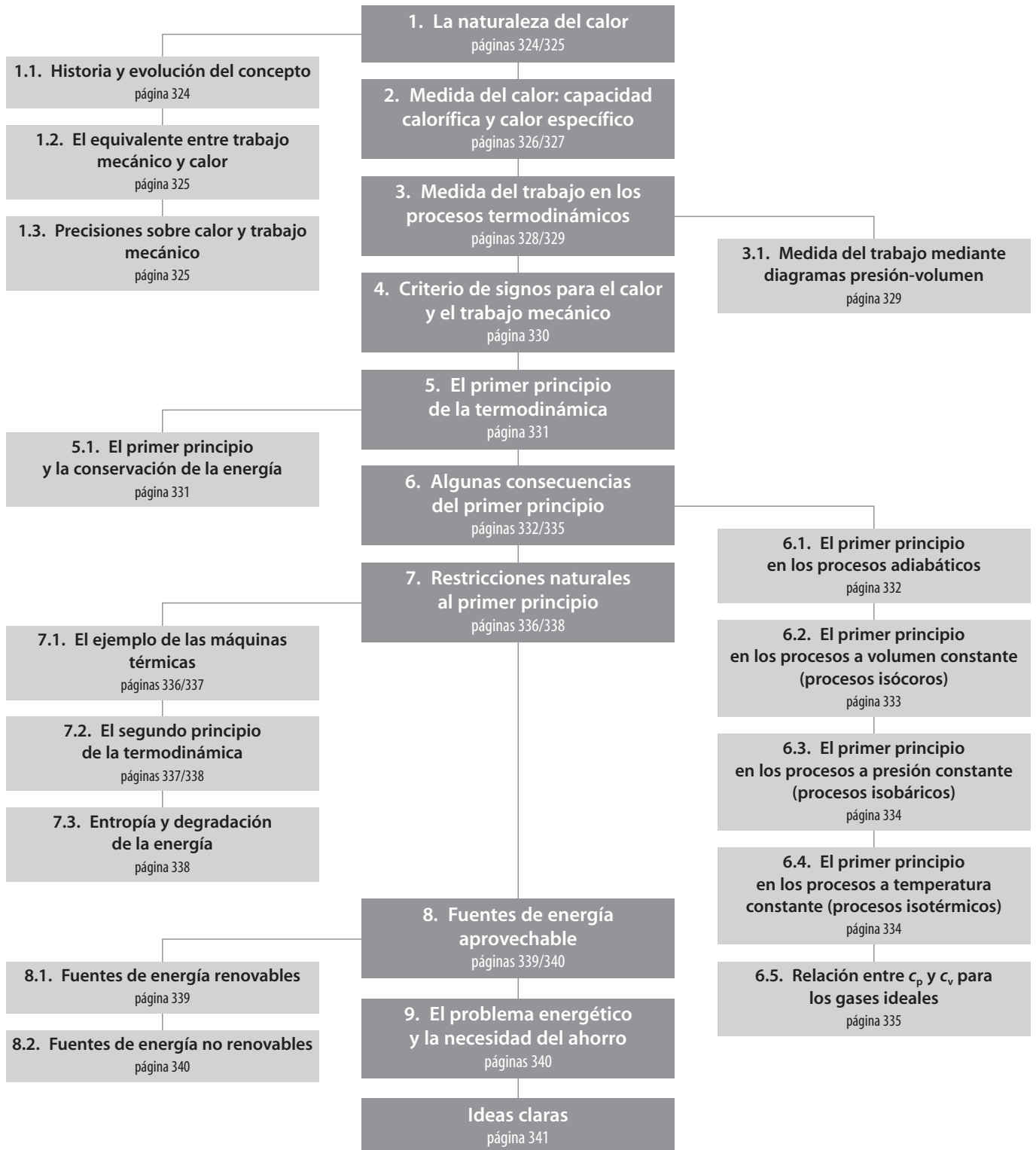


# 13

# Calor y Termodinámica

## E S Q U E M A D E L A U N I D A D



Cuestiones previas (página 323)

1. Indica los enunciados que consideres correctos, referidos al calor:

- a) Los cuerpos que están a mayor temperatura contienen más calor.
- b) El calor es una sustancia que se transmite de los cuerpos con mayor temperatura a los de menor temperatura.
- c) El calor es un medio de transferir energía de un cuerpo a otro cuando sus temperaturas son distintas.

Es interesante ver qué ideas previas tienen los alumnos acerca del concepto de calor, pues los errores referidos a él están muy extendidos. La idea de que es algo contenido en los cuerpos está demasiado arraigada. Uno de los objetivos de esta unidad es que entiendan que solo tiene sentido hablar de calor como consecuencia de una interacción entre dos cuerpos o sistemas a diferente temperatura, que se manifestará en forma de transferencia de energía en las fronteras de ambos cuerpos o sistemas. De las tres preguntas que se plantean en el texto, la correcta es la c).

2. ¿Puede transmitirse calor de un cuerpo con menor temperatura a otro con mayor temperatura?

- a) No, nunca.
- b) Sí, si la masa del de menor temperatura es mucho mayor y contiene más cantidad de calor.

Se trata de una pregunta «con trampa». Si se tiene claro el concepto de calor, se deducirá que la única respuesta correcta es la a). La b) entraría en contradicción con el 2.º principio de la termodinámica.

Actividades (páginas 325/340)

1 Si suponemos que la cubeta de Joule contiene 3 L de agua y una sola pesa de 25 kg, que se deja caer desde una altura total de 5 m, ¿cuánto aumentará la temperatura del agua?

La energía potencial inicial de la pesa acaba siendo transferida en forma de calor a la cubeta de agua, lo que produce un aumento de la temperatura de esta. Así:

$$mgh = m_{\text{aq}}c_e\Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{mgh}{m_{\text{aq}}c_e} = 0,098 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para ello, hemos expresado la energía potencial de la pesa en calorías y se ha considerado que  $c_e = 1 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$ .

2 ¿Qué masa total debería colgarse en el dispositivo de Joule si deseamos aumentar en un grado la temperatura de 5 L de agua y la altura de caída es de 10 m?

