

INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS

BOMBAS AXIALES

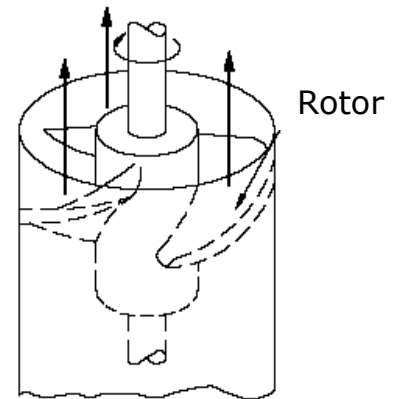
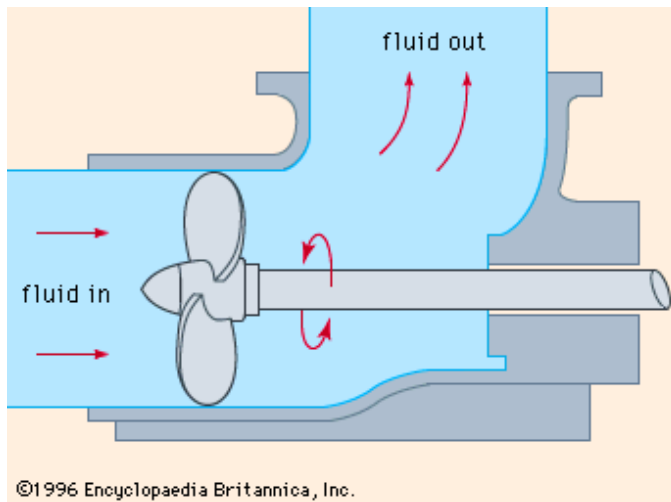
Prof. Jesús DE ANDRADE

Prof. Miguel ASUAJE

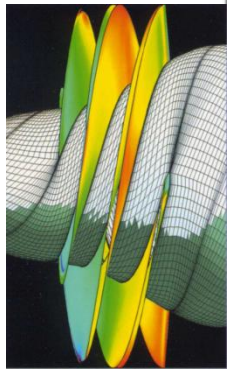
Marzo 2010

Bombas Axiales

Turbomáquinas en las cuales el flujo es paralelo al eje

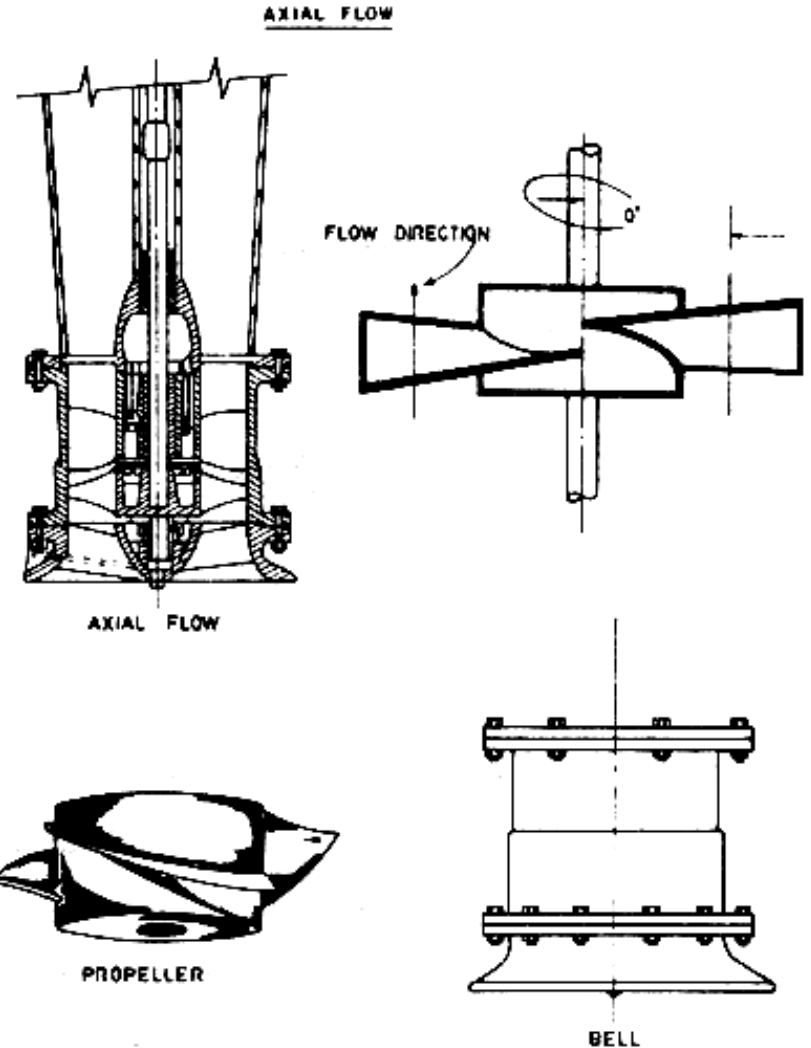


- ✓ *También son denominadas bombas helicoidales por la forma del rodete*
- ✓ *Maneja grandes caudales a relativamente pequeños saltos energéticos*



Configuraciones

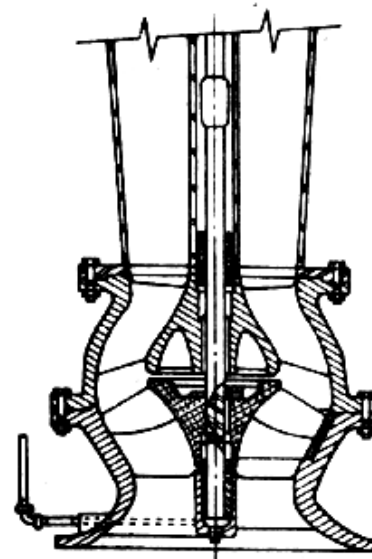
Bomba Axial de eje Vertical



No confundir

Bomba de Flujo Mixto de eje Vertical

Se pueden
fabricar bombas
de eje vertical con
rotores mixtos o
radiales



MIXED FLOW PUMP SECTION

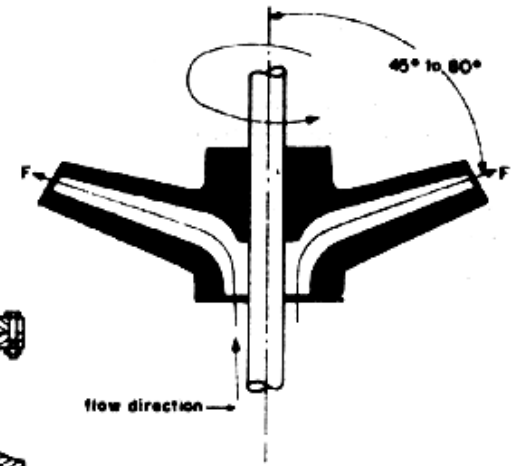
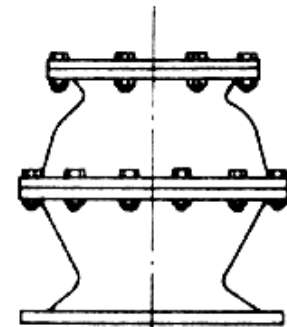


