Se pretende instalar una tubería de ƒ200 mm (PVC 0,6 MPa) de 1000 m de longitud, que salva un desnivel geométrico de 20 m y suministra un caudal de 60 l/s.

La longitud equivalente por pérdidas de carga localizadas es de 20 m.

El coeficiente de fricción f es 0.0148.

Las curvas características de una bomba que gira a 1450 rpm y tiene un rodete de ƒ340 mm son las siguientes:

$$H = 41.64 - 1344.14 \cdot Q^2$$

$$\eta = -142.50 \cdot Q^2 + 21.27 \cdot Q$$

donde H se da en m, Q en m^3/s y h en tanto por uno.

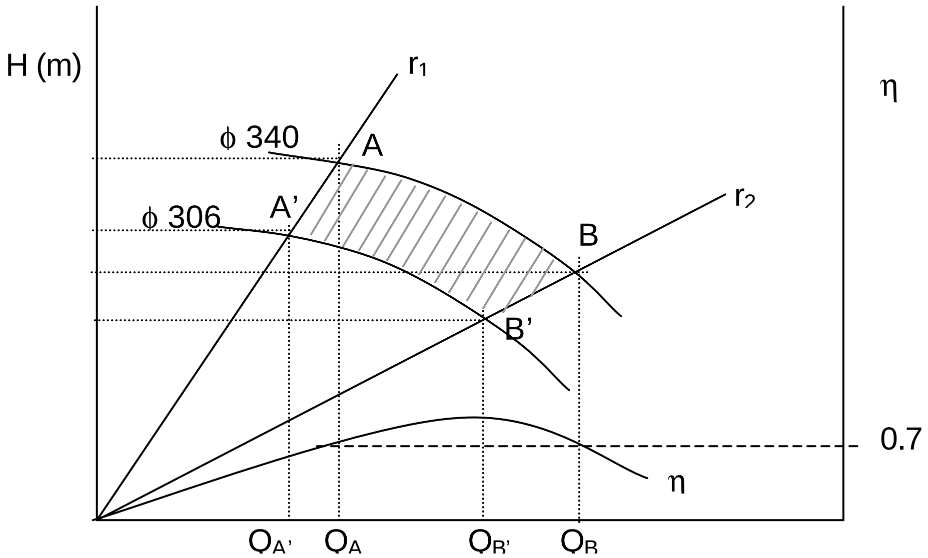
a) *Determinar razonadamente la zona del diagrama H-Q que puede cubrir el fabricante con dicha bomba con la condición de que h no sea inferior al 70% y practicando un recorte del rodete máximo del 10%.*

b) *Determinar la ecuación característica de la instalación (curva resistente), y el punto de funcionamiento del conjunto bomba-impulsión y el rendimiento en esas condiciones.*

c) *Si fuera preciso reducir el caudal a 30 l/s, calcular la disminución de velocidad necesaria.*

d) *En el supuesto de necesitarse en el extremo de la conducción una altura manométrica de 25 mca, indicar el número de rodetes que tendría la nueva bomba, así como el recorte de los mismos tomando como base el rodete originario y el caudal de 60 l/s.*

a) Diagrama H – Q



Hallamos los puntos A y B:

$$\eta = -142.50 \cdot Q^2 + 21.27 \cdot Q$$

$$0.7 = -142.50 \cdot Q^2 + 21.27 \cdot Q$$

$$Q_1 = 0.100 \rightarrow Q_B = 0.100\, m^3/s$$

$$Q_2 = 0.049 \rightarrow Q_A = 0.049\, m^3/s$$

Introduciendo estos valores en la ecuación característica H – Q, se obtiene H_A = 38.41 mca y H_B = 28.20 mca.

Aplicando las Leyes de Semejanza:

$$\frac{H_{A'}}{H_A} = \frac{Q_{A'}}{Q_A} = \frac{\phi^2}{\phi_i^2}$$

$$\frac{H_{B'}}{H_B} = \frac{Q_{B'}}{Q_B} = \frac{\phi^2}{\phi_i^2}$$

$$\frac{\phi^2}{\phi_i^2} = \frac{(\phi_i - 10\% \cdot \phi_i)^2}{\phi_i^2} = \frac{(0.90 \cdot \phi_i)^2}{\phi_i^2} = 0.81$$

luego:

$$\frac{H_{A'}}{H_A} = 0.81 \rightarrow H_{A'} = 0.81 \cdot H_A = 0.81 \cdot 38.41 = 31.11 m$$

$$\frac{Q_{A'}}{Q_A} = 0.81 \rightarrow Q_{A'} = 0.81 \cdot Q_A = 0.81 \cdot 0.049 = 0.040\ m^3/s$$

$$\frac{H_{B'}}{H_B} = 0.81 \rightarrow H_{B'} = 22.84\ mca$$

$$\frac{Q_{B'}}{Q_B} = 0.81 \rightarrow Q_{B'} = 0.081 m^3/s$$

$Q_A = 0.049\ m^3/s$	$H_A = 38.41 mca$
$Q_B = 0.100\ m^3/s$	$H_B = 28.20\ mca$
$Q_{A'} = 0.040\ m^3/s$	$H_{A'} = 31.11 mca$
$Q_{B'} = 0.081 m^3/s$	$H_{B'} = 22.84\ mca$

