Problema 8

8.1Enunciado

Se dispone de una bomba multicelular de eje horizontal con 6 rodetes (curva 30-6), dicha bomba se utiliza para elevar agua entre dos depósitos cuya diferencia de cotas es de 30 m. La presión reinante en dichos depósitos es la atmosférica. En condiciones normales de funcionamiento el sistema trabaja en el punto de máximo rendimiento, estando la válvula del conducto de impulsión 50 % abierta.
Si se abre la válvula por completo, se observa que el caudal circulante por la instalación es de 140 (l/mm) apareciendo en este punto cavitación incipiente en la bomba.

1. Determinar la posición relativa de la brida de aspiración de la bomba respecto el nivel del líquido del depósito inferior y el número de Thoma. Indicar las hipótesis realizadas.
$P_{\text{vapor agua 20 °C}}$ = 0,025 bar.

2. Hallar las ecuaciones de la instalación cuando el sistema empieza a cavitar y cuando funciona en el punto de máximo rendimiento. Determínese el valor de K_v de la válvula en ambos puntos de funcionamiento. En función de los datos hallados determinar el tipo de válvula utilizado.

3. Conociendo que la velocidad de giro de la bomba es de 2500 rpm, las dimensiones de cada rodete son:
diámetro$_2$ = 100 mm,
diámetro$_1$ = 40 mm,
b_2 = 5 mm,
b_1 = 10 mm,
el factor de disminución del trabajo vale 0,8 y
el rendimiento hidráulico 0,97.
Determinar los triángulos de velocidades en la entrada y salida de cada rodete. Considérese entrada radial cuando se trabaja en el punto de máximo rendimiento.

4. Hallar la ecuación diferencial que determina el nivel del liquido en el depósito superior si se conecta un conducto de extracción del liquido del depósito cuya característica es $H = 20 \cdot Q^2$; H (m); Q (l/min). Dicho conducto de extracción tiene un diámetro de 50 mm siendo la cota donde se encuentra la sección de salida a la atmósfera de 27 m.
Considérese la característica de la bomba como $H = 85 - 0{,}0023 \cdot Q^2$; H (m); Q (l/min). Supóngase que el sistema trabaja en el punto de máximo rendimiento.

