

## Funcionamiento real de las bombas

Se define una Potencia efectiva: potencia realmente intercambiada entre la máquina y el fluido, que es menor que la calculada teóricamente.

Causas: existe un único flujo para el cual el ángulo de entrada  $\alpha_1 = 90^\circ$ . Además hay rozamiento del fluido.

### Semejanza dinámica de las bombas

Analogía:

Semejanza geométrica: dos polígonos son semejantes si los ángulos homólogos son iguales y los lados homólogos son respectivamente proporcionales.

Extensión:

Semejanza dinámica: dos sistemas son semejantes si cumplen con la semejanza geométrica y las fuerzas homólogas que actúan sobre cada partícula son respectivamente proporcionales.

El análisis se hace entonces para una determinada geometría de rodete: diseño y número de álabes, relación de radios, etc.

Supongamos que la altura de elevación efectiva,  $H_E$ , es función de:

Q: flujo volumétrico

D: diámetro del rodete

N: velocidad angular de rotación ( $N = \Omega/2\pi$ ) (revoluciones por unidad de tiempo)

$\mu$ : viscosidad del fluido

$\rho$ : densidad del fluido

$$f(H_E, Q, D, N, \mu, \rho) = 0$$

Por el método de análisis dimensional se obtiene una función de los siguientes tres productos adimensionales:

Coeficiente manométrico o de carga:

$$\psi = \frac{gH_E}{N^2 D^2} \quad [4.2.8]$$

Coeficiente de flujo:

$$\phi = \frac{Q}{ND^3} \quad [4.2.9]$$

Número de Reynolds (que caracteriza la velocidad de la bomba, y no del fluido):

$$Re = \frac{\rho N D^2}{\mu} \quad [4.2.10]$$

(u: velocidad tangencial del rotor

$$u = \Omega r_2 = \Omega D/2 = 2 \pi N D/2 = \pi N D$$

pues  $\Omega = 2\pi N$   
 entonces u es proporcional a ND)

La potencia efectiva total:

$$P_E = \rho g Q H_E = \rho N^3 D^5 \phi \psi \quad [4.2.11]$$

Se define un coeficiente de potencia:

$$\tau_E = \frac{P_E}{\rho N^3 D^5} = \phi \psi \quad [4.2.12]$$

También se define un coeficiente de potencia para la potencia consumida:

$$\tau = \frac{P_c}{\rho N^3 D^5} = \frac{\tau_E}{\eta_B} = \frac{\phi \psi}{\eta_B} \quad [4.2.13]$$

O bien:

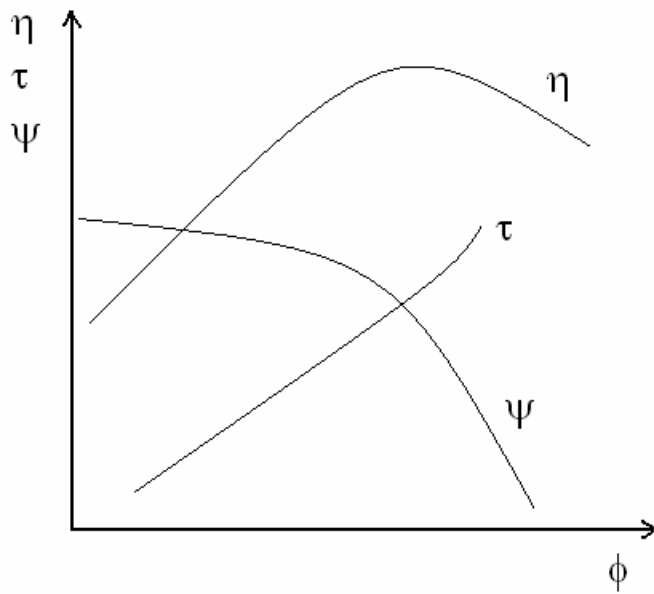
$$\eta_B = \frac{P_E}{P_C}$$

Todos estos coeficientes adimensionales son función de Re y  $\phi$ , pero para números de Reynolds altos, la influencia de Re desaparece y queda:

$$\begin{aligned} \psi &= \psi(\phi) \\ \tau &= \tau(\phi) \\ \eta_B &= \eta_B(\phi) \end{aligned} \quad [4.2.14]$$