Partiendo de la misma igualdad que en el ejercicio anterior, se obtiene:

$$m = \frac{m_{\text{aq}}c_e\Delta T}{gh} = \frac{5 \text{ kg} \cdot 4184 \text{ J/kg }^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ }^\circ\text{C}}{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m}} = 213,5 \text{ kg}$$

3 Detalla las transformaciones energéticas que tienen lugar en la experiencia de Joule.

La energía mecánica que va perdiendo la pesa se emplea en el trabajo de rotación de las palas y se disipa en la fricción de estas con el agua. Como la energía disipada lo hace en forma de calor, este provoca finalmente un aumento en la temperatura del agua.

4 Un cuerpo tiene el triple de masa y calor específico que otro. ¿Cómo serán en comparación las variaciones de temperatura si agregamos a ambos el mismo calor?

Teniendo en cuenta que  $Q = mc \Delta T$ , cabe deducir que  $\Delta T = \frac{Q}{mc}$ . Así pues, a igualdad de calor transferido, si la masa y el calor específico del primer cuerpo tienen el triple de valor que en la otra sustancia, el aumento de temperatura que se produce en el primer cuerpo es 1/9 del aumento de temperatura que se produce en el otro cuerpo.

5 Para calentar 300 g de cierta sustancia desde 15 °C hasta 35 °C, se requieren 25 000 cal. ¿Cuál es el calor específico de dicha sustancia? ¿Y la capacidad calorífica de esa masa?

El calor específico será:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} = \frac{25\,000 \text{ cal}}{300 \text{ g} \cdot (35 - 15) \text{ }^\circ\text{C}} = 4,16 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$$

La capacidad calorífica de esa masa de sustancia será:

$$C = cm = 1\,248 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

6 ¿Cuánto calor debe agregarse a 10 g de plata a 22 °C para fundirlos completamente? Expresa el resultado en calorías y en julios. Datos: calor latente de fusión de la plata  $L = 21,1 \text{ cal/g}$ ; temperatura de fusión de la plata = 961 °C

En la tabla 13.1 vemos que el calor específico de la plata es  $c = 0,056 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$ .

Por otro lado, para fundir los 10 g de plata, los primero será llevarlos a la temperatura necesaria para que esto ocurra, esto es, desde los 22 °C hasta los 961 °C.

Para ello necesitaremos:

$$Q = mc \Delta T$$

$$Q = 10 \text{ g} \cdot 0,056 \text{ cal/g }^\circ\text{C} \cdot (961 - 22) \text{ }^\circ\text{C} = 525,84 \text{ cal}$$

Ahora tendremos que hallar la cantidad de calor necesaria para, sin variar de temperatura, cambiar de estado a la plata sólida y que pase a fase líquida:

$$Q_{\text{lf}} = mL = 10 \text{ g} \cdot 21,1 \text{ cal/g} = 211 \text{ cal}$$

Sumando ambas cantidades:

$$211 \text{ cal} + 525,84 \text{ cal} = 736,8 \text{ cal}$$

7 Transforma los valores de calores específicos de la tabla 13.1 al SI.

El factor de conversión en todos los casos es:

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{g }^\circ\text{C}} = 1 \cdot \frac{4,184 \text{ J}}{10^{-3} \text{ kg K}} = 4184 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

Basta, pues, multiplicar las cantidades dadas por 4 184.

8 Si 3 L de gas se calientan a una presión constante de 1,5 atm hasta que su volumen se duplica, ¿cuál es, en julios, el trabajo realizado por el gas?

El trabajo de expansión realizado por el gas es:

$$W = p (V_f - V_o)$$

Para expresar el trabajo en J, debemos transformar las unidades de presión y volumen a unidades del SI:

$$p = 1,5 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa/1 atm} = 151\,950 \text{ Pa} = 151\,950 \text{ N/m}^2$$

9 Un gas ideal ocupa un volumen de 10 L a una temperatura de 300 K. Si se aumenta la temperatura hasta 450 K a una presión constante de 2 atm, ¿cuál es el trabajo realizado por el gas en la expansión? Representalo en un diagrama p-V.

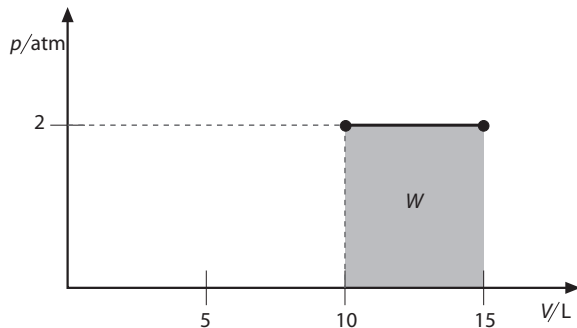
Aplicando la ley de Charles al proceso, podemos conocer el volumen final:

$$V_f = \frac{V_0 T_f}{T_0} = 15 \text{ L}$$

Por tanto, el trabajo realizado en el proceso será:

$$W = p \Delta V = 2 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa/1 atm} \cdot 0,005 \text{ m}^3 = 1\,013 \text{ J}$$

El diagrama  $p$ - $V$  es:

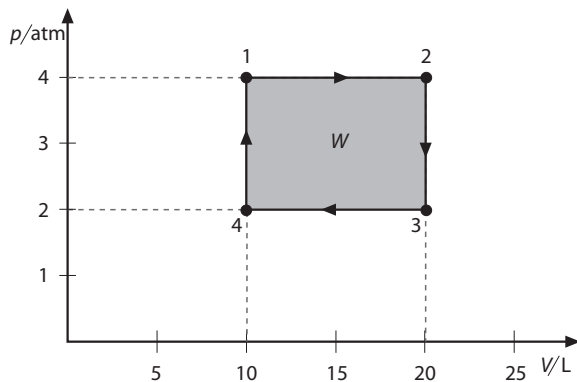


**10** Sometemos 10 L de un gas que se halla inicialmente a una presión de 4 atm al siguiente proceso cíclico:

1. Se calienta a presión constante hasta que el volumen se duplica.
2. Se enfría a volumen constante hasta que la presión es de 2 atm.
3. Se comprime por enfriamiento a presión constante hasta que el volumen se iguala con respecto al inicial.
4. Se calienta a volumen constante hasta que la presión aumenta y alcanza el valor inicial.

Calcula por métodos gráficos el trabajo realizado en todo el proceso.

