

4

Termodinámica

En contexto (Pág. 111)

a. El material necesario es la cerámica, que se coloca sobre el mortero de construcción y, al secar este, ambos materiales quedan unidos. Antoni Gaudí utilizó esta técnica para muchas de sus obras. Por ejemplo, la Saia Hipóstila del Parque Güell y la Casa Batlló.

El deterioro se habría podido prevenir utilizando materiales con coeficientes de dilatación muy similares entre sí.

b. En el vídeo tiene lugar la vaporización. Hay varios cambios de estado: vaporización, condensación, solidificación, fusión y sublimación.

También hay los llamados *cambios de fase*, como son el paso de una estructura cristalográfica a otra, el cambio de un estado magnético a otro, o el paso de material no superconductor a superconductor.

c. En la fotografía pequeña, se podría suponer que hay evaporación del agua que rodea el Palau de les Arts.

Interviene el calor en el frigorífico, el horno, los fogones, las lámparas, las estufas, los radiadores, etc.

La idea principal del frigorífico es extraer en forma de calor la energía térmica que hay en su interior hacia afuera. Es decir, enfocamos la operación de enfriar el recipiente mediante la extracción de la energía térmica de su interior. De esta forma, mantenemos los alimentos de la nevera a una temperatura determinada.

Respuesta según el criterio del estudiante.

Problemas resueltos (Págs. 127 y 128)

1. Datos:

$$m_{\text{agua}} = 0,03 \text{ kg}; c_{\text{agua}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1};$$

$$c_{\text{etanol}} = 2424 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$T_{0\text{agua}} = 60^\circ\text{C}; T_{0\text{etanol}} = 20^\circ\text{C}; d_{\text{etanol}} = 7,89 \cdot 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

$$V_{\text{etanol}} = 2,0 \text{ mL}$$

— Calculamos la masa del etanol a partir de su densidad:

$$m_{\text{etanol}} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 7,89 \cdot 10^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 0,016 \text{ kg}$$

— Hallamos el calor absorbido por el agua:

$$|Q_{\text{agua}}| = m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T_{0\text{agua}} - T) =$$

$$= 0,03 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (60 - T) \text{ K}$$

— De la misma forma, calculamos el calor cedido por el etanol:

$$|Q_{\text{etanol}}| = m_{\text{etanol}} \cdot c_{\text{etanol}} \cdot (T - T_{0\text{etanol}}) =$$

$$= 0,0158 \text{ kg} \cdot 2424 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (T - 20) \text{ K}$$

— Calculamos la temperatura final de equilibrio:

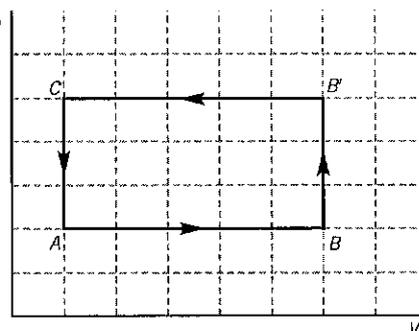
$$0,03 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (60 - T) \text{ K} =$$

$$= 0,0158 \text{ kg} \cdot 2424 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (T - 20) \text{ K};$$

$$125,4 (60 - T) = 38,3 (T - 20) \rightarrow T = 51^\circ\text{C}$$

— La temperatura final de la mezcla es de 51°C .

2. Datos: p



Como podemos ver en la figura, los procesos AB y $B'C$ son procesos isobáricos (a presión constante), mientras que los procesos BB' y CA son isocóricos (a volumen constante).

Sabemos que el trabajo realizado en los procesos isocóricos es nulo, mientras que el trabajo sobre el sistema en los procesos isobáricos es: $W = -p \cdot \Delta V$.

El trabajo total realizado en el proceso $ABB'CA$ es la suma de los trabajos realizados en cada proceso, por lo que solo será la suma del trabajo del proceso AB y del proceso $B'C$.

$$W_{ab} = -20 \text{ atm} \cdot (7 - 1,5)L = -110 \text{ atm} \cdot L$$

$$W_{b'c} = -1 \text{ atm} \cdot (1,5 - 7)L = 5,5 \text{ atm} \cdot L$$

$$W_{\text{total}} = W_{ab} + W_{b'c} = -104,5 \text{ atm} \cdot L = -1,1 \cdot 10^4 \text{ J}$$

El valor obtenido difiere del resultado del problema resuelto B porque, a pesar de que en ambos problemas los estados inicial y final son los mismos, el proceso seguido en cada uno es distinto. Al no ser el trabajo una función de estado, su valor depende del «camino» seguido.

3. Datos: $h = 49,5 \text{ m}; c_{\text{agua}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$\rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{g \cdot h}{c} =$$

$$= \frac{9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 49,5 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{4180 \text{ J}} = 0,12^\circ\text{C}$$

El mayor incremento posible de temperatura es de $0,12^\circ\text{C}$.

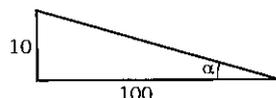
4. Datos:

$$v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 27,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$m = 950 \text{ kg}; x = 250 \text{ m}$$

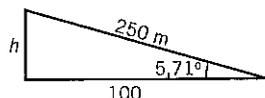
El coche tiene una energía cinética y potencial, la cual se transforma toda en energía calorífica. Por lo tanto, habrá que calcular la energía potencial y cinética del coche antes de que se detenga.

Para determinar la energía potencial tenemos que saber la altura a la que está el coche. En el enunciado nos dicen que el coche baja por una pendiente del 10 %. Mediante la figura siguiente podremos calcular el ángulo de la carretera y, posteriormente, se podrá hallar la altura del coche.



Mediante trigonometría, obtenemos el siguiente ángulo:

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{10}{100}\right) = 5,71^\circ$$



Con estos datos, procedemos a calcular la altura:

$$h = 250 \text{ m} \cdot \sin(5,71^\circ) = 24,87 \text{ m}$$

Otra forma más rápida de calcular la altura es también por trigonometría:

$$h = 250 \cdot \frac{10}{100} = 25 \text{ m}$$

La energía potencial será la siguiente:

$$E_p = mgh = 950 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 24,87 \text{ m} = 231775,9 \text{ J} = 2,32 \cdot 10^5 \text{ J}$$

La energía cinética será esta:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 950 \text{ kg} \cdot (27,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = 366571 \text{ J} = 3,67 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Por lo que el calor disipado por los frenos será la suma de las energías cinética y potencial:

$$Q = E_p + E_c = 2,32 \cdot 10^5 \text{ J} + 3,67 \cdot 10^5 \text{ J} = 5,99 \cdot 10^5 \text{ J}$$

5. Datos: coef. de rendimiento = $\eta = 1,9$

$$\frac{W}{1 \text{ h}} = 0,8 \text{ kW} \cdot \text{h} \rightarrow W = \frac{3600 \text{ kJ}}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} \cdot 1 \text{ h} = 2,88 \cdot 10^6 \text{ J}$$

El calor que se extrae de la habitación en una hora se calculará mediante el coeficiente de rendimiento:

$$\eta = \frac{|Q_b|}{|W|} = \frac{|Q_b|}{2,88 \cdot 10^6 \text{ kJ}} \rightarrow |Q_b| = 5,5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Hallaremos el calor cedido al exterior mediante la siguiente expresión:

$$|Q_a| = |W| + |Q_b| = 2,88 \cdot 10^6 \text{ J} + 5,5 \cdot 10^6 \text{ J} = 8,4 \cdot 10^6 \text{ J}$$

6. Datos: $|Q_a| = 2,10 \text{ kJ}$; $|W| = 1,89 \text{ kJ}$

Calcularemos el calor cedido por la máquina mediante esta expresión:

$$|Q_a| = |W| + |Q_b|$$

$$2,10 \text{ kJ} = 1,89 \text{ kJ} + |Q_b| \rightarrow |Q_b| = 0,21 \text{ kJ}$$

El coeficiente de rendimiento depende del calor que absorbe la máquina y del trabajo que realiza:

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_a|} = \frac{1,89 \text{ kJ}}{2,10 \text{ kJ}} = 0,90 = 90 \%$$

La variación de energía interna es cero, ya que en una máquina térmica –al ser cíclica– la energía interna no varía, puesto que U es una función de estado.

Ejercicios y problemas (Pág. 129 a 132)

1 INTRODUCCIÓN A LA TERMODINÁMICA

Pág. 129

7. Según el *Diccionario de la lengua española*, la termodinámica es la parte de la física en que se estudian las relaciones entre el calor y las restantes formas de energía. Etimológicamente, proviene de los vocablos griegos *thermos* 'caliente, calor' y *dynamis* 'fuerza, potencia'.

8. Dejando la velocidad de las moléculas constante (temperatura constante), podemos apreciar que presión y volumen son inversamente proporcionales (al aumentar la presión, el volumen disminuye) y, además, presión y moléculas son directamente proporcionales (necesitamos ejercitar más presión cuando aumentamos el número de moléculas para mantener el volumen constante). Por lo tanto, podemos afirmar que existe la siguiente relación entre los tres valores:

$$p \cdot V = n \cdot K$$

donde:

p = Presión

V = Volumen

n = Número de moles

K = Constante

9. Algunos sistemas termodinámicos son, por ejemplo, una pompa de jabón, un gas en un recipiente, un virus, una pila eléctrica, el motor de un coche, una caldera, un sólido magnético, un cultivo celular, una probeta que contiene reactivos, etc.

