7 Energía térmica y calor

EJERCICIOS PROPUESTOS

7.1 Si se duplica la temperatura de un gas, ¿se duplica la velocidad media de sus moléculas? ¿Por qué?

Cuando se duplica la temperatura de un gas, se duplica su energía cinética, pero no su velocidad, ya que la energía cinética no es proporcional a la velocidad sino al cuadrado de la velocidad.

7.2 Calcula la energía cinética media de traslación, por molécula, del oxígeno en una habitación a 21° C.

$$\overline{E}_C = \frac{3}{2}kT = 1{,}5 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot (21 + 273) = 6{,}09 \cdot 10^{-21}\ \text{J}$$

7.3 Explica por qué en la ecuación calorimétrica las temperaturas se pueden expresar en grados centígrados en lugar de en kelvin.

Porque la diferencia de temperaturas se expresa con la misma cifra tanto en kelvin como en grados centígrados:

$$T_f - T_0 = (t_f + 273) - (t_0 + 273) = t_f - t_0$$

7.4 Determina la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 60 litros de agua desde 21° C hasta 54° C.

La masa de 60 litros de agua es aproximadamente 60 kg.

$$Q = mc_e(T_f - T_0) = 60 \cdot 4180 \cdot (54 - 21) = 8{,}3 \cdot 10^6\ \text{J}$$

7.5 Explica por qué no es posible establecer una tabla de capacidades caloríficas de los cuerpos.

La capacidad calorífica de un cuerpo depende de su masa, por lo que no puede asignarse una capacidad calorífica determinada para cada sustancia.

7.6 Calcula qué cantidad de agua a 50° C se necesita añadir a 20 litros de agua a 20° C para elevar su temperatura a 37° C.

Aplicando la ecuación calorimétrica y teniendo en cuenta que el calor específico de los dos cuerpos que se mezclan es el mismo:

$$m_1c_{e_1}(T_e - T_1) = -m_2c_{e_2}(T_e - T_2) \Rightarrow 20 \cdot (37 - 20) = -m_2(37 - 50) \Rightarrow m_2 = 26{,}2\ \text{kg}$$

La cantidad de agua necesaria es aproximadamente 26,2 litros.

7.7 Señala cuál es el procedimiento de propagación del calor propio de los fluidos.

La convección es el procedimiento de propagación del calor propio de los fluidos mediante transporte de materia.

7.8 Describe el procedimiento de propagación del calor que utiliza el cuerpo humano para transportar energía térmica de unas partes a otras.

Los fluidos del cuerpo humano, como la sangre, transportan energía térmica de unas partes a otras del cuerpo mediante convección.

7.9 ¿Por qué la energía solar no puede llegar a la Tierra mediante la conducción o convección?

Porque no hay un medio material entre la Tierra y el Sol que posibilite la propagación calorífica por conducción o convección.

7.10 Diseña un procedimiento para comparar cualitativamente la conductividad térmica de varias varillas metálicas.

Se puede situar uno de los extremos de cada varilla en un foco caliente y situar en el otro extremo un material de fácil fusión como la cera; los mejores conductores del calor son aquellos en los que se observe antes la fusión de la cera.

7.11 La longitud de la arista de un cubo de aluminio es 5 cm, medida a 0° C. Si se calienta hasta 280° C, calcula:

a) La longitud de la arista a esa temperatura.

b) El incremento de volumen del bloque metálico.

a) El coeficiente de dilatación lineal del aluminio es:

$$\lambda = 2{,}30 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$$

La longitud de la arista a la temperatura dada será:

$$L = L_0(1 + \lambda\Delta T) = 0{,}05 \cdot (1 + 2{,}30 \cdot 10^{-5} \cdot 280) = 0{,}05032\ m \Rightarrow L = 5{,}032\ cm$$

b) El coeficiente de dilatación cúbica del aluminio es:

$$\delta = 3\lambda = 6{,}90 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$$

El incremento del volumen del bloque es:

$$\Delta V = V - V_0 = V_0(1 + \delta\Delta T) - V_0 = V_0\delta\Delta T = 0{,}05^3 \cdot 6{,}90 \cdot 10^{-5} \cdot 280 = 2{,}4 \cdot 10^{-6}\ m^3$$

7.12 Calcula qué cantidad de energía hay que suministrar a 200 g de hielo a −18° C para convertirlos completamente en agua líquida a 0° C.

Se necesita energía para calentar el hielo desde −18° C hasta 0° C y para fundir luego el hielo completamente:

$$\left.\begin{array}{l} Q_1 = mc_{e,\ hielo}\Delta t = 0{,}2 \cdot 2100 \cdot (0 - (-18)) \\ Q_2 = mL_{hielo} = 0{,}2 \cdot 3{,}35 \cdot 10^5 \end{array}\right\} Q = Q_1 + Q_2 = 74\,560\ J$$

7.13 Señala si la licuefacción es un cambio de estado progresivo o regresivo.

La licuefacción es un cambio de estado regresivo porque durante el proceso el cuerpo cede energía al medio al pasar de vapor a líquido.

