Las trasparencias 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
INMACULADA FERNANDEZ DIEGO fernandei@unican.es
JUAN CARCEDO HAYA juan.carcedo@unican.es
FELIX ORTIZ FERNANDEZ felix.ortiz@unican.es

- Características
- Campos de Aplicación
- Partes
- Rodetes
- La Voluta
- Clasificación
- 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
- Grado de Reacción del Rodete
- Punto de Funcionamiento
- Selección de una Bomba

Leyes de Semejanza (I)

El fundamento de las leyes de semejanza es el ***análisis dimensional***

Una ecuación debe ser dimensionalmente homogénea, sus términos deben tener las mismas dimensiones

- Una variable es ***dimensional*** si su valor numérico depende de la escala utilizada en su medida, es decir, depende del sistema de unidades elegido (longitud, tiempo, potencia…)
- Una variable es ***adimensional*** cuando su valor numérico es independiente del sistema de unidades de medida (rendimiento, relaciones geométricas...)

Aplicaciones de las leyes de semejanza:

- Determinar la respuesta de una máquina hidráulica cuando **cambia** alguna característica (**velocidad de rotación**, …)
- Obtener las características de una máquina **geométricamente semejante** a otra pero **de diferente tamaño**
- **Parametrizar el comportamiento** de las máquinas ensayadas a través de ábacos adimensionales y diagramas universales

Leyes de Semejanza (II)

Para el modelo a escala: el subíndice “0”.

Condiciones de aplicación de las leyes de semejanza:

➢ ***Semejanza Geométrica***

- El modelo y el prototipo han de ser geométricamente semejantes tanto interior como exteriormente y en los elementos auxiliares
- En modelos a escalas muy reducidas, se pueden encontrar dificultades como el escalado de las holguras o las rugosidades superficiales

λ es la relación geométrica entre modelo y prototipo

Para longitudes

$$\lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{b}{b_0}$$

Diámetro del rodete (D) **Ancho del rodete** (b)

Para áreas

$$\lambda^2 = \frac{A}{A_0}$$

Para volúmenes

$$\lambda^3 = \frac{Vol}{Vol_0}$$

Leyes de Semejanza (III)

Para el modelo a escala: el subíndice “0”.

Condiciones de aplicación de las leyes de semejanza:

➢ ***Semejanza Geométrica***

➢ ***Semejanza Cinemática***

- El modelo y el prototipo mantienen una proporcionalidad directa en los triángulos de velocidades en puntos de funcionamiento semejantes

α es la relación de velocidades de giro

$$\alpha = \frac{n}{n_0} = \frac{\omega}{\omega_0}$$

$$\alpha_1 = \alpha_{10} \qquad \beta_1 = \beta_{10}$$

$$\alpha_2 = \alpha_{20} \qquad \beta_2 = \beta_{20}$$

Leyes de Semejanza (III)

Para el modelo a escala: el subíndice "0".

Condiciones de aplicación de las leyes de semejanza:

- ***Semejanza Geométrica***
- ***Semejanza Cinemática***

Fijadas las semejanzas geométrica, ($\lambda = D/D_0$), y cinemática, ($\alpha = n/n_0$), entonces queda fijada la velocidad en el modelo ($u_0 = \omega_0 \cdot r_0$)

Como β y α se han de mantener ctes, c_m será la que determine si el triangulo de velocidades del modelo es o no proporcional al del prototipo

$$Q = k_1 \cdot C_{1m} \cdot A_1 = k_2 \cdot C_{2m} \cdot A_2 \left\{ \begin{array}{l} A_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot b_1 \\ A_2 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b_2 \end{array} \right. \Rightarrow c_m = \frac{Q}{\pi \cdot D \cdot b}$$

Por lo que si:

- Se fija λ, (D_0 y b_0 están fijados), y sólo habrá un valor de Q que haga que ambos triángulos sean proporcionales
- Si se fija Q, sólo habrá un régimen de giro que haga que los triángulos sean proporcionales

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas

Leyes de Semejanza (III)

Para el modelo a escala: el subíndice "0".

Condiciones de aplicación de las leyes de semejanza:

- Semejanza Geométrica
- Semejanza Cinemática

Fijadas las semejanzas geométrica, ($\lambda = D/D_0$), y cinemática, ($\alpha = n/n_0$), entonces queda fijada la velocidad en el modelo ($u_0 = \omega_0 \cdot r_0$)

Con... el
trian... po

Q = ...

Sólo habrá un punto de funcionamiento del modelo que cumpla con las semejanzas geométrica y cinemática, y que mantenga proporcionalidad con los triángulos de velocidades del prototipo

A esos puntos se les llama PUNTOS HOMÓLOGOS

Por lo que si:

- Se fija λ, (D_0 y b_0 están fijados), y sólo habrá un valor de Q que haga que ambos triángulos sean proporcionales
- Si se fija Q, sólo habrá un régimen de giro que haga que los triángulos sean proporcionales

Leyes de Semejanza (IV)

Para el modelo a escala: el subíndice “0”.

Condiciones de aplicación de las leyes de semejanza:

- ***Semejanza Geométrica***
- ***Semejanza Cinemática***
- ***Semejanza Dinámica***
  - Cuatro de los cinco parámetros adimensionales fundamentales de la mecánica de fluidos han de ser iguales en el modelo y en el prototipo (el quinto será igual obligatoriamente si lo son los cuatro restantes)

Leyes de Semejanza (IV)

Para el modelo a escala: el subíndice “0”.

Condiciones de aplicación de las leyes de semejanza:

- ***Semejanza Geométrica***
- ***Semejanza Cinemática***
- ***Semejanza Dinámica***

Gradiente de p → • Número de Euler

Viscosidad → • Número de Reynolds

Gravedad → • Número de Froude

Elasticidad → • Número de Mach

Tensión superficial → • Número de Weber

Sólo estos dos números son significativos en las máquinas hidráulicas más corrientes

Y es Reynolds el que tiene verdadera trascendencia

$$Eu = \frac{v}{\sqrt{2 \cdot \Delta p / \rho}} \qquad Re = \frac{v \cdot L_c}{\nu} = \frac{v \cdot \rho \cdot L_c}{\eta}$$

$$Fr = \frac{v_c}{\sqrt{L \cdot g}} \qquad Ma = \frac{v}{c_s} \qquad We = \frac{v}{\sqrt{L \cdot \sigma / \rho}}$$

En resumen: se cumple si Re es igual en modelo y prototipo

Leyes de Semejanza (V)

Para el modelo a escala: el subíndice “0”.

Semejanza GEOMÉTRICA (λ) $\qquad \lambda = \dfrac{D}{D_0} = \dfrac{b}{b_0}$

\+

Semejanza CINEMÁTICA (α) $\qquad \alpha = \dfrac{n}{n_0} = \dfrac{\omega}{\omega_0}$

\+

Semejanza DINÁMICA (Re) $\qquad Re = \dfrac{v \cdot L_c}{\nu}$

SEMEJANZA ABSOLUTA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas
IEE

Leyes de Semejanza (VI)

Para el modelo a escala: el subíndice “0”.