Ejemplos de variables termodinámicas son, entre otros, el volumen, la temperatura, la densidad, la presión y la masa. El volumen y la masa dependen del tamaño del sistema, mientras que la temperatura, la densidad y la presión no dependen del tamaño del sistema.

10. Los estados de equilibrio termodinámico son los estados en los que las variables termodinámicas que describen un determinado sistema están definidos. Por ejemplo, un gas que evoluciona lentamente pasa por sucesivos estados de equilibrio termodinámico.

La ecuación de estado es la ecuación que relaciona variables termodinámicas entre sí. Es una relación característica de cada tipo de sistema.

- El aire saldrá bruscamente del globo, por lo que no estará en equilibrio termodinámico.

2 EQUILIBRIO TÉRMICO Y TEMPERATURA

Pág. 129

- El principio cero de la termodinámica fue designado con este nombre por primera vez por Ralph H. Fowler, hacia 1931, cuando la segunda y tercera leyes de la termodinámica ya habían sido establecidas. Y, puesto que se considera la ley más básica de la termodinámica, fue numerada con un número anterior: el 0.

- Datos: $T(^{\circ}\text{C}) = -67,7^{\circ}\text{C}$

Para pasar un valor de temperatura expresado en grados Celsius a la escala Kelvin, es necesario sumar 273 K y saber que $0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$.

Por lo tanto, $-67,7^{\circ}\text{C}$ son 205,5 K. Y si utilizamos el valor 273, entonces:

$$T(\text{K}) = -67,7 + 273 = 205,3\text{ K}$$

Por otro lado,

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \cdot \left(\frac{9}{5}\right) + 32 = T(^{\circ}\text{C}) \cdot 1,8 + 32$$

En este caso: $T(^{\circ}\text{F}) = -67,7 \cdot 1,8 + 32 = -89,9^{\circ}\text{F}$

- Ejemplo donde se cumple la propiedad transitiva: si un número es menor que otro y este otro es menor que un tercero, entonces el primero es menor que el tercero. Asimismo, si un objeto es igual que otro y este otro es igual que un tercero, entonces el primero de ellos es igual que el tercero.

Ejemplo ilustrativo: 3 es menor que 5 y 5 es menor que 6, por lo que 3 es menor que 6.

Ejemplos donde no se cumple: si eres amigo de alguien y este alguien es amigo de otra persona, entonces no tiene por qué ser cierto que tú seas amigo de esta otra persona. Asimismo, si el equipo A le gana al equipo B, y el equipo B al C, no quiere decir que el A le gane al C.

- Termómetro de alcohol – Longitud de una columna de líquido
Pirómetro – Energía radiada
Termorresistor – Resistencia eléctrica
Termómetro de gas a volumen constante – Presión
- Tradicionalmente, los termómetros de mercurio han sido los más utilizados para medir la temperatura. Sin embargo, este sencillo y preciso instrumento de medición ha desaparecido de las farmacias europeas a raíz de una directiva comunitaria de 2007 que prohíbe su fabricación y comercialización debido a la toxicidad del mercurio, a los efectos nocivos que puede tener sobre la salud de las personas, y al daño que puede causar si se dispersa en el medio ambiente.

En pequeñas dosis, el mercurio puede afectar al sistema nervioso humano y, en grandes dosis, puede tener efectos fatales para el organismo. El principal problema que plantea este

metal es que no se degrada y se dispersa con facilidad por el ambiente, por lo que da lugar a una contaminación muy rápida que, además, se acumula en los seres vivos y se transmite por la cadena alimentaria.

Por este motivo, los termómetros digitales han sustituido a los de mercurio.

- Se trata de acceder a la web y de realizar las actividades indicadas.
- Datos: $t_1 = 20^{\circ}$; $L_1 = 8\text{ cm}$; $t_2 = 0^{\circ}$; $L_2 = 5\text{ cm}$; $L_3 = 10\text{ cm}$

La temperatura tiene una relación lineal entre X (la longitud de la columna de líquido, en este caso L) y la temperatura t .

$$t = ax + b$$

Sustituyendo los valores proporcionados en el enunciado, obtenemos dos ecuaciones de primer grado.

$$20^{\circ} = a \cdot 8\text{ cm} + b$$

$$0^{\circ} = a \cdot 5\text{ cm} + b$$

Al tener dos ecuaciones y dos incógnitas, podemos obtener los parámetros a y b deseados. Estos son:

$$a = 6,7^{\circ} \cdot \text{cm}^{-1}$$

$$b = -33^{\circ} \cdot \text{cm}^{-1}$$

Al saber los dos parámetros de la relación lineal entre la longitud de la columna de líquido y la temperatura, podemos obtener la temperatura con una longitud de 10 cm.

$$T = 6,67^{\circ} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot 10\text{ cm} + 33^{\circ} \cdot \text{cm}^{-1} = 34^{\circ}$$

- Datos: $p_{\text{tr}} = 200\text{ mmHg}$; $p = 220\text{ mmHg}$

Con la siguiente fórmula podemos obtener la temperatura a la que está el laboratorio:

$$T = 273,16 \cdot \frac{p}{p_{\text{tr}}}$$

Por lo que obtenemos una temperatura de:

$$T = 273,16\text{ K} \cdot \frac{220\text{ mmHg}}{200\text{ mmHg}} = 300\text{ K}$$

3 ENERGÍA TRANSFERIDA MEDIANTE CALOR

Pág. 129

- El calor es una forma de transferencia de energía que tiene lugar entre cuerpos, debido a su diferencia de temperaturas. El calor puede considerarse como la energía térmica que pasa de un cuerpo a otro o al medio. La energía térmica es la parte de la energía interna de un sistema que da lugar a la magnitud termodinámica *temperatura*. La energía térmica corresponde a la energía cinética microscópica y a parte de la energía potencial microscópica. Por otra parte, la temperatura es una magnitud ligada a la distribución energética de las partículas que constituyen un sistema termodinámico, de forma que, si hay suficientes partículas con energía alta, la temperatura resultante es alta. La relación entre ambas magnitudes (temperatura y energía por partícula) no es un simple promedio, sino que viene dada por distribuciones estadísticas especiales, estudiadas por la mecánica estadística.

21. Datos:

$$V = 25 \text{ m} \cdot 10 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ m} = 450 \text{ m}^3 = 450 \cdot 10^3 \text{ dm}^3 =$$

$$= 450 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$T_i = 29 \text{ }^\circ\text{C}; T_f = 30 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

La cantidad de calor necesario está determinada por la siguiente ecuación:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 450 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 1 \text{ }^\circ\text{C} =$$

$$= 1,9 \cdot 10^9 \text{ J}$$

22. Datos: $l_0 = 14 \text{ m}$; $\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $\lambda = 11 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Antes de todo, calcularemos la longitud final de los rieles. Al tratarse de una dilatación lineal, lo haremos mediante esta fórmula:

$$l = l_0 \cdot (1 + \lambda \cdot \Delta T)$$

$$l = 14 \text{ m} \cdot (1 + 11 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 40 \text{ }^\circ\text{C}) = 14,0062 \text{ m}$$

A continuación, podemos saber la variación de longitud:

$$\Delta l = l - l_0 = 6,2 \text{ mm}$$

23. Las paredes adiabáticas no permiten el paso de energía térmica a través de ellas. En cambio, las paredes diatérmicas permiten el intercambio de energía por medio de calor.**24. a)** La afirmación no es correcta, el calor no sube.

b) Se refiere a que el aire caliente se eleva. El calor es una de las muchas formas de energía; es energía en forma de moléculas en movimiento. Pero no tiene sentido decir que una forma de energía se eleva, desciende o se arrastra de lado. Así que, cuando pensamos en algo que se eleva, queremos decir que se está elevando a través del aire.

25. El agua permanece durante mucho tiempo en nuestra mano, hecho que permite un intercambio de calor prolongado, produciendo graves quemaduras en toda su superficie. Sin embargo, cuando una chispa nos salta en la mano, esta se apaga enseguida y produce una pequeña quemadura sin mayor importancia.

Además, el intercambio de energía entre dos cuerpos no solo viene dado por la diferencia de temperaturas, sino por el valor de la masa en contacto y de los respectivos valores del calor específico. Es decir, además del tiempo de contacto con la mano, hay que tener en cuenta la capacidad calorífica, que es mayor en el caso del agua —al tener más masa— que en la de la chispa de la bengala.

26. Debido al alto valor del calor específico del agua, una cantidad tan grande de agua necesita una transferencia muy alta de energía para poder variar su temperatura unos pocos grados. De esta manera, como el intercambio de calor entre el aire y el agua es constante, el mar y los grandes lagos atenúan las subidas y bajadas de temperatura de las zonas cercanas a ellos.**27. La temperatura fría de la bebida que se transmite al vaso causa el fenómeno de la condensación, que consiste en que un gas pase del estado gaseoso al líquido por disminución de la temperatura. En este caso, la superficie de contacto es el vaso, que actúa como sistema condensador que acumula las gotitas de agua alrededor de la superficie. Estas gotitas provienen del vapor de agua del aire, puesto que siempre hay una cierta cantidad de vapor de agua en el aire.****28. —** Al aumentar la presión de un líquido, la temperatura de ebullición de este aumenta.

