TEMA 9: BOMBAS CENTRÍFUGAS

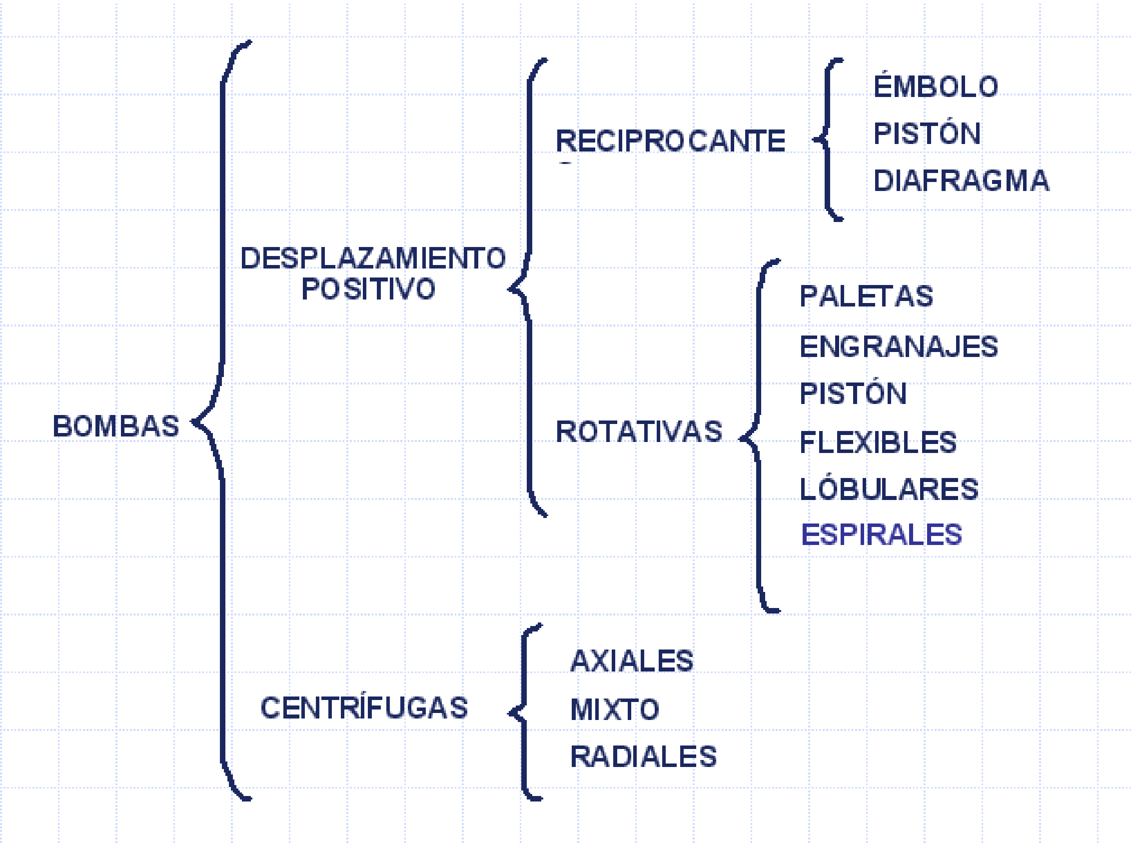
Definición

Una maquina hidráulica es aquella en que el fluido que intercambia energía con la misma no modifica su densidad a su paso por la maquina y por ende en su diseño y su estudio se considera que ρ = cte

Son máquinas que absorben energía mecánica y la restituyen al fluido que la atraviesa en forma de energía hidráulica. Un grupo consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una caja. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga. El otro grupo consiste en una pared móvil que se desplaza respecto de una fija (por ejemplo pistón y cilindro) y transmite la energía al fluido como un aumento de presión.

Son empleadas para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites, combustibles, ácidos etc.) y también para desplazar líquidos espesos con sólidos en suspensión.

Clasificación de Bombas



Partes Principales y Principio de Funcionamiento

- ✓ *Impulsor o rodete (B)*: formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas, según la misión a que vaya a ser destinada la bomba, los cuales giran dentro de una carcasa circular. El rodete es accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, (en las centrífugas), o permaneciendo axial, (en las axiales), acelerándose y absorbiendo un trabajo. Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando una altura dinámica de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

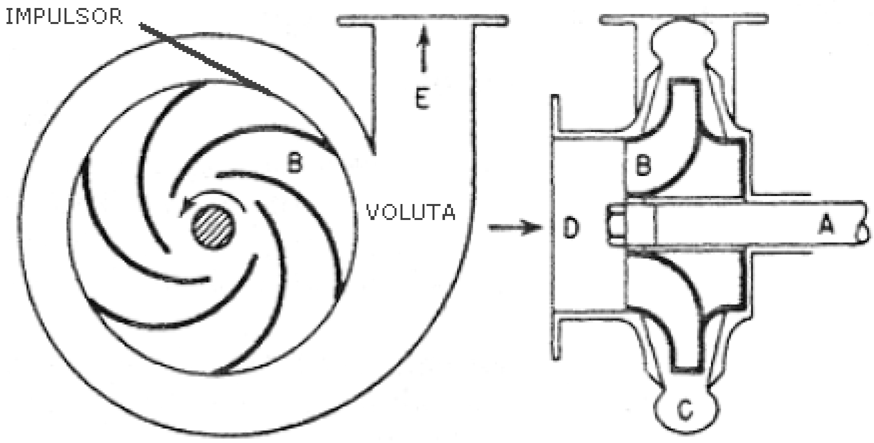


Fig.1

- ✓ *Voluta (E)* : es un órgano fijo que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete, a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba. La voluta es también un transformador de energía, ya que frena la velocidad del líquido, transformando parte de la energía dinámica creada en el rodete en energía de presión, que crece a medida que el espacio entre el rodete y la carcasa aumenta, presión que se suma a la alcanzada por el líquido en el rodete.