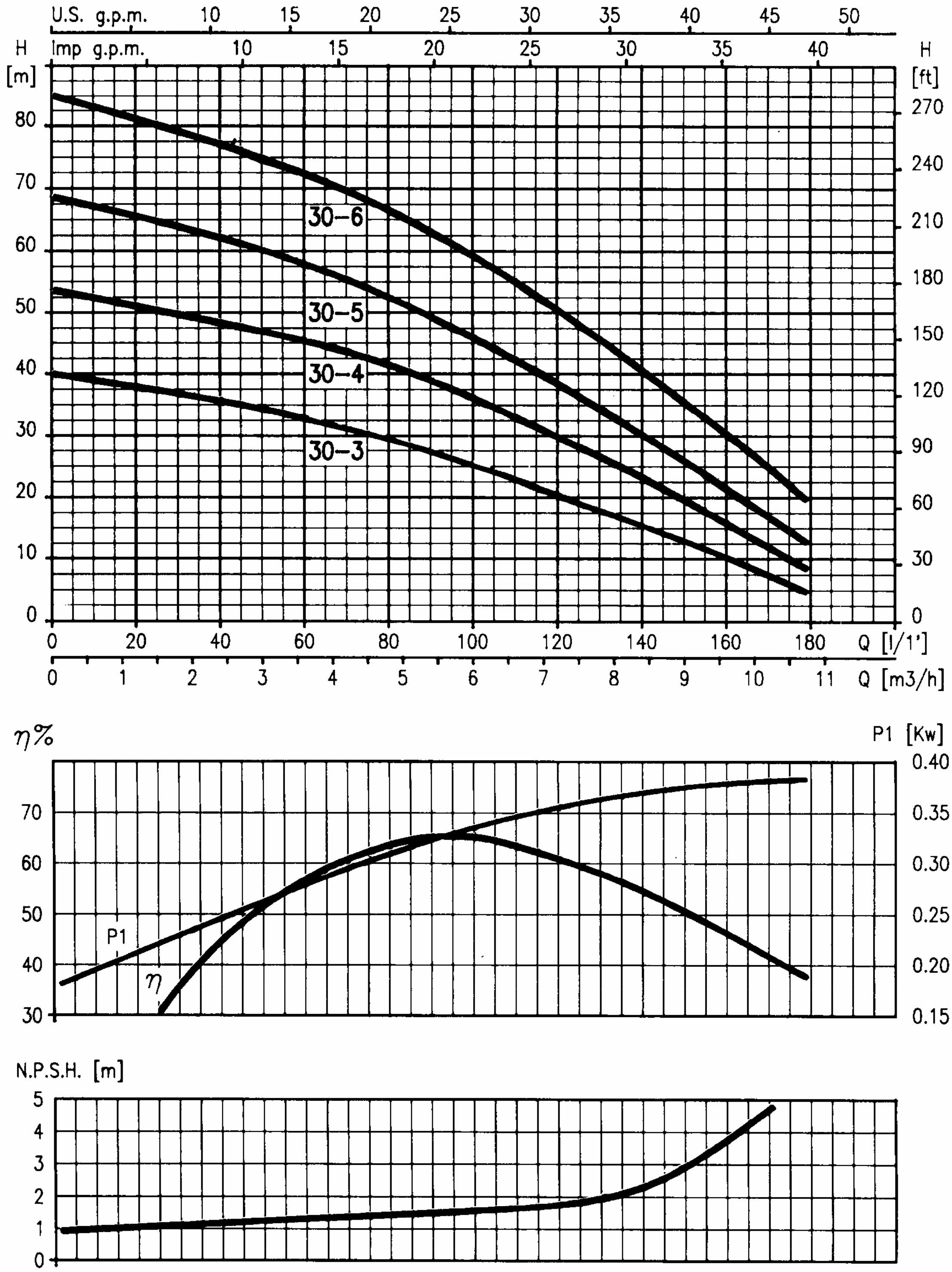


Fig. 8.1 Curvas características de la bomba.

8.2 Resolución

1. En el punto de funcionamiento con la válvula completamente abierta se tiene:

$$H = 40 \text{ m}$$

$$Q = 140 \text{ l/m} = 8,4 \ \frac{m^3}{h}$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre el depósito y la bomba:

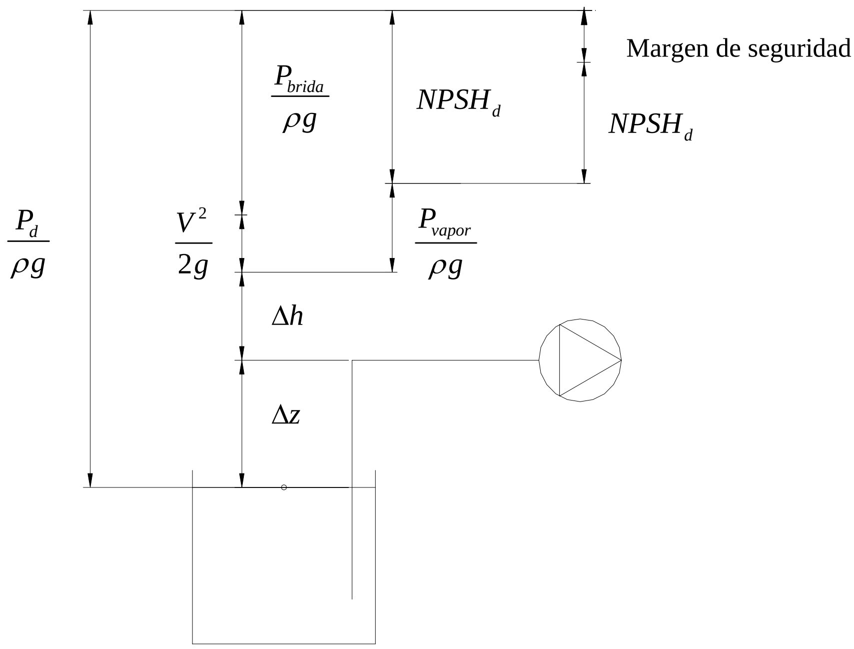


Fig. 8.2

$$\frac{P_d}{\rho \cdot g} = (z_d - z_b) + \Delta h - \frac{V^2}{2 \cdot g} + \frac{P_{brida}}{\rho \cdot g} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{c} (z_d - z_b) = \Delta z \\ \frac{V^2}{2 \cdot g} + \frac{P_{brida}}{\rho \cdot g} = NPSHd + \frac{P_v}{\rho \cdot g} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta z = \frac{P_d}{\rho \cdot g} - \Delta h - NPSH_d - \frac{P_v}{\rho \cdot g};$$

De la figura 81.1 para el punto de funcionamiento con la válvula totalmente abierta se obtiene un $NPSH_d = 2,4$ m.

Como hipótesis se va a suponer que Δh es despreciable: $P_v\Big|_{H_2O\,20°C} = 0,025$ bar ;

$$\Delta z = \frac{10^5}{1000 \cdot 9,8} - \frac{0,025 \cdot 10^5}{1000 \cdot 9,8} - 2,4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta z = 10,2 - 0,25 - 2,4 = 7,5\,\text{m}$$

Cuando la bomba este situada a 7,5 m por encima del nivel del depósito inferior, aparecerá cavitación incipiente.

Con $NPSH_d$ tomado de tablas para 140 l/m (punto donde aparece cavitación), y teniendo en cuenta que la bomba tiene 6 rodetes, el número de Thoma (σ) se calcula:

$$\sigma = \frac{NPSHd}{H} = \frac{2,4}{40/6} = 0,36\,;$$

2. Los dos puntos de funcionamiento son (datos obtenidos de las gráficas):

$$\left.\begin{matrix} H = 40\,\text{m} \\ Q = 140\ {}^{l}\!/_{min} \end{matrix}\right| (\text{valvula abierta } 100\%) \qquad \left.\begin{matrix} H = 63\ \text{m} \\ Q = 90\ {}^{l}\!/_{min} \end{matrix}\right| (\text{valvula al } 50\%;\ \eta_{MAX})$$

La distancia de cotas entre depósitos es $z = 30$ m .

La curva característica de la instalación cuando la válvula está totalmente abierta (cuando comienza a cavitar) es:

$$H = k \cdot Q^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 40 - 30 = k \cdot 140^2 \Rightarrow k = \frac{10}{140^2};$$

De donde

$$H = \frac{10}{140^2} Q^2 \qquad H = [m]; \quad Q = [\frac{l}{m}]$$

Del mismo modo si la válvula está abierta al 50%:

$$63 - 30 = k \cdot 90^2 \Rightarrow k = \frac{33}{90^2}$$

$$H = \frac{33}{90^2} Q^2 \qquad H = [m]; \quad Q = [\frac{l}{m}]$$

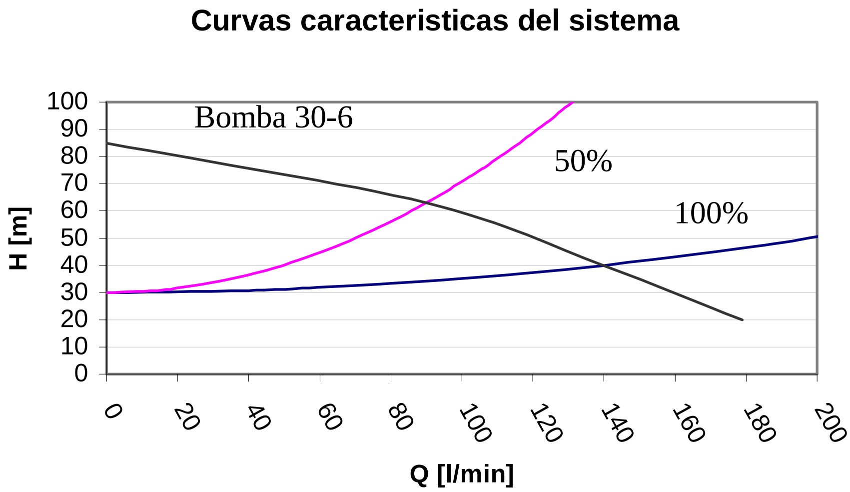


Fig. 8.3 Curvas características del sistema.

Buscando ahora el valor de K_v:

En este punto se va a suponer que puesto que no se dispone de datos del conducto, las pérdidas de carga halladas se concentran en la válvula, con lo cual:

a) Válvula abierta:

$$10,2 = \frac{10}{140^2} K_v^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_v = \sqrt{\frac{10,2 \cdot 140^2}{10}} = 141,34 \ \frac{l}{min}$$

$$K_v = 8,4835 \ \frac{m^3}{h}$$

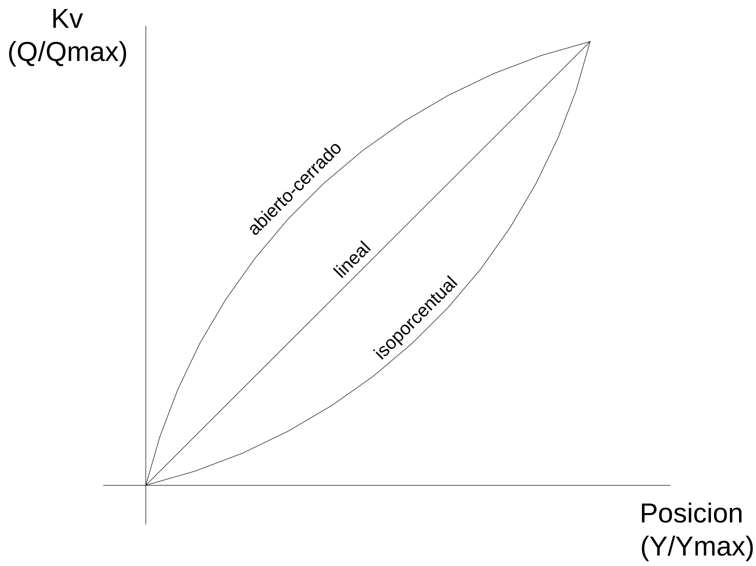
b) Válvula 50% abierta:

$$10,2 = \frac{33}{90^2} K_v^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_v = \sqrt{\frac{10,2 \cdot 90^2}{33}} = 50,036 \ \frac{l}{min}$$

$$K_v = 3,002 \ \frac{m^3}{h}$$

Representando los dos valores de K_v respecto el grado de abertura de la válvula, se obtiene la curva característica inherente de la misma, (ver figura 8.4). Obsérvese que la curva resultante describe una parábola positiva, con lo cual se puede afirmar que la curva resultante es del tipo isoporcentual.



