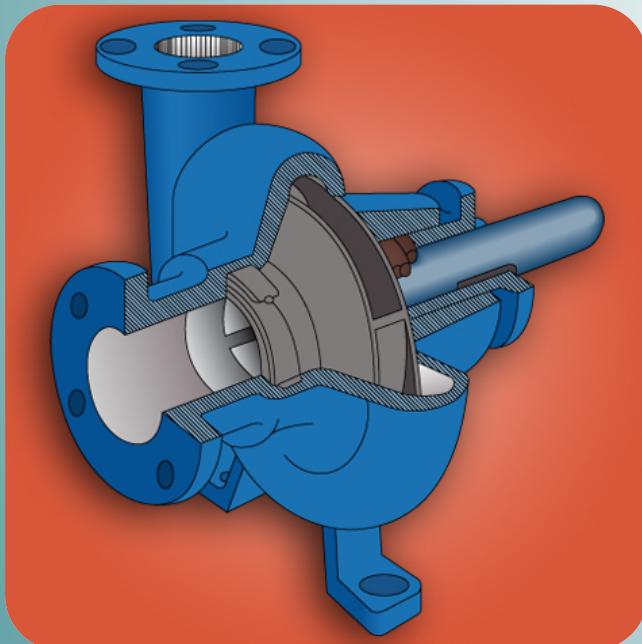


Sistemas y Máquinas Fluido Mecánicas

Bloque I. Tema 2.2.1. Bombas Centrífugas I

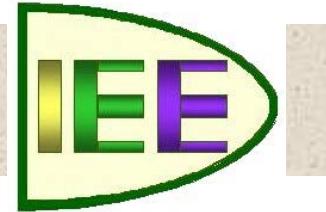


Carlos J. Renedo
Inmaculada Fernández Diego
Juan Carcedo Haya
Félix Ortiz Fernández

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Este tema se publica bajo Licencia:
[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles



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

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**
- **Punto de Funcionamiento**
- **Selección de una Bomba**

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 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
- ...



<http://www.viagua.es/216-bombas-de-achique>



<http://dbdh.dk/technology-and-cases/>

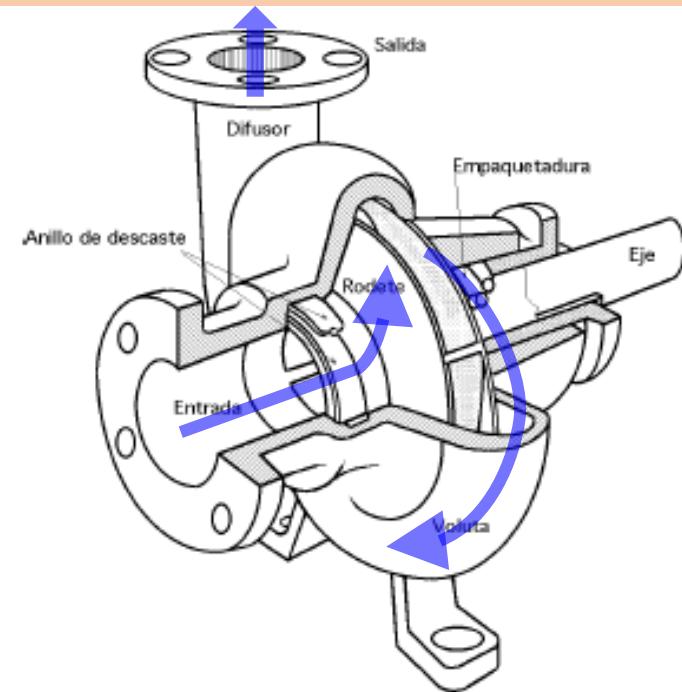
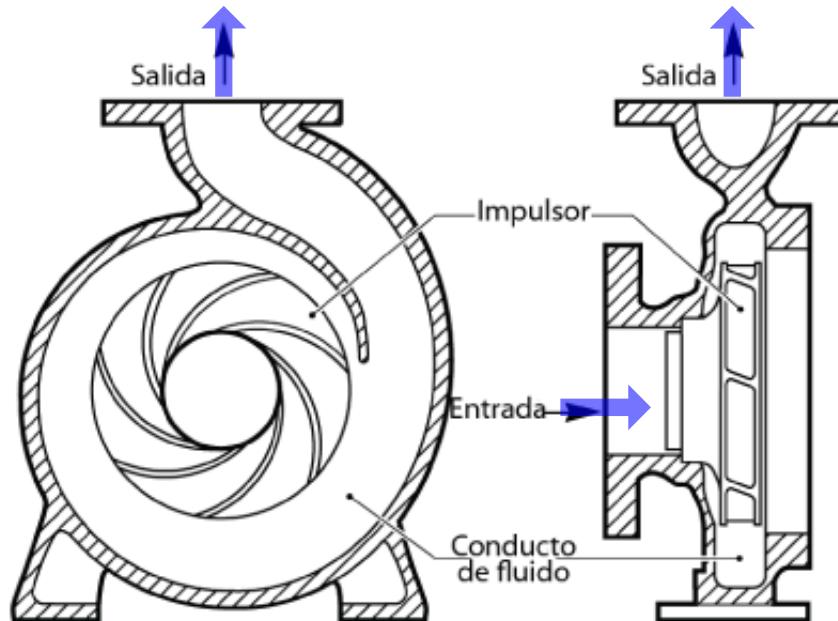


http://www.allpumps.com.ar/bombas_industriales/detalles-bombas-industriales.php?bombaindustrial=bomba-centrifugas-vogt

Las Partes son (I):

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

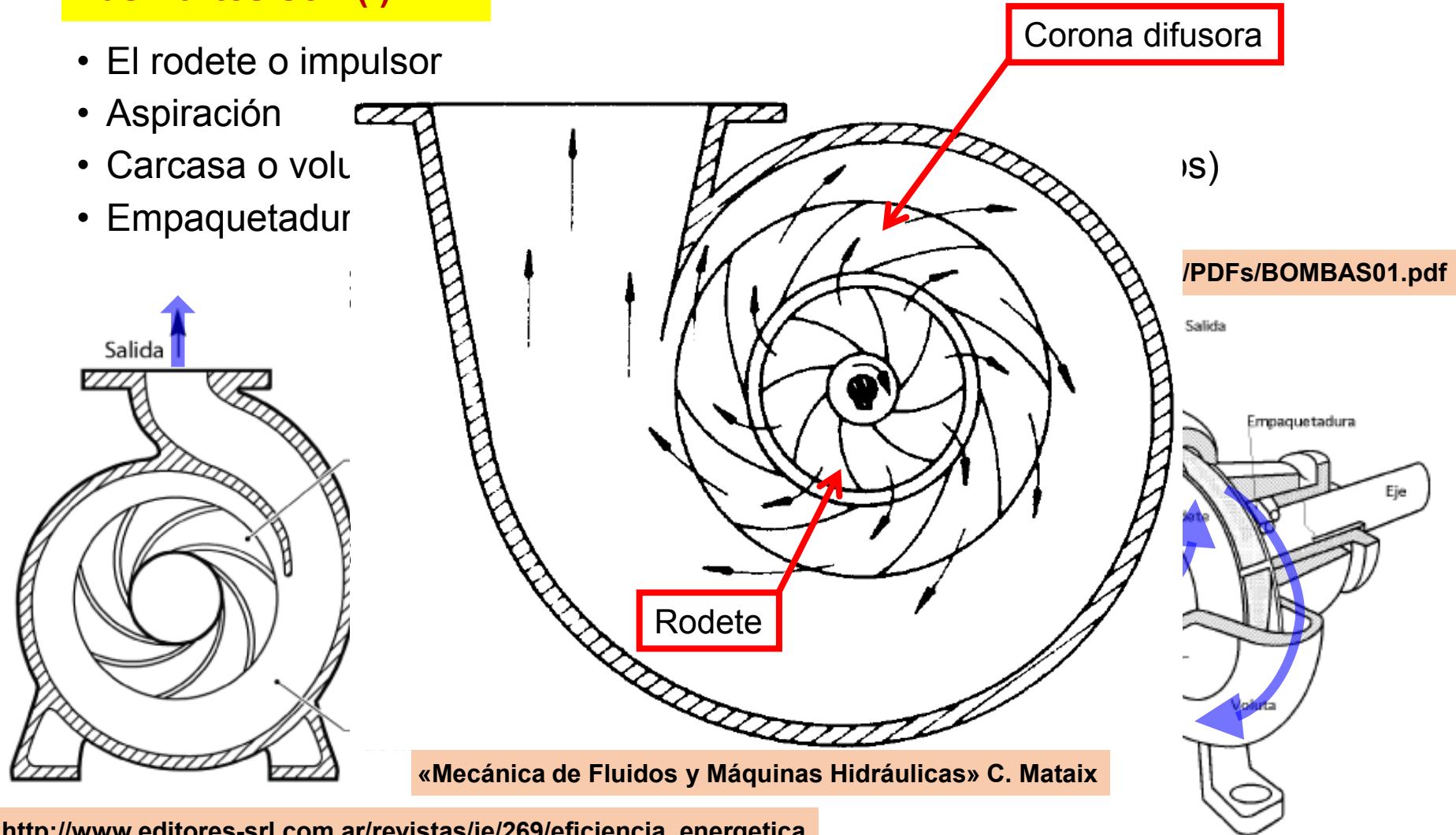
<http://files.pfernandezdiez.es/Bombas/PDFs/BOMBAS01.pdf>



http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/269/eficiencia_energetica

