

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](mailto:renedoc@unican.es)  
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO [fernandei@unican.es](mailto:fernandei@unican.es)  
JUAN CARCEDO HAYA [juan.carcedo@unican.es](mailto:juan.carcedo@unican.es)  
FELIX ORTIZ FERNANDEZ [felix.ortiz@unican.es](mailto: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 Centrifugas

#### 1.2.3.- Bombas Volumétricas

### 1.3.- Turbinas Hidráulicas

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Características</b></li> <li>➤ <b>Campos de Aplicación</b></li> <li>➤ <b>Partes</b></li> <li>➤ <b>Rodetes</b></li> <li>➤ <b>La Voluta</b></li> <li>➤ <b>Clasificación</b></li> <li>➤ <b>Ec. De Euler</b></li> <li>➤ <b>Curva Característica</b></li> <li>➤ <b>Cebado</b></li> <li>➤ <b>Instalación</b></li> <li>➤ <b>Acoplamiento</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Potencias, Rendimientos y Pérdidas</b></li> <li>➤ <b>Cavitación</b></li> <li>➤ <b>Golpe de Ariete</b></li> <li>➤ <b>Catálogos de Fabricantes</b></li> <li>➤ <b>Leyes de Semejanza</b></li> <li>➤ <b>Número Específico de Revoluciones</b></li> <li>➤ <b>Influencia del Número de Alabes</b></li> <li>➤ <b>Grado de Reacción del Rodete</b></li> <li>➤ <b>Punto de Funcionamiento</b></li> <li>➤ <b>Selección de una Bomba</b></li> </ul> |
|--|--|

### 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 (10 años sin mantenimiento pueden reducir el rendimiento un 12.5%)
  
- Tiene bajos rendimientos con caudales pequeños
- No se autoceban (no aspiran cuando tienen aire en su interior)

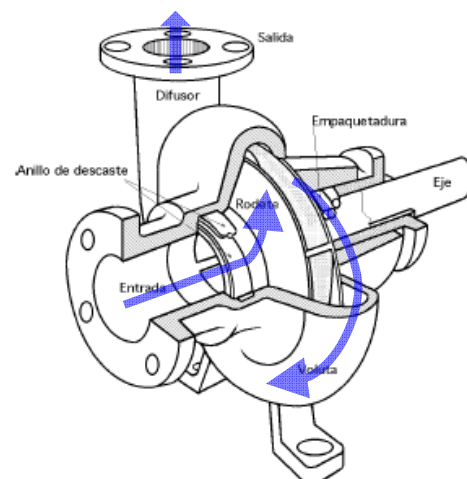
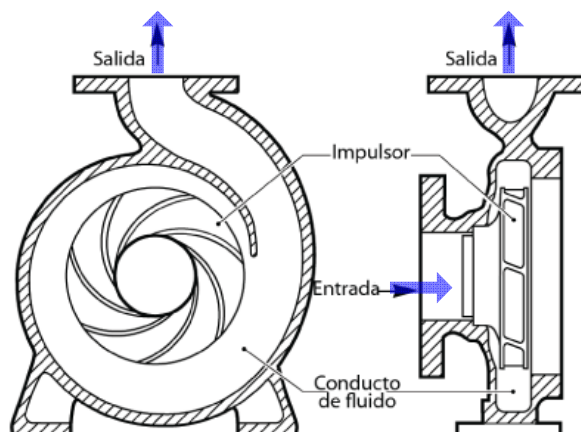
**Campos de Aplicación**

- 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
- ...



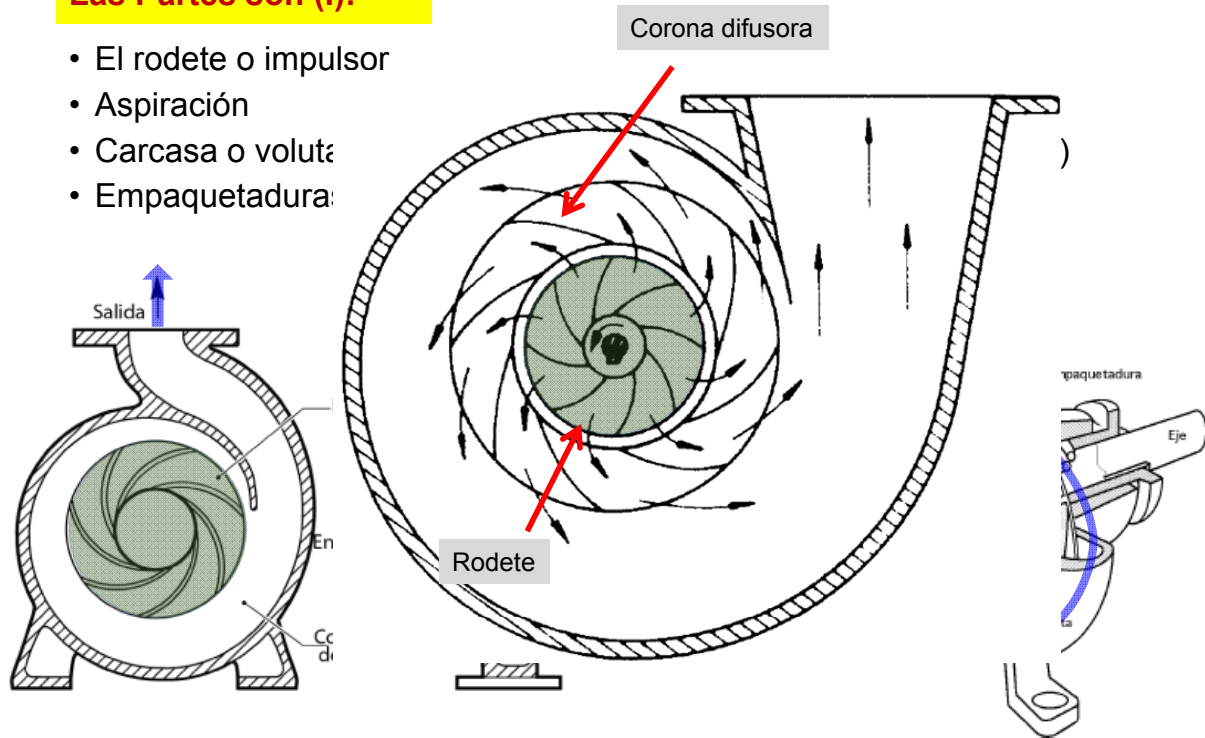
**Las Partes son (I):**

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



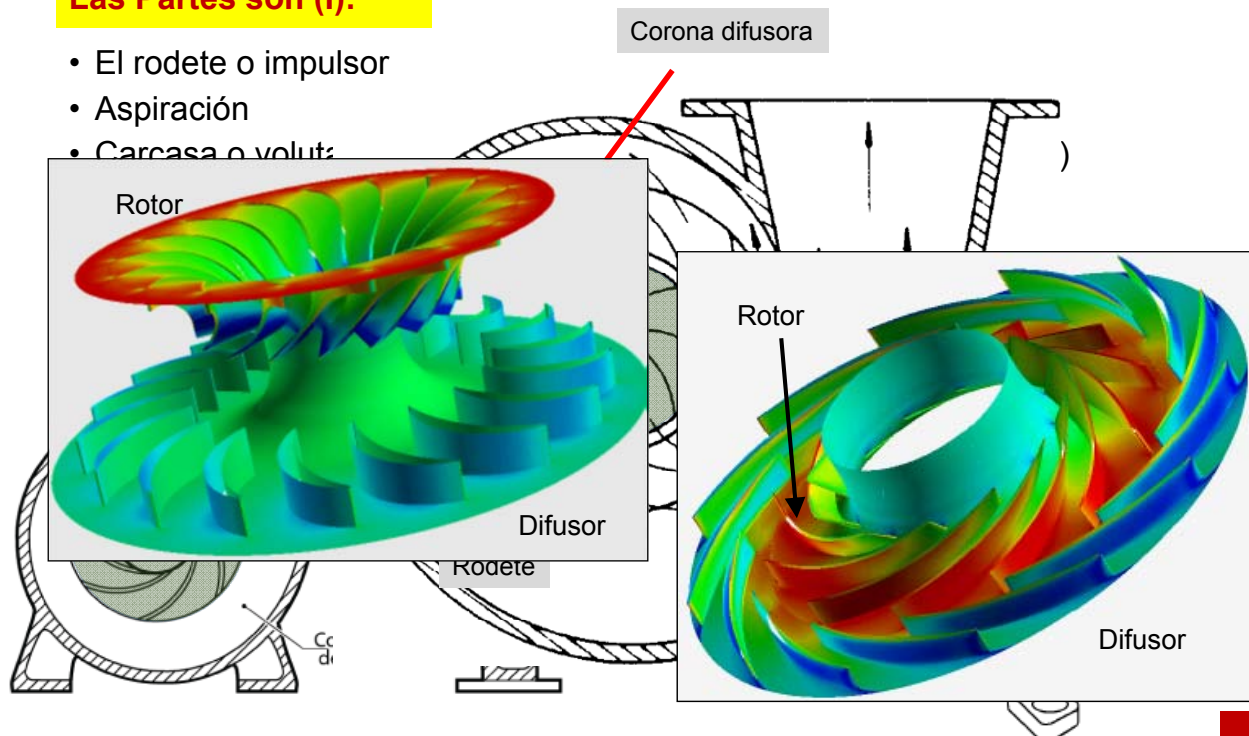
**Las Partes son (I):**

- El rodete o impulsor
- Aspiración
- Carcasa o voluta
- Empaquetadura:



**Las Partes son (I):**

- El rodete o impulsor
- Aspiración
- Carcasa o voluta



Las Partes son (II):

**Aspiración:**

El líquido es aspirado por el ojo del rodete

**Rodete:**

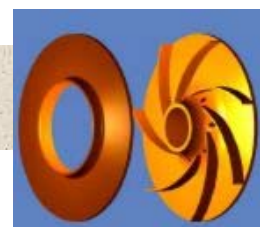
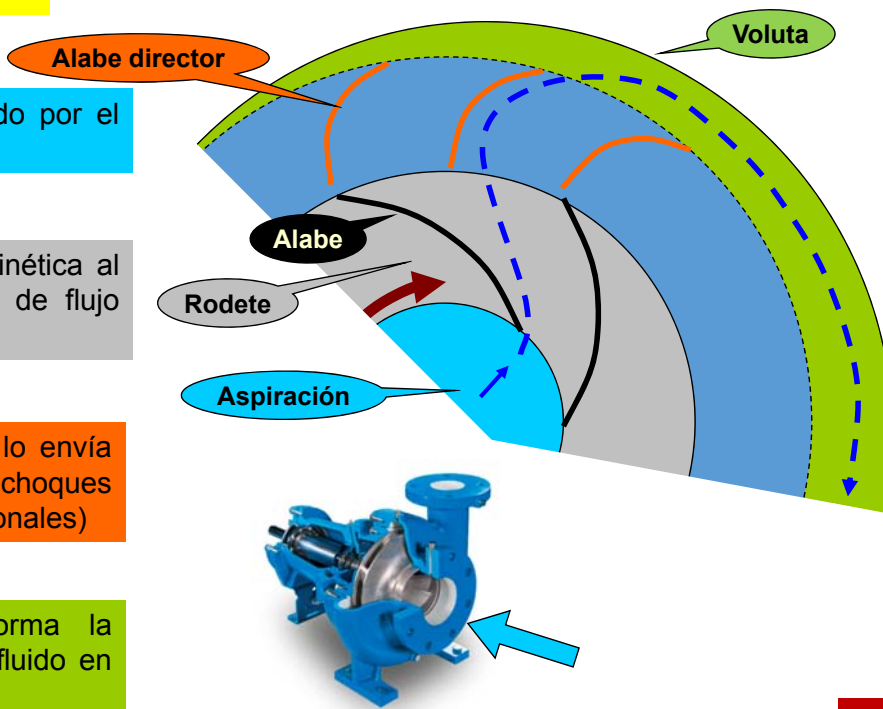
Comunica energía cinética al fluido. El flujo pasa de flujo axial a radial

**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



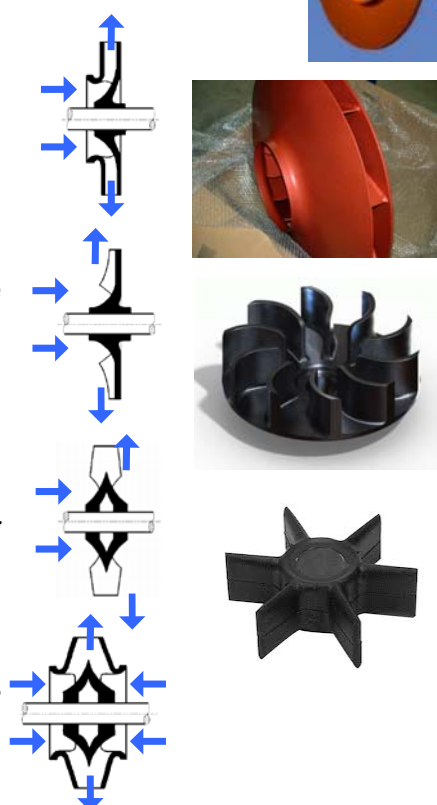
Los Rodetes (I):

**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"

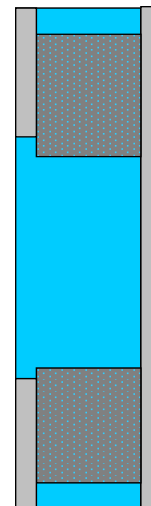
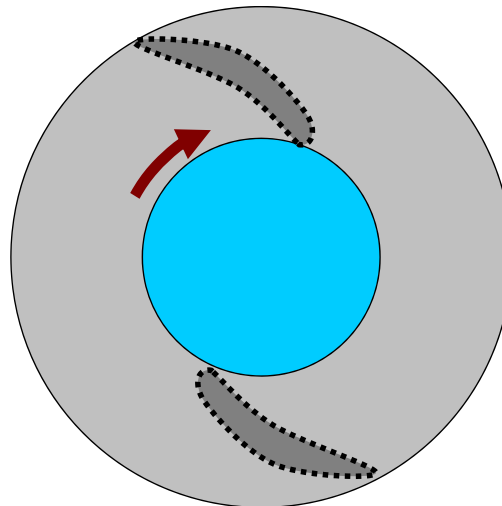
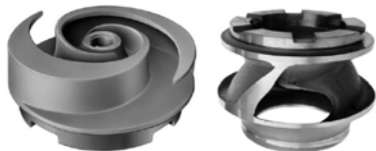
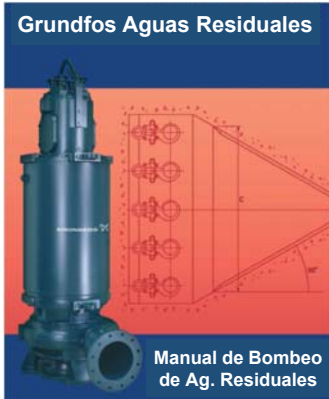
**Doble aspiración:** compensa esfuerzos axiales, para grandes caudales



**Los Rodetes (II):**

**Cerrados:**

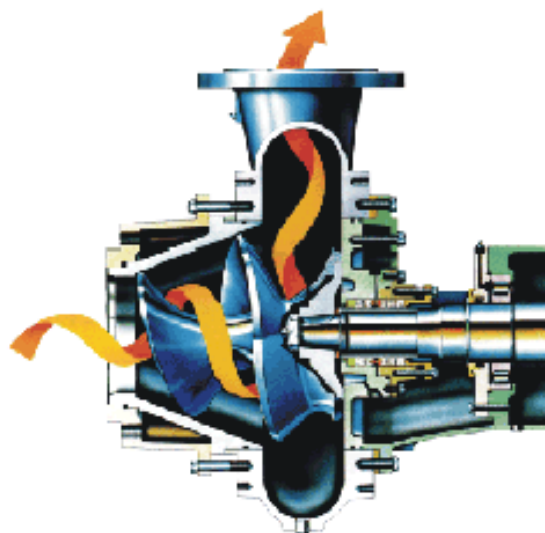
Si se emplean con fluidos sucios suelen tener sólo dos álabes de cantos redondeados