El diagrama  $p$ - $V$  correspondiente al proceso citado en cuatro etapas sería:



El trabajo realizado en todo el proceso es el área sombreada en el diagrama y valdrá:

$$W = 2 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa/1 atm} \cdot 0,01 \text{ m}^3 = 2\,026 \text{ J}$$

**11** ¿Por qué es recomendable abrigarse después de haber hecho ejercicio?

Porque de esa manera, al aumentar la frontera entre el sistema y el entorno, disminuimos la transferencia de calor desde nuestro cuerpo (sistema de volumen constante durante el proceso) hacia el entorno o ambiente y evitamos una excesiva pérdida de energía interna que podría acarrear serios problemas.

**12** Una oblea de silicio de 5 g de la celda de un panel solar, expuesta al Sol, aumenta su temperatura desde 20 °C hasta 110 °C a la presión atmosférica. Si se desprecian los efectos de dilatación, ¿qué tipo de proceso tiene lugar? ¿Cuál es la

variación, en julios, de la energía interna? Dato: calor específico del silicio = 0,168 cal/g °C

Según el primer principio, la oblea, al calentarse, está aumentando su energía interna,  $U$ , en la misma cantidad que el calor que acumula, dado que al no haber dilatación,  $W = 0$ .

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

$$\Delta U = 5 \text{ g} \cdot 0,168 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (110 - 20) \text{ } ^\circ\text{C} = 75,6 \text{ cal} = 316,3 \text{ J}$$

**13** Calcula la variación de energía interna del sistema en los siguientes casos:

- a) Se suministran 5 000 cal al sistema, y este realiza un trabajo de 32 340 J.
- b) Se disminuye la temperatura de 1,5 kg de agua líquida desde 20 °C hasta 4 °C.
- c) El sistema absorbe 3 000 cal, pero su temperatura se mantiene constante.

Aplicando el primer principio en la forma  $\Delta U = Q - W$ , tenemos:

$$a) \Delta U = 5\,000 \text{ cal} \cdot 4,184 \text{ J/cal} - 32\,340 \text{ J} = -11\,420 \text{ J}$$

b) Puesto que no hay variación de volumen,  $W = 0$ , por lo que  $\Delta U = Q$ .

$$\Delta U = mc \Delta T = 1,5 \text{ kg} \cdot 4\,184 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} (-16 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\Delta U = -100\,416 \text{ J}$$

c) En este caso, la variación de energía interna es cero, pues su temperatura no cambia.

**14** El desarrollo de la página 325 del Libro del alumno hace referencia a un proceso a presión constante. Sin embargo, se ha utilizado la expresión de la variación de energía interna a volumen constante. ¿Por qué?

La energía interna es una función de estado, y su variación al pasar de un estado a otro es la misma, independientemente de cómo se haya llevado a cabo la transformación (ya sea a presión o a volumen constantes).

En la mayoría de los problemas usaremos la igualdad empleada en el texto para calcular la variación de energía interna.

**15** Una máquina térmica realiza 120 J de trabajo con una eficiencia del 35 %. ¿Cuánto calor se absorbe en cada ciclo de la operación? ¿Cuánto calor se expelle?

En una máquina térmica, el rendimiento es:

$$e = \frac{W}{Q_c}$$

luego:

$$0,35 = \frac{120 \text{ J}}{Q_c} \Rightarrow Q_c = 342,86 \text{ J}$$

Por otro lado,

$$e = \frac{Q_c - Q_f}{Q_c} \Rightarrow 0,35 = \frac{342,86 \text{ J} - Q_f}{342,86 \text{ J}} \Rightarrow Q_f = 222,86 \text{ J}$$

**16** ¿Crees que es posible que un barco pueda navegar extrayendo para ello únicamente el calor necesario del agua del mar?

En esta actividad se trata de poner de manifiesto la imposibilidad de conversión íntegra de calor en trabajo mecánico.

No existe ni puede existir un barco de semejantes características, pues ese proceso supondría una disminución de entropía, como se explica más adelante.

**17** Un cuerpo se desliza por una superficie horizontal y finalmente se para como consecuencia de la fricción con el suelo. ¿Qué ha pasado con el trabajo mecánico? Una vez

en reposo, ¿podría el cuerpo volver a acelerarse tomando para ello calor del medio?

Todo el trabajo mecánico se ha disipado en forma de calor. Sin embargo, es evidente que el proceso inverso no tiene lugar. De nuevo, ese proceso llevaría a una disminución de la entropía.

- 18** Infórmate sobre las fuentes de energía más usadas en el entorno de tu localidad y redacta un breve informe sobre su uso.

RESPUESTA LIBRE.

- 19** Explica por qué crees que se dice que el CO<sub>2</sub> producido en la combustión de biomasa tiene un ciclo neutro.

Porque se compensa con la absorción de este gas durante el crecimiento de las plantas.

- 20** Realiza un trabajo sobre el grado de cumplimiento en tu casa de las medidas de ahorro y respecto al medio ambiente. Escribe en la conclusión cuáles son los aspectos que podrían mejorarse.

RESPUESTA LIBRE.

## Cuestiones y problemas (páginas 344/345)

### Naturaleza y medida del calor

- 1** ¿Es el calor una forma de energía como lo es la energía potencial o cinética?

No, el calor es un método o forma de transferir energía entre dos cuerpos.

- 2** ¿Qué altura deberían descender dos pesas de 30 kg cada una en el dispositivo de Joule, si la cubeta contiene 0,75 L de agua y se desea elevar su temperatura en 1 °C?

El calor necesario para elevar un grado la temperatura de 0,75 L de agua ( $m = 750$  g) es:

$$Q = mc \Delta T = 750 \text{ cal} = 3138 \text{ J}$$

Esa debe ser, pues, la energía potencial inicial de ambas pesas, por lo que:

$$2m'gh = 3138 \text{ J}$$

Despejando la altura, resulta:

$$h = \frac{3138 \text{ J}}{2 \cdot 30 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 5,3 \text{ m}$$

- 3** Al calentar 800 g de cierta sustancia, la temperatura asciende de 15 °C hasta 35 °C. Si el proceso ha requerido 11 200 cal, ¿cuál es el calor específico de dicha sustancia? ¿Y la capacidad calorífica de esos 800 g?

El calor específico de dicha sustancia será:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} = 0,7 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

La capacidad calorífica de esa cantidad de sustancia es:

$$C = mc = 800 \text{ g} \cdot 0,7 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} = 560 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

- 4** Un bloque de Cu de 5 kg se mueve con una velocidad inicial de 5 m/s sobre una superficie horizontal rugosa. Como consecuencia de la fricción, acaba parándose. Si el 85 % de su energía cinética inicial es transferido al bloque en forma de calor, ¿cuánto aumentará la temperatura del bloque? ¿Qué pasa con la energía restante?