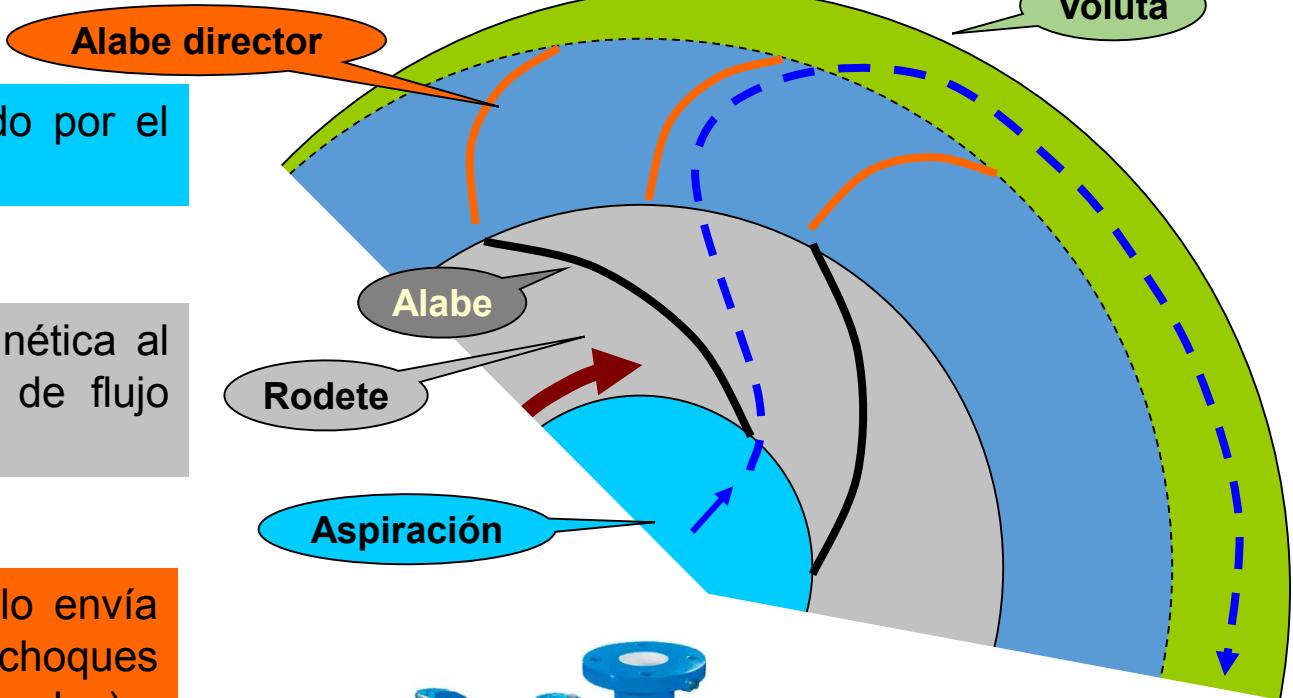
Las Partes son (I):

- El rodete o impulsor
- Aspiración
- Carcasa o volante
- Empaquetadura



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



[http://www.directindustry.com/
prod/aurora-pump/product-
30034-377972.html](http://www.directindustry.com/prod/aurora-pump/product-30034-377972.html)

Las Partes son (II):**Aspiración:****Alabe dire**

El líquido es aspirado por el ojo del rodete

Rodete:

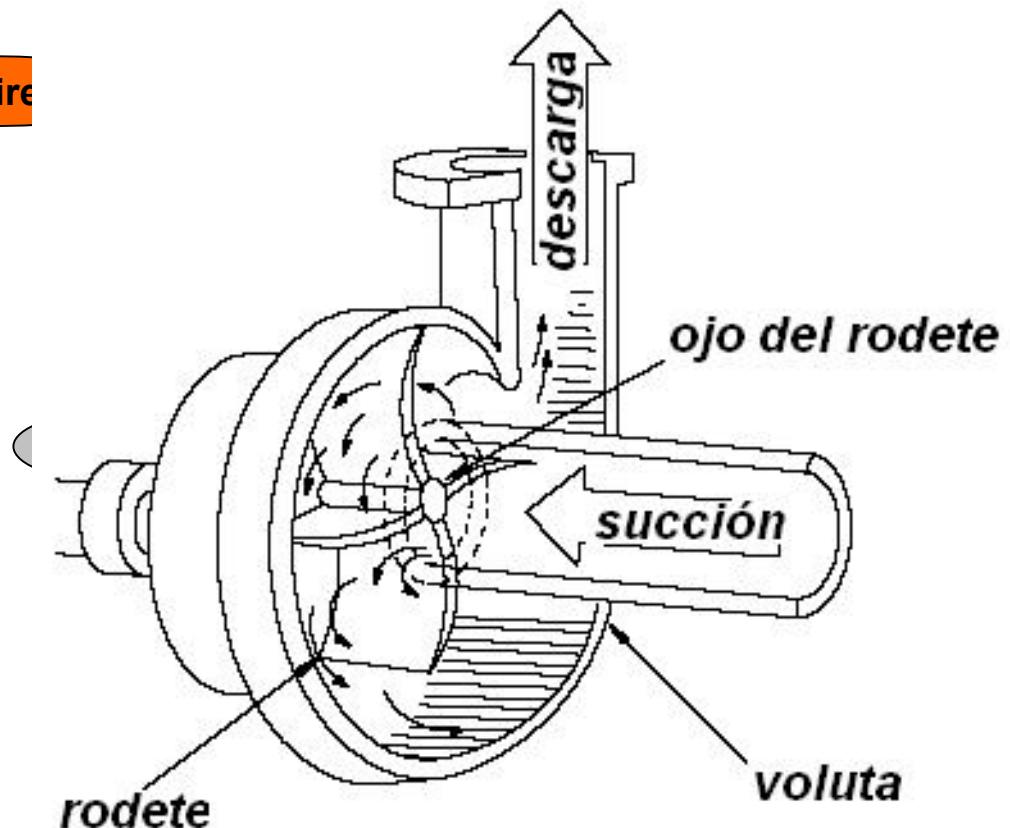
Comunica energía cinética al fluido. El flujo pasa de flujo axial a radial

Alabes directores:

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

Voluta:

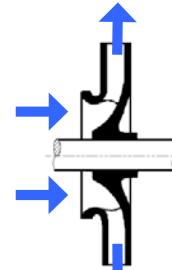
En ella se transforma energía cinética del fluido en energía de presión



<http://www.fullmecanica.com/definiciones/b/1677-bombas-centrifugas>

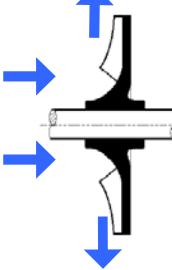
Los Rodetes (I):

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



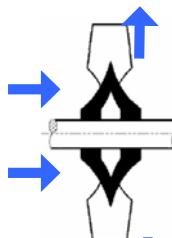
<http://www.fisasa.com/aplicaciones.htm>

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

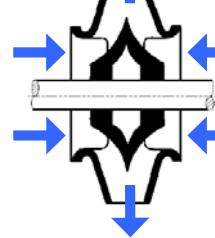


<https://www.behance.net/gallery/736388/Rodete-para-una-bomba-de-trasiego-de-barbotina>

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



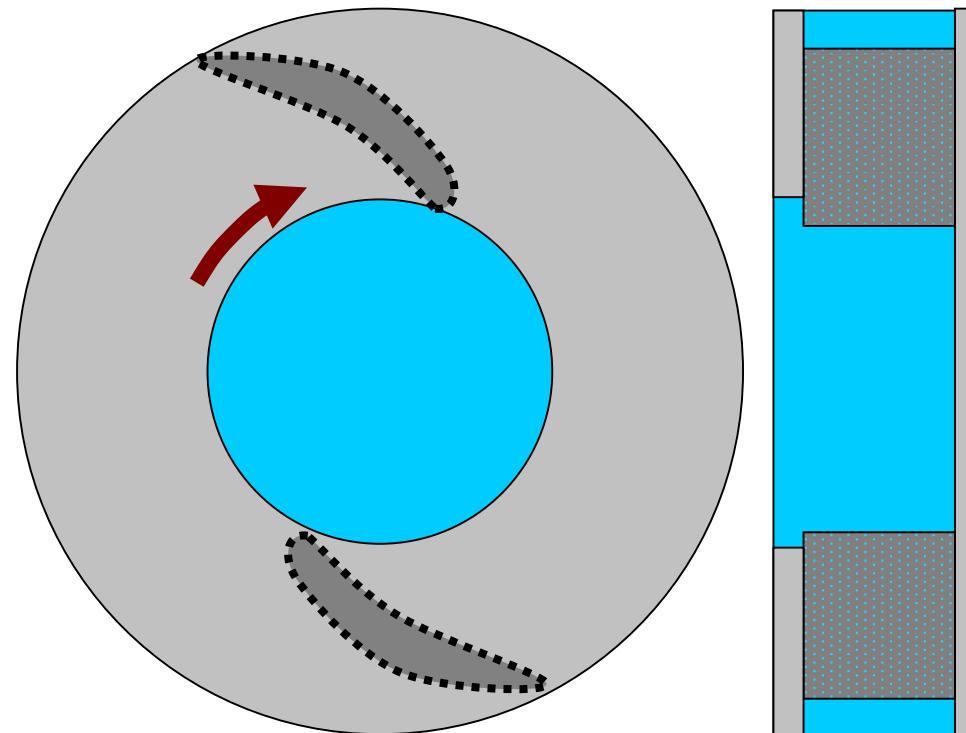
Doble aspiración: compensa esfuerzos axiales, para grandes caudales



