

1.- La rueda de una locomotora es $r_o = 1$ m a la temperatura de 0° ; Cuál es la diferencia entre el número de rotaciones de la rueda, a lo largo de un recorrido de $L=1000$ km en verano con una temperatura de $t_1= 25^\circ\text{C}$ y en invierno con una temperatura de $t_2= -25^\circ\text{C}$. El coeficiente de dilatación lineal es $\alpha = 2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

La longitud de la rueda en función de la temperatura es

$$L_{t_1} = 2\pi r_o (1 + \alpha t_1) \quad ; \quad L_{t_2} = 2\pi r_o (1 + \alpha t_2)$$

El número de vueltas en $L = 10^6$ m

$$n_1 = \frac{L}{2\pi r_o (1 + \alpha t_1)} \quad ; \quad n_2 = \frac{L}{2\pi r_o (1 + \alpha t_2)}$$

La diferencia

$$n_2 - n_1 = \frac{L}{2\pi r_o} \left[\frac{1}{1 + \alpha t_2} - \frac{1}{1 + \alpha t_1} \right] = \frac{10^6}{2\pi} \left[\frac{1}{1 - 2 \cdot 10^{-5} * 25} - \frac{1}{1 + 2 \cdot 10^{-5} * 25} \right] = 159$$

2.- Un reloj de péndulo funciona perfectamente cuando la temperatura es 15,0°C. Si la temperatura ambiente sube a 30,0°C, calcular ¿cuántos segundos se retrasará al cabo de 24 horas?

La longitud del péndulo a t_{15} es 0,50 m y el coeficiente de dilatación del material con que está hecho es $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Calculamos los periodos

$$T_{15} = 2\pi \sqrt{\frac{0,5}{g}} \quad ; \quad T_{30} = 2\pi \sqrt{\frac{0,5(1 + 2 \cdot 10^{-5} * 15)}{g}}$$

Sustituyendo valores resulta:

$$T_{15} = 1,418503 \text{ s} \quad \text{y} \quad T_{30} = 1,418716 \text{ s}$$

En cada periodo la diferencia de tiempo es $2,13 \cdot 10^{-4} \text{ s}$

$$\frac{1,418503}{2,13 \cdot 10^{-4}} = \frac{24 * 3600}{x} \Rightarrow x = 12,97 \text{ s}$$

Teniendo en cuenta que para hacer el cálculo hemos tomado $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ y el valor del coeficiente de dilatación que está dado con una cifra significativa, el resultado numérico está afectado de esas incertidumbres. Por ello debemos decir que el reloj retrasa aproximadamente unos 13 segundos.

Con los valores dados, la incertidumbre es del orden de

$$\left(\frac{0,01}{9,81} + \frac{0,02}{15} + \frac{0,1}{2,0} \right) \cdot 100 = 5 \%$$

Lo que nos indica que el retraso debe estar comprendido entre 12 y 14 segundos.

3.- Una bola de cobre de diámetro $D = 1,2 \text{ cm}$, cuya temperatura es $T_i = 300 \text{ K}$, se coloca en el centro de una cavidad en cuyo interior se ha hecho el vacío y sus paredes se mantienen cerca del cero absoluto. Admitiendo que la bola emite radiación comportándose como un cuerpo negro, determinar el tiempo que ha de transcurrir para que su temperatura se reduzca a la mitad.

Datos. Densidad del cobre $\rho = 8,93 \text{ g/cm}^3$

Calor específico del cobre $= 24,4 \text{ J/mol K}$

Masa molar del cobre $M = 63,55 \text{ g/mol}$

Constante de Stefan-Boltzmann, $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

La bola pierde energía térmica y como consecuencia disminuye su temperatura, dicha energía es absorbida por las paredes del recipiente. En un tiempo dt la bola disminuye su temperatura en dT y su energía disminuye en dE .

$$dE = mc \cdot dT = V\rho c \cdot dT = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 \rho c \cdot dT = \frac{1}{6}\pi D^3 \rho c \cdot dT \quad \text{J (1)}$$

Esta energía la ha radiado la bola por su superficie en un tiempo dt , y de acuerdo con la ley de Stefan-Boltzmann

$$dE = \sigma \left(\frac{\text{J}}{\text{s m}^2 \text{ K}^4} \right) T^4 (\text{K}^4) \cdot 4\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 (\text{m}^2) \cdot dt(\text{s}) = \pi D^2 \sigma T^4 dt \quad \text{J (2)}$$

(1) y (2) son iguales en valor absoluto, pero en (1) dT es negativo y en (2), dt es positivo por lo que al igualarlas ponemos un signo menos a (1).