La energía cinética inicial del bloque es:

$$\frac{1}{2} mv_0^2 = 62,5 \text{ J} = 15 \text{ cal}$$

Como el calor transferido al cobre supone el 85 % de esa energía cinética:

$$Q = 0,85 \cdot 15 = 12,75 \text{ cal}$$

Por tanto:

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{12,75 \text{ cal}}{5000 \text{ g} \cdot 0,093 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,027 \text{ }^\circ\text{C}$$

- D 5** ¿A qué velocidad deberíamos lanzar contra un muro de hormigón un trozo de plomo de 3 g que está a una temperatura de 60 °C en el momento del choque, si deseamos que se funda completamente por efecto del impacto?

Datos:  $c$  (Pb) = 0,03 cal/g °C;  $T_{\text{fus}}$  (Pb) = 326 °C;  $L_{\text{fus}}$  (Pb) = 5,8 cal/g

Para que se funda por completo, primero debe absorber el calor necesario para aumentar su temperatura desde los 60 °C hasta los 326 °C (temperatura de fusión) y, posteriormente, el calor necesario para la fusión.

Es decir:

$$Q = mc \Delta T + mL_f$$

$$Q = 3 \text{ g} \cdot 0,03 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} (326 - 60) \text{ }^\circ\text{C} + 3 \text{ g} \cdot 5,8 \text{ cal/g}$$

$$Q = 41,34 \text{ cal} = 172,96 \text{ J}$$

Este valor ha de coincidir con la energía cinética que debía tener la bola de plomo:

$$\frac{1}{2} mv^2 = 172,96 \text{ J}$$

De donde resulta una velocidad de 339,57 m/s.

- 6** Un calentador eléctrico de 2,5 kW calienta el agua de un depósito de 100 L desde la temperatura inicial de 10 °C hasta los 50 °C. ¿Qué tiempo necesita para ello si el rendimiento de la transformación de energía eléctrica en térmica es del 95 %?

El calentador es capaz de suministrar 2 500 J cada segundo, de los cuales el 95 % se transforma en energía térmica. Por tanto, la potencia útil es:

$$0,95 \cdot 2500 \text{ W} = 2375 \text{ W}$$

Calcularemos ahora el calor necesario (en J) para elevar 40 °C la temperatura de los 100 L de agua. Supondremos para ello que la densidad del agua a esas temperaturas es constante e igual a 1 kg/L.

$$Q = mc \Delta T = 100 \text{ kg} \cdot 4184 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 40 \text{ }^\circ\text{C} = 16736000 \text{ J}$$

Por tanto,  $t = \frac{Q}{P_{\text{útil}}} = 7047 \text{ s}$ .

- 7** Un objeto de 1 kg de masa cae desde 1 000 m de altura, partiendo del reposo, sobre un recipiente que contiene 10 L de un líquido cuyo calor específico es 0,24 kcal/kg °C a una temperatura de 15 °C y que se encuentra al nivel del suelo. Si toda la energía cinética del objeto se invierte en calentar el líquido, determina la temperatura final de este. Desprecia el rozamiento con el aire.

Datos:  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ;  $\rho_{\text{líquido}} = 0,98 \text{ g/cm}^3$

La energía mecánica inicial del objeto es:

$$E_p = mgh = 9800 \text{ J} = 2,352 \text{ kcal}$$

Toda esta energía se transfiere en forma de calor al recipiente ( $E_p = Q$ ), por lo que:

$$Q = m'c \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{Q}{m'c}$$

Conocido el valor de la densidad del líquido, su masa será:

$$m' = \rho V = 9,8 \text{ kg}$$

Por tanto:

$$\Delta T = \frac{2,352 \text{ kcal}}{9,8 \text{ kg} \cdot 0,24 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Por consiguiente, la temperatura final del líquido será de 16 °C.

- D 8** El helio líquido ebulle a 4,2 K y su calor latente de vaporización es de 4,99 cal/g. Se pretende evaporar 20 L de helio líquido mediante un calefactor eléctrico sumergido de 15 W de potencia. Si la densidad del helio líquido es 0,125 g/cm<sup>3</sup>, ¿cuánto tiempo se empleará en el proceso de evaporación?

La masa del helio que pretendemos evaporar es:

$$m = \rho V = 0,125 \text{ g/cm}^3 \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 2\,500 \text{ g}$$

Veamos ahora la cantidad de calor que necesitamos para evaporar esa cantidad:

$$Q = mL_v = 2\,500 \text{ g} \cdot 4,99 \text{ cal/g} = 12\,475 \text{ cal} \cdot 4,18 \text{ J/cal} = 52 \text{ kJ}$$

Por otro lado,

$$t = \frac{W}{P} = \frac{52\,000 \text{ J}}{15 \text{ W}} = 3\,476 \text{ s} = 58 \text{ min}$$

### Medida del trabajo: diagramas p-V

- 9** Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final, ¿depende el trabajo realizado solo de cuáles son dichos estados? Pon ejemplos que ilustren tu respuesta.

No. Depende de la trayectoria seguida, como se explica en el epígrafe 3.1 del libro de texto.

- 10** Un mol de gas ideal es sometido al proceso reversible en tres etapas que se detalla a continuación:

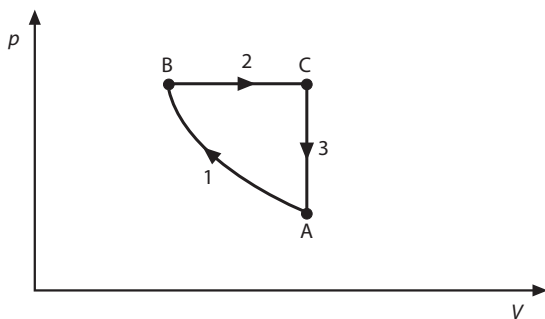
- Etapa 1: compresión isotérmica.
- Etapa 2: calentamiento a presión constante.
- Etapa 3: enfriamiento a volumen constante hasta el estado inicial.

Representa el proceso completo en un diagrama p-V y razona tu contestación.

Etapa 1: aumenta p y disminuye V ⇒ pV = constante.