7.14 Es incorrecto hablar del trabajo o del calor que tiene un sistema. Sin embargo, sí es correcto hablar de la energía interna que posee. ¿Por qué?

Mediante trabajo o calor se puede transferir energía entre sistemas. La energía transferida se manifiesta dentro del sistema de alguna forma, como es el caso de la energía interna, que es la suma de las energías cinéticas y potenciales de todas las partículas del sistema; por lo tanto, se puede hablar de la energía interna que posee el sistema.

Sin embargo, el trabajo o el calor no son formas de almacenarse la energía dentro de los sistemas.

7.15 ¿Se cumple el principio de conservación y transformación de la energía en los procesos irreversibles? ¿Cómo podría llegar una máquina térmica a un rendimiento del 100 %?

El principio de conservación y transformación de la energía se cumple en todos los procesos, sean reversibles o irreversibles. En los procesos irreversibles se da un proceso de degradación de la energía, aunque se conserve.

Una máquina térmica podría llegar a un rendimiento del 100% si convirtiera en trabajo útil toda la energía absorbida del foco caliente, pero este proceso no es posible (segundo principio de la termodinámica).

7.16 Una máquina térmica funciona entre las temperaturas $T_1 = 670$ K y $T_2 = 290$ K y absorbe del foco caliente 5000 J cada minuto. Calcula:

a) El rendimiento de la máquina.

b) El trabajo útil que suministra en una hora.

c) La potencia útil de la máquina.

a) $\eta = \dfrac{T_1 - T_2}{T_1} = \dfrac{670 - 290}{670} = 0{,}57$. El rendimiento de la máquina sería del 57%.

b) Energía que absorbe la máquina del foco caliente en una hora: $Q_1 = 5000 \cdot 60 = 3{,}0 \cdot 10^5$ J

Trabajo útil que suministra en una hora: $\eta = \dfrac{W}{Q_1} \Rightarrow W = \eta Q_1 = 0{,}57 \cdot 3{,}0 \cdot 10^5 = 1{,}71 \cdot 10^5$ J

c) Potencia útil: $P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{1{,}71 \cdot 10^5}{60} = 2{,}85 \cdot 10^3$ W $= 2{,}85$ kW

TEMPERATURA

7.17 Las temperaturas mínima y máxima de un día de verano son 14° C y 37° C, respectivamente. Expresa estas temperaturas en la escala Fahrenheit y en la escala absoluta.

En la escala Fahrenheit: $\dfrac{t(°C)}{100} = \dfrac{F - 32}{180}$

Para T = 14° C; $F = 32 + \dfrac{180}{100} t(°C) = 32 + \dfrac{180}{100} 14 = 57° F$

Para T = 37° C; $F = 32 + \dfrac{180}{100} t(°C) = 32 + \dfrac{180}{100} 37 = 99° F$

En la escala absoluta:

$$K = t(°C) + 273 = 14 + 273 = 287 \text{ K}$$
$$K = 37 + 273 = 310 \text{ K}$$

7.18 El punto de fusión del cloro es −101° C y su punto de ebullición, −34° C. Expresa estos puntos de cambio de estado en grados Fahrenheit y en kelvin.

En grados Fahrenheit:

Punto de fusión:

$$\frac{t(°C)}{100} = \frac{F - 32}{180} \Rightarrow F = 32 + \frac{180}{100} t(°C) = 32 + \frac{180}{100} \cdot (-101) = -150° F$$

Punto de ebullición:

$$F = 32 + \frac{180}{100} t(°C) = 32 + \frac{180}{100} \cdot (-34) = -29° F$$

En kelvin:

$$K = t(°C) + 273 = -101 + 273 = 172 \text{ K}$$
$$K = -34 + 273 = 239 \text{ K}$$

7.19 Calcula la energía cinética media de las moléculas de nitrógeno a 25°C.

Sustituyendo en la ecuación de la energía cinética dada por la teoría cinética:

$$\overline{E}_C = \frac{3}{2} kT = 1{,}5 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot (25 + 273) = 6{,}17 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

7.20 La energía cinética media de traslación, por partícula, de las moléculas de un sistema, es:

$$\overline{E}_C = \frac{1}{2}m\overline{v}^2$$

donde m es la masa de una partícula y $\overline{v}^2$, la velocidad cuadrática media (valor medio del cuadrado de las velocidades de las moléculas).

Calcula el valor de la velocidad cuadrática media para el aire a 20°C, si se le considera un gas homogéneo con una masa molar de 28,8 g. Dato. $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ moléculas mol^{-1}.