Diagram of flow direction



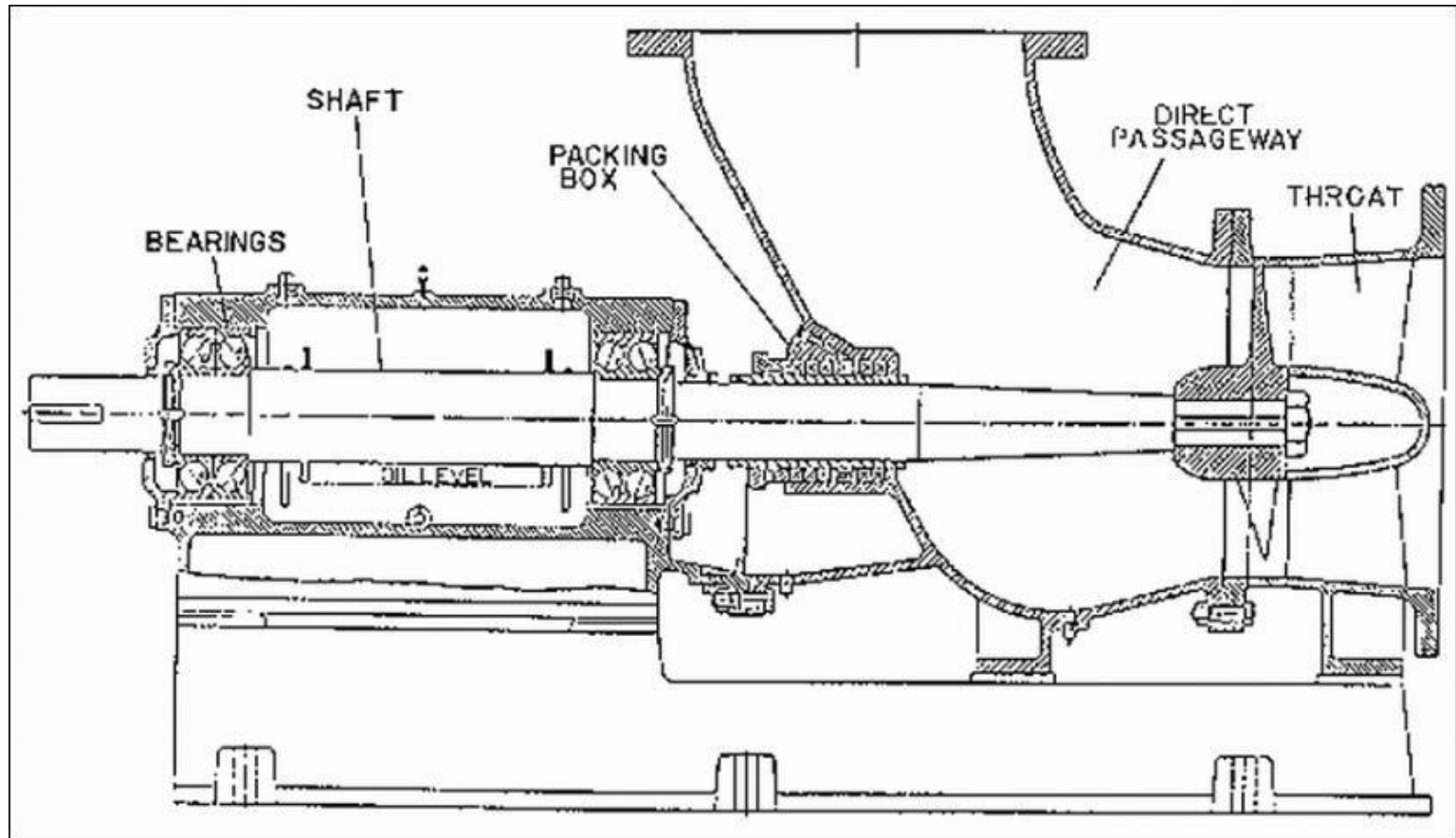
PROPELLER



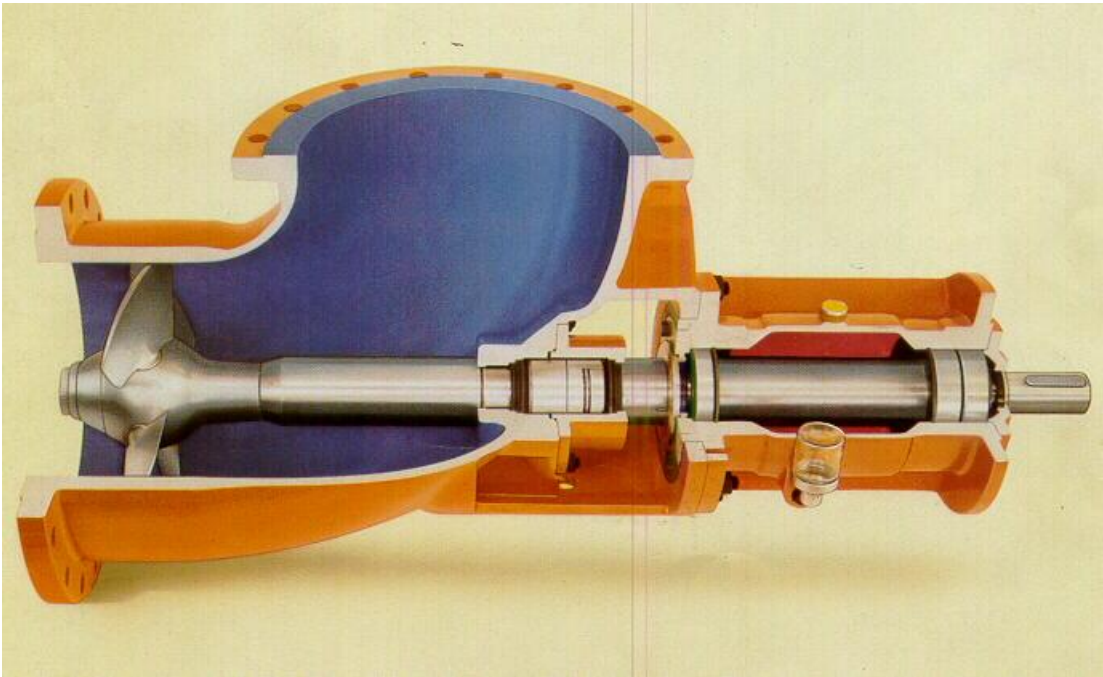
BELL

Configuraciones

Bomba Axial de Eje Horizontal



Bomba Axial de Eje Horizontal

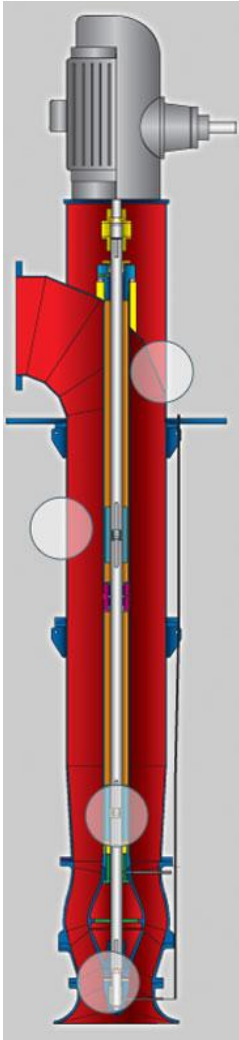


Partes Principales:

- ✓ Carcaza
- ✓ Rodete
- ✓ Difusor

En el rodete se pueden identificar dos partes: {
Cubo
Álabes

Partes de una Bomba Axial



CARCAZA:

Elemento exterior de la bomba. Se compone de la boquilla de succión, el cuerpo de la carcasa y la boquilla de descarga

RODETE:

Elemento que realiza la transferencia de energía al fluido. Está compuesto por el cubo, los álabes, la extensión de la cubierta. El rodete está formado por la punta cónica, el cubo y los álabes

DIFUSOR:

Sistema de álabes fijos que se encuentran a la salida del impulsor

Otros Elementos:

Ejes, Cojinetes y Sellos

Rodete o Impulsor. Bomba Axial



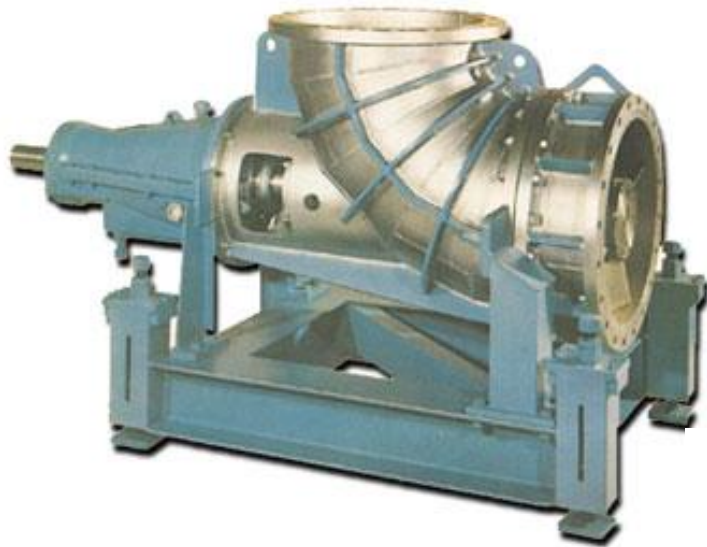
CUBO:

Porción maciza del impulsor acoplada al eje de la bomba. Los álabes están fijados en la parte exterior del cubo.