Etapa 2: aumenta el volumen sin variar la presión.

Etapa 3: disminuye la presión sin variar el volumen.

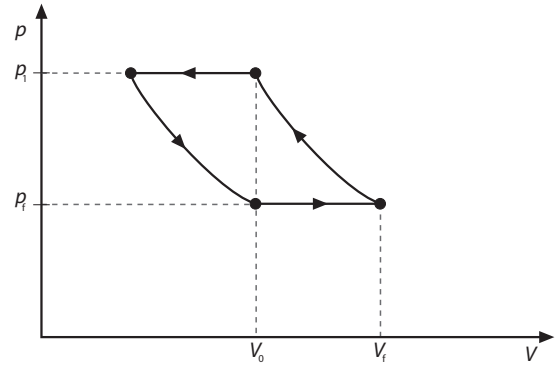


- 11** Un mol de gas perfecto es sometido a las siguientes transformaciones:

- a) Expansión isotérmica.
- b) Calentamiento isobárico.
- c) Compresión isotérmica hasta el volumen final de la etapa a).
- d) Enfriamiento isobárico hasta el estado inicial.

Representa, razonándolo, el proceso global en un único diagrama p-V.

- a) Expansión isotérmica: aumenta V y disminuye p, según pV = constante.
- b) Calentamiento isobárico: aumenta V y p se mantiene constante.
- c) Compresión isotérmica: aumenta p y disminuye V, según pV = constante.
- d) Enfriamiento isobárico: disminuye V a presión constante hasta el estado inicial.



- 12** Un gas ideal ocupa un volumen de 32 L a una temperatura de 310 K y una presión de 1,8 atm. ¿Qué trabajo se realiza si se aumenta la temperatura hasta 390 K, manteniendo constante la presión?

Por aplicación de la ley de Charles y Gay-Lussac, podemos determinar el volumen final:

$$V' = \frac{VT'}{T} = 40,26 \text{ L}$$

Por tanto:

$$\Delta V = 8,26 \text{ L} = 0,008\,26 \text{ m}^3$$

Así pues, el trabajo realizado es:

$$W = p \Delta V = \frac{1,8 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa}}{1 \text{ atm} \cdot 0,008\,26 \text{ m}^3} = 1\,506,13 \text{ J}$$

- 13** Tenemos 0,75 mol de gas ideal que se encuentran a una temperatura de 20 °C y una presión de 960 mmHg. ¿Qué trabajo se realiza al aumentar la temperatura hasta 50 °C, manteniendo constante la presión?

La presión es, expresada en atmósferas, de 1,26 atm. Para calcular el trabajo, debemos conocer los volúmenes en el estado inicial y final del gas. A partir de la ecuación de los gases ideales podemos obtener el volumen inicial V:

$$V = \frac{nRT}{p} = 14,3 \text{ L}$$

Conocido este volumen, podemos calcular el volumen final por aplicación de la ley de Charles y Gay-Lussac:

$$V' = \frac{VT'}{T} = 15,76 \text{ L}$$

Por tanto:

$$W = p \Delta V = \frac{1,26 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa}}{1 \text{ atm} \cdot 0,001\,46 \text{ m}^3} = 186,8 \text{ J}$$

### El primer principio en distintos procesos

- 14** ¿Qué tipo de sistema es el cuerpo humano? ¿Y la atmósfera terrestre? ¿Y el universo considerado como un todo?

El cuerpo humano sería un sistema abierto, pues puede intercambiar masa y energía con el entorno. Nuestra atmósfera también constituye un sistema abierto. Por el contrario, el universo como un todo sería un sistema aislado.

- 15** ¿Cuál es el signo de la variación de la energía interna en los procesos de la primera cuestión 5 de la página 343 del libro de texto?

El signo de  $\Delta U$  que corresponde a cada uno de los procesos planteados es:

- a) Puesto que  $W = 0$  y  $Q < 0$ ,  $\Delta U < 0$ . Es decir, la esfera metálica se enfría.
- b) El proceso es adiabático ( $Q = 0$ ) y se realiza un trabajo de estiramiento ( $W < 0$ ), luego  $\Delta U > 0$ .



c) El gas de la botella sufre una expansión adiabática, por lo que  $\Delta U < 0$ . Es decir, el gas se enfría en el proceso de expansión.

**16** Qué ocurre desde el punto de vista termodinámico cuando nos frotamos las manos para calentárnoslas?

El trabajo de rozamiento se transforma en calor, lo que produce un aumento de energía interna y la consiguiente elevación de temperatura.

**17** ¿Por qué el aire que escapa por el pinchazo de una colchoneta parece más frío que el ambiental?

Dado que el proceso es lo suficientemente rápido como para poder suponer que no hay transferencia de calor, podemos considerarlo como adiabático, por lo que el trabajo de expansión (positivo) del aire que escapa supone una disminución de la energía interna y, por tanto, un enfriamiento.

**18** ¿Puede existir un proceso desde un estado inicial hasta otro final distinto, no cíclico, que sea a la vez adiabático e isócoro? ¿Y si fuese cíclico? Razona tu respuesta.

En el primer caso no, pues si fuese adiabático ( $Q = 0$ ) e isócoro ( $W = 0$ ), no habría variación de energía interna. Sin embargo, si los estados inicial y final son distintos, sus energías internas también lo son, pues  $U$  es una función de estado, por lo que no podría cumplirse que  $\Delta U = 0$ . Si el proceso fuese cíclico, ello sí sería posible.

**19** ¿Qué tipo de proceso tiene lugar en una olla a presión? ¿Qué fundamento puede tener la válvula de la olla?

Es un proceso a presión constante. La válvula permite que la presión se mantenga constante cuando la olla está en pleno funcionamiento.

**20** ¿De qué modo podemos aumentar la temperatura de un gas ideal encerrado en un recipiente con un émbolo móvil?

Calentándolo ( $Q > 0$ ) o comprimiéndolo ( $W < 0$ ) o mediante ambos procesos a la vez.

**21** A la luz del primer principio, indica lo que sucede cuando damos cuerda a una caja musical. Razona lo que ocurre cuando la caja suena hasta que se para. ¿Qué tipo de proceso es?

Al dar cuerda a la caja, realizamos un trabajo sobre ella ( $W < 0$ ) que revierte en un aumento de energía interna, fundamentalmente energía potencial elástica del resorte, que luego hará girar el mecanismo.