En la práctica es muy difícil cumplir la condición de igualdad de Re

$$Re = \frac{v \cdot L_c}{\nu} = \frac{v \cdot L_c \cdot \rho}{\mu}$$

Al no cambiar el fluido ρ y μ no varían

prototipo

$$Re = Re_0 \quad \Big| \quad v = \omega \cdot \frac{D}{2} \quad \Big| \quad \Rightarrow n \cdot D_2^2 = n_0 \cdot D_{20}^2$$

modelo

$$n_0 = n \cdot \left(\frac{D_2}{D_{20}} \right)^2$$

Si $D_0 \downarrow\downarrow \Rightarrow n_0 \uparrow\uparrow\uparrow\uparrow$ (algo que no siempre se puede realizar)

Además se introducirían efectos por la alta velocidad que no se reflejarían en el prototipo

Cuando no se puede cumplir la condición de igualdad de Re se habla de:

SEMEJANZA RESTRINGIDA

Leyes de Semejanza (VII)

Se puede simplificar ya que la experiencia demuestra que para puntos de funcionamiento homólogos la diferencia en Re no tiene una gran influencia en el η, considerándose que ambos Re son iguales y dando pie así a hacer uso de la ***Teoría de la Semejanza Absoluta***

De este modo, se considera que entre dos puntos de funcionamiento homólogos en semejanza absoluta se conserva el rendimiento, al darse por válida la semejanza dinámica

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas

Leyes de Semejanza (VIII)

C_m es la componente radial de la velocidad del fluido
C_u es la componen tangencial de la velocidad del fluido

Si se cumplen las semejanzas geométrica (λ) y cinemática (α) (I):

$$\lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{b}{b_0} \qquad \alpha = \frac{n}{n_0} = \frac{\omega}{\omega_0} \qquad \alpha_1 = \alpha_{10} \quad \alpha_2 = \alpha_{20} \qquad \beta_1 = \beta_{10} \quad \beta_2 = \beta_{20} \qquad \frac{u_2}{u_{20}} = \frac{\omega \cdot r_2}{\omega_0 \cdot r_{20}} = \alpha \cdot \lambda$$

Relación de caudales:
$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{c_m \cdot A}{c_{m0} \cdot A_0} = \frac{c_m \cdot \pi \cdot D \cdot b}{c_{m0} \cdot \pi \cdot D_0 \cdot b_0} = (\alpha \cdot \lambda) \cdot \lambda \cdot \lambda = \alpha \cdot \lambda^3$$

Relación de alturas:
$$\frac{H_t}{H_{t0}} = \frac{(c_{2n} \cdot u_2)/g}{(c_{2n0} \cdot u_{20})/g} = (\alpha \cdot \lambda) \cdot (\alpha \cdot \lambda) = \alpha^2 \cdot \lambda^2$$

Relación de potencias:
$$\frac{Pot}{Pot_0} = \frac{(\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m)/\eta}{(\rho \cdot g \cdot Q_0 \cdot H_{m0})/\eta_0} = (\alpha \cdot \lambda^3) \cdot (\alpha^2 \cdot \lambda^2) = \alpha^3 \cdot \lambda^5$$

Relación de par en el eje:
$$\frac{M}{M_0} = \frac{Pot/\omega}{Pot_0/\omega_0} = \frac{Pot}{Pot_0} \cdot \frac{\omega_0}{\omega} = (\alpha^3 \cdot \lambda^5) \cdot \alpha^{-1} = \alpha^2 \cdot \lambda^5$$

Leyes de Semejanza (IX)

Para el modelo a escala: el subíndice "0".

Si se cumplen las semejanzas geométrica (λ) y cinemática (α) (II):

- Si sólo cambia la velocidad:

$\lambda = 1$ $\qquad$ $\alpha = \dfrac{n}{n_0} = \dfrac{\omega}{\omega_0}$

Relación de caudales: $\dfrac{Q}{Q_0} = \alpha \cdot \lambda^3 = \alpha$

Relación de alturas: $\dfrac{H_t}{H_{t0}} = \alpha^2 \cdot \lambda^2 = \alpha^2$

Relación de potencias: $\dfrac{Pot}{Pot_0} = \alpha^3 \cdot \lambda^5 = \alpha^3$

Relación de par en el eje: $\dfrac{M}{M_0} = \alpha^2 \cdot \lambda^5 = \alpha^2$

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas

Leyes de Semejanza (X)

Para el modelo a escala: el subíndice "0".

Si se cumplen las semejanzas geométrica (λ) y cinemática (α) (III):

- Si sólo cambia el rodete:

$\lambda = \dfrac{D}{D_0} = \dfrac{b}{b_0}$ $\qquad$ $\alpha = 1$

Relación de caudales: $\dfrac{Q}{Q_0} = \alpha \cdot \lambda^3 = \lambda^3$

Relación de alturas: $\dfrac{H_t}{H_{t0}} = \alpha^2 \cdot \lambda^2 = \lambda^2$

Relación de potencias: $\dfrac{Pot}{Pot_0} = \alpha^3 \cdot \lambda^5 = \lambda^5$

Relación de par en el eje: $\dfrac{M}{M_0} = \alpha^2 \cdot \lambda^5 = \lambda^5$

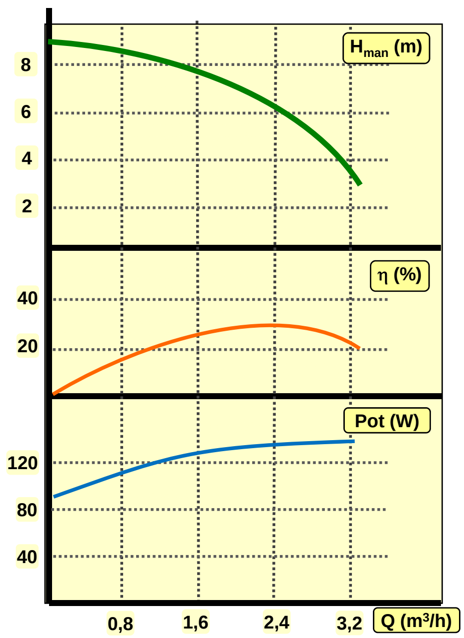
Una bomba centrífuga gira a 1.500 rpm. La superficie de entrada del agua al rodete es de 0,03 m^2, y la de salida 0,04 m^2. El diámetro del rodete a la entrada es de 0,3 m y a la salida de 0,5 m. Los ángulos de los álabes son: β_1= 22º; β_2= 15º; con α_1= 90º

- Calcular los triángulos de velocidades (U_1, U_2, C_1, C_2; α_2)
- La altura teórica y el caudal de impulsión

- Representar la variación de la altura teórica de impulsión si la **velocidad de giro** va aumentando de **250 a 2.000 rpm**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas
IEE

Con la red eléctrica a 50 Hz una bomba centrífuga gira a 2.900 rpm. Determinar la curva de funcionamiento si un variador de frecuencia la reduce a 40 Hz



Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (I)

Para el modelo a escala: el subíndice "0"

Ej: Bomba funcionando a ***distintas velocidades*** de giro (I)

Puesto que se trata de la misma bomba, se cumple que $\lambda = 1$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{Q}{Q_0} = \alpha \\ \dfrac{H_m}{H_{m0}} = \alpha^2 \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{H_m}{H_{m0}} = \alpha^2 = \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^2 \Rightarrow \quad H_m = \frac{H_{m0}}{Q_0^2}\cdot Q^2 = k_1 \cdot Q^2$$

Parábolas de isorrendimiento (I)

Todos los puntos de la curva (H, Q) de funcionamiento homólogos a uno dado de referencia (H_0, Q_0) estarán sobre una misma curva (parábola) que pasará por el origen de coordenadas

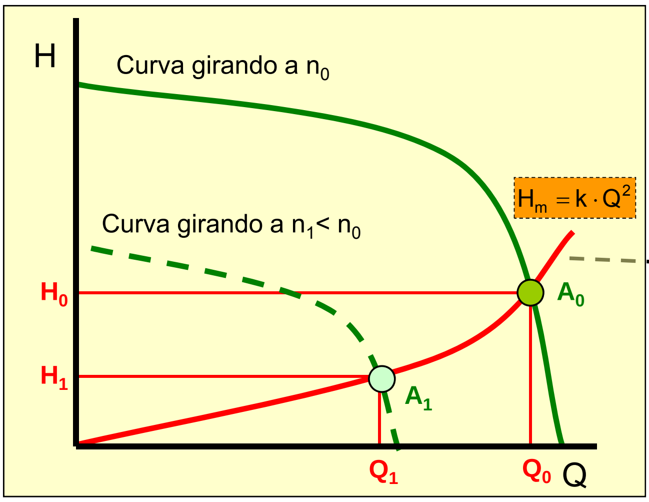
$$H_m = k \cdot Q^2$$

Hay que recordar que todos los puntos homólogos tienen el mismo rendimiento. Así, todos los puntos que pertenecen a la parábola tendrán el mismo rendimiento que el punto de funcionamiento dado como referencia

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (II)

Ej: Bomba funcionando a ***distintas velocidades*** de giro (II)

Parábolas de isorrendimiento (II)



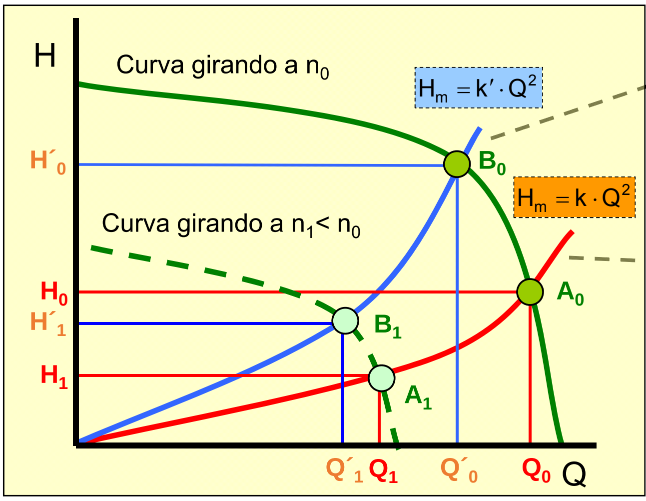
Curva de puntos homólogos H_0, Q_0 (es decir de igual rendimiento que el tiene la bomba en el punto H_0 Q_0 girando a n_0) girando a distintas velocidades

Cuando la bomba gira a n_1 debiera proporcionar H_1, Q_1 para que el rendimiento fuera el mismo

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (II)

Ej: Bomba funcionando a ***distintas velocidades*** de giro (II)

Parábolas de isorrendimiento (II)



Curva de puntos homólogos H'_0, Q'_0 (es decir de igual rendimiento que el tiene la bomba en el punto H'_0, Q'_0 girando a n_0) girando a distintas velocidades

Curva de puntos homólogos H_0, Q_0 (es decir de igual rendimiento que el tiene la bomba en el punto H_0 Q_0 girando a n_0) girando a distintas velocidades

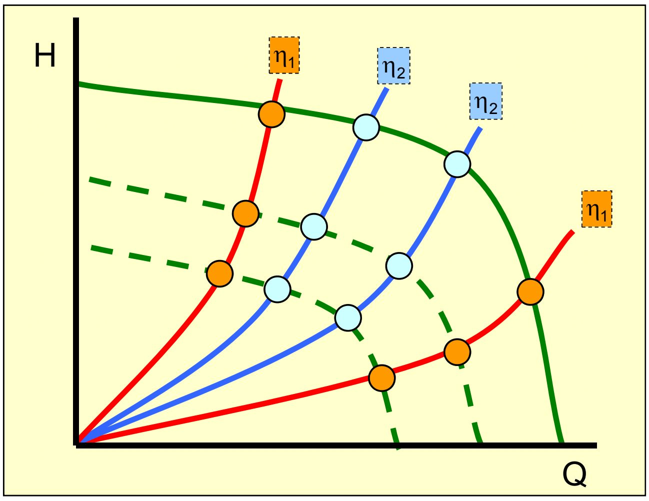
Cuando la bomba gira a n_1 debiera proporcionar H_1, Q_1 para que el rendimiento fuera el mismo

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas
IEE

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (III)

Ej: Bomba funcionando a ***distintas velocidades*** de giro (III)

Parábolas de isorrendimiento (III) → Colinas de rendimientos

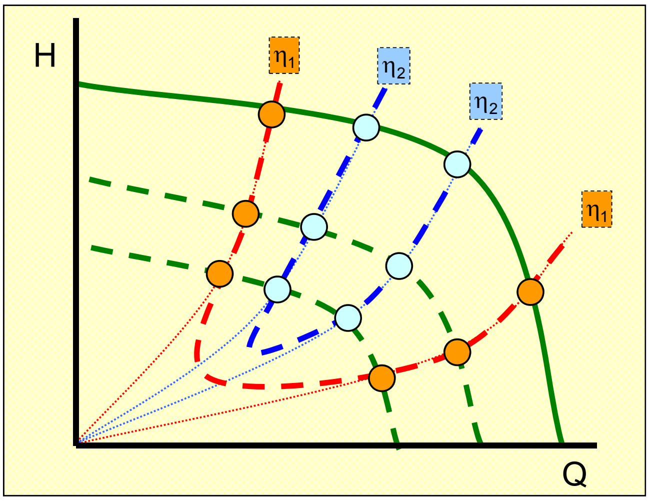


Para un número infinito de álabes del rodete las ***curvas teóricas de igual rendimiento*** pasan por el origen.