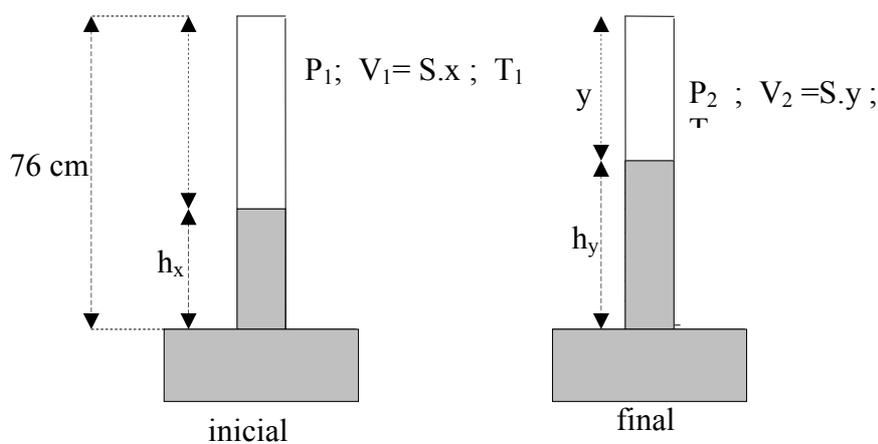
$$-\frac{1}{6}\pi D^3 \rho c \cdot dT = \pi D^2 \sigma T^4 dt \Rightarrow -\int_{T_i}^{T_f} \frac{dT}{T^4} = \int_0^{t_f} \frac{6\sigma}{\rho c D} dt \Rightarrow \frac{1}{3} \frac{1}{T^3} \Big|_{T_i}^{T_f} = \frac{6\sigma}{\rho c D} t \Big|_0^{t_f} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} \left(\frac{1}{T_f^3} - \frac{1}{T_i^3} \right) = \frac{6\sigma}{\rho c D} t_f \Rightarrow t_f = \frac{\rho c D \left(\frac{1}{T_f^3} - \frac{1}{T_i^3} \right)}{18\sigma} = \frac{\rho c D \left(\frac{T_i^3 - \left(\frac{T_i}{2}\right)^3}{T_i^3 \cdot T_i^3} \right)}{18\sigma} = \frac{\rho c D \cdot 7}{18\sigma \cdot T_i^3} \Rightarrow$$

$$t_f = \frac{8,93 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \frac{24,4}{63,55 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} (\text{m}) \cdot 7}{18 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \right) \cdot 300^3 (\text{K}^3)} = 10397 \text{ s} \approx 2,9 \text{ horas}$$

4.-Un tubo cilíndrico de sección S y altura 76 cm, está cerrado por un extremo. El tubo está sobre mercurio (densidad ρ) de modo que éste penetra en el tubo hasta una altura h_x . Entre el extremo cerrado del tubo y el nivel del mercurio existen 0,001 mol de un gas ideal cuya capacidad calorífica molar es $C_v = 20,5 \text{ J/mol K}$. La presión exterior al tubo equilibra la de una columna de mercurio de 76 cm de altura. Si la temperatura del gas desciende 10°C ¿cuánto calor cede dicho gas al ambiente?

