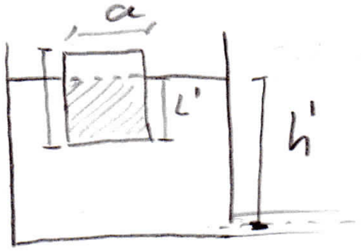
SOLUCIONES

1 a) Con la válvula cerrada, el sistema es estático. En este caso, como todos los apar- verticales están abiertas a la misma atmósfera, $\boxed{h_1 = h_2 = h}$

b) Al apagar el bloque de hielo, este flotará, desplazando cierta cantidad de agua, modificando la altura $h \rightarrow h'$. Debemos determinar h'.

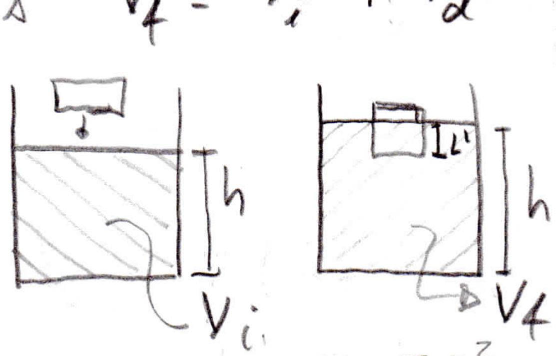
El hielo flotará, ya que $\rho_h < \rho_a$



Del principio de Arquímedes, el peso del cuerpo es igual al empuje.

$$\cancel{g}\,\underbrace{\rho_h \cdot \cancel{a} \cdot L}_{M_h} = \underbrace{\rho_a \cdot \cancel{a} \cdot L' \cancel{g}}_{E}$$

$L' = \frac{\rho_h}{\rho_a} L$. El volumen desplazado es $V_d = \pi R_h^2 L'$. El volumen final es $V_f = V_i + V_d \Rightarrow \frac{\cancel{\pi} D_T^2}{\cancel{4}} h' = \frac{\cancel{\pi} D_T^2}{\cancel{4}} h + \frac{\cancel{\pi} D_h^2}{\cancel{4}} L'$



$V_f = \frac{\pi D_T^2}{4}$

Substituyendo L'

$$h' = h + \frac{\rho_h}{\rho_a}\left(\frac{D_h}{D_T}\right)^2 L$$

$$\boxed{h' = 33{,}37 \text{ cm}}$$

Como la válvula continúa cerrada,

$h' = h_1 = h_2$ $\qquad P_{valv} = P_0 + \rho_a g h'$
$= 104,6\ kPa$

c) Empieza el flujo con el tanque lleno hasta h'.

Aplico Bernoulli entre entrada y salida, ambos puntos a P_0

$$\cancel{P_0} + \rho_a g h' + \frac{1}{2}\rho_a v_1^2 = \cancel{P_0} + \cancel{\rho_a g \cdot h''} + \frac{1}{2}\rho_a v_s^2$$

$$\cancel{\rho_a} g h' = \frac{1}{2}\cancel{\rho_a}\left(v_s^2 - v_1^2\right)$$

Ec. Continuidad : $\quad \frac{\cancel{\pi} D_T^2}{\cancel{4}} v_1 = \frac{\cancel{\pi} d_1^2}{\cancel{4}} v_s$

$$v_1 = \left(\frac{d_1}{D_T}\right)^2 v_s$$

$$2gh' = v_s^2\left[1 - \left(\frac{d_1}{D_T}\right)^4\right]$$

$$\Rightarrow \quad v_s = \sqrt{\frac{2gh'}{\left(\frac{d_1}{D_T}\right)^4 - 1}} = 2,56\ m/s$$

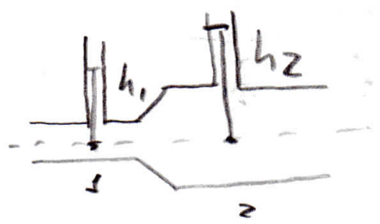
d) Por la ec. de continuidad:

$$\frac{\pi}{4} d_1^2 v_1 = \frac{\pi}{4} d_2^2 v_2 \quad \Rightarrow \quad v_1 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 v_2$$

