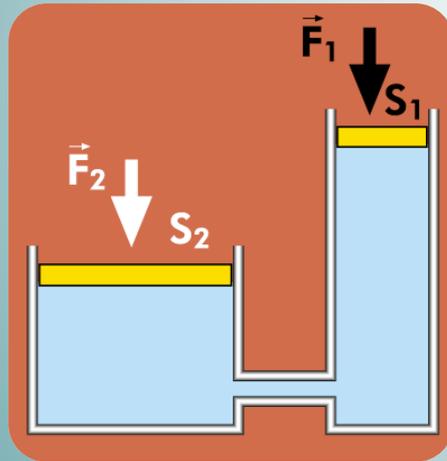


# Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas

## Tema 08. Bombas



**Severiano F. Pérez Remesal**  
**Carlos Renedo Estébanez**

DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ENERGÉTICA

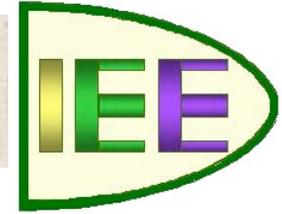
Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

**MF. T.- Bombas**

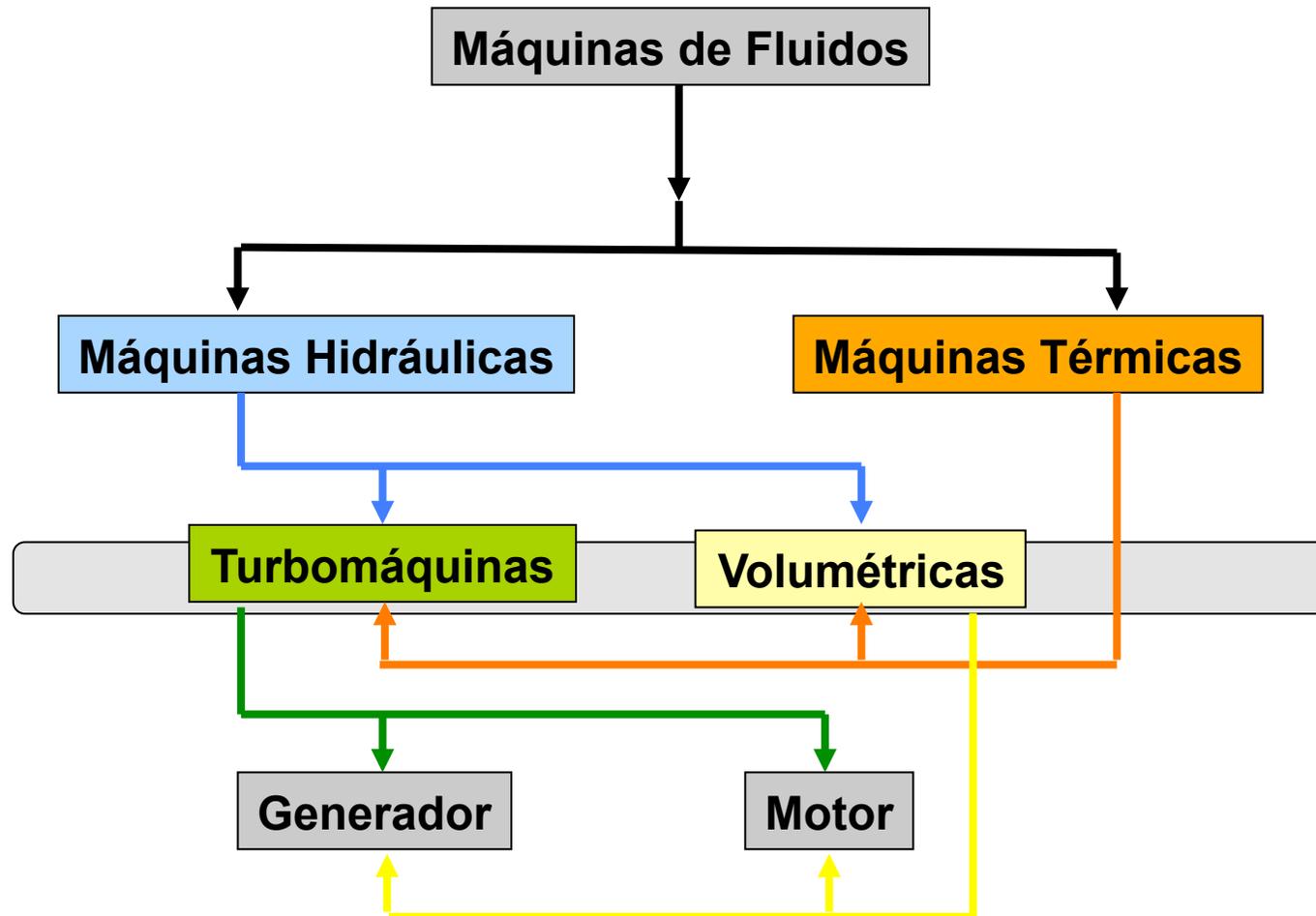
**Objetivos:**

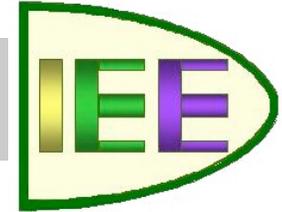
El objetivo de este tema es desarrollar la máquina hidráulica de mayor aplicación: la bomba, y en especial la bomba centrífuga



- 1.- Bombas: generadores hidráulicos
- 2.- Características principales
- 3.- Alturas
- 4.- Clasificación de las bombas
- 5.- Características
- 6.- Utilización
- 7.- Partes
- 8.- Rodetes
- 9.- La voluta
- 10.- Curva característica
- 11.- Cebado de una bomba
- 12.- Instalación de una bomba
- 13.- Acoplamiento de bombas
- 14.- Ecuación de Euler para bombas
- 15.- Potencias, rendimientos y pérdidas en las bombas

1.- Bombas: generadores hidráulicos





## 1.- Bombas: generadores hidráulicos

### Las Bombas son Generadores Hidráulicos

Absorben energía mecánica en el eje y proporcionan energía hidráulica a un líquido que bombean por una tubería (con accesorios)

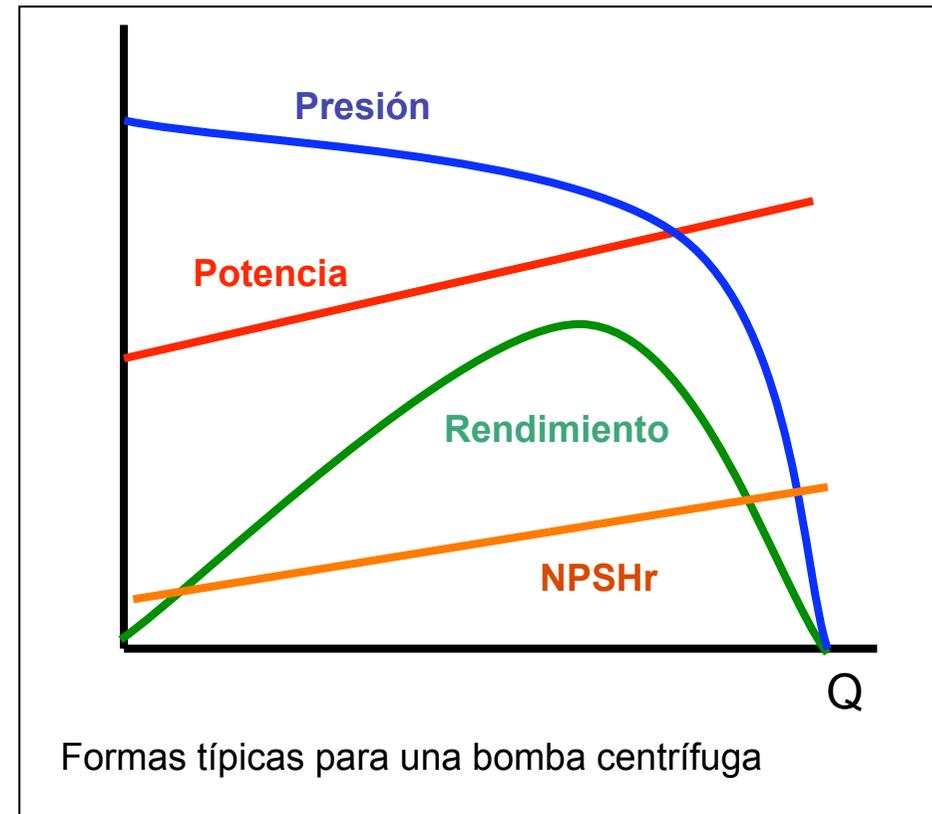
Su aplicación es muy diversa, para la impulsión de toda clase de líquidos

En general actúan en dos fases:

- **Aspiración:** elevando el líquido desde su nivel hasta la bomba, por medio de la tubería de aspiración. La bomba ejerce un vacío con el fin de que el líquido pueda subir por la tubería de aspiración impulsada por la presión atmosférica
- **Impulsión:** conducción del líquido desde la bomba hasta su destino, por medio de la tubería de impulsión. En esta fase la bomba ejerce la presión necesaria para que el líquido se traslade a lo largo de la tubería

## 2.- Características principales

- Caudal suministrado ( $\text{m}^3/\text{h}$  o  $\text{l}/\text{h}$ )
- Presión o altura suministrada,  $H$  (en m.c.l, bar,  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , etc)
- Altura de aspiración (NPSHr)
- La potencia consumida
- El rendimiento
- La presión máxima que puede soportar su estanquidad
- ...





### 3.- Alturas (I)

**Geométrica:**

*Depende de las cotas de los puntos de donde toma el líquido y hasta donde lo impulsa*

**Manométrica:**

*... y además de las pérdidas de carga en las tuberías (incluyendo los accesorios)*

**Total de la bomba:**

*... y además de las pérdidas interiores en la bomba*



### 3.- Alturas (I)

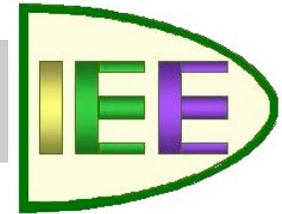
#### Geométrica:

- **A.G. de aspiración ( $H_{\text{aspiración}}$ ):** es la distancia vertical existente entre el eje de la bomba y el nivel del líquido aspirado
- **A.G. de impulsión ( $H_{\text{impulsión}}$ ):** es la distancia vertical existente entre el nivel superior del líquido descargado (superficie del líquido en el depósito de impulsión o el punto de descarga libre de la tubería de impulsión) y el eje de la bomba
- **A.G. de elevación:** es la distancia vertical existente entre los niveles del líquido (el impulsado y el aspirado)

#### Manométrica:

- **A.M. de aspiración:** es igual a la altura geométrica de aspiración más las pérdidas de carga en la tubería de aspiración
- **A.M. de impulsión:** es igual a la altura geométrica de impulsión más las pérdidas de carga en la tubería de impulsión
- **A.M. total** es la suma de las alturas manométricas anteriores

**Total de la bomba:** { • **A.T.B.:** A.M.T más la pérdidas interiores a la bomba



### 3.- Alturas (II)

La altura de elevación o geométrica:

$$H_{\text{elevación}} = H_{\text{impulsión}} + H_{\text{aspiración}}$$

La altura manométrica o útil:

$$H_{\text{manométrica}} = H_{\text{elevación}} + H_{L\text{-tubería}}$$

$$H_{L\text{-Tubería}} = H_{L\text{-Tasp}} + H_{L\text{-Timp}}$$

La altura total:

$$H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{elevación}} + H_{L\text{-tubería}} + H_{L\text{-int Bom}}$$

> ó < 0

> 0

> 0

1ª Ec. EULER

$$H_{\text{total}} = H_{G.H.} = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g}$$

$$\eta_{\text{manométrico}} = \frac{H_{\text{manométrica}}}{H_{\text{total}}}$$

### 3.- Alturas (III)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

- Impulsión
- Aspiración

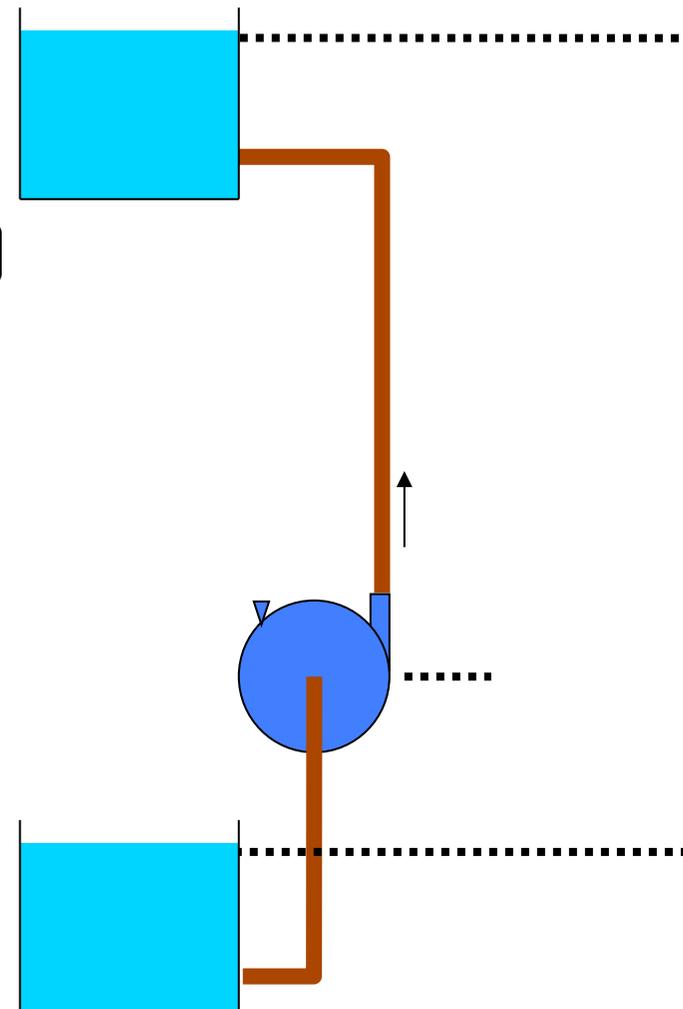
Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es negativa

Caso 1:

Achicando



### 3.- Alturas (III)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

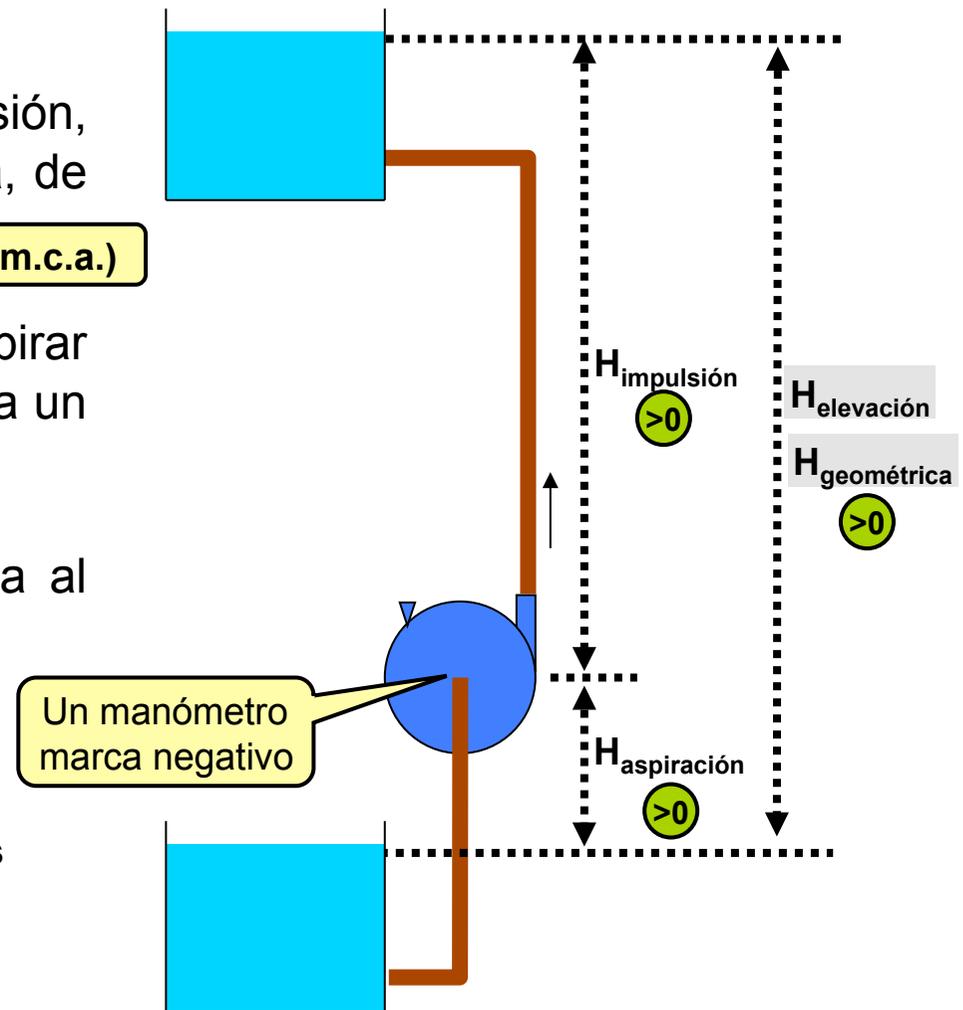
- Impulsión
- Aspiración

Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es negativa

#### Caso 1: Geométrica:



### 3.- Alturas (III)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

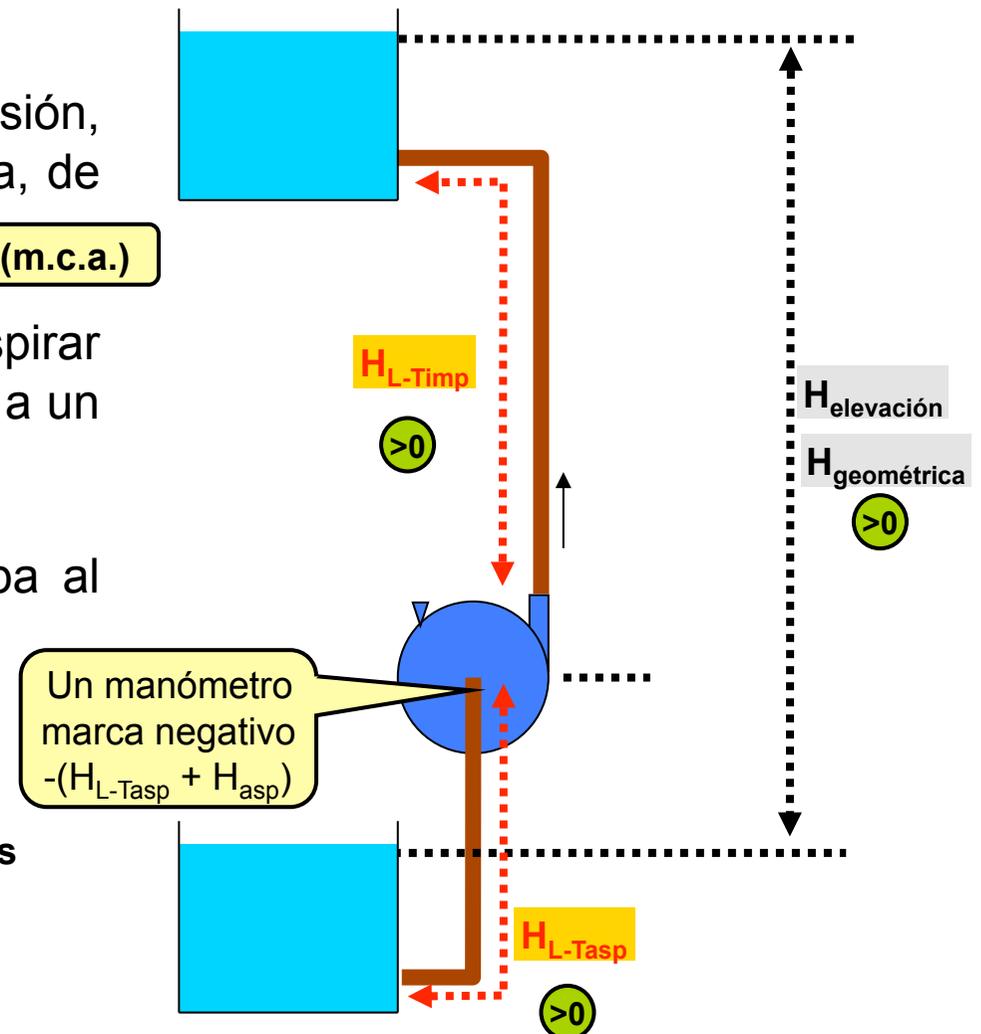
- Impulsión
- Aspiración

Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es negativa

#### Caso 1: Manométrica:



### 3.- Alturas (III)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

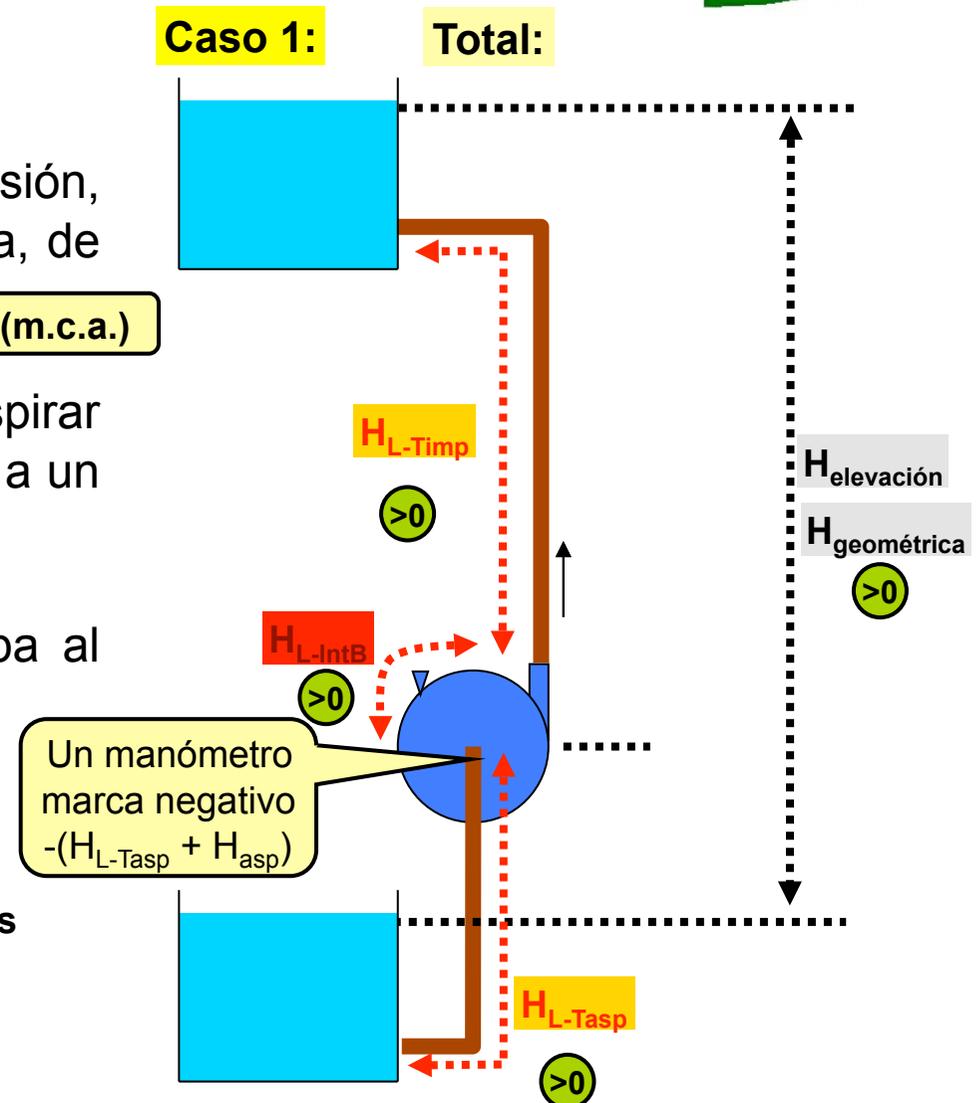
La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