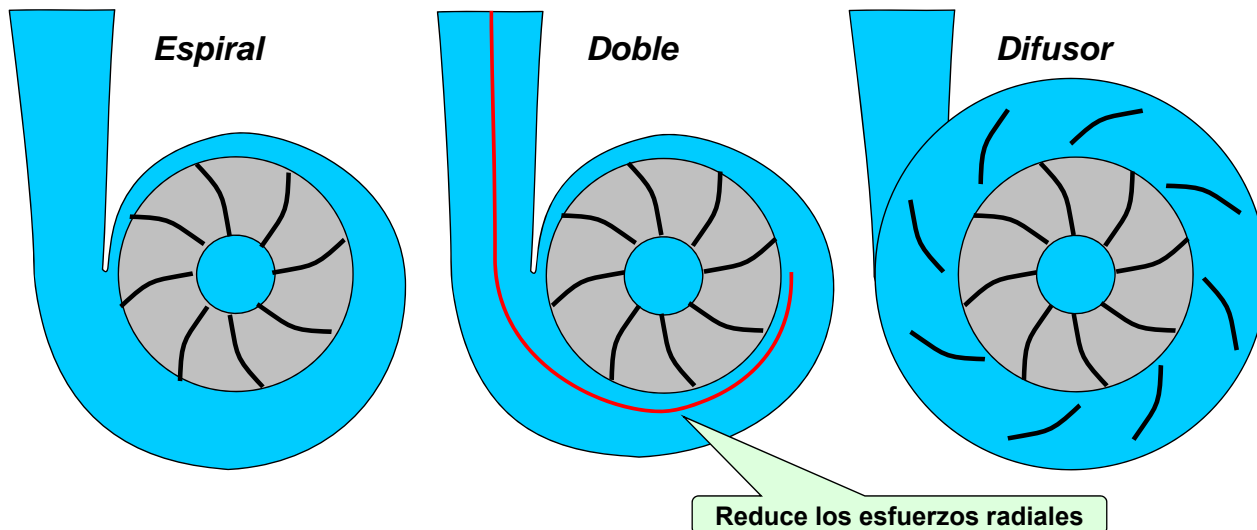
**Los Rodetes (III):**

**Abiertos:**

Existen algunos diseños especiales; por ejemplo, rodetes para el trasiego de pescado desde la bodega del barco a la planta de tratamiento.



**La Voluta:**



**Clasificación por (I):**

Forma del rodete

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

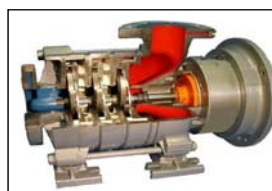
- **Flujo a la entrada**
  - Aspiración simple
  - Aspiración doble

- **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

➤ **Ubicación**

- Sumergible
- Pozo profundo

➤ **Construcción**

- Partida



**Clasificación por (III):**

➤ **Bombas sobre bancada**

**Ventajas:**

- Es adaptable a diversos motores y acoplamientos

**Desventajas:**

- Requiere gran espacio (acoplamiento)
- Necesita alineación entre motor y bomba
- Elevado coste (bancada, acoplamiento y protección)



➤ **Bombas Monobloc**

**Ventajas:**

- Necesita un poco espacio, es de construcción compacta
- No necesita alineación entre motor y bomba
- No necesita bancada, acoplamiento ni protección

**Desventajas:**

- La potencia máxima está limitada a unos 45 kW (por el motor eléctrico)





Clasificación por (IV):

➤ Bombas inline

Ventajas:

- Requiere poco espacio y es de instalación sencilla, ya que va instalada en la propia tubería
- No necesita alineación entre motor y bomba
- No se necesita bancada, acoplamiento ni protección

Desventajas:

- La potencia máxima es de unos 45 kW (por el motor eléctrico)



➤ Bombas multietapa

Ventajas:

- Pueden disponer de una descarga secundaria desde una de las etapas (a una presión intermedia)

Desventajas:

- Requiere de instalación especial para alta temperatura, con patas a la altura del eje
- Peligro por empuje axial con grandes caudales



17

➤ Bombas multietapa

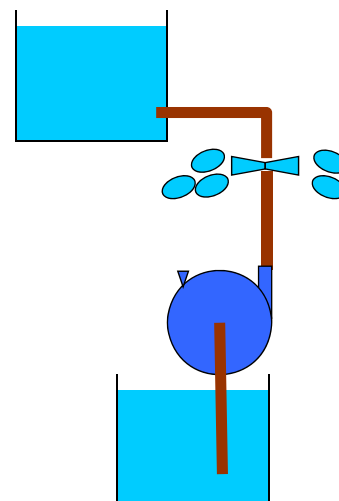
- Peligro por **empuje axial** con grandes caudales

Si la bomba está sobredimensionada, entonces el caudal es excesivo, y los rodets pueden “flotar” (empujan a la bomba en la dirección del eje)

Esto genera desgaste en los cojinetes y vibraciones

Este gran caudal “se produce” siempre que se rompa la tubería cerca de la bomba, ya que aparece un circuito preferencial, la fuga

El efecto se limita con una válvula en la impulsión parcialmente cerrada



18

**Clasificación por (V):**

➤ **Bombas verticales**

**Ventajas:**

- La instalación resulta sencilla, puede ser directa en un depósito, requiere poco espacio
- No precisa tubería de aspiración o de carga
- Si se sumerge queda cebada, por lo que está lista para el servicio

**Desventajas:**

- El motor debe quedar por encima del nivel del líquido



➤ **Bombas verticales (multietapa)**

**Ventajas:**

- Requiere poco espacio para bomba multietapa
- No necesita alineación entre motor y bomba
- No se necesita bancada, acoplamiento ni protección

**Desventajas:**

- La potencia máxima es de unos 55 kW (por el motor eléctrico)



19

**Clasificación por (VI):**

➤ **Bombas sumergibles**

**Ventajas:**

- La instalación resulta sencilla, puede ser directa en un sumidero, por lo que requiere poco espacio
- No necesita tubería de aspiración o de carga
- Si se sumerge queda cebada, por lo que está lista para el servicio
- No requiere caseta especial de bombas

**Desventajas:**

- Requiere tener motor eléctrico especial, que sea sumergible
- La temperatura máxima de trabajo está limitada a 40-50°C



20

**Clasificación por (VII):**

➤ **Bombas sumergibles con motor sumergible**

**Ventajas:**

- Se pueden instalar en pozos muy estrechos y profundos sin requerir precauciones especiales
- Se pueden instalar como bomba de apoyo

**Desventajas:**

- Aplicaciones limitadas



**Clasificación por (VIII):**

➤ **Bombas para depósito**

**Ventajas:**

- Permite la instalación directa en el depósito, por lo que se requiere un espacio mínimo
- Aspira directamente del depósito, por lo que no precisa tubería de aspiración o carga; al no necesitar conexiones en la base del depósito elimina problemas de fugas (que en algunos fluidos pueden implicar a la seguridad)
- Si se sumerge queda cebada, por lo que está lista para el servicio

**Desventajas:**

- Limita la longitud de la instalación
- Para fluidos con contenido en sólidos abrasivos requieren una construcción especial (sin cojinetes), ya que el diseño estándar lleva cojinetes internos