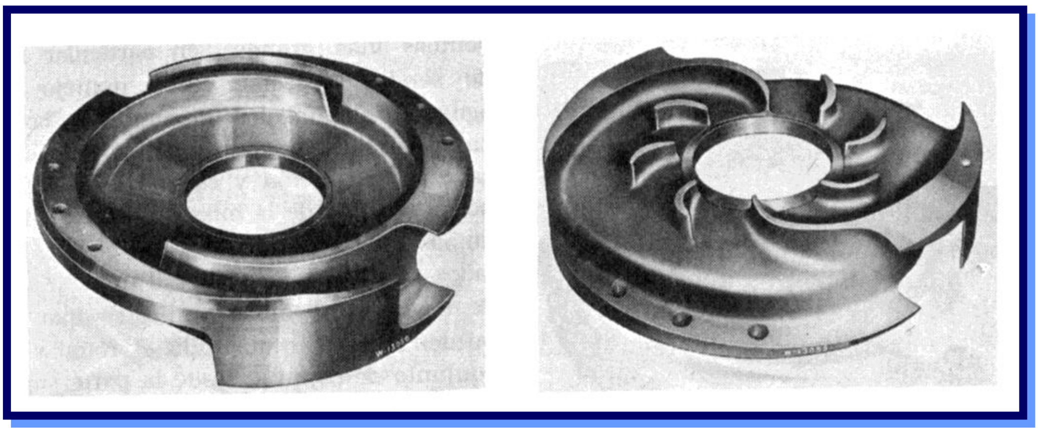


Fig.2

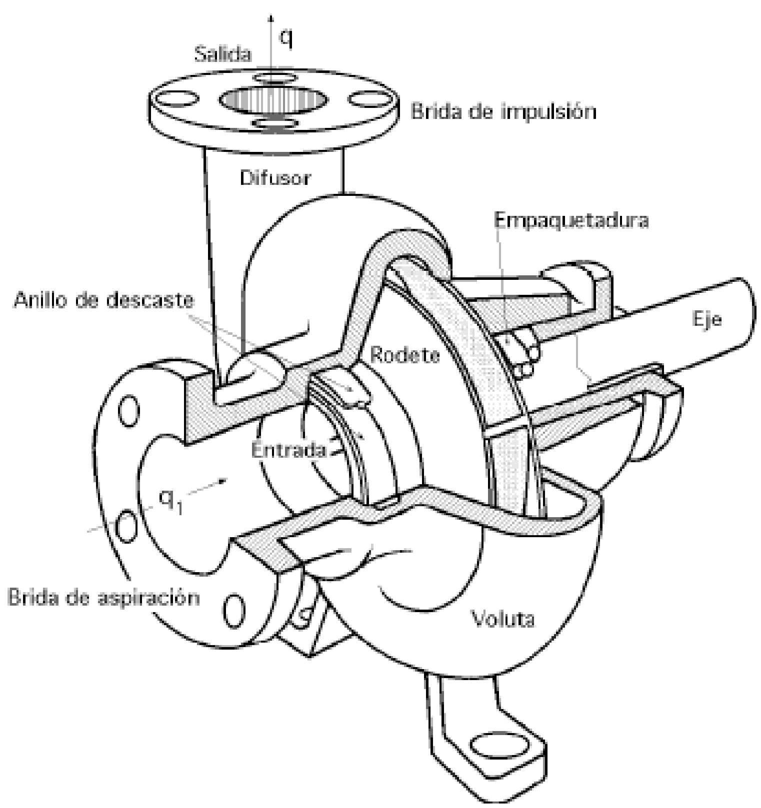


Fig.3

Ecuación fundamental de las turbo máquinas o ecuación de Euler

El órgano principal de una bomba centrífuga es el rodete que, en la Fig .4, se puede ver con los álabes dispuestos según una sección perpendicular al eje de la bomba; el líquido llega a la entrada del rodete en dirección normal al plano de la figura, (dirección axial), y cambia a dirección radial recorriendo el espacio o canal delimitado entre los álabes.
El líquido queda sometido a una *velocidad relativa* w a su paso por el espacio entre álabes entre la entrada y la salida, y a una *velocidad de arrastre* u debida a la rotación del rodete alrededor del eje. La suma vectorial de estas velocidades proporciona la *velocidad absoluta* c.

$$c_1 = w_1 + u_1$$
$$c_2 = w_2 + u_2$$

Si llamamos w_1 a la velocidad relativa del líquido a la entrada de la cámara delimitada por un par de alabes, u_1 a la velocidad tangencial, y c_1 a la velocidad absoluta, se obtiene el triangulo de velocidades a la entrada.

$$\left.\begin{array}{l}\text{Velocidad relativa } w_1\\ \text{Velocidad tangencial } u_1\\ \text{Velocidad absoluta } c_1\end{array}\right\} \Longrightarrow \begin{array}{l}\alpha_1 \text{ es el ángulo formado por } c_1 \text{ y } u_1\\ \beta_1 \text{ es el ángulo formado por } w_1 \text{ y } u_1\end{array}$$

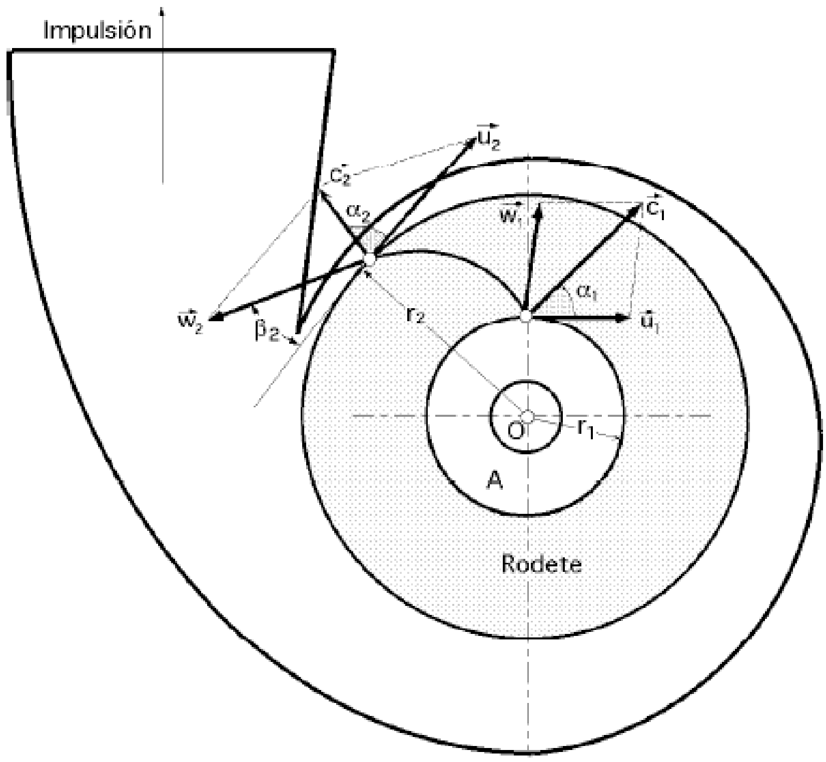


Fig.4

A la salida del rodete se obtiene otro triángulo de velocidades determinado por las siguientes velocidades y ángulos:

Velocidad relativa w_2
Velocidad tangencial u_2 $\Rightarrow$ α_2 es el ángulo formado por c_2 y u_2; β_2 es el ángulo formado por w_2 y u_2
Velocidad absoluta c_2

La partícula ha sufrido en su paso por el rodete un cambio de velocidad de c_1 a c_2.
A partir del teorema de la Cantidad de Movimiento: dF= dQ. ρ .(c_2 - c_1)
Tomando momentos con relación al eje de la máquina: dM = dQ. ρ .($\ell_2 . c_2 - \ell_1 . c_1$)
Donde:

- ✓ dM: momento resultante de todas las fuerzas que el rodete ha ejercido sobre las partículas que integran el filamento de corriente, para hacerle variar su momento cinético
- ✓ dQ: caudal de filamento

Suponemos que todas las partículas de fluido entran en el rodete a un diámetro D_1 con la misma velocidad c_1 y salen a un diámetro D_2 con la misma velocidad c_2. Esto equivale a suponer que todos los filamentos de corriente sufren la misma desviación; por lo tanto el numero de alabes es ∞ para que el rodete guíe al fluido perfectamente.

$\ell_2 . c_2 - \ell_1 . c_1$= cte. $\Rightarrow$ M= Q. ρ .($\ell_2 . c_2 - \ell_1 . c_1$)

M: momento total comunicado al fluido
Q: caudal total de la bomba

Pero $\ell_1 = r_1 . \cos\alpha_1$ y $\ell_2 = r_2 . \cos\alpha_2$

M=Q. ρ .(c_2 $r_2 . \cos\alpha_2$ - c_1 $r_1 . \cos\alpha_1$)

La potencia que el rodete comunica al fluido será: N=M. ω = Q. ρ . ω (c_2 $r_2 . \cos\alpha_2$ - c_1 $r_1 . \cos\alpha_1$)

Donde $\omega = 2\Pi n / 60$ velocidad angular del rodete (rad/s)

Pero $\omega . r_2 = u_2 = v_t \Rightarrow c_2 . \cos\alpha_2 = c_{2u}$ componente circunferencial de la velocidad absoluta (lo mismo para la velocidad de entrada)

Entonces: N= Q. ρ .($C_{2u} . U_2 - C_{1u} . U_1$)

Llamando H_z al incremento de energía total por unidad de peso que el fluido experimenta en la bomba o altura teórica de la bomba, ya que una parte se perderá por rozamiento. Por lo tanto la bomba comunicara al fluido una potencia:

N= Q. γ .Ht

ρ .g.Q.Ht= Q. ρ .($C_{2u} . U_2 - C_{1u} . U_1$)

Ht= $\dfrac{C_{2u} . U_2 - C_{1u} . U_1}{g}$ ECUACION DE EULER de las turbo maquinas. Energía por unidad de peso (kgm/Kg.)

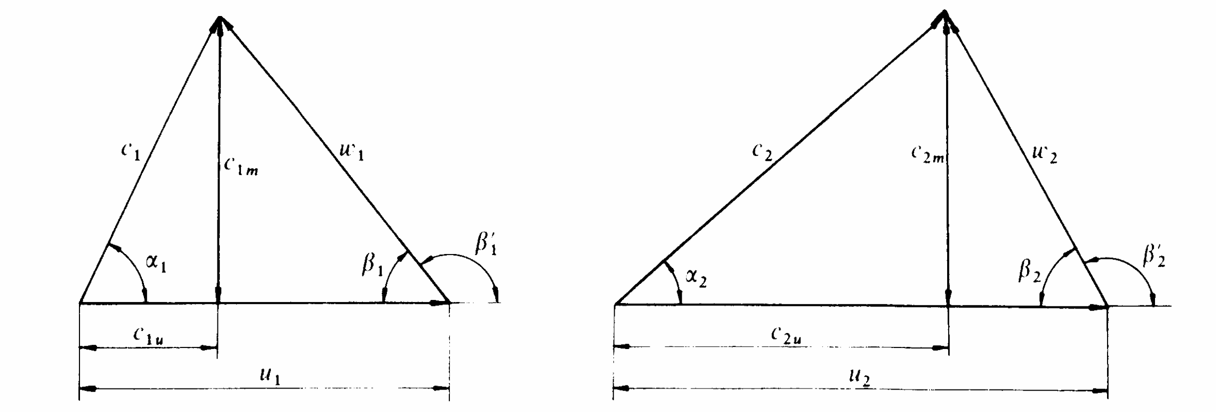
La altura de Euler He no es la energía especifica que da la maquina al fluido Ht, sino la que absorbe la maquina. Es la energía específica intercambiada entre el rodete y el fluido o altura hidráulica Hh.