También podía haberse razonado de la siguiente manera:

Ecuación característica de la bomba con el rodete recortado:

$$H = 41.64 \cdot \lambda^2 - \frac{1344.14}{\lambda^2} \cdot Q^2$$

siendo $\lambda = 0.90 \rightarrow \lambda^2 = 0.81$

luego:

$$H = 33.73 - 1659.43 \cdot Q^2$$

La recta r_1 pasa por los puntos (0,0) y A(0.049,38.41), y su ecuación es:

$$r_1 \equiv H = 783.88 \cdot Q$$

ya que su pendiente $m = \dfrac{38.41}{0.049} = 783.88$

El punto A' es la intersección entre la curva H – Q con el rodete recortado y la recta r_1, y se calcula resolviendo el sistema planteado entre sus ecuaciones:

$$1659.43 \cdot Q^2 + 783.88 \cdot Q - 33.73 = 0$$

$$Q = Q_{A'} = 0.040\, m^3 / s$$

El punto B' se obtendría de forma análoga con la recta r_2.

b) Ecuación característica de la instalación y punto de funcionamiento

$$h = 0.0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L$$

$$h_T = 0.0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot (L + L_e)$$

$$h_T = 0.0826 \cdot 0.0148 \cdot \frac{Q^2}{0.1882^5} \cdot 1020$$

$$h_T = 5281 \cdot Q^2$$

Como $H = H_g + \underbrace{K \cdot Q^2}_{h_T} \rightarrow K = 5281$

luego la curva resistente será:

$$H = 20 + 5281 \cdot Q^2$$

El punto de funcionamiento es la intersección entre la curva característica H – Q y la curva resistente, por lo que se calcula resolviendo el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\left.\begin{array}{l} H = 41.64 - 1344.14 \cdot Q^2 \\ H = 20 + 5281 \cdot Q^2 \end{array}\right\}$$

$$20 + 5281 \cdot Q^2 = 41.61 - 1344.14 \cdot Q^2$$

$Q = 0.057\ m^3/s$ y $H = 37.24$ mca

$$\eta = 21.27 \cdot Q - 142.5 \cdot Q^2 = 0.74$$

c) Disminución de velocidad

$$H = 41.64 - 1344.14 \cdot Q^2$$

$Q' = 30\ l/s = 0.03\ m^3/s$

El punto de funcionamiento será, para este caudal,

$$H = 20 + 5281 \cdot Q^2 = 20 + 5281 \cdot 0.030^2 = 24.75 \text{ mca}$$

P_F (0.030, 24.75)

Curva característica con velocidad variable

$$H = 41.64 \cdot \alpha^2 - 1344.14 \cdot Q^2$$

$$24.75 = 41.64 \cdot \alpha^2 - 1344.14 \cdot 0.030^2$$

$\alpha = 0.79$

$$\alpha = \frac{n}{n_i} \rightarrow 0.79 = \frac{n}{1450} \rightarrow n = 1145\,\text{rpm}$$

d) Rodetes

En esta caso, el término H_g de la curva característica será:

$$H_g = 20 + 25 = 45\,\text{m}$$

$$H = 45 + 5281 \cdot Q^2$$

Para Q = 0.060 m^3/s, H = 64.01 mca es la altura necesaria

Un rodete proporciona, para ese caudal:

$$H = 41.64 - 1344.14 \cdot 0.060^2 = 36.80\,\text{mca}$$

luego serán necesarios:

$$\frac{64.01}{36.80} = 1.74 \rightarrow 2\,\text{rodetes}$$

La ecuación H – Q con n = 2 rodetes será:

$$H = 83.28 - 2688.28 \cdot Q^2$$

Con un recorte $\lambda = \dfrac{\phi}{\phi_i}$, la ecuación H – Q de la bomba multicelular será:

$$H = 83.28 \cdot \lambda^2 - 2688.28 \cdot Q^2$$

El punto de funcionamiento preciso es Q = 0.060 m^3/s y H = 64.01 mca, que introducidos en la ecuación dan un valor de λ = 0.94.

$$\lambda = \frac{\phi}{\phi_i} \rightarrow \phi = 0.94 \cdot 340 = 320\,\text{mm}$$