Mientras suena, es la caja (sistema) la que realiza el trabajo ( $W > 0$ ), lo que supone una disminución de la energía interna, que podemos percibir al ver que el resorte va recuperando su forma original, disminuyendo con ello su energía potencial elástica.

Se trata de un proceso adiabático, pues transcurre sin transferencia de calor.

**D22** ¿Por qué motivo presentan los climas costeros menos variación de temperatura entre el día y la noche?

Ello es debido al elevado calor específico del agua, que actúa de regulador térmico, absorbiendo calor del ambiente durante el día y cediéndolo al ambiente durante la noche.

De ese modo, la temperatura del ambiente no suele tener los contrastes tan altos como en zonas del interior.

**23** ¿Qué tipo de sistema es una célula viva? ¿Y una botella de vidrio cerrada? ¿Y una planta?

Una célula viva y una planta son sistemas abiertos que pueden intercambiar materia y energía con el entorno. Por el

contrario, una botella de vidrio cerrada es un sistema cerrado; solo intercambia energía.

**24** Cuando un gas se dilata adiabáticamente, ¿realiza trabajo? Si es así, ¿de qué energía dispone para ello? ¿Qué ocurre en consecuencia?

Si realiza trabajo, y lo hace a costa de la energía interna, que, en consecuencia, disminuye; es decir, se produce el enfriamiento del gas.

**25** Un gas ideal se dilata a temperatura constante; ¿cambia su energía interna? ¿Cuál es la fuente de energía necesaria para el trabajo de expansión?

Al ser un proceso isotérmico, no hay cambio en su energía interna. Por tanto, para que pueda haber expansión ( $W > 0$ ), debe transferirse calor al sistema, con lo que resulta  $Q = W$ ; es decir, hay que calentar el gas.

**26** En cierto proceso se transfieren a un sistema 750 cal, al tiempo que se realiza sobre él un trabajo de 306 J. ¿Cuál es la variación de energía interna del sistema?

Por aplicación del primer principio:

$$\Delta U = Q - W = 750 \text{ cal} \cdot 4,184 \text{ J/cal} - (-306) \text{ J} = 3138 \text{ J} + 306 \text{ J} = 3444 \text{ J}$$

**27** Al agitar el agua de una cubeta con una rueda de paletas, se realiza un trabajo de 16 kJ. Si se extraen a la vez 7 000 cal del sistema, ¿cuál es la variación de energía interna que experimenta el agua?

El calor extraído equivale a  $-29\,288 \text{ J}$ , por lo que, aplicando el primer principio:

$$\Delta U = Q - W = -29\,288 \text{ cal} - (-16\,000) \text{ J} = -13\,288 \text{ J}$$

**28** En una experiencia similar a la de Joule, una masa de 5 kg desciende una altura de 1,2 m. Si la cubeta es un termo que contiene 0,5 mol de oxígeno gaseoso, ¿cuál es el aumento de temperatura que se produce? ¿Qué tipo de proceso ha tenido lugar?

Dato:  $c_v$  del  $\text{O}_2 = 5,04 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C}$

Al descender la pesa de 5 kg desde una altura de 1,2 m, el trabajo realizado es:

$$W = mgh = 58,8 \text{ J}$$

Este trabajo se realiza sobre el sistema gaseoso, cuya energía interna variará:

$$\Delta U = -W = -(-58,8) \text{ J} = 58,8 \text{ J} = 14,1 \text{ cal}$$

Como, a su vez:

$$\Delta U = nc_v \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{\Delta U}{nc_v} = 5,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se trata de un proceso adiabático.

**29** Un cilindro contiene 1 mol de oxígeno a una temperatura de  $27 \text{ } ^\circ\text{C}$  y a una presión de 1 atm. Se calienta el gas a presión constante hasta que su temperatura es de  $127 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

a) Dibuja el proceso en un diagrama  $p$ - $V$ .

b) ¿Qué trabajo realiza el gas en este proceso?

c) ¿Cuál es la variación de energía interna del gas?

d) ¿Qué calor se le ha transferido?

Dato:  $c_v$  del  $\text{O}_2 = 5,04 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C}$

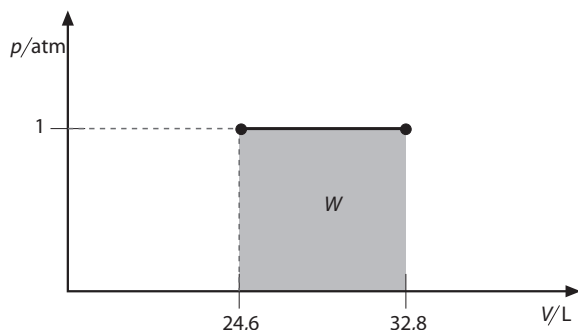
El volumen inicial se obtiene a partir de la ecuación de los gases ideales:

$$V = \frac{nRT}{p} = 24,6 \text{ L}$$

Y el volumen final podemos obtenerlo por la ley de Charles y Gay-Lussac:

$$V' = \frac{VT'}{T} = 32,8 \text{ L}$$

a) El proceso, en un diagrama  $p$ - $V$ , será:



b) Así pues:

$$W = p(V' - V) = 101\,300 \text{ Pa} \cdot 0,008\,2 \text{ m}^3 = 830,66 \text{ J}$$

c) La variación de energía interna es:

$$\Delta U = n c_v \Delta T = 504 \text{ cal} = 2\,108,7 \text{ J}$$

d) En consecuencia:

$$Q = \Delta U + W = 2\,939,4 \text{ J}$$

**30** Un cilindro con un pistón móvil sin rozamiento contiene  $10^{-3} \text{ m}^3$  de un gas ideal a  $0^\circ\text{C}$ . La presión atmosférica es de  $730 \text{ mmHg}$ . Si se eleva la temperatura hasta  $300^\circ\text{C}$ , calcula:

a) El trabajo realizado en el proceso.

b) El cambio de energía interna.

c) El calor transferido.