Energía cinética media: $\overline{E}_C = \frac{3}{2}kT = 1{,}5 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot (20 + 273) = 6{,}07 \cdot 10^{-21}$ J

Masa molecular: $m = \frac{M}{N_A} = \frac{28{,}8}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 4{,}78 \cdot 10^{-23}$ g

$$\overline{E}_C = \frac{1}{2}m\overline{v}^2 \Rightarrow \overline{v}^2 = \frac{2\overline{E}_C}{m} = \frac{2 \cdot 6{,}07 \cdot 10^{-21}}{4{,}78 \cdot 10^{-23}} = 254\ (\text{m s}^{-1})^2$$

7.21 Halla a qué temperatura expresada en grados Fahrenheit se considera que una persona tiene fiebre.

Considerando que se tiene fiebre a partir de 37°C:

$$\frac{t(°C)}{100} = \frac{F - 32}{180} \Rightarrow F = 32 + \frac{180}{100}t(°C) = 32 + \frac{180}{100}37 = 99°F$$

7.22 Razona si las siguientes afirmaciones son correctas o no:

a) La temperatura es una magnitud que puede tomar valores negativos.

b) Si se duplica la presión de un gas a temperatura constante, su volumen se duplica.

c) Si se duplica la presión de un gas a temperatura constante, la energía cinética media de sus moléculas se duplica.

d) Todas las moléculas de un gas tienen la misma velocidad.

a) Correcta. La temperatura es una magnitud que puede tomar valores negativos en las escalas centígrada y Fahrenheit. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que en la escala kelvin no puede tomar valores negativos.

b) Incorrecta. Si se duplica la presión de un gas a temperatura constante, su volumen se reduce a la mitad.

c) Incorrecta. Si la temperatura permanece constante, la energía cinética media de las moléculas no varía.

d) Incorrecta. Las moléculas de un gas se mueven con distinta velocidad en un movimiento al azar con continuos choques entre ellas.

7.23 Calcula a qué temperatura se encuentra un gas, sabiendo que la energía cinética media de traslación de sus moléculas es de $5{,}18 \cdot 10^{-21}$J molécula^{-1}.

Despejando la temperatura de la ecuación de la energía cinética proporcionada por la teoría cinética, se tiene:

$$\overline{E}_C = \frac{3}{2}kT \Rightarrow T = \frac{\overline{E}_C}{3k} = \frac{2 \cdot 5{,}18 \cdot 10^{-21}}{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}} = 250\ \text{K}$$

7.24 Calcula la energía cinética media, por molécula, y la velocidad cuadrática media de las moléculas de oxígeno a 0°C.

Energía cinética media: $\overline{E}_C = \frac{3}{2}kT = 1{,}5 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot (0 + 273) = 5{,}65 \cdot 10^{-21}$ J

Masa de una molécula de oxígeno: $m = \frac{M}{N_A} = \frac{32}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 5{,}32 \cdot 10^{-23}$ g

Velocidad cuadrática media: $\overline{E}_C = \frac{1}{2}m\overline{v}^2 \Rightarrow \overline{v}^2 = \frac{2\overline{E}_C}{m} = \frac{2 \cdot 5{,}65 \cdot 10^{-21}}{5{,}32 \cdot 10^{-23}} = 213\ (\text{m s}^{-1})^2$

CALORIMETRÍA

7.25 Calcula la capacidad calorífica de 100 g de:

a) mercurio; b) aluminio; c) hierro; d) cobre.

a) Mercurio: $C = mc_e = 0,1 \cdot 138 = 13,8 \text{ JK}^{-1}$

b) Aluminio: $C = mc_e = 0,1 \cdot 896 = 89,6 \text{ JK}^{-1}$

c) Hierro: $C = mc_e = 0,1 \cdot 500 = 50,0 \text{ JK}^{-1}$

d) Cobre: $C = mc_e = 0,1 \cdot 1100 = 110,0 \text{ JK}^{-1}$

7.26 Calcula qué cantidad de agua a 45°C es necesario añadir a 2 L de agua a 22°C para disponer de agua a 32°C.

Aplicando la ecuación calorimétrica y teniendo en cuenta que el calor específico de los dos cuerpos que se mezclan es el mismo:

$$m_1 c_{e_1}(T_e - T_1) = -m_2 c_{e_2}(T_e - T_2)$$
$$2 \cdot (32 - 22) = -m_2(32 - 45) \Rightarrow m_2 = 1,54 \text{ kg}$$

7.27 Se calienta un bloque de aluminio de 150 g a 70°C y a continuación se sumerge en un litro de agua a 20°C. Calcula la temperatura final del sistema.

Aplicando la ecuación calorimétrica:

$$m_1 c_{e_1}(T_e - T_1) = -m_2 c_{e_2}(T_e - T_2)$$
$$1 \cdot 4180 \cdot (T_e - 20) = -0,150 \cdot 896 \cdot (T_e - 70) \Rightarrow T_e = 21,6°\text{C}$$

7.28 Calcula la energía necesaria para llevar a la temperatura de fusión un bloque de hierro de 20 kg que se encuentra a 23°C. Dato. Punto de fusión del hierro: 1535°C.

Hay que calentar el hierro desde 23°C hasta 1535°C:

$$Q = mc_e(T_f - T_0) = 20 \cdot 500 \cdot (1535 - 23) = 1,51 \cdot 10^7 \text{ J}$$

7.29 El agua de un depósito de 50 L se calienta mediante un calentador eléctrico de 2700 W con un rendimiento de transformación de la energía eléctrica en térmica del 94%. Calcula el tiempo necesario para calentar el agua desde 16°C hasta 37°C.