En la figura 1 se representa la situación inicial y la final



De acuerdo con la ecuación de la hidrostática la presión del gas más la de la columna de mercurio es igual a la presión exterior. Lo aplicamos a la situación inicial y final.

$$P_1 + \rho g h_x = P_{\text{atm}} = \rho g 76 \Rightarrow P_1 = \rho g (76 - h_x) = \rho g x$$

$$P_2 + \rho g h_y = P_{\text{atm}} = \rho g 76 \Rightarrow P_2 = \rho g (76 - h_y) = \rho g y$$

Multiplicamos P_1 por V_2 y P_2 por V_1 .

$$P_1 V_2 = \rho g x S y \quad ; \quad ; P_2 V_1 = \rho g y S x \Rightarrow P_1 V_2 = P_2 V_1 \quad (1)$$

Para un estado intermedio (con presión P y volumen V) entre la situación inicial y la final podemos escribir:

$$P V = P_1 V_1 \quad (2)$$

Aplicamos el primer principio de la termodinámica entre el estado inicial y final.

$$\Delta U = Q + W \Rightarrow n C_v (T_2 - T_1) = Q + W \Rightarrow Q = n C_v (T_2 - T_1) - W \quad (3)$$

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} P dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{P_1 V_1}{V} dV = - \frac{P_1 V_1}{V_1} \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = - \frac{P_1}{V_1} \left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2} \right) = - \frac{P_1 V_2 \cdot V_2}{2 V_1} + \frac{P_1 V_1}{2}$$

En la ecuación anterior sustituimos la (1) y la ecuación de los gases perfectos:

$$W = -\frac{P_2 V_1 \cdot V_2}{2 V_1} + \frac{P_1 V_1}{2} = -nR \frac{T_2}{2} + nR \frac{T_1}{2} = \frac{nR}{2} (T_1 - T_2)$$

Llevando esta ecuación a la (3).

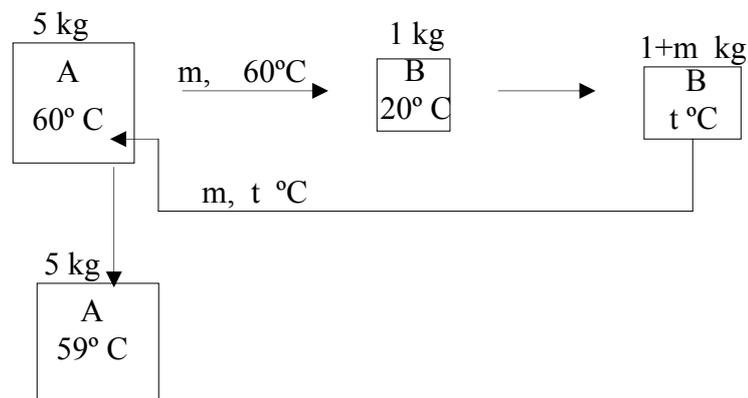
$$Q = nC_v (T_2 - T_1) + \frac{nR}{2} (T_2 - T_1) = n(T_2 - T_1) \left(C_v + \frac{R}{2} \right) = 0,001 \cdot (-10) \left(20,5 + \frac{8,3}{2} \right)$$
$$Q = -0,247 \text{ J}$$

5.-Un recipiente A termoaislado contiene 5 kg de agua a la temperatura de 60°C, otro recipiente B, también termoaislado, contiene 1 kg de agua a 20°C. Del recipiente A se transfiere una masa de agua m al recipiente B y se espera a que se alcance el equilibrio térmico. Luego se transfiere de B a A la misma cantidad m de agua y cuando se alcanza el equilibrio térmico ese recipiente está a la temperatura de 59°C.

a) Determinar m y la temperatura del recipiente B.

b) Dibujar una gráfica que indique las temperaturas de los recipientes A y B en función de la masa m transferida.

a) Un esquema ayuda a entender el proceso



Al pasar m kg de agua desde A a B, la temperatura de B aumenta a t °C. Si no hay pérdidas de calor

$$m \cdot c_e \cdot (60 - t) = 1 \cdot c_e \cdot (t - 20) \Rightarrow m(60 - t) = t - 20 \quad (1)$$

Al pasar m kg de agua a la temperatura t al recipiente B, en éste hay 5 kg de agua a la temperatura de 59°C.