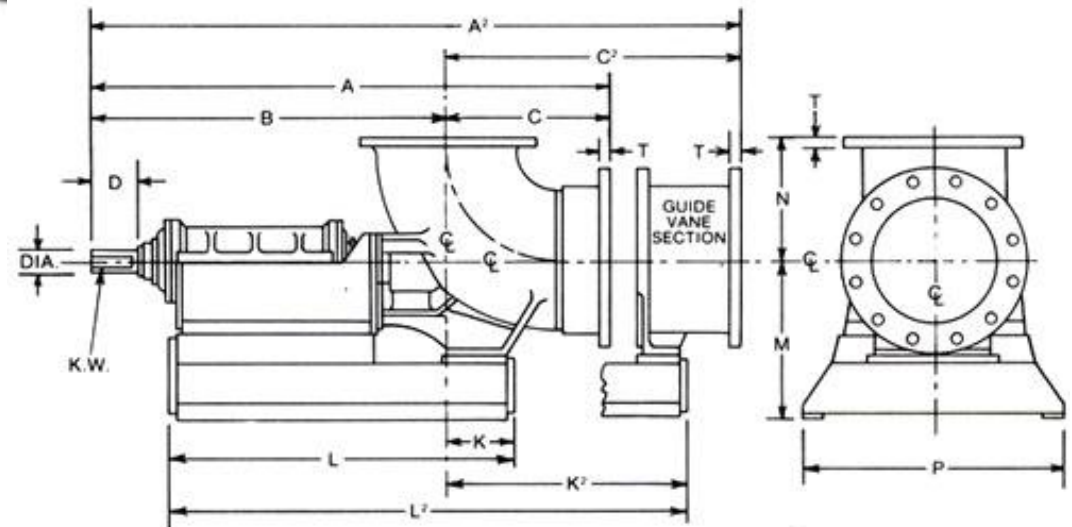
ALABES:

Perfiles helicoidales que ceden energía al fluido.

Montaje de una Bomba Axial

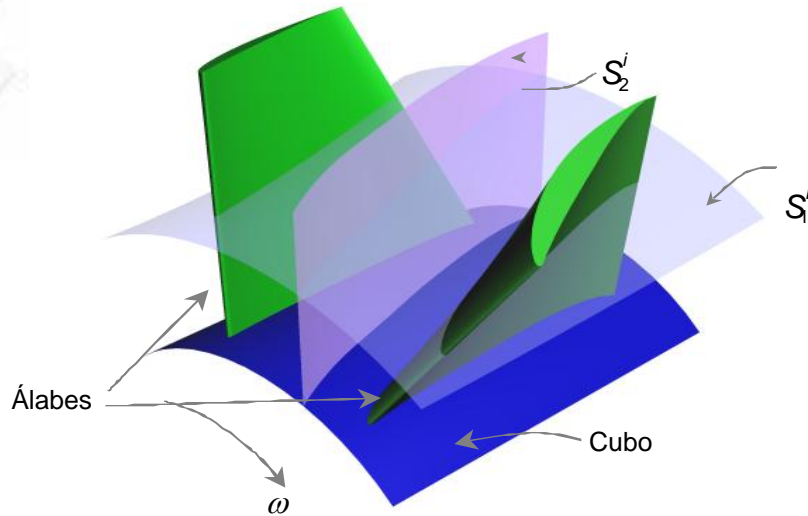


Dimensiones principales de instalación

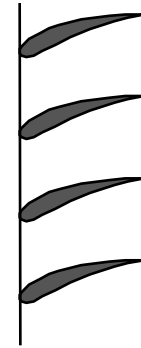


Conceptos y Ecuaciones Básicas

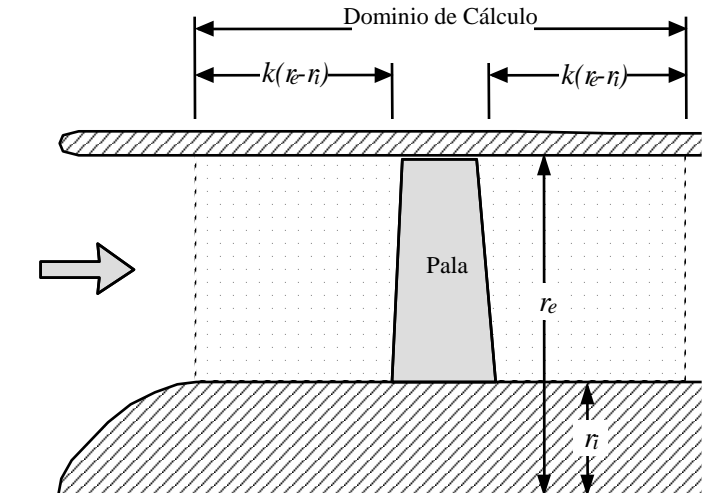
Planos de estudio ...