Se calcula en primer lugar la energía necesaria para calentar el agua del depósito:

$$Q = mc_e(T_f - T_0) = 50 \cdot 4180 \cdot (37 - 16) = 4,39 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Como el rendimiento es 0,94, la energía que debe aportar el calentador es:

$$\eta = \frac{Q}{E} \Rightarrow E = \frac{Q}{\eta} = \frac{4,39 \cdot 10^6}{0,94} = 4,67 \cdot 10^6 \text{ J}$$

El tiempo necesario para este aporte de energía es:

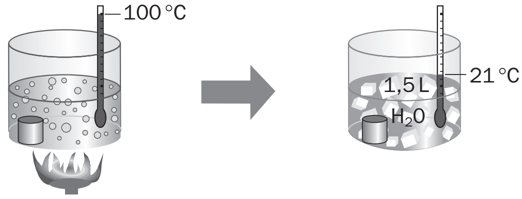
$$P = \frac{E}{t} \Rightarrow t = \frac{E}{P} = \frac{4,67 \cdot 10^6}{2700} = 1730 \text{ s}$$

7.30 Un calorímetro de latón de 630 g de masa contiene 540 gramos de agua a 18°C. Calcula la nueva temperatura de equilibrio si se vierten en el calorímetro 285 g de agua a 64°C. Dato. Calor específico del latón: 376 Jkg^{-1}K^{-1}.

La energía cedida por el agua a 64°C al enfriarse hasta la temperatura de equilibrio es igual a la energía absorbida por el calorímetro más la absorbida por el agua a 18°C hasta que ambos alcanzan la temperatura final:

$$-m_2 c_{e,\text{ agua}}(T_e - T_2) = m_1 c_{e,\text{ agua}}(T_e - T_1) + m_{\text{latón}} c_{e,\text{ latón}}(T_e - T_1)$$
$$0,540 \cdot 4180 \cdot (T_e - 18) + 0,630 \cdot 376 + (T_e - 18) = -0,285 \cdot 4180 \cdot (T_e - 64) \Rightarrow T_e = 32,9°\text{C}$$

7.31 Se mantiene una pieza metálica de 108 g en un recipiente con agua en ebullición a 100°C. A continuación se saca la pieza y se introduce rápidamente en otro recipiente con 1,5 litros de agua a 21°C. Cuando se alcanza el equilibrio térmico, la temperatura del agua del segundo recipiente es 22,5°C.



a) Calcula la cantidad de energía que absorbe el agua del segundo recipiente.

b) Halla el valor del calor específico de la pieza metálica.

c) Determina, mediante una tabla de calores específicos, de qué metal está fabricada la pieza.

a) La energía que absorbe el agua del segundo recipiente para pasar desde 21°C hasta 22,5°C es:

$$Q = mc_e(T_f - T_0) = 1,5 \cdot 4180 \cdot (22,5 - 21) = 9405 \text{ J}$$

b) La temperatura inicial de la pieza metálica es 100°C. La energía cedida por la pieza metálica al enfriarse es:

$$Q = -m'c_{e,\ metal}(T_f - T'_0) = -0,108 \cdot c_{e,\ metal} \cdot (22,5 - 100) = 9405 \Rightarrow c_{e,\ metal} = 1124 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

c) Consultando las tablas de los calores específicos, la pieza puede ser de cobre $c_{e,\ cobre} = 1100 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$.

7.32 Para calentar un depósito de agua de 800 L se utiliza un fuel de poder calorífico de 40000 kJkg^{-1}, obteniéndose un rendimiento del 60 % de la energía de combustión.

Calcula la cantidad de fuel necesaria para calentar desde 20°C hasta 40°C el depósito lleno.

Se calcula en primer lugar la energía necesaria para calentar el agua del depósito:

$$Q = mc_e(T_f - T_0) = 800 \cdot 4180 \cdot (40 - 20) = 6,69 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Como el rendimiento es 0,60, la energía que debe aportar la combustión del fuel es:

$$\eta = \frac{Q}{E} \Rightarrow E = \frac{Q}{\eta} = \frac{6,69 \cdot 10^7 \text{ (J)}}{0,60} = 1,12 \cdot 10^8 \text{ J}$$

La cantidad de fuel necesaria es: $m = \frac{1,12 \cdot 10^8 \text{ (J)}}{4 \cdot 10^7 \text{ (Jkg}^{-1})} = 2,79 \text{ kg}$

7.33 Un calorímetro contiene 400 g de agua a la temperatura de 25°C. Se añaden 800 g de agua a 60°C y cuando se alcanza nuevamente el equilibrio el termómetro del calorímetro indica 45°C.

Calcula el valor del equivalente en agua del calorímetro.