$$(5 - m) \cdot c_e \cdot (60 - 59) = m \cdot c_e \cdot (59 - t) \Rightarrow 5 - m = m(59 - t) \quad (2)$$

A partir de (1) y (2), resulta

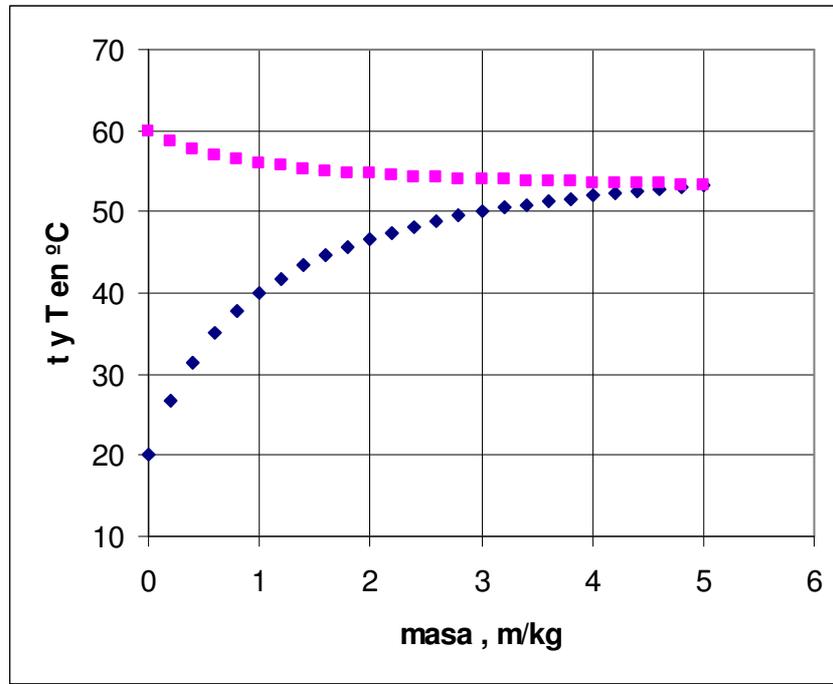
$$m(60 - t) - m(59 - t) = t - 20 - (5 - m) \Rightarrow m = t - 25 + m \Rightarrow t = 25^\circ$$

$$\text{De (2)} \Rightarrow m = \frac{t - 20}{60 - t} = \frac{25 - 20}{60 - 25} = \frac{1}{7} \text{ kg}$$

b) Designamos con T a la temperatura del recipiente A. De acuerdo con el esquema de cálculo anterior

$$m(60 - t) = 1(t - 20) \Rightarrow 60m - tm = t - 20 \Rightarrow t = \frac{60m + 20}{1 + m}$$

$$(5-m)(60-T) = m(T-t) \Rightarrow T-t = \left(\frac{5-m}{m}\right)(60-T) \Rightarrow T = \frac{\left(\frac{5-m}{m}\right)60 + t}{1 + \frac{5-m}{m}}$$



6.-Se calientan 2000 litros de benceno desde la temperatura inicial de 10°C hasta 50°C. Para ello se utiliza un intercambiador de calor en el que penetra vapor de agua a 100°C y sale agua líquida a 90°C. El rendimiento de la operación es 80%. Calcular los litros de agua líquida que se forman durante el proceso.

Datos densidad del benceno =0,88 g/cm³ , calor específico del benceno 1,73 kJ/(kg grado). Calor de vaporización del agua 2,26.10⁶ J/kg , calor específico del agua líquida 4,18 kJ/(kg grado).