He= Hh= $\pm \dfrac{C_{2u} . U_2 - C_{1u} . U_1}{g}$ Primera forma de la ecuación de Euler

+ para bomas, ventiladores (maquinas generadoras) - para turbinas (maquina motora)

Se observa que para un rodete dado y una velocidad angular de rotación ***w*** dada, la altura de elevación conseguida por la bomba es **independiente** del líquido bombeado, es decir, una bomba con un determinado rodete y girando a una velocidad de rotación prefijada conseguiría igual elevación tanto bombeando mercurio como agua.

Triángulo de velocidades



Triángulo de Entrada   Triángulo de Salida

$$\bar{c}_1 = \bar{u}_1 + \bar{w}_1$$
$$\bar{c}_2 = \bar{u}_2 + \bar{w}_2$$

Por el Teorema del Coseno:

$$w_1^2 = u_1^2 + c_1^2 - 2\,u_1 c_1 \cos\alpha_1 = u_1^2 + c_1^2 - 2u_1 c_{1u}$$
$$u_1 c_{1u} = 1/2(u_1^2 + c_1^2 - w_1^2)$$

Y
$$u_2 c_{2u} = 1/2(u_2^2 + c_2^2 - w_2^2)$$

Reemplazando en la primera ecuación de Euler:

(Expresión en alturas)

$$\boxed{H_u = \pm\left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}\right)}$$

Escribiendo la ecuación de Bernoulli entre la entrada y salida del rodete

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{c_1^{\ 2}}{2g} + H_t = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{c_2^{\ 2}}{2g}$$

$$H_t = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{c_2^{\ 2} - c_1^{\ 2}}{2g}\right)$$

Haciendo $Z_2 = Z_1$ y comparando con la ecuación de Euler vemos que:

ALTURA DE PRESION DEL RODETE

$$\boxed{H_p = \pm\left(\frac{p_1 - p_2}{\rho g}\right) = \pm\left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g}\right)}$$

(Signo + : turbinas; signo − : bombas)

ALTURA DINAMICA DEL RODETE

$$\boxed{H_d = \pm\frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}}$$

$H_t = H_d + H_p$ Energía total entregada por el rodete

Grado de Reacción del rodete

Las expresiones de Euler son válidas para el rodete. Hay que distinguir la altura de presión que da el rodete de la presión Hp que da la bomba. Esta última es mayor, ya que la bomba tiene un sistema difusor que convierte la Hd del rodete en Hp.

$$\varepsilon = Hp/Ht$$

(Ht = Hu)!!

- Si $H_p < 0$, el grado de reacción es negativo;
- Si $H_p = 0$, el grado de reacción es 0;
- Si $0 < H_p < H_u$ el grado está comprendido entre 0 y 1, que es el caso normal;
- Si $H_p > H_u$, el grado de reacción es mayor que 1.

Dependencia de los ángulos de los álabes

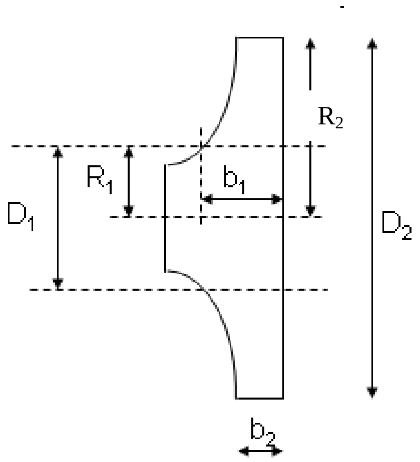
1. β_1

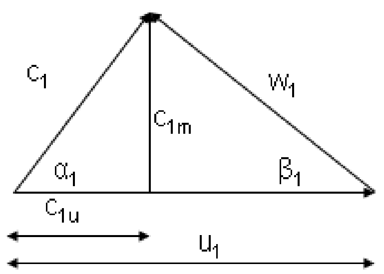
$Q = C_{1m} * 2\pi * r_1 * b_1 = C1m * \pi * D1 * b1$

$U1 = \omega 1 \; r1$

como ω y r son ctes por lo tanto U1 = cte

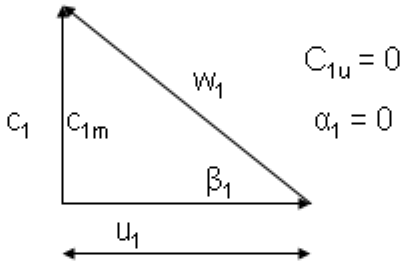
además C_{m1} = cte (Q = cte, D_1 = cte, b_1 = cte)





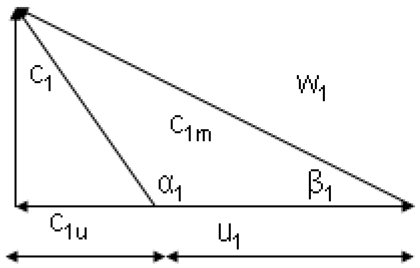
a) β1 es tal que α1 < 90 °

$H_t = (C_{u2}\, U_2 - C_{u1}\, U_1)/g$



b) $\beta 1$ es tal que $\alpha 1 = 90$ °

$H_t = (C_{u2}\, U_2)/g$



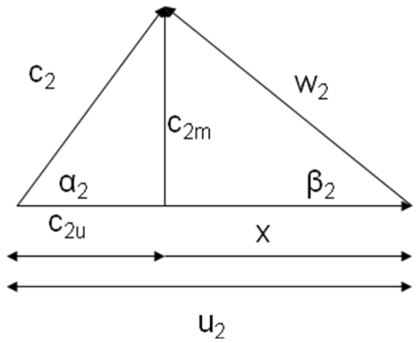
c) $\beta 1$ es tal que $\alpha 1 > 90$ °

$C_{1u} < 0$

$H_t = (C_{u2}\, U_2 + C_{u1}\, U_1)/g$

Conviene un β_1 tal que $\alpha_1 > 90$ ° pero tengo un álabe muy largo

2. β_2



β_1 es tal que $\alpha 1 = 90$ °

$H_t = (C_{2u}\, U_2)/g$

$C_{2u} = U_2 - X = U_2 - C_{2m}/\text{tg}\, \beta_2$

$H_t = ((U_2 - C_{2m}/\text{tg}\, \beta_2)\, U_2)/g$

$H_t = (U_2{}^2 - U_2\, C_{2m}/(\text{tg}\, \beta_2))\, /g$

$H_t = U_2{}^2\, (1 - C_{2m}/(U_2\, \text{tg}\, \beta_2))\, /g$

$H_d = (C_2{}^2 - C_1{}^2)/2g = (C_{2u}{}^2 + C_{2m}{}^2 - C_1{}^2)/2g$

$C_{1m} = C_{2m} = C_1$ por que la veloc radial del impulsor es cte

$H_d = (C_{2u}{}^2)/2g = (U_2 - X)^2/2g = (U_2 - C_{2m}/(\text{tg}\, \beta_2))^2 = f(\beta_2)$

$\varepsilon = 1 - H_d/H_t = ½ + ½ * (C_{2m}/(U_2 \text{ tg } \beta_2))$

$H_p = H_t - H_d = (U_2^2/2g)* (1- C_{2m}/(U_2 \text{ tg}^2 \beta_2))$

Consideremos un valor de β que anule H_t

$H_t = U_2{}^2(1 - C_{2m}/(\text{tg } \beta_2 U_2)/g = 0 \longrightarrow \text{tg } \beta_2 = C_{2m}/U_2$

$\beta_{min} \longrightarrow H_t = 0 \longrightarrow H_p = H_d \longrightarrow \varepsilon = 1$