Datos:  $1 \text{ atm} = 101\,300 \text{ Pa}$ ;  $c_v = 5/2 R$ ;  $R = 8,31 \text{ J/mol K}$

Por aplicación de la ley de Charles y Gay-Lussac podemos determinar el volumen final, que es  $V' = 2,099 \text{ L}$ . De este modo,  $\Delta V = 1,099 \text{ L} = 0,001\,099 \text{ m}^3$ . Por tanto:

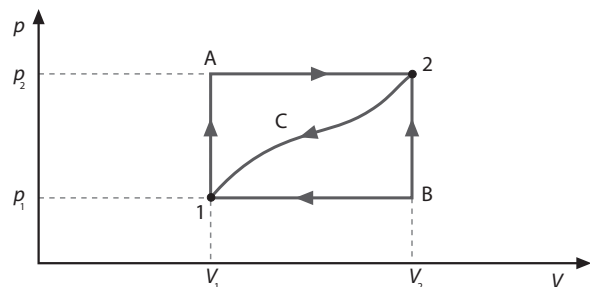
a)  $W = p \Delta V = 106,83 \text{ J}$

b)  $\Delta U = n c_v \Delta T$ , donde  $n = \frac{pV}{RT}$

Por tanto,  $\Delta U = 261,76 \text{ J}$ .

c)  $Q = \Delta U + W = 368,59 \text{ J} = 88,46 \text{ cal}$

**31** Cuando un sistema pasa del estado 1 al 2 siguiendo la trayectoria A de la figura, le son transferidas  $500 \text{ cal}$  y realiza un trabajo de  $800 \text{ J}$ , mientras que, siguiendo la trayectoria B, le son transferidas  $360 \text{ cal}$ .



a) ¿Cuánto vale el trabajo en el recorrido B?

b) Si en la transformación inversa de 2 a 1 a través de C se realiza sobre el sistema un trabajo de  $400 \text{ J}$ , ¿cuánto vale el calor transferido en este proceso?

a) En el trayecto A,  $Q = 500 \text{ cal} = 2\,092 \text{ J}$ , mientras que  $W = 800 \text{ J}$ , por lo que  $\Delta U = Q - W = 1\,292 \text{ J}$ .

La energía interna es función de estado y su variación no depende de la trayectoria seguida, luego:

$$W_B = Q_B - \Delta U = 360 \text{ cal} \cdot 4,184 \text{ J/cal} - 1\,292 \text{ J} = 214,24 \text{ J}$$

b) En la transformación inversa,  $\Delta U = -1\,292 \text{ J}$ , mientras que  $W = -400 \text{ J}$ , por lo que  $Q = \Delta U + W = -1\,692 \text{ J}$ .

**32** Un mol de monóxido de carbono se calienta desde  $15^\circ\text{C}$  a  $20^\circ\text{C}$ , a volumen constante. Si  $c_v = 0,18 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ , calcula:

a) El calor suministrado.

b) El trabajo realizado por el gas.

c) El incremento de energía interna.

a) Como 1 mol de CO equivale a  $28 \text{ g}$ , el calor necesario para aumentar  $5^\circ\text{C}$  la temperatura del gas a volumen constante será:

$$Q = m c_v \Delta T = 28 \text{ g} \cdot 0,18 \text{ cal/g } ^\circ\text{C} \cdot 5^\circ\text{C} = 25,2 \text{ cal}$$

b) El trabajo realizado es cero al ser un proceso a volumen constante,  $W = 0$ .

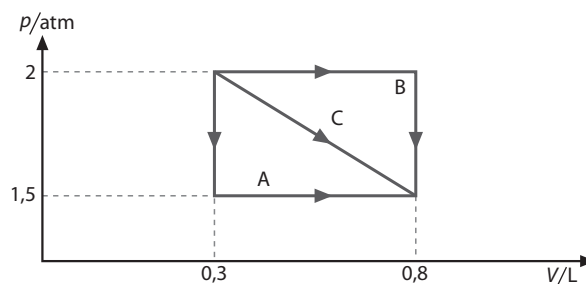
c) Por aplicación del primer principio, el calor transferido es igual a la variación de energía interna:

$$\Delta U = Q = 25,2 \text{ cal}$$

**33** Un mol de gas que está inicialmente a  $2 \text{ atm}$  y ocupa un volumen de  $0,3 \text{ L}$  tiene una energía interna de  $91 \text{ J}$ . En su estado final, la presión es de  $1,5 \text{ atm}$ , el volumen es de  $0,8 \text{ L}$  y su energía interna es de  $182 \text{ J}$ . Calcula para las tres trayectorias (A, B y C) definidas en la figura:

a) El trabajo realizado.

b) El calor transferido en el proceso.



a) El trabajo es el área encerrada bajo cada gráfica, por lo que:

$$W_A = 1,5 \text{ atm} \cdot \frac{101\,300 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} (0,8 - 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 75,975 \text{ J}$$

$$W_B = 2 \text{ atm} \cdot \frac{101\,300 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} (0,8 - 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 101,3 \text{ J}$$

$$W_C = 1/2 \cdot 0,5 \text{ atm} \cdot \frac{101\,300 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} (0,8 - 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 +$$

$$+ 1,5 \text{ atm} \cdot \frac{101\,300 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} (0,8 - 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 88,63 \text{ J}$$

b) Como, a su vez:

$$\Delta U = U' - U = 91 \text{ J}$$

podemos calcular el calor transferido en cada caso mediante  $Q = \Delta U + W$ :

$$Q_A = 166,97 \text{ J}$$

$$Q_B = 192,3 \text{ J}$$

$$Q_C = 179,63 \text{ J}$$

**34** **PAU** Un mol de gas ideal, que se encuentra inicialmente a una temperatura de  $400 \text{ K}$  y a una presión de  $0,3 \text{ atm}$ , se enfría a presión constante hasta que su temperatura es de  $250 \text{ K}$ . Calcula:

a) El volumen final del gas.

b) El trabajo realizado.

c) La variación de energía interna en el proceso.

d) El calor transferido en el proceso.