- Impulsión
- Aspiración

Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es negativa



### 3.- Alturas (IV)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

- Impulsión
- Aspiración

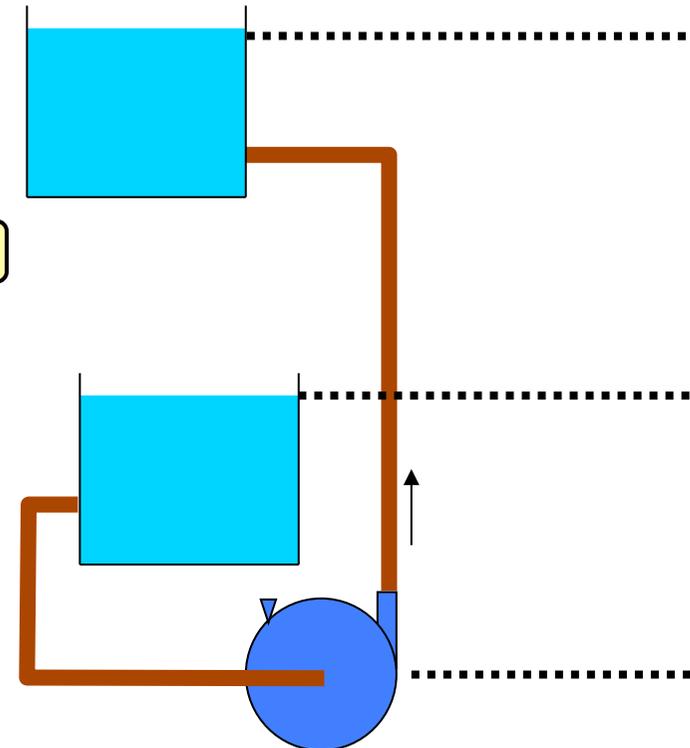
Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva

Caso 2:

Elevando



Bomba "en carga"

### 3.- Alturas (IV)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

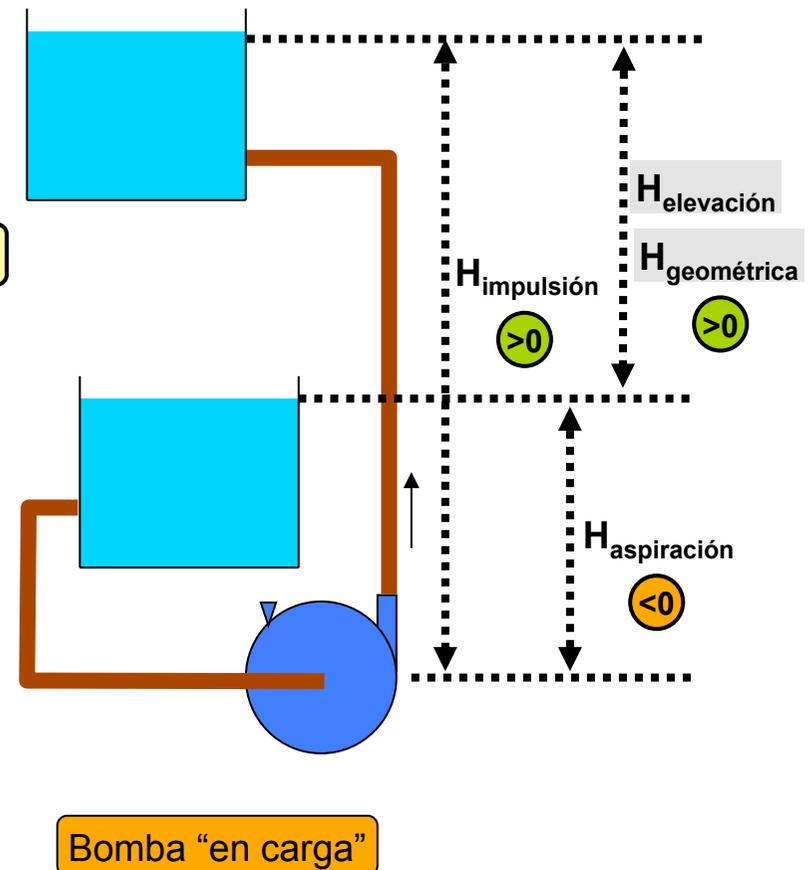
- Impulsión
- Aspiración

Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva

#### Caso 2: Geométrica:



### 3.- Alturas (IV)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

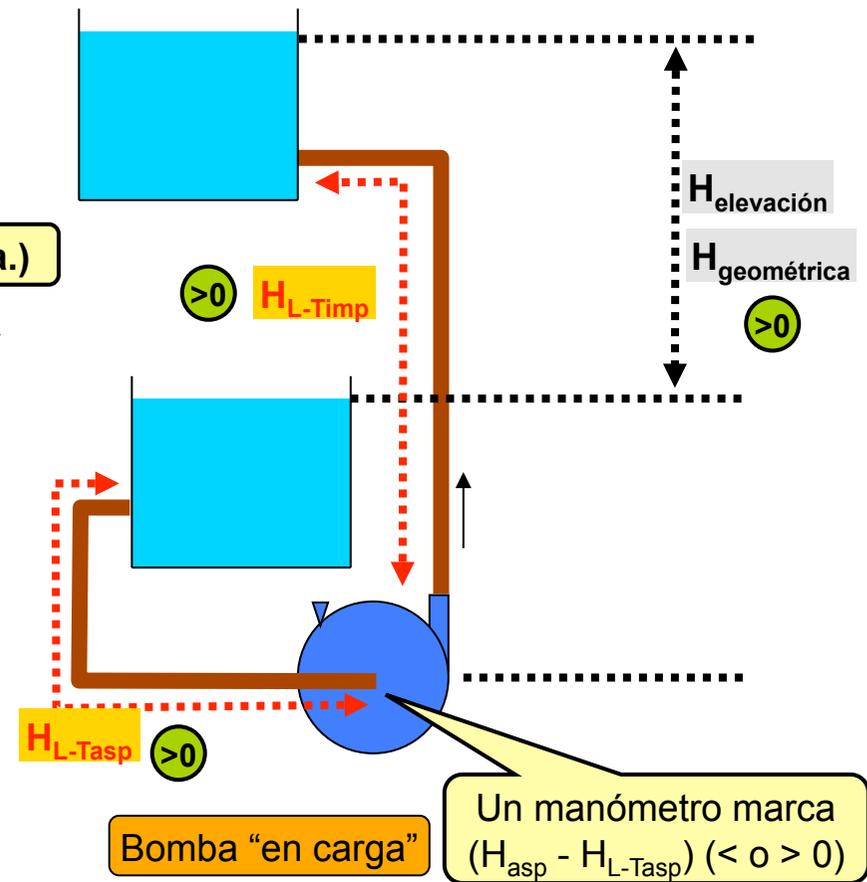
- Impulsión
- Aspiración

Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva

#### Caso 2: Manométrica:



### 3.- Alturas (IV)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

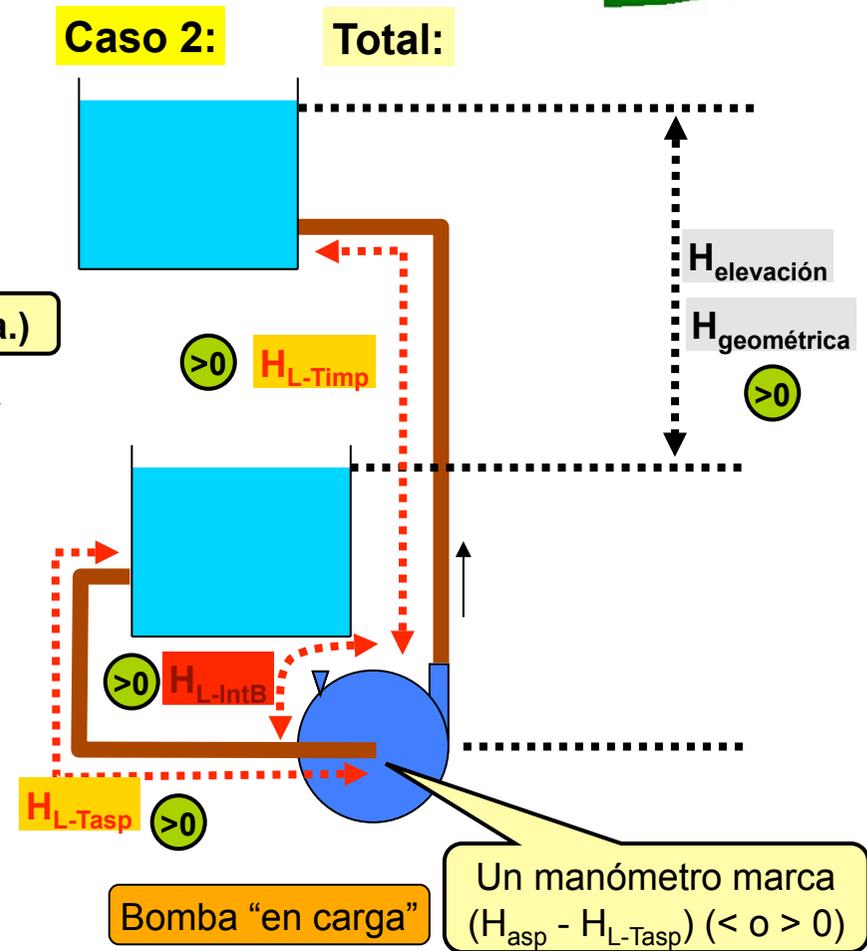
La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

- Impulsión
- Aspiración

Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva



### 3.- Alturas (IV)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

- Impulsión
- Aspiración

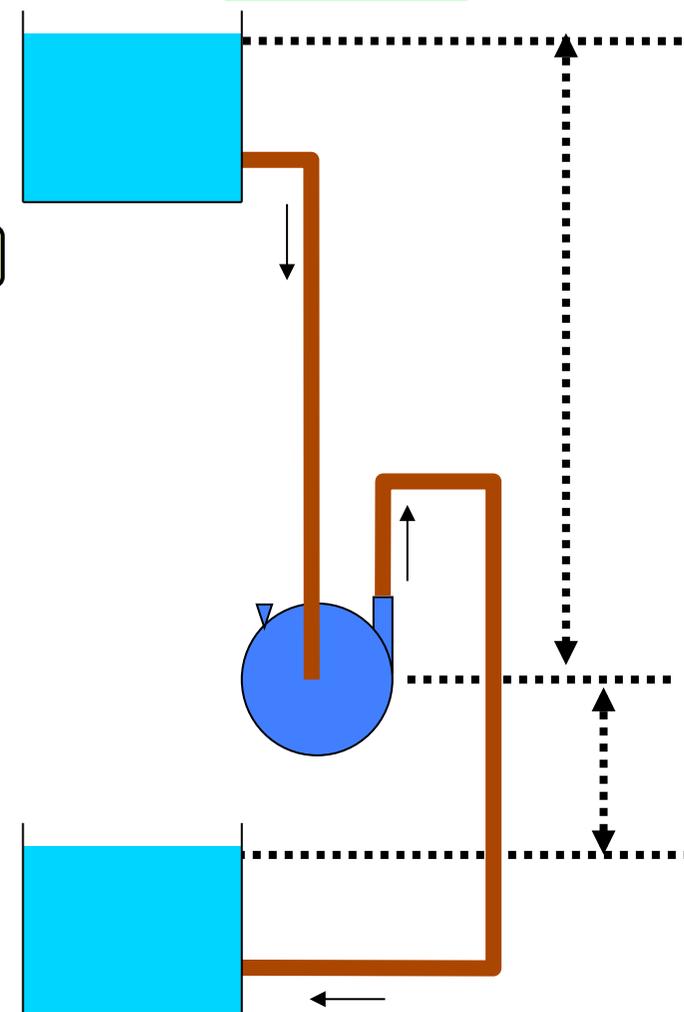
Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva y  $H_{imp}$  es negativa

Caso 3:

Evacuando



Bomba "en carga"

### 3.- Alturas (V)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

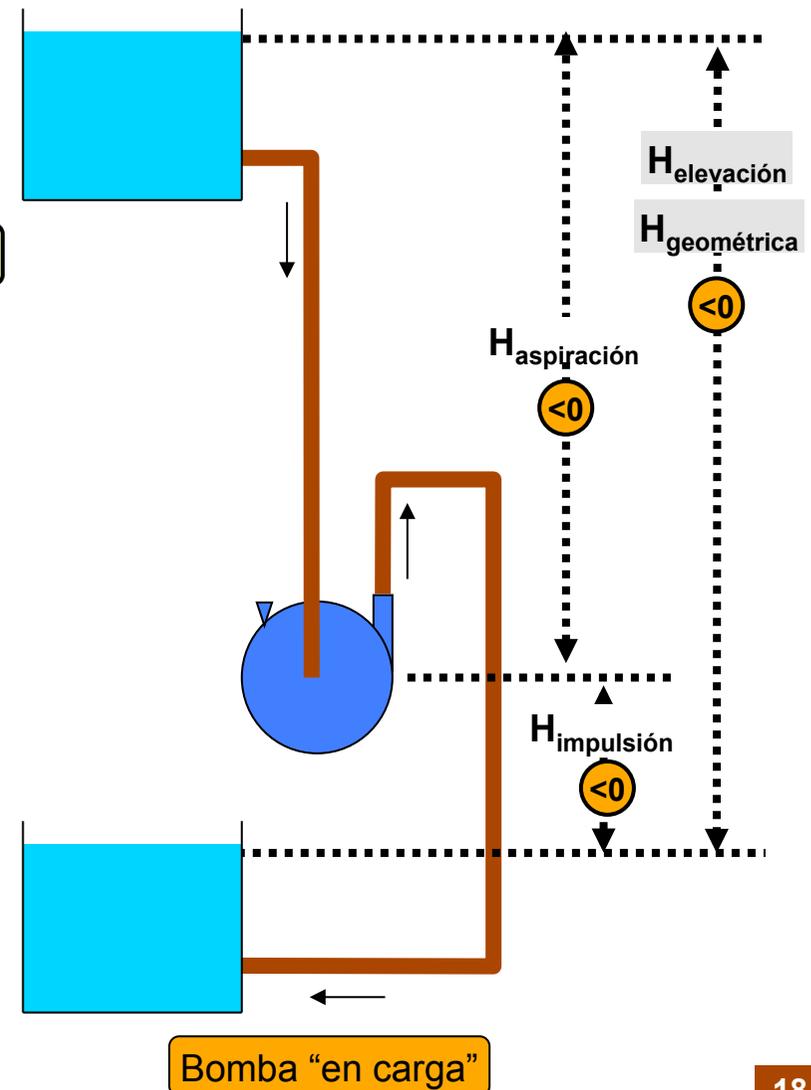
- Impulsión
- Aspiración

Con signo

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva y  $H_{imp}$  es negativa

#### Caso 3: Geométrica:



### 3.- Alturas (V)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

- Impulsión
- Aspiración

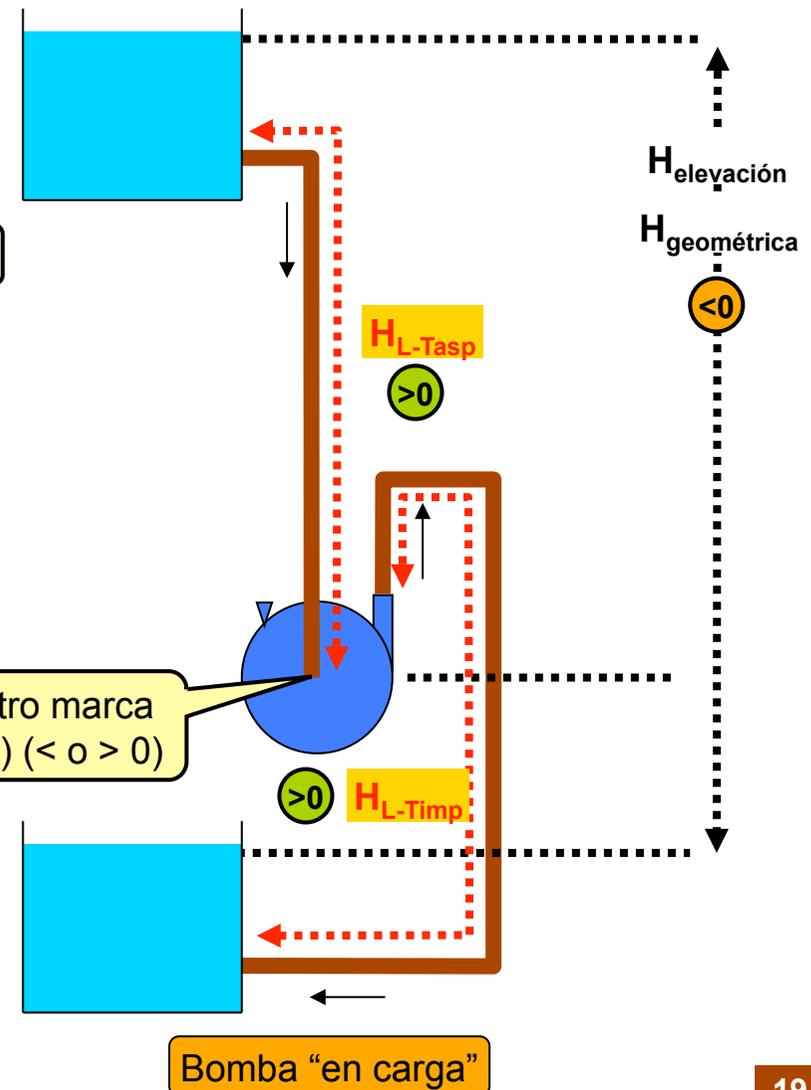
Con signo

Un manómetro marca  $(H_{asp} - H_{L-Tasp}) (< 0 > 0)$

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva y  $H_{imp}$  es negativa

#### Caso 3: Manométrica:



### 3.- Alturas (V)

Las Bombas proporcionan presión, normalmente expresada como altura, de líquido (m.c.l.)

Típicamente agua, (m.c.a.)