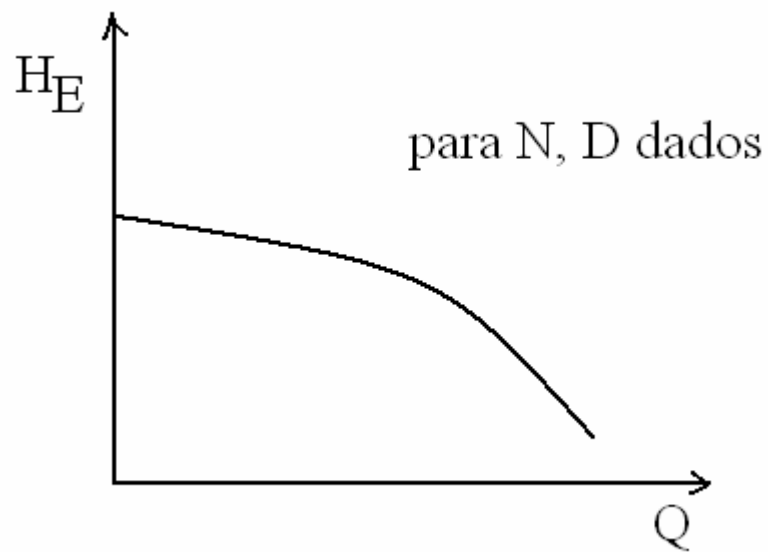
Son las Curvas de Funcionamiento o Curvas de Operación de la bomba.

Confluidos de baja viscosidad, como agua, aire, etc., Re es siempre suficientemente alto para que se cumpla 4.2.14. No ocurre así con líquidos muy viscosos.



Las curvas de funcionamiento se pueden determinar fácilmente, pero generalmente son dato que entrega el fabricante.

En la práctica, las curvas de operación son dimensionales:



### Aplicación de la semejanza dinámica:

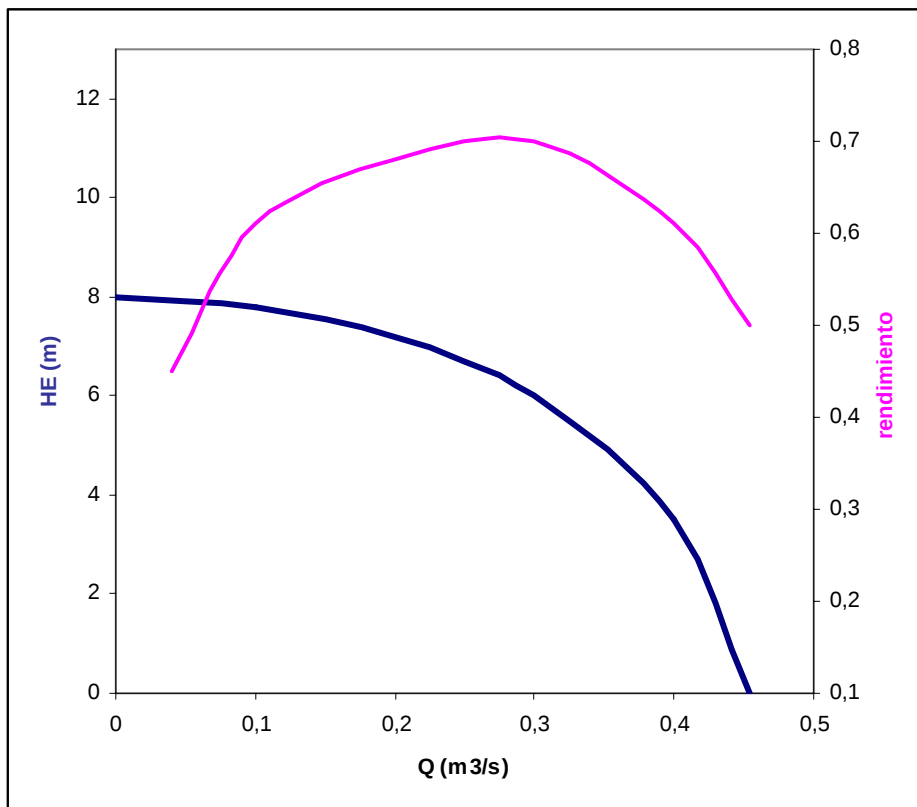
A partir de una curva, se puede encontrar la curva de operación para la misma bomba con otra velocidad de rotación  $N$ , o para una bomba homóloga con otro  $D$ , etc.