La energía cedida por el agua a 60°C al enfriarse hasta la temperatura de equilibrio es igual a la energía absorbida por el calorímetro más la absorbida por el agua que este contiene. Para hallar el valor del equivalente en agua del calorímetro, el calor específico del calorímetro se considera igual al valor del calor específico del agua:

$$Q = m_1c_{e,\ agua}(T_e - T_1) + m_{cal}c_{e,\ agua}(T_e - T_1) = -m_2c_{e,\ agua}(T_e - T_2)$$

$$0,400 \cdot (45 - 25) + m_{cal} \cdot (45 - 25) = -0,80 \cdot (45 - 60) \Rightarrow m_{cal} = 0,2 \text{ kg}$$

El equivalente en agua del calorímetro es 200 g.

EFECTOS Y PROPAGACIÓN DEL CALOR

7.34 Un puente de hierro tiene una longitud de 60 m medida a 15°C. La temperatura oscila a lo largo del año entre −12°C y 36°C. Calcula la variación de la longitud del puente entre esas dos temperaturas.

Longitud a −12°C: $L_{-12} = L_0(1 + \lambda\Delta T) = 60 \cdot (1 + 1,17 \cdot 10^{-5} \cdot (-12 - 15)) \Rightarrow L_{-12} = 59,981 \text{ m}$

Longitud a 36°C: $L_{36} = L_0(1 + \lambda\Delta T) = 60 \cdot (1 + 1,17 \cdot 10^{-5} \cdot (36 - 15)) \Rightarrow L_{36} = 60,015 \text{ m}$

Variación de la longitud del puente entre esas dos temperaturas: $\Delta L = 3,4 \text{ cm}$

7.35 Una pieza de cinc, de 200 cm^3 de volumen, se calienta de 300 K a 600 K. Calcula el nuevo volumen de la pieza.

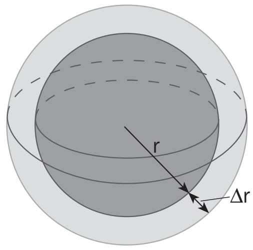
El coeficiente de dilatación cúbica del cinc es:

$$\delta = 3\lambda = 3 \cdot 2{,}62 \cdot 10^{-5} = 7{,}86 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$$

El nuevo volumen del bloque es:

$$V = V_0(1 + \delta\Delta T) = 200 \cdot 10^{-6} \cdot (1 + 7{,}86 \cdot 10^{-5} \cdot (600 - 300)) = 204{,}7 \cdot 10^{-6}\ m^3 = 204{,}7\ cm^3$$

7.36 Una esfera de aluminio tiene un diámetro de 20,00 cm medidos a 0°C. Se calienta la esfera a 100°C.



Calcula:

a) El volumen de la esfera a 0°C.
b) El coeficiente de dilatación cúbica del aluminio.
c) El volumen de la esfera a 100°C utilizando la fórmula aproximada para la dilatación cúbica.
d) El incremento de volumen de la esfera.
e) El radio de la esfera a 100°C.
f) El volumen de la esfera a 100°C utilizando la fórmula geométrica.
g) El incremento de volumen calculado a partir del volumen obtenido en el apartado anterior.
h) El error cometido al utilizar la fórmula aproximada de la dilatación cúbica.

a) $V_0 = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi 10{,}00^3 = 4188{,}79\ cm^3$

b) $\delta = 3\lambda = 3 \cdot 2{,}30 \cdot 10^{-5} = 6{,}90 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$

c) $V_{100} = V_0(1 + \delta\Delta T) = 4188{,}79 \cdot (1 + 6{,}90 \cdot 10^{-5} \cdot 100) = 4217{,}69\ cm^3$

d) $\Delta V = 4217{,}69 - 4188{,}79 = 28{,}90\ cm^3$

e) $R_{100} = R_0(1 + \lambda\Delta T) \Rightarrow R = 10{,}00(1 + 2{,}30 \cdot 10^{-5} \cdot 100) = 10{,}023\ cm$

f) $V_{100} = \frac{4}{3}\pi R_{100}^3 = \frac{4}{3}\pi 10{,}023^3 = 4217{,}76\ cm^3$

g) $\Delta V' = 4217{,}76 - 4188{,}79 = 28{,}97\ cm^3$

h) $\Delta V' - \Delta V = 28{,}97 - 28{,}90 = 0{,}07\ cm^3$

7.37 Puedes aprender más sobre la radiación solar como procedimiento de propagación del calor en:

www.e-sm.net/fq1bach21

Después responde a estas cuestiones:

a) ¿Qué factores hay que tener en cuenta para establecer la cantidad de energía solar que se puede aprovechar en un sitio concreto?
b) ¿Qué cantidad de energía solar llega a la Tierra cada segundo?

7.38 Razona si las siguientes afirmaciones son correctas o no:

a) Si la temperatura absoluta de un sólido se duplica, su volumen se duplica.
b) Las temperaturas de fusión y de solidificación de una sustancia son iguales.
c) Mientras se produce el cambio de estado, el cuerpo no absorbe ni cede energía.

a) Incorrecta. El volumen de un sólido no es proporcional a su temperatura absoluta, excepto cuando la presión se mantiene constante.
b) Correcta. Una sustancia funde y se solidifica a la misma temperatura.
c) Incorrecta. Mientras se produce el cambio de estado la temperatura no varía, pero el cuerpo absorbe o cede energía durante el proceso.

