

que corresponde a una altura de fuel:

$$H'_r = \frac{3,6 \text{ m.c. agua} \cdot 1 \text{ g/cm}^3}{0,9 \text{ g/cm}^3} = 4 \text{ m}$$

Según el teorema de Bernoulli:

$$h_A + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = h_B + \frac{p_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + H'_r$$

Al ser la sección constante: $v_A = v_B$.

Además $h_A = 0$; $h_B = 10 \text{ m}$; $p_B = p_{atm}$. Resulta:

$$\begin{aligned} p_A &= p_{atm} + \rho \cdot g \cdot (h_B + H'_r) = \\ &= p_{atm} + 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (10 \text{ m} + 4 \text{ m}) = p_{atm} + 123\,480 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Si la bomba toma fuel de un depósito a la presión atmosférica, la presión de la bomba será:

$$p = p_A - p_{atm} = 123\,480 \text{ Pa} = \boxed{1,22 \text{ atm}}$$

b) La potencia de la bomba será:

$$P_{\text{bomba}} = p \cdot Q = 123\,480 \text{ Pa} \cdot \frac{100 \text{ m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 3\,430 \text{ W}$$

y la del motor que la acciona:

$$P = \frac{3\,430 \text{ W}}{0,8} = 4\,287,5 \text{ W} \approx \boxed{4,29 \text{ kW}}$$

SOLUCIONES a las Actividades de Síntesis

- Al desplazarse los líquidos en el interior de las conducciones pueden producirse en algunos lugares presiones muy bajas que, si son inferiores o iguales a la presión de vapor del líquido, dan lugar a que éste hierva, formándose burbujas de vapor que son arrastradas por el flujo de fluido hacia otros lugares de mayor presión, convirtiéndose nuevamente en líquido de una forma brusca. Este fenómeno se conoce con el nombre de *cavitación* y trae como consecuencia una corrosión no deseada de las partes móviles de bombas y turbinas.

En efecto, al condensarse las burbujas de vapor, las cavidades que antes ocupaban quedan súbitamente vacías, y son rellenadas bruscamente por el líquido de alrededor. Los impactos del líquido pueden originar presiones muy elevadas (de hasta 1000 bar), lo que equivale a fuertes «pinchazos» que arrancan trozos de material, hasta conseguir su total destrucción. Ha llegado a suceder que la hélice de un trasatlántico haya tenido que ser cambiada después de una sola travesía, pues había sido erosionada por completo por cavitación.

La cavitación suele ir acompañada de vibraciones, y produce un ruido como de «piedras rodando». Un material que haya estado sometido a cavitación ofrece una superficie rugosa, como la de un terrón de azúcar mojado.

- Si el émbolo desciende con velocidad constante ($a = 0$), ello se debe a que la fuerza de viscosidad, F , es igual y de sentido contrario al peso del émbolo. Por lo tanto:

$$F = m \cdot g = 200 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 1\,960 \text{ N}$$

Aplicando la ley de Newton para la viscosidad

$$\left(\frac{F}{S} = \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y} \right), \text{ resulta: } \Delta v = \frac{F \cdot \Delta y}{S \cdot \mu}$$

En la expresión anterior S es la superficie lateral del émbolo, en la que actúa la fuerza de viscosidad

$$\begin{aligned} (S &= 2\pi \cdot R \cdot h = \\ &= 2\pi \cdot 12,5 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} = 2\,356,2 \text{ cm}^2 = 0,23562 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

Δy el espesor de la capa de aceite existente entre el émbolo y el cilindro ($\Delta y = 0,01 \text{ cm} = 10^{-4} \text{ m}$), y $\Delta v = v - v'$, la diferencia de velocidad entre la capa de fluido en contacto con

el émbolo móvil (v) y la que se encuentra en contacto con la pared fija del cilindro ($v' = 0$). Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \Delta v &= v - v' = v = \frac{1\,960 \text{ N} \cdot 10^{-4} \text{ m}}{0,23562 \text{ m}^2 \cdot 8,2 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2} = \\ &= 0,101 \text{ m/s} = \boxed{10,1 \text{ cm/s}} \end{aligned}$$