— La olla a presión es un recipiente hermético para cocinar que puede alcanzar presiones más altas que la atmosférica. Debido a que el punto de ebullición del agua aumenta cuando se incrementa la presión, la presión dentro de la olla permite subir la temperatura de ebullición por encima de $100 \text{ }^\circ\text{C}$, en concreto hasta unos $130 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura más alta hace que los alimentos se cocinen más rápidamente, llegando a reducir los tiempos de cocción tradicionales entre tres o cuatro veces.

29. Datos:

$$m_{\text{agua}} = 0,25 \text{ kg}; m_{\text{term}} = 0,06 \text{ kg}; T_{0 \text{ term}} = 18 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_{f \text{ term}} = 47,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c = 0,225 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot \frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \cdot \frac{1 \text{ J}}{0,24 \text{ cal}} = 937,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

Calcularemos la cantidad de energía (Q) que se debe intercambiar mediante los datos que sabemos del termómetro:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 0,06 \text{ kg} \cdot 937,5 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} (47,4 - 18) \text{ }^\circ\text{C} = 1653,8 \text{ J}$$

Al saber la cantidad de energía que se intercambia, podemos utilizar la misma ecuación anterior y averiguar la temperatura inicial del agua:

$$1653,8 = 0,25 \text{ kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} (T_{0 \text{ agua}} - 47,4) \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow$$

$$\rightarrow T_{0 \text{ agua}} = 49 \text{ }^\circ\text{C}$$

30. Datos: $\lambda_{\text{latón}} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$; $\lambda_{\text{acero}} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Podemos observar que el coeficiente de dilatación del latón es mayor que el del acero. Esto nos dice que el latón se deformará más que el acero, por lo que la tira de latón quedará en la parte convexa.

Calcularemos el aumento relativo de longitud de ambos metales de la siguiente forma:

$$l = l_0 \cdot (1 + \lambda \Delta T)$$

$$l = l_0 + l_0 \lambda \Delta T$$

$$\frac{l - l_0}{l_0} = \lambda \Delta T$$

$$\text{Latón: } \frac{l - l_0}{l_0} = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \Delta T$$

$$\text{Acero: } \frac{l - l_0}{l_0} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \Delta T$$

Para calcular el aumento relativo de longitud de una tira respecto a la otra, únicamente hay que hallar el cociente entre ambas. El resultado obtenido es el siguiente:

$$\frac{1,8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \Delta T}{1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \Delta T} = 1,5$$

31. Datos: $m = 0,3 \text{ kg}$; $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_f = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

a) En este apartado el proceso se lleva a cabo a presión constante, por lo que habrá que consultar la tabla 1 y obtener el calor específico del aire a presión constante. A partir de ahí, aplicamos la fórmula y obtenemos el siguiente calor transferido:

$$c_p = 1004 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 1004 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q = 0,3 \text{ kg} \cdot 1004 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot (300 - 20) \text{ }^\circ\text{C} = 8,4 \cdot 10^4 \text{ J}$$

b) Calcularemos del mismo modo el calor necesario si se calienta a volumen constante. En este caso, se utilizará el calor específico del aire a volumen constante:

$$c_v = 717 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 717 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$Q = m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

$$Q = 0,3 \text{ kg} \cdot 717 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot (300 - 20) \text{ }^\circ\text{C} = 6,0 \cdot 10^4 \text{ J}$$

32. Datos:

$$m = 3 \text{ kg}; T = 20 \text{ }^\circ\text{C}; c_{\text{agua}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1};$$

$$L_{\text{vaporiz}} = 2257 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

a) El calor necesario para aumentar la temperatura del agua a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ se calculará con esta fórmula:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Sabiendo la masa del agua, su calor específico y la variación de temperatura, obtendremos el siguiente resultado de calor:

$$Q = 3 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot (100 - 20) \text{ }^\circ\text{C} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ J}$$

b) El calor necesario para evaporar la mitad del agua será el siguiente, utilizando la mitad de masa, ya que solo se evapora la mitad:

$$Q = 1,5 \text{ kg} \cdot 2257 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 3,4 \cdot 10^6 \text{ J}$$

33. Datos:

$$m_{\text{leche}} = 200 \text{ g}; T_{0\text{leche}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}; m_{\text{hielo}} = 20 \text{ g}$$

$$T_{0\text{hielo}} = -10 \text{ }^\circ\text{C}; c_{\text{leche}} = 3,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$L_{\text{hielo}} = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; c_{\text{hielo}} = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Hay mucha más leche que hielo, por lo que la temperatura final de la mezcla será superior a la temperatura de fusión del hielo. Es decir, el cubito primero aumentará de temperatura

hasta $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y, a continuación, se fundirá y aumentará su temperatura, mientras que la leche disminuirá de temperatura. Al alcanzar el equilibrio térmico, la leche y el agua proveniente del cubito estarán a la misma temperatura final T_f . Además, se cumple que la energía en forma de calor cedida por la leche es igual a la absorbida por el hielo y el agua.

Hallamos primero el calor necesario para elevar la temperatura del hielo de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_1 = m_{\text{hielo}} \cdot c_{\text{hielo}} \cdot \Delta T =$$

$$= 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot [0 - (-10)] \text{ K} = 4,2 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Calculamos el calor necesario para fundir el hielo:

$$Q_2 = m_{\text{hielo}} \cdot L_{\text{hielo}} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 6,68 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Igualamos el valor absoluto del calor cedido por la leche con el calor total absorbido por el hielo y el agua durante el proceso de paso de las temperaturas iniciales respectivas a la temperatura final T_f . La leche cede calor, con lo que este es negativo y, por tanto, añadimos el signo negativo para obtener el valor absoluto:

$$-m_{\text{leche}} \cdot c_{\text{leche}} \cdot \Delta T_{\text{leche}} = Q_1 + Q_2 + m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T_{\text{agua}}$$

Sustituimos los datos conocidos en la expresión anterior, teniendo en cuenta que los incrementos de temperatura en la escala Celsius y Kelvin coinciden, y que T_f está expresada en grados Celsius. Además, tomamos como calor específico del agua: $4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

$$-[0,200 \text{ kg} \cdot 3,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (T_f - 20) \text{ K}] =$$

$$= 4,2 \cdot 10^2 \text{ J} + 6,68 \cdot 10^3 \text{ J} + 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot$$

$$\cdot 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (T_f - 0) \text{ K}$$

Operando y cancelando unidades entre sí, se obtiene:

$$15200 - 760 T_f = 7100 + 83,6 T_f$$

De donde se deduce el valor de la temperatura final de la leche con el cubito diluido en ella: $T_f = 9,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

34. El punto de fusión del hielo disminuye a medida que la presión aumenta.

El hielo flota en el agua, es decir, el agua es más densa que el hielo. Si aumentamos la presión sobre el hielo, aumentamos también la densidad, con lo cual se facilita el paso de hielo a agua a una temperatura inferior a la habitual. Es decir, no se requiere tanta energía térmica para provocar la fusión de este y, cuando el valor de la presión sobre el hielo es menor, el cambio de estado puede tener lugar a una temperatura inferior a la necesaria.

35. Datos: $\Delta V = 4,0 \text{ mL}$; $d = 0,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$; $L_{\text{hielo}} = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Al derretirse el hielo la masa se conserva, pero el volumen varía debido a que la densidad del hielo y la del agua líquida son distintas.

Si denominamos V_{agua} al volumen de agua líquida final, y V_{hielo} al volumen inicial de hielo, a partir de los valores de masa y densidad se obtiene:

$$m_{\text{agua}} = m_{\text{hielo}} \rightarrow V_{\text{agua}} \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} =$$

$$= V_{\text{hielo}} \cdot 0,9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \rightarrow V_{\text{agua}} = 0,9 V_{\text{hielo}}$$

Por otra parte, según el enunciado es:

$$\Delta V = V_{\text{hielo}} - V_{\text{agua}} = 4,0 \text{ mL} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

De las dos ecuaciones, hallamos el volumen de hielo derretido:

$$V_{\text{hielo}} - 0,9 V_{\text{hielo}} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \rightarrow V_{\text{hielo}} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Por tanto, la masa de hielo derretido es:

$$\begin{aligned} m_{\text{hielo}} &= V_{\text{hielo}} \cdot \rho_{\text{hielo}} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot 0,9 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = \\ &= 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \end{aligned}$$

Y el calor necesario para derretir esta masa de hielo es:

$$\begin{aligned} Q &= m_{\text{hielo}} \cdot L_{\text{hielo}} = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = \\ &= 1,2 \cdot 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