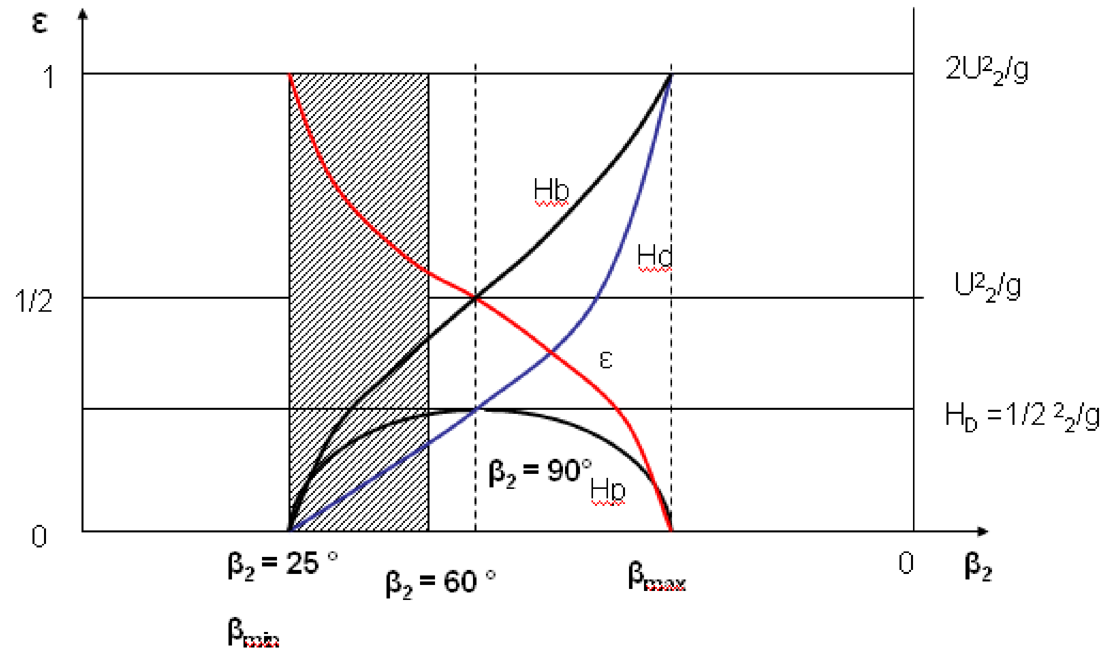
$\beta 2 = \pi/2$ tg β_2 = infinito $H_t = U^2/g$ $H_d = U^2/2g$ $\varepsilon = 1/2$

Finalmente Ht tendrá un máximo cuando

$H_t = U^2/g(1-(-1))$ Esto implica que

$C_{2m}/(\text{tg } \beta_2 U_2) = -1$ $\text{tg } \beta_2 = - C_{2m} / U_2$

$H_t = 2 U^2/g = H_d$ $H_p = 0$ y $\varepsilon = 0$



Leyes de Semejanza

Dos bombas son semejantes si existe:

- ✓ Semejanza Geométrica
- ✓ Semejanza Cinemática (cuando el triángulo de velocidad es semejante)
- ✓ Semejanza Dinámica (en 2 puntos tienen igual Reynold)

Las leyes de semejanza sirven para:

- Predecir el comportamiento de una bomba de distinto tamaño, pero geométricamente semejante a otra cuyo comportamiento (Q, N, etc.) se conocen trabajando en las mismas condiciones.
- Predecir el comportamiento de una misma máquina (la igualdad es un caso particular de la semejanza) cuando varía una de sus características, por ejemplo, en una bomba para predecir como varia la altura manométrica cuando varia el número de revoluciones.

Las 3 primeras leyes se refieren a 2 bombas semejantes funcionando en iguales condiciones.

- Q= Cm.π.D.b pero Cm= fn (n,D) y b= fn (D)
  Q=fn (n, $.D^3$)

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1.D_1^{\ 3}}{n_2.D_2^{\ 3}}$$ Ley 1 de semejanza

Si $n_1 = n_2$ entonces $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1^{\ 3}}{D_2^{\ 3}}$ (1`)

- Por Euler vimos que: Ht= $\frac{C_{2u}.U_2}{g}$ y C_{2u} = fn (n, D) y U_2 = fn (n, D)

Ht= fn (n^2, D^2)

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^{\ 2}.D_1^{\ 2}}{n_2^{\ 2}.D_2^{\ 2}}$$ Ley 2 de semejanza

Si $n_1 = n_2$ entonces $\frac{H_1}{H_2} = \frac{D_1^{\ 2}}{D_2^{\ 2}}$ (2`)

- $N = \frac{H.Q.\gamma}{75.\eta}$ por lo tanto N= fn (Q,H)

Q=fn (n, $.D^3$) y Ht= fn (n^2, D^2)

$$N = fn(n^3, D^5)$$

Entonces $\dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{n_1^{\,3}.D_1^{\,5}}{n_2^{\,3}.D_2^{\,5}}$ Ley 3 de semejanza

Si $n_1 = n_2$ entonces $\dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{D_1^{\,5}}{D_2^{\,5}}$ (3`)

Las 3 siguientes son para una misma bomba (D=cte) que funciona en 2 condiciones distintas:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (4)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^{\,2}}{n_2^{\,2}} \quad (5)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^{\,3}}{n_2^{\,3}} \quad (6)$$

De la ecuación 2 $\dfrac{D_1^{\,2}}{D_2^{\,2}} = \dfrac{H_1.n_2^{\,2}}{H_2.n_1^{\,2}}$ por lo tanto $\dfrac{D_1}{D_2} = \dfrac{H_1^{\,1/2}.n_2}{H_2^{\,1/2}.n_1}$ (7)

Reemplazamos (7) en (1): $\dfrac{Q_1}{Q_2} = \dfrac{H_1^{\,3/2}.n_2^{\,2}}{H_2^{\,3/2}.n_1^{\,2}}$, saco raíz cuadrada $\dfrac{Q_1^{\,1/2}}{Q_2^{\,1/2}} = \dfrac{H_1^{\,3/4}.n_2}{H_2^{\,3/4}.n_1}$

Por lo tanto: $\boxed{\dfrac{Q_1^{\,1/2}.n_1}{H_1^{\,3/4}} = \dfrac{Q_2^{\,1/2}.n_2}{H_2^{\,3/4}} = \ldots = \dfrac{Q^{\,1/2}.n}{H^{\,3/4}}}$ constante para una serie de bombas semejantes

Tomando una bomba con $Q_s = 1m^3/s$ y una Hs= 1m, una bomba patrón (estándar) deberá girar a una velocidad n_s, para ser semejante a otra de caudal Q, altura H y velocidad n:

$\dfrac{n_s.Q_s^{\,1/2}}{H_s^{\,3/4}} = \dfrac{n\,.Q^{\,1/2}}{H^{\,3/4}}$ Reemplazamos $Q_s = 1m^3/s$ y Hs= 1m

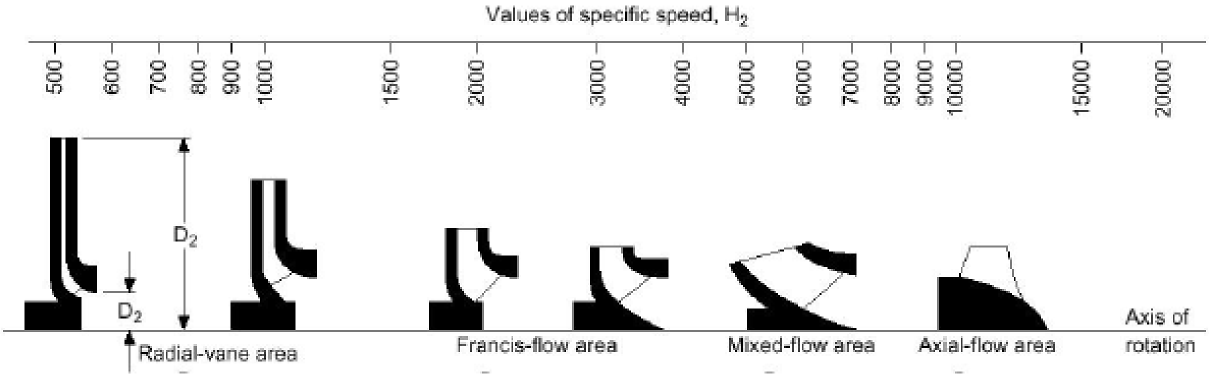
$\dfrac{n\,.Q^{\,1/2}}{H^{\,3/4}} = \dfrac{n_s.1^{1/2}}{1^{3/4}}$ por lo tanto: $\boxed{n_s = \dfrac{n.Q^{1/2}}{H^{3/4}}}$ Velocidad especifica

Velocidad Específica

$$n_s = \frac{n.Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

La velocidad específica nos da una idea del diseño hidráulico del impulsor, ya que un numero bajo de Ns nos dice que la bomba nos entregará poco caudal y mucha altura de presión. Mientras que si el Ns es alto la bomba entrega grandes caudales y bajas alturas de presión.