Las bombas son capaces de aspirar desde un depósito que esté situado a un nivel inferior al suyo

La altura suministrada por la bomba al fluido es la resta de las alturas de:

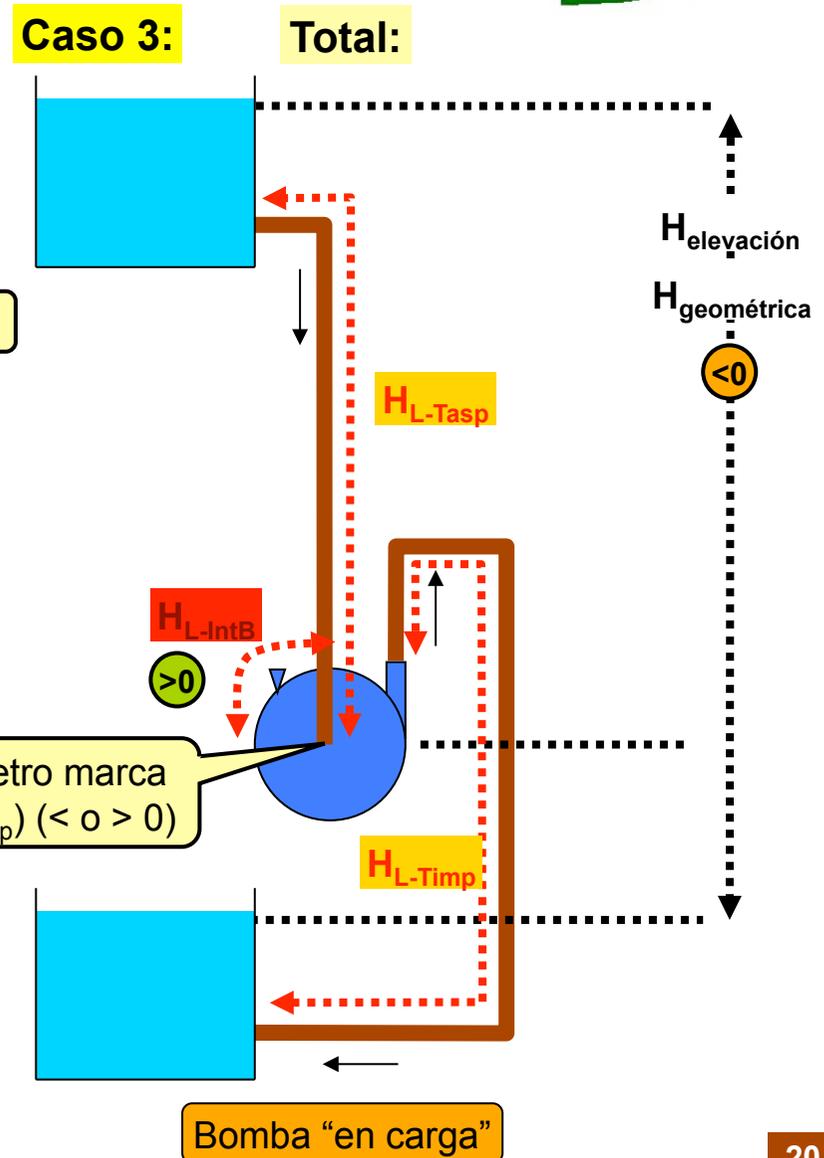
- Impulsión
- Aspiración

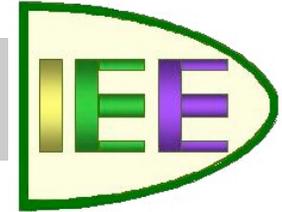
Con signo

Un manómetro marca  $(H_{asp} - H_{L-Tasp}) (< 0 > 0)$

(geométricas + pérdidas de carga en las tuberías)

En la Fig  $H_{asp}$  es positiva y  $H_{imp}$  es negativa





#### 4.- Clasificación de las bombas

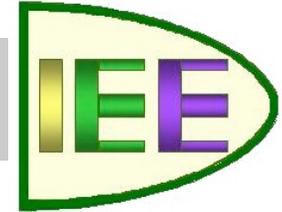
##### ***Por la continuidad de la circulación del fluido de trabajo***

- ***Dinámicas, Turbomáquinas o Rotodinámicas:***  
provocan circulación continua del fluido  
ej: centrífuga
  
- ***Volumétricas o de Desplazamiento Positivo:***  
en cada instante evoluciona una cantidad  
determinada de fluido  
ej: alternativa, engranajes, de tornillo



## 5.- Características

- El fluido las atraviesa de forma continua
- Suministran caudales altos
- Suministran presiones moderadas
- Su rango de caudal de trabajo es amplio
  
- Son de construcción sencilla, no requieren tolerancias estrictas
- Son compactas y de poco peso
- No tienen válvulas, no tienen movimientos alternativos
  - ⇒ silenciosas y con pocas vibraciones
- Son de fácil mantenimiento y de vida prolongada
  
- Tiene bajos rendimientos con caudales pequeños
- No se autocebaban (no aspiran cuando tienen aire en su interior)

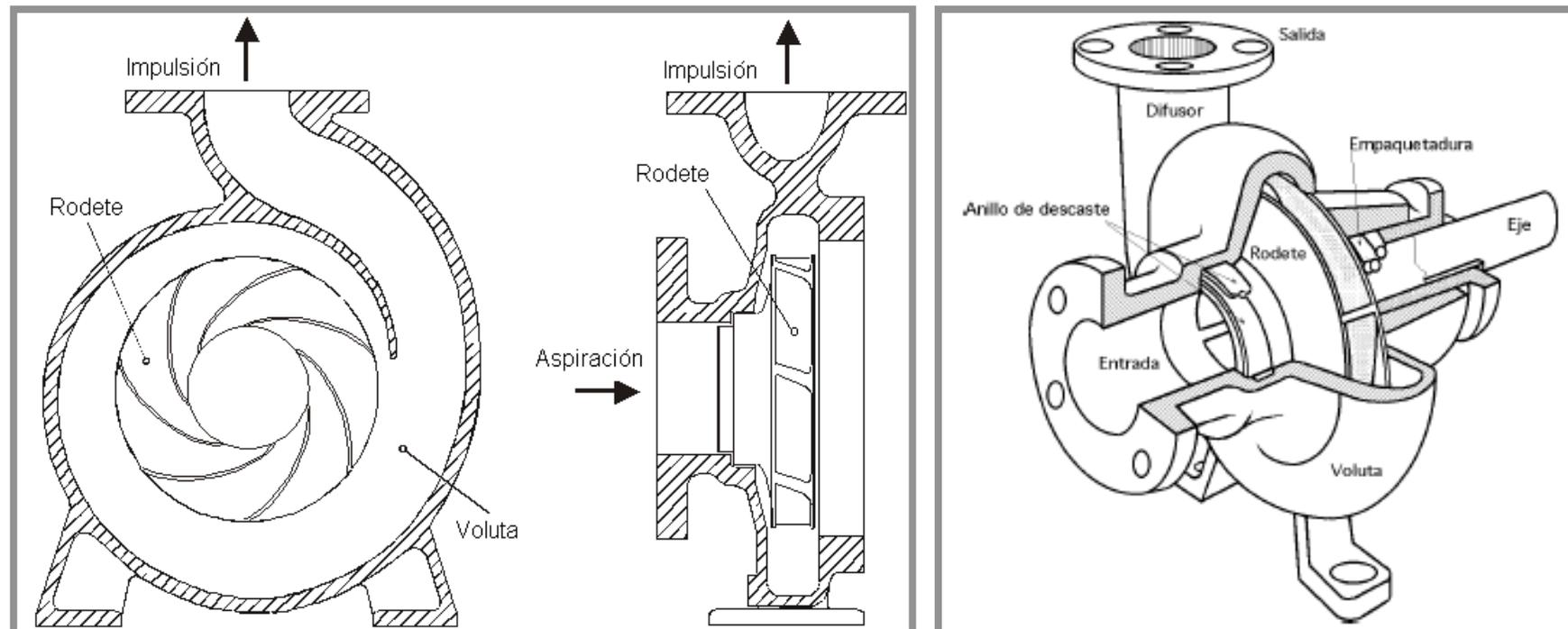


## 6.- Utilización

- Circuitos de bombeo: industriales, redes de suministro urbano, sistemas de riego, ...
- Generación de electricidad: centrales hidroeléctricas, centrales térmicas, ...
- Sistemas de aire acondicionado y calefacción
- Circuitos de refrigeración en automoción
- Electrodomésticos
- Sistemas de achique
- Grupos contraincendios
- ...

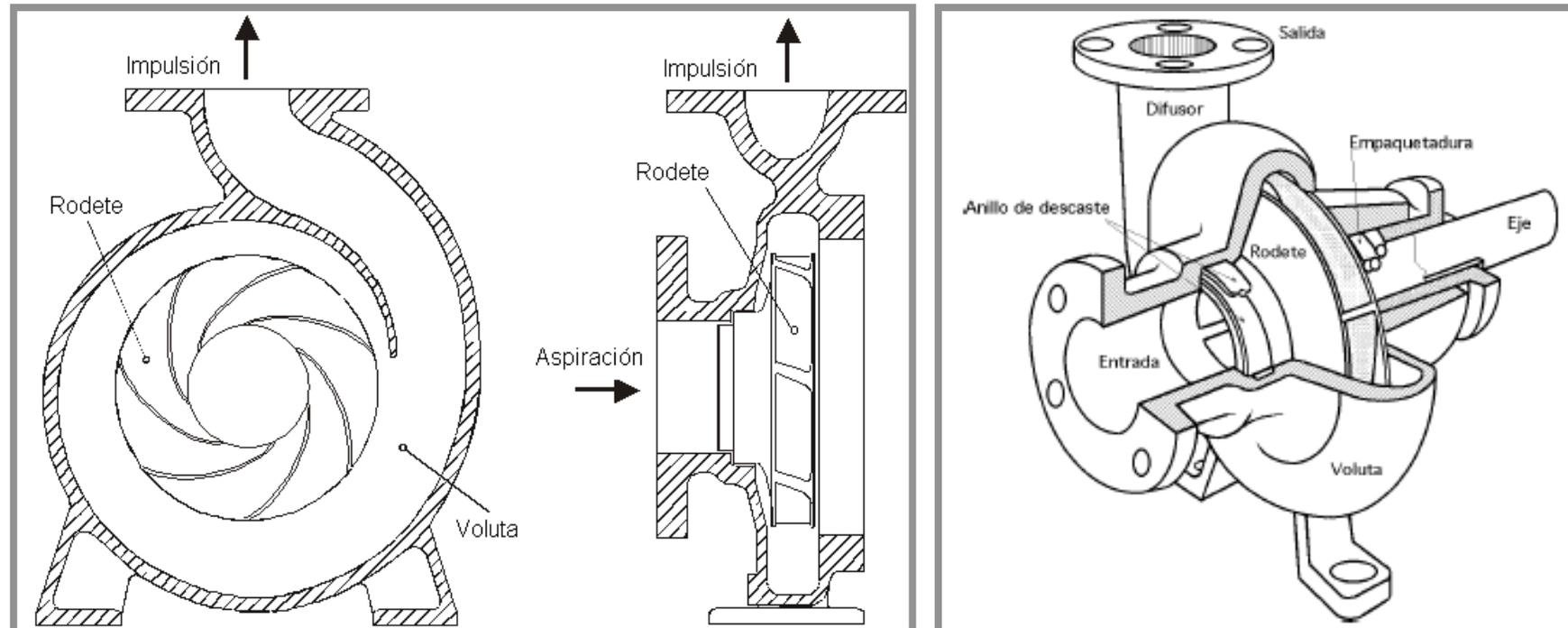
## 7.- Partes (I)

- El rodete o impulsor
- Aspiración
- Carcasa o voluta, puede incluir un difusor (sistema de álabes fijos)
- Empaquetaduras y cierres mecánicos



## 7.- Partes (II)

- El rodete o impulsor
- Aspiración
- Carcasa o voluta, puede incluir un difusor (sistema de álabes fijos)
- Empaquetaduras y cierres mecánicos



## 7.- Partes (II)

Aspiración:

El líquido es aspirado por el ojo del rodete

Rodete:

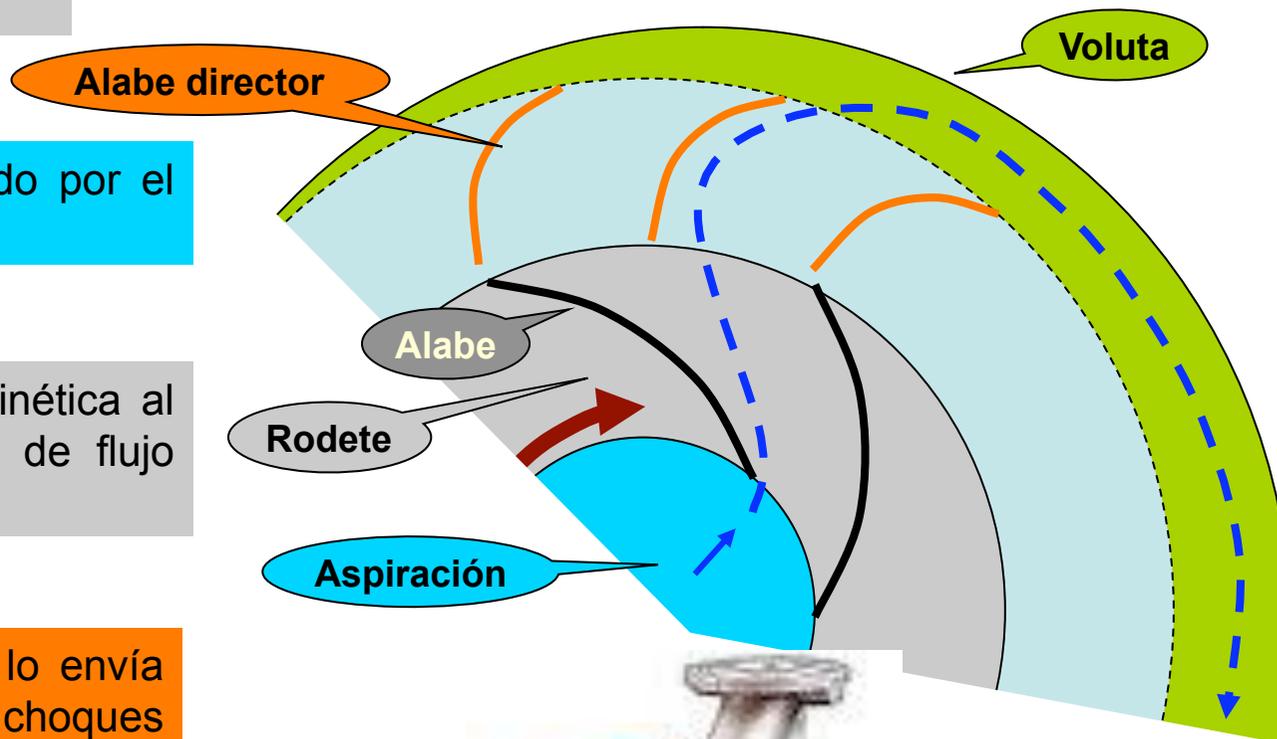
Comunica energía cinética al fluido. El flujo pasa de flujo axial a radial

Alabes directores:

Recoger el fluido y lo envía hacia la voluta sin choques ni turbulencias (opcionales)

Voluta:

En ella se transforma la energía cinética del fluido en energía de presión



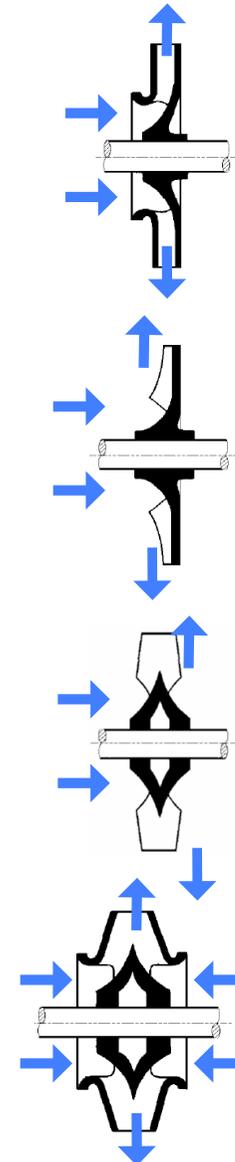
## 8.- Rodetes (I)

**Cerrados:** el habitual, mejor rendimiento, posibles problemas de obstrucción

**Semiabiertos:** sin problemas de obstrucción, se emplean con fluidos “sucios”

**Abiertos:** sin problemas de obstrucción, muy malos rendimientos hidráulicos por “fugas internas”

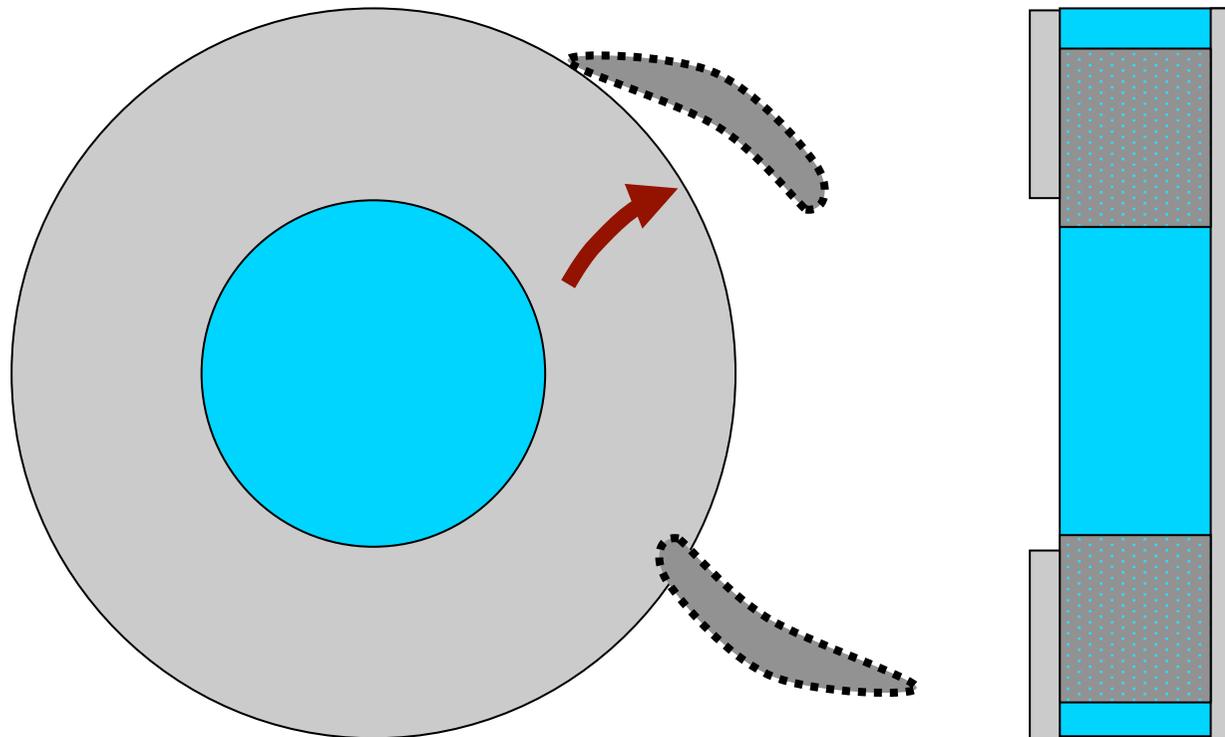
**Doble aspiración:** compensa esfuerzos axiales, para grandes caudales



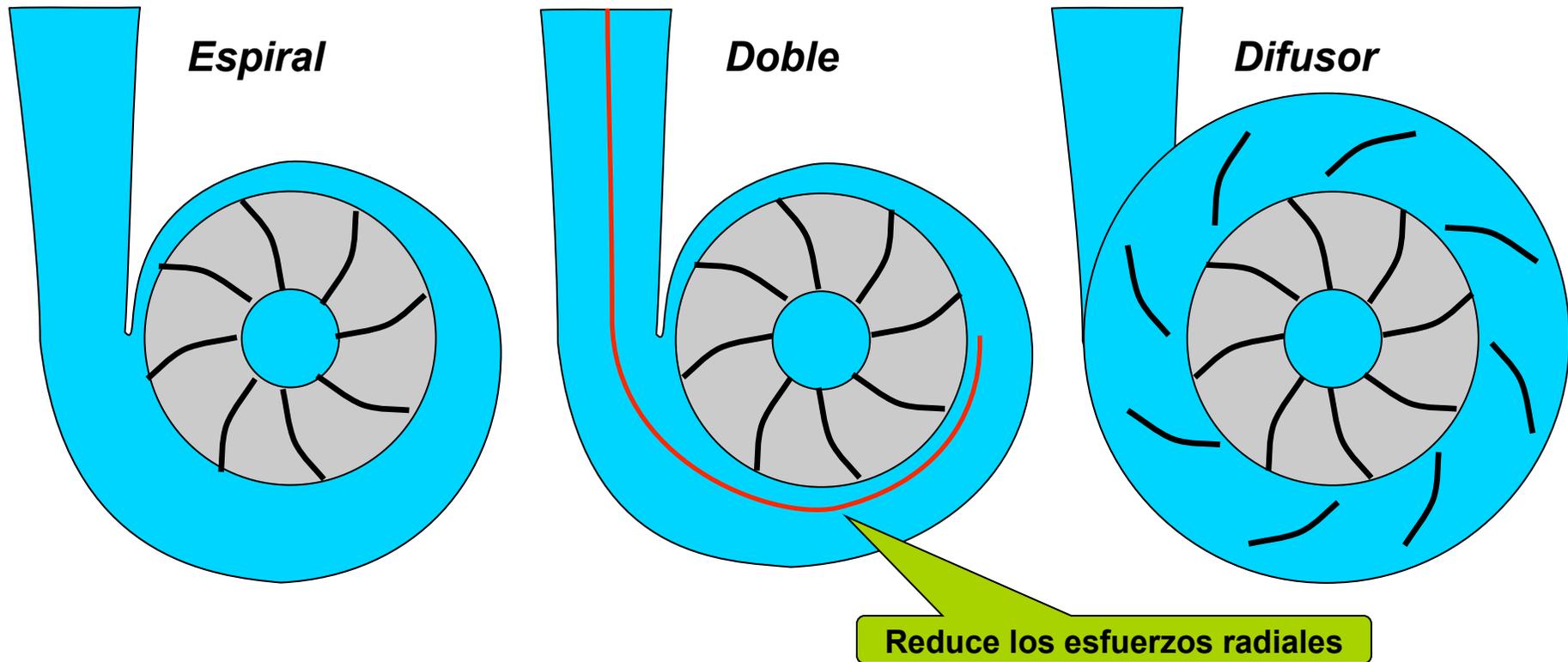
## 8.- Rodetes (II)

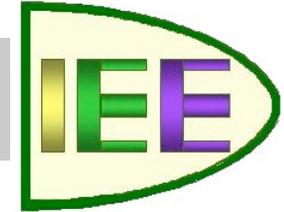
### **Cerrados:**

Si se emplean con fluidos sucios suelen tener sólo dos álabes de cantos redondeados



9.- La voluta





**Clasificación por (I):**

Forma del rodete

- **La dirección del flujo**
  - Radiales
  - Axiales
  - Radioaxial o mixta

- **Flujo a la entrada**
  - Aspiración simple
  - Aspiración doble

- **Número de rodetes**
  - Una etapa
  - Multicelulares, multifase o multietapa

- **Separación bomba-motor**
  - Rotor seco (mejor rendimiento)
  - Rotor húmedo (menos ruido, menos mantenimiento, sólo para circuitos cerrados)

- **Posición del eje**
  - Horizontal
  - Vertical
  - Inclinado

**Clasificación por (II):**

➤ **Presión suministrada**

- Baja
- Media
- Alta



<http://www.grundfos.es/>

<http://www.wilo.es/>

➤ **Ubicación**

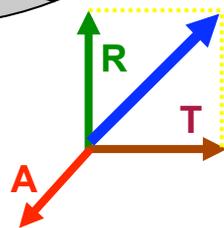
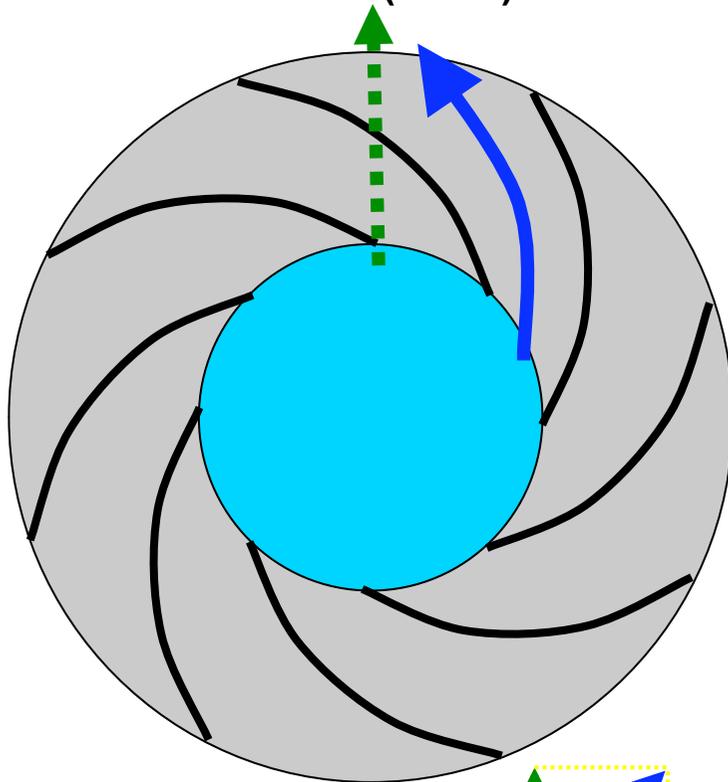
- Sumergible
- Pozo profundo