4 ENERGÍA TRANSFERIDA MEDIANTE TRABAJO

Pág. 130

36. El trabajo es la forma de transferir energía de un sistema a otro mediante la acción de fuerzas aplicadas. Su valor numérico se calcula a partir del producto de la fuerza por el desplazamiento del cuerpo en la dirección de la fuerza.
37. Un proceso de expansión es el proceso en el que el volumen de un sistema termodinámico aumenta.
El proceso de compresión es aquel en el que el volumen de un sistema termodinámico disminuye.
38. Datos: $V_i = 1,2 \text{ L}$; $p = 3,1 \text{ atm}$; $W = 150 \text{ J}$

El valor absoluto del trabajo viene dado por:

$$W = p \cdot |\Delta V|$$

Antes de todo, hay que cambiar las unidades de los datos para poder operar con ellos. Pasaremos los litros a metros cúbicos y las atmósferas a pascales.

$$V_i = 1,2 \text{ L} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{10^3 \text{ L}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$p = 3,1 \text{ atm} \cdot \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} = 314\,030 \text{ Pa}$$

A continuación, se sustituyen los valores en la ecuación y se aísla el volumen final.

$$\begin{aligned} 150 \text{ J} &= 314\,030 \text{ Pa} \cdot (1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 - V_{\text{final}}) \rightarrow \\ \rightarrow V_{\text{final}} &= 7,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

39. El trabajo total del proceso ABCA será la suma de los trabajos en cada proceso.

$$W_{\text{total}} = W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow C} + W_{C \rightarrow A}$$

Del ejemplo 5 obtenemos los diferentes trabajos, que son los siguientes:

$$W_{A \rightarrow B} = -5,6 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$W_{B \rightarrow C} = 2,8 \cdot 10^3 \text{ J}$$

$$W_{C \rightarrow A} = 0 \text{ J}$$

El trabajo de A a B es negativo, ya que se trata de un proceso de expansión, mientras que el de B a C es de compresión. El proceso de C a A se lleva a cabo a volumen constante, por lo que no hay trabajo.

$$W_{\text{total}} = -5,6 \cdot 10^3 \text{ J} + 2,8 \cdot 10^3 \text{ J} + 0 \text{ J} = -2,8 \cdot 10^3 \text{ J}$$

40. Estos fenómenos son debidos al intercambio de calor. Cuando lo hinchamos, el globo adquiere la temperatura del aire que le introducimos (el de nuestro cuerpo); pero, con el tiempo, el globo va intercambiando calor con el ambiente hasta llegar al equilibrio térmico con él.

Al expandirse súbitamente, el aire del globo disminuye su energía interna y su temperatura se reduce. En consecuencia, la parte del globo en contacto con el aire en expansión también disminuye de temperatura, aunque ligeramente.

41. Datos:

$$p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}; V_0 = 200 \text{ cm}^3 = 200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3;$$

$$V_f = 75 \text{ cm}^3 = 75 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

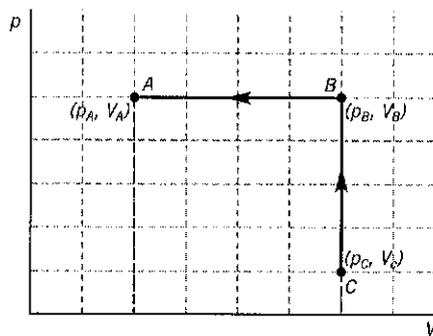
El valor absoluto del trabajo viene dado por:

$$|W| = |p \cdot \Delta V|$$

$$|W| = |1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (75 - 200) \cdot 10^{-6} \text{ m}^3| = 19 \text{ J}$$

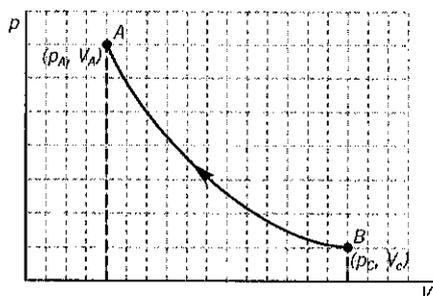
Como se está ejerciendo trabajo sobre el sistema y se trata de una compresión, este será positivo. De esta forma, el trabajo efectuado sobre el aire del fuelle es de 19 J.

- 42.



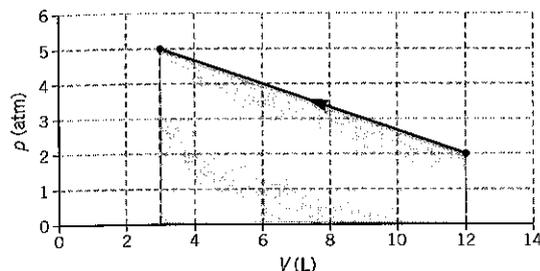
El proceso isobárico está representado por la línea horizontal (de A a C) en el diagrama p - V , mientras que el proceso isocórico está representado por una línea vertical (de C a B). El proceso inverso (de C a A) también corresponde a un proceso isobárico. Análogamente, el proceso de B a C correspondería también a un proceso isocórico.

- 43.



La figura obtenida es una hipérbola, ya que corresponde a la representación de la función $p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$, en la que la temperatura T es constante, por lo que resulta $p = \frac{cte}{V}$.

44. a)



b) El valor absoluto del trabajo vendrá determinado por el área bajo la gráfica del proceso en el diagrama p - V . En este caso, la podemos calcular como la suma del área del triángulo y la del rectángulo:

$$|W| = \frac{1}{2} (5 - 2) \text{ atm} \cdot (12 - 3) \text{ L} + 2 \text{ atm} \cdot (12 - 3) \text{ L} = 31,5 \text{ atm} \cdot \text{L} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Para determinar el signo del trabajo hay que tener en cuenta primero si es un trabajo realizado *por* el sistema o *sobre* el sistema y, segundo, si es una compresión o una expansión. En este caso, es el trabajo realizado por el sistema durante una compresión, por lo que le corresponde un signo negativo. Por tanto, el trabajo es de $-3,2 \text{ kJ}$.

Un procedimiento alternativo, en el caso de que los alumnos ya sepan integrar, es utilizar la siguiente expresión:

$$W_{\text{del sistema}} = \int_{V_0}^{V_f} p \cdot dV = \int_{12}^3 \frac{18 - V}{3} dV = -31,5 \text{ atm} \cdot \text{L}$$

$$-31,5 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \frac{1 \text{ J}}{0,00987 \text{ atm} \cdot \text{L}} = -3,19 \cdot 10^3 \text{ J}$$

45. Cuando un gas pasa por estados de no equilibrio, quiere decir que sus variables termodinámicas —y particularmente la presión— no están definidas en estos estados. Y por este motivo no se puede calcular el trabajo como el producto de la presión por la variación de volumen. Para ello, la presión tiene que ser constante y estar definida. Otra posibilidad es que el sistema siga un proceso cuasiestático en el que la presión varía, pero tiene un valor bien definido en cada paso del proceso. Entonces, el trabajo se calcula como suma de trabajos elementales.

46. Datos:

$$S = 40,5 \text{ cm}^2; m_1 = m_2 = 7,5 \text{ kg}; h_0 = 85,9 \text{ cm};$$

$$p_{\text{atm}} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}; T_1 = \frac{9 \cdot T_0}{10}$$

a) En la situación inicial, la presión en las dos caras del émbolo es la misma. Por tanto, la presión del gas es igual a la presión sobre la cara superior del émbolo, que es igual a la suma de la presión atmosférica más la presión debida al peso de los dos bloques:

$$p_0 = p_{\text{atm}} + \frac{2mg}{S} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} + \frac{(2 \cdot 7,5 \cdot 9,8) \text{ N}}{40,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 0,363 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,376 \cdot 10^5 \text{ Pa} \approx 1,4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

b) Al retirar un bloque, es de esperar que el émbolo suba y el gas se expanda, con lo que la temperatura y la presión disminuyen, mientras que el volumen aumenta. En la situación final, la presión del gas también es igual a la presión sobre la cara superior del émbolo, la cual ahora es menor al haber un bloque menos. Su valor es:

$$p_f = p_{\text{atm}} + \frac{mg}{S} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 0,182 \cdot 10^5 \text{ Pa} \approx 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Si suponemos que el gas se comporta como un gas ideal, y teniendo en cuenta que la cantidad de materia del gas es constante, la relación entre los valores inicial y final del volumen es:

$$\frac{V_0}{V_f} = \frac{p_f \cancel{R} T_0}{p_0 \cancel{R} T_f}$$

Escribamos el volumen en términos de la superficie (S) del émbolo y de su altura con respecto a la base del recipiente:

$$V_0 = L h_0; \quad V_f = L h_f$$

Al introducir estas dos expresiones en la expresión de la relación de volúmenes, así como la igualdad $T_f = \frac{9 \cdot T_0}{10}$, resulta la expresión de la altura final del émbolo:

$$\frac{L h_0}{L h_f} = \frac{p_f \cancel{S} 10}{p_0 \cancel{S} 9} \rightarrow h_f = \frac{9}{10} \frac{p_0}{p_f} h_0$$

Por lo que el desplazamiento del pistón es:

$$\Delta h = h_f - h_0 = \left(\frac{9}{10} \frac{p_0}{p_f} - 1 \right) h_0$$

Sustituimos los datos conocidos:

$$\Delta h = \left(\frac{9}{10} \cdot \frac{1,4 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}} - 1 \right) \cdot 85,0 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

c) La variación de la energía potencial gravitatoria del bloque sobre el pistón es:

$$\Delta E_p = mg \Delta h = 7,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,2 \text{ J}$$

El bloque ha ganado energía potencial gravitatoria gracias a la transmisión de energía en forma de trabajo del gas sobre el émbolo. Parte de la energía interna del gas se ha transformado en energía potencial gravitatoria del bloque.