Dato:  $c_v = (5/2) \cdot R$ ;  $R = 8,31 \text{ J/mol K}$

a) El volumen lo calculamos con la ecuación general de los gases ideales:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 8,31 \text{ J/K mol} \cdot 250 \text{ K}}{0,3 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa/atm}} = 0,0683 \text{ m}^3$$

b) Para hallar el trabajo, necesitamos la diferencia de volúmenes y para ello hemos de calcular el volumen inicial, por el mismo procedimiento:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 8,31 \text{ J/K mol} \cdot 400 \text{ K}}{0,3 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa/atm}} = 0,11 \text{ m}^3$$

$$W = p \Delta V = 0,3 \text{ atm} \cdot 101\,300 \text{ Pa/atm} \cdot (0,0683 - 0,11) = -1\,246 \text{ J}$$

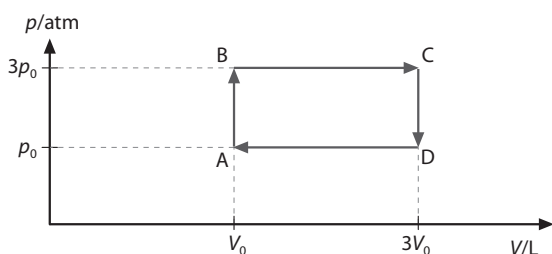
c) La variación de energía interna equivale a la transferencia de calor a volumen constante, por lo que:

$$\Delta U = n c_v \Delta T = 1 \cdot 5/2 R \cdot (-150) = -3\,116,25 \text{ J}$$

d) Dado que  $\Delta U = Q - W$ , entonces:

$$Q = -3\,116,25 \text{ J} + 1\,246 \text{ J} = -1\,870,25 \text{ J}$$

**35 TAU** Un gas ideal, que se encuentra inicialmente a la presión  $p_0$ , a la temperatura  $T_0$  y a un volumen  $V_0$ , es sometido a un proceso cíclico como el que se muestra en la figura. Determina:



a) El trabajo neto realizado por el gas en cada ciclo.

b) El calor transferido al sistema en cada ciclo.

c) Obtén un valor numérico para el trabajo realizado por ciclo, para 2 moles de gas inicialmente a  $10^\circ\text{C}$ .

a) El proceso A-B tiene lugar a volumen constante, luego no hay trabajo:

$$W_{A \rightarrow B} = 0$$

$$W_{B \rightarrow C} = p \Delta V = 3p_0 \cdot (3V_0 - V_0) = 6p_0V_0$$

$$W_{C \rightarrow D} = 0 \text{ (proceso isócoro)}$$

$$W_{D \rightarrow A} = p \Delta V = p_0 \cdot (V_0 - 3V_0) = -2p_0V_0$$

$$\text{Trabajo total: } W_{ABCD} = 4p_0V_0$$

b) Al tratarse de un proceso cíclico,  $\Delta U = 0$ , por lo que  $Q = W$  e igual a  $4p_0V_0$ .

c) Tenemos 2 mol de gas y una  $T_0 = 283 \text{ K}$ :

$$W_{\text{total}} = 4p_0V_0 = 4nRT = 18\,813,8 \text{ J}$$

## El segundo principio: máquinas térmicas

**36** Una máquina térmica absorbe 80 cal y realiza un trabajo de 20 J en cada ciclo. Calcula el rendimiento de la máquina y el calor expelido en cada ciclo.

En primer lugar, homogeneicemos las unidades, por ejemplo, a calorías:

$$Q_c = 80 \text{ cal y } W = 20 \text{ J} \cdot 0,24 \text{ cal/J} = 4,8 \text{ cal}$$

$$e = \frac{4,8 \text{ cal}}{80 \text{ cal}} \cdot 100 = 5,9\%$$

De la fórmula 13.13 del *Libro del alumno* obtenemos con facilidad:

$$Q_f = Q_c - W = 80 \text{ cal} - 4,8 \text{ cal} = 75,2 \text{ cal}$$

**37** Una máquina térmica tiene una potencia de salida de 5 kW y opera con un rendimiento del 30%. Si la máquina expelle 2 000 cal en cada ciclo. Calcula el calor absorbido en cada ciclo y el tiempo que dura cada ciclo.

Una vez más, empecemos por homogeneizar las unidades:

$$P = 5 \text{ kW} = 5\,000 \text{ J/s}; Q_f = 2\,000 \text{ cal} \cdot 4,184 \text{ J/cal} = 8\,368 \text{ J}$$

a) Si el rendimiento es del 30%,  $e = 0,3$ .

Además:

$$e = 1 - \frac{Q_f}{Q_c} \Rightarrow 0,3 = 1 - \frac{8\,368 \text{ J}}{Q_c}$$

$$Q_c = 11\,954,3 \text{ J} = 2\,857 \text{ cal}$$

b)  $W = Q_c - Q_f = 11\,954,3 - 8\,368 = 3\,586,3 \text{ J}$

Luego:

$$t = \frac{P}{W} = \frac{3\,586,3 \text{ J}}{5\,000 \text{ J/s}} = 0,72 \text{ s}$$



Elige, razonándolas, las opciones que consideres correctas:

1. Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final:
  - ▶ **a)** La variación de energía interna es la misma, independientemente de las etapas intermedias.
  - b)** La variación de energía interna depende del número de etapas intermedias.
  - c)** La variación de energía interna depende de si el proceso es a presión o a volumen constantes.
2. Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final:
  - a)** El calor transferido solo depende de los estados inicial y final.
  - ▶ **b)** El calor transferido depende de la trayectoria o proceso seguido.
  - ▶ **c)** El calor transferido es una función de estado si la presión se mantiene constante.
3. Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final:
  - a)** El trabajo realizado solo depende de los estados inicial y final.
  - ▶ **b)** El trabajo realizado depende de la trayectoria o proceso seguido.
  - ▶ **c)** El trabajo realizado es una función de estado si la presión se mantiene constante.
4. En las sustancias gaseosas se cumple que:
  - a)** El calor específico solo depende de la sustancia.
  - ▶ **b)**  $c_p$  es siempre mayor que  $c_v$ .
  - c)**  $c_v$  es siempre mayor que  $c_p$ .
5. La capacidad calorífica de una sustancia:
  - a)** Representa la cantidad de calor que es capaz de almacenar.
  - ▶ **b)** Relaciona el calor transferido y la variación de temperatura que tiene lugar.
  - c)** Es independiente de la cantidad de sustancia considerada.
6. En un proceso adiabático:
  - a)** No se realiza trabajo alguno.
  - b)** No varía la energía interna.
  - ▶ **c)** No hay transferencia de calor.
7. En un sistema cerrado:
  - a)** La energía se conserva siempre.
  - ▶ **b)** No hay intercambio de materia con el entorno.
  - c)** El volumen no puede variar.
8. En un proceso a volumen constante:
  - a)** Se puede variar la energía interna realizando trabajo.
  - b)** No se puede variar la energía interna.
  - ▶ **c)** Solo se puede variar la energía