➤ **Construcción**

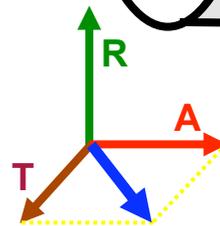
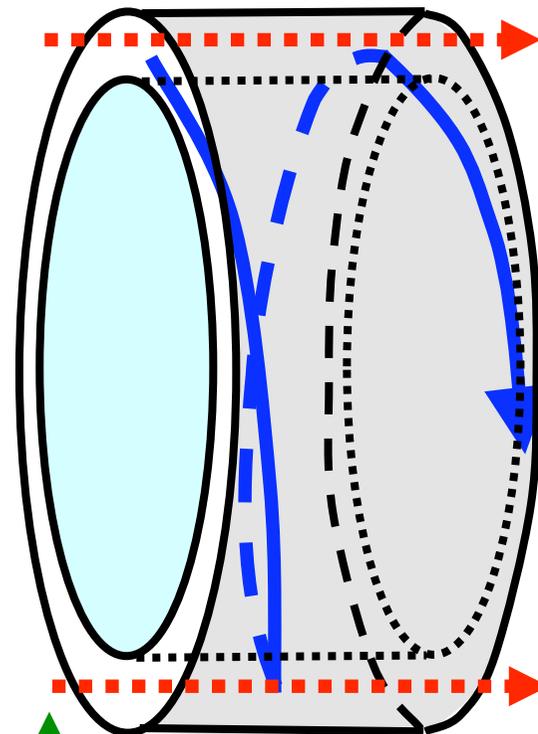
- Partida



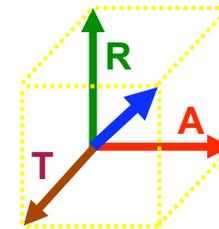
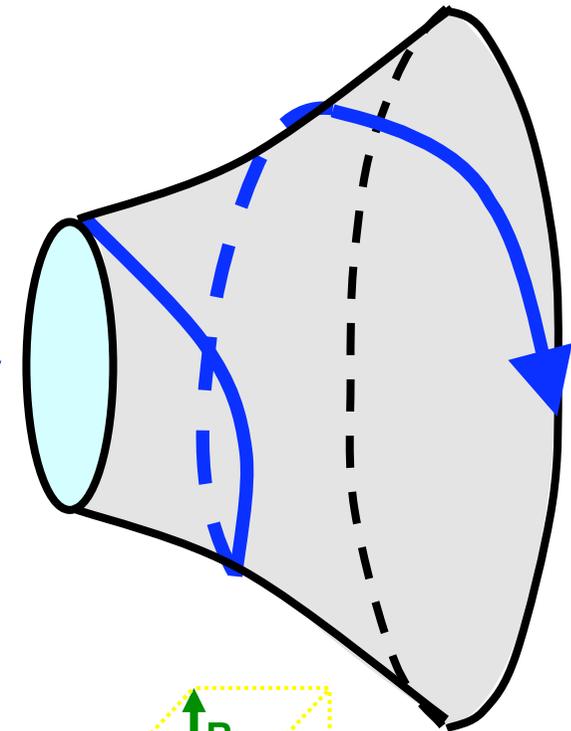
Radial (R + T)



AXIAL (A + T)

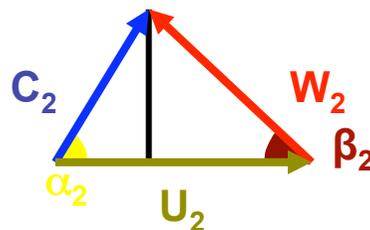
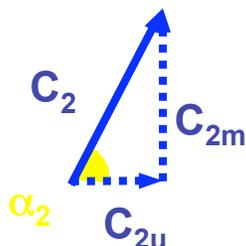
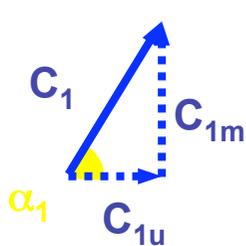


MIXTO (R + A + T)

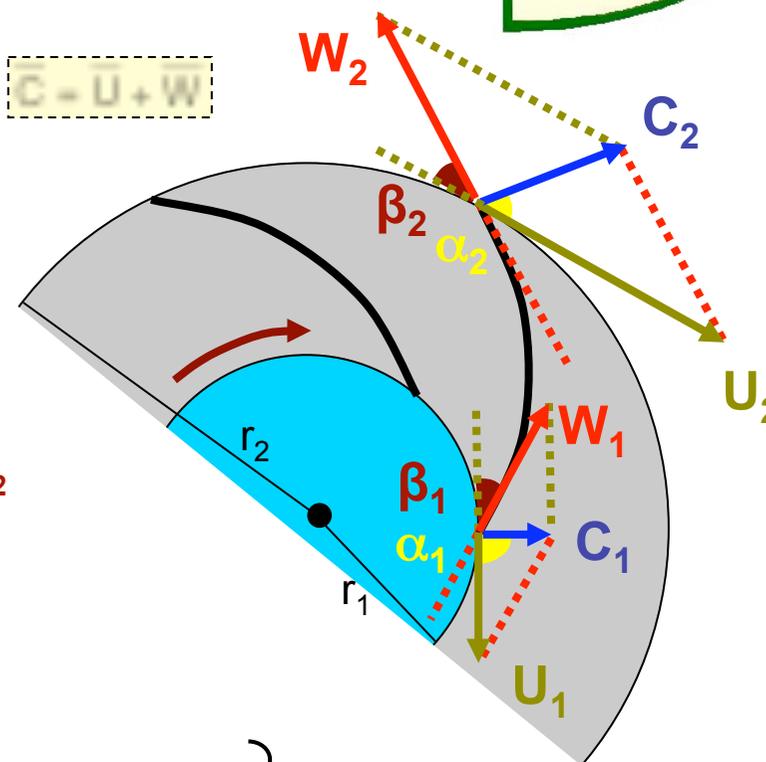


10.- Curva característica (I)

**1ª Ec. EULER**  $H_{\text{total}} = H_{\text{G.H.}} = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g}$



$C = U + W$



Si  $\alpha_1 = 90^\circ \Rightarrow c_{1u} = 0 \Rightarrow H_{\text{max}}$

$H_{\text{total Max}} = \frac{u_2 c_{2u}}{g}$

$u_2 = c_{2u} + w_{2u}$

$\text{tg } \beta_2 = \frac{w_{2m}}{w_{2u}} \Rightarrow \text{cotg } \beta_2 = \frac{w_{2u}}{w_{2m}}$

$c_{2u} = u_2 - w_{2u}$

$w_{2u} = w_{2m} \text{cotg } \beta_2$

$w_{2m} = c_{2m}$

$c_{2u} = u_2 - c_{2m} \text{cotg } \beta_2$

$H_{\text{total Max}} = \frac{u_2}{g} (u_2 - c_{2m} \text{cotg } \beta_2) = \frac{u_2^2}{g} - c_{2m} \frac{u_2}{g} \text{cotg } \beta_2$

10.- Curva característica (II)

$$H_{\text{total Max}} = \frac{u_2^2}{g} - c_{2m} \frac{u_2}{g} \cotg \beta_2$$

**El Caudal impulsado realmente es:**

Caudal,  $Q = k_1 C_{1m} A_1 = k_2 C_{2m} A_2$

$A_1 = 2 \pi r_1 \text{ ancho}_{\text{rodete}}$

$A_2 = 2 \pi r_2 \text{ ancho}_{\text{rodete}}$

$k_1$  y  $k_2$  dependen del espacio ocupado por los álabes del rodete en la entrada y salida respectivamente

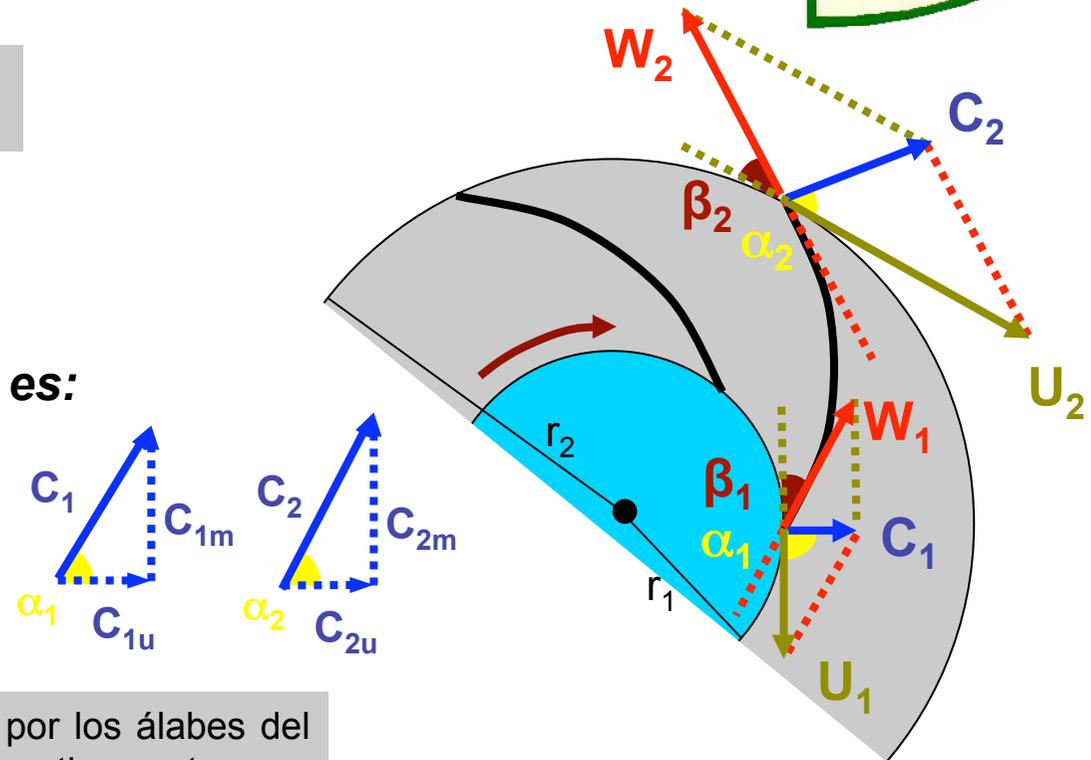
$$H_{\text{total Max}} = \frac{u_2^2}{g} - \frac{Q}{k_2 A_2} \frac{u_2}{g} \cotg \beta_2$$

Siendo:  $u_2$ ,  $g$ ,  $k_2$ ,  $A_2$ , y  $\beta_2$  ctes  $\Rightarrow$

$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$A = \frac{u_2^2}{g}$$

$$B = \frac{u_2}{k_2 A_2 g} \cotg \beta_2$$

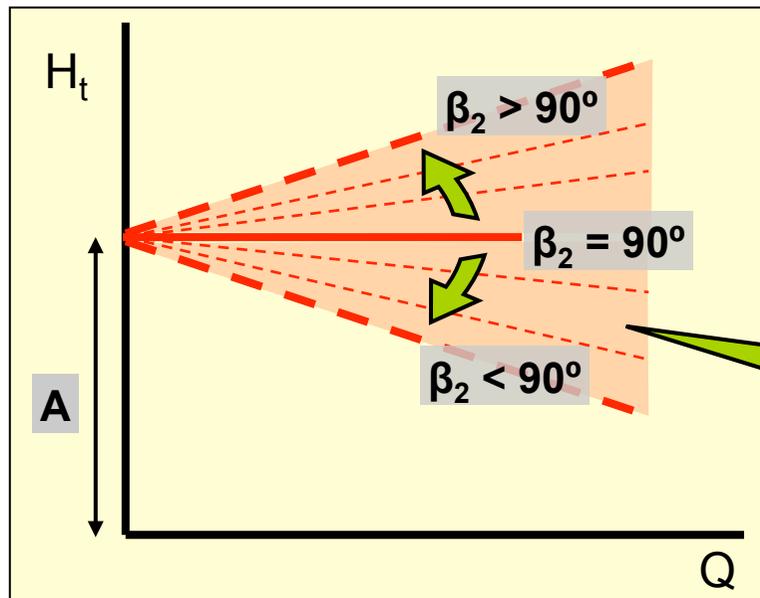


10.- Curva característica (III)

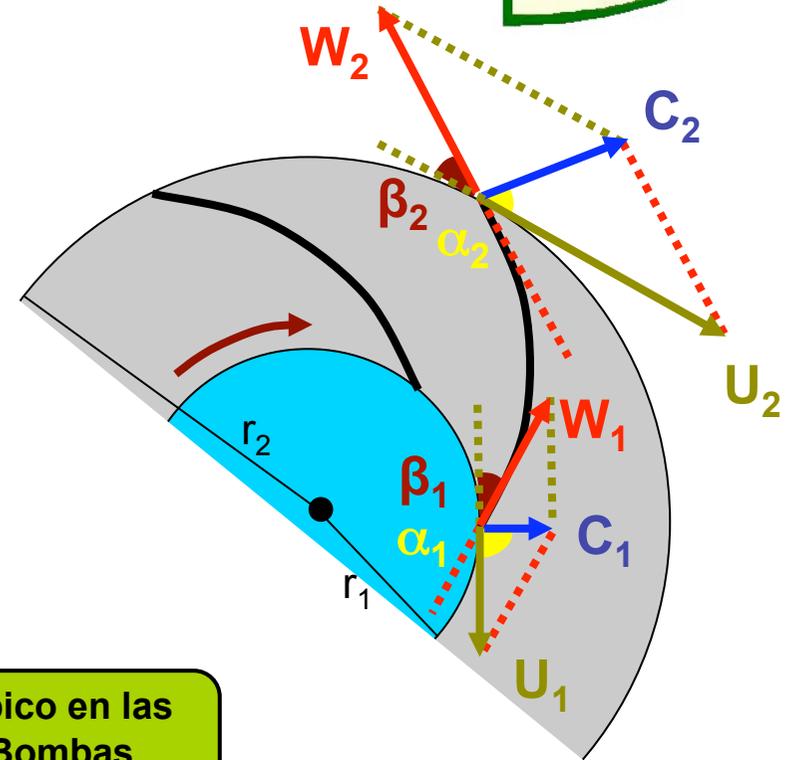
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$A = \frac{u_2^2}{g}$$

$$B = \frac{u_2}{k_2 A_2 g} \cotg \beta_2$$



Típico en las Bombas Centrifugas



La Curva Característica relaciona  $H_{\text{man}}$  con  $Q$

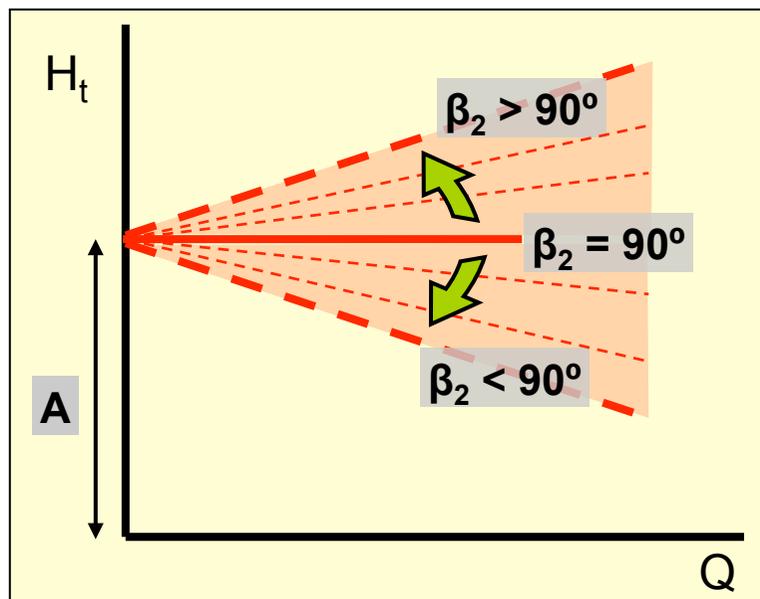
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

## 10.- Curva característica (IV)

$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$A = \frac{u_2^2}{g}$$

$$B = \frac{u_2}{k_2 A_2 g} \cotg \beta_2$$



La Curva Característica relaciona  $H_{\text{man}}$  con  $Q$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$H_{L\text{-intB}}$  son de dos tipos:

- Rozamiento líquido álabes

$$H_{L\text{-fric}} = C_1 Q^2$$

- Choques por  $Q \neq Q_{\text{nominal}}$

$$H_{L\text{-choq}} = C_2 (Q - Q_{\text{nom}})^2$$

$$H_{L\text{-interiores}} = C_1 Q^2 + C_2 (Q - Q_{\text{nom}})^2 = C_1 Q^2 + C_2 (Q^2 - 2QQ_n + Q_n^2) = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

10.- Curva característica (V)

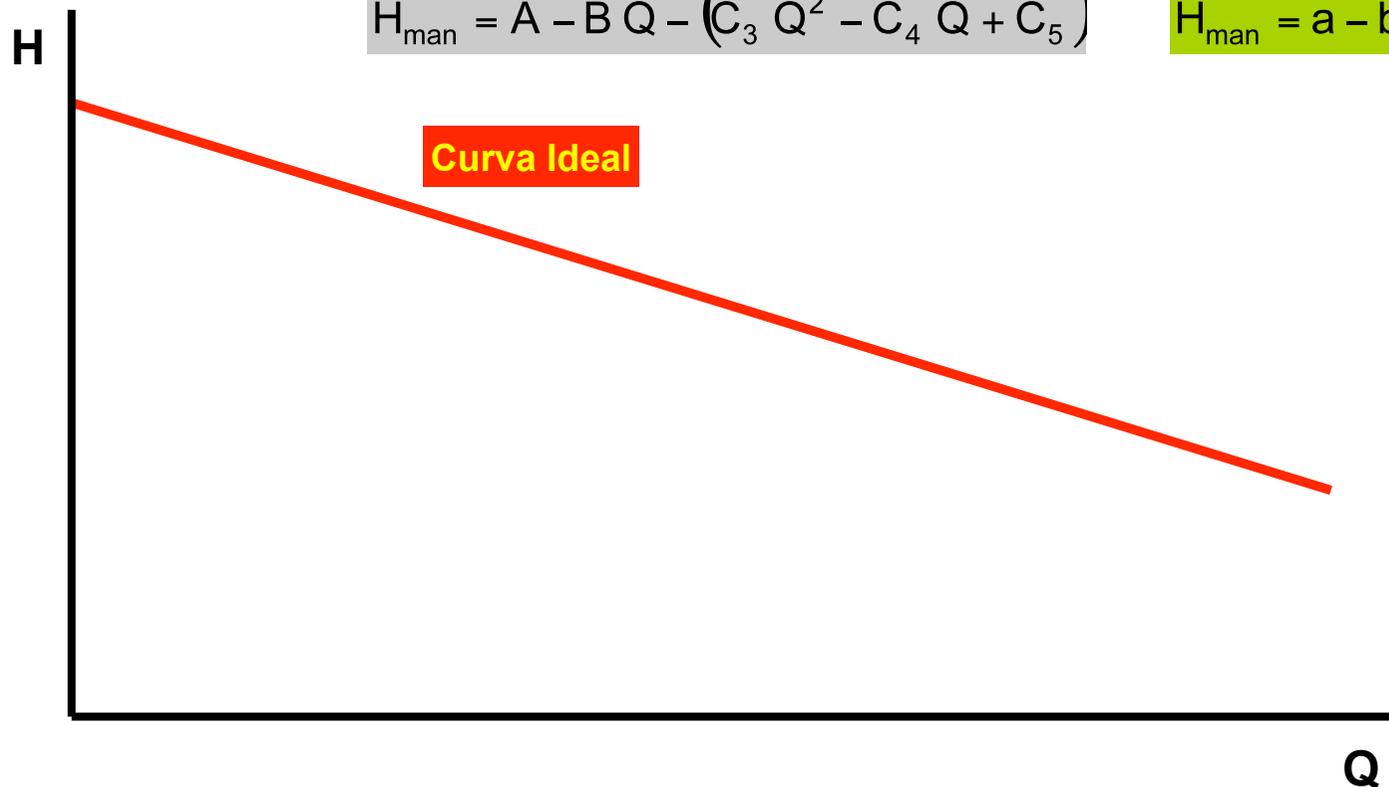
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