- La viscosidad cinemática, en stokes, es:

$$\begin{aligned} \nu &= \left(0,0731 \text{ }^\circ\text{E} - \frac{0,0631}{^\circ\text{E}} \right) \text{St} = \left(0,0731 \cdot 20 - \frac{0,0631}{20} \right) \text{St} = \\ &= 1,459 \text{ St} = 1,459 \text{ cm}^2/\text{s} \end{aligned}$$

y la viscosidad dinámica valdrá:

$$\begin{aligned} \mu &= \nu \cdot d = 1,459 \text{ cm}^2/\text{s} \cdot 0,95 \text{ g/cm}^3 = \\ &= 1,39 \text{ g/(cm} \cdot \text{s)} = \boxed{0,139 \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}} \end{aligned}$$

- Al dilatarse una arteria aumenta su sección, y la velocidad de la sangre disminuye, de acuerdo con la ecuación de continuidad. Aplicando a continuación el teorema de Bernoulli se deduce que la presión de la sangre en la arteria dilatada ha de aumentar.

- a) Aplicando la ecuación de continuidad ($S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$) a las zonas ancha y estrecha de la tubería, siendo S_1 y v_1 la sección y la velocidad en la zona ancha y S_2 y v_2 los valores correspondientes en la estrecha, resulta:

$$\begin{aligned} v_2 &= v_1 \cdot \frac{S_1}{S_2} = v_1 \cdot \frac{\pi D_1^2/4}{\pi D_2^2/4} = v_1 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 = \\ &= 1,2 \text{ m/s} \cdot \left(\frac{15 \text{ cm}}{7,5 \text{ cm}} \right)^2 = \boxed{4,8 \text{ m/s}} \end{aligned}$$

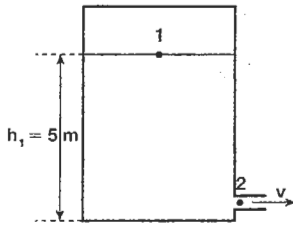
b) El caudal será:

$$\begin{aligned} Q &= S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = \pi \frac{D_1^2}{4} \cdot v_1 = \pi \cdot \frac{(0,15 \text{ m})^2}{4} \cdot 1,2 \text{ m/s} = \\ &= 0,0212 \text{ m}^3/\text{s} = \boxed{21,2 \text{ L/s}} \end{aligned}$$

- Según se ha explicado en la respuesta a la actividad de síntesis número 4, una manera posible de aumentar la presión del agua sería emplear una tubería de mayor sección.

7. Apliquemos el teorema de Bernoulli a los puntos 1 (nivel del agua en el depósito) y 2 (orificio):

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$



Tengamos en cuenta que:

$$p_1 = p_{m1} + p_{atm}$$

$$p_{m1} = 0,3 \text{ kp/cm}^2 = 2,94 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$h_1 = 5 \text{ m}$$

$$v_1 = 0 \text{ (pues el nivel del agua en el depósito baja muy lentamente)}$$

$$p_2 = p_{atm}$$

$$h_2 = 0$$

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Sustituyendo, resulta:

$$p_{m1} + p_{atm} + 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 5 \text{ m} = p_{atm} + \frac{1}{2} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot v_2^2 \Rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{p_{m1} + 4,9 \cdot 10^4 \text{ Pa}}{500 \text{ kg/m}^3}} = \sqrt{\frac{(2,94 \cdot 10^4 + 4,9 \cdot 10^4) \text{ Pa}}{500 \text{ kg/m}^3}} = \boxed{12,52 \text{ m/s}}$$

8. Téngase en cuenta que la ecuación de continuidad ($S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$) se cumple siempre que el flujo sea estacionario y el fluido incompresible. Por tanto, para una tubería de sección constante el caudal también será constante, con independencia de que el régimen sea laminar o turbulento.