Leyes de Semejanza (XI) **Aplicación (III)**

Ej: Bomba funcionando a ***distintas velocidades*** de giro (III)

Parábolas de isorrendimiento (III) → Colinas de rendimientos



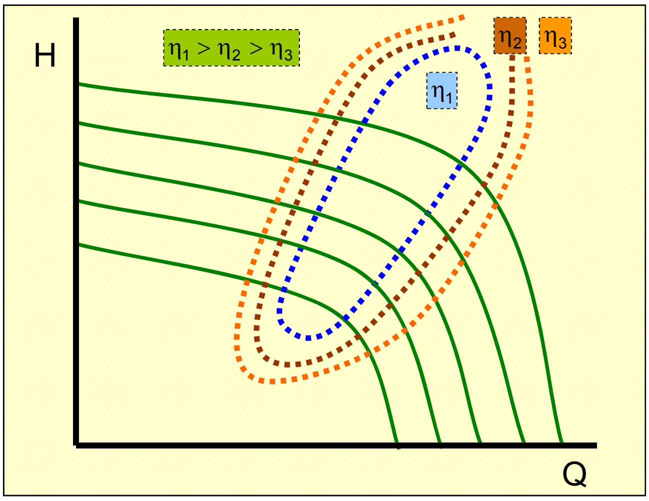
Para un número infinito de álabes del rodete las ***curvas teóricas de igual rendimiento*** pasan por el origen

Pero para un número finito de álabes las ***curvas de reales de rendimiento*** se unen tanto por la parte inferior para pequeños caudales como por la parte superior para grandes caudales, dando lugar a unas curvas cerradas cuyo conjunto forma lo que se denomina ***colinas de rendimientos***.

Leyes de Semejanza (XI) **Aplicación (IV)**

Ej: Bomba funcionando a ***distintas velocidades*** de giro (IV)

Parábolas de isorrendimiento (IV) → Colinas de rendimientos



La justificación radica en que cada rodete tiene un rendimiento máximo para una velocidad de giro determinada

Los rendimientos reales para ***z*** álabes serán tanto más pequeños que los teóricos (con ∞ álabes) cuanto más se aleje la velocidad de giro de la óptima correspondiente al rendimiento máximo de la bomba

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (V)

A partir de las leyes de semejanza se puede determinar la curva característica de la bomba semejante

La curva característica es: $H_{man} = a - b\,Q - c\,Q^2$

$$\lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{b}{b_0} \qquad \alpha = \frac{n}{n_0} = \frac{\omega}{\omega_0} \qquad \frac{Q}{Q_0} = \alpha \cdot \lambda^3 \qquad \frac{H_t}{H_{t0}} = \alpha^2 \cdot \lambda^2 \qquad \frac{Pot}{Pot_0} = \alpha^3 \cdot \lambda^5 \qquad \frac{M}{M_0} = \alpha^2 \cdot \lambda^5$$

Ej: ***Bombas semejantes*** a la misma velocidad de giro (I)

$$\alpha = \frac{n}{n_0} = \frac{\omega}{\omega_0} = 1 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \dfrac{Q}{Q_0} = \lambda^3 \\ \dfrac{H_t}{H_{t0}} = \lambda^2 \end{cases} \qquad \frac{H_m}{H_{m0}} = \lambda^2 = \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{2/3} \Rightarrow H_m = \frac{H_{m0}}{Q_0^{2/3}} \cdot Q^{2/3} \qquad H_m = k' \cdot Q^{2/3}$$

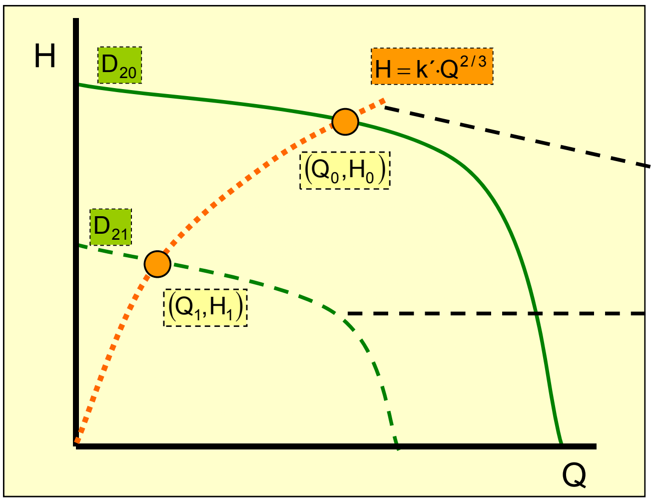
Todos los puntos (H, Q) de funcionamiento homólogos a uno dado de referencia (H_0, Q_0) estarán sobre una misma curva (parábola) que pasará por el origen de coordenadas

Todos los puntos homólogos tienen el mismo rendimiento, por lo que todos los puntos de la parábola tendrán el mismo rendimiento que el punto de referencia

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (VI)

Ej: ***Bomba semejantes*** a la misma velocidad de giro (II)

$$\alpha = \frac{n}{n_0} = \frac{\omega}{\omega_0} = 1 \quad \Rightarrow \quad \left\{ \frac{Q}{Q_0} = \lambda^3 \quad \frac{H_t}{H_{t0}} = \lambda^2 \right. \qquad \frac{H_m}{H_{m0}} = \lambda^2 = \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{2/3} \Rightarrow H_m = \frac{H_{m0}}{Q_0^{2/3}} \cdot Q^{2/3} \qquad H_m = k' \cdot Q^{2/3}$$



Curva de ptos homólogos (de igual η que la bomba en el pto H_0, Q_0) con distintos diámetros exteriores D_2

Cuando en la bomba tenga un rodete de diámetro D_{21}, proporcionará H_1 y Q_1 para que el η se mantenga

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (VII)

Ej: ***Recorte del rodete*** con la misma velocidad de giro (I)

Se trata de un procedimiento muy útil y ampliamente utilizado por los fabricantes para adaptar la bomba a un punto de funcionamiento determinado

Consiste en limar la parte exterior del rodete para rebajarlo y así conferir a la bomba las características buscadas

Todos los parámetros de la bomba se mantienen inalterados, excepto el diámetro exterior D_2

Aplicando las relaciones de semejanza:

$$\left.\begin{array}{l} Q_0 = \pi \cdot D_{20} \cdot b_2 \cdot c_{2m0} \\ Q = \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot c_{2m} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{Q}{Q_0} = \frac{D_2}{D_{20}} \cdot \frac{c_{2m}}{c_{2m0}} = \frac{D_2}{D_{20}} \cdot \frac{u_2}{u_{20}} = \frac{D_2}{D_{20}} \cdot \frac{D_2}{D_{20}} = \left(\frac{D_2}{D_{20}}\right)^2$$

$$\left.\begin{array}{l} H_m = \dfrac{u_2 \cdot c_{2u}}{g} \cdot \eta_{man} \\ H_{m0} = \dfrac{u_{20} \cdot c_{2u0}}{g} \cdot \eta_{man} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{H_m}{H_{m0}} = \frac{u_2 \cdot c_{2u}}{u_{20} \cdot c_{2u0}} = \frac{u_2}{u_{20}} \cdot \frac{u_2}{u_{20}} = \left(\frac{u_2}{u_{20}}\right)^2 = \left(\frac{D_2}{D_{20}}\right)^2$$