7.39 **Cuando un bloque metálico se calienta desde 25°C hasta 600°C su densidad disminuye un 3,5%. Calcula:**

a) El coeficiente de dilatación cúbica del metal.

b) Su coeficiente de dilatación lineal.

a) Como la masa no varía, se busca una relación entre los volúmenes a esas dos temperaturas.

$$d_{600} = \frac{100 - 3,5}{100} d_{25} = 0,965\ d_{25} \Rightarrow \frac{m}{V_{600}} = 0,965 \frac{m}{V_{25}} \Rightarrow V_{600} = 1,036\ V_{25}$$

Aplicando la ecuación de la dilatación cúbica:

$$V_{600} = V_{25}(1 + \gamma \cdot 525);\quad 1,036\ V_{25} = V_{25}(1 + \gamma \cdot 525) \Rightarrow \gamma = 686 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$$

b) $\gamma = 3\lambda \Rightarrow \lambda = \dfrac{6,86 \cdot 10^{-5}}{3} = 2,25 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$

7.40 **Calcula la energía necesaria para transformar 200 g de hielo a −20°C en vapor de agua a 100°C.**

Los cálculos energéticos que hay que realizar son: (1) calentar el hielo desde −20°C hasta 0°C; (2) fundir el hielo a 0°C y obtener agua a 0°C; (3) calentar el agua desde 0°C hasta 100°C, y (4) convertir el agua a 100°C en vapor a 100°C.

(1) $Q_1 = mc_{eh}\Delta T = 0,200 \cdot 2100 \cdot (0 - (-20)) = 8400$ J

(2) $Q_2 = mL_h = 0,200 \cdot 3,35 \cdot 10^5 = 67\,000$ J

(3) $Q_3 = mc_{eag}\Delta T = 0,200 \cdot 4180 \cdot (100 - 0) = 83\,600$ J

(4) $Q_4 = mL_v = 0,200 \cdot 2,257 \cdot 10^6 = 451\,400$ J

Energía necesaria para todo el proceso: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 610\,400$ J

7.41 **Calcula qué energía debe ceder una masa de 20 g de mercurio a 21°C para solidificarse. Datos. Mercurio: punto de fusión, −30°C; calor de fusión, 11 700 J kg^{-1}.**

El mercurio cede energía al enfriarse desde 21°C hasta −30°C, que es su temperatura de solidificación, y luego cede más energía al pasar de líquido a sólido:

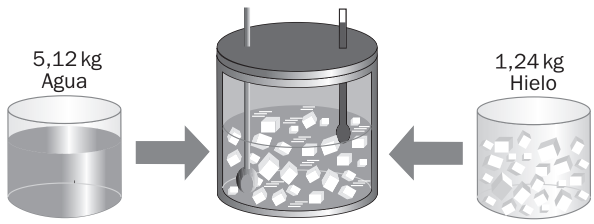
$$Q_1 = mc_e(T_f - T_0) = 0,020 \cdot 138 \cdot (-30 - 21) = -141\ J$$

$$Q_2 = -mL = -0,020 \cdot 11\,700 = -234\ J$$

Energía cedida total: $Q = Q_1 + Q_2 = -141 - 234 = -375$ J (el signo negativo indica que es energía cedida por el mercurio).

7.42 **Un calorímetro contiene 5,12 kg de agua y 1,24 kg de hielo en equilibrio térmico. Su equivalente en agua es 620 g.**

Calcula la nueva temperatura de equilibrio si se introducen en el calorímetro 900 g de vapor de agua 100°C.



El agua y el hielo contenidos en el calorímetro están a 0°C. De los 900 g de vapor de agua, el hielo absorbe energía para fundirse:

$$Q_1 = m_hL_h = 1,24 \cdot 3,35 \cdot 10^5 = 4,154 \cdot 10^5\ J$$

Una vez fundido el hielo, en el calorímetro hay 6,36 kg (5,12 + 1,24) de agua a 0°C. Sumando el equivalente (0,620 kg) en agua del calorímetro, se tienen 6,98 kg de agua a 0°C que absorbe energía hasta que se alcanza la temperatura de equilibrio:

$$Q_2 = mc_e(T_f - T_0) = 6,98 \cdot 4180 \cdot (T_f - 0) = 0,292 \cdot 10^5\ tJ$$

El vapor de agua cede energía al licuarse y al enfriarse a continuación desde 100°C hasta la temperatura de equilibrio T_f:

$$Q_3 = -m'L_v = -0,900 \cdot 2,257 \cdot 10^6 = -20,31 \cdot 10^5\ J$$

$$Q_4 = m'c_e(T_f - T_0) = 0,900 \cdot 4180 \cdot (T_f - 100)$$

La energía absorbida es igual a la energía cedida:

$Q_1 + Q_2 = -Q_3 - Q_4 \Rightarrow 4,154 \cdot 10^5 + 0,292 \cdot 10^5\ T_f = 20,31 \cdot 10^5 - 0,900 \cdot 4180 \cdot (T_f - 100) \Rightarrow T_f = 60,5°C$

7.43 a) Demuestra que la fórmula de la dilatación cúbica aplicada a gases equivale a:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}, \text{ siendo } T_0 = 273{,}16 \text{ K.}$$

b) Se calienta un gas a presión constante de 25°C hasta 50°C. Halla por qué número se multiplica su volumen durante el calentamiento.

a) El coeficiente de dilatación cúbica para todos los gases es: $\gamma = \frac{1}{273{,}16}$

$$V = V_0(1 + \gamma\Delta T) = V_0\left(1 + \frac{1}{273{,}16}(T - T_0)\right)$$

$$V = V_0\left(1 + \frac{T - T_0}{T_0}\right) = V_0\frac{T}{T_0} \Rightarrow \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}$$

b) $\frac{V'}{T'} = \frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} \Rightarrow V' = V\frac{T'}{T}; \quad V' = V\frac{50 + 273{,}16}{25 + 273{,}16} = 1{,}08 \text{ V}$

PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA

7.44 Clasifica los siguientes sistemas termodinámicos en abiertos, cerrados o aislados:

a) El planeta Tierra.
b) Un ser vivo.
c) Un termo.

a) El planeta Tierra se puede considerar como un sistema cerrado.
b) Un ser vivo es un sistema abierto.
c) Un termo es un sistema aislado.

7.45 Razona si las siguientes afirmaciones son correctas o no:

a) La energía total de un sistema aislado se mantiene constante.
b) La variación de energía interna de un sistema es siempre positiva.
c) Si en un proceso la energía interna no varía, no se realiza ningún trabajo.
d) El rendimiento de una máquina térmica empeora si se aumenta la diferencia de temperaturas entre sus focos caliente y frío.

a) Correcta. La energía total de un sistema aislado se mantiene constante porque no intercambia energía con su entorno.
b) Incorrecta. La variación de energía interna de un sistema puede ser positiva o negativa.
c) Incorrecta. Si en un proceso la energía interna no varía, puede realizarse trabajo si el sistema intercambia energía mediante calor.
d) Incorrecta. El rendimiento de una máquina térmica mejora si se aumenta la diferencia de temperaturas entre sus focos caliente y frío:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{\Delta T}{T_1}$$

Al aumentar el numerador, aumenta la fracción.

7.46 Calcula la variación de la energía interna de un cuerpo que realiza un trabajo de 3000 J cuando se le transfieren 5000 J de energía mediante calor.

El trabajo es negativo porque lo realiza el sistema y el calor es positivo porque lo absorbe.

$$\Delta U = Q + W = 5000 - 3000 = 2000 \text{ J}$$

7.47 Un sistema recibe 4000 J de energía mediante calor y realiza un trabajo de 4000 J. Explica por qué su temperatura final es igual que su temperatura inicial.

El trabajo es negativo porque lo realiza el sistema y el calor es positivo porque lo absorbe.

$$\Delta U = Q + W = 4000 - 4000 = 0$$

La energía interna del sistema no ha variado, por lo que la temperatura final es igual que la inicial.

7.48 Consulta la descripción del funcionamiento de una máquina térmica en la siguiente dirección de internet:

www.e-sm.net/fq1bach22

Después responde a las siguientes cuestiones:

a) ¿Qué es un proceso adiabático?

b) Para una máquina térmica que funcione mediante un ciclo de Carnot, indica el signo de la energía intercambiada con el entorno en cada una de sus fases.

7.49 Demuestra que si un gas eleva su temperatura en ΔT, la variación de su energía interna se expresa por:

$$\Delta U = nc_V \Delta T$$

donde n es el número de moles del gas y c_V, su calor molar a volumen constante (energía necesaria para elevar un grado la temperatura de un mol del gas en una transformación a volumen constante).

Si el volumen se mantiene constante, el gas no realiza ningún trabajo.

La energía necesaria para elevar ΔT la temperatura de un mol del gas en una transformación a volumen constante es $c_V \Delta T$; si el número de moles del gas es n, la energía necesaria es $Q = nc_V\Delta T$. Por tanto:

$$\Delta U = Q + W = nc_V\Delta T + 0 = nc_V\Delta T$$

7.50. Una máquina térmica toma cada minuto 190 kJ de un foco caliente y cede 150 kJ a otro foco a 350°C. Calcula:

a) El trabajo realizado.

b) La potencia de la máquina.

c) Su rendimiento.

d) La temperatura del foco caliente.

a) Cada minuto: $W = Q_1 - Q_2 = 190 - 150 = 40$ kJ

b) $P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{40\,000}{60} = 667$ W

c) $\eta = \dfrac{W}{Q_1} = \dfrac{40 \cdot 10^3}{190 \cdot 10^3} = 0{,}21 = 21\%$

d) A partir del dato del rendimiento se calcula la T_1.