Plano álabes a álabes

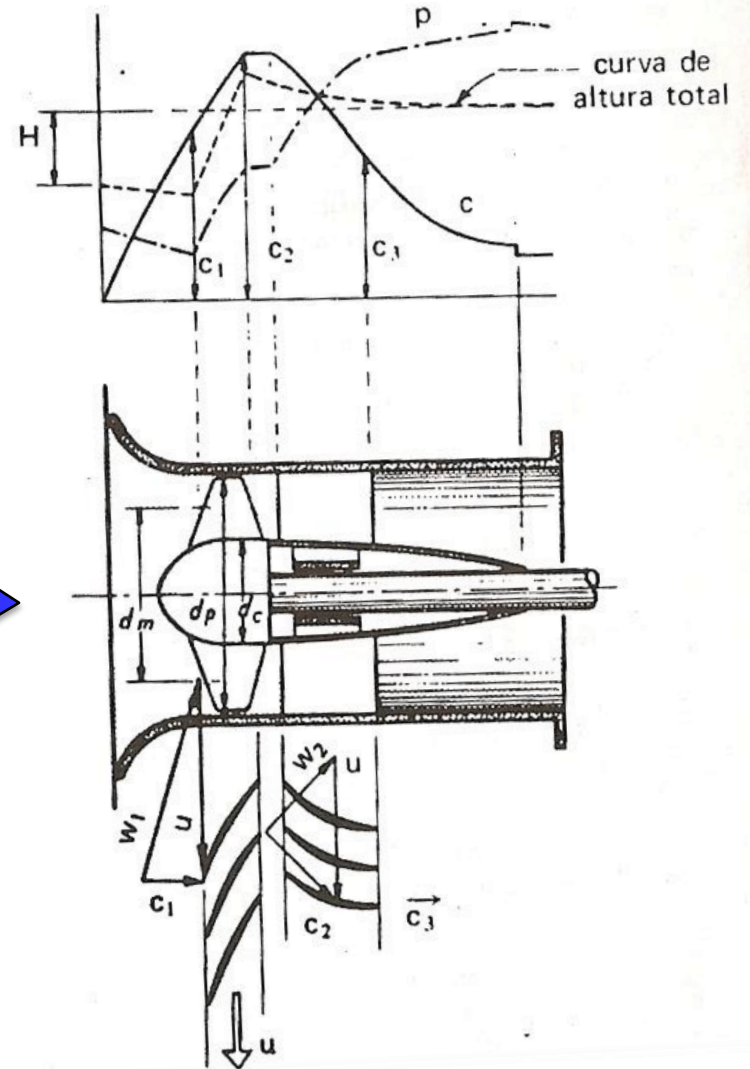


Plano Meridiano



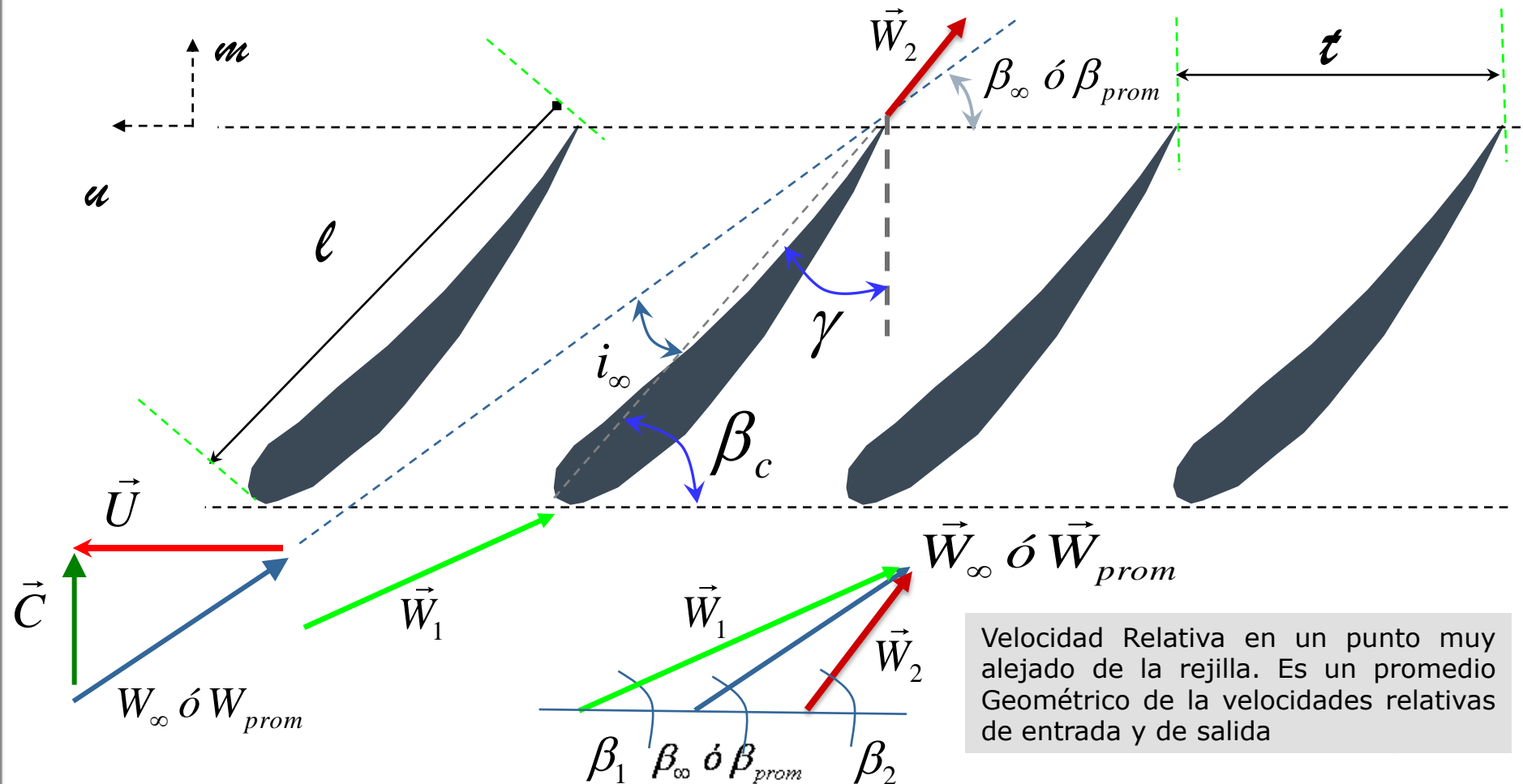
Planos de estudio...

Transferencia de Energía



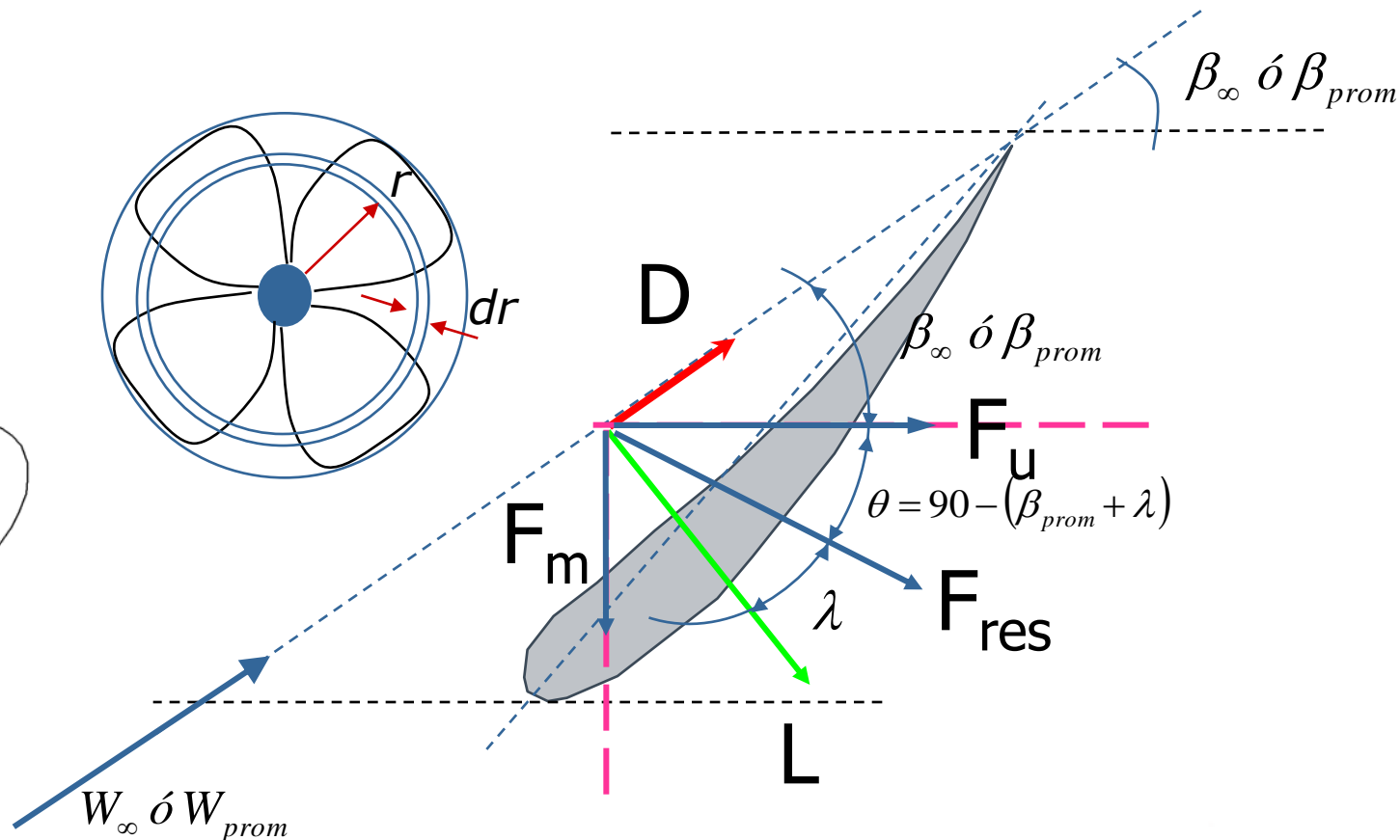
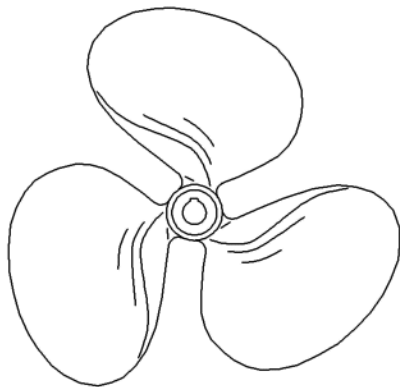
Rejilla de álabes

Los ángulos y principales dimensiones



Las Fuerzas del Fluido sobre un Álabo. DCL

DCL: Sobre elemento diferencial dr en un radio r



Ecuación Fundamental de las Bombas Axiales

La potencia suministrada al eje, se escribe:

$$P = \tau \cdot \omega$$

$$dP = d(\tau \cdot \omega) \quad \text{De forma diferencial}$$

El Torque, es el producto de la fuerza por el brazo

$$dP = d(F \cdot r \cdot \omega)$$

Para un radio constante

$$dP = d(F_u) \cdot U(r)$$

Donde: $U = \omega \cdot r$

Del DCL, obtenemos las relaciones trigonométricas de las fuerzas

$$F_u = F_{res} \cdot \cos \theta$$

$$F_{res} = \frac{L}{\cos \lambda} \quad \text{ó} \quad \frac{F_z}{\cos \lambda}$$

Ecuación Fundamental de las Bombas Axiales

Se puede expresar la fuerza de sustentación en función del coeficiente de sustentación

$$C_z = \frac{F_z}{\rho \frac{W_\infty^2}{2} A}$$

A nivel diferencial

$$dF_z = C_z \rho \frac{W_\infty^2}{2} dA$$

Sustituyendo:

$$dF_{res} = C_z \rho \frac{W_\infty^2}{2} \frac{dA}{\cos \lambda}$$

Recordando...

$$dA = l dr$$

l... cuerda del álabe

dr... diferencial de envergadura

Ecuación Fundamental de las Bombas Axiales

Recordando...

$$dP = d(F_u) \cdot U$$

$$dP = d(F_r) \cdot U \cdot \cos \theta$$

Sustituyendo...

$$dP = C_z U \rho \frac{W_\infty^2}{2} \frac{\cos \theta}{\cos \lambda} dA$$

Diferencial de Potencia para un solo álabe!!