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas
IEE

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (VII)

Ej: Recorte del rodete con la misma velocidad de giro (I)

Se trata de un procedimiento muy útil y ampliamente utilizado por los fabricantes para adaptar la bomba a un punto de funcionamiento determinado

Consiste en limar la parte exterior del rodete para rebajarlo y así conferir a la bomba las características buscadas

Todos los parámetros de la bomba se mantienen inalterados, excepto el diámetro exterior D_2

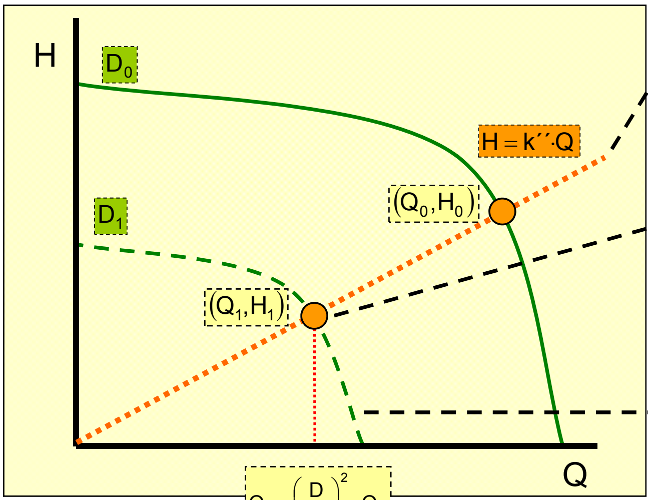
Aplicando las relaciones de semejanza:

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{Q}{Q_0} = \left(\dfrac{D_2}{D_{20}}\right)^2 \\ \dfrac{H_m}{H_{m0}} = \left(\dfrac{D_2}{D_{20}}\right)^2 \end{array}\right\} \quad \frac{H_m}{H_{m0}} = \frac{Q}{Q_0} \longrightarrow H_m = \frac{H_{m0}}{Q_0} \cdot Q \qquad H_m = k'' \cdot Q$$

Línea recta que pasa por el origen

Leyes de Semejanza (XI) | Aplicación (VIII)

Ej: ***Recorte del rodete*** con la misma velocidad de giro (II)



$$Q_1 = \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \cdot Q_0$$

Curva de puntos homólogos a (H_0, Q_0) es decir, de igual rendimiento que el que tiene la bomba en el punto (H_0, Q_0) con D_{20}, con distintos diámetros D_2

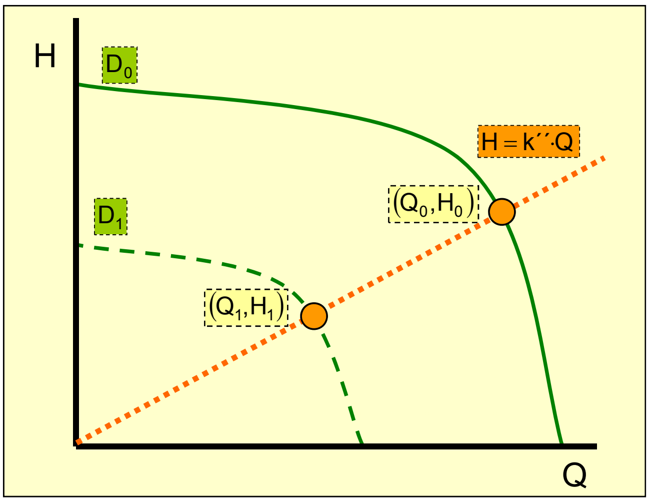
Cuando el rodete tenga un diámetro D_2, deberá proporcionar H_1 y Q_1 para que el rendimiento sea el mismo

Curva de puntos homólogos a una bomba con rodete recortado D_1.

Leyes de Semejanza (XI) | Aplicación (IX)

Ej: ***Recorte del rodete*** con la misma velocidad de giro (III)

Si de desea adaptar un rodete para que proporcione un caudal determinado, entonces:



$$\frac{H_0}{H_1} = \frac{Q_0}{Q_1} = \left(\frac{D_0}{D_1}\right)^2 = \left(\frac{r_{20}}{r_{21}}\right)^2$$

$$r_{20} = r_{21} \cdot \sqrt{\frac{Q_0}{Q_1}}$$

La variación en el tamaño no debe ser mayor del 15%, en caso contrario el η descendería considerablemente

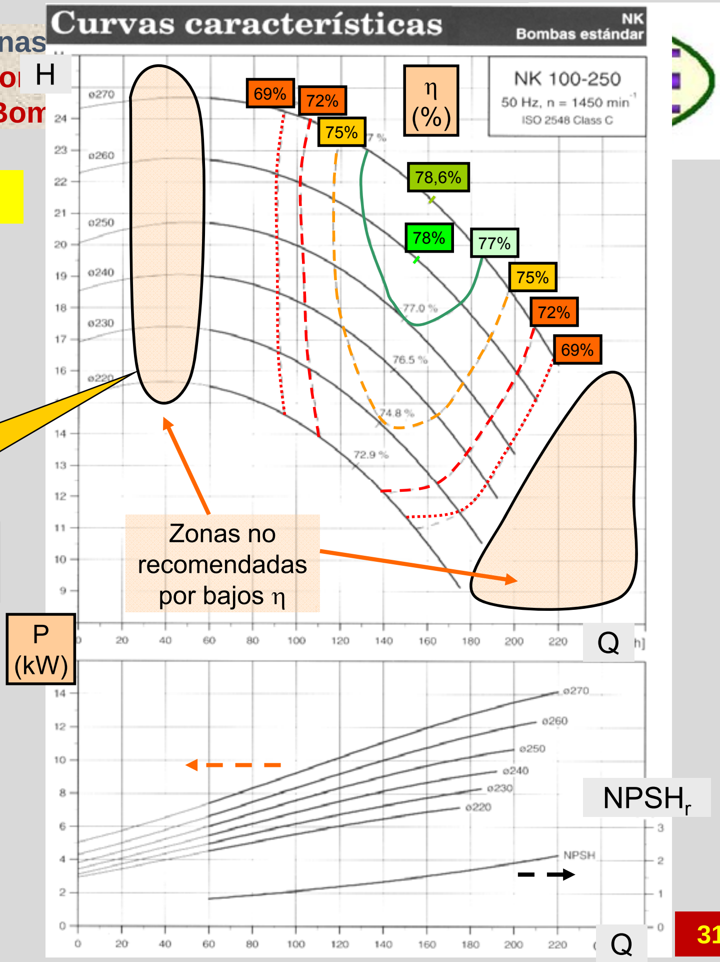
Catálogos de Fabricantes (III)