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow 0{,}21 = 1 - \frac{350 + 273{,}16}{T_1} \Rightarrow T_1 = 789 \text{ K}$$

$$t_1 = T_1 - 273 = 516° \text{ C}$$

7.51 Calcula el rendimiento de una máquina térmica si las temperaturas de su foco caliente y frío son 360°C y 50°C respectivamente.

Se pasan las temperaturas a escala absoluta.

$$T_1 = 360 + 273 = 633 \text{ K}; \quad T_2 = 50 + 273 = 323 \text{ K}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{323}{633} = 0{,}49$$

El rendimiento de la máquina es del 49%.

7.52 Una maquina térmica funciona tomando 5000 J del foco caliente y entregando 3500 J al foco frío. Calcula:

a) El trabajo realizado por la máquina.

b) Su rendimiento.

a) $W = Q_1 - Q_2 = 5000 - 3500 = 1500$ J

b) $\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{1500}{5000} = 0{,}30$. El rendimiento de la máquina es del 30%.

7.53 Indica cómo varía el rendimiento de una máquina térmica si se duplica la temperatura:

a) Del foco caliente.

b) Del foco frío.

c) De ambos focos.

El rendimiento de la máquina es $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$.

a) Si se duplica la temperatura del foco caliente, el rendimiento pasa a ser:

$$\eta' = 1 - \frac{T_2}{2T_1}; \quad \eta' - \eta = \left(1 - \frac{T_2}{2T_1}\right) - \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{T_2}{2T_1} > 0 \Rightarrow \eta' > \eta$$

El rendimiento de la máquina aumenta.

b) Si se duplica la temperatura del foco frío, el rendimiento pasa a ser:

$$\eta' = 1 - \frac{2T_2}{T_1}; \quad \eta' - \eta = \left(1 - \frac{2T_2}{T_1}\right) - \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = -\frac{T_2}{T_1} < 0 \Rightarrow \eta' < \eta$$

El rendimiento de la máquina disminuye.

c) Si se duplica la temperatura de ambos focos, el rendimiento pasa a ser:

$$\eta' = 1 - \frac{2T_2}{2T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \eta$$

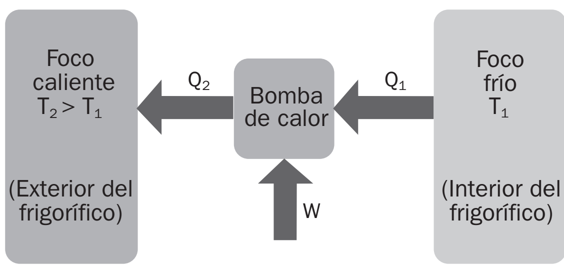
El rendimiento de la máquina no varía.

7.54 Una máquina frigorífica funciona realizando un trabajo para extraer energía de un foco frío y ceder energía a un foco caliente.

Si el motor de un frigorífico realiza un trabajo de 200 J cada segundo para extraer 700 J de su interior en ese tiempo, calcula:

a) La potencia del motor del frigorífico.

b) La energía que cede caloríficamente al ambiente cada segundo.



a) El trabajo que realiza el motor son 200 J; por tanto:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{200}{1} = 200 \text{ W}$$

b) En el esquema se ve claramente que lo que cede al exterior es la suma del calor que saca del frigorífico más el trabajo que realiza el motor.

$$W = Q_1 - Q_2 \Rightarrow 200 = Q_1 - 700 \Rightarrow Q_1 = 900 \text{ J}$$

7.55 La ecuación de estado de un gas perfecto es $pV = nRT$, donde p es la presión; V, el volumen; n, el número de moles del gas; T, su temperatura absoluta, y $R = 8{,}31\ JK^{-1}mol^{-1}$, la constante de los gases.

a) Demuestra que el trabajo de expansión de un gas a presión constante se expresa por:

$$W = nR\Delta T$$

b) Calcula el trabajo de expansión, a presión constante, de 48 g de oxígeno al incrementar su temperatura 50 K.

c) Determina el incremento de energía interna del gas sabiendo que $CV = 21\ JK^{-1}mol^{-1}$.

d) Calcula la energía que ha absorbido caloríficamente el gas durante esta expansión.

a) Si p es constante: $\Delta(pV) = p\Delta V$

Como n y R son constantes: $\Delta(nRT) = nR\Delta T$

Por tanto, teniendo en cuenta la expresión del trabajo de expansión de un gas:

$$p\Delta V = nR\Delta T \Rightarrow W = nR\Delta T$$

b) La masa de un mol de oxígeno es de 32 g: $n = \frac{m}{M} = \frac{48}{32} = 1{,}5$

$$W = nR\Delta T = 15 \cdot 8{,}31 \cdot 50 = 623\ J$$

c) $\Delta U = nc_V\Delta T = 1{,}5 \cdot 21 \cdot 50 = 1575\ J$

d) Aplicando el primer principio y teniendo en cuenta que el trabajo de expansión (realizado por el sistema) es negativo:

$$\Delta U = Q + W \Rightarrow Q = \Delta U - W = 1575 - (-623) = 2198\ J$$