<http://www.astillerosdecastellon.com/rodete-refrigeracion.html>

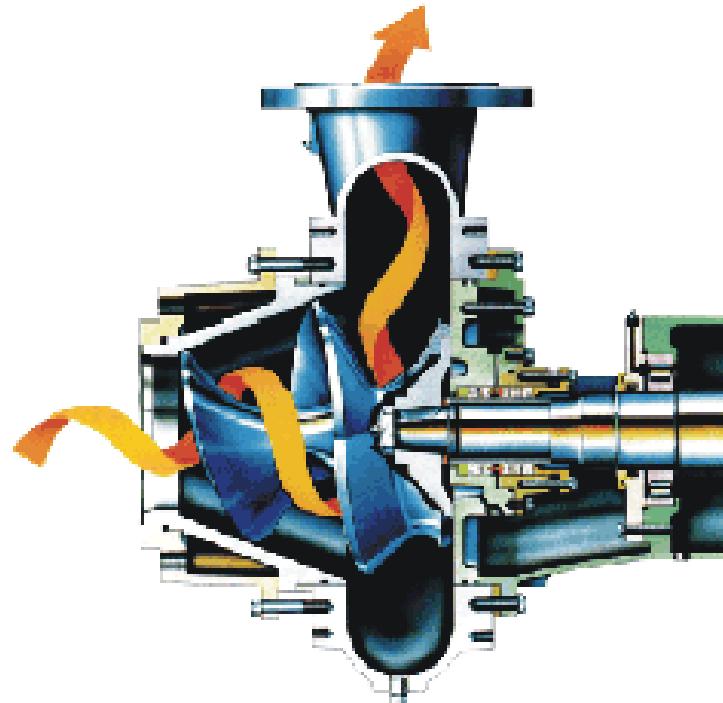
Los Rodetes (II):**Cerrados:**

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

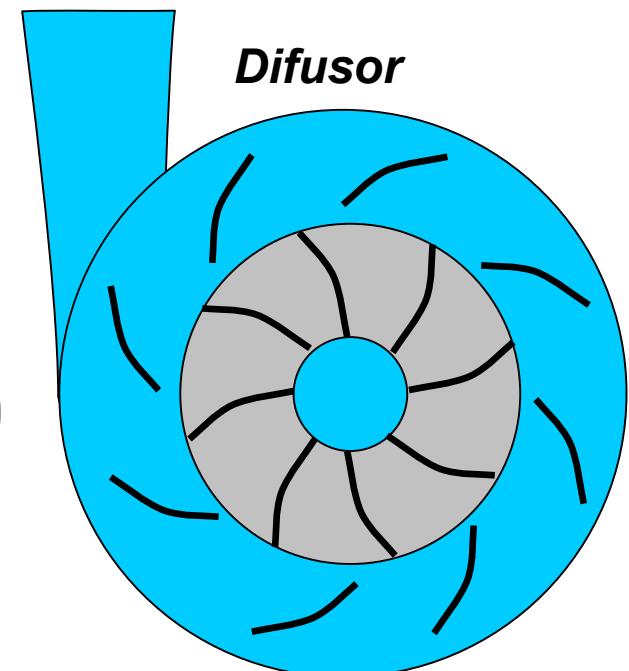
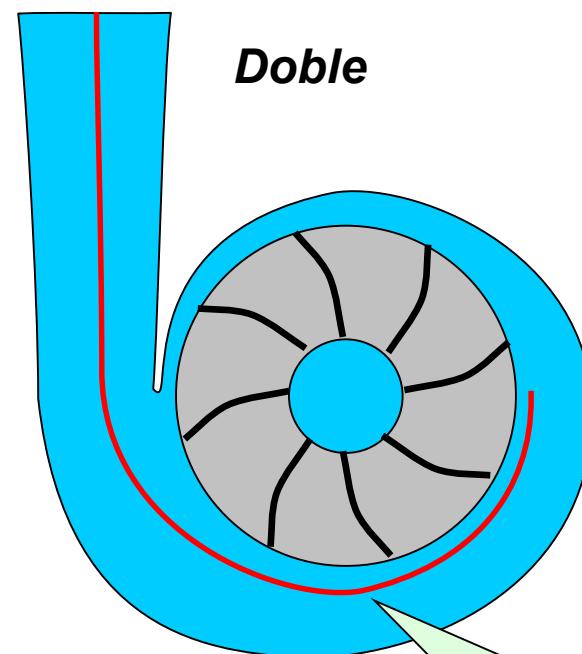
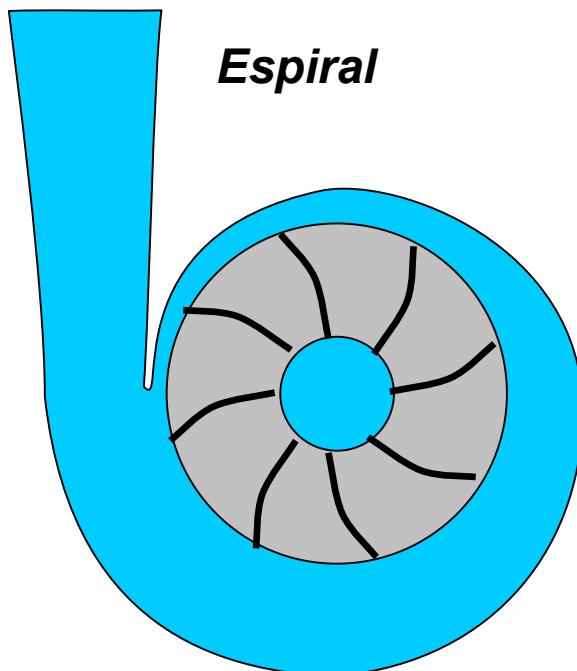


Los Rodetes (II):**Abiertos:**

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



La Voluta:



Reduce los esfuerzos radiales

Clasificación por (I):

Forma del rodeté

- **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)



<http://www.wilo.es/inicio/productos-y-campos-de-aplicacion/>



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

Clasificación por (II):

➤ **Presión suministrada**

- Baja
- Media
- Alta



➤ **Ubicación**

- Sumergible
- Pozo profundo



➤ **Construcción**

- Partida



<http://www.wilo.es/inicio/productos-y-campos-de-aplicacion/>

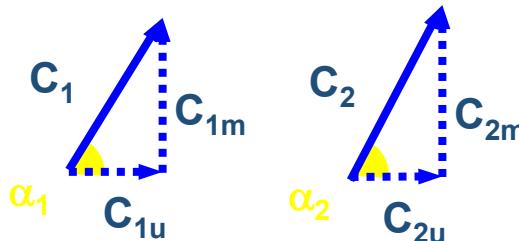


<http://sumgica.es/wordpress/?p=508>

La Curva Característica (I):

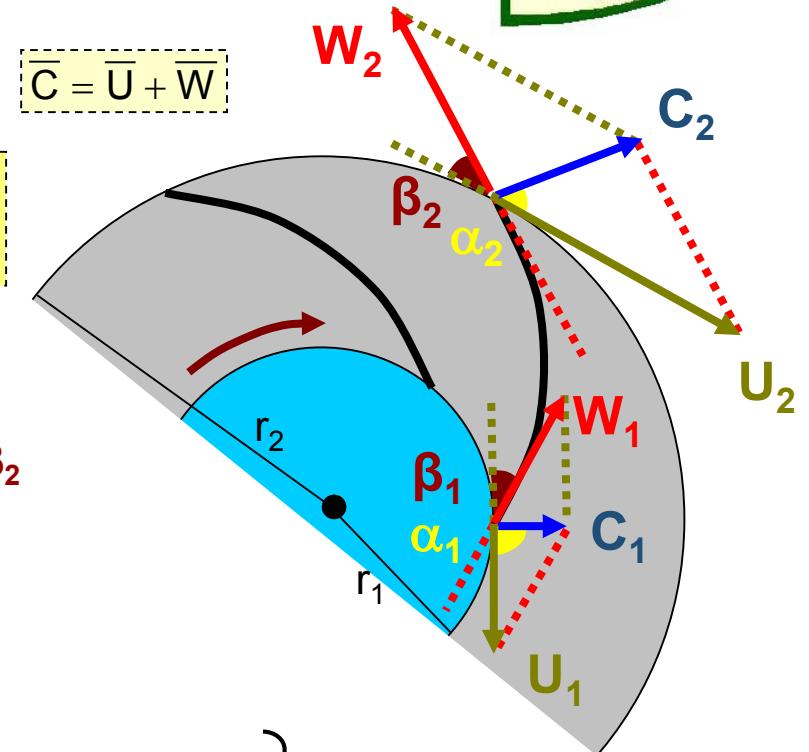
1^a Ec. EULER

$$H_{\text{total}} = H_{\text{G.H.}} = \frac{U_2 \cdot C_{2u} - U_1 \cdot C_{1u}}{g}$$



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

$$H_{\text{total Max}} = \frac{U_2 \cdot C_{2u}}{g}$$



$$U_2 = C_{2u} + W_{2u}$$

$$\tan \beta_2 = \frac{W_{2m}}{W_{2u}} \Rightarrow \cot \beta_2 = \frac{W_{2u}}{W_{2m}}$$

$$C_{2u} = U_2 - W_{2u}$$

$$W_{2u} = W_{2m} \cdot \cot \beta_2$$

$$W_{2m} = C_{2m}$$

$$C_{2u} = U_2 - C_{2m} \cdot \cot \beta_2$$

$$H_{\text{total Max}} = \frac{U_2}{g} \cdot (U_2 - C_{2m} \cdot \cot \beta_2) = \frac{U_2^2}{g} - C_{2m} \cdot \frac{U_2}{g} \cdot \cot \beta_2$$

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

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

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

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

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

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

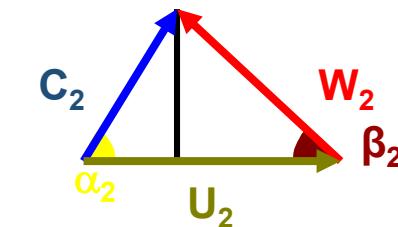
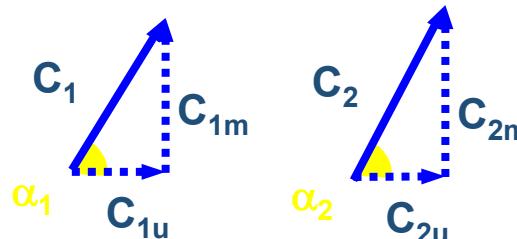
En la práctica: $z_S \approx z_E$, y si $v_S \approx v_E$