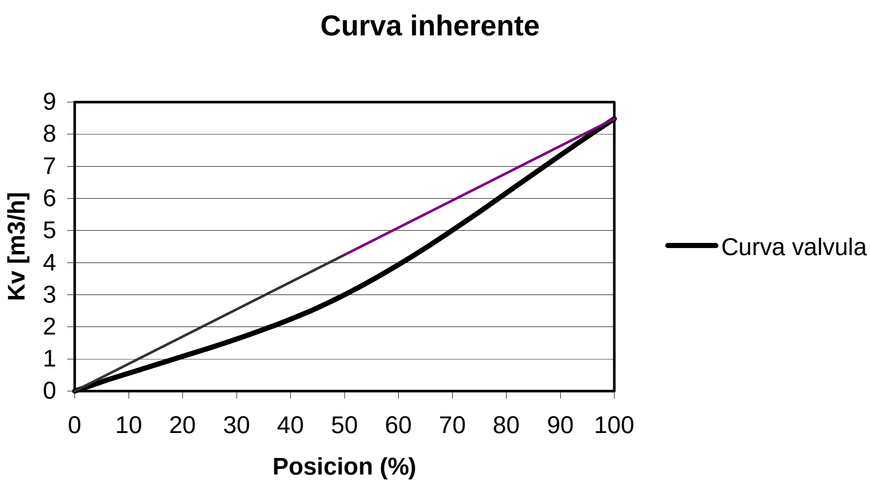


Fig. 8.4 curva característica inherente de la válvula.

3. En el punto de máximo rendimiento se tiene:

$$H = 63 \text{ m}$$
$$Q = 90 \ \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

$$Y_{t\infty} = u_2 \cdot c_{2u} - u_1 \cdot c_{1u} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ puesto que se tiene entrada radial del fluido: $u_1 \cdot c_{1u} = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow Y_{t\infty} = u_2 \cdot c_{2u}$$

Buscando los valores de las componentes de los triángulos de velocidades de entrada y salida:

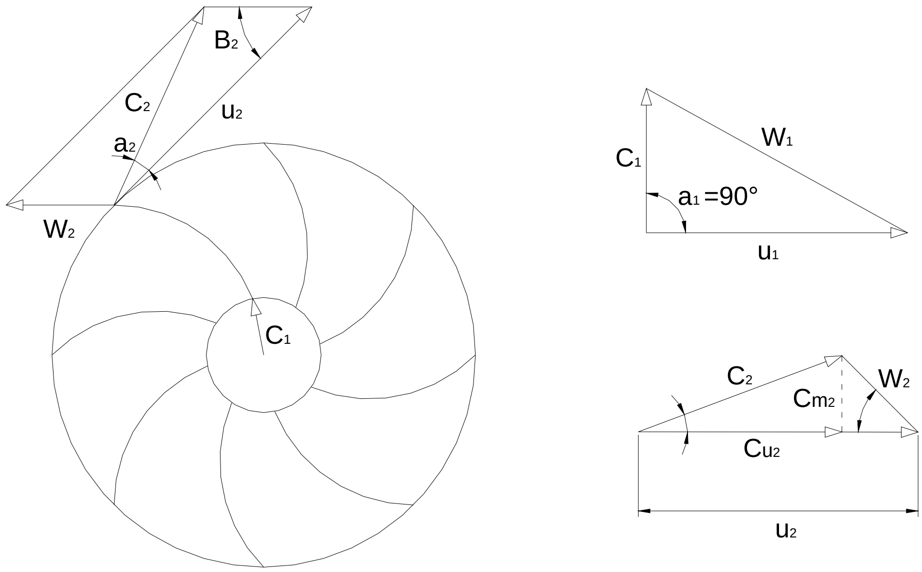


Fig. 8.5 Triángulos de velocidades.

$$C_{1m} = \frac{Q}{s_1} = \frac{90 \cdot \frac{10^{-3}}{60}}{\pi \cdot 0,04 \cdot 0,01} = 0,99 \ \frac{m}{s}$$

$$C_1 = C_{1m} \text{ (por ser entrada radial)}$$

$$C_{2m} = \frac{Q}{s_1} = \frac{90 \cdot \frac{10^{-3}}{60}}{\pi \cdot 0,1 \cdot 0,01} = 0,9549 \ \frac{m}{s}$$

$$u_1 = \omega \cdot r_1 = 2500 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{0,04}{2} = 5,23 \ \frac{m}{s}$$

$$u_2 = \omega \cdot r_2 = 2500 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{0,1}{2} = 13,0 \ \frac{m}{s}$$

$$\frac{Y}{Y_{t\infty}} = e_z \cdot \eta_H \Rightarrow$$