Ecuación Fundamental de las Bombas Axiales

Para Z álabes...

$$dP = Z C_z U \rho \frac{W_\infty^2}{2} \frac{\cos \theta}{\cos \lambda} dA$$

Recordemos la definición de potencia hidráulica

$$P = \gamma H Q$$

A nivel diferencial

$$dP = \gamma H dQ$$

Ecuación Fundamental de las Bombas Axiales

Al igualar las expresiones anteriores:

$$\gamma H dQ = ZC_z U \rho \frac{W_\infty^2 \cos \theta}{2 \cos \lambda} dA$$

Recordando

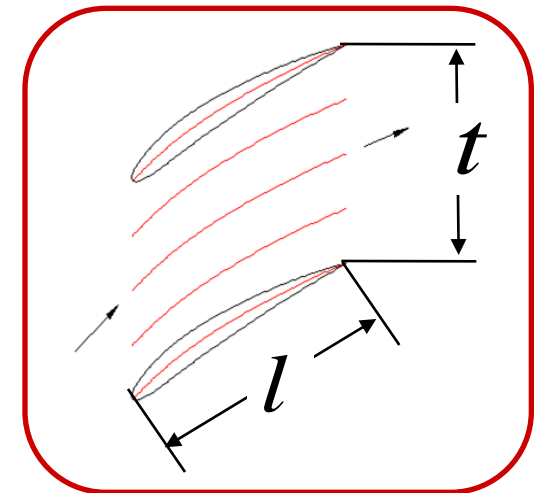
$$dQ = V_m 2\pi r dr = V_m Z t dr \text{ y } dA = l dr$$

Sustituyendo

$$\gamma H V_m Z t dr = ZC_z U \rho \frac{W_\infty^2 \cos \theta}{2 \cos \lambda} l dr$$

Despejando la altura de la bomba

$$H = \frac{ZC_z U \frac{\rho W_\infty^2 \cos \theta}{2 \cos \lambda} l dr}{\gamma V_m Z t dr}$$



Finalmente

$$H = \frac{C_z}{2g} \frac{U W_\infty^2 \cos \theta}{V_m \cos \lambda} \frac{l}{t}$$

Ecuación Fundamental de las Bombas Axiales

Recordando

$$\theta = 90 - (\beta_{prom} - \lambda)$$

Sabemos

$$\cos \theta = \sin(\beta_{prom} + \lambda)$$

Queda...

$$C_z \frac{l}{t} = \frac{2gV_m H \cos \lambda}{UW_\infty^2 \sin(\beta_{prom} + \lambda)}$$

β_{prom} debe ser tal que λ se igual al $\lambda_{planeo} \rightarrow \epsilon_{min}$

Valores Prácticos de Diseño

El número de álabes

$$2 < Z < 5$$

El coeficiente de Sustentación

$$C_{z\text{rejilla}} = f\left(\beta_c, \frac{l}{t}\right) \Rightarrow$$

Nota: este coeficiente de sustentación se refiere a la rejilla. Generalmente se considera igual al del perfil aislado. Puede existir una diferencia entre ellos en forma de una constante

La relación cuerda paso

$$\left(\frac{l}{t}\right)_{\text{Cubo}} = 1,1$$

$$\left(\frac{l}{t}\right)_{\text{Punta}} = 0,7$$

$$C_{z\text{perfil}} = mC_{z\text{rejilla}}$$

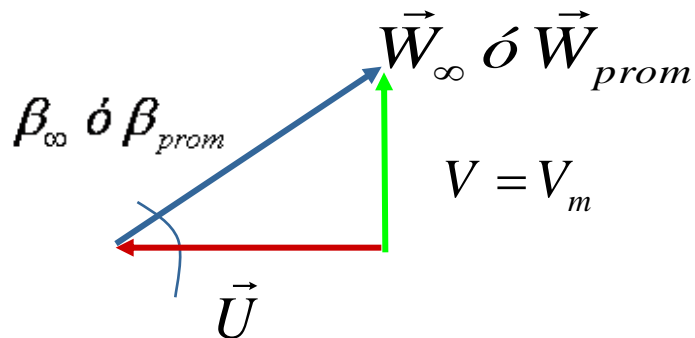
$$1 < m < 1,05$$

Ecuación Reducida. Bombas Axiales

No hay fuerza de arrastre:

$$\lambda = 0 \left\{ \begin{array}{l} \cos \lambda = 1 \\ \sin(\beta_{prom} + \lambda) = \sin(\beta_{prom}) \end{array} \right.$$

De los triángulos de velocidades:



$$C_z \frac{l}{t} = \frac{2gV_m H \cos \lambda}{UW_\infty^2 \sin(\beta_{prom} + \lambda)}$$

$$\sin(\beta_{prom}) = \frac{V_m}{W_\infty}$$

Ecuación Reducida. Bombas Axiales

Sustituyendo...

$$C_z \frac{l}{t} = \frac{2gH}{UW_\infty}$$

Con:

$$U = \frac{\pi ND}{60} \quad y \quad t = \frac{\pi D}{Z}$$

Se obtiene:

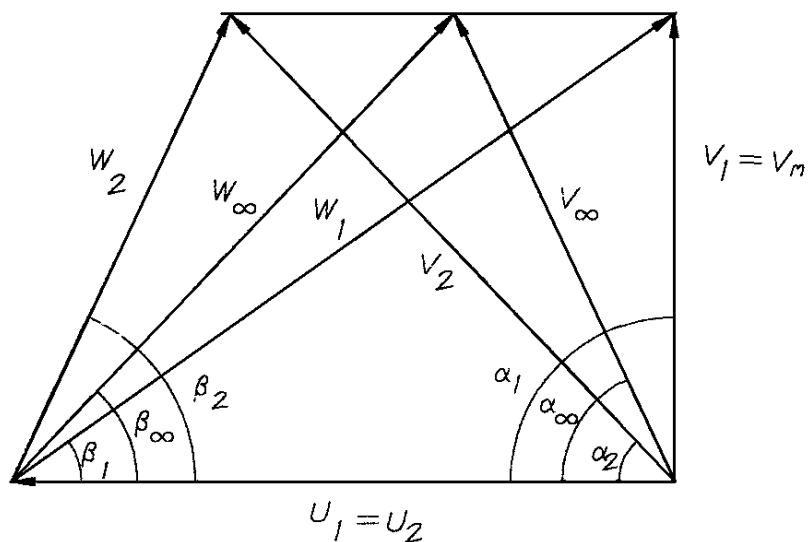
$$C_z l W_\infty = \frac{120gH}{ZN}$$

Eficiencia Hidráulica Global de una Bomba Axial

La ecuación de Euler, para infinitos álabes

$$H_{T\infty} = \frac{U}{g} (C_{u2} - C_{u1})$$

Triángulo de Velocidades



Expresiones Trigonométricas

$$\text{ctg}\beta_\infty = \frac{\text{ctg}\beta_2 + \text{ctg}\beta_1}{2}$$

$$\text{ctg}\alpha_\infty = \frac{\text{ctg}\alpha_1 + \text{ctg}\alpha_2}{2}$$

$$W_{U\infty} = \frac{W_{U1} + W_{U2}}{2}$$

$$V_{U\infty} = \frac{V_{U1} + V_{U2}}{2} = \frac{V_{U2}}{2}$$

$$V_M = V_{M1} = V_{M2} = V_{M\infty}$$

Eficiencia Hidráulica Global de una Bomba Axial

Por otra parte

$$\eta_H = \frac{H}{H_t}$$

$$\varepsilon_z = \frac{H_t}{H_{t\infty}}$$

$$\bar{\eta}_H = \eta_H \cdot \varepsilon_z = \frac{H}{H_{t\infty}}$$

$\bar{\eta}_H$...eficiencia hidráulica global

Sustituyendo las expresiones de Alturas:

$$\eta_H = \frac{U C_z W_\infty^2 \frac{\text{sen}(\beta_\infty + \lambda)}{\cos \lambda} \frac{1}{t}}{U V_M (ctg \alpha_2 - ctg \alpha_1) g}$$