Ej: Grundfos

Familia de bombas

- Gráfico de selección rápida
- Gráfico de selección

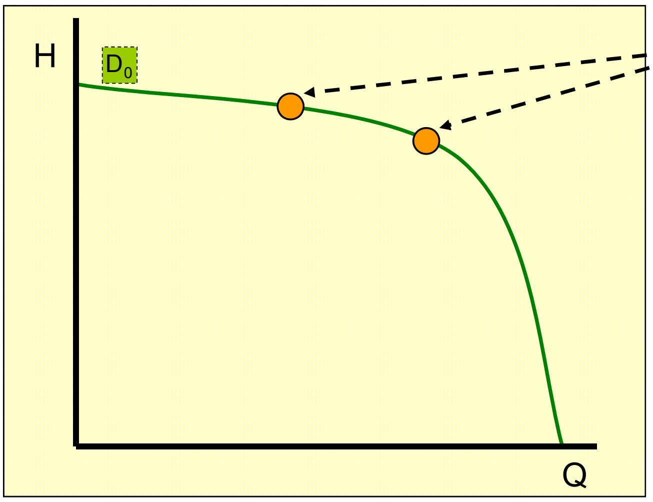
η muy bajos
(las pérdidas de energía calienta el fluido y se favorece la cavitación)



Leyes de Semejanza (XI)

Aplicación (X)

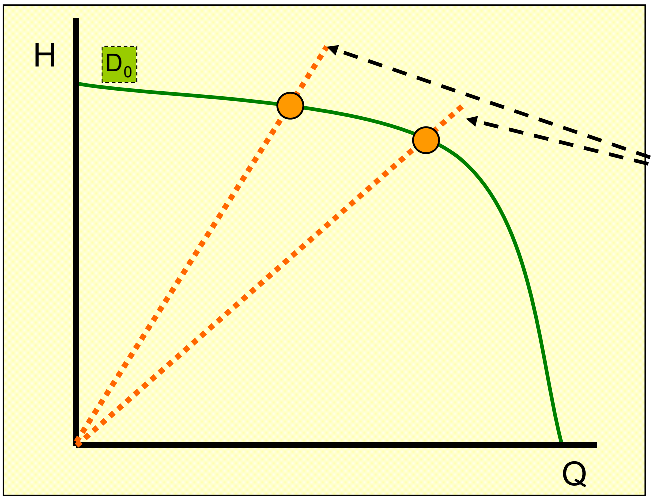
Ej: Si de desea adaptar un rodete para que proporcione un caudal determinado, entonces (I):



Se elige una zona de la curva por encima de un η que se considera como el mínimo admisible

Leyes de Semejanza (XI) Aplicación (XI)

Ej: Si de desea adaptar un rodete para que proporcione un caudal determinado, entonces (I):



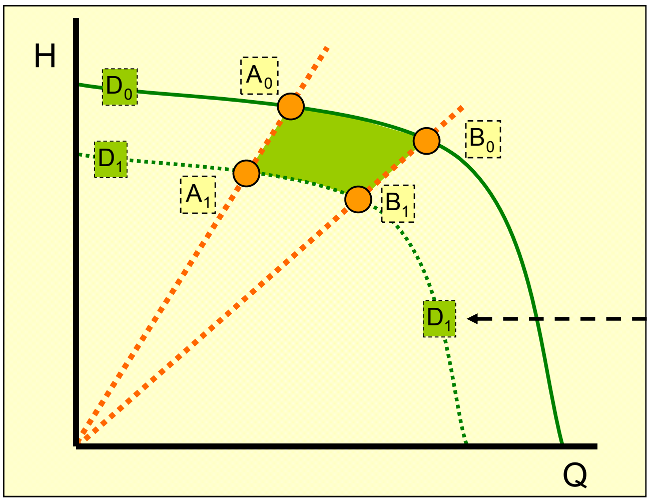
Se elige una zona de la curva por encima de un η que se considera como el mínimo admisible

Los puntos homólogos estarán situados sobre una recta que pasa por ellos y por el origen

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas

Leyes de Semejanza (XI) Aplicación (XII)

Ej: Si de desea adaptar un rodete para que proporcione un caudal determinado, entonces (I):



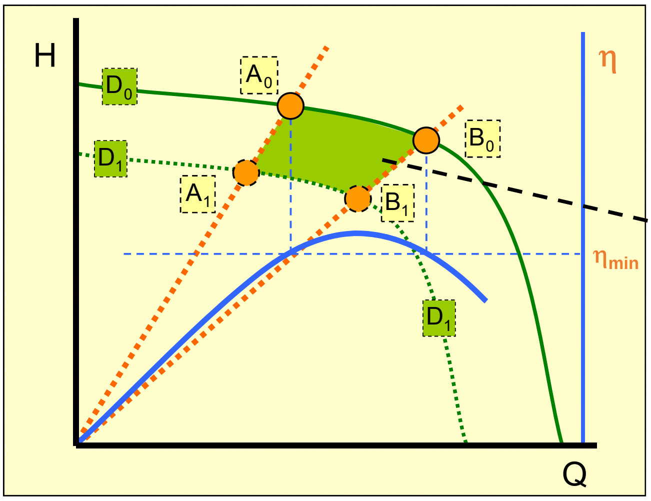
Se elige una zona de la curva por encima de un η que se considera como el mínimo admisible

Los puntos homólogos estarán situados sobre una recta que pasa por ellos y por el origen

Para delimitar la zona tenemos que encontrar el límite inferior, que vendrá fijado por el máximo recorte (entre el 10 y el 15%)

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (XIII)

Ej: Si de desea adaptar un rodete para que proporcione un caudal determinado, entonces (II):

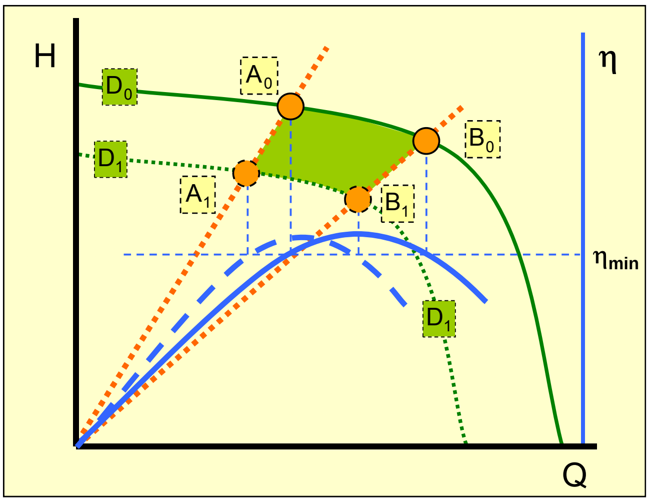


$$\frac{r_{20}}{1{,}15} < r_{21} < r_{20}$$

Zona que la bomba con un rodete de radio exterior r_{20} y η superiores a un mínimo establecido puede trabajar en función del recorte del rodete

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (XIV)