**Clasificación por (IX):**

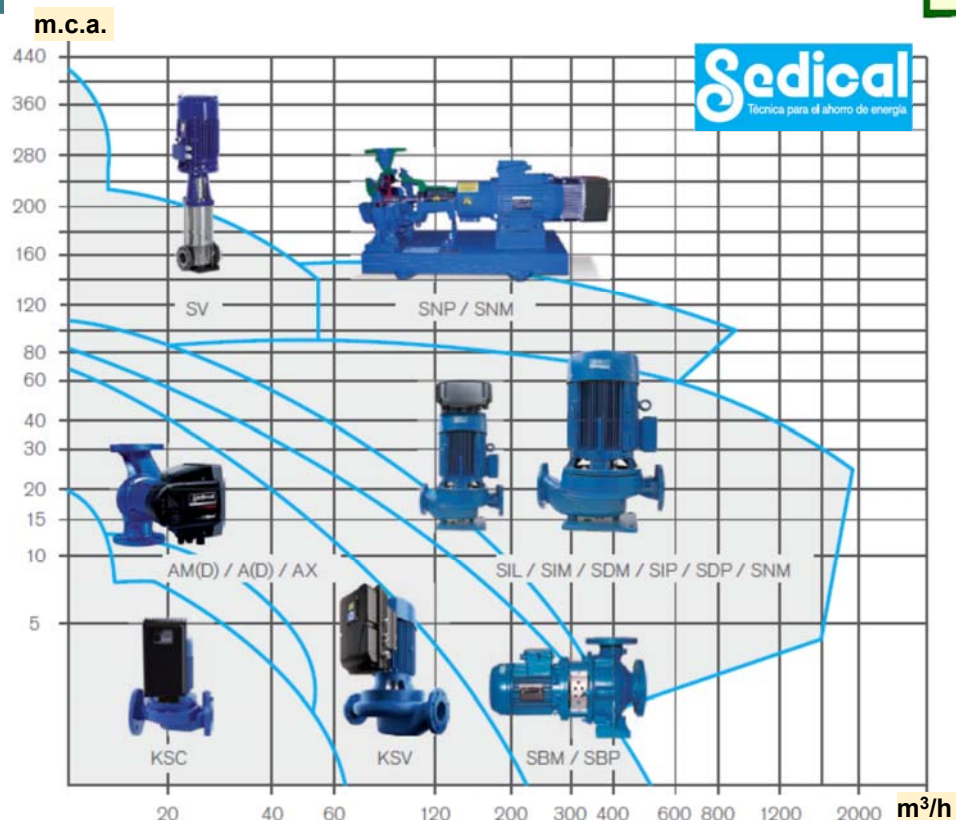
➤ **Bombas con depósito**

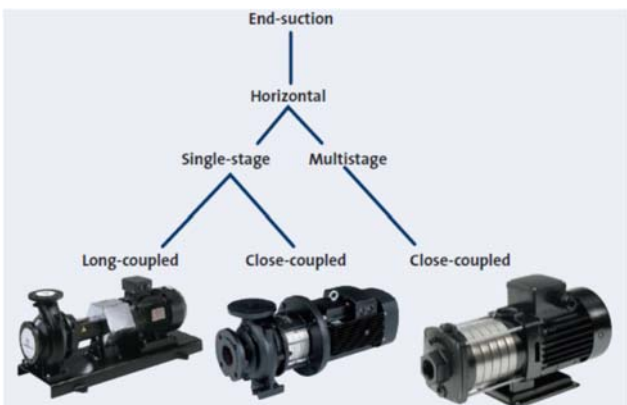
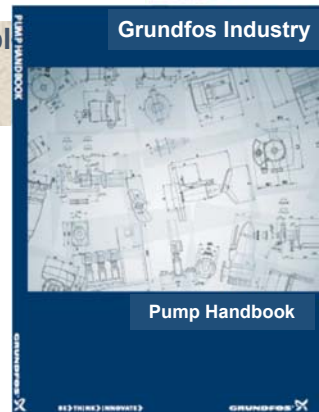
**Ventajas:**

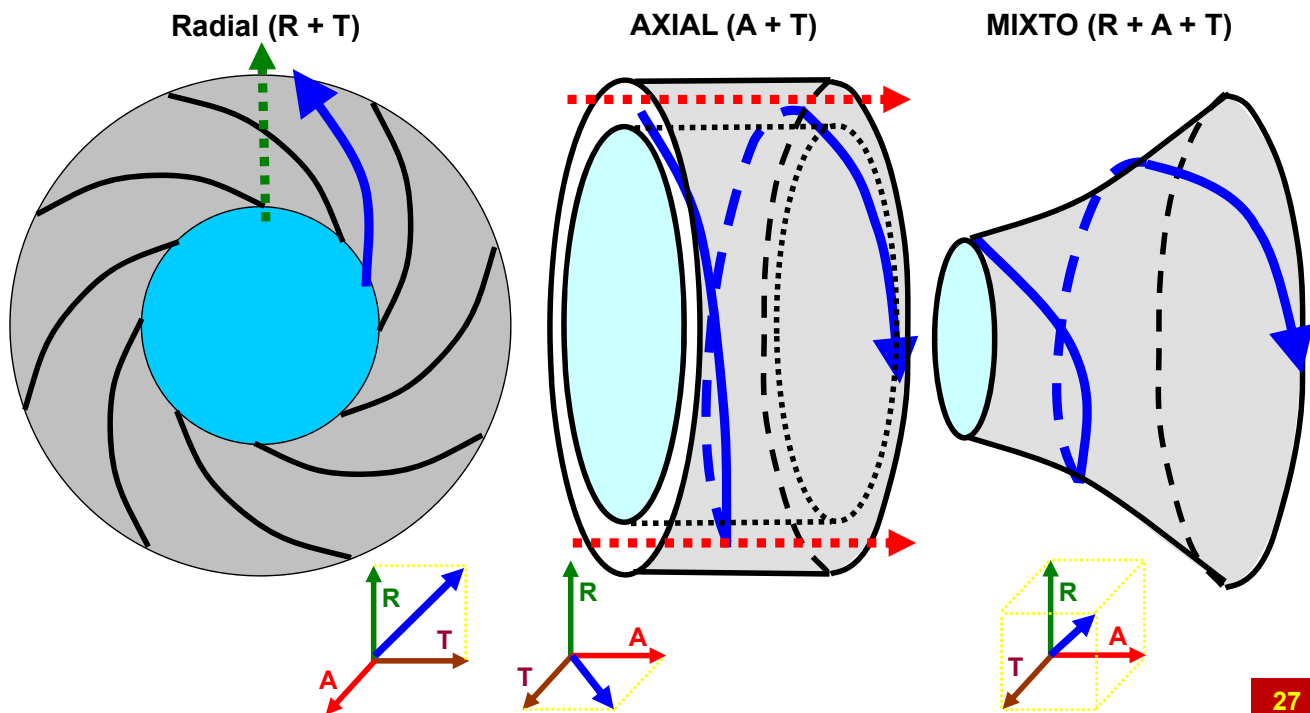
- Permite incrementar el valor del  $NPSH_d$  al variar la longitud de su depósito y, por tanto, la longitud de la bomba
- Tiene gran fiabilidad de funcionamiento, ya que si se instala correctamente, incluso en malas condiciones de aspiración, no tiene problemas de cavitación

**Desventajas:**

- Es cara
- Por su volumen y forma, su instalación es dificultosa







27

**La Ec. de Euler para Bombas:**

Marca el comportamiento de las Bombas (Generadores Hidráulicos)

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

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

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

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

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

$$\left( z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} \right) + H_{añã} - H_{ext} - H_{per} = \left( z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \right)$$

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

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

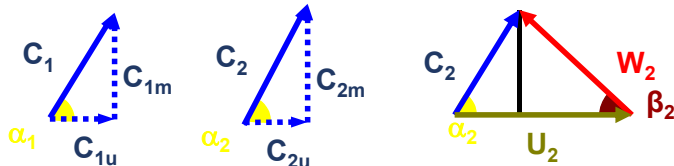
En la práctica:  $z_S \approx z_E$ , y si  $v_S \approx v_E$

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

28

La Curva Característica (I):

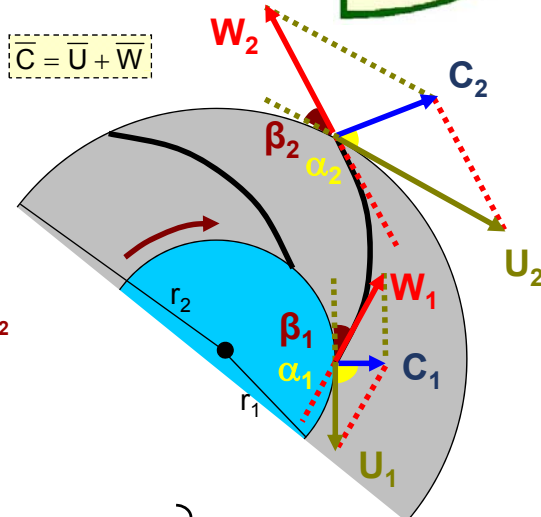
1ª Ec. EULER  $H_{total} = H_{G.H.} = \frac{u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u}}{g}$



Si  $\alpha_1 = 90^\circ \Rightarrow c_{1u} = 0 \Rightarrow H_{max}$   $H_{total Max} = \frac{u_2 \cdot c_{2u}}{g}$

$$\left. \begin{aligned} u_2 &= c_{2u} + w_{2u} \\ \text{tg } \beta_2 &= \frac{w_{2m}}{w_{2u}} \Rightarrow \text{cotg } \beta_2 = \frac{w_{2u}}{w_{2m}} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} c_{2u} &= u_2 - w_{2u} \\ w_{2u} &= w_{2m} \cdot \text{cotg } \beta_2 \end{aligned} \left. \begin{aligned} w_{2m} &= c_{2m} \end{aligned} \right\} c_{2u} = u_2 - c_{2m} \cdot \text{cotg } \beta_2$$

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



La Curva Característica (II):

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

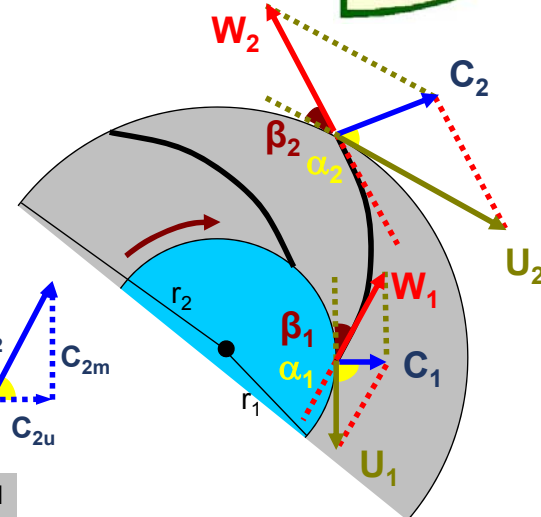
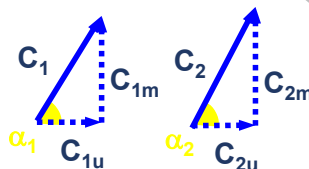
El Caudal impulsado realmente es:

Caudal,  $Q = k_1 \cdot c_{1m} \cdot A_1 = k_2 \cdot c_{2m} \cdot A_2$

$A_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \text{ancho}_{rodete1}$

$A_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot \text{ancho}_{rodete2}$

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



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

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

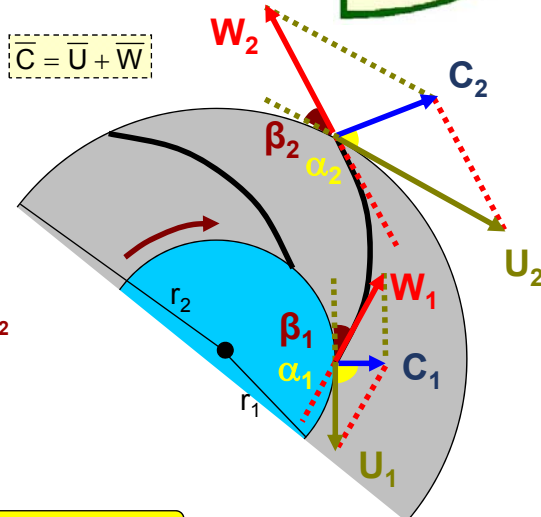
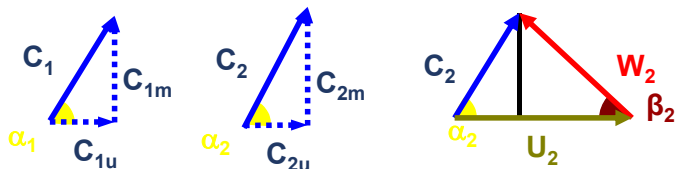
$$H_{total Max} = A - B \cdot Q$$

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

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

La Curva Característica (III):

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



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

Si  $\alpha_2 = 90^\circ \Rightarrow c_{2u} = 0 \Rightarrow H = 0$

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

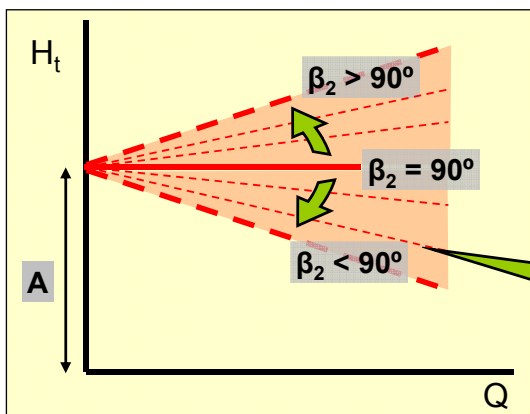
Caudal,  $Q = c_{2m} \cdot A_2$

Si  $\alpha_2 = 0 \Rightarrow c_{2m} = 0 \Rightarrow Q = 0$

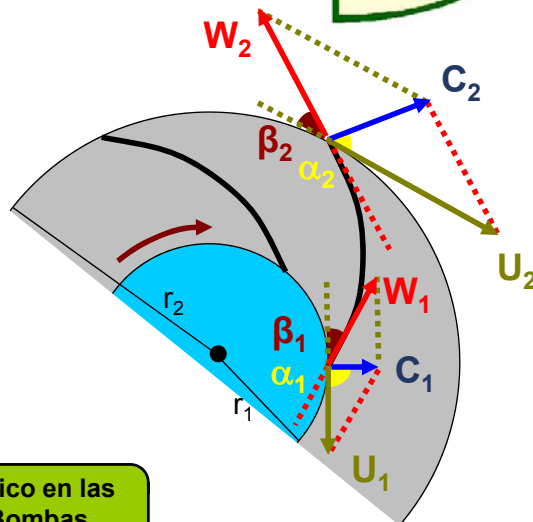
$c_{2u}$  da presión  
 $c_{2m}$  da caudal

La Curva Característica (IV):

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



Típico en las Bombas Centrifugas



$H_{geom} = H_{elev} = H_{imp} + H_{asp}$

$H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub}$

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

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

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



Una bomba centrífuga gira a 1.500 rpm. La superficie de entrada del agua al rodete es de 0,03 m<sup>2</sup>, y la de salida 0,04 m<sup>2</sup>. El diámetro del rodete a la entrada es de 0,3 m y a la salida de 0,5 m. Los ángulos de los álabes son:  $\beta_1 = 22^\circ$ ;  $\beta_2 = 15^\circ$ ; con  $\alpha_1 = 90^\circ$

- Calcular los triángulos de velocidades ( $U_1, U_2, C_1, C_2; \alpha_2$ )
- La altura teórica de impulsión
- El caudal de la bomba

Una bomba centrífuga gira a 1.500 rpm. La superficie de entrada del agua al rodete es de 0,03 m<sup>2</sup>, y la de salida 0,04 m<sup>2</sup>. El diámetro del rodete a la entrada es de 0,3 m y a la salida de 0,5 m. Los ángulos de los álabes son:  $\beta_1 = 22^\circ$ ;  $\beta_2 = 15^\circ$ ; con  $\alpha_1 = 90^\circ$

- Calcular los triángulos de velocidades ( $U_1, U_2, C_1, C_2; \alpha_2$ )
- La altura teórica de impulsión
- El caudal de la bomba

- Representar la variación de la altura teórica de impulsión si el **ángulo  $\beta_2$**  varía de grado en grado desde **11° a 18°**

- Representar del caudal de impulsión si el **ángulo  $\beta_2$**  varía de grado en grado desde **11° a 18°**

Una bomba centrifuga gira a 1.500 rpm. La superficie de entrada del agua al rodete es de 0,03 m<sup>2</sup>, y la de salida 0,04 m<sup>2</sup>. El diámetro del rodete a la entrada es de 0,3 m y a la salida de 0,5 m. Los ángulos de los álabes son:  $\beta_1 = 22^\circ$ ;  $\beta_2 = 15^\circ$ ; con  $\alpha_1 = 90^\circ$

- Calcular los triángulos de velocidades ( $U_1, U_2, C_1, C_2; \alpha_2$ )
- La altura teórica de impulsión
- El caudal de la bomba

- Representar la variación de la altura teórica de impulsión si el **ángulo  $\beta_1$**  varía de grado en grado desde **18° a 25°**

- Representar la variación del caudal de impulsión si el **ángulo  $\beta_1$**  varía de grado en grado desde **18° a 25°**

Una bomba centrifuga gira a 1.500 rpm. La superficie de entrada del agua al rodete es de 0,03 m<sup>2</sup>, y la de salida 0,04 m<sup>2</sup>. El diámetro del rodete a la entrada es de 0,3 m y a la salida de 0,5 m. Los ángulos de los álabes son:  $\beta_1 = 22^\circ$ ;  $\beta_2 = 15^\circ$ ; con  $\alpha_1 = 90^\circ$

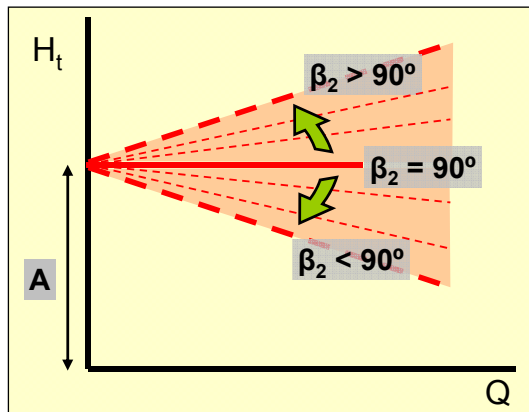
- Calcular los triángulos de velocidades ( $U_1, U_2, C_1, C_2; \alpha_2$ )
- La altura teórica de impulsión
- El caudal de la bomba

- Representar la variación de la altura teórica de impulsión si el **ángulo  $\alpha_1$**  varía de 2 grados en 2 grados desde **82° a 96°**

- Representar la variación del caudal de impulsión si el **ángulo  $\alpha_1$**  varía de 2 grados en 2 grados desde **82° a 96°**

La Curva Característica (V):