Simplificando y sustituyendo

$$\frac{V_M}{W_\infty} = \text{sen} \beta_\infty \text{ se tiene que:}$$

Eficiencia Hidráulica Global de una Bomba Axial

Con las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$\bar{\eta}_H = \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{t} \cdot C_z \cdot \frac{\text{sen}(\beta_\infty + \lambda)}{(\text{sen}\beta_\infty)^2 \cos \lambda (\text{ctg} \alpha_2 - \text{ctg} \alpha_1)}$$

$$\text{Para } \alpha_1 = 90^\circ \left\{ \begin{array}{l} \text{ctg} \alpha_1 = 0 \\ \text{ctg} \alpha_\infty = \frac{\text{ctg} \alpha_2}{2} \end{array} \right.$$

$$\bar{\eta}_H = \frac{1}{4} \cdot \frac{l}{t} \cdot C_z \cdot \frac{\text{sen}(\beta_\infty + \lambda)}{(\text{sen}\beta_\infty)^2 \cdot \cos \lambda \cdot \text{ctg} \alpha_\infty}$$

Eficiencia Hidráulica Global de una Bomba Axial

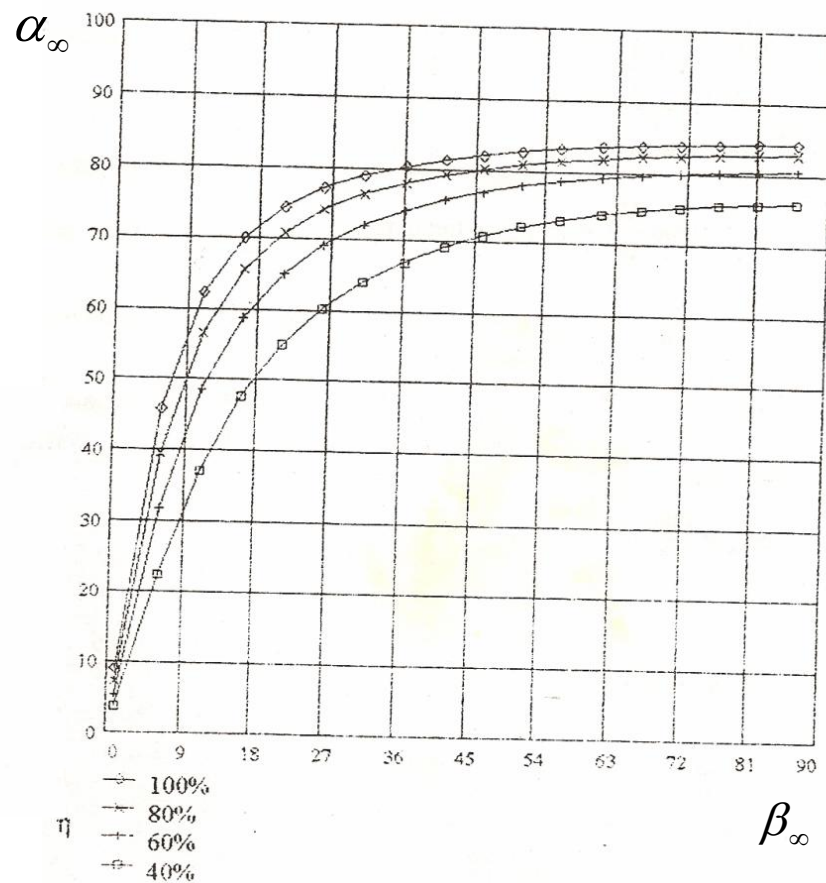
Relación entre los ángulos medios para diferentes rendimientos

$$C_z = 0.8 \quad \sigma = 0.5 \quad \lambda = 0.1 \quad \eta_h = .8 \quad \alpha_\infty = 0.1 \quad \beta_\infty = 1, 6, 90$$

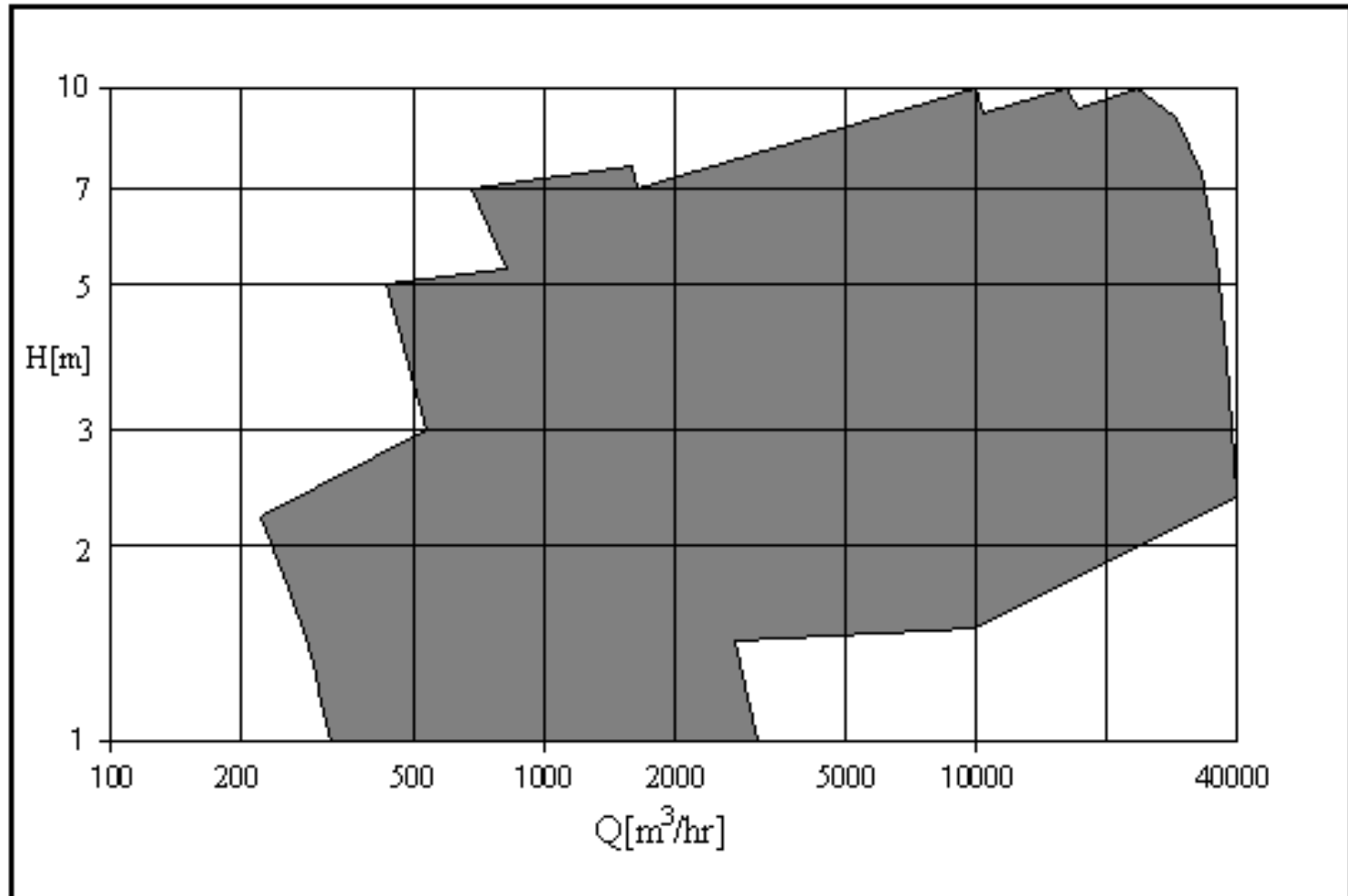
given

$$\eta_h = \frac{\frac{1}{4} \cdot C_z \cdot \sigma \cdot \sin\left(\left(\beta_\infty + \lambda\right) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \tan\left(\alpha_\infty \cdot \frac{\pi}{180}\right)}{\sin\left(\beta_\infty \cdot \frac{\pi}{180}\right)^2 \cdot \cos\left(\lambda \cdot \frac{\pi}{180}\right)}$$