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

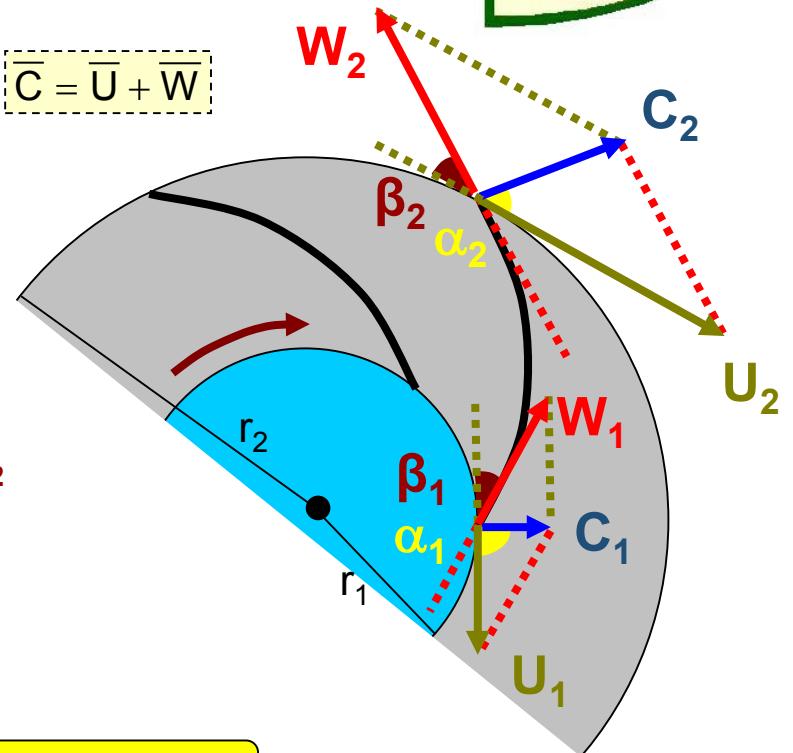
La Curva Característica (I):

1^a Ec. EULER

$$H_{\text{total}} = H_{\text{G.H.}} = \frac{U_2 \cdot C_{2u} - U_1 \cdot C_{1u}}{g}$$



$$\bar{C} = \bar{U} + \bar{W}$$



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

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

$$H_{\text{total Max}} = \frac{U_2 \cdot C_{2u}}{g}$$

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

C_{2u} da presión
 C_{2m} da caudal

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

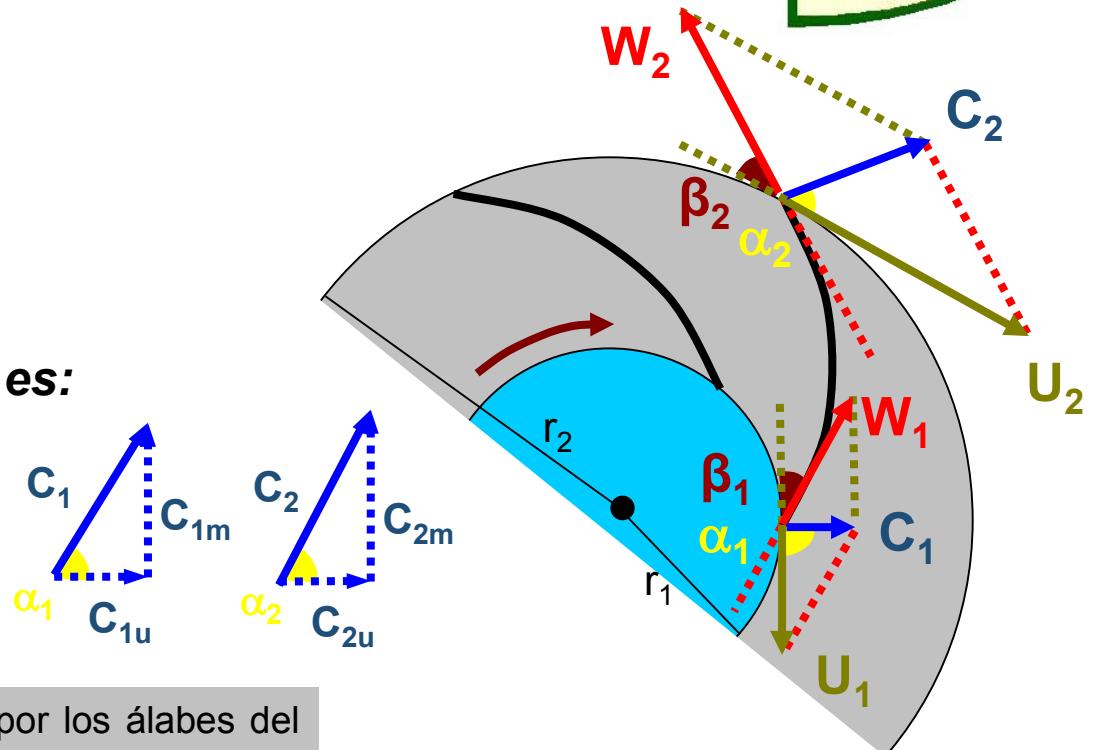
La Curva Característica (II):

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

El Caudal impulsado realmente es:

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

$$\left. \begin{array}{l} A_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot \text{ancho}_{\text{rodete}} \\ A_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot \text{ancho}_{\text{rodete}} \\ k_1 \text{ y } k_2 \text{ dependen del espacio ocupado por los álabes del rodete en la entrada y salida respectivamente} \end{array} \right\}$$



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

Siendo: $u_2 \cdot g$, k_2 , A_2 , y β_2 ctes \Rightarrow

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

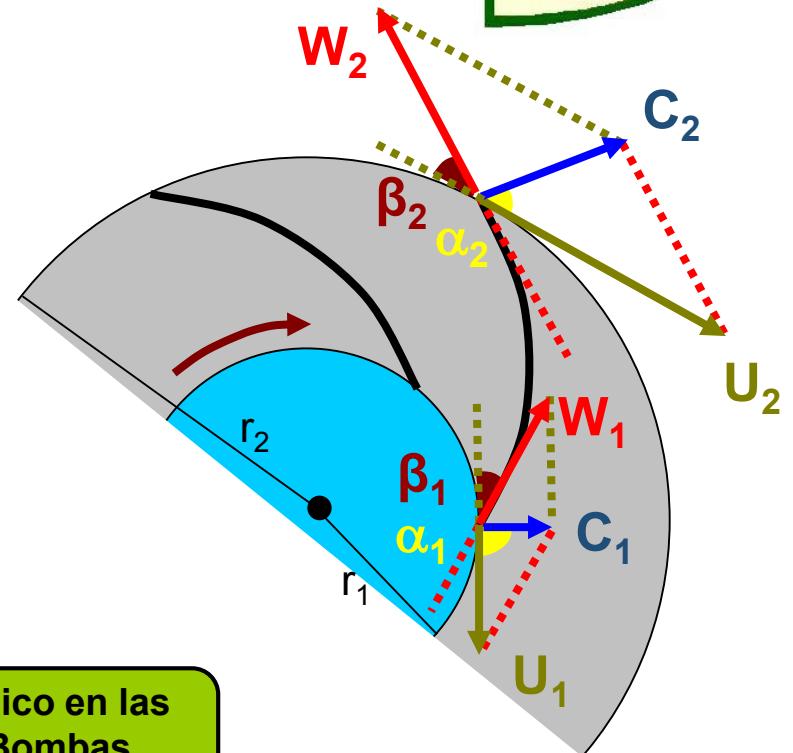
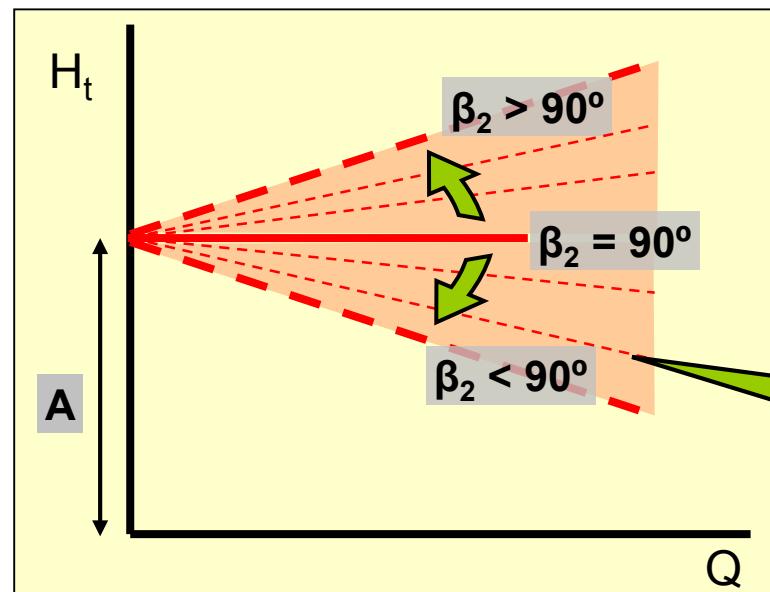
$$A = \frac{u_2^2}{g}$$

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

La Curva Característica (III):

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

$$A = \frac{u_2^2}{g} \quad B = \frac{u_2}{k_2 \cdot A_2 \cdot g} \cdot \cot \beta_2$$



Típico en las
Bombas
Centrífugas

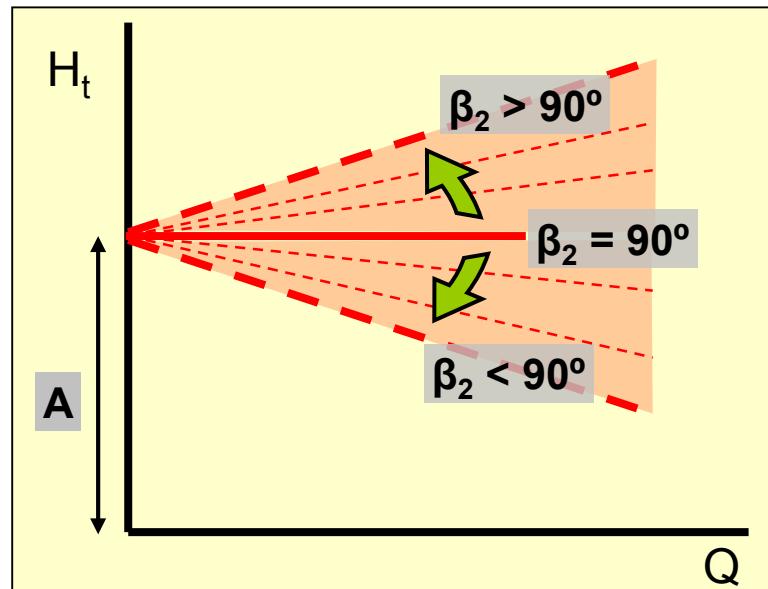
$$\left. \begin{aligned} H_{\text{geom}} &= H_{\text{elev}} = H_{\text{imp}} + H_{\text{asp}} \\ H_{\text{man}} &= H_{\text{elev}} + H_{L-\text{tub}} \\ H_{\text{total}} &= H_{\text{man}} + H_{L-\text{intB}} \end{aligned} \right\}$$