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



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

$$H_{L\text{-fric}} = Cte_1 \cdot Q^2$$

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

$$H_{L\text{-choq}} = Cte_2 \cdot (Q - Q_{\text{nom}})^2$$

$$H_{L\text{-interiores}} = Cte_1 \cdot Q^2 + Cte_2 \cdot (Q - Q_{\text{nom}})^2 = Cte_1 \cdot Q^2 + Cte_2 \cdot (Q^2 - 2 \cdot Q \cdot Q_{\text{nom}} + Q_{\text{nom}}^2) = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

La Curva Característica (VI):

$$H_{\text{total Max}} = A - B \cdot Q \quad H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

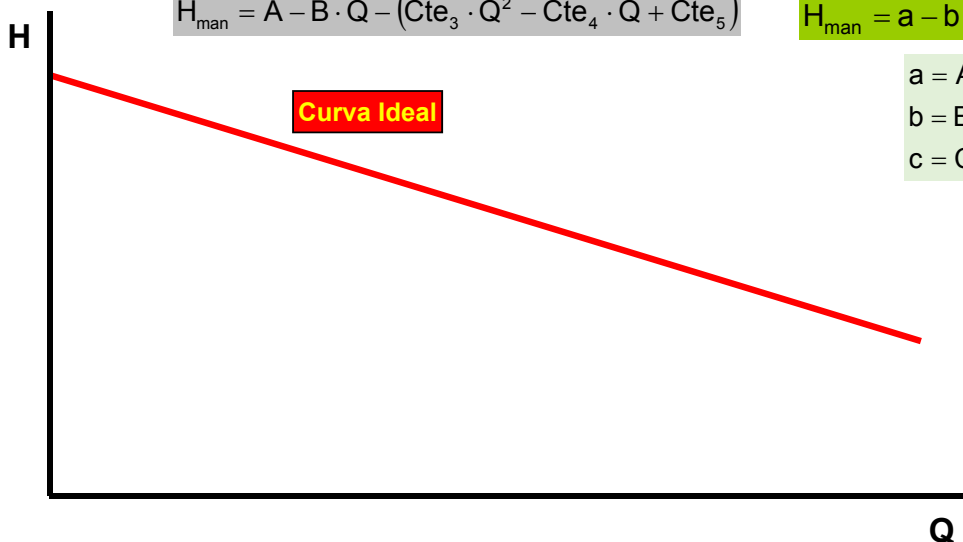
$$\left. \begin{aligned} H_{\text{geom}} &= H_{\text{elev}} = H_{\text{imp}} + H_{\text{asp}} \\ H_{\text{util}} &= H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L\text{-tub}} \\ H_{\text{Euler}} &= H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{L\text{-intB}} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L\text{-intB}} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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

$$\begin{aligned} a &= A - Cte_5 \\ b &= B - Cte_4 \\ c &= Cte_3 \end{aligned}$$



La Curva Característica (VI):

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

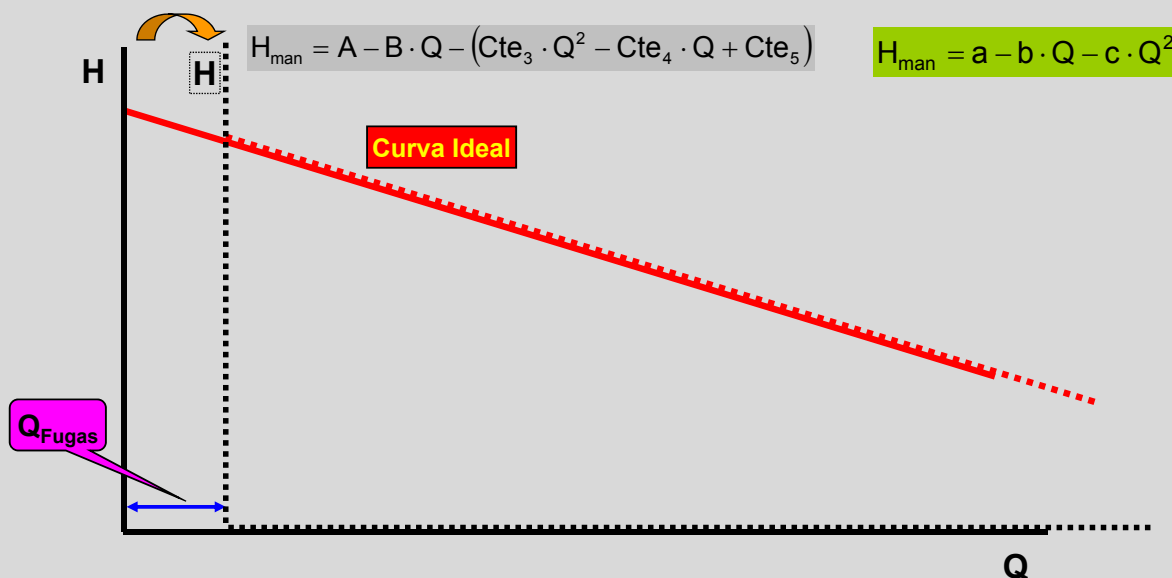
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$\left. \begin{aligned} H_{\text{geom}} = H_{\text{elev}} = H_{\text{imp}} + H_{\text{asp}} \\ H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L\text{-tub}} \\ H_{\text{Euler}} = H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{L\text{-intB}} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L\text{-intB}} = \text{Cte}_3 \cdot Q^2 - \text{Cte}_4 \cdot Q + \text{Cte}_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B \cdot Q - (\text{Cte}_3 \cdot Q^2 - \text{Cte}_4 \cdot Q + \text{Cte}_5)$$

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



La Curva Característica (VI):

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

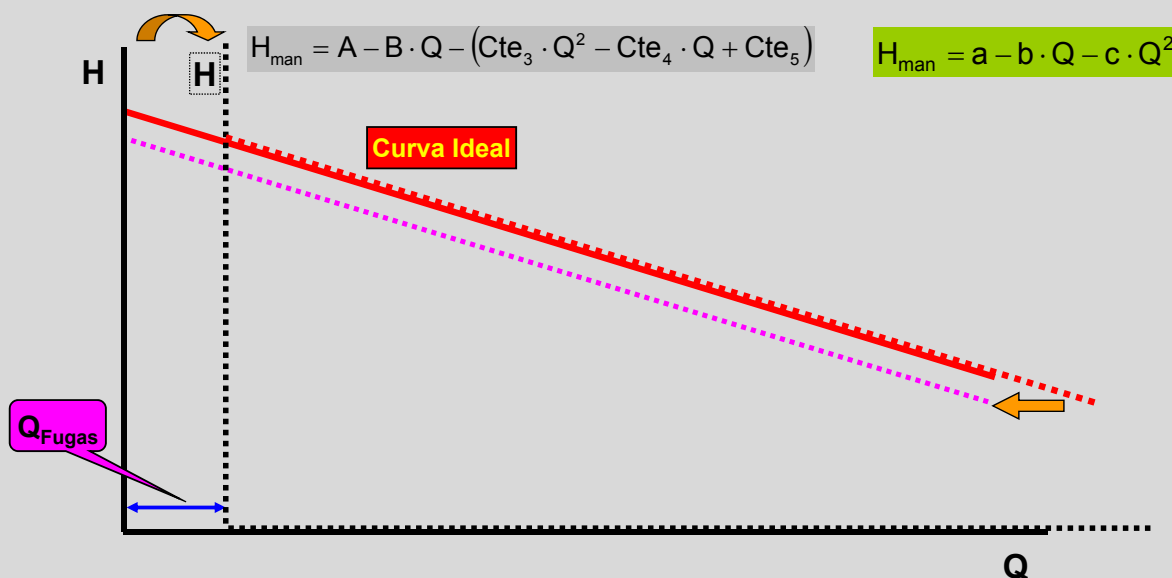
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$\left. \begin{aligned} H_{\text{geom}} = H_{\text{elev}} = H_{\text{imp}} + H_{\text{asp}} \\ H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L\text{-tub}} \\ H_{\text{Euler}} = H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{L\text{-intB}} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L\text{-intB}} = \text{Cte}_3 \cdot Q^2 - \text{Cte}_4 \cdot Q + \text{Cte}_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B \cdot Q - (\text{Cte}_3 \cdot Q^2 - \text{Cte}_4 \cdot Q + \text{Cte}_5)$$

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



La Curva Característica (VI):