Nos permite seleccionar el tipo de bomba y diseñarla; y se define como la velocidad de algún integrante de la serie que tiene un tamaño que trabaja a descarga y carga unitaria.



$$1{,}7 \le \frac{D_2}{D_1} \le 2{,}3 \qquad 1{,}3 \le \frac{D_2}{D_1} \le 1{,}7 \qquad \frac{D_2}{D_1} \approx 1$$

Fig. 5: Forma de los impulsores de acuerdo a su número específico de revoluciones

Altura de Elevación

En la Figura 6 se esquematiza un corte de una bomba según un plano que contiene al eje. La velocidad en el tubo de aspiración es U y la energía cedida a la bomba hace que el líquido sea acelerado hasta la velocidad C1 en la sección de ingreso a los álabes.

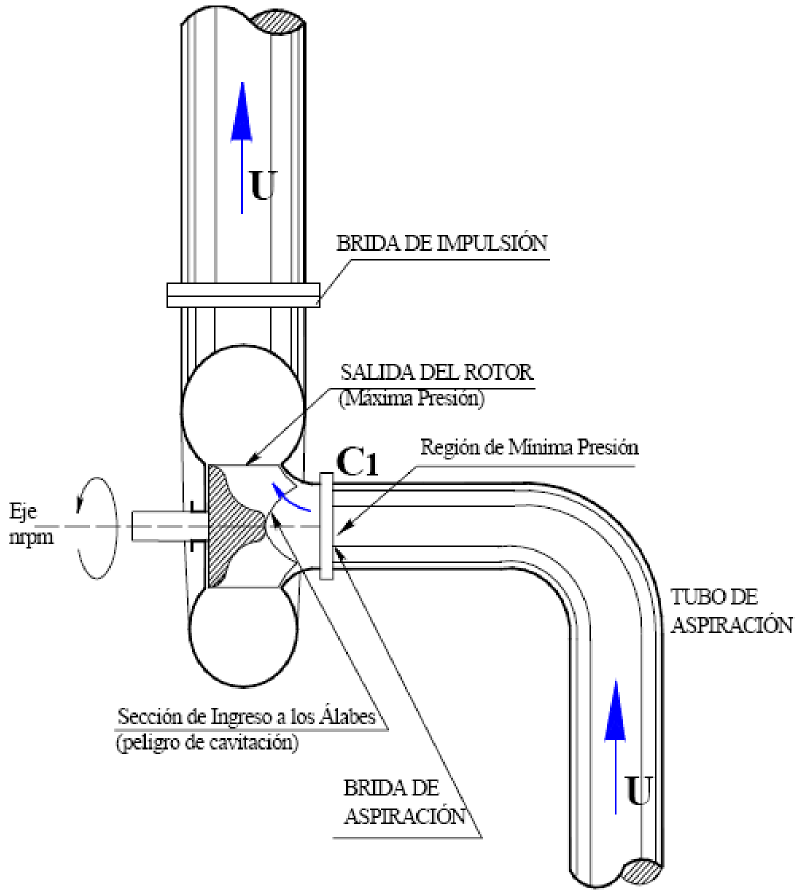


Fig.6

La teoría y la práctica demuestran que la bomba centrífuga origina una depresión en la zona de ingreso a los álabes que posibilita la succión del líquido a través de la tubería de aspiración. Una vez que recibe la energía del exterior, el líquido aumenta su presión justamente en el valor de la altura manométrica. Es decir que en la sección de salida del rotor la presión alcanza los valores máximos.

En resumen, el proceso es el siguiente:

La energía provista por el motor a la bomba implica una aceleración desde U hasta C1, lo que origina una caída de presión (a valores de presión relativa negativa) responsable del efecto de succión que tiene lugar en el tubo de aspiración.

Una vez ingresado el líquido al rotor, recibe la energía externa, que se traduce en un aumento violento de la presión hasta alcanzar la altura manométrica.

Analicemos lo que ocurre en las inmediaciones del ingreso a los álabes: si la presión es tan baja que posibilita la evaporación del agua, se forman burbujas de vapor que, un instante después, al ingresar al rotor, se encuentran en una zona de alta presión, que obliga a un condensado prácticamente instantáneo de las burbujas de referencia.

Este condensado súbito se produce por razones no del todo conocidas, a través de un proceso que da, como resultado del mismo, un ataque a las partes metálicas que debilitan su estructura molecular y pueden llevar al colapso del material y hasta de las instalaciones anexas.

Este fenómeno, que debe ser dentro de lo posible evitado, se denomina “cavitación”.

Cuando una bomba “cavita” se produce un sordo ruido característico, a la vez que la bomba no funciona de acuerdo a los requerimientos. Incluso se acorta, muchas veces drásticamente, la vida útil del rotor.

"...**ANPA** es la presión mínima requerida en el eje de la sección de la brida de aspiración, tal que no se produzca cavitación en la sección de ingreso a los álabes del rotor...". Es decir que, si la presión en el eje baja a valores menores que los de ANPA, irremediablemente tendremos cavitación en el ingreso a los álabes.
Por lo que ANPA es la energía de presión disponible en la brida de aspiración, por encima de la presión de vaporización, necesaria para elevar al líquido en la altura Z, y acelerar la masa líquida desde la velocidad en la brida (U1) hasta la velocidad en el punto de mayor posibilidad de cavitación (C1) venciendo la resistencia J (interna de la bomba) en ese recorrido.

ANPA Disponible: es una particularidad de las instalaciones (la parte de aspiración de la instalación) y se define como la energía que tiene un liquido en la toma de aspiración de la bomba (independientemente del tipo de ésta), por encima de la energía del líquido, debido a su presión de vapor. En otras palabras es la diferencia entre la altura total de succión y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

$$ANPA_D = \frac{P_a - P_v}{\gamma} \pm H_a - \frac{v^2}{2.g} - \Delta H$$

Donde:

P_a : es la presión en el depósito de aspiración (generalmente es la presión atmosférica)

P_v : es la tensión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo

γ : Peso específico del líquido

H_a : Altura geométrica de aspiración

$\frac{v^2}{2.g} + \Delta H$: Pérdidas de carga en la aspiración

ANPA Requerido: es una característica de la bomba. Es aquella energía necesaria para llenar la parte de aspiración y vencer las pérdidas por rozamiento y el aumento de la velocidad desde la conexión de aspiración de la bomba hasta el punto en que se añade más energía en el rotor. El ANPA requerido varia según el diseño de la bomba, tamaño de ésta y condiciones de servicio, y es un dato a facilitar por el fabricante de la bomba, que lo determina mediante ensayos llevados a cabo con bombas geométricamente semejantes que funcionan a velocidad constante y caudal calibrado, pero variando las alturas de aspiración.
El ANPA R y ANPA D varían con el caudal:

- ANPA R : a mayor caudal, mayor velocidad, mayor perdida por rozamiento, por lo que reproduce un aumento del ANPA R
- ANPA D: a mayor caudal, mayor velocidad, mayor perdida por rozamiento, por lo que reproduce una disminución del ANPA D