La Curva Característica relaciona H_{man} con Q

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

La Curva Característica (IV):

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



La Curva Característica relaciona H_{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 $Q \neq Q_{\text{nominal}}$

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

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

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

La Curva Característica (V):

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

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

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

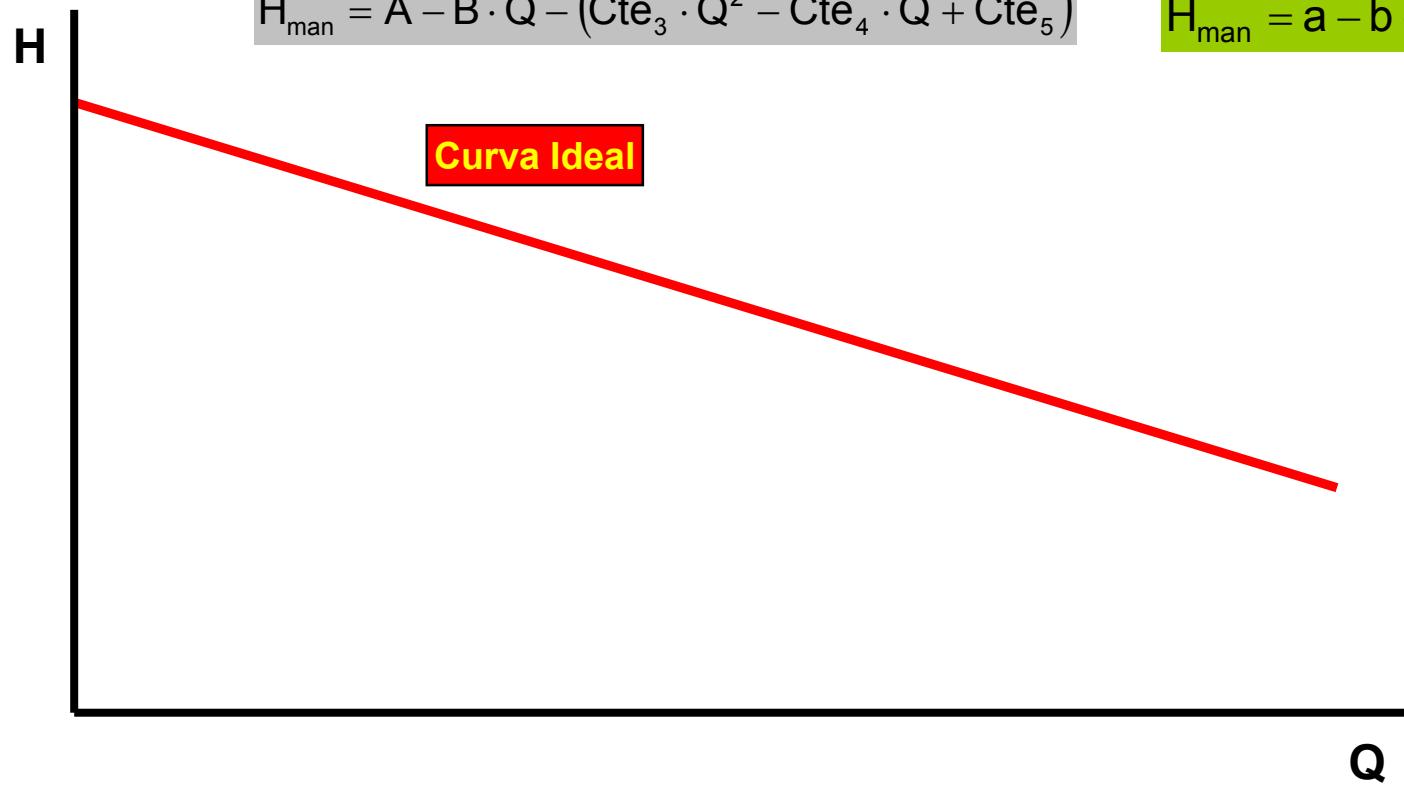
$$H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L-\text{tub}}$$

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

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

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

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



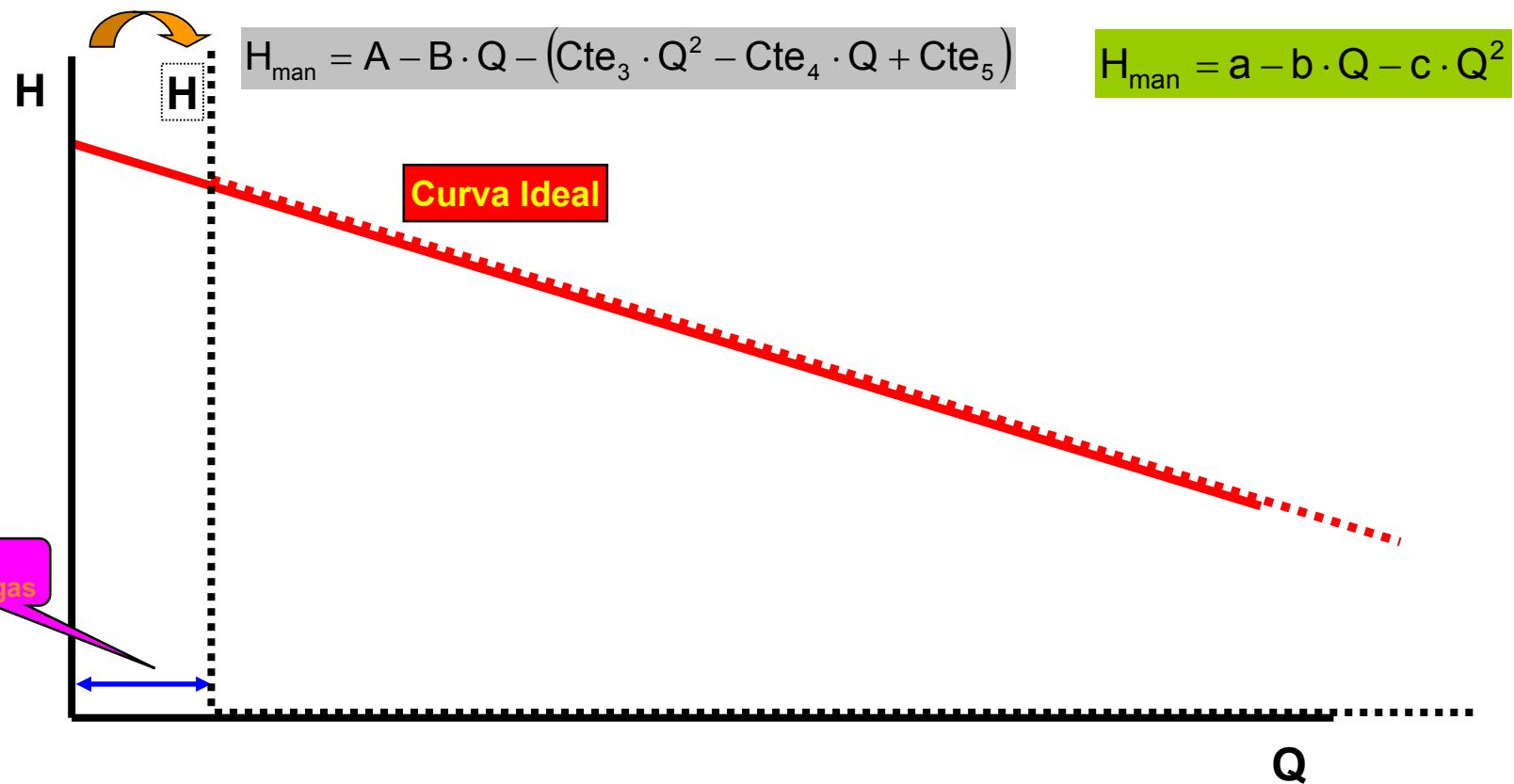
La Curva Característica (V):