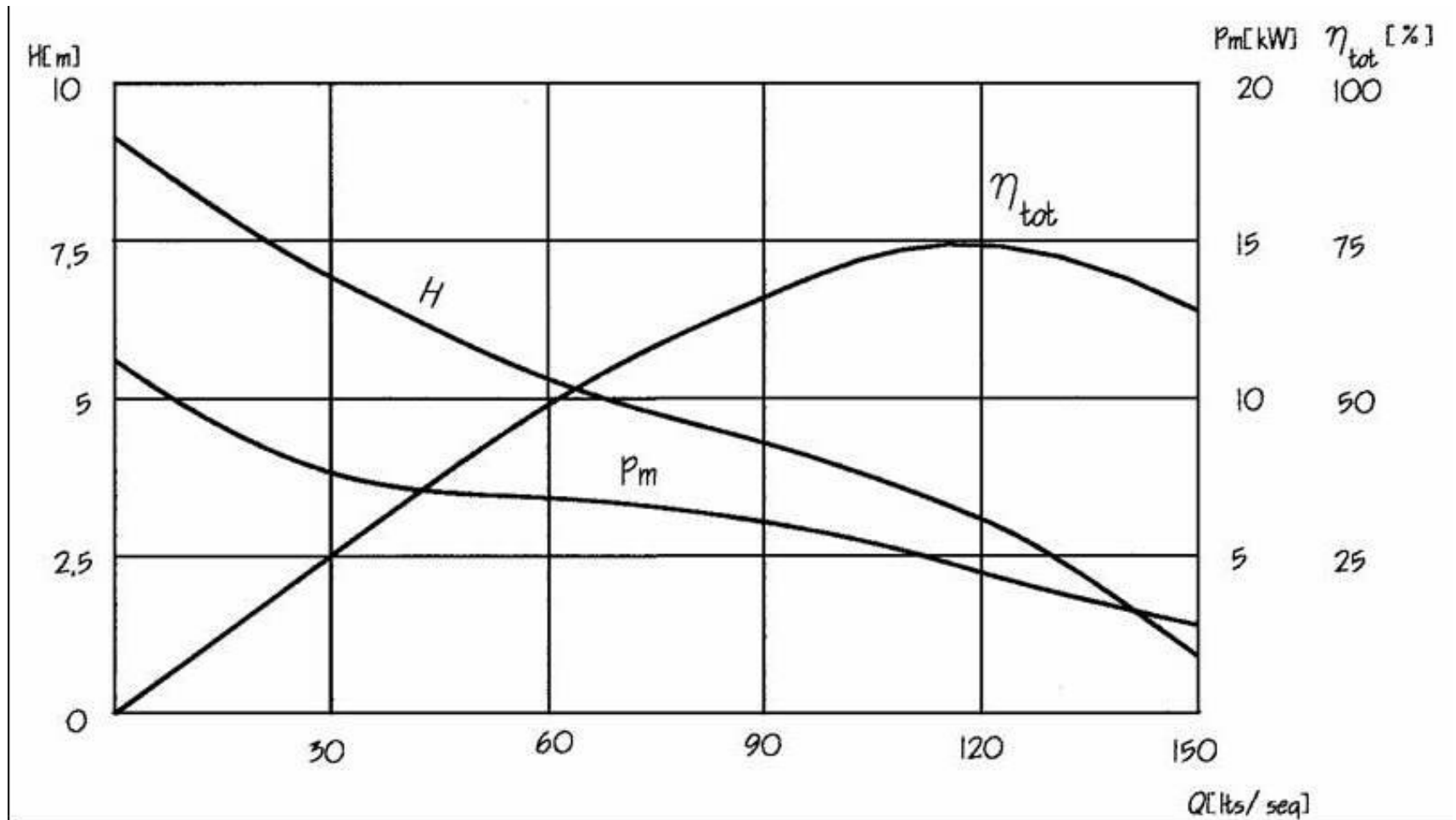
$$A(\eta_h, \beta_\infty, C_z, \sigma, \lambda) = \text{find}(\alpha_\infty)$$



Campo de aplicación de una Bomba Axial

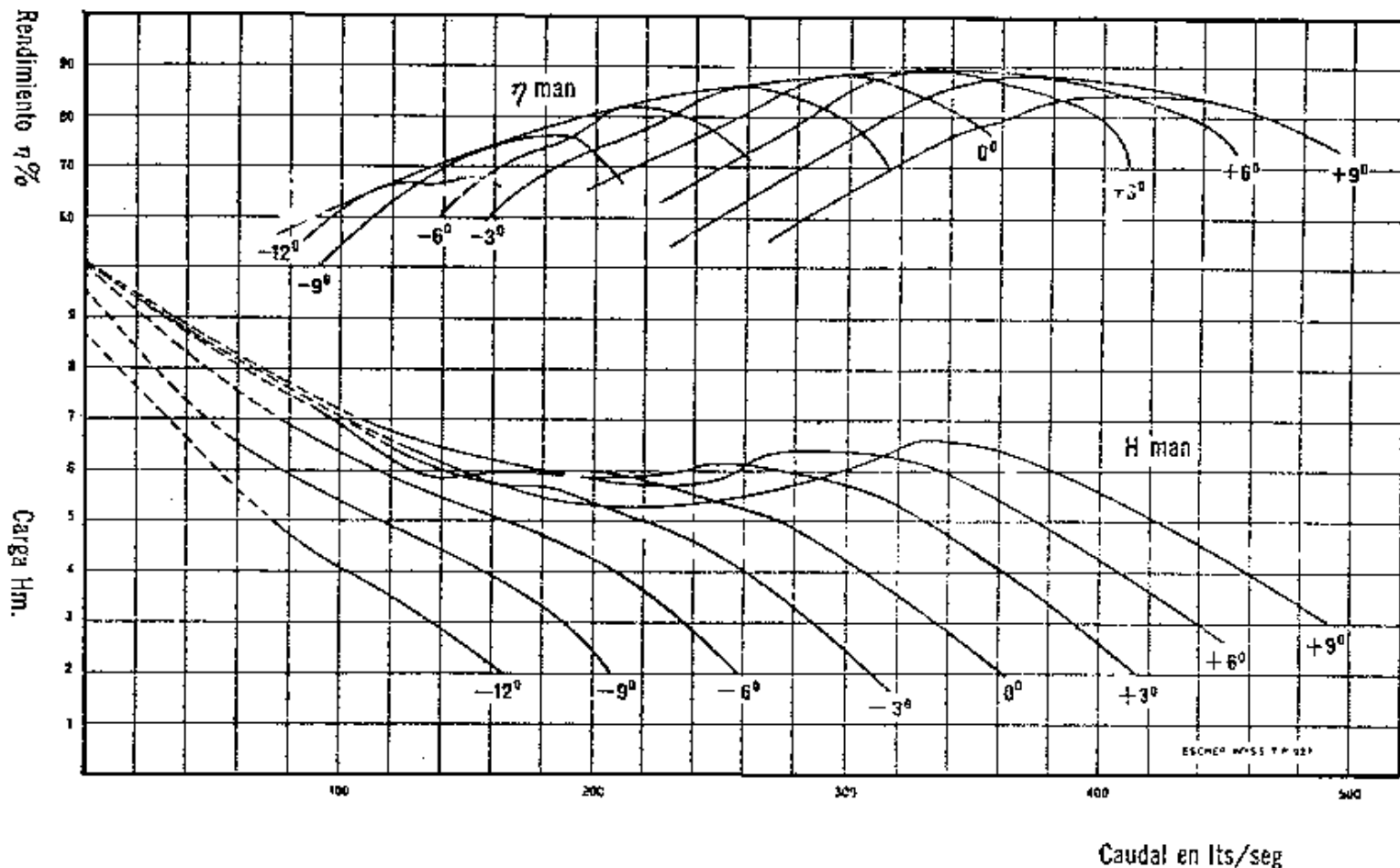


Curvas Características. Bombas Axiales



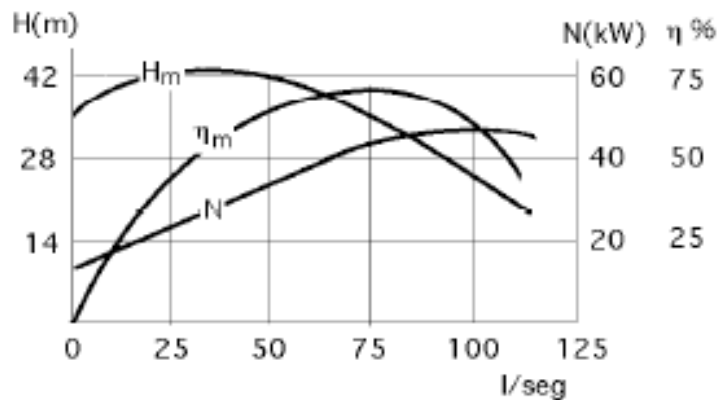
Campo de trabajo de una bomba de hélice con álabes ajustables