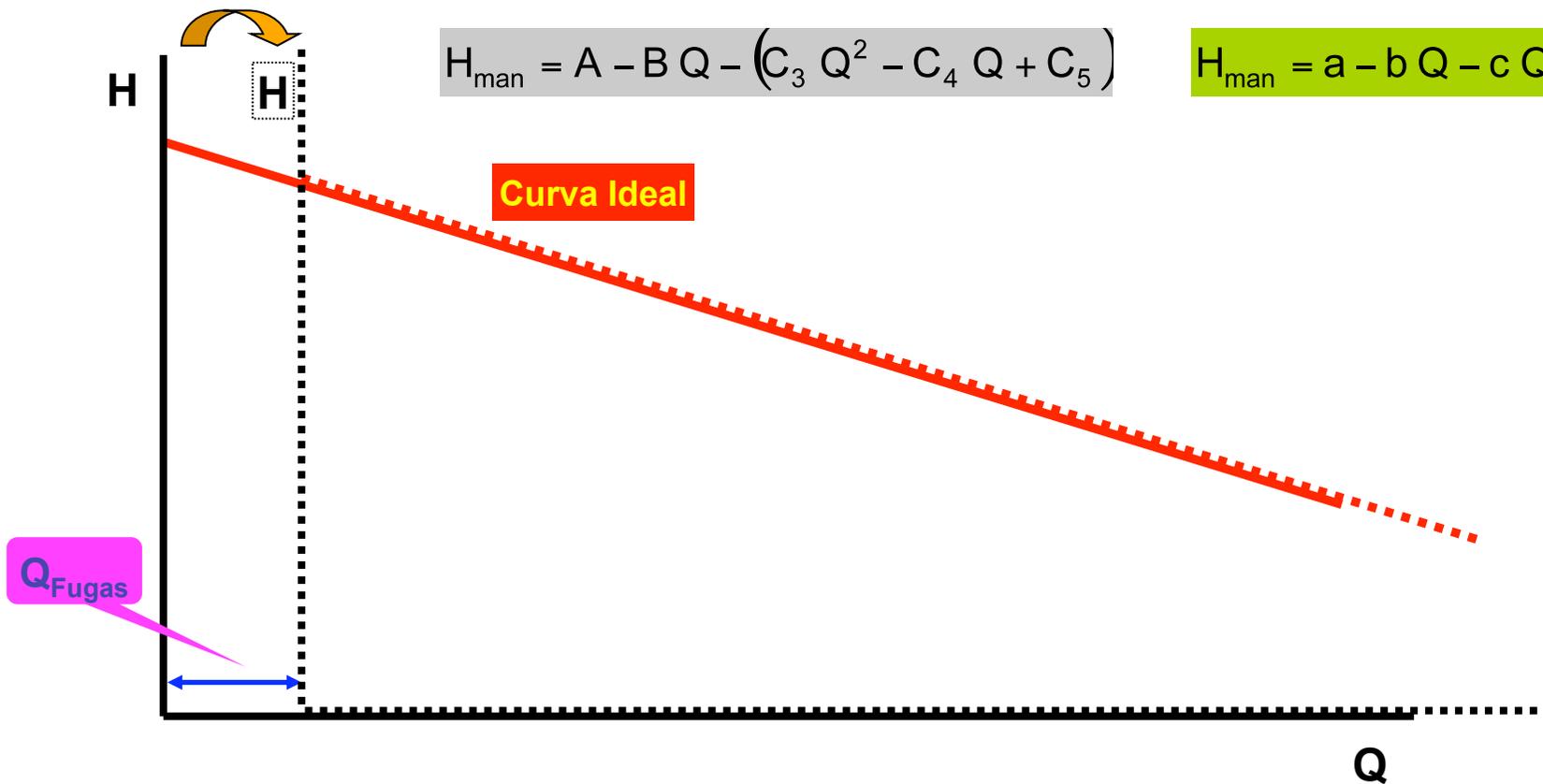
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

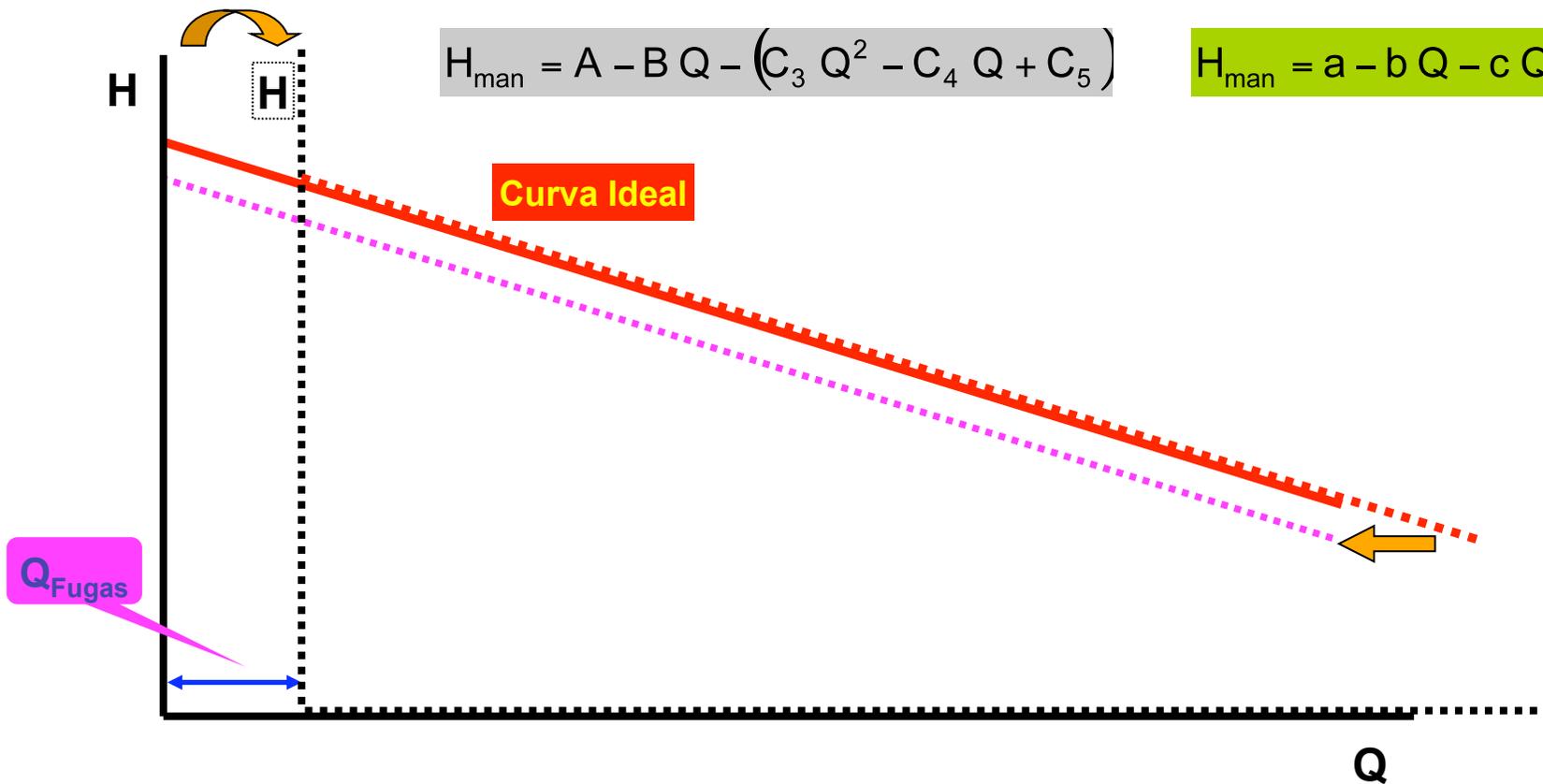
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

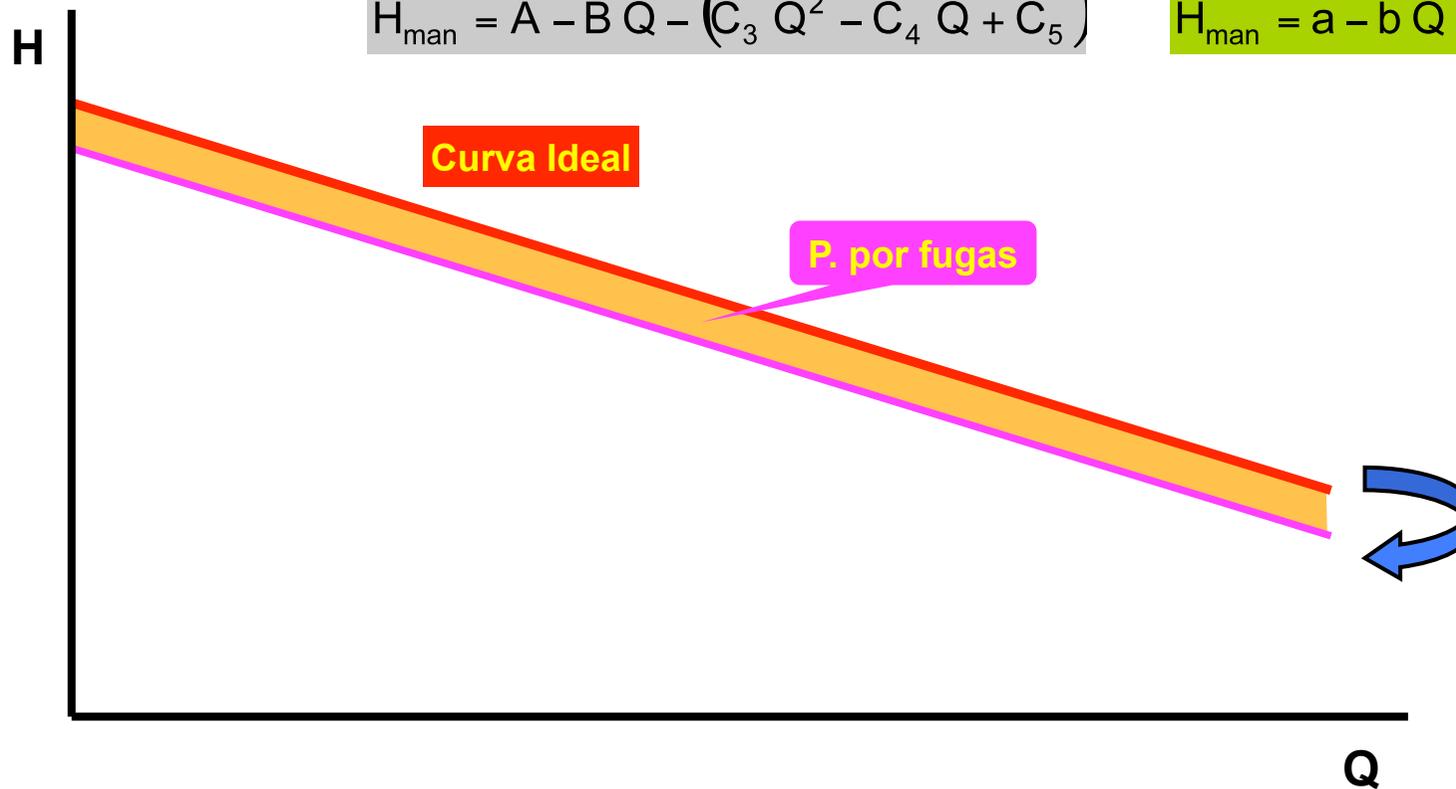
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

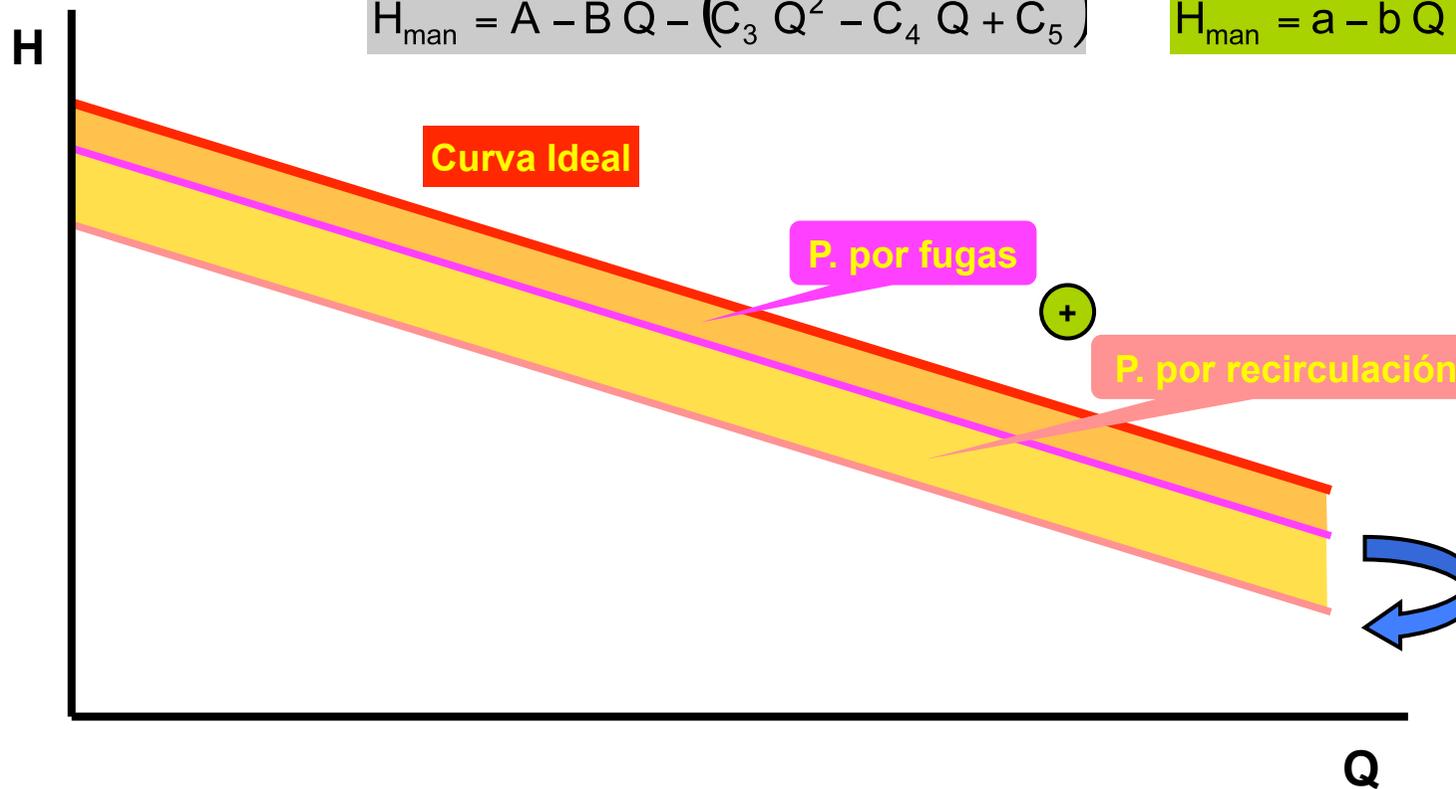
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

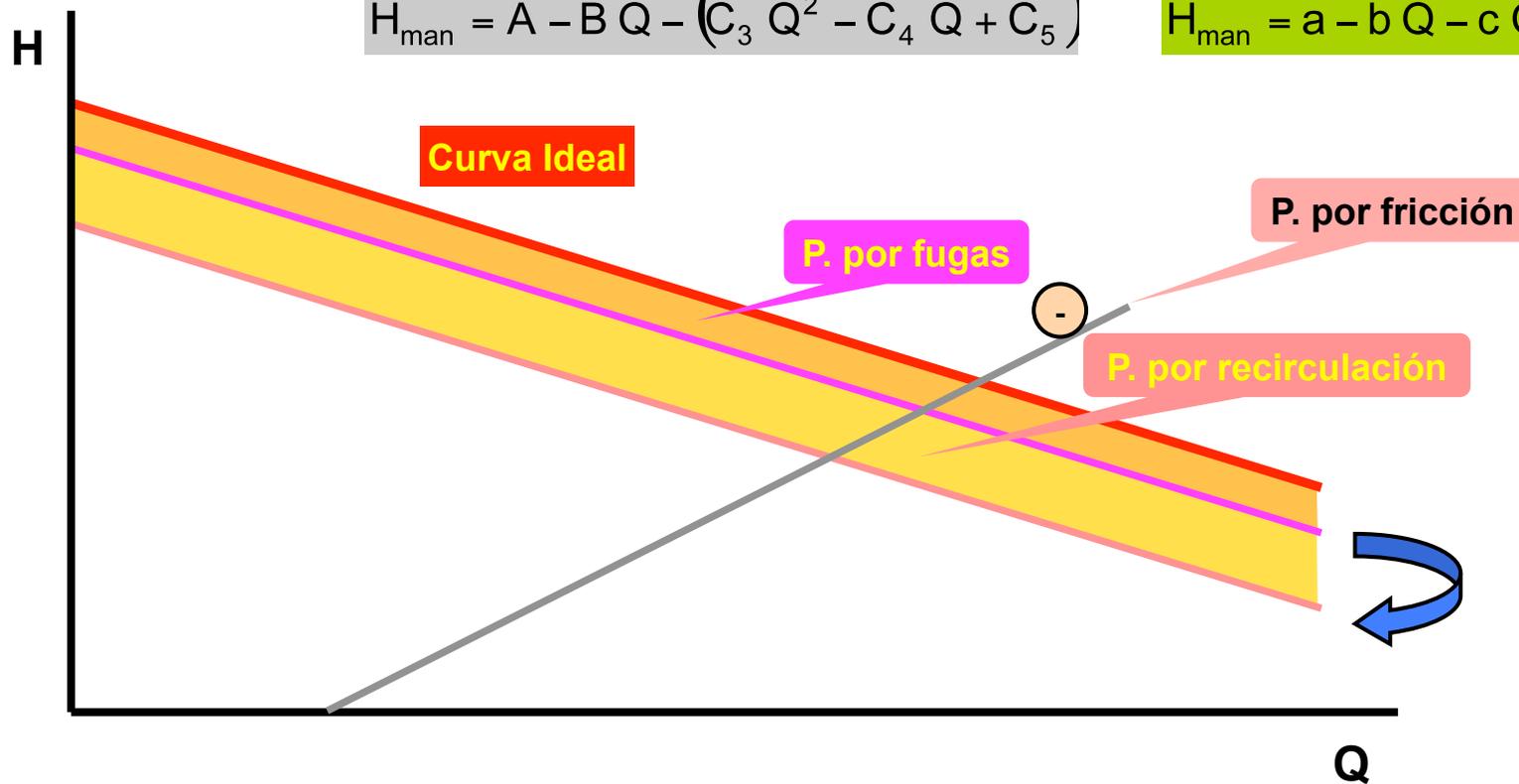
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

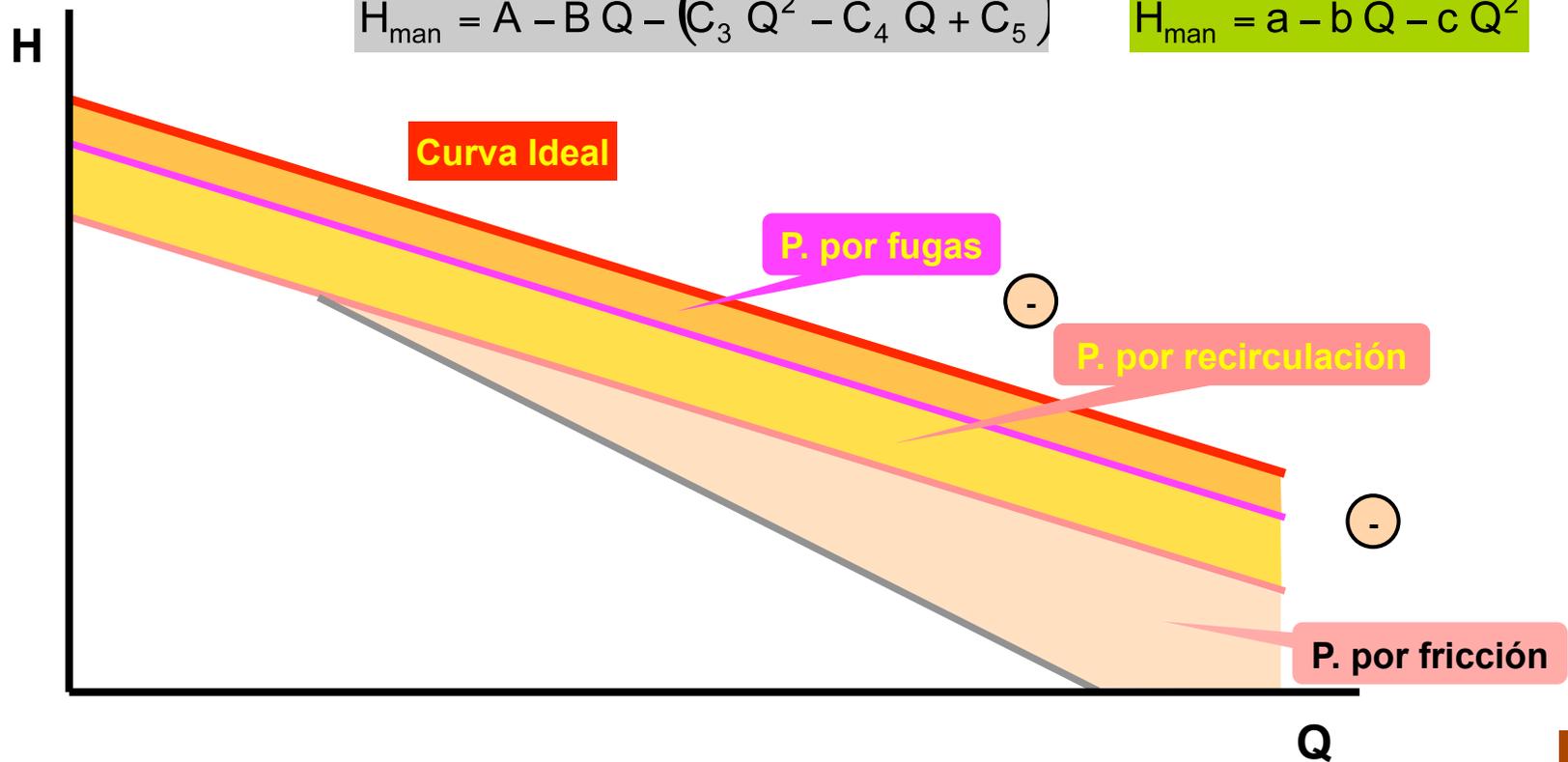
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