**Dos sistemas homólogos tendrán igual  $\phi$  e igual  $\psi$ .**

Ejemplo:

Variación de la velocidad de rotación de una bomba.

Una determinada bomba tiene el funcionamiento de la figura cuando se opera a 600 rpm, accionada por un motor eléctrico de 35 HP. Calcular la curva de funcionamiento para una velocidad de rotación de 800 rpm y la potencia necesaria el motor.



Solución:

Se puede reducir la curva dada a la forma adimensional 4.2.14, y deducir una nueva curva para 800 rpm.

Sea A un punto cualquiera en la curva dada ( $N_A = 600$  rpm), y B el punto homólogo en la curva pedida ( $N_B = 800$  rpm)

Por definición de homólogo:

$$\phi_A = \phi_B \quad [4.2.15]$$

$$\psi_A = \psi_B$$

$$\phi_A = \phi_B \Rightarrow \frac{Q_A}{N_A D^3} = \frac{Q_B}{N_B D^3} \Rightarrow Q_B = Q_A \frac{N_B}{N_A} \quad [4.2.16]$$

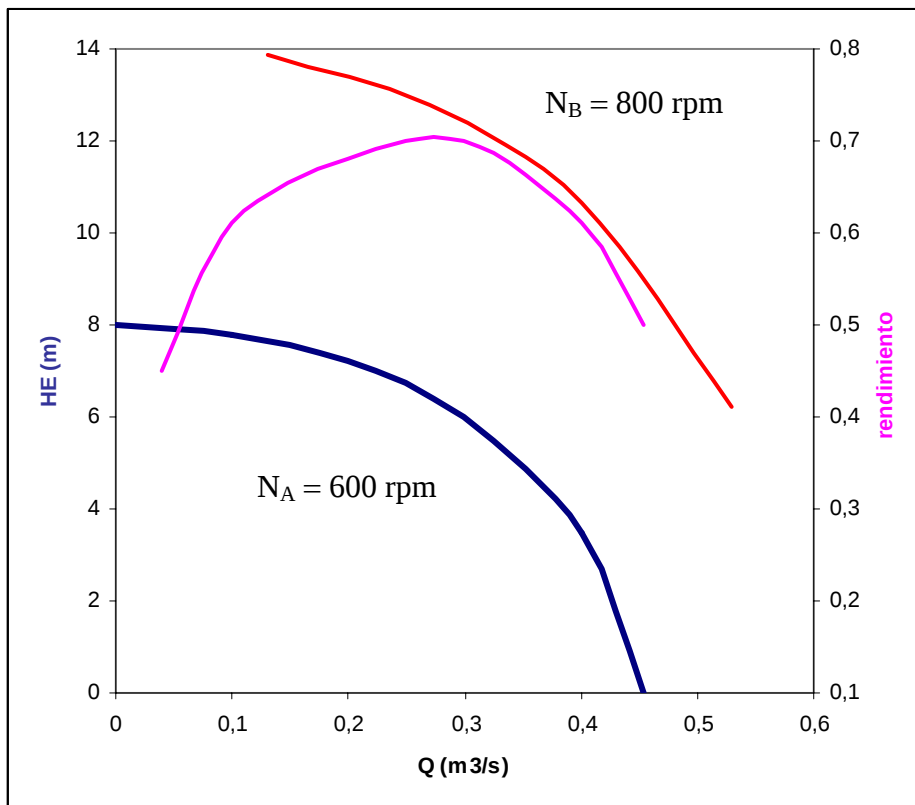
$$\psi_A = \psi_B \Rightarrow \frac{gH_{EA}}{N_A^2 D^2} = \frac{gH_{EB}}{N_B^2 D^2} \Rightarrow H_{EB} = H_{EA} \left( \frac{N_B}{N_A} \right)^2 \quad [4.2.17]$$