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

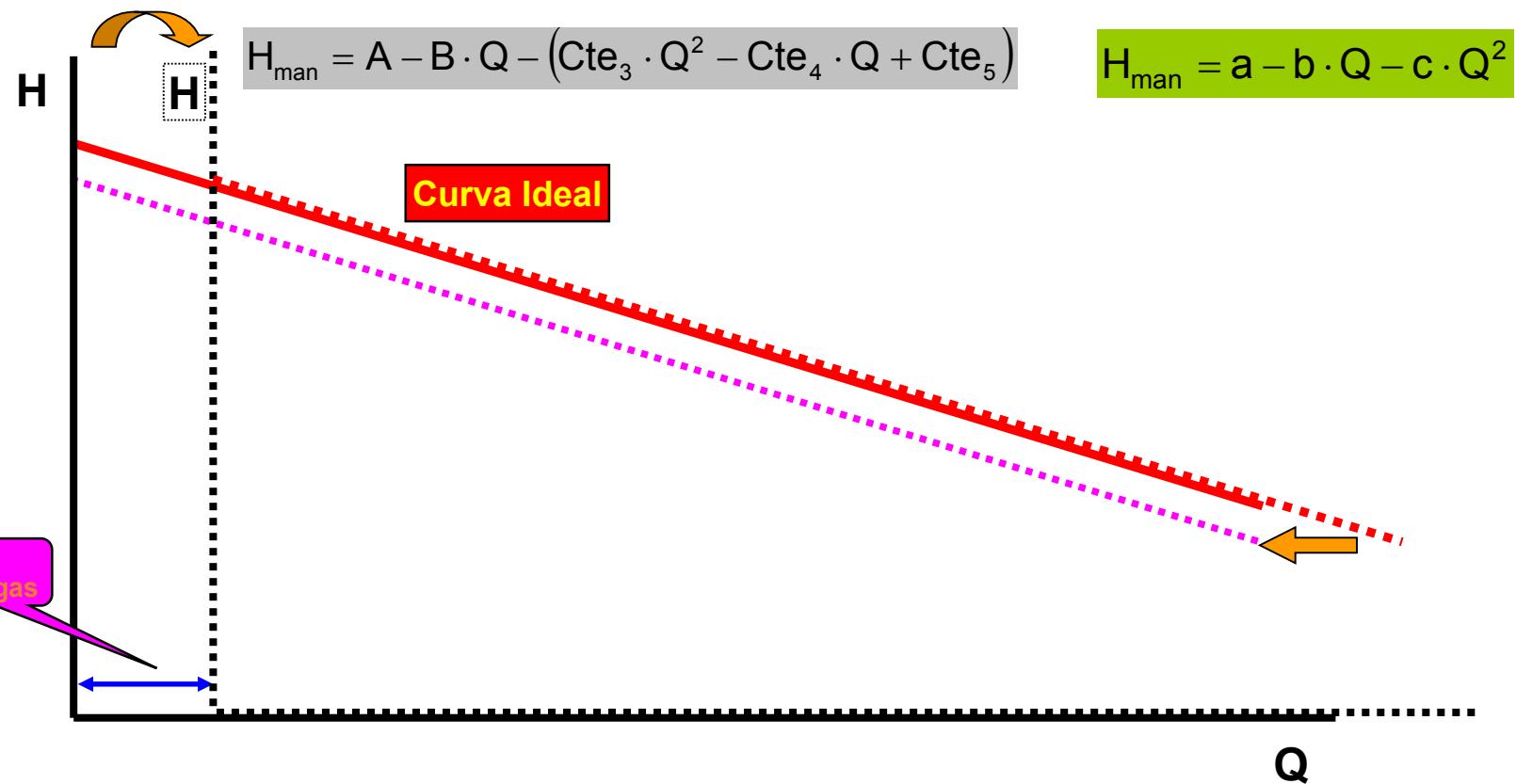
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L-\text{intB}}$$

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

$$H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L-\text{tub}}$$

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

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



La Curva Característica (V):

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

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

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

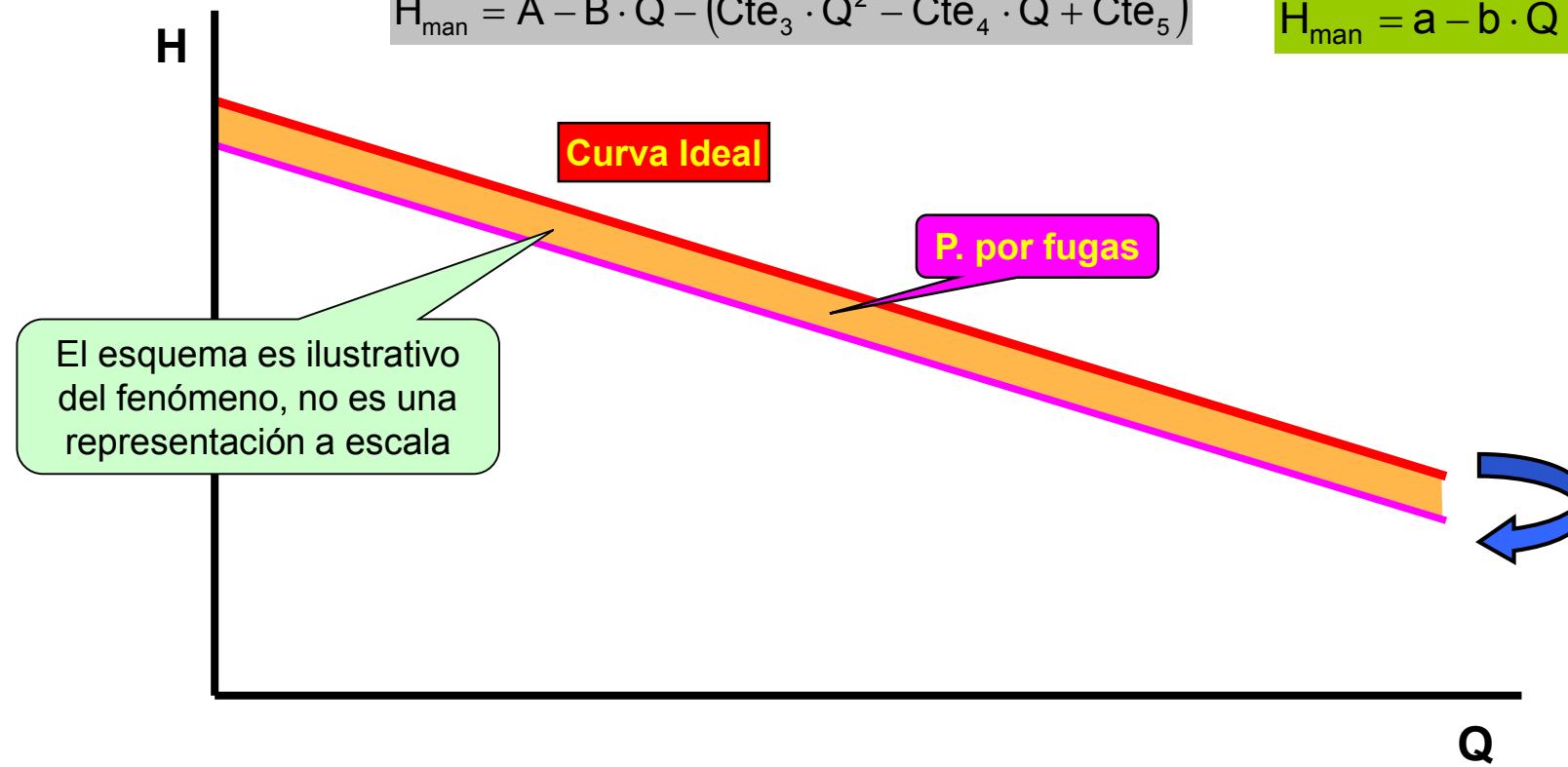
$$H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L-\text{tub}}$$

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

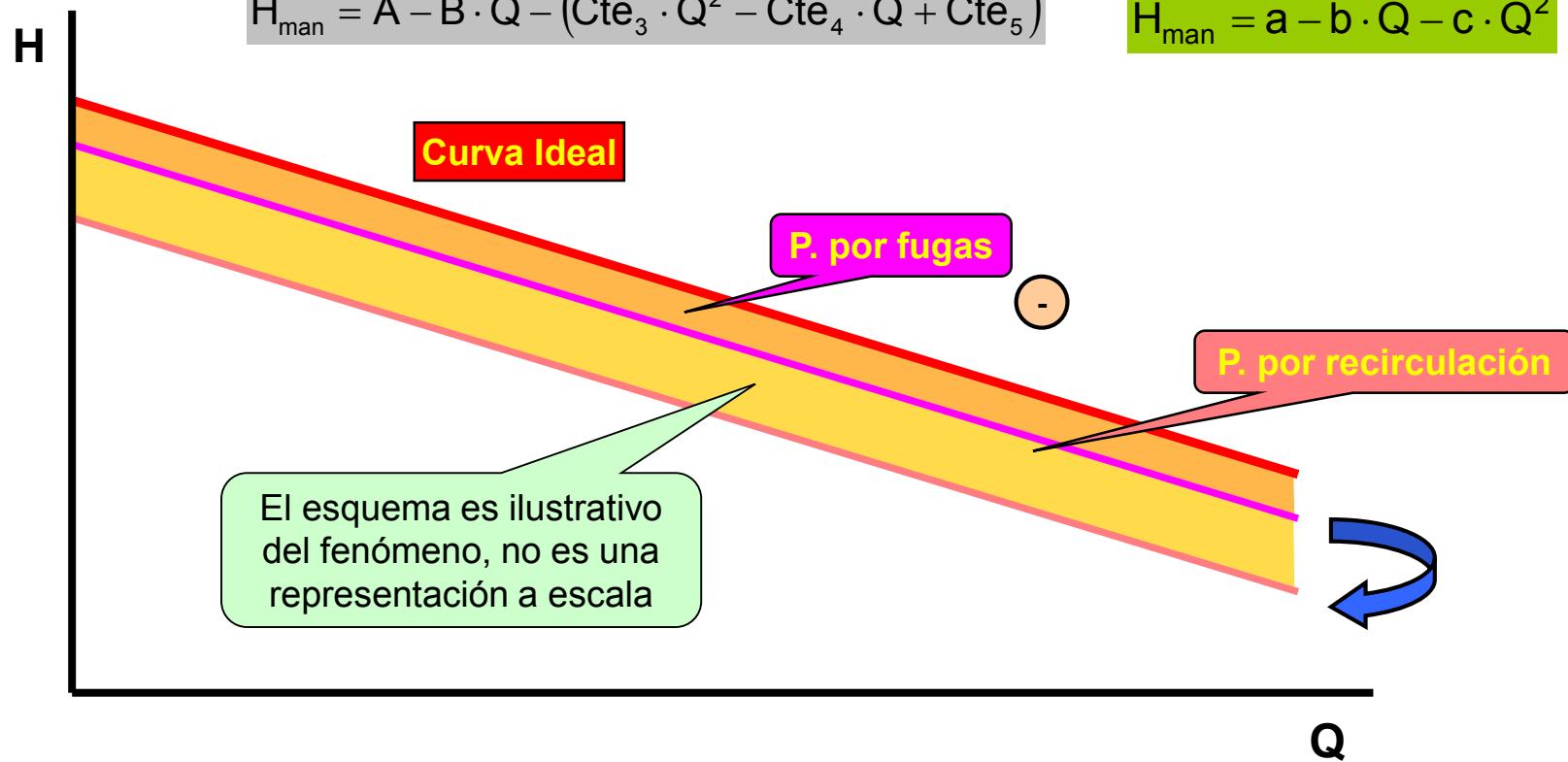
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L-\text{intB}}$$