$d_2 > d_1 \Rightarrow v_1 > v_2$. El T. de Bernoulli indica mayor v, menor P. Luego $P_1 < P_2 \Rightarrow h_1 < h_2$

Ec. de Bernoulli.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$



$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho[v_2^2 - v_1^2]$$

Por otro lado, $P_1 = P_0 + \rho g h_1$

$$P_2 = P_0 + \rho g h_2$$

$$P_1 - P_2 = \rho g (h_1 - h_2)$$

$$\cancel{\rho} g(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}\cancel{\rho}[v_2^2 - v_1^2]$$

$$h_1 - h_2 = \frac{-1}{2g}[v_1^2 - v_2^2] \qquad v_1 = v_S$$

$$v_2 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 v_S$$

$$\Delta h = -\frac{v_S^2}{2g}\left[1 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4\right]$$

$$\Delta h \equiv h_1 - h_2 = -17{,}28 \text{ cm}$$

— " —

$\boxed{2}$ $n = \frac{m}{M} = 0{,}8214$ $P_1 = 500$ kPa ; $V_4 = 5{,}5 \times 10^{-3}\, m^3$; $T_{amb} = 300$K

a)

$C_p = 7/2\, R$

$C_v = 5/2\, R$ $\quad \frac{C_p}{C_v} = \gamma = 1{,}4$

I/ Proceso @ P cte

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{T_2}{V_2} \qquad Q_I = n\, C_p\, (T_2 - T_1)$$

$$Q_I = m_h \cdot L_f$$

$$T_2 - T_1 = \frac{m_h \cdot L_f}{n\, C_p} = -41{,}8 \text{ K}$$ Como el hielo há "derretido", el gas entrega calor,

Así que $T_2 < T_1$! $\qquad T_2 = 273{,}15$ K

$$T_1 = 314{,}9 \text{ K} \qquad V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} = 4{,}3 \text{ lit}$$

II) Proc. @ T cTE $\Rightarrow$ $T_3 = T_2$

$P_3 V_3 = P_2 V_2$ $\quad V_3 > V_2 \Rightarrow P_3 < P_2$

$P_2 = P_1$

$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = 3{,}7 \text{ lt}$$

$$P_3 V_3 = \text{cTE} = 1{,}8654 \times 10^3$$

$$P_3 = \frac{P_2 V_2}{V_3} = 237{,}6 \text{ kPa}$$

III) Proc. Adiabático

$$P_3 V_3^{\gamma} = P_4 V_4^{\gamma} \quad ; \quad T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1}$$

$$T_4 = T_2 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \left(\frac{T_4}{T_2}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = \frac{V_3}{V_4}$$

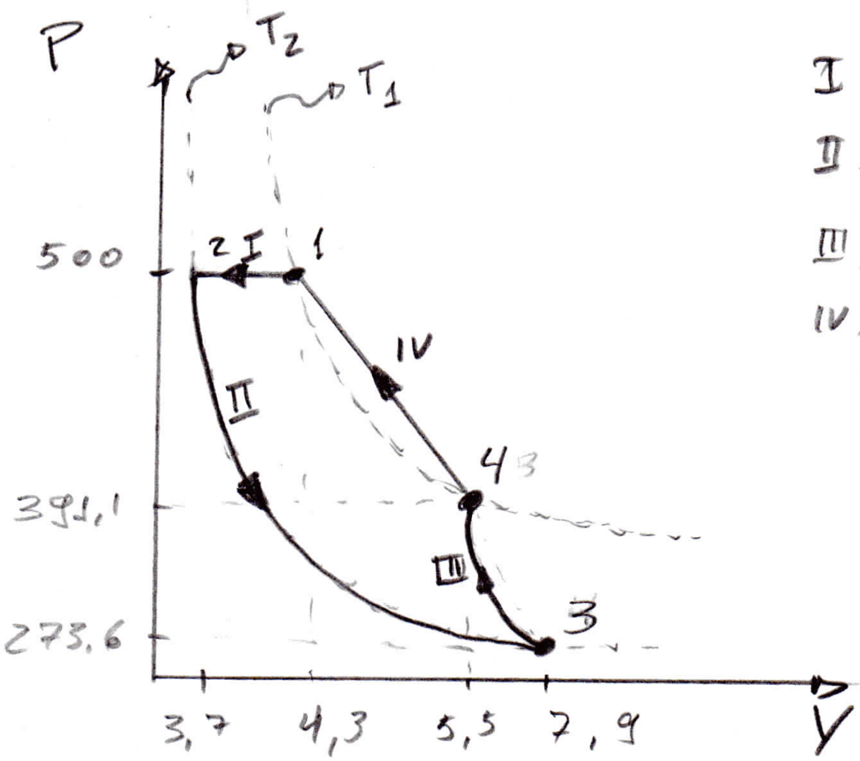
$$V_3 = V_4 \left(\frac{T_4}{T_2}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} = 7{,}9 \text{ lt}$$