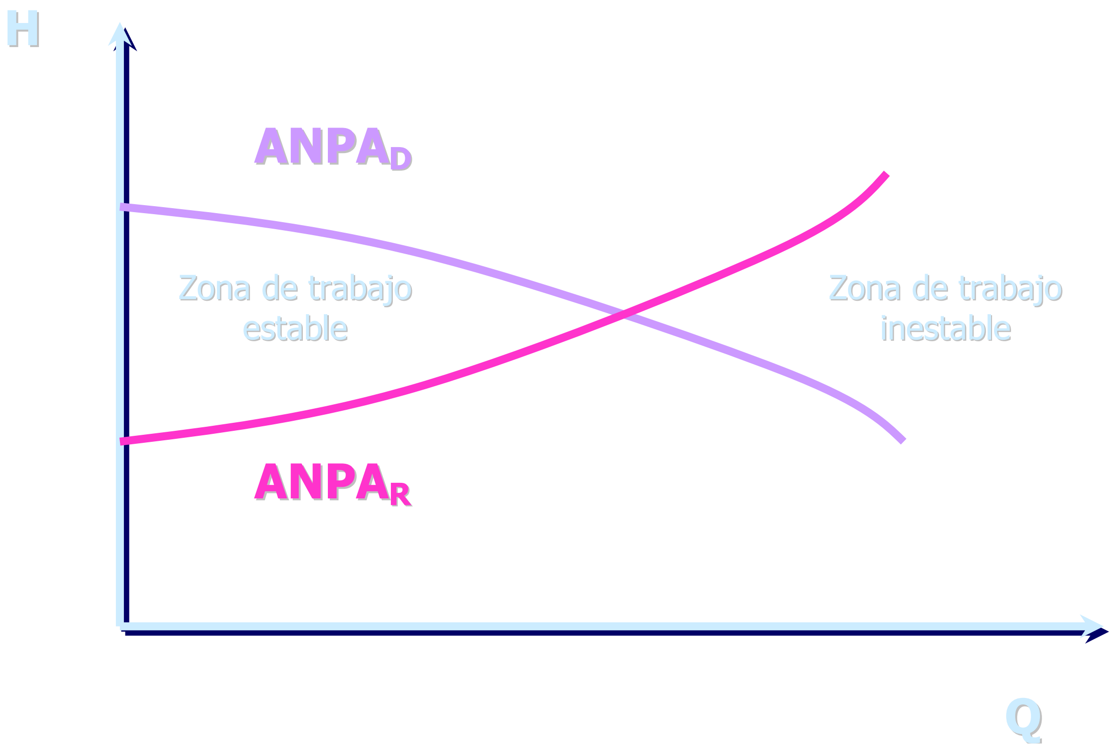
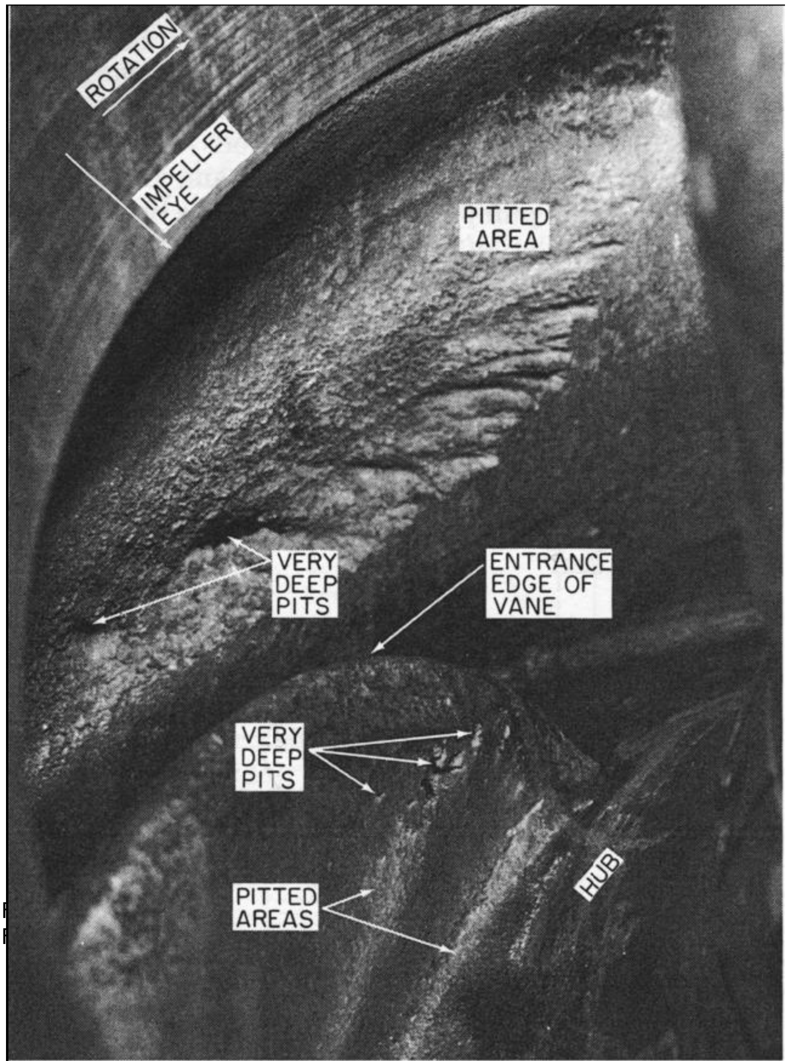


Fig.7

Para que la bomba funcione correctamente (sin que aparezca cavitación, golpe de ariete, golpeteo) ha de cumplirse la condición de que el ANPA D > ANPA R

Cavitación



La cavitación … se produce cuando
un líquido se … mueve en una
región donde … la presión es
menor que la … tensión de vapor,
formándose … burbujas en su
seno. Estas … burbujas son
arrastradas por … el liquido hasta las
regiones de … presión elevada,
donde … implotan. La
cavitación … produce 3 efectos:
disminuye el … rendimiento, daña
los ductos y … producen ruidos y
vibraciones.

Casos más susceptibles a cavitación

- Cuando la bomba está instalada a una gran altura sobre el nivel de aspiración.
- Cuando la bomba aspira de un depósito al vacío.
- Cuando la línea de succión es muy larga (elevada pérdida de carga)
- Cuando el sistema de bombeo está a una altura considerable sobre el nivel del mar (poca presión atmosférica)

Soluciones

La solución es aumentar el ANPAD, lo cual requiere:

- Aumentar el diámetro de la tubería de aspiración (para reducir la velocidad de aspiración).
- Disminuir la altura geométrica de aspiración.
- Cambiar a una bomba mayor a menor velocidad.
- Rebajar la temperatura del fluido bombeado.
- Emplear válvulas y tuberías de aspiración de bajo coeficiente de fricción.
- Colocar una bomba con un ANPA requerido más bajo.

Curvas Características

Una bomba no tiene un único punto de funcionamiento, sino una infinidad de ellos. La curva que une todos los puntos de funcionamiento posibles de una bomba, acoplada a un motor concreto, recibe el nombre de curva característica, siendo los fabricantes los que suministran la información. Las más comunes son:

- Curva de Caudal-Altura (H-Q)
- Curva de Potencia al freno (N-Q) o BHP(Break HP)
- Curva de Eficiencia (η-Q)
- Curva de ANPA