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

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

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

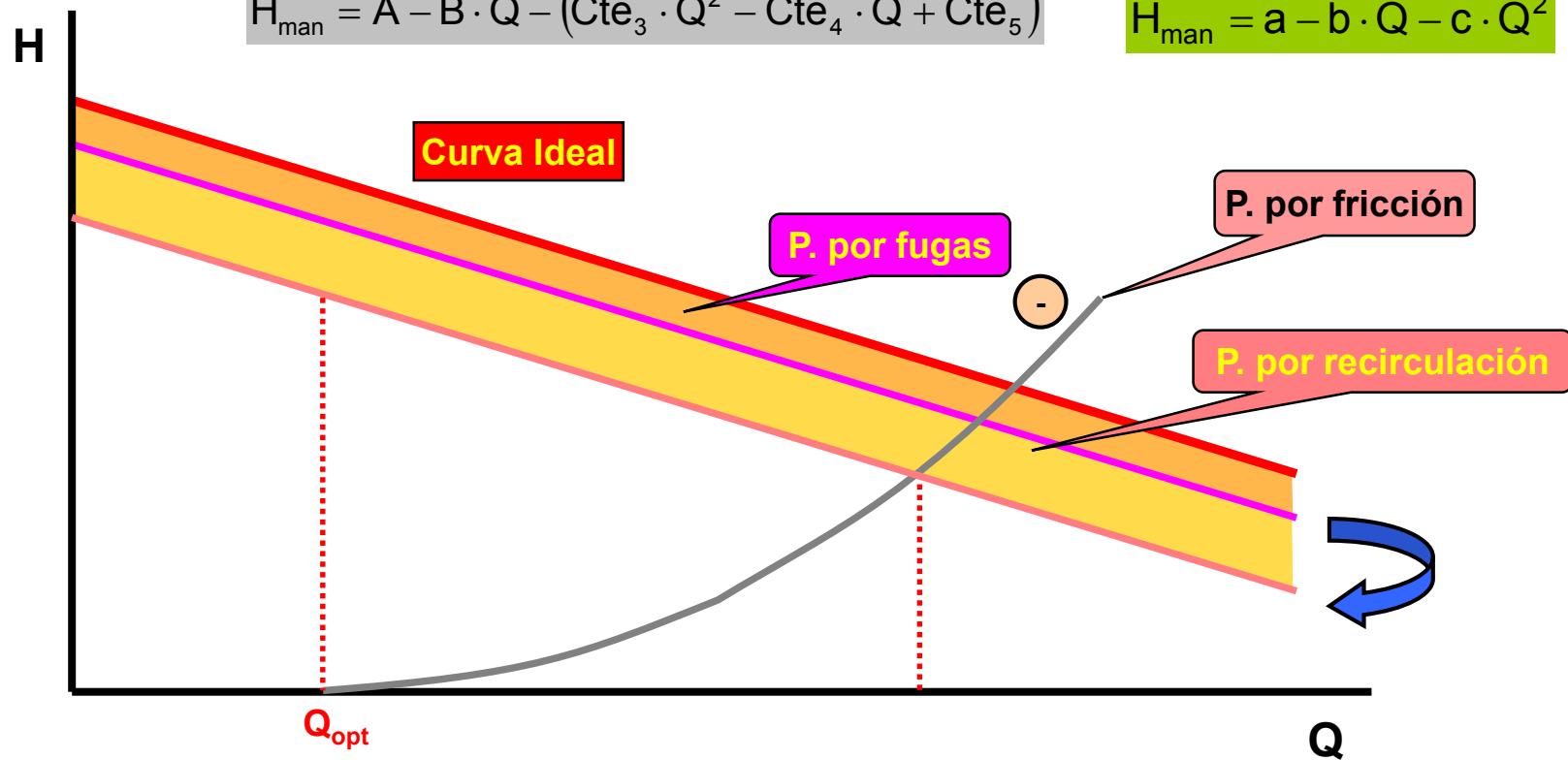
$$H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L-\text{tub}}$$

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

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

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

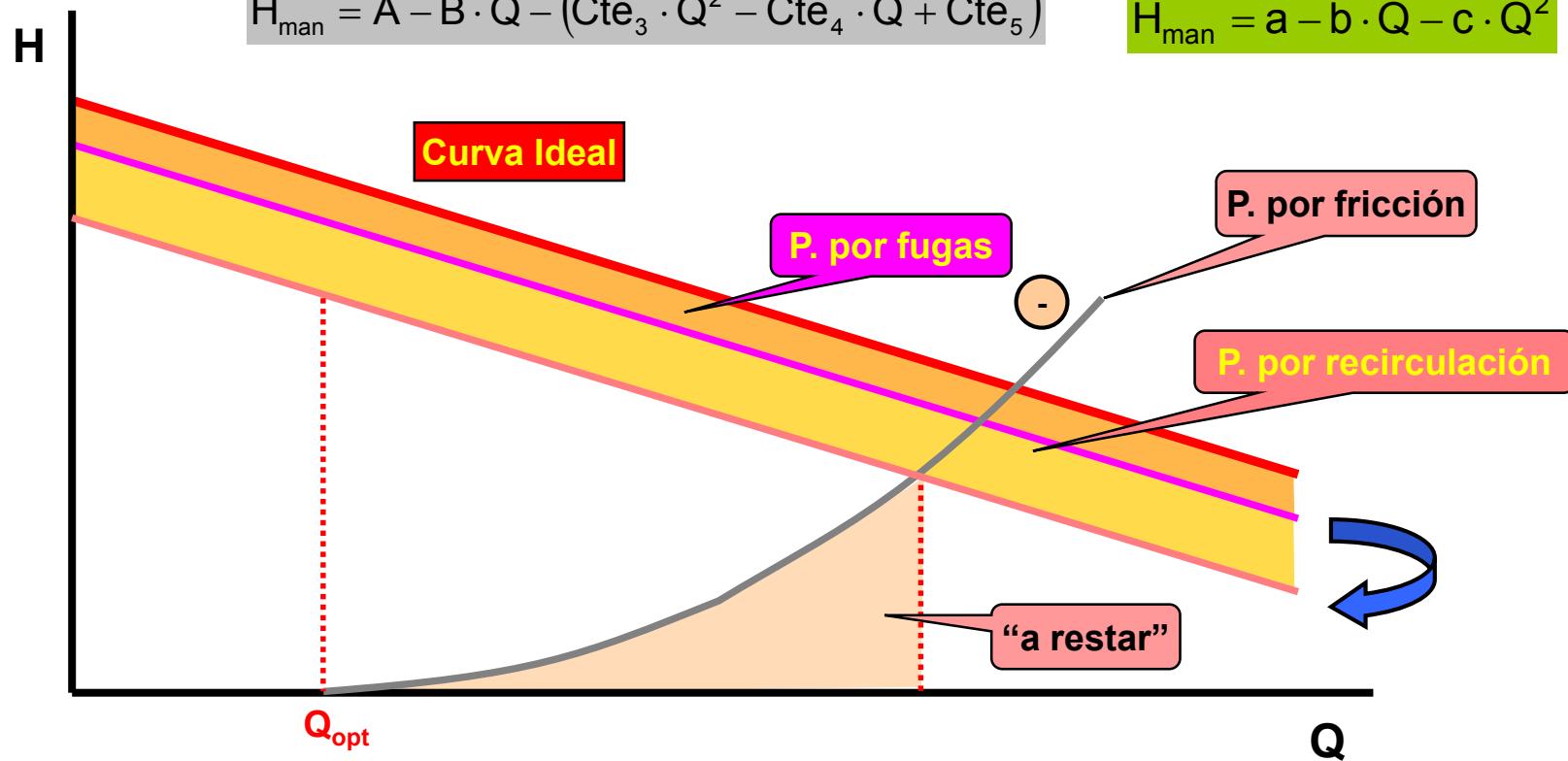
$$H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L-\text{tub}}$$