5 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA Pág. 131

47. Al frotarnos las manos estamos aumentando la velocidad con la que se mueven los átomos que forman nuestras manos. Tal y como hemos estudiado, a mayor movimiento entre las partículas, mayor temperatura, con lo que, de esta manera,

las manos se calientan. Es decir, efectuamos un trabajo que aumenta la energía interna de nuestras manos y, por tanto, su temperatura. También se puede decir que la energía asociada al trabajo de la fuerza de rozamiento entre las manos se disipa en forma de calor que provoca el aumento de la temperatura de estas.

48. Datos: $Q = 120 \text{ kJ}$; $\Delta U = 210 \text{ kJ}$

Resolveremos este ejercicio mediante el primer principio de la termodinámica, teniendo en cuenta que el calor es positivo porque es absorbido por el sistema:

$$\Delta U = Q + W$$

$$210 \text{ kJ} = 120 \text{ kJ} + W \rightarrow W = (210 - 120) \text{ kJ} = 90 \text{ kJ}$$

49. En la época de Joule, una caloría era la cantidad de calor necesario para pasar 1 g de agua, a la presión estándar, de una temperatura de $14,5^\circ\text{C}$ a una temperatura de $15,5^\circ\text{C}$.

Estas son las soluciones a las actividades propuestas en la simulación de la página web del enunciado:

A1) Se le llama *energía potencial* y equivale al producto de masa, gravedad y altura del cuerpo. Suponiendo que el cuerpo pese 1 kg y esté a una altura de 5 m, su valor será de 49 J. Al poner en marcha la máquina, la energía potencial de la pesa se va transformando progresivamente en energía cinética de las palas, que, debido al rozamiento con el agua, se disipa en forma de calor, incrementando la temperatura del agua, como podemos ver en el *applet*.

$$\text{A2) } E_{\text{mec}} = E_p = m \cdot g \cdot h = 10 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 5 \text{ m} = 490 \text{ J}$$

$$c_{\text{agua}} = \frac{m \cdot g \cdot h}{m \cdot \Delta T} = \frac{490 \text{ J}}{0,100 \text{ kg} \cdot (21,17 - 20)^\circ\text{C}} = 4188,03 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$1 \text{ cal} = 0,001 \text{ kg} \cdot 1^\circ\text{C}$$

$$4188,03 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot ^\circ\text{C} = 4,188 \text{ J}$$

$$Q = m \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T = 0,100 \text{ kg} \cdot 4188,03 \cdot (21,17 - 20)^\circ\text{C} = 490 \text{ J}$$

Efectivamente, el valor del calor disipado coincide con el de la disminución de energía mecánica del peso.

$$\text{A3) } m_{\text{peso}} \cdot g \cdot h = m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T \rightarrow$$

$$\rightarrow m_{\text{peso}} = \frac{m_{\text{agua}} \cdot c_{\text{agua}} \cdot \Delta T}{g \cdot h}$$

$$m_{\text{peso}} = \frac{200 \text{ g} \cdot 4,18 \cdot 0,5 \text{ K}}{9,8 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 5 \text{ m}} = 8,5 \text{ g}$$

En efecto, al realizar la experiencia virtual con estos valores de la altura, de la masa del agua y del peso, se obtiene una variación de temperatura del agua de $0,51^\circ\text{C}$.

50. Para incrementar la exactitud del resultado, debemos usar valores de masa que nos den una diferencia de temperaturas elevadas. Y, tal como se explica en la página web, debería repetirse la experiencia varias veces para obtener el valor final de la temperatura resultante de la disipación continuada de calor a lo largo de todas las experiencias. Como esto no es posible en la experiencia virtual, se opta por utilizar una masa de valor elevado. Para ello, en nuestro ejemplo usaremos una masa del peso de 500 kg.

$$c = \frac{m_p \cdot g \cdot h}{m_a \cdot (T_f - T_i)} = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 1 \text{ m}}{0,1 \text{ kg} \cdot (31,7 - 20)^\circ\text{C}} = 4188,03 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$1 \text{ cal} = 0,001 \text{ kg} \cdot 1 \cdot 4188,03 = 4,188 \text{ J}$$

Asimismo, se debería repetir el experimento virtual para distintos valores de masa y obtener el valor medio.

51. Al agitar el termo se produce una energía cinética que se va convirtiendo poco a poco en energía térmica, por lo se produce un aumento en la temperatura del refresco.

Al estar el refresco aislado térmicamente (paredes adiabáticas), no habrá transferencia de calor ($Q = 0$) y la transferencia de energía únicamente habrá tenido lugar mediante trabajo.

52. Sabemos que:

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

$$W = -P \cdot \Delta V$$

En la anterior expresión del primer principio, W es el trabajo hecho sobre el sistema. Por lo tanto, como el trabajo hecho sobre el sistema aumenta (porque $\Delta V > 0$, ya que el sistema se está expandiendo), esto significa que la energía interna disminuirá (debido al signo negativo de la expresión de W).

53. Según el *Diccionario de la lengua española*, una frigoría es la unidad de medida de absorción de calor, empleada en la técnica de la refrigeración. Corresponde a la absorción de una kilocaloría.

Buscando en Internet se debería hallar que 1 fg (frigoría) equivale aproximadamente a 4 BTU (unidades térmicas británicas).

54. Una máquina térmica es un dispositivo capaz de efectuar trabajo a partir del calor. También puede trabajar en modo inverso, enfriando o calentando un cuerpo mediante trabajo externo. Las máquinas térmicas funcionan cíclicamente, de modo que la sustancia que contienen sufre distintas transformaciones hasta regresar a su estado inicial. Por ello, al ser la energía interna una función de estado, su energía interna no varía.

55. Datos: $P = 4,5 \text{ kW}$; $m = 3,5 \text{ kg}$; $\Delta t = 0,5 \text{ min} = 30 \text{ s}$

En la *tabla 1* del libro de texto hallamos que el calor específico del cobre es de $385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. A partir de este dato, operamos:

$$W = P \cdot \Delta t = 4,5 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 30 \text{ s} = 1,35 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\Delta U = W \rightarrow \Delta U = 1,35 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\Delta U = Q'$$

$$\Delta T = \frac{Q'}{m \cdot c_v} = \frac{135000 \text{ J}}{3,5 \text{ kg} \cdot 385 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = 100 \text{ K}$$

Hemos supuesto que todo el trabajo del taladro se ha transformado en energía interna de la pieza de cobre (no hay intercambio en forma de calor con el medio). Y, para hallar el incremento de temperatura, hemos utilizado la expresión de la variación de la energía interna para un proceso hipotético con cambio de temperatura a volumen constante.

56. Datos: $W = 3,2 \text{ kJ}$; $Q_b = 19,2 \text{ kJ}$

La bomba de calor es una máquina térmica que debe trabajar en modo inverso para poder cumplir su función.

$$|Q_a| = |W| + |Q_b| = 3,2 \text{ kJ} + 16 \text{ kJ} = 19,2 \text{ kJ}$$

Coefficiente de rendimiento: $\frac{|Q_a|}{|W|} = \frac{19,2 \text{ kJ}}{3,2 \text{ kJ}} = 6$

Una estufa eléctrica que reciba 3,2 kJ puede proporcionar como máximo 3,2 kJ en forma de calor. Al comparar este resultado con la energía en forma de calor proporcionada por la anterior bomba de calor (19,2 kJ), podemos concluir que una bomba de calor es mucho más eficiente como sistema de calefacción que una estufa eléctrica convencional.

57. Datos:

$$n = 0,260 \text{ mol}; \Delta T = 12,5 \text{ K}; c_v = 2,97 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Sabemos que el calor absorbido por el gas es tres veces el trabajo realizado por el gas.

La energía interna será la siguiente:

$$c_v = 2,97 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{4,1868 \text{ J}}{1 \text{ cal}} = 12,43 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta T = 0,260 \text{ mol} \cdot 12,43 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 12,5 \text{ K} = 40,4 \text{ J}$$

Aplicamos el primer principio de la termodinámica y obtenemos el trabajo realizado por el gas ($-W$). En la expresión del primer principio, W es el trabajo hecho sobre el gas. Además, según el enunciado propuesto, el calor absorbido es tres veces el trabajo realizado por el gas ($-W$). Y, por tanto: $Q = -3W$:

$$\Delta U = Q + W$$

$$40,4 \text{ J} = -3W + W$$

$$40,4 \text{ J} = -2W \rightarrow W = -20,2 \text{ J}$$

Este resultado es el valor del trabajo realizado sobre el gas.