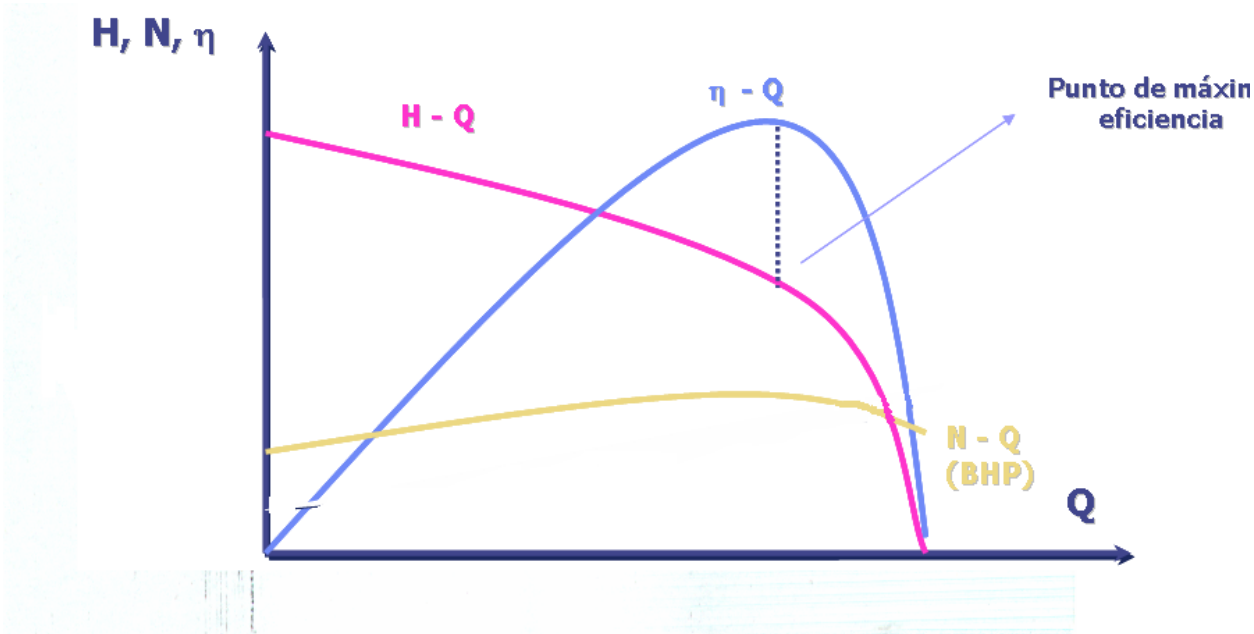


Fig.8

Efectos del cambio de velocidad

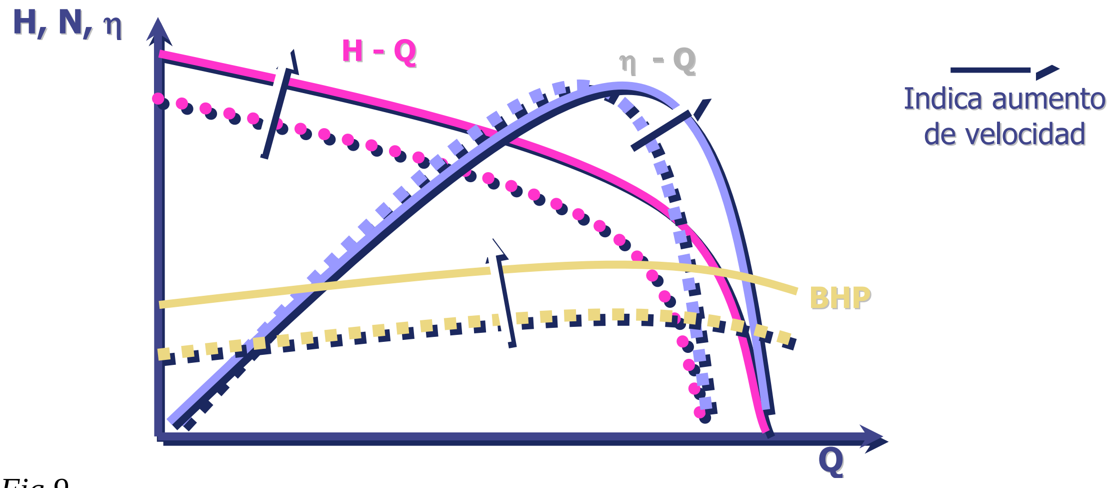


Fig.9

Efectos del cambio del diámetro del impulsor

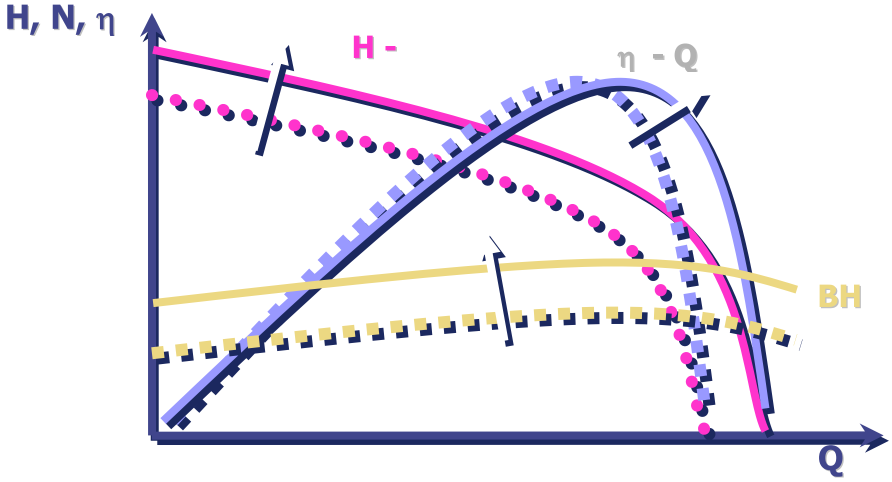


Fig.10

Efectos de la viscosidad del líquido

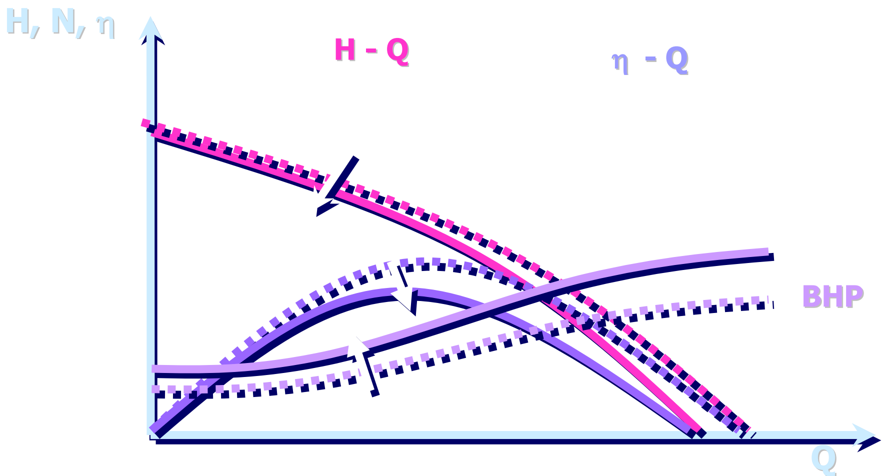


Fig.11

Selección De Bomba Según Q Y H

En la fig.12 siguiente entramos con Q y H, de esta manera obtenemos el modelo de la bomba.

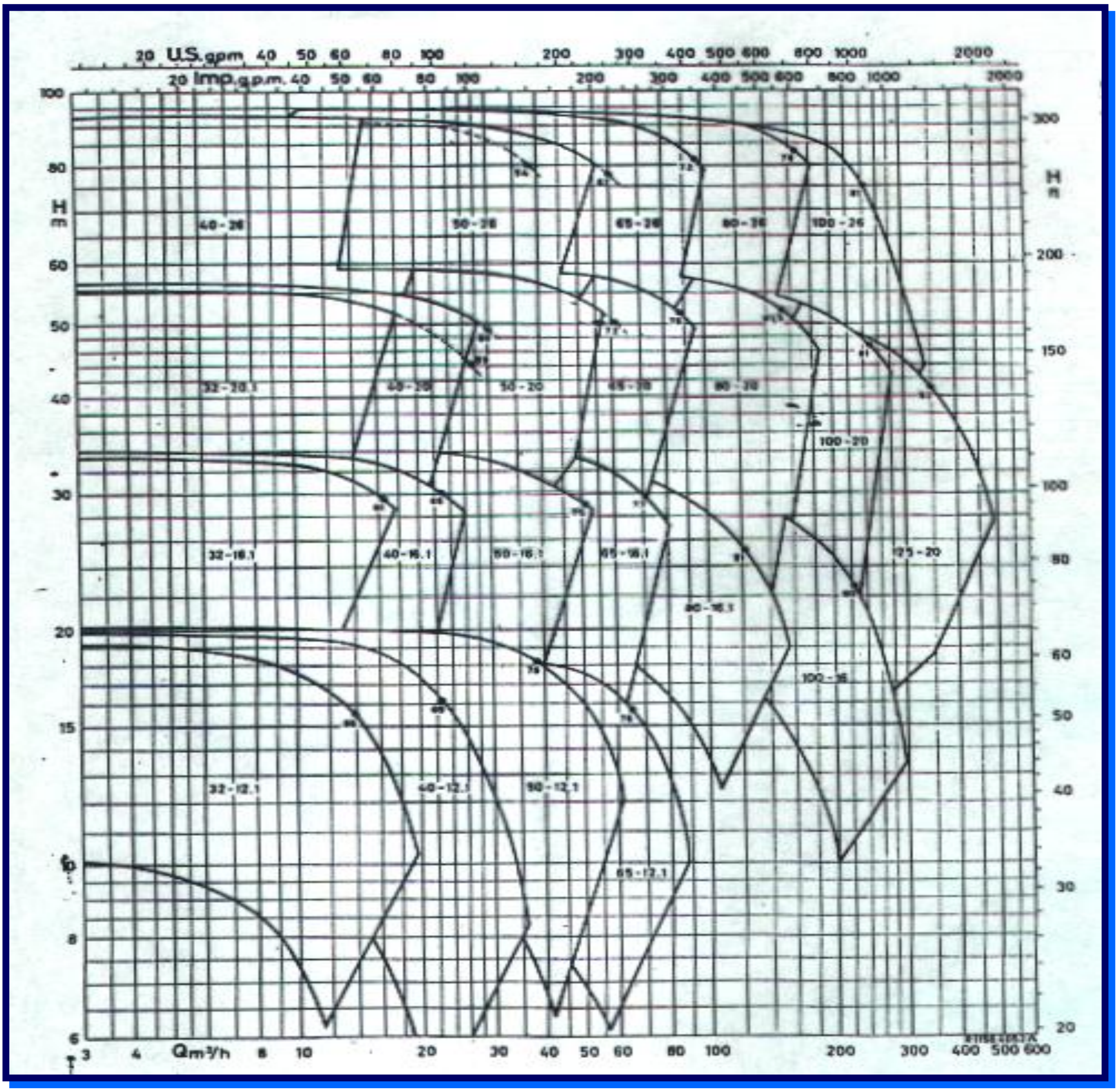


Fig.12

Para cada modelo de bomba existe un grafico como la Fig. 13, para una determinada velocidad. En este grafico (el superior) se puede observar el diámetro y la eficiencia (el punto de mayor eficiencia en el centro). En el inferior se determina la potencia de la bomba.