Cada curva de H y h corresponde a una determinada posición de los álabes

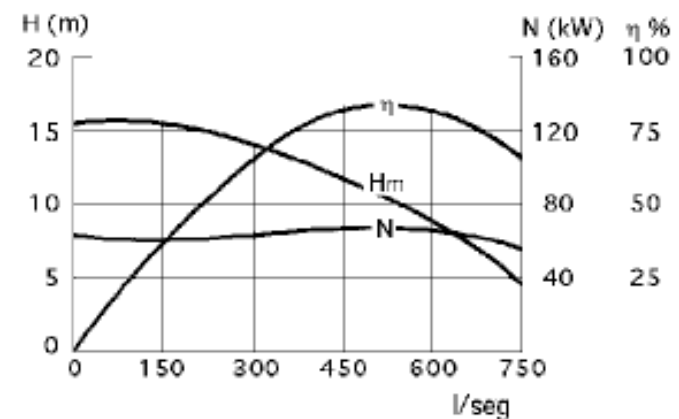


Comparación Curvas BC y BA

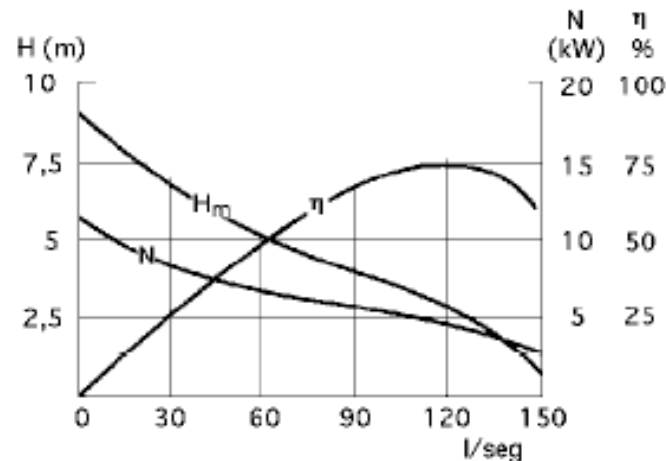
Bombas Centrífugas



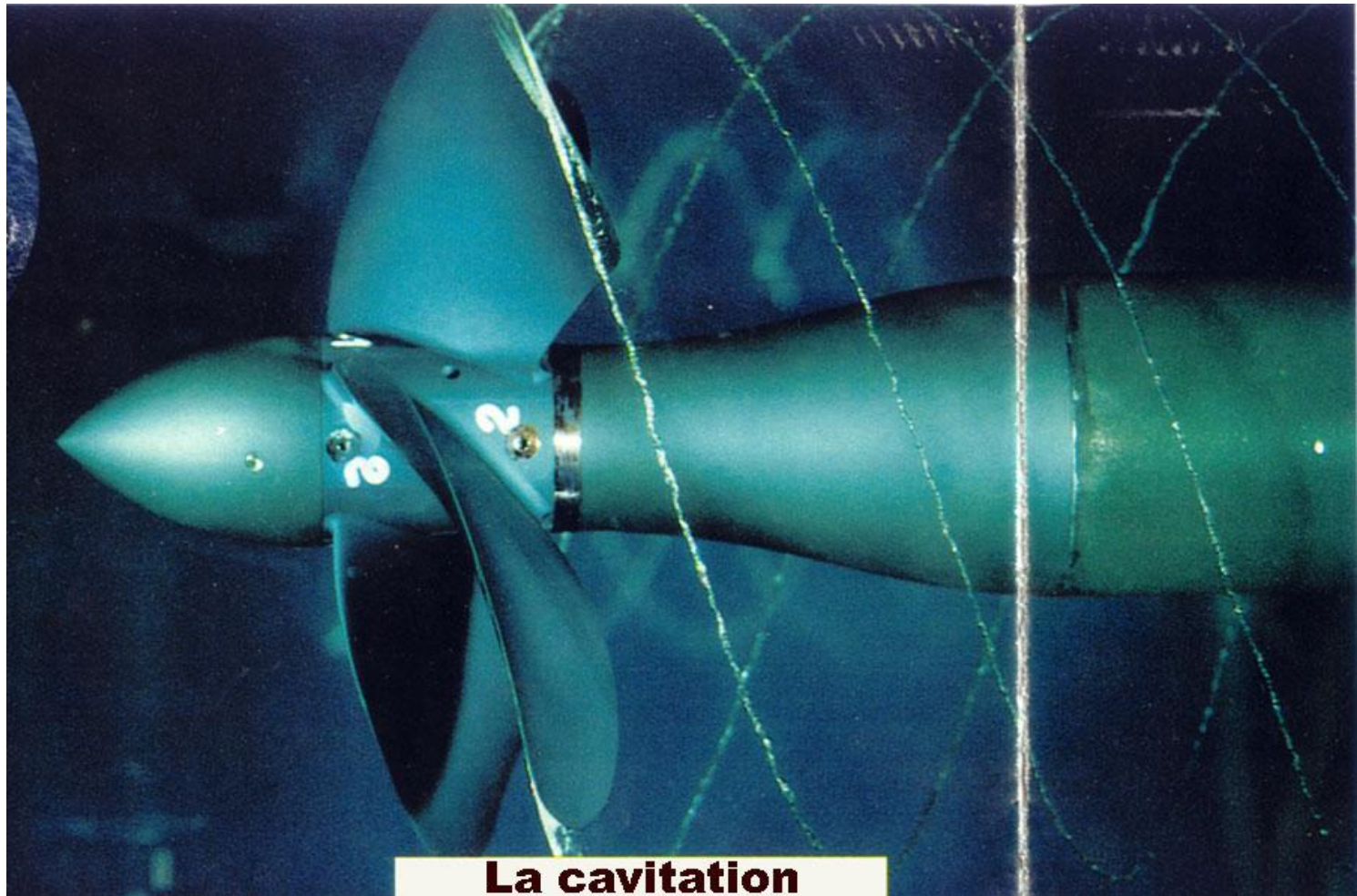
Bombas Hélico-Centrífugas



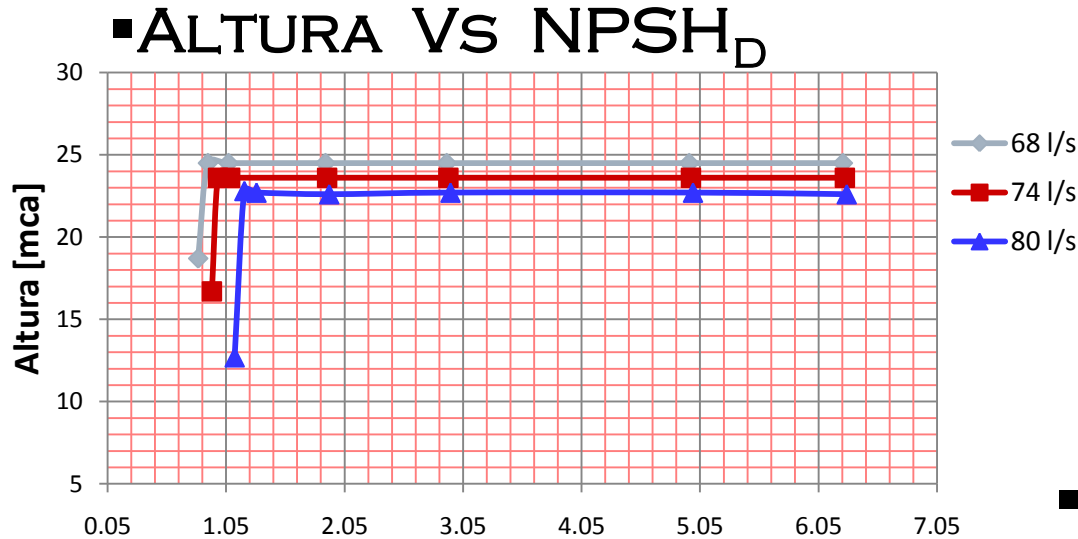
Bombas Axiales



Cavitación en la bóveda



Curvas Características Régimen Cavitacional



■ $NPSH_R$ VS CAUDAL