Sabemos que el calor intercambiado es tres veces mayor que el trabajo realizado por el gas.

$$Q = -3W = -3 \cdot (-20,2) \text{ J} = 60,6 \text{ J}$$

58. Datos: $v = 300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $c_{\text{plomo}} = 128 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Toda la energía cinética que tenía la bala se transforma en energía térmica, obteniendo la siguiente ecuación, de modo que podremos obtener el incremento de temperatura:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\frac{1}{2} \cdot (300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = 128 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \Delta T$$

$$\rightarrow \Delta T = 352 \text{ grados}$$

59. Datos:

$$Q = 0; m = 2,0 \text{ kg}; p = 1 \text{ atm}; T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}; T_1 = 8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$c_v = 7,43 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}; V_1 = \frac{V_0}{7}$$

Por ser un proceso adiabático, se cumple:

$$\Delta U = Q + W = 0 + W \rightarrow W = \Delta U$$

Es decir, el trabajo sobre el gas es igual a su variación de energía interna, la cual, en un gas ideal viene dada por:

$$\Delta U = n \cdot M \cdot c_v \cdot \Delta T = m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

En el enunciado se facilitan algunos datos que no son necesarios. Sustituimos en la expresión anterior los que sí lo son:

$$\Delta U = 2,0 \text{ kg} \cdot 7,43 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (8 - 0) \text{ K} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ J}$$

El trabajo sobre el gas es $1,2 \cdot 10^5 \text{ J}$.

60. Datos: $n = 0,57 \text{ mol}$; $V_0 = 20 \text{ L}$; $V_1 = 4,0 \text{ L}$; $T = 293 \text{ K}$

Como sabemos que la variación de energía interna en los gases ideales depende únicamente de la temperatura, y al ser este un proceso isotérmico (temperatura constante), deducimos que la variación de energía interna en este proceso es cero.

Para hallar el trabajo ejercido sobre el gas, aplicamos la correspondiente expresión de la tabla del apartado 5.3 del libro de texto:

$$W = - \int_{V_0}^{V_1} p \cdot dV = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \left(\frac{V_0}{V_1} \right) =$$

$$= 0,57 \text{ mol} \cdot 8,31 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293 \text{ K} \cdot \ln \left(\frac{20 \text{ L}}{4,0 \text{ L}} \right) = 2,2 \text{ kJ}$$

Para calcular el calor, aplicamos el primer principio:

$$\Delta U = Q + W \rightarrow 0 = Q + W \rightarrow Q = -W = -2,2 \text{ kJ}$$

El signo negativo del calor indica que es un calor cedido por el gas.

6 ESPONTANEIDAD Y PROCESOS TERMODINÁMICOS

Pág. 131

61. Un proceso espontáneo es aquel que tiende a producirse naturalmente, sin la necesidad de ser impulsado por una fuerza externa adicional. En general, todo proceso espontáneo es irreversible. Un ejemplo de ello es que, a temperatura ambiente, los cubitos de hielo fusionen y se conviertan en agua.

62. a) Al frotarnos las manos, se enfrían. \rightarrow Imposible.

b) Por accidente, se vierte petróleo al mar. \rightarrow Posible e irreversible.

c) Disolvemos sal en agua y obtenemos NaOH y HCl. \rightarrow Imposible.

d) Se deja un columpio oscilando y se acaba parando. \rightarrow Posible e irreversible.

e) En verano, una parte del agua de un lago empieza a hervir. \rightarrow Posible, aunque muy improbable, dado el alto calor específico del agua. Si fuera en invierno, el proceso sería imposible.

f) Un cuerpo aumenta de temperatura al ponerlo en contacto con una sucesión de focos térmicos, cada uno a una temperatura infinitesimalmente superior al anterior. → Posible y reversible.

63. Un proceso espontáneo es irreversible, es decir, por sí solo no puede invertirse. No obstante, en algunos casos, tras un proceso espontáneo es posible devolver el sistema a su estado inicial; pero siempre hay que proporcionar un trabajo externo, esto es, debe haber un aporte energético externo.
64. Algunos ejemplos pueden ser una explosión o un globo que se deshinchica cuando lo soltamos sin haberlo anudado, o una taza que se hace añicos al dejarla caer desde cierta altura. En ambos casos, se produce un aumento de la entropía (incrementa el desorden de los sistemas).
65. La calidad de la energía mide la capacidad del sistema para producir trabajo útil. A menor capacidad, menor calidad de energía. Para cuantificar la pérdida de calidad asociada a las transformaciones energéticas se utiliza la entropía.

Los alumnos pueden buscar información en Internet o consultar libros en la biblioteca para hallar referencias a la calidad de los distintos tipos de energía. Las formas de energía de mayor calidad son la energía cinética y la potencial, que pueden aprovecharse íntegramente como trabajo útil. Les siguen, por este orden: la energía eléctrica, que también es de alta calidad, y la energía nuclear y atómica. En cambio, la energía térmica es de menor calidad que la eléctrica y las anteriormente citadas, puesto que no siempre puede usarse para mover todo tipo de máquinas (necesitamos mucha energía térmica para hacerlo). Además, la calidad de la energía térmica es tanto mayor cuanto mayor es la temperatura de la fuente térmica.

66. Las situaciones que son anteriores en el tiempo son:
- El fajo de leña en un hogar con chimenea. → La entropía ha aumentado al reducirse a cenizas (mayor desorden).
 - El vaso de cristal en el borde de una repisa. → La entropía ha aumentado al romperse el vaso (mayor desorden).
 - El trozo de pan recién horneado. → La entropía ha aumentado al crearse moho (mayor desorden).
 - La presa que retiene el agua. → La entropía ha aumentado al escaparse el agua (mayor desorden).
67. Consideramos que el calor se intercambia de forma reversible y tenemos en cuenta el signo del calor intercambiado en cada fuente térmica (positivo, si la fuente absorbe calor; negativo, si cede calor). La variación de entropía de los focos térmicos del aire acondicionado del problema resuelto *D* es la siguiente:

$$\Delta S_a = \frac{9,8 \cdot 10^3 \text{ J}}{(24 + 273) \text{ K}} = 33 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}; \Delta S_b = \frac{-7,3 \cdot 10^3 \text{ J}}{(37 + 273) \text{ K}} = -24 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

68. Datos: $T_b = 280 \text{ K}$; $Q_b = -1200 \text{ J}$; $T_a = 295 \text{ K}$; $W = 800 \text{ J}$
En este caso, como la máquina térmica cede calor a un foco a mayor temperatura, sabemos que está trabajando en modo inverso.

Primero hallamos el calor que intercambia con la fuente a baja temperatura:

$$|Q_b| = |Q_a| - |W| = 1200 \text{ J} - 800 \text{ J} = 400 \text{ J}$$

El sistema que constituye la máquina térmica vuelve a su estado inicial después de cada ciclo. Por tanto, al ser la entropía una función de estado, la entropía del sistema es nula y solo hay que calcular la variación de entropía en las fuentes térmicas. Suponemos que el calor intercambiado con cada fuente tiene lugar de forma reversible y tendremos en cuenta el signo del calor desde el punto de vista de cada fuente térmica (positivo, si la fuente absorbe calor; negativo, si la fuente cede calor):

$$\Delta S_{Tb} = \frac{Q_b}{T_b} = \frac{-400 \text{ J}}{280 \text{ K}} = -1,43 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta S_{Ta} = \frac{Q_a}{T_a} = \frac{1200 \text{ J}}{295 \text{ K}} = 4,07 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = 4,07 - 1,43 = 2,64 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

69. Porque en un ciclo de una máquina térmica el incremento de energía interna siempre vale 0. Por lo tanto, el trabajo máximo generado será igual al calor, y el rendimiento máximo en ese caso sería de 1. Sin embargo, parte del calor se cede a un foco o sumidero a baja temperatura, con lo cual el trabajo nunca llega a ser tan grande como el calor absorbido y el rendimiento siempre acaba siendo menor que 1. El rendimiento solo sería 1 en una máquina ideal que fuera reversible. Pero las máquinas reales son irreversibles, por lo que su rendimiento es menor que 1.
70. No lo contradice, puesto que un ser vivo necesita de un aporte energético exterior para poder crecer, hecho que provoca un aumento de entropía externo que hace que la entropía total del universo aumente. Concretamente, se necesita de la energía del Sol y de la obtenida a partir del metabolismo de los nutrientes. En el Sol, las reacciones que tienen lugar provocan un aumento de la entropía. Asimismo, los productos resultantes del metabolismo (desechos y sustancias excretadas) tienen una entropía mayor que los nutrientes.
71. Supongamos que hubiera un proceso reversible *P1* que provocara un aumento en la entropía global de un sistema y su entorno. Al ser reversible, el proceso *P1* podría ser invertido sin dejar cambios en el sistema ni en el medio a través de un proceso *P2*. En consecuencia, en el proceso *P2* tendría que haber una disminución de entropía en el conjunto sistema-entorno que compensara el aumento de entropía en *P1*, para no dejar ningún cambio. Por tanto, *P2* sería un proceso en el que la entropía del universo disminuiría; hecho que está en contradicción con el segundo principio de la termodinámica.
- Nota: Convendría explicar a los alumnos que un enunciado alternativo del segundo principio es el de que la entropía del universo siempre aumenta, tal como aparece en la Zona + de la unidad.
- La única posibilidad es que la variación de entropía en un proceso reversible sea cero.
72. La variación de entropía del sistema que constituye la máquina térmica es cero, puesto que el sistema vuelve a su estado inicial, tras cada ciclo, y la entropía es una función de estado.