La energía calorífica que necesítale benceno para calentarlo es:

$$Q = m c \Delta t = 2000L \cdot 0,88 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \cdot 1,73 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (50 - 10)^\circ\text{C} = 1,22 \cdot 10^8 \text{ J}$$

Esta energía la suministra el vapor de agua. Primero el vapor se condensa y cede su calor latente de vaporización y a continuación el agua líquida formada se enfría de 100 a 90°C

$$Q' = m' \cdot 2,26 \cdot 10^6 + m' \cdot 4,18 \cdot 10^3 (100 - 90) = m' \cdot 2,30 \cdot 10^6$$

Q' es igual a Q si el rendimiento fuese del 100 % al ser solo del 80%, la masa de vapor de agua debe ser mayor que m'.

$$m' = \frac{100}{80} \cdot m = \frac{100}{80} \cdot \frac{1,22 \cdot 10^8}{2,26 \cdot 10^6} = 67 \text{ kg}$$

Como la densidad del agua es prácticamente 1kg/L, los litros de agua recogidos son 67.

7.- Un cilindro de paredes rígidas posee un émbolo que se considera sin masa. El volumen es $V=20\text{ L}$, contiene vapor de agua, siendo su presión 10 kPa y su temperatura $120\text{ }^\circ\text{C}$.

a) Dicho recipiente se enfría hasta una temperatura $30\text{ }^\circ\text{C}$, determinar la masa de agua que aparece en forma líquida.

b) Si se actúa sobre el vapor disminuyendo su volumen a la mitad y al mismo tiempo se rebaja la temperatura a $90\text{ }^\circ\text{C}$ ¿cuál será la masa de agua condensada.

c) Si el vapor se enfría hasta una temperatura T sin variar el volumen, la mitad del agua que contenía el vapor en a) aparece en forma líquida. Calcular el valor de esa temperatura. .

Considerar que el vapor de agua se comporta como un gas perfecto.

Dato. La presión del vapor de agua a $90\text{ }^\circ\text{C}$ es $70,2\text{ kPa}$

Temperatura en $^\circ\text{C}$	25	26	27	28	29	30
Presión en kPa	3,17	3,37	3,57	3,78	4,01	4,25

a) Calculamos la masa de vapor de agua que existe en el cilindro

$$p \cdot V = \frac{x}{M} RT \Rightarrow x = \frac{pVM}{RT} = \frac{10 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{molK}} (273 + 120)\text{K}} = 1,10 \text{ g}$$

Al enfriar, parte del agua pasa a la forma líquida y está en equilibrio con el vapor saturado. Calculamos los gramos de agua que están en el vapor

$$p \cdot V = \frac{x'}{M} RT \Rightarrow x' = \frac{pVM}{RT} = \frac{4,25 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{molK}} (273 + 30)\text{K}} = 0,61 \text{ g}$$

Los gramos de agua que hay en la fase líquida son:

$$1,10 - 0,61 = 0,49 \text{ g}$$

b) El vapor de agua está saturado permanece en equilibrio con el agua líquida a una temperatura de $90\text{ }^\circ\text{C}$ y ejerciendo una presión igual a la tensión del vapor a $90\text{ }^\circ\text{C}$

$$p \cdot \frac{V}{2} = \frac{x''}{M} RT \Rightarrow x'' = \frac{70,2 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8,31 \frac{\text{J}}{\text{molK}} (273 + 90)\text{K}} = 0,42 \text{ g}$$

Los gramos de agua que hay en la fase líquida son:

$$1,10 - 0,42 = 0,68 \text{ g}$$

c) La ecuación de los gases perfectos conduce a

$$p \cdot V = \frac{0,55}{M} R T \Rightarrow \frac{p}{T} = \frac{0,55 R}{M V} = \frac{0,55 \cdot 8,31}{18 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 12,7 \frac{\text{Pa}}{\text{K}}$$

Con los datos de la tabla del enunciado hacemos los cocientes p/T.

Temperatura en °C	25	26	27	28	29	30
Presión en kPa	3,17	3,37	3,57	3,78	4,01	4,25
p/T en Pa/K	10,6	11,3	11,9	12,6	13,3	14,0

La temperatura está comprendida entre 28 y 29°C. Hacemos una interpolación lineal entre esas temperaturas

$$\frac{13,3 - 12,6}{1^\circ\text{C}} = \frac{0,7}{1^\circ\text{C}} = \frac{0,1}{x} \Rightarrow x = 0,14$$

La temperatura es : $28 + 0,14 = 28,1^\circ\text{C}$