IV) Proc. Lineal c/ $\Delta U = 0 \Rightarrow T = \text{cTE}$

$T_4 = T_1 = T_3$ (proceso cíclico)

$$P_4 = \frac{n R T_4}{V_4} = 391{,}07 \text{ kPa}$$

$n = 0{,}8214$ moles	1	2	3	4
P (kPa)	500	500	237,6	391,1
V (lt)	4,3	3,7	7,9	5,5
T(K)	314,9	273,15	273,15	314,9



I) @ Pcte
II) @ Tct
III) Adiabático
IV) Lineal

b) $W = -\int P\,dV$

$W_I = -P(V_2 - V_1) = 285,4 \text{ J} > 0$

$Q_I = n\,C_p(T_2 - T_1) = -999 \text{ J} < 0$

$W_{II} = -nRT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_2}\right) = -1388 \text{ J} < 0$

$\Delta U_{II} = 0 \Rightarrow Q_{II} = -W_{II} = +1388 \text{ J} > 0$

$$W_{III} = \frac{nR(T_4 - T_3)}{\gamma - 1} = 713,6 \text{ J} > 0$$ (6

$$Q_{III} = 0$$

$$W_{IV} = -\int_{V_4}^{V_1} [\alpha V + \beta] \, dV$$

Hay que determinar α y β:

$$P_1 = \alpha V_1 + \beta$$
$$P_4 = \alpha V_4 + \beta$$
$$\Rightarrow \quad \alpha = \frac{P_1 - P_4}{V_1 - V_4} = -9,1 \times 10^{-7}$$
$$\beta = P_4 - \alpha V_4 = 8,9 \times 10^{5}$$

$$W_{IV} = -\frac{\alpha}{2}\left[V_1^2 - V_4^2\right] - \beta(V_1 - V_4) = 533,9 \text{ J} > 0$$

$$\Delta U_{IV} = 0 \Rightarrow Q_{IV} = -W_{IV} = -533,9 \text{ J} < 0$$

$$W_c = \sum_{I}^{IV} W = 144,9 > 0$$

$$Q_c = \sum_{I}^{IV} Q = -144,9 < 0 \quad \checkmark$$

c) $W_c > 0 \Rightarrow$ Refrigerador, PC

Consume trabajo

$$COP = \frac{|Q_L|}{|W_c|}$$

$|Q_L| = |Q_{II}|$ Etapa de entrada de calor $\left\{ \begin{array}{l} Q_I, Q_{IV} < 0 \\ Q_{II} > 0 \\ Q_{III} = 0 \end{array} \right.$

$COP = 9,58$

d) El ciclo es irreversible. No es un ciclo reversible, como el ciclo de Carnot: 2 isotérmicas, 2 adiabáticas.

Los procesos II y III son reversibles. El proc. II es a T cte, luego T del sistema es igual a T de la reserva.

III) $Q_{III} = 0 \Rightarrow \Delta S^{univ}_{III} = 0$

Los procesos I y IV contienen transferencias de calor con diferencias de temperatura entre el sistema y la fuente, llevando a las irreversibilidades.

$$\Delta S_U = \frac{-Q_I}{T_h} - \frac{Q_{II}}{T_h} - \frac{Q_{IV}}{T_{amb}} = 0,36 \text{ J/K}$$

> 0 c.q.d. ✓

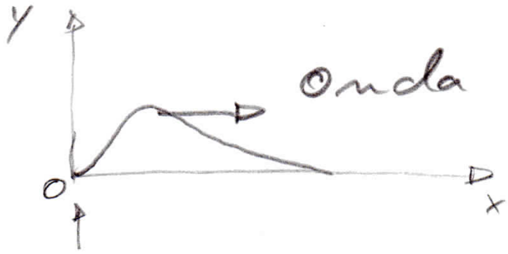
$\Delta S_{ciclo} = 0$

c) I) Deberíamos substituir el ambiente por una reserva a la temperatura T_3, de ese modo el proceso que llevaría de 4 a 1 sería isotérmico y reversible.