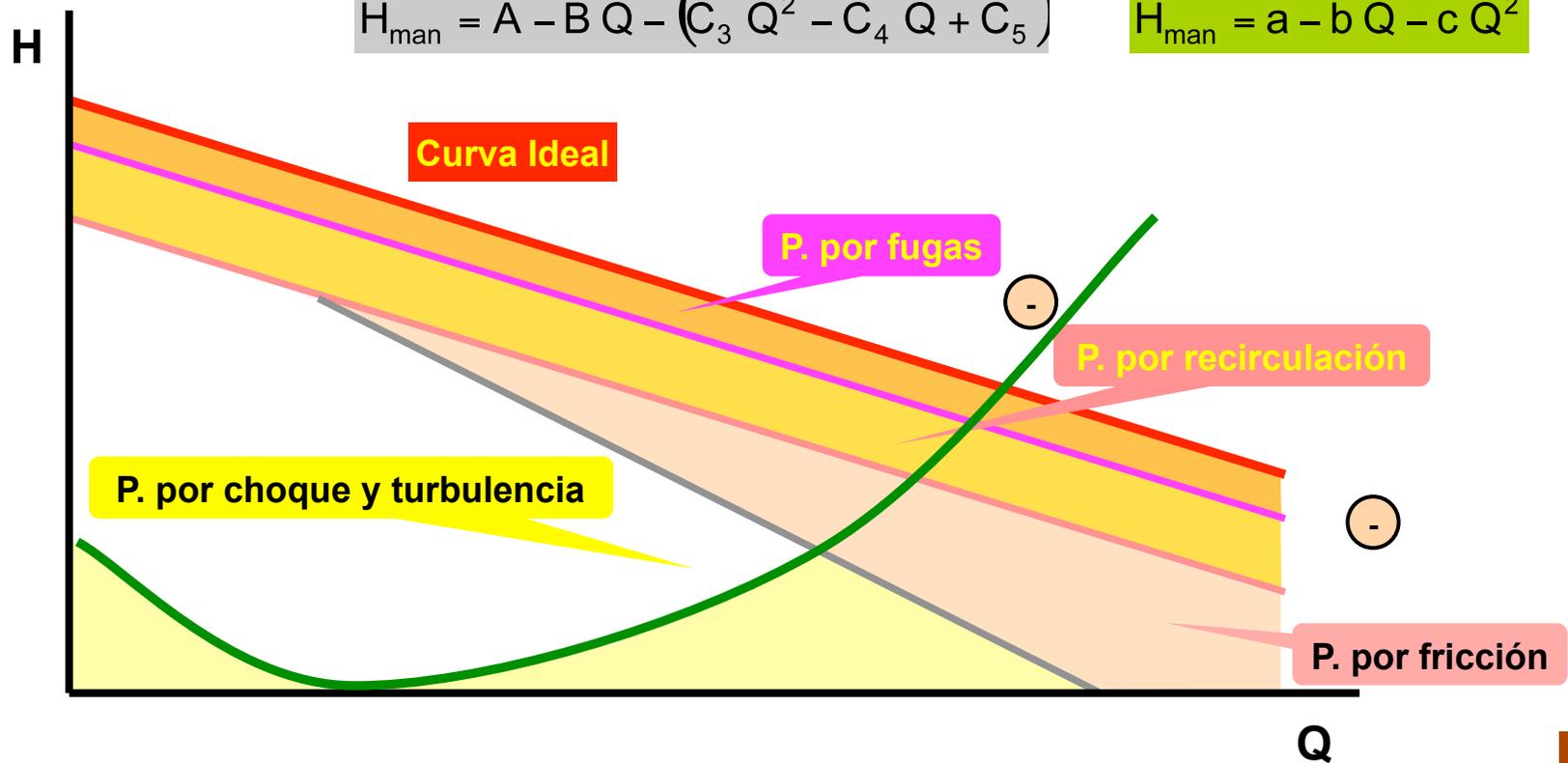
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



10.- Curva característica (V)

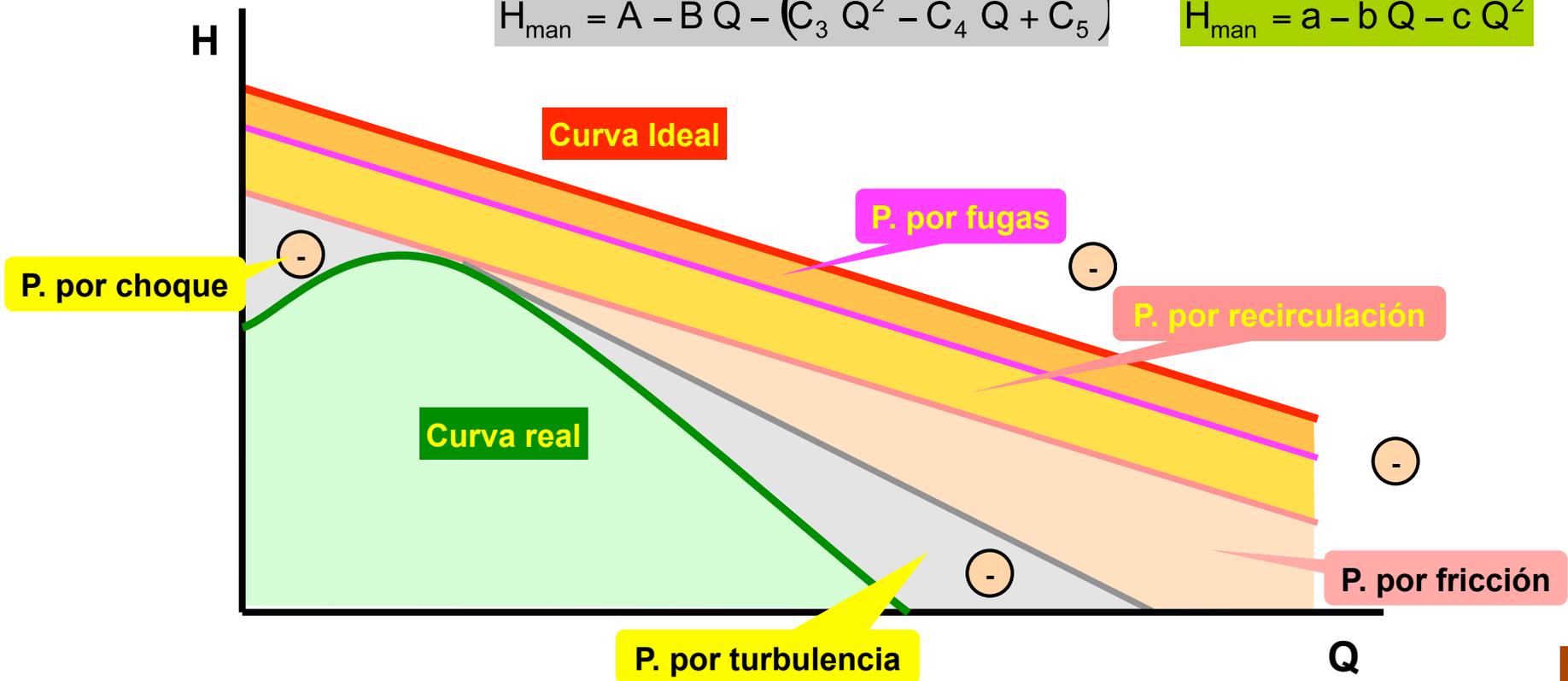
$$H_{\text{total Max}} = A - B Q$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$H_{L\text{-intB}} = C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B Q - (C_3 Q^2 - C_4 Q + C_5)$$

$$H_{\text{man}} = a - b Q - c Q^2$$



## 11.- Cebado de una bomba (I)

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

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

Independiente del fluido bombeado

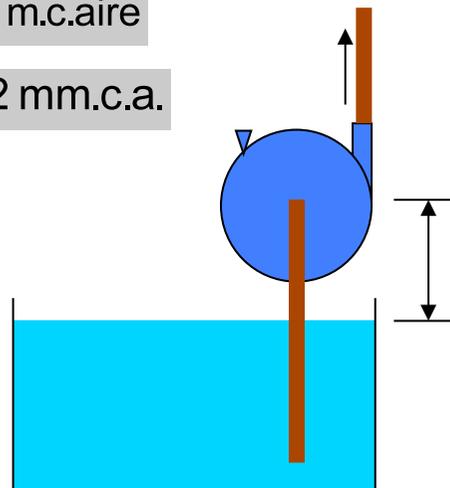
Llena de aire, crea una altura en m.c.aire

$$\rho_{\text{aire}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{agua}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ m.c.a.} \approx 830 \text{ m.c.aire}$$

$$1 \text{ m.c.aire} \approx 1,2 \text{ mm.c.a.}$$



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

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

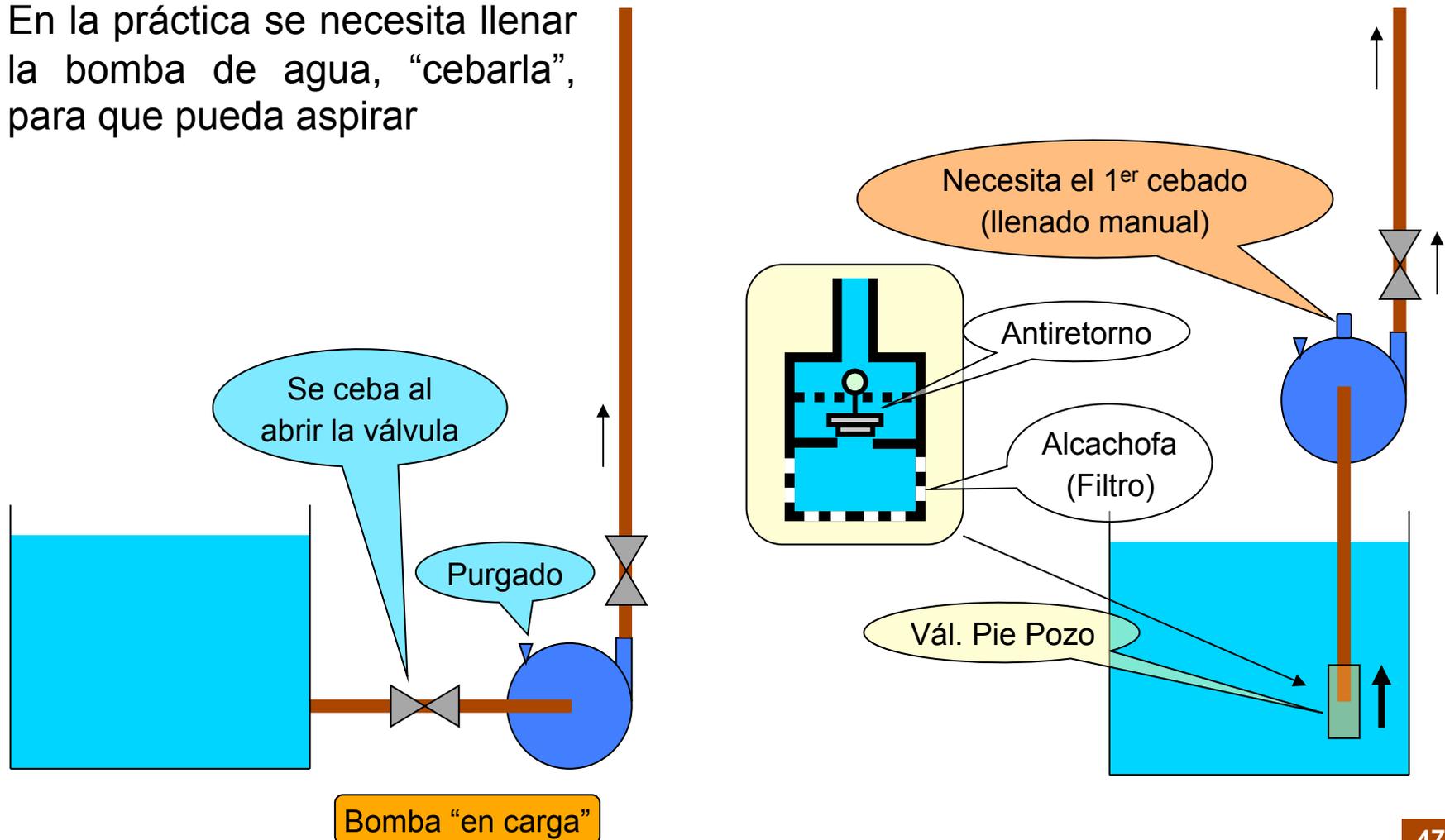
Además limitado por la cavitación

La  $P_{\text{atm}}$  es “la que hace ascender el agua”, por lo que el límite de aspiración de la bomba es:

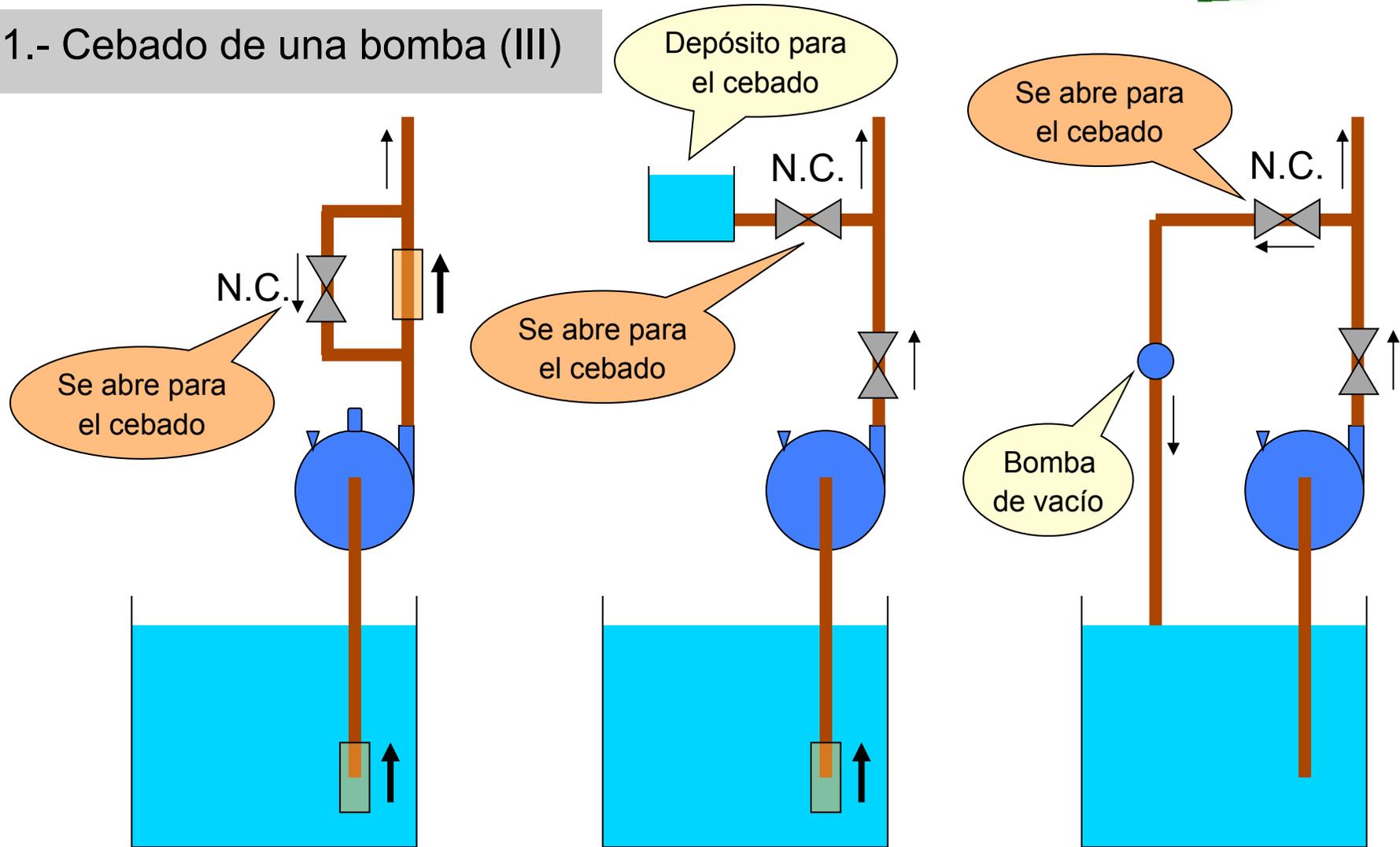
$$P_{\text{atm}} \approx 100.000 \text{ Pa} \approx 10 \text{ m.c.a.}$$

## 11.- Cebado de una bomba (II)

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



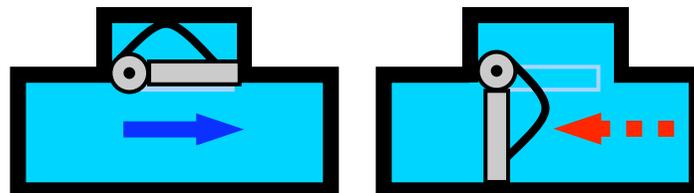
11.- Cebado de una bomba (III)



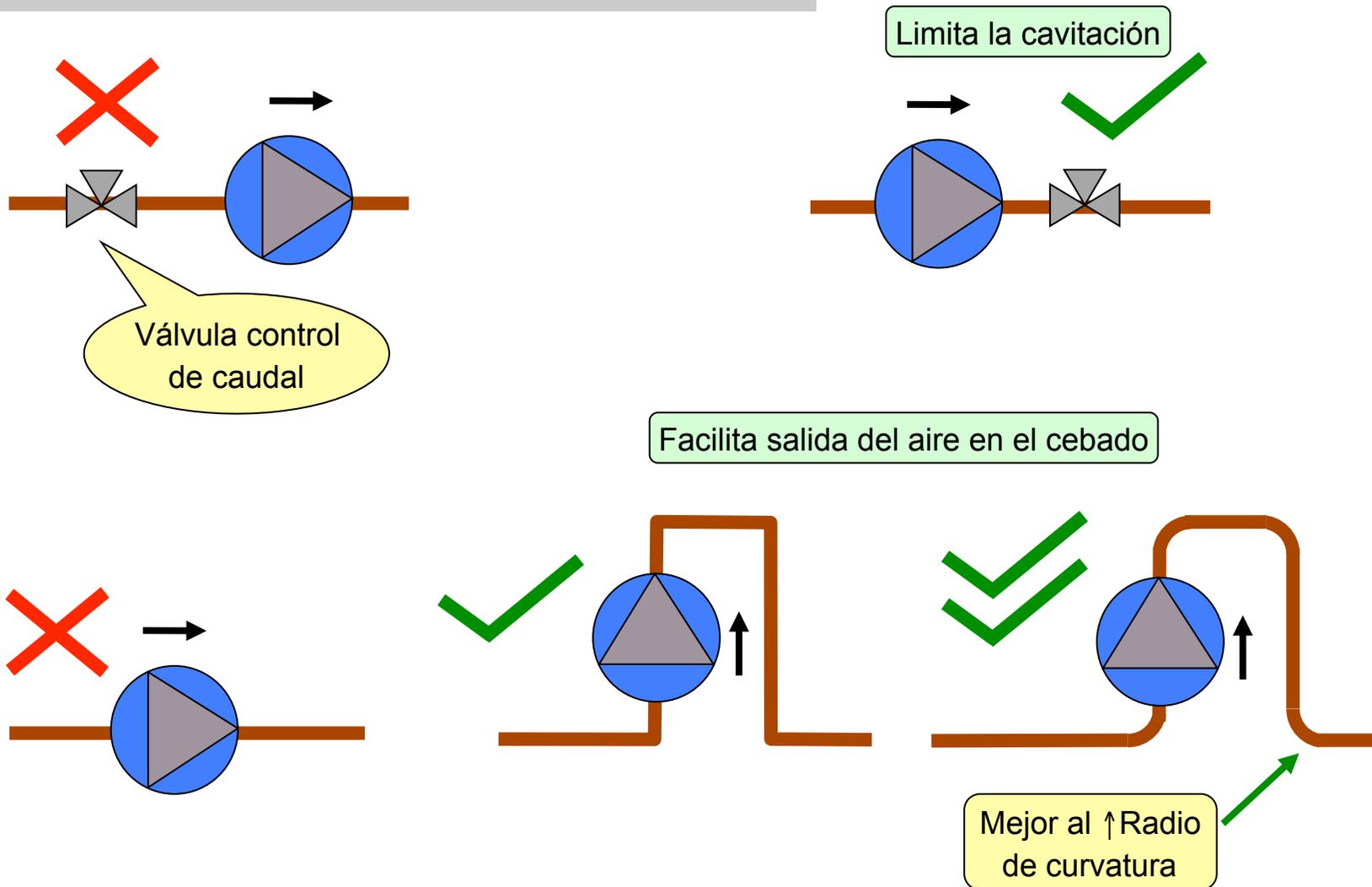
## 12.- Instalación de una bomba (I)

Se debe tener en cuenta:

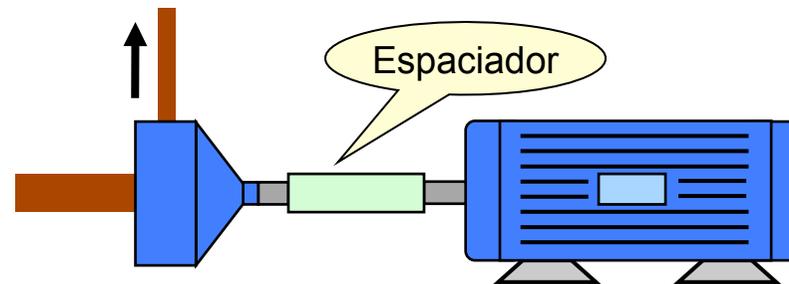
- Lugar accesible y con espacio para mantenimiento
- Instalar válvulas de cierre antes y después (reparación)
- Fácil aspiración (limitar codos, válvulas, ...)
- Preveer el cebado
- Impulsión hacia arriba (facilitar la salida del aire)
- Mantener la alineación de las tuberías
- Si  $\varnothing_{\text{tubería}} \neq \varnothing_{\text{brida}}$  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



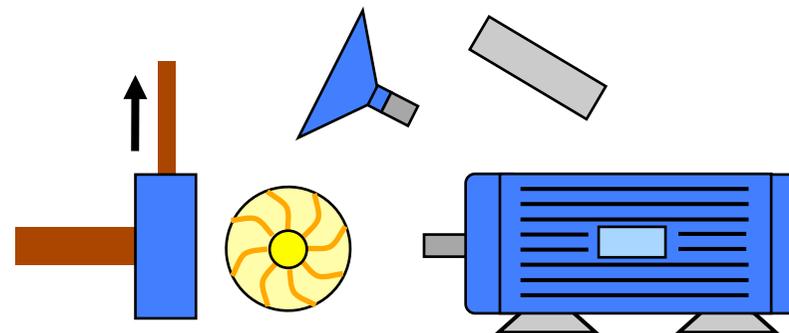
12.- Instalación de una bomba (II)



12.- Instalación de una bomba (III)

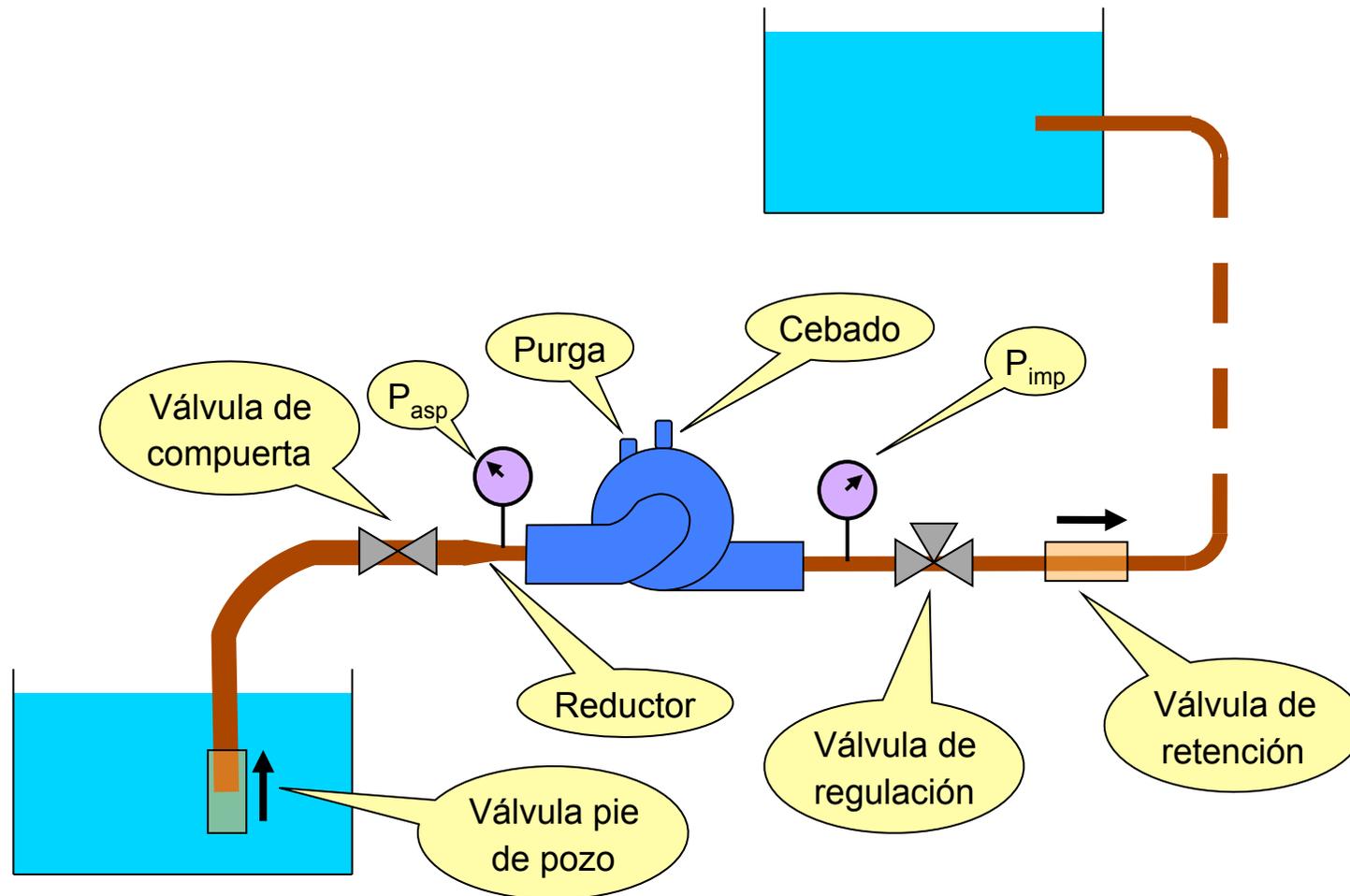


El espaciador permite desmontar la bomba sin soltar las tuberías ni mover el motor

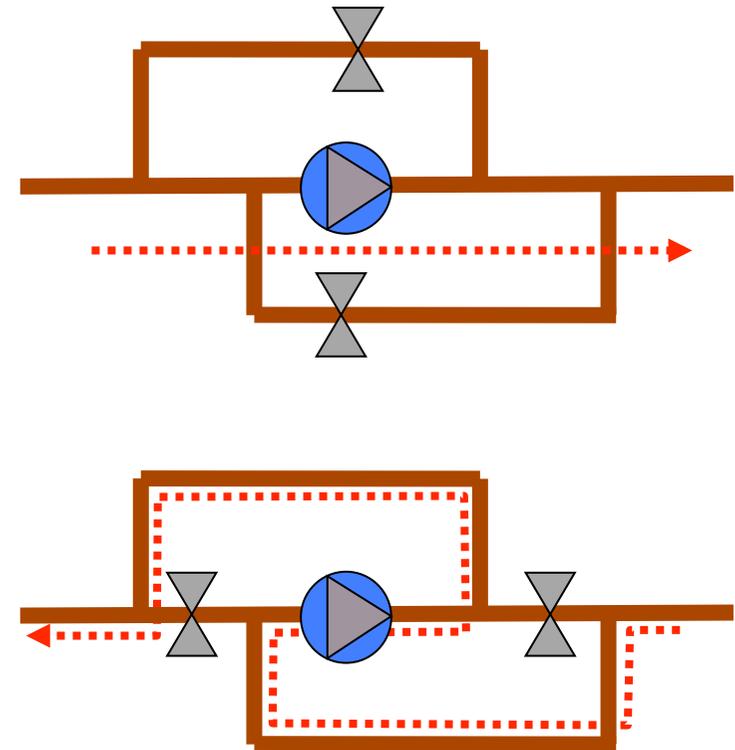
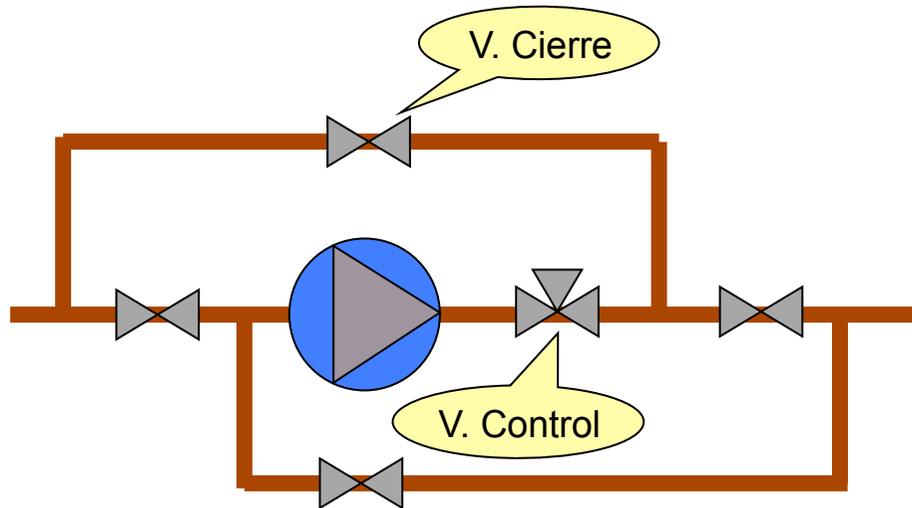


Cuidado con el correcto alineamiento

12.- Instalación de una bomba (III): lineal

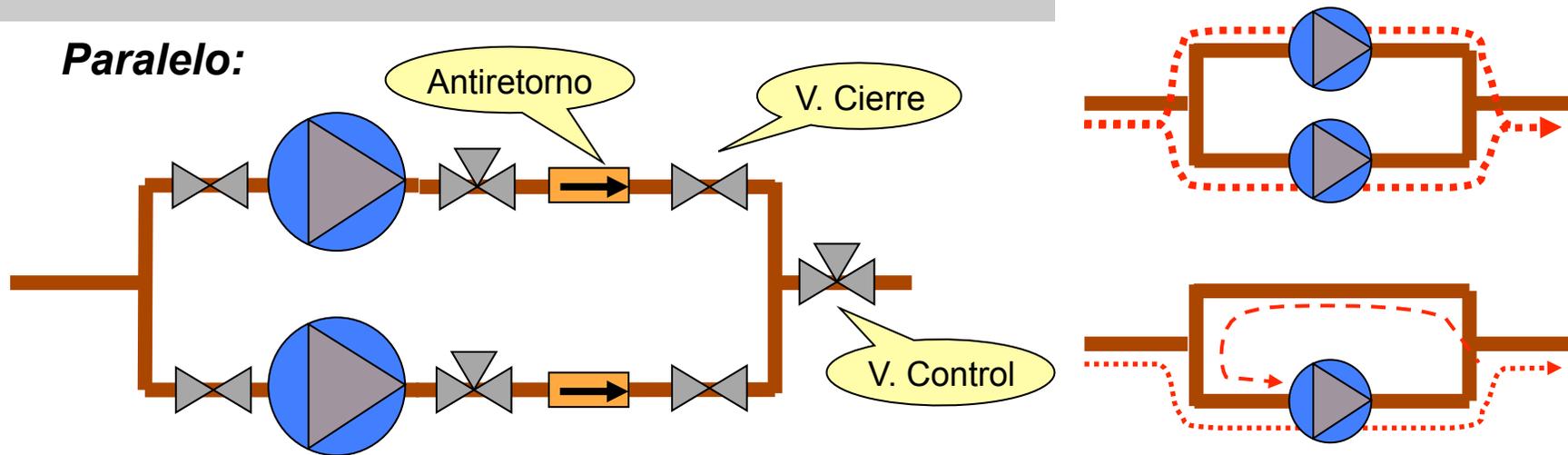


12.- Instalación de una bomba (III): bidireccional

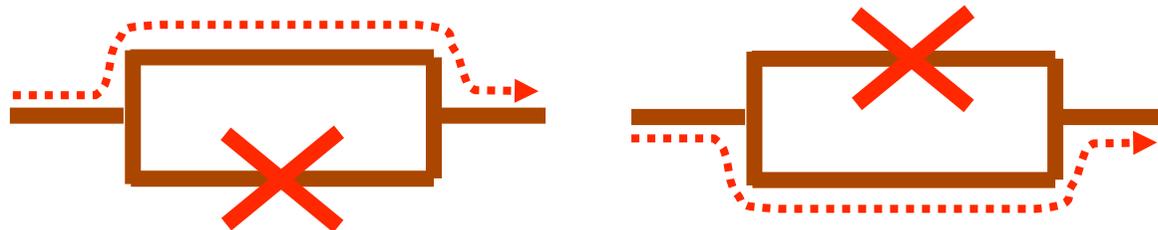


12.- Instalación de bomba (IV): acoplamientos

**Paralelo:**

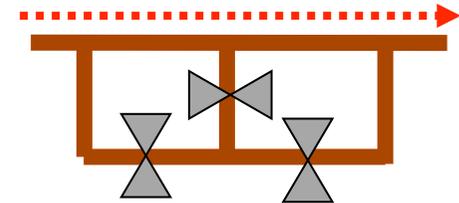
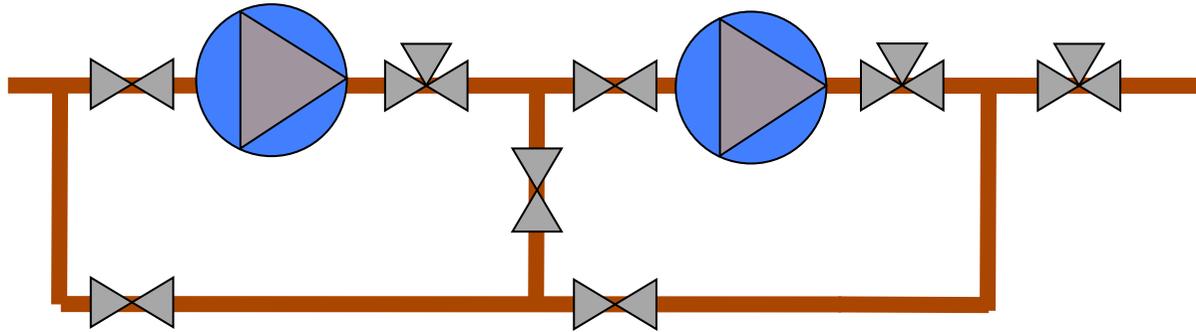


Las válvulas antiretorno evitan reflujos por paro de una bomba

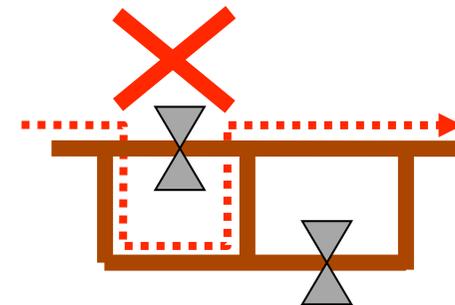
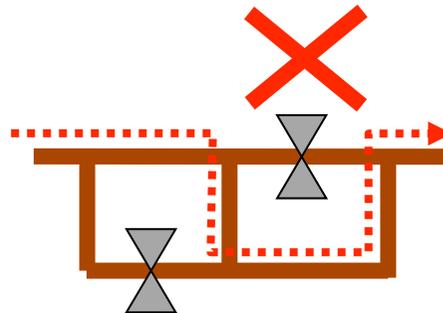


12.- Instalación de una bomba (IV): acoplamientos (II)

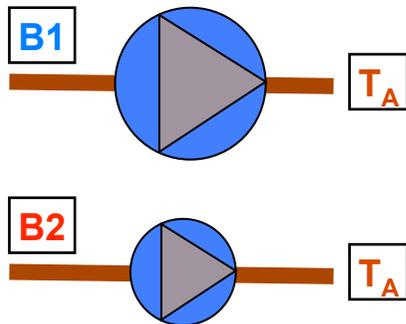
**Serie:**



Se permite funcionar con sólo una bomba

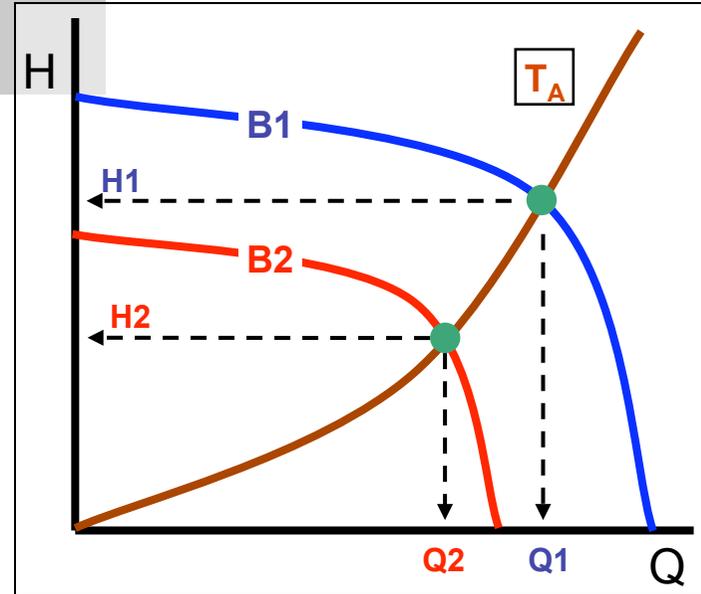
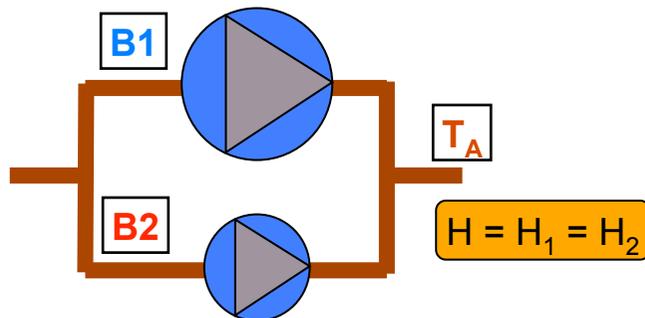


13.- Acoplamiento de bombas (I)



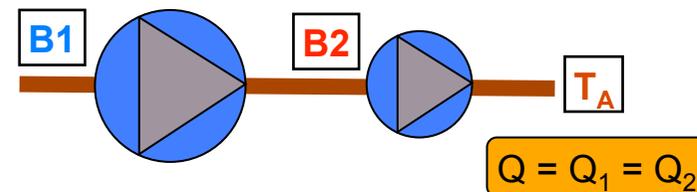
**Paralelo: “suma caudales”**

La presión suministrada por las dos bombas es la misma



**Serie: “suma alturas”**

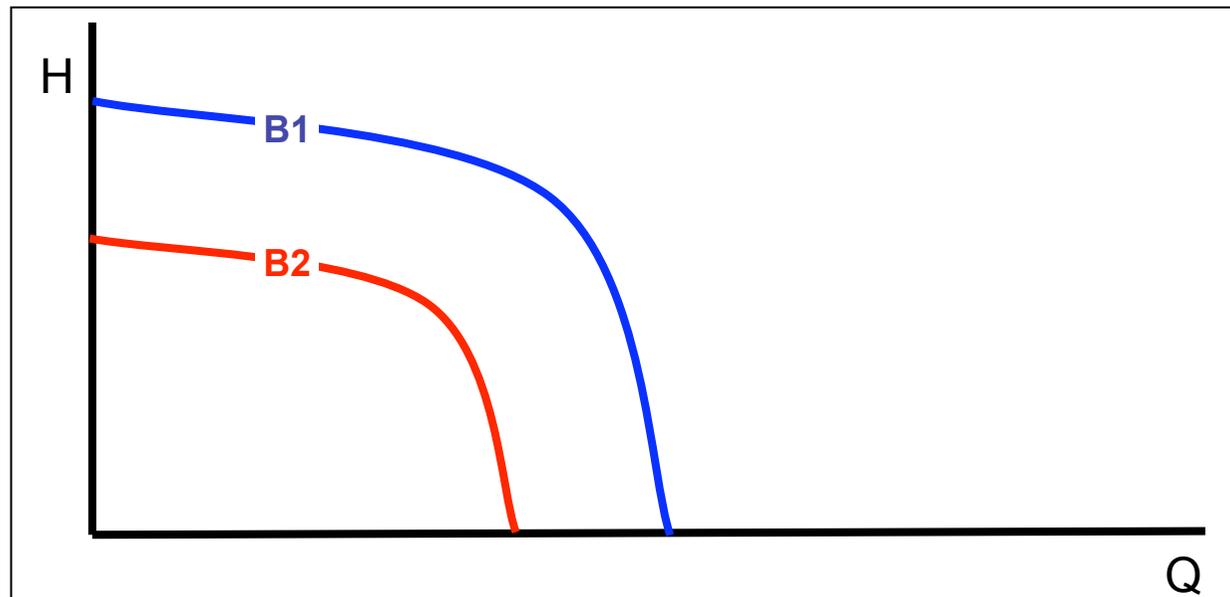
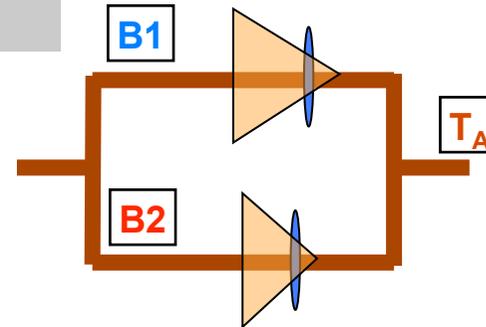
El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



### 13.- Acoplamiento de bombas (II)

**Paralelo: “suma caudales”**

La presión suministrada por las dos bombas es la misma

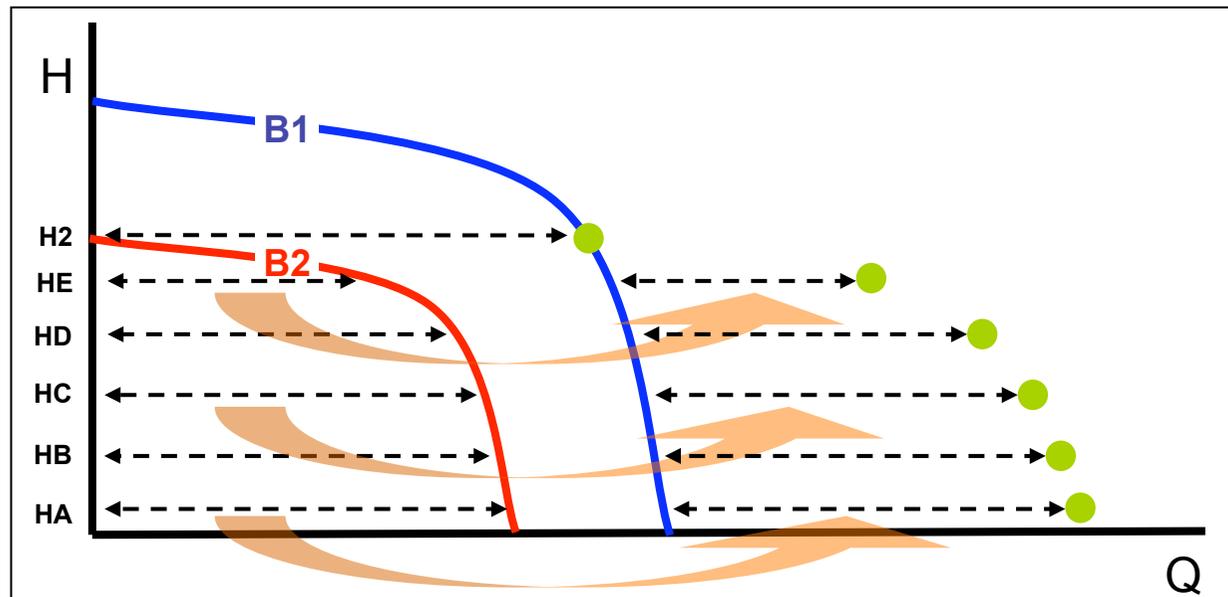
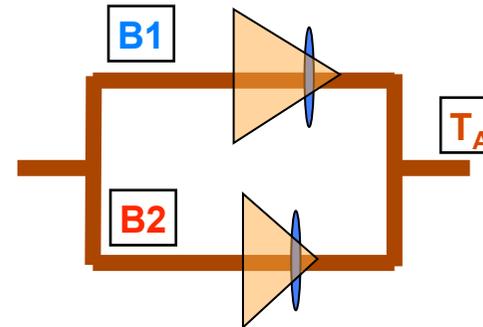


Para cada H se suman los Q

### 13.- Acoplamiento de bombas (II)

**Paralelo: “suma caudales”**

La presión suministrada por las dos bombas es la misma

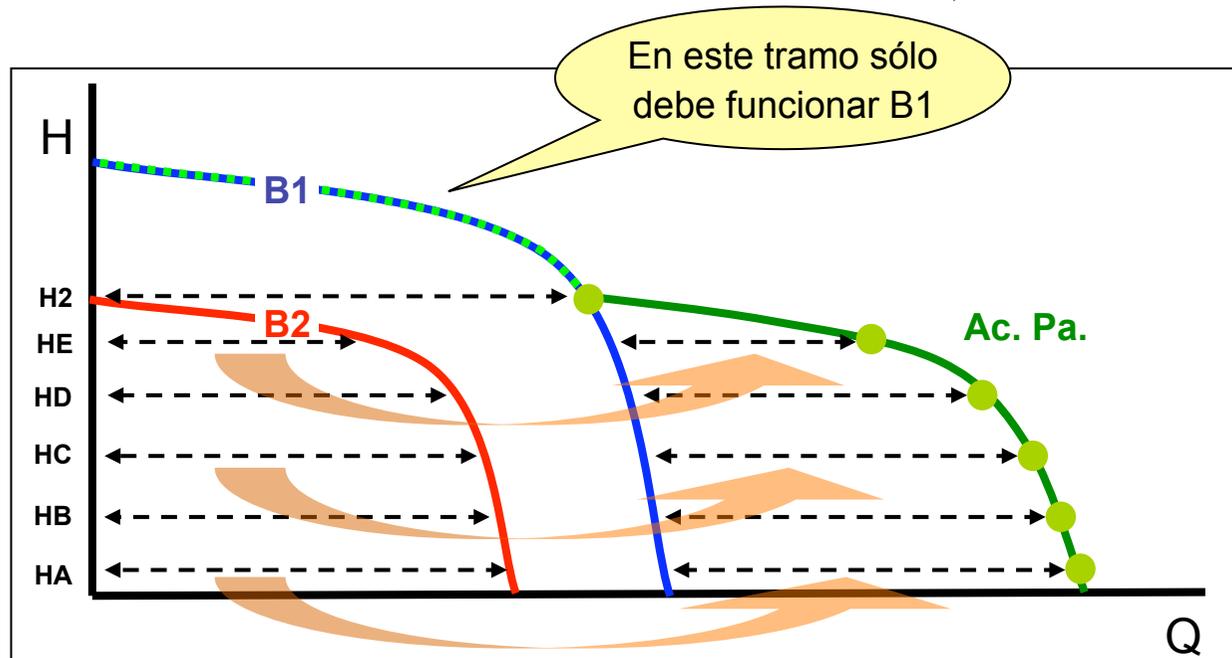
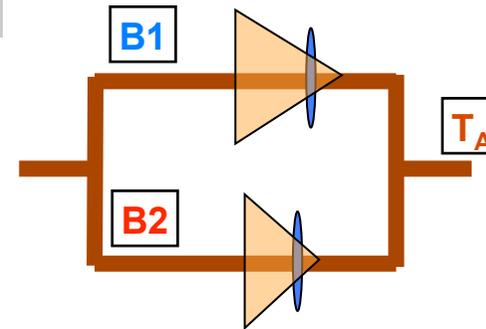


Para cada H se suman los Q

13.- Acoplamiento de bombas (II)

**Paralelo: “suma caudales”**

La presión suministrada por las dos bombas es la misma



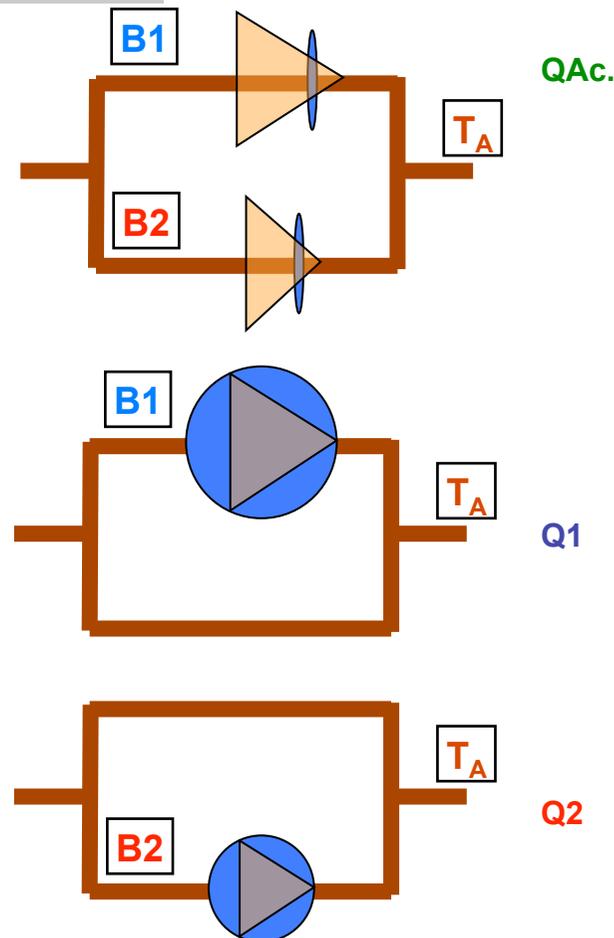
Para cada H se suman los Q

### 13.- Acoplamiento de bombas (II)

**Paralelo: “suma caudales”**

La presión suministrada por las dos bombas es la misma

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

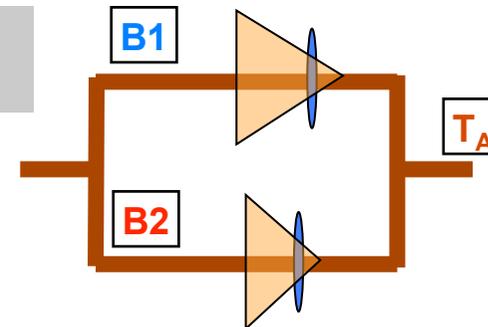


$$Q_{Ac} < Q_1 + Q_2$$

13.- Acoplamiento de bombas (II)

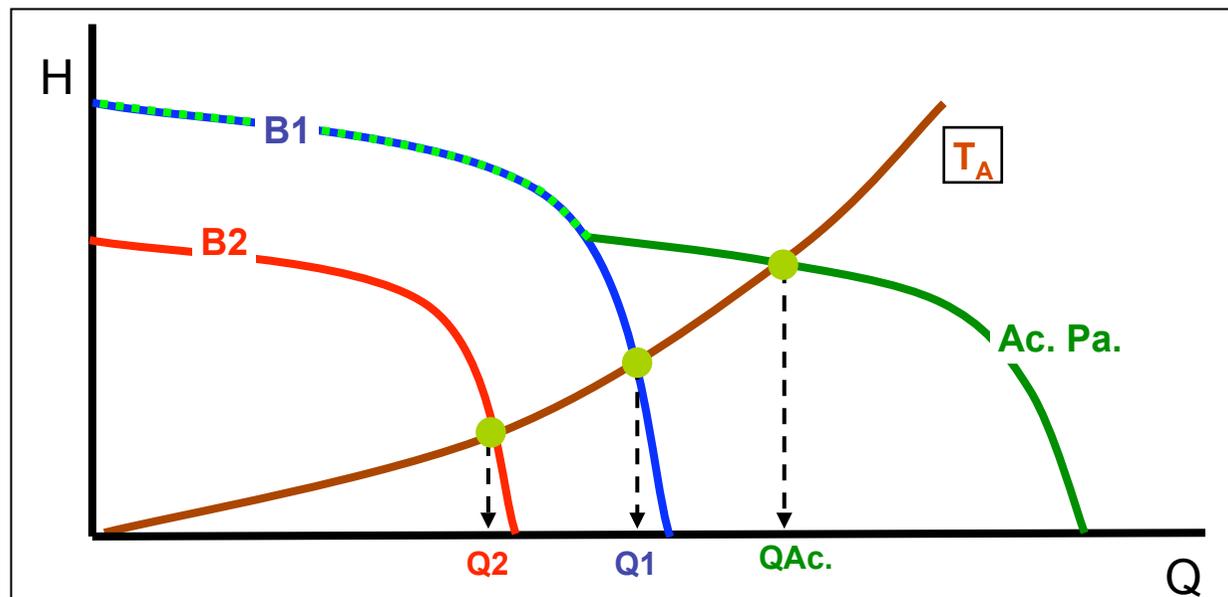
**Paralelo: “suma caudales”**

La presión suministrada por las dos bombas es la misma



$$Q_{Ac} < Q_1 + Q_2$$

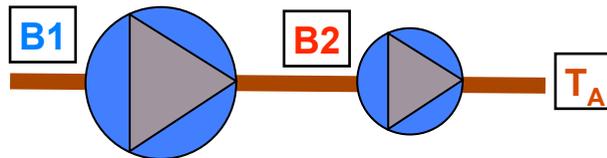
El caudal resultante al enfrentar el acoplamiento a la misma tubería que cada una de las bombas individualmente, es menor que la suma de los caudales de las bombas individuales



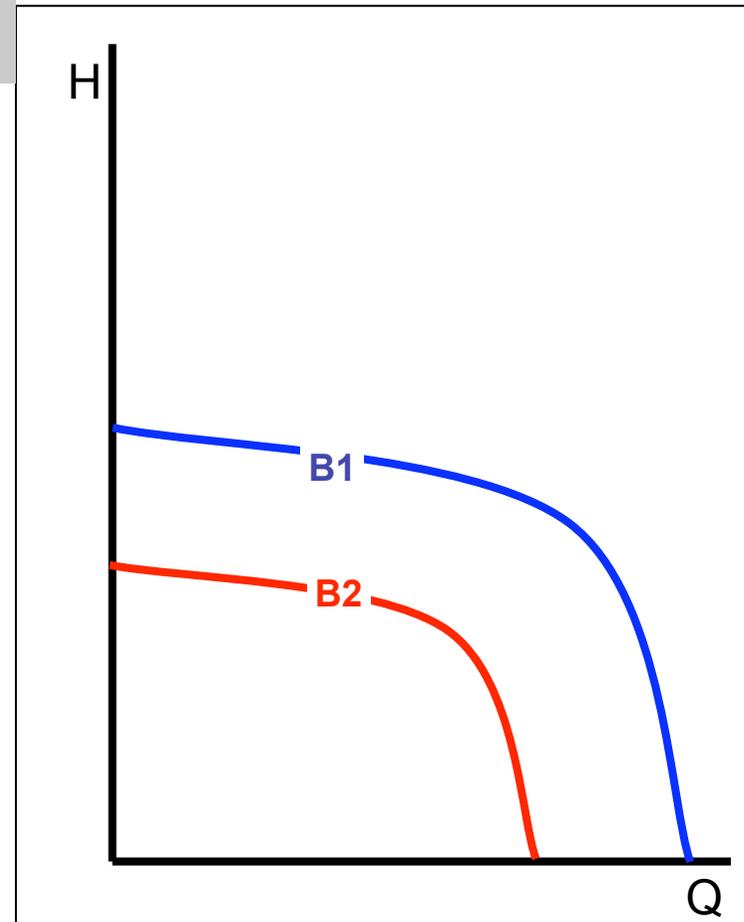
### 13.- Acoplamiento de bombas (III)

**Serie: “suma alturas”**

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



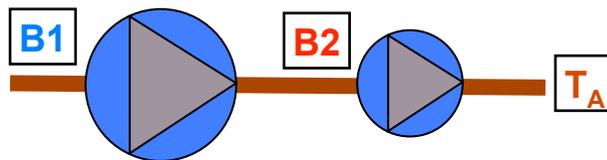
Para cada Q se suman las H



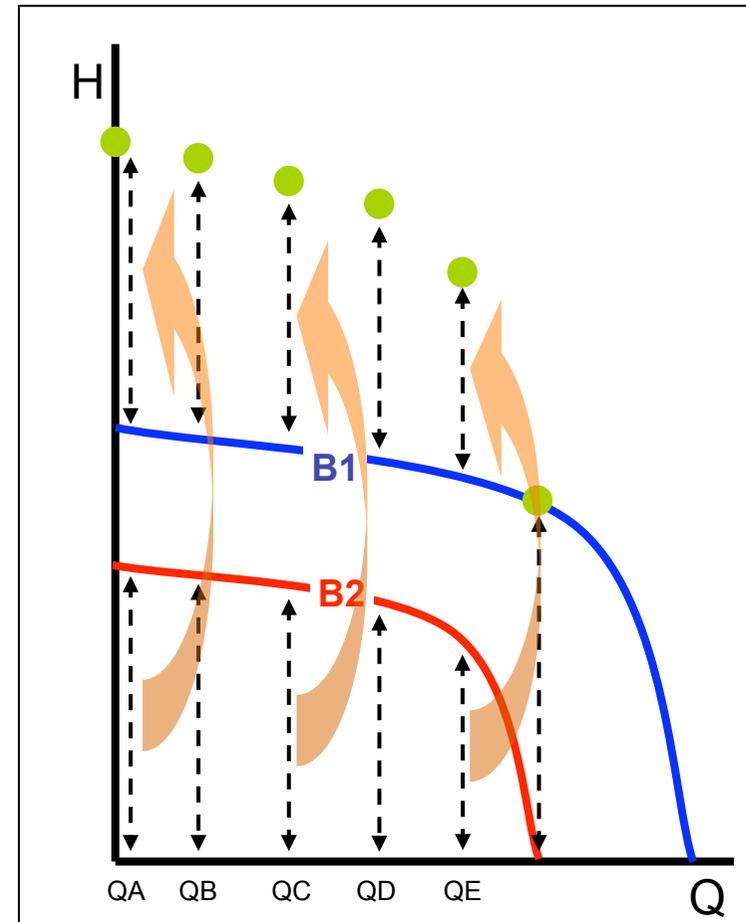
### 13.- Acoplamiento de bombas (III)

**Serie: "suma alturas"**

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



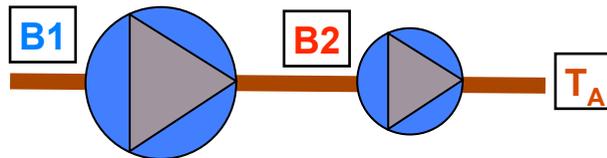
Para cada Q se suman las H



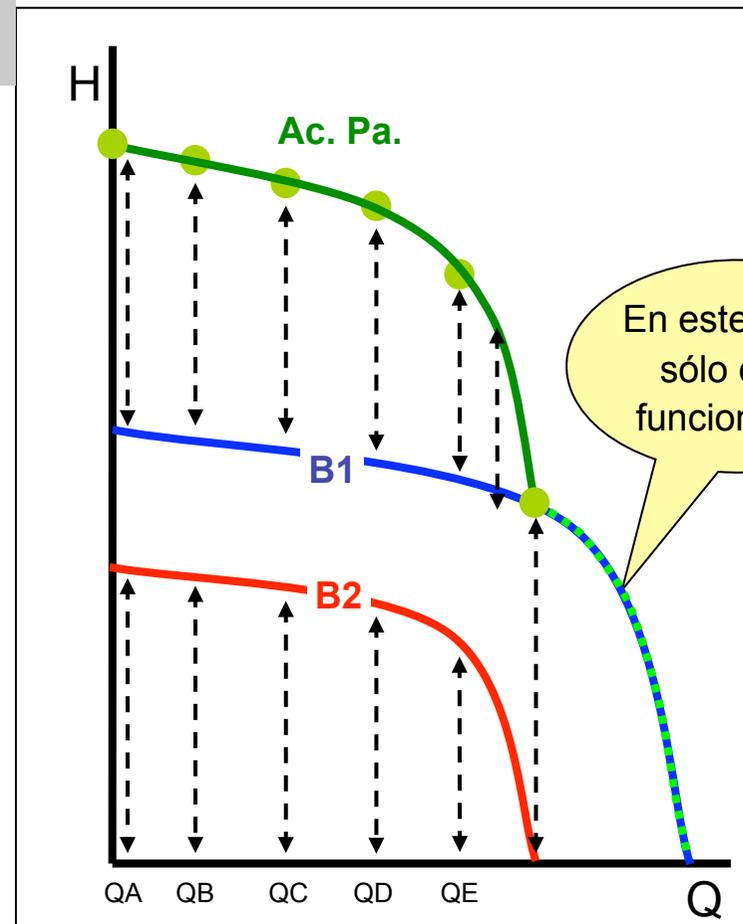
### 13.- Acoplamiento de bombas (III)

**Serie: “suma alturas”**

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



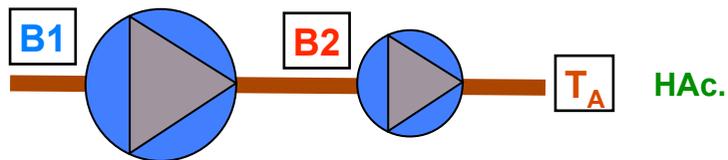
Para cada Q se suman las H



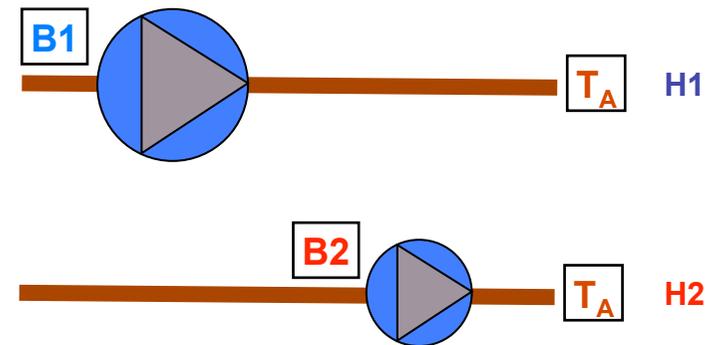
### 13.- Acoplamiento de bombas (III)

**Serie: “suma alturas”**

El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



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

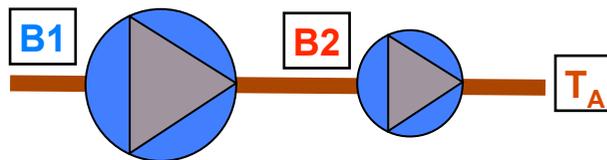


La altura resultante al enfrentar el acoplamiento a la misma tubería que cada una de las bombas, es menor que la suma de las alturas de las bombas individuales

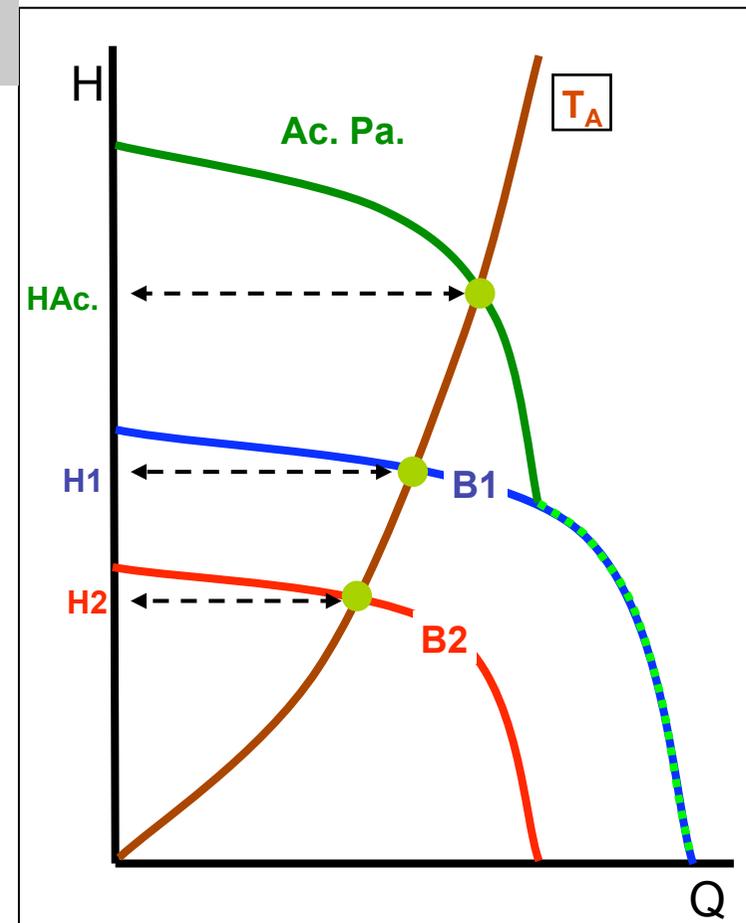
### 13.- Acoplamiento de bombas (III)

**Serie: “suma alturas”**

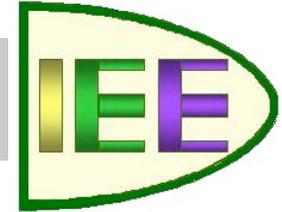
El caudal suministrado por las dos bombas es el mismo



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



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



## 14.- Ecuación de Euler para bombas

Marca el comportamiento de las Bombas (Generadores Hidráulicos)

$$H_{\text{total}} = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g}$$

$$H_{\text{total}} = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}$$

La  $H_{\text{total}}$  es la altura total suministrada por el rodete, pero en el interior de la bomba existen pérdidas,  $H_{L\text{-intB}}$

De este modo la altura útil o manométrica,  $H_{\text{man}}$  es:  $H_{\text{man}} = H_{\text{total}} - H_{L\text{-intB}}$

Aplicando Bernoulli entre la entrada y salida de la bomba se tiene:

$$\left( z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} \right) + H_{\text{añã}} - H_{\text{ext}} - H_{\text{per}} = \left( z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \right)$$

$$\left( z_E + \frac{v_E^2}{2g} + \frac{p_E}{\gamma} \right) + H_{\text{man}} = \left( z_S + \frac{v_S^2}{2g} + \frac{p_S}{\gamma} \right)$$

$$H_{\text{man}} = (z_S - z_E) + \left( \frac{v_S^2}{2g} - \frac{v_E^2}{2g} \right) + \left( \frac{p_S}{\gamma} - \frac{p_E}{\gamma} \right)$$

En la práctica:  $z_S \approx z_E$ , y si  $v_S \approx v_E$

$$H_{\text{man}} \approx \left( \frac{p_S}{\gamma} - \frac{p_E}{\gamma} \right)$$

15.- Potencias, rendimientos y pérdidas en las bombas