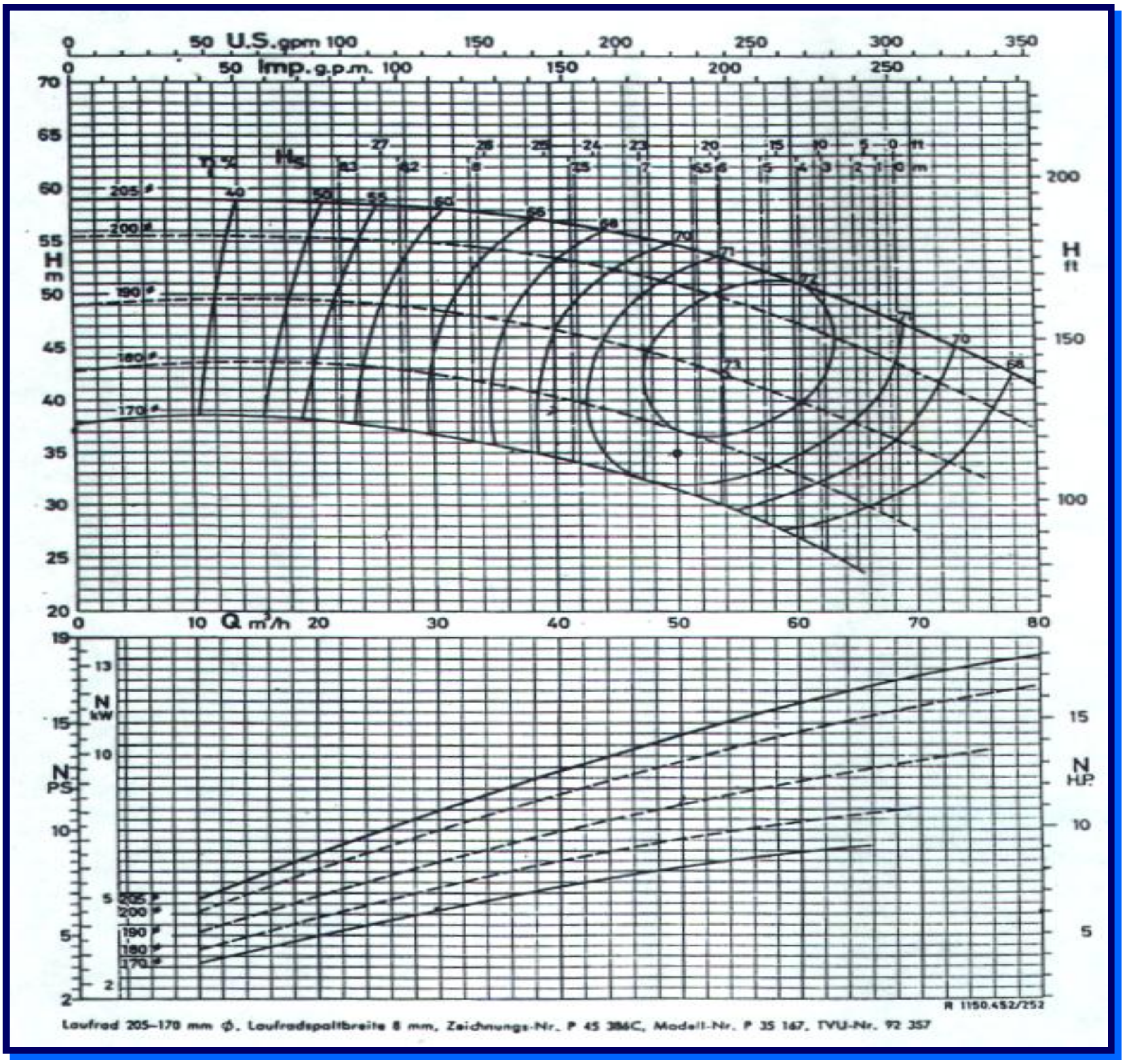


Fig.13

ETA 50 – 20 (modelo de la bomba)
2900 U/min

Estas graficas están ensayadas con agua como fluido, por lo tanto existen otro juego de tablas (Fig.14) para poder corregir dicho aspecto.
Con dichas graficas obtenemos los factores de corrección.

$$H_{H_2O} = \frac{H_{visc}}{C_H}$$

$$Q_{H_2O} = \frac{Q_{visc}}{C_q}$$

$$\eta_{H_2O} = \frac{\eta_{visc}}{C_\eta}$$

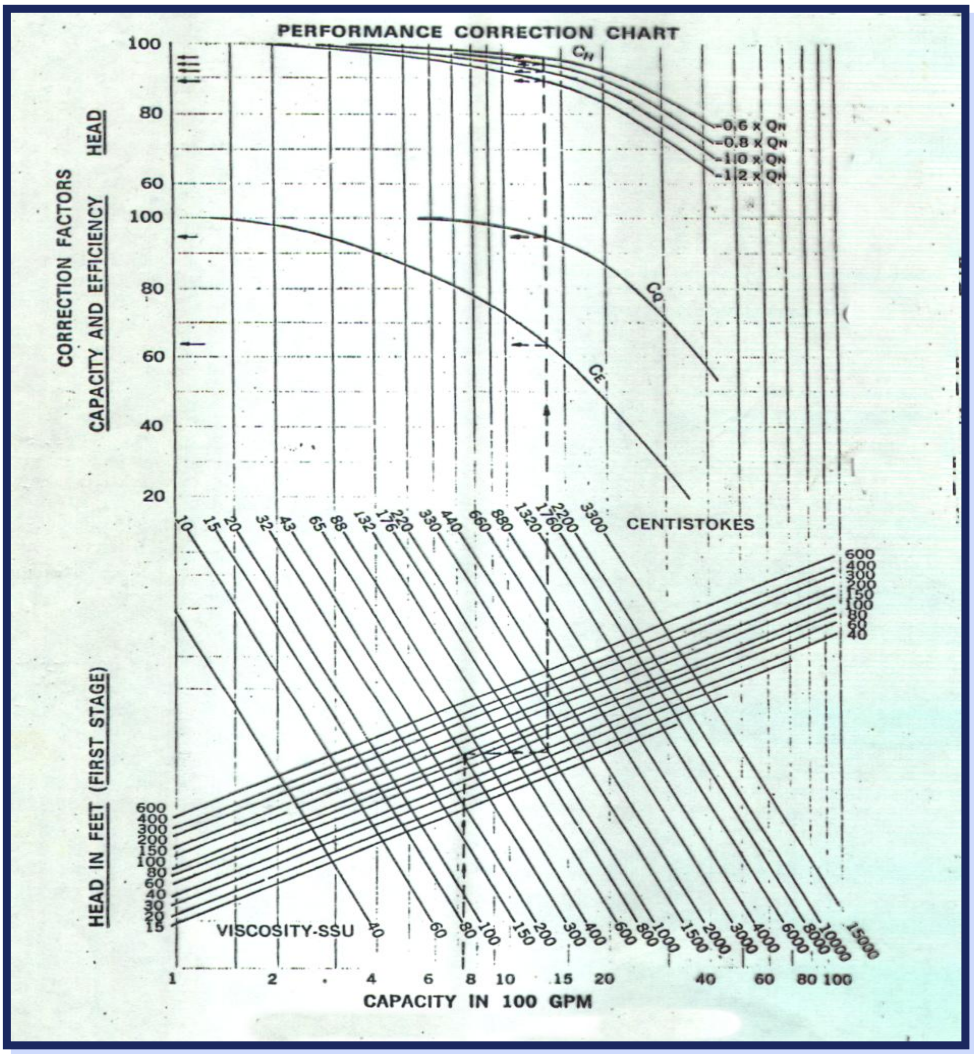


Fig.14

1. Entramos con Q y H
2. Nos movemos horizontalmente hasta la viscosidad de nuestro fluido (distinto del agua)
3. Subo e intercepto con los factores de corrección