II) Si el nuevo proceso es a Temp. cte, el trabajo consumido será menor, luego el COP será mayor, dejando el ciclo más eficiente.

$\boxed{3}$ $\rho = 0{,}5\ kg/m$ $\qquad \tau = 0{,}1\ s$

$T = 50\ N$



Onda viajera

a) $v = \sqrt{\dfrac{T}{\rho}} = 10\ m/s \qquad \lambda \cdot f = v$

$f = \dfrac{1}{\tau} \Rightarrow \lambda = v \cdot \tau = 1\ m$

La ec. de cuerda es

$$y(x,t) = A\cos(kx - \omega t + \varphi)$$

$\omega = 2\pi f = \dfrac{2\pi}{\tau}\ Hz \qquad k = \dfrac{2\pi}{\lambda}\ m^{-1}$

$A = 0{,}02\ m$

Aplicando las condiciones

$$y(0,0) = A\cos\varphi = y_0$$

$$y_0 = 0{,}01\ m \Rightarrow \cos\varphi = \frac{y_0}{A}$$

$$\varphi = \pm \arccos\left(\frac{y_0}{A}\right)$$

$$\left.\frac{\partial y}{\partial t}\right|_{\substack{x=0\\t=0}} = +A\omega\,\text{sen}(kx - \omega t + \varphi)$$

$$= A\omega\,\text{sen}\,\varphi < 0 \Rightarrow$$

$$\varphi = -\arccos\left(\frac{y_0}{A}\right) \Rightarrow \varphi = -\pi/3$$

$$y(x,t) = 0{,}02\cos\left(\frac{2\pi x}{1} - 2\pi\cdot 10t - \frac{\pi}{3}\right)$$

b) $f = \frac{1}{6} = 10\ Hz$

c) $$\dot{W} = \underbrace{-T\cdot\frac{\partial y}{\partial x}}_{\vec{F}}\cdot\underbrace{\frac{\partial y}{\partial t}}_{\vec{v}} \qquad \dot{W} = \text{Potencia}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -Ak\,\text{sen}(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = A\omega\,\text{sen}(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\dot{W} = TA^2k\omega\,\text{sen}^2(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\overline{W} = \frac{TA^2k\omega}{2} = \frac{TA^2f(2\pi)^2}{2\lambda} = 3{,}95\ W$$

d) $L = 10\ m$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \quad ; \; n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow \frac{v}{f_n} = \frac{2L}{n}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$f_n = \frac{n \cdot v}{2L}$$

Si $f_n = 10 \Rightarrow$

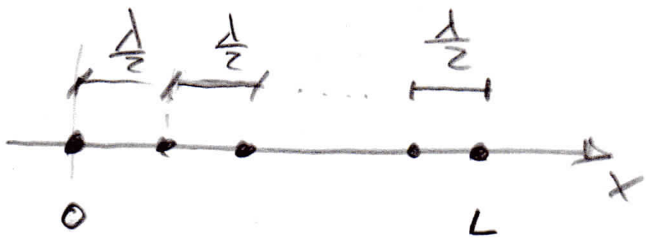
$$n = \frac{f_n \cdot 2L}{v}$$

$n = 20 \rightarrow$ entero,

por lo tanto sí es un armónico.

e) Los nodos ocurren en sus extremos y los demás están distanciados de $\frac{\lambda}{2}$, así que son

21 nodos



f) Como el sistema es simétrico, el punto central siempre será un máximo; los modos posibles son aquellos c/ $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ c/ n impar.

$\lambda_1 = \frac{2L}{1}$; $\lambda_2 = \frac{2L}{3}$, etc.