Por tanto, la variación de entropía total de la máquina es igual a la variación de la entropía en las dos fuentes térmicas:

$\Delta S = \frac{Q_b}{T_b} + \frac{Q_a}{T_a}$, donde $Q_a < 0$, porque la fuente a alta temperatura cede calor, y $Q_b > 0$, ya que la fuente a baja temperatura absorbe calor (recordemos que las temperaturas en la escala Kelvin siempre son positivas). Y podemos escribir:

$$\frac{|Q_b|}{T_b} + \frac{-|Q_a|}{T_a} = \Delta S$$

Teniendo en cuenta el segundo principio de la termodinámica, la variación de entropía total del proceso debe ser mayor o igual que cero. Por tanto:

$$\Delta S \geq 0 \rightarrow \frac{|Q_b|}{T_b} + \frac{-|Q_a|}{T_a} \geq 0 \rightarrow \frac{|Q_b|}{T_b} \geq \frac{|Q_a|}{T_a} \rightarrow \frac{|Q_b|}{|Q_a|} \geq \frac{T_b}{T_a}$$

Por otra parte, la fórmula del rendimiento viene dada por:

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_a|} = \frac{|Q_a| - |Q_b|}{|Q_a|} = 1 - \frac{|Q_b|}{|Q_a|}$$

A partir de las dos expresiones anteriores se deduce que:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_b|}{|Q_a|} \leq 1 - \frac{T_b}{T_a} \rightarrow \eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

Y el rendimiento es máximo cuando en la expresión anterior se cumple la igualdad, es decir, cuando la variación de entropía es nula, lo que corresponde a un proceso reversible:

$$\Delta S = 0 \rightarrow \eta_{\text{rev}} = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

SÍNTESIS

Pág. 132

73. Debe comprobarse la presión en los neumáticos cuando estos están fríos, ya que, a mayor temperatura, mayor presión, y la presión recomendada por los fabricantes se mide a temperatura ambiente.

Al estar acumulando grandes cantidades de un gas a un volumen y una temperatura constantes, cuanto más gas se añada al neumático más presión habrá, pudiendo superar así a la presión atmosférica. Además, las paredes de los recipientes donde se almacenan gases —así como las de los neumáticos— son rígidas; de modo que pueden soportar diferencias de presiones en sus caras interior y exterior.

Como hemos explicado antes, la presión recomendada por los fabricantes se mide a temperatura ambiente, por lo que un neumático en caliente necesitará una presión mayor para que, al volver a la temperatura ambiente, la presión sea igual a la recomendada.

74. Porque el trabajo es la transmisión de energía en forma macroscópica, aun cuando su origen pueda ser microscópico. Por ejemplo, cuando un gas empuja un émbolo, las distintas partículas que lo componen actúan en la misma dirección, la del desplazamiento del émbolo. En cambio, el calor es la transmisión de energía en forma microscópica, proveniente de la agitación térmica en todas direcciones, es decir, en forma «desordenada».

75. Joule (1818-1889) era propietario de una fábrica de cerveza y se dedicaba principalmente a la física, como afición. Permitted establecer el equivalente mecánico del calor, gracias a sus célebres experimentos.

El conocido como conde de Rumford, Benjamin Thompson (1753-1814), trabajó gran parte de su vida para el gobierno bávaro. Aunque no era físico, realizó muchos estudios sobre el calor. A partir de la observación del calor producido durante la mecanización de los cañones, dedujo que el calor es un movimiento, no una sustancia.

Mayer (1814-1878) se dedicaba a la medicina y fue uno de los primeros en enunciar el principio de conservación de la energía, aunque su obra no fue reconocida por la comunidad científica.

Helmholtz (1821-1894) estudió medicina, fue cirujano y, posteriormente, obtuvo una cátedra de física. Contribuyó al estudio de distintos campos de la física (calorimetría, acústica, física matemática, de fluidos, etc.) y, en un artículo que publicó en 1847, expuso de forma clara el principio de conservación de la energía.

Colding (1815-1888) fue un ingeniero danés que, como Joule y Mayer, contribuyó a establecer el equivalente mecánico del calor y el principio de conservación de la energía.

Carnot (1796-1832), al igual que Colding, era ingeniero. Estudió científicamente las máquinas de vapor y, aunque admitía la teoría del calórico, sus trabajos permitieron el posterior establecimiento del segundo principio de la termodinámica.

Estos casos ilustran el carácter multidisciplinar de las ciencias y, concretamente, de la física y la química.

76. Datos: $m = 65 \text{ kg}$; $h = 25 \text{ m}$; $Q = -60 \text{ kJ}$

- a) La variación de la energía mecánica macroscópica equivalente a la variación de la energía potencial gravitatoria:

$$\Delta E_m = m \cdot g \cdot \Delta h = 65 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 25 \text{ m} = 16 \text{ kJ}$$

- b) Al coincidir la variación de la energía macroscópica con el trabajo realizado, el efectuado por el sistema es de 16 kJ. Es decir, el trabajo hecho sobre el sistema (W) es -16 kJ . Además, el calor es negativo, ya que es disipado por el sistema. Por lo tanto, al aplicar el primer principio de la termodinámica, la variación de energía interna es:

$$\Delta U = W + Q = -16 \text{ kJ} - 60 \text{ kJ} = -76 \text{ kJ}$$

- c) Sabiendo que $1 \text{ cal} = 4,187 \text{ J}$, podemos saber cuántos julios hay en 1 g de pasta y, posteriormente, sabiendo que se transforma el 40 % en trabajo mecánico, podremos saber cuánto trabajo se transformará con 1 g de pasta. A partir de ahí se establecerá la relación entre los 16 kJ que se tienen que quemar y calcularemos los gramos necesarios para ello.

$$4,0 \text{ kcal} \cdot 4,187 \text{ kJ} \cdot \text{kcal}^{-1} = 1,7 \cdot 10 \text{ kJ} = 6748 \text{ J}$$

$$1,7 \cdot 10 \text{ kJ} \cdot 0,4 = 6,8 \text{ kJ}$$

$$16 \text{ kJ} \cdot \frac{1 \text{ g de pasta}}{6,8 \text{ kJ}} = 24 \text{ g de pasta}$$

77. a) Consiste en dos vasijas de barro de diferentes diámetros, una dentro de la otra. El espacio entre ambas está relleno de arena húmeda. Tras introducir fruta, verdura, etc., en la vasija interior, se cubre con un paño empapado. El agua

contenida en la arena entre las dos vasijas recibe calor del contenido de la vasija interior, y se evapora. El vapor se dirige hacia la superficie exterior de la vasija más grande, donde circula el aire exterior seco y donde se halla el paño empapado, causando más evaporación. El proceso de evaporación provoca un descenso de temperatura de varios grados, enfriando el recipiente interno, destruyendo microorganismos y manteniendo los alimentos percederos.

El barro debe estar húmedo para que se mantengan también húmedas ambas vajillas; es decir, para suministrar el agua líquida cuya evaporación facilita el proceso de enfriamiento.

- b) Los materiales tienen que ser porosos a fin de que se pueda filtrar el agua a través de ellos, evaporarse en la superficie exterior y así mantener la toda la estructura fría.

78. Datos: $m = 50 \text{ kg}$; $L = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

- a) Sabemos que toda la energía potencial gravitatoria se transformará en calor. Por lo que, a partir del calor de fusión del agua y el máximo de hielo que se derrite al chocar contra el suelo, podemos conocer cuánta energía se desprenderá:

$$E = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 3,34 \text{ kJ} = 3340 \text{ J}$$

Igualamos la energía potencial a la que se desprenderá con el choque y obtenemos la altura:

$$m \cdot g \cdot h = E$$

$$50 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot h = 3340 \text{ J} \rightarrow h = 6,8 \text{ m}$$

- b) Aquí el hielo es empujado a una velocidad de $3,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, por lo que la energía cinética que tenga se transformará toda en calor y podremos obtener la masa que se ha derretido.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = L \cdot m_{\text{derretida}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot 50 \text{ kg} \cdot (3,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot m_{\text{derretida}}$$

$$\rightarrow m_{\text{derretida}} = 9,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = 0,92 \text{ g}$$

- c) Calculamos la variación de entropía, suponiendo que el calor se intercambia de forma reversible. Al ser un calor absorbido por el sistema, es positivo, por lo que la variación de entropía del sistema es:

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T} = \frac{L \cdot m}{T} = \frac{334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 0,01 \text{ kg}}{273,15 \text{ K}} =$$

$$= 12 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

- 79.** En la primera etapa, en la que se comprime un gas, el trabajo realizado sobre el gas es positivo; mientras que el trabajo realizado por el gas es negativo. El sistema recibe energía en forma de trabajo.

A continuación, se deja que el gas comprimido recupere la temperatura ambiente. Es decir, el gas que, al ser comprimido, aumenta su temperatura y recupera la temperatura ambiente disipando calor al exterior.

En la segunda etapa, donde el gas se expande libremente, el sistema realiza trabajo. Por lo tanto, el trabajo efectuado

sobre el gas es negativo, mientras que el trabajo realizado por el gas es positivo. Durante el trabajo de expansión, el gas disminuye su temperatura. Y, al estar en contacto con el interior del frigorífico, la evolución hacia el equilibrio térmico provoca que el gas absorba energía del interior del frigorífico en forma de calor.