Ej: Si de desea adaptar un rodete para que proporcione un caudal determinado, entonces (III):



$$\frac{r_{20}}{1{,}15} < r_{21} < r_{20}$$

$$\text{Si}: \quad r_{21} = 0{,}88 \cdot r_{20}$$

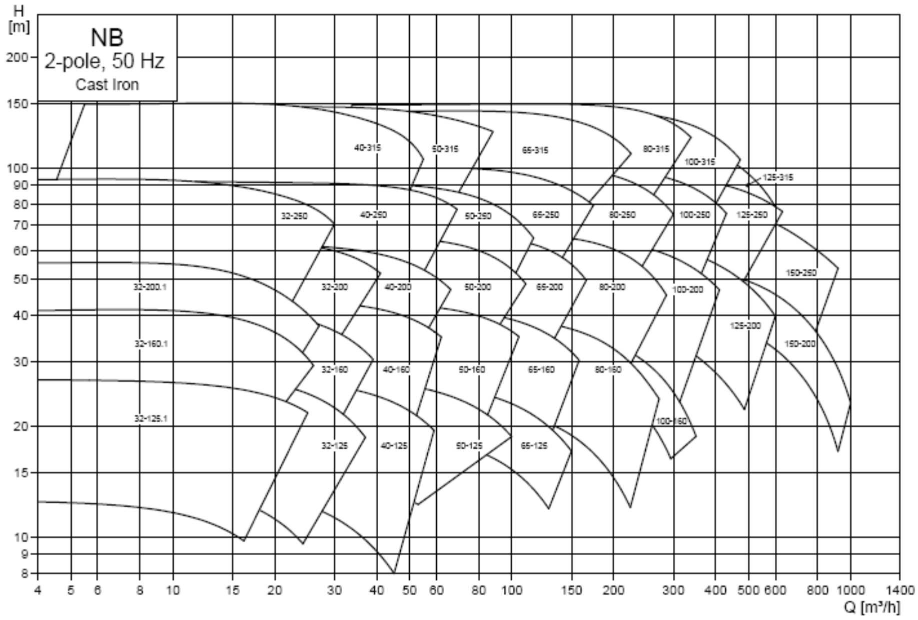
$$\frac{H_0}{H_1} = \frac{Q_0}{Q_1} = \left(\frac{D_0}{D_1}\right)^2 = \left(\frac{r_{20}}{r_{21}}\right)^2 = \left(\frac{r_{20}}{0{,}88 \cdot r_{20}}\right)^2 = 1{,}29$$

$$H_1 = \frac{H_0}{1{,}29} \quad ; \quad Q_1 = \frac{Q_0}{1{,}29}$$

$$H_{A1} = 0{,}774 \cdot H_{A0}$$
$$H_{B1} = 0{,}774 \cdot H_{B0}$$
$$Q_{A1} = 0{,}774 \cdot Q_{A0}$$
$$Q_{B1} = 0{,}774 \cdot Q_{B0}$$

Leyes de Semejanza (XI)   Aplicación (XV)

La aplicación a las selección de bombas (I)



0

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas

Leyes de Semejanza (XI)   Aplicación (XVI)

La aplicación a las selección de bombas (II)

Zona abarcada por una bomba con rodete de diámetro interior 40 mm y diámetro exterior 160 mm en función del recorte que se le haga a éste y en la que el rendimiento de la bomba se mantendrá dentro de unos límites aceptables

Leyes de Semejanza (XI) **Aplicación (XVII)**

La aplicación a las selección de bombas (III)

Los fabricantes no construyen bombas de funcionamiento óptimo para todos los puntos de funcionamiento (H, Q)

Lo que hacen es, con un número relativamente reducido de tipos y tamaños, barrer un gran abanico de posibilidades recortando el rodete garantizando, como se ha visto, que el rendimiento sea óptimo

Así, en los mapas que nos proporcionan los fabricantes, se busca el punto que se requiere de H y Q, el cual caerá dentro de una zona. Lo que se hará es seleccionar dicha bomba y recortar el rodete de modo que proporcione el punto de funcionamiento (H, Q) deseado

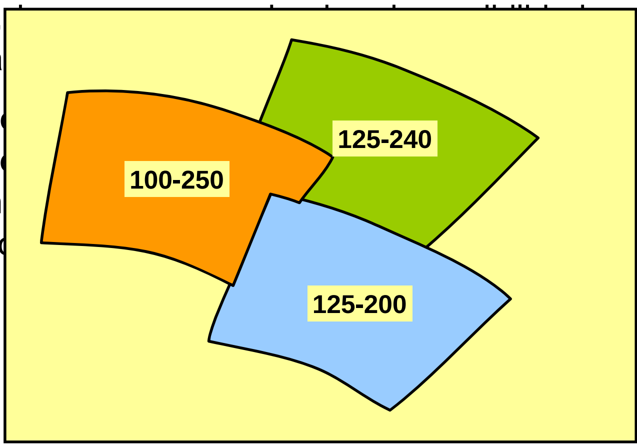
Leyes de Semejanza (XI) **Aplicación (XVII)**

La aplicación a las selección de bombas (III)

Los fabricantes no construyen bombas de funcionamiento óptimo para todos los puntos de funcionamiento (H, Q)

Lo que hacen es, con un número relativamente reducido de tipos y tamaños, recortando el rodete garantiza sea óptimo

Así, en l cantes, se busca el punto qu tro de una zona. Lo que se h r el rodete de modo que propo eseado



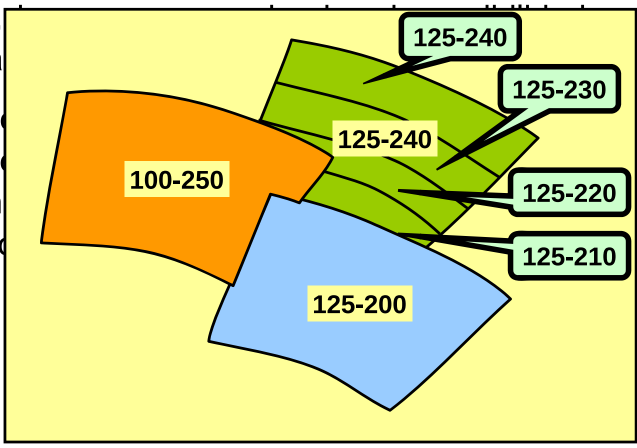
Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (XVII)

La aplicación a las selección de bombas (III)

Los fabricantes no construyen bombas de funcionamiento óptimo para todos los puntos de funcionamiento (H, Q)

Lo que hacen es, con un número relativamente reducido de tipos y tamaños, ... recortando el rodete garantiza ... sea óptimo

Así, en l... cantes, se busca el punto qu... tro de una zona. Lo que se h... r el rodete de modo que prop... eseado