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

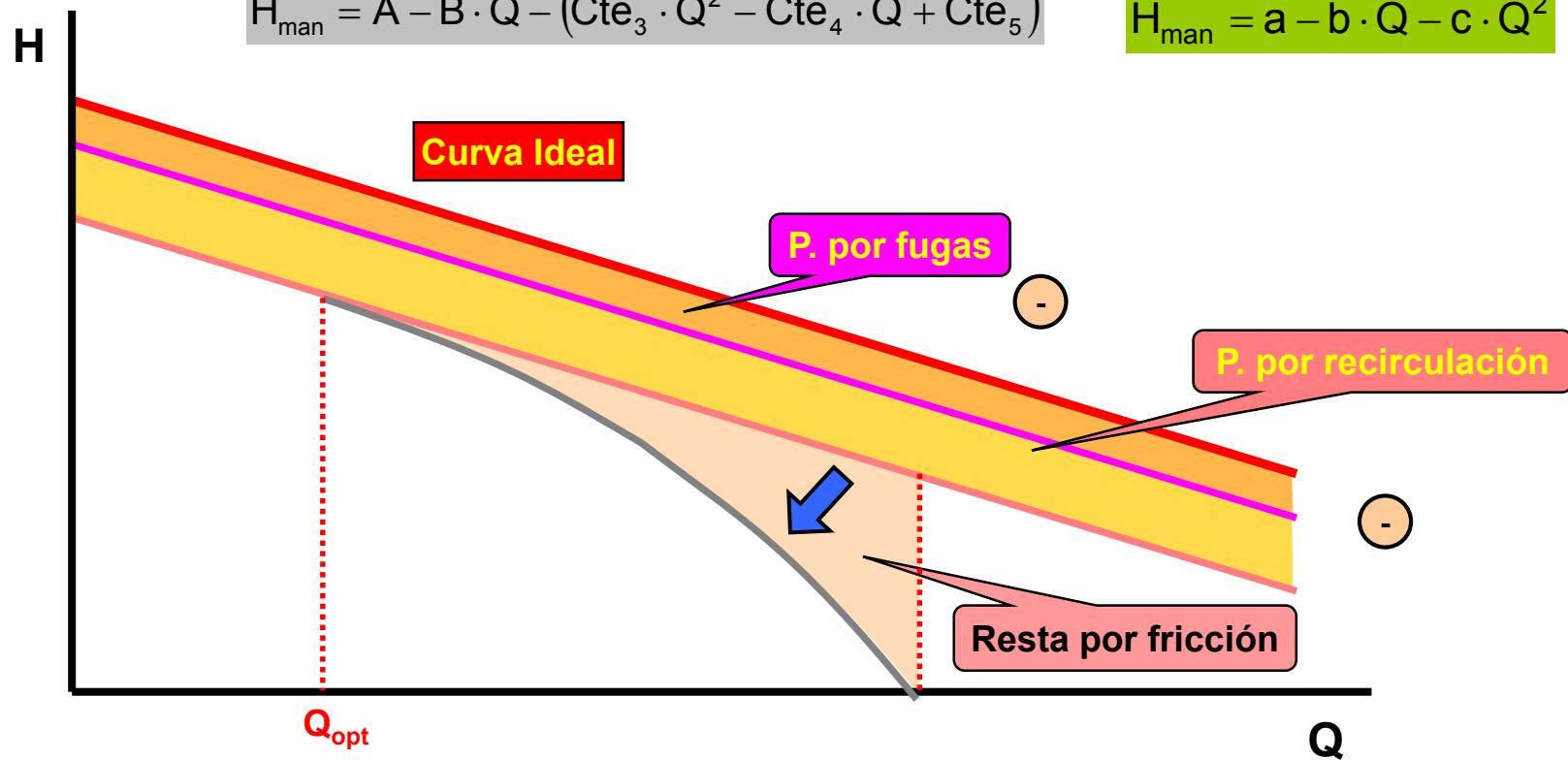
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L-\text{intB}}$$

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

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

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

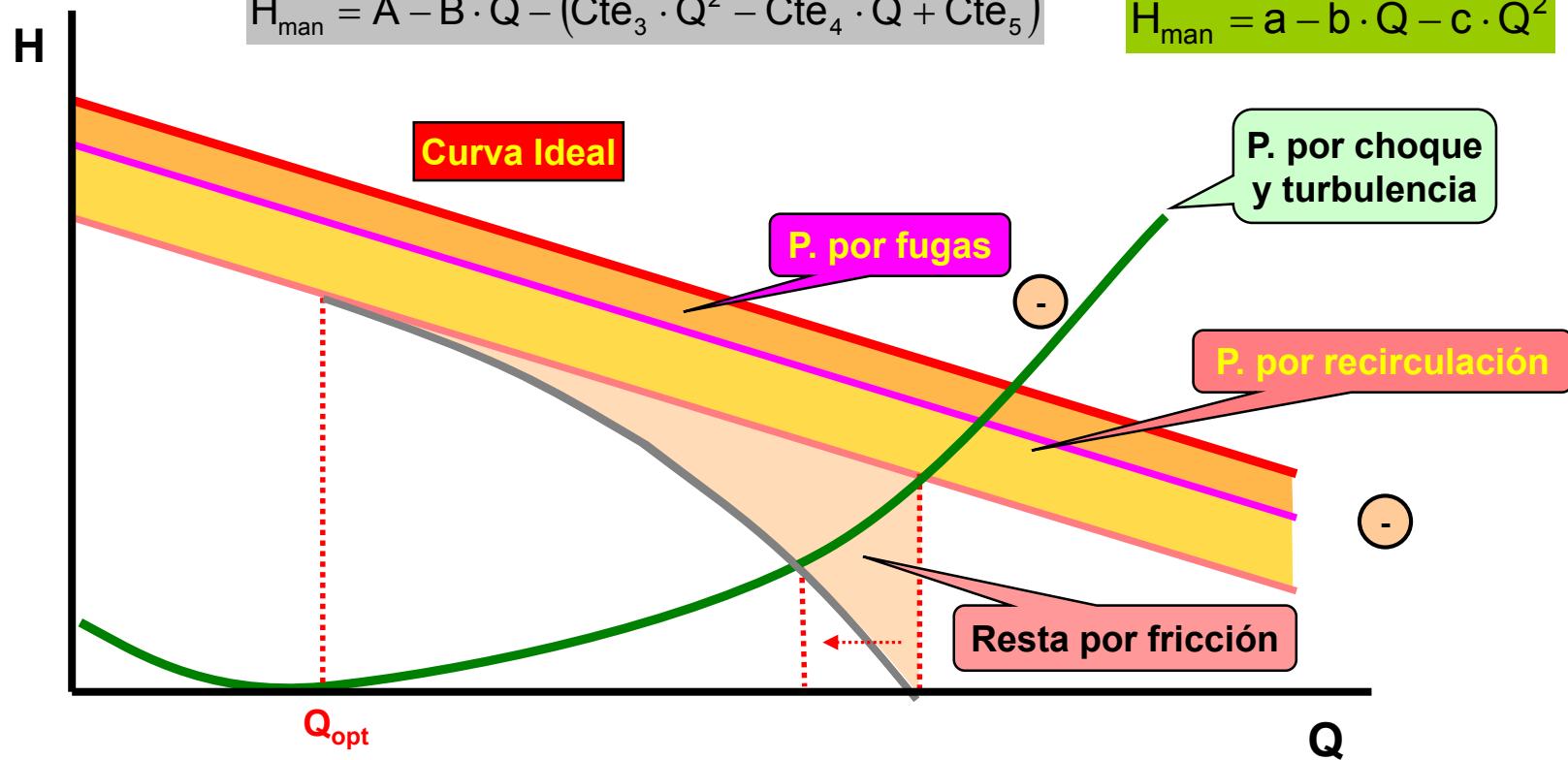
$$H_{\text{util}} = H_{\text{man}} = H_{\text{elev}} + H_{L-\text{tub}}$$

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

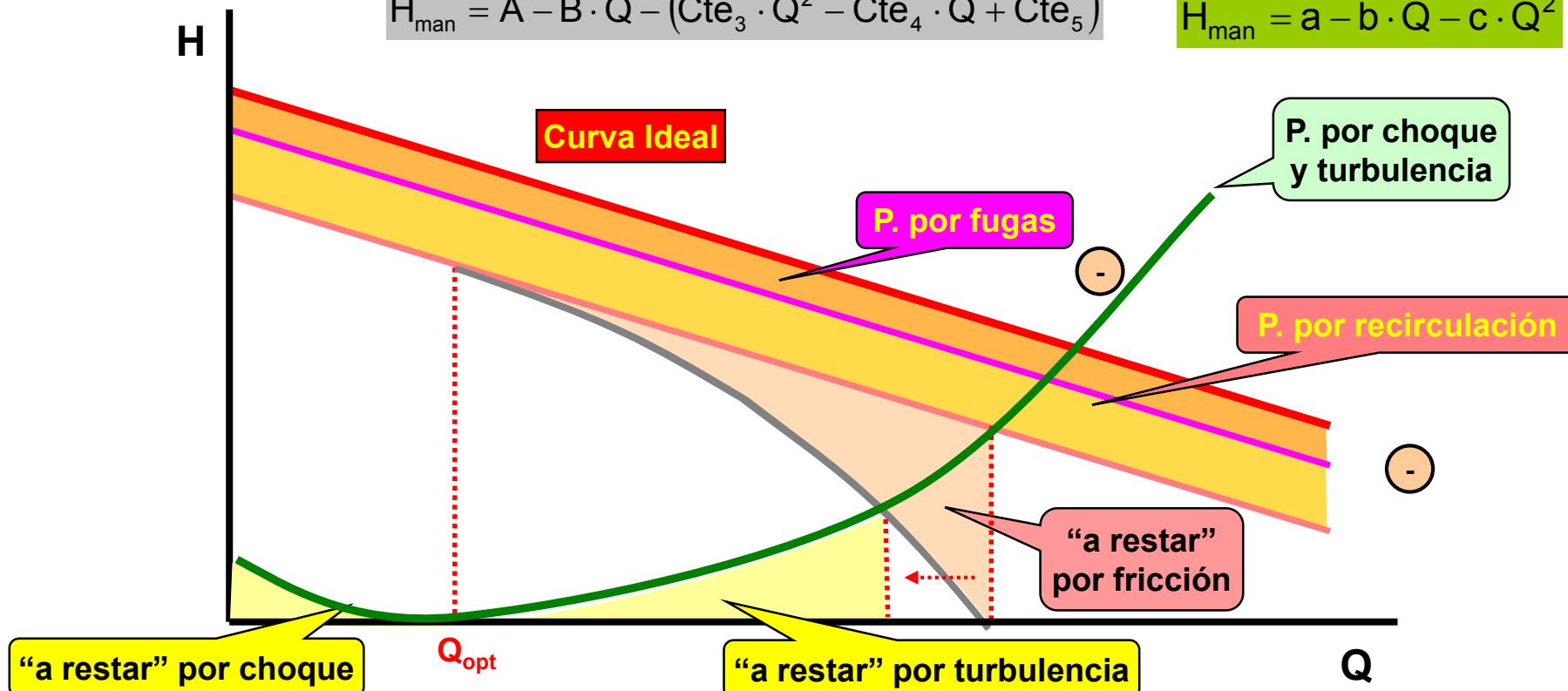
$$H_{\text{total}} = H_{\text{manométrica}} + H_{L-\text{intB}}$$

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

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

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

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



La Curva Característica (V):

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

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

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

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

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

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