Además,

$$P_C = \frac{P_E}{\eta_B} = \frac{\gamma Q H_E}{\eta_B} \quad [4.2.18]$$

| $Q_A$<br>(m <sup>3</sup> /s) | $H_{EA}$<br>(m) | $\eta_B$ | $P_{CA}/\gamma$<br>de 4.2.18 | $Q_B$<br>de 4.2.16 | $H_{EB}$<br>de 4.2.17 | $P_{CB}/\gamma$<br>de 4.2.18 |
|------------------------------|-----------------|----------|------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------|
| 0,1                          | 7,8             | 0,61     | 1,28                         | 0,13               | 13,87                 | 2,96                         |
| 0,2                          | 7,2             | 0,68     | 2,12                         | 0,27               | 12,80                 | 5,08                         |
| 0,3                          | 6,0             | 0,70     | 2,57 *                       | 0,40               | 10,67                 | 6,10 *                       |
| 0,4                          | 3,5             | 0,61     | 2,30                         | 0,53               | 6,22                  | 5,40                         |

El rendimiento es el mismo para los puntos homólogos (igual  $\phi$ )

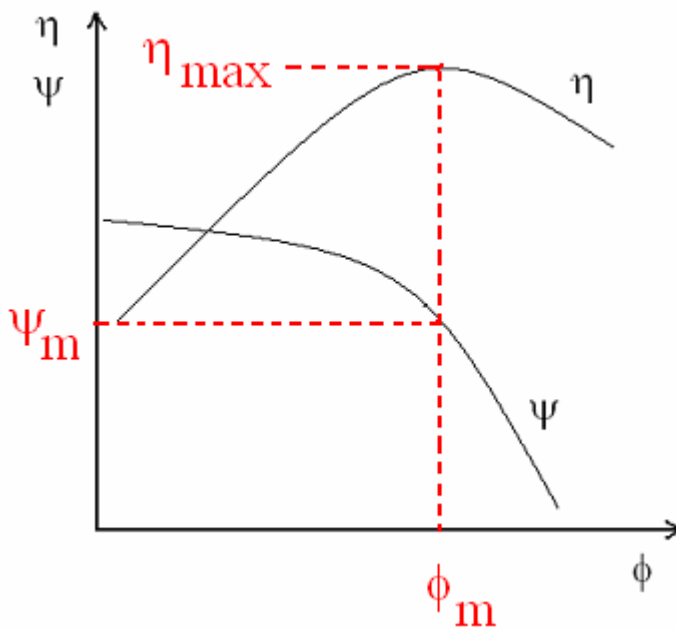


Para la potencia máxima requerida:

Se busca la máxima de cada curva (\*).

$$\frac{P_{CB}}{P_{CA}} = \frac{6,10}{2,57}$$

$$\frac{P_{CB}^*}{P_{CA}^*} = \frac{x}{35} \Rightarrow x = \frac{6,10}{2,57} \times 35HP = 83HP$$



Lo deseable, generalmente, es el rendimiento máximo ( $\eta = \eta_{\max}$ )

$$\phi_m \rightarrow Q_m$$

$$\psi_m \rightarrow H_{Em}$$