9. a) El caudal de la bomba será:

$$Q = \frac{40 \text{ cm}^3}{1 \text{ rev}} \cdot \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1800 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = \boxed{1,2 \text{ L/s}}$$

- b) A cada vuelta del cabrestante, el desplazamiento que experimenta el motor hidráulico es:

$$1 \text{ vuelta} \cdot \frac{0,15 \pi \text{ m}}{1 \text{ vuelta}} = 0,15 \pi \text{ m} = \boxed{15 \pi \text{ cm}}$$

- c) La velocidad del pistón del motor hidráulico, que es la misma que la de cualquier punto de la periferia del cabrestante, será:

$$v = \frac{15 \pi \text{ cm}}{1 \text{ vuelta}} \cdot \frac{360 \text{ vueltas}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 90 \pi \text{ cm/s}$$

y la sección de dicho pistón:

$$S = \frac{Q}{v} = \frac{1200 \text{ cm}^3/\text{s}}{90 \pi \text{ cm/s}} = 4,244 \text{ cm}^2 = 4,244 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

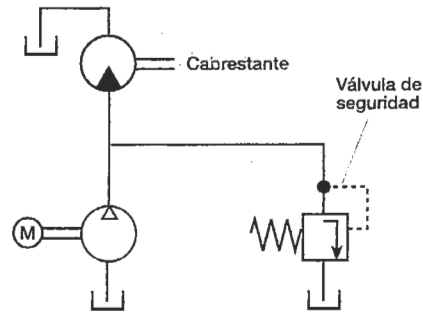
La carga máxima que puede suspenderse del cabrestante corresponde a una presión máxima de

$$35 \text{ bar} \cdot \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

y su valor será:

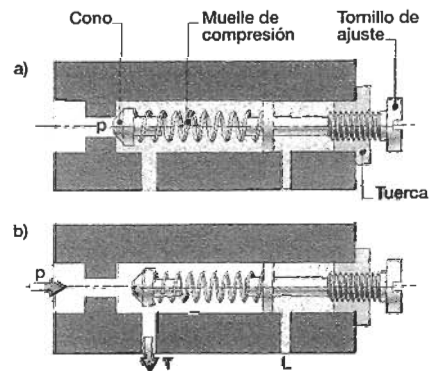
$$F = p \cdot S = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 4,244 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \boxed{1485,4 \text{ N}}$$

- d) El esquema de la instalación hidráulica anterior, empleando símbolos normalizados, podría ser el siguiente:



10. Para la respuesta a esta actividad, véanse las páginas 311-312 del texto (Unidad didáctica 16).

11. La válvula limitadora de presión que se coloca inmediatamente detrás de la bomba en los circuitos hidráulicos tiene como misión evitar que la presión de trabajo supere un valor máximo, el cual se puede ajustar previamente. De esta manera, la válvula protege a la instalación contra posibles accidentes provocados por una presión excesiva. Por este motivo, recibe también el nombre de válvula de seguridad.



Consta de un cono que, al ser empujado por un muelle, actúa de obturador, cerrando el paso del líquido (posición cerrada). El muelle comprimido ejerce contra el cono una fuerza elástica cuyo valor se puede ajustar por medio de un tornillo. Por su parte, el líquido actúa sobre el cono con una fuerza $F = p \cdot S$, siendo S la sección del cono y p la presión manométrica del líquido. Cuando esta fuerza sobrepasa a la del muelle, el cono abandona su posición de equilibrio, dejando un orificio anular por donde escapa el líquido en dirección al depósito (posición abierta de la válvula).

12. Circuito hidráulico que acciona un cilindro de doble efecto desde dos pulsadores diferentes, de forma que pulsando uno cualquiera de ellos el pistón se mueva hacia arriba y vuelva otra vez hacia abajo esperando una nueva pulsación.