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

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

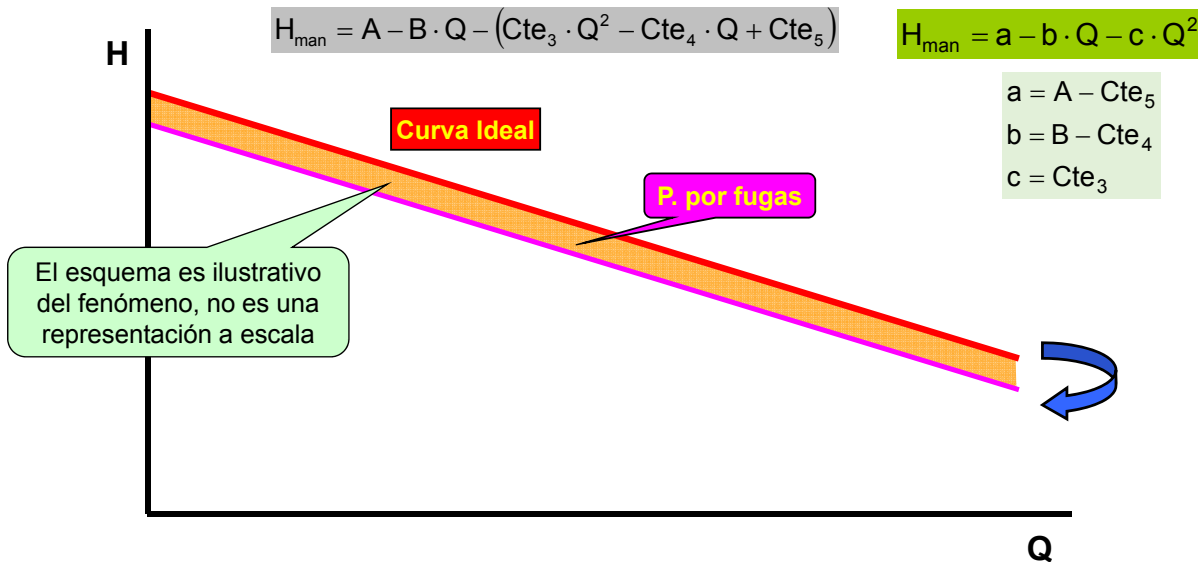
$$\left. \begin{aligned} H_{geom} &= H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \\ H_{util} &= H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \\ H_{Euler} &= H_{total} = H_{man} + H_{L-intB} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L-intB} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{man} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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

$$\begin{aligned} a &= A - Cte_5 \\ b &= B - Cte_4 \\ c &= Cte_3 \end{aligned}$$



La Curva Característica (VI):

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

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

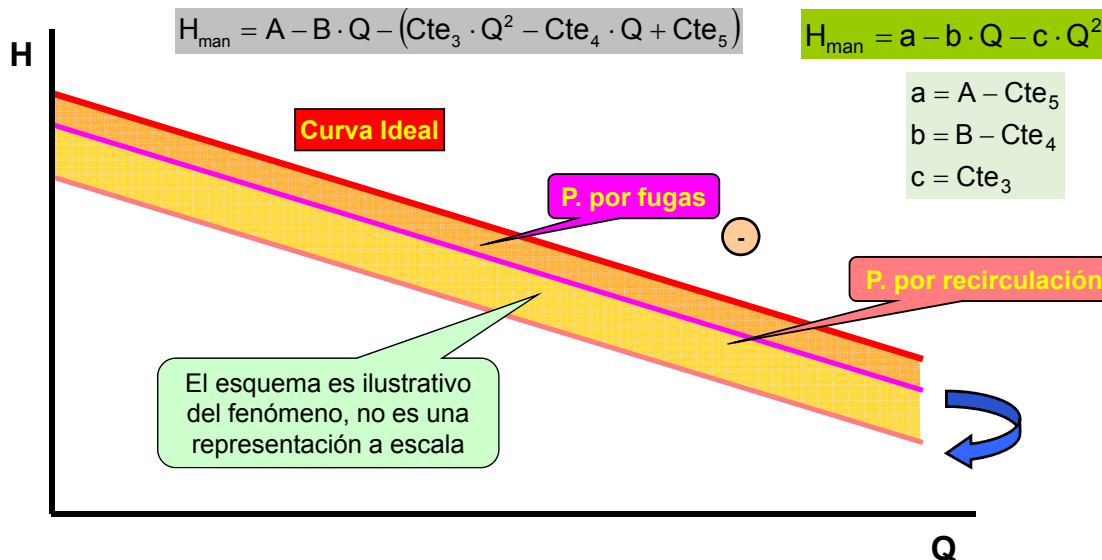
$$\left. \begin{aligned} H_{geom} &= H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \\ H_{util} &= H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \\ H_{Euler} &= H_{total} = H_{man} + H_{L-intB} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L-intB} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{man} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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

$$\begin{aligned} a &= A - Cte_5 \\ b &= B - Cte_4 \\ c &= Cte_3 \end{aligned}$$



La Curva Característica (VI):

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

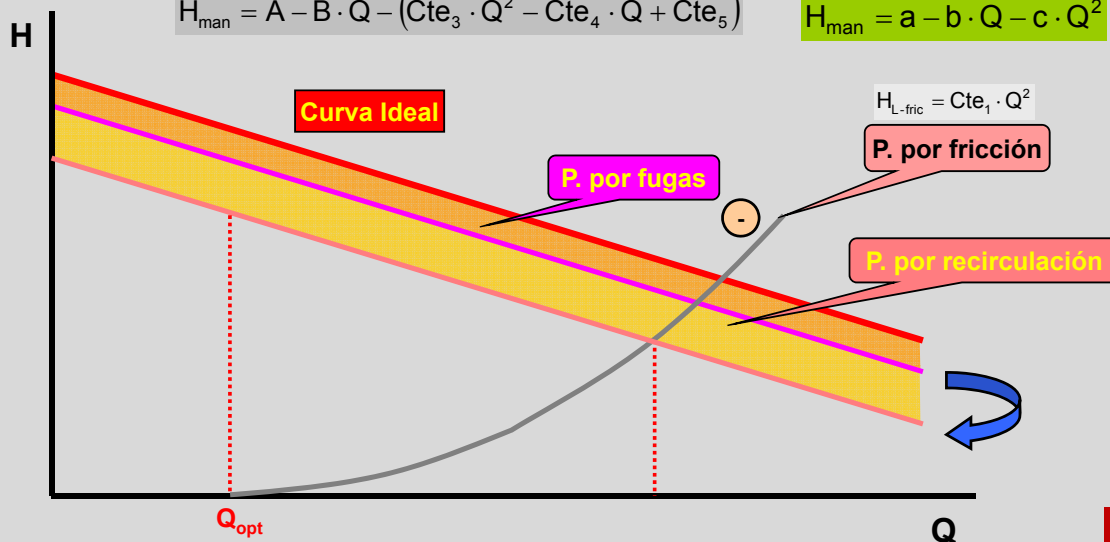
$$H_{total} = H_{manométrica} + H_{L-intB}$$

$$\left. \begin{aligned} H_{geom} &= H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \\ H_{util} &= H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \\ H_{Euler} &= H_{total} = H_{man} + H_{L-intB} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L-intB} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{man} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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



La Curva Característica (VI):

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

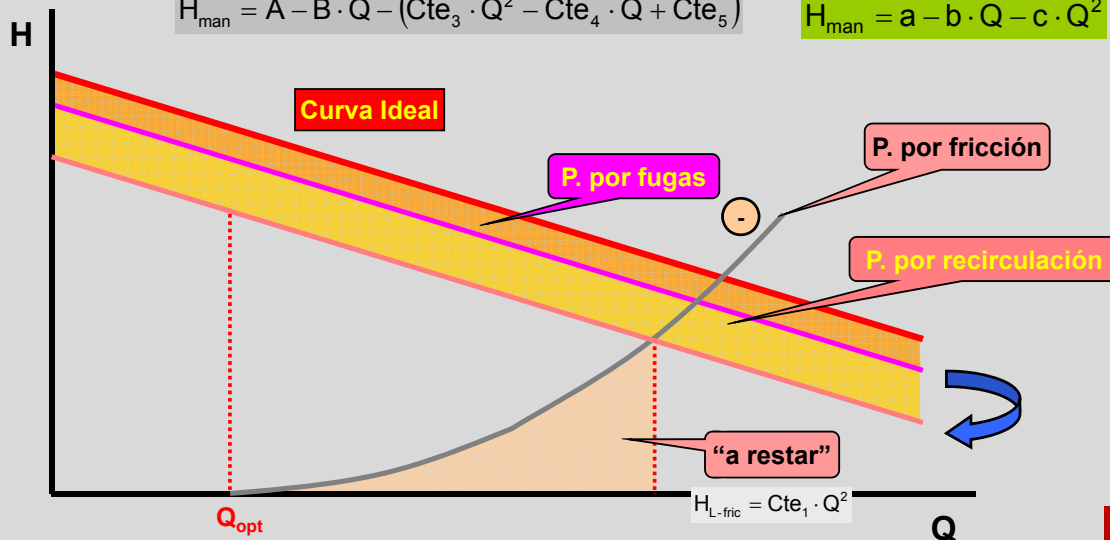
$$H_{total} = H_{manométrica} + H_{L-intB}$$

$$\left. \begin{aligned} H_{geom} &= H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \\ H_{util} &= H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \\ H_{Euler} &= H_{total} = H_{man} + H_{L-intB} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L-intB} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{man} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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