En la tercera etapa, el gas se vuelve a comprimir, por lo que el trabajo realizado sobre el gas es positivo, mientras que el trabajo realizado por el gas es negativo. El sistema recibe energía.

- 80.** La planta es una máquina térmica convencional que trabaja transformando la energía calorífica (debido a la diferencia de temperaturas entre las capas superficiales del agua y las de la profundidad) en energía mecánica, que se utilizará para mover una turbina y generar energía eléctrica. Dicho esto, *a priori* se debería escoger la zona *a*, puesto que presenta la mayor diferencia de temperaturas. Veamos si esta suposición es correcta, considerando que el máximo rendimiento teórico para una máquina térmica que opera entre las temperaturas T_a y T_b , donde $T_b < T_a$, es:

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_b}{T_a}$$

Calculamos el máximo rendimiento teórico para cada una de las tres zonas, *a*, *b* y *c*:

$$\text{a) } \eta_a = 1 - \frac{4,2 + 273}{27,5 + 273} = 0,078$$

$$\text{b) } \eta_b = 1 - \frac{7,3 + 273}{29,4 + 273} = 0,073$$

$$\text{c) } \eta_c = 1 - \frac{3,5 + 273}{23,4 + 273} = 0,067$$

Efectivamente, el mayor rendimiento se obtiene en la zona *a*. De todas formas, dado el bajo valor del rendimiento obtenido, esta planta sería poco viable. Los proyectos reales para aprovechar la energía térmica de los océanos se emplazan en zonas con diferencias de temperaturas de más de $50 \text{ }^\circ\text{C}$, e incluso de $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Evaluación (Pág. 134)

- En el estado sólido las partículas se encuentran unidas por grandes fuerzas que las mantienen unidas a distancias relativamente pequeñas. Por otro lado, las fuerzas entre las partículas son más débiles en estado líquido, lo que permite que estas tengan cierta libertad de movimiento. Conforme aumenta la temperatura, aumenta la energía cinética de las partículas y la distancia que las separa. A esto se le llama *dilatación*. Por este hecho, el coeficiente de dilatación cúbica de los líquidos es mayor que el de los sólidos, ya que tienen mayor grado de movilidad.
- El calor de vaporización es la energía necesaria para cambiar 1 g de sustancia en estado líquido al estado gaseoso en el punto de ebullición. El calor de fusión es la energía necesaria para cambiar 1 g de sustancia de estado sólido a estado líquido, sin cambiar su temperatura. El calor de vaporización es mayor que el de fusión. Esto se debe a que las partículas en los gases interactúan muy débilmente entre sí, por lo que, para evaporar una sustancia,

hay que proporcionarle una gran cantidad de energía suficiente para romper las uniones entre partículas. Esta energía es mayor que la necesaria para que la sustancia pase de estado sólido a estado líquido, en el que las interacciones entre partículas no son tan fuertes como en el estado sólido, pero son importantes y mucho mayores que en el estado gaseoso.

2. Principio cero – Temperatura

Primer principio – Energía interna

Segundo principio – Entropía

3. — Falso, puesto que también influye la energía potencial que presentan unas partículas respecto a otras.

— Cierto.

— Falso. La magnitud termodinámica calor no es una función de estado, depende del proceso seguido, además de los estados inicial y final.

4. Masa – Magnitud extensiva

Energía interna – Magnitud extensiva

Temperatura – Magnitud intensiva

Entropía – Magnitud extensiva

Volumen – Magnitud extensiva

Presión – Magnitud intensiva

Densidad – Magnitud intensiva

5. El cuerpo humano se encuentra a una temperatura de unos 36 o 37 °C y no está diseñado para grandes pérdidas de calor; es decir, nuestra piel solo es un pequeño aislante, nada más, por lo que es fácil transmitir nuestra energía térmica a otros cuerpos. En el mismo momento que entramos en el agua (p. ej., a 20 °C) nuestro cuerpo empieza a perder energía (a transferirla al agua), y ocurre lo mismo con el aire. La diferencia está en la cantidad de energía necesaria para calentar el aire que nos rodea o el agua que nos rodea si estamos sumergidos. Para hacernos una idea, 1 L de agua pura tiene una masa de 1 kg. Sin embargo, 1 L de aire (es decir, el que cabe dentro de una botella de 1 L vacía) pesa alrededor de 1,3 g. Además, hay que tener en cuenta el valor del calor específico del agua en comparación con el del aire. Se precisa mayor disipación de calor corporal para llegar al equilibrio térmico cuerpo-medio en el caso de estar en contacto con agua que si se está rodeado por aire.

6. — Cierto. El trabajo no es una función de estado, por lo que depende de los estados inicial y final, así como del proceso seguido. Solo en el caso particular del trabajo asociado a fuerzas conservativas se puede afirmar que depende únicamente de los estados inicial y final.

— Por lo general, es cierto. Si bien hay sistemas termodinámicos en los que la energía interna depende de la temperatura y de otras variables termodinámicas, pero no de forma proporcional.

— Cierto.

— Cierto.

— Cierto.

7. a) El proceso AB es un proceso isobárico, mientras que el BC es un proceso isocórico.

b) Al tratarse de un ciclo –es decir, el estado final es el mismo que el inicial–, la variación de energía interna es cero, porque U es una función de estado. Por otra parte, el valor absoluto del trabajo es el área encerrada por el ciclo en el diagrama p-V que, según el enunciado, es de 900 J. Ahora bien, puesto que en el proceso de expansión (AB) el área bajo la curva es mayor que en el proceso de compresión (CA), globalmente se trata de un trabajo de expansión. Por ello, el trabajo sobre el sistema es negativo, es decir, el valor del trabajo es de -900 J. A partir de los dos valores anteriores, aplicamos el primer principio de la termodinámica para hallar el calor:

$$Q = \Delta U - W = 0 - (-900 \text{ J}) = 900 \text{ J}$$

c) Sí, cambiaría el signo de los resultados del apartado anterior.

8. Es un proceso irreversible, ya que la rueda no se vuelve a inflar sola.

— Al hinchar la rueda, se produce un aumento en el número de partículas de aire y un aumento de la presión del aire en el interior de la rueda. Este proceso equivale a la realización de un trabajo que da lugar a un aumento en la energía interna solamente, si consideramos que es un proceso adiabático. Por tanto, cabe esperar un aumento de temperatura asociado con el aumento de la energía interna del sistema contenido dentro del neumático.

9. Datos:

$$m = 2 \text{ kg}; T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}; T_f = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{agua}} = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}; L_{\text{vaporiz}} = 2257 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot L$$

$$Q = 2 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (100 - 20) \text{ K} + 2 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \cdot 2257 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$Q = 5182800 \text{ J} \rightarrow 1,43966 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$1,43966 \text{ kW}\cdot\text{h} \cdot \frac{100}{80} = 1,7996 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

$$1,7996 \frac{\text{kW}\cdot\text{h}}{\text{kW}\cdot\text{h}} \cdot 0,16 \frac{\text{€}}{\text{kW}\cdot\text{h}} = 0,29 \text{ €}$$

10. Datos: $m = 2300 \text{ kg}; v = 50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Toda la energía cinética se transforma en energía en forma de calor.

Antes de todo, hay que cambiar las unidades de la velocidad a unidades del SI (Sistema Internacional de Unidades).

$$v = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{10^3 \text{ m}}{1 \text{ km}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 13,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Por lo tanto, la energía en forma de calor que disiparán los frenos será la siguiente:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2300 \text{ kg} \cdot (13,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2 = 2,2 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Zona + (Pág. 135)

— *¿Hace falta ahorrar energía?*

- A partir del texto, se llega a la conclusión de que hay que utilizar de forma razonable las fuentes energéticas, especialmente las de mayor calidad, puesto que en las transformaciones energéticas la energía se conserva, pero se va degradando.

- Respuesta sugerida:

Los procesos no espontáneos pueden tener lugar gracias a la acción de un agente externo que proporciona energía en forma de trabajo.

De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, los procesos espontáneos conllevan un aumento en la entropía; es decir, en el grado de desorden del conjunto sistema-entorno. En el caso de edificios y construcciones, las reacciones químicas y procesos químicos que tienen lugar de forma espontánea conllevan un au-

mento del desorden que, a nivel macroscópico, se visualiza como un deterioro. De ahí la importancia de los trabajos de mantenimiento y conservación, ya que las infraestructuras no se mantienen por sí mismas y nunca evolucionan espontáneamente hacia un mayor grado de orden.

- Respuesta sugerida:

Tras consultar en Internet, en la presentación se podría incluir un esquema simplificado de las principales etapas en la fabricación de un automóvil o de cualquier objeto o construcción. Y en cada una de estas etapas se debería analizar los flujos energéticos y la variación en el grado de orden del conjunto sistema-orden.

Con relación al segundo principio, una posibilidad es incluir también en la presentación otros enunciados del segundo principio de la termodinámica (enunciados de Kelvin y Clausius), ilustrados con dibujos de máquinas térmicas.