ella por una tubería cuyas pérdida por fricción son $H_{\text{L-Tub}} = 200.Q^2$

- Calcular el punto de funcionamiento
- Calcular el caudal si se acoplan 3 bombas iguales en serie
- Calcular el caudal si se acoplan 3 bombas iguales en paralelo

Una bomba centrífuga tiene un $\eta_{\text{bomba}} = 0,75$, gira a 1.500 rpm, la curva característica es $H_{\text{Bomba}} = 150 - 275.Q^2$, y envía agua a un depósito situado 125 m más alto que ella por una tubería cuyas pérdidas por fricción son $H_{L-\text{Tub}} = 20.Q^2$

- Calcular el punto de funcionamiento y la potencia si se le acopla en **paralelo** una bomba de $\eta_{\text{bomba}} = 0,70$ y curva característica es $H_{\text{Bomba}} = 170 - 375.Q^2$

Una bomba centrífuga tiene un $\eta_{\text{bomba}} = 0,75$, gira a 1.500 rpm, la curva característica es $H_{\text{Bomba}} = 150 - 275.Q^2$, y envía agua a un depósito situado 125 m más alto que ella por una tubería cuyas pérdidas por fricción son $H_{L-\text{Tub}} = 20.Q^2$

- Calcular el punto de funcionamiento y la potencia si se le acopla en **serie** una bomba de $\eta_{\text{bomba}} = 0,70$ y curva característica es $H_{\text{Bomba}} = 170 - 375.Q^2$

Acoplamiento de Bombas (VIII):

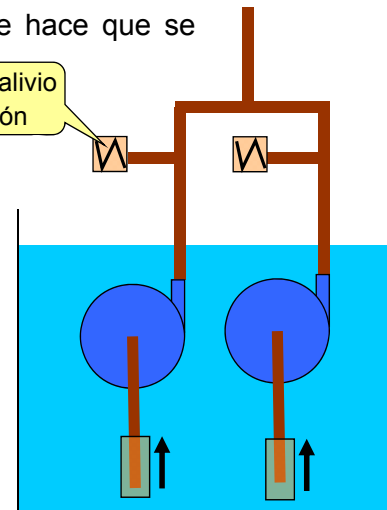
➤ Empuje Axial en Arranques y Paradas de Bombas Sumergibles

La válvula de pie de pozo hace la veces de válvula antiretorno, por lo que no se instala otra a la salida

La parada de una o de las dos bombas crea un refluo que hace que se produzca en ella un fuerte empuje axial

El efecto se limita con válvulas de alivio de presión

Válvula de alivio de presión



Esta situación de empuje axial también es típica en arranques de:

- Bomba de un sistema de riego
- Llenado de tuberías
- Instalaciones de elevación desde un pozo sin válvula de pie de pozo

En todas estas situaciones la bomba arranca si contrapresión, y el caudal en el arranque es excesivo

45

Acoplamiento de Bombas (IX):

Axial thrust

Axial thrust is the sum of forces acting on the shaft in axial direction. Axial thrust is mainly caused by forces from the pressure difference between the impeller's hub plate and shroud plate.

The size and direction of the axial thrust can be used to specify the size of the bearings and the design of the motor. Pumps with up-thrust require locked bearings. In addition to the axial thrust, consideration must be taken to forces from the system pressure acting on the shaft.

The axial thrust is related to the head and therefore it scales with the speed ratio squared.

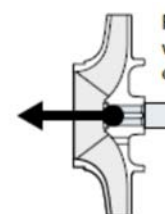
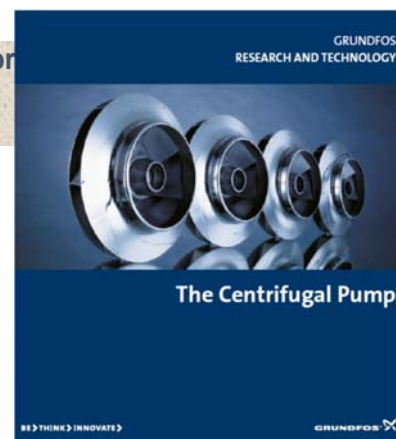


Figure 2.14: Axial thrust work in the bearing's direction.

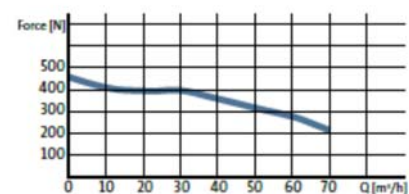


Figure 2.15: Example of an axial thrust curve for a TP65-410 pump.

6

Acoplamiento de Bombas (X):

Radial thrust

Radial thrust is the sum of forces acting on the shaft in radial direction. Hydraulic radial thrust is a result of the pressure difference in a volute casing. Size and direction vary with the flow.

The forces are minimum in the design point. To size the bearings correctly, it is important to know the size of the radial thrust.

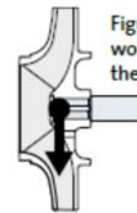
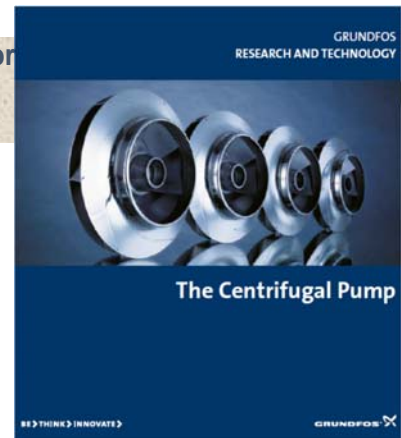


Figure 2.16: Radial thrust work perpendicular on the bearing.

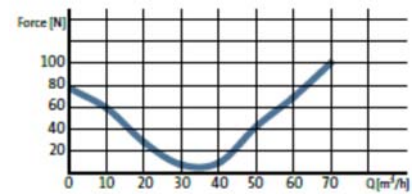


Figure 2.17: Example of a radial thrust curve for a TP65-410 pump.