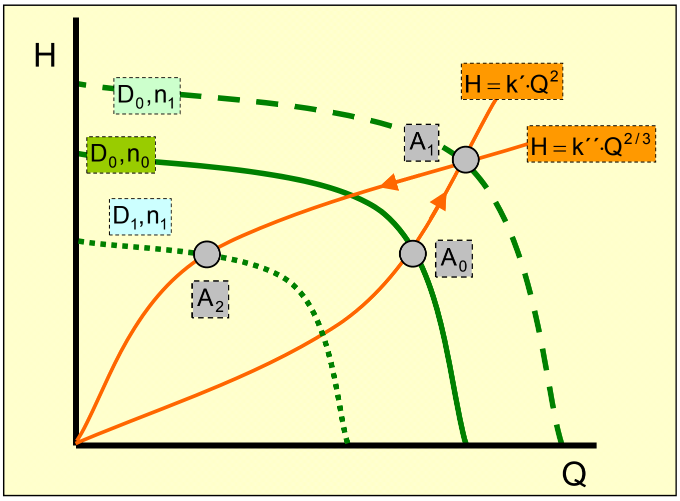


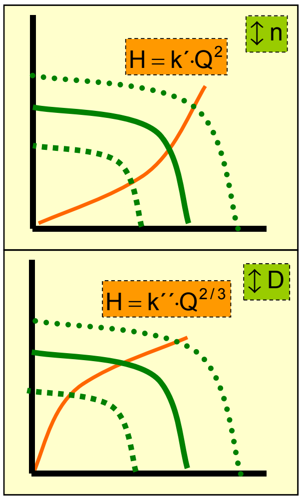
BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas

Leyes de Semejanza (XI) — Aplicación (XVIII)

Cambio del pto de funcionamiento de una bomba con η cte:

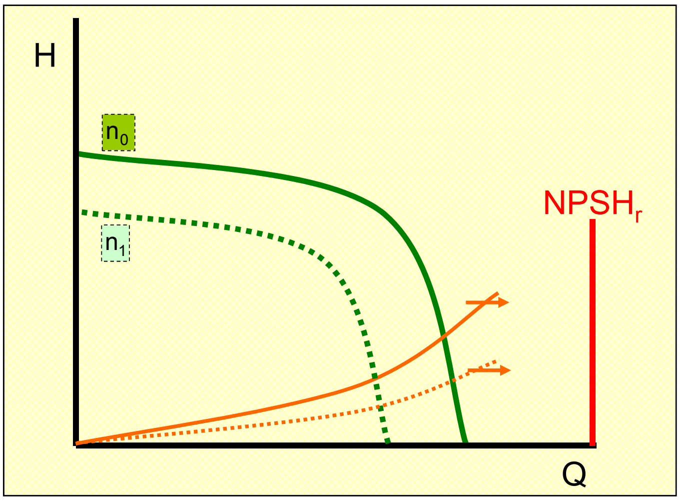
- de A_0 a A_1 variando el nº de revoluciones de n_0 a n_1
- de A_1 a A_2, variando el tamaño de D_0 a D_1 con n_1





Leyes de Semejanza (XI) **Aplicación (XIX)**

Caso del $NPSH_r$ de la bomba al variar la n

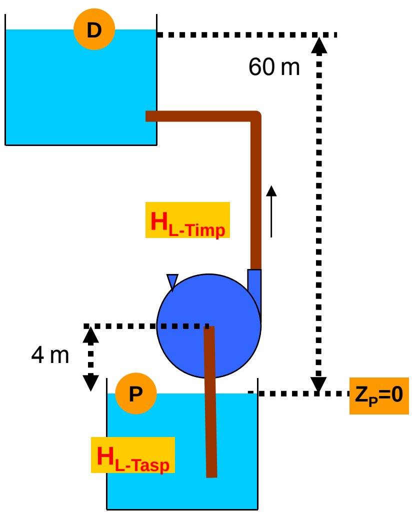


$$\frac{H}{H_0} = \left(\frac{n}{n_0}\right)^2 \Rightarrow \frac{NPSH_r}{NPSH_{r0}} = \left(\frac{n}{n_0}\right)^2$$

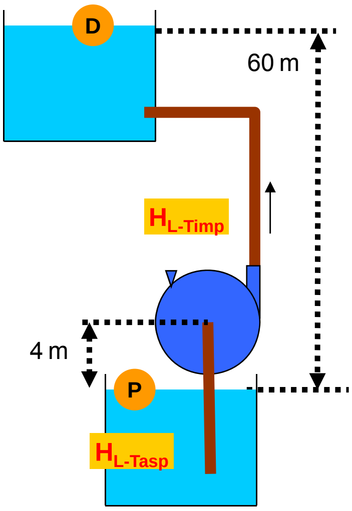
$$NPSH_{r1} = NPSH_{r0} \cdot \left(\frac{n_1}{n_0}\right)^2$$

BLOQUE 1: Máquinas de Fluidos Incompresibles
1.2.- Bombas Hidráulicas
1.2.2.- Bombas Centrífugas

Una bomba centrífuga está situada 4 m por encima del pozo del que aspira agua, y lo eleva otros 56 m hasta un depósito acumulador (son L_{eq}). Las tuberías de aspiración e impulsión son de 150 mm. El rodete tiene a la salida un diámetro de 400 mm y un ancho de 25 mm, siendo los ángulos α_1= 90º y β_2= 30º. Si la bomba gira a 1.450 rpm siendo el η_{man} del 80%, el η_{vol} de 1 y el η_{mec} 85%. calcular el caudal y las presiones en las bridas de aspiración e impulsión

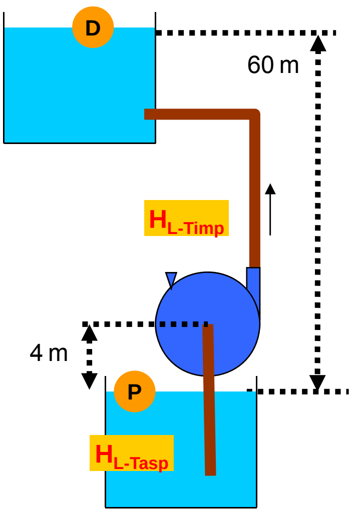


Una bomba centrífuga está situada 4 m por encima del pozo del que aspira agua, y lo eleva otros 56 m hasta un depósito acumulador (son L_{eq}). Las tuberías de aspiración e impulsión son de 150 mm. El rodete tiene a la salida un diámetro de 400 mm y un ancho de 25 mm, siendo los ángulos α_1= 90º y β_2= 30º. Si la bomba gira a 1.450 rpm siendo el η_{man} del 80%, el η_{vol} de 1 y el η_{mec} 85%. calcular el caudal y las presiones en las bridas de aspiración e impulsión



y con ellas comprobar la altura útil

Una bomba centrífuga está situada 4 m por encima del pozo del que aspira agua, y lo eleva otros 56 m hasta un depósito acumulador (son L_{eq}). Las tuberías de aspiración e impulsión son de 150 mm. El rodete tiene a la salida un diámetro de 400 mm y un ancho de 25 mm, siendo los ángulos α_1= 90º y β_2= 30º. Si la bomba gira a 1.450 rpm siendo el η_{man} del 80%, el η_{vol} de 1 y el η_{mec} 85%. calcular el caudal y las presiones en las bridas de aspiración e impulsión



y con ellas comprobar la altura útil

El número de rpm para suministrar el 150% del caudal