La Curva Característica (VI):

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

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

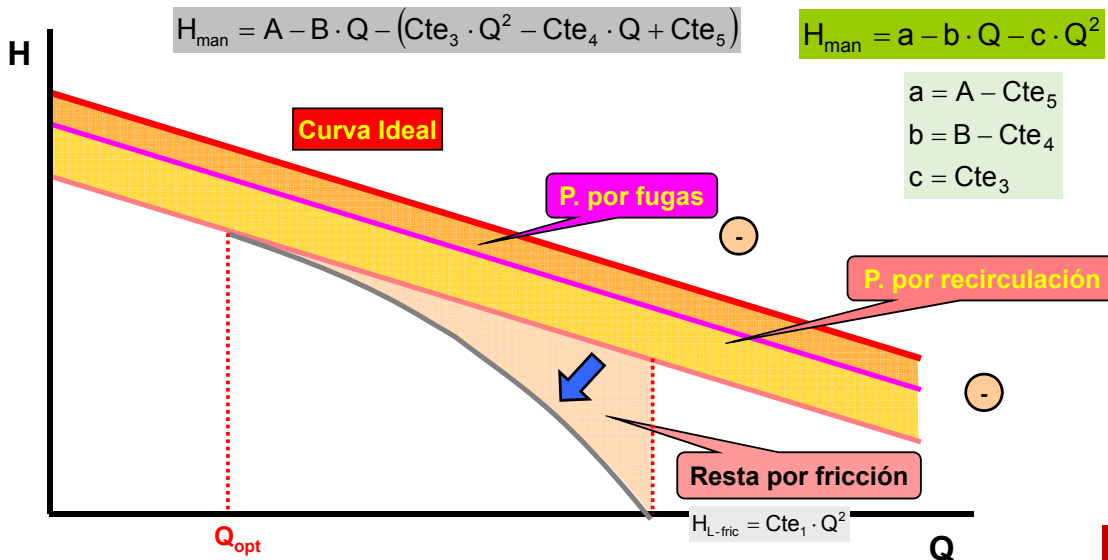
$$\left. \begin{aligned} H_{\text{geom}} &= H_{\text{elev}} = H_{\text{imp}} + H_{\text{asp}} \\ H_{\text{util}} &= H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L\text{-tub}} \\ H_{\text{Euler}} &= H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{L\text{-intB}} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L\text{-intB}} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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

$$\begin{aligned} a &= A - Cte_5 \\ b &= B - Cte_4 \\ c &= Cte_3 \end{aligned}$$



La Curva Característica (VI):

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

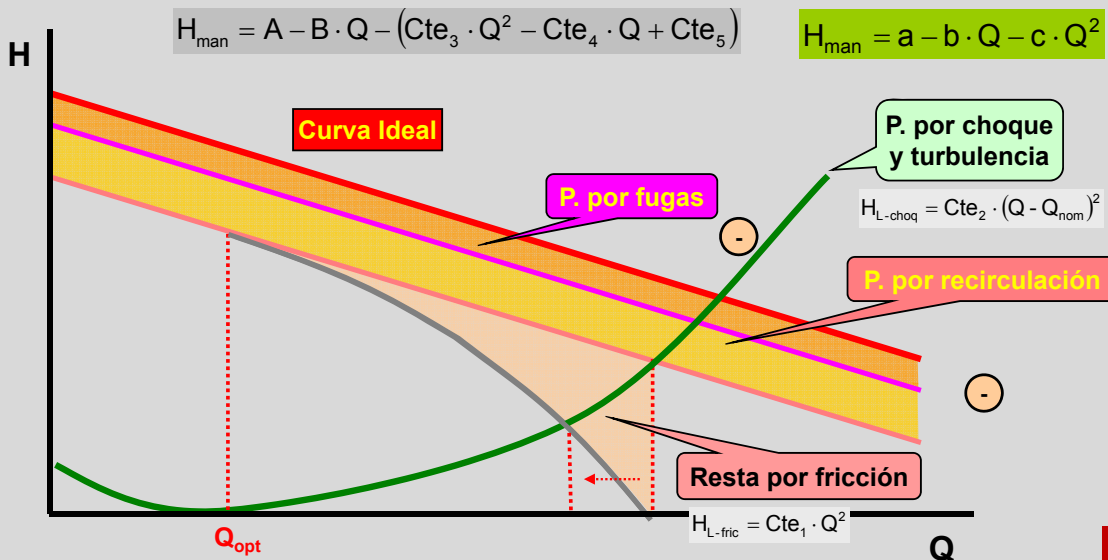
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L\text{-intB}}$$

$$\left. \begin{aligned} H_{\text{geom}} &= H_{\text{elev}} = H_{\text{imp}} + H_{\text{asp}} \\ H_{\text{util}} &= H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L\text{-tub}} \\ H_{\text{Euler}} &= H_{\text{total}} = H_{\text{man}} + H_{L\text{-intB}} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L\text{-intB}} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{\text{man}} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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



La Curva Característica (VI):

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

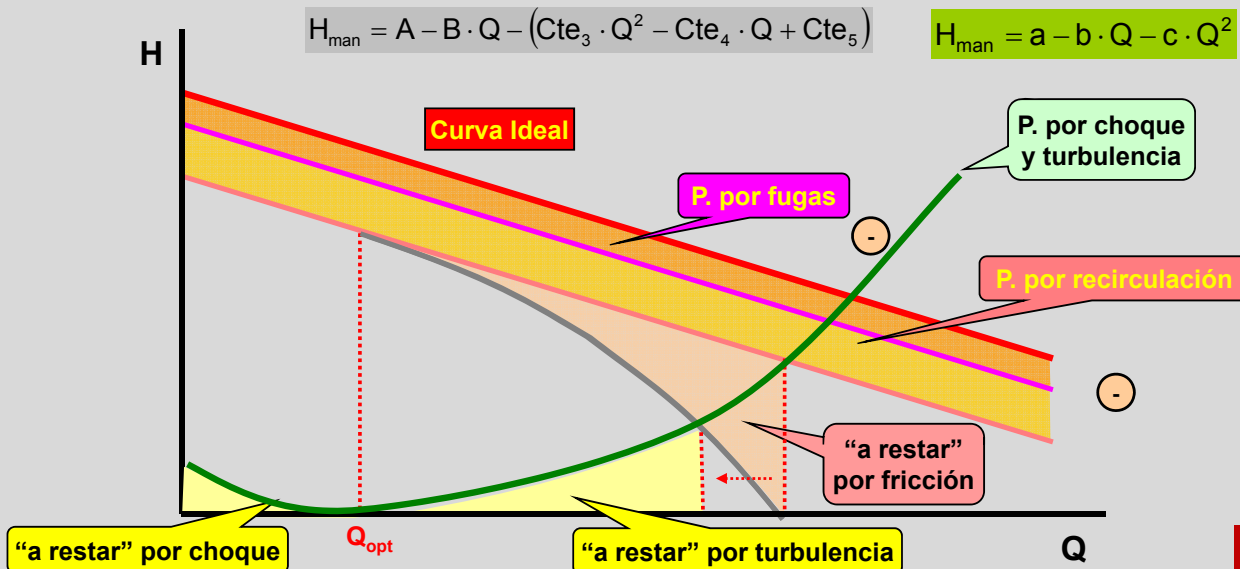
$$H_{total} = H_{manométrica} + H_{L-intB}$$

$$\left. \begin{aligned} H_{geom} &= H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \\ H_{util} &= H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \\ H_{Euler} &= H_{total} = H_{man} + H_{L-intB} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L-intB} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{man} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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



La Curva Característica (VI):

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

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

$$\left. \begin{aligned} H_{geom} &= H_{elev} = H_{imp} + H_{asp} \\ H_{util} &= H_{man} = H_{elev} + H_{L-tub} \\ H_{Euler} &= H_{total} = H_{man} + H_{L-intB} \end{aligned} \right\}$$

$$H_{L-intB} = Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5$$

$$H_{man} = A - B \cdot Q - (Cte_3 \cdot Q^2 - Cte_4 \cdot Q + Cte_5)$$

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

$$\begin{aligned} a &= A - Cte_5 \\ b &= B - Cte_4 \\ c &= Cte_3 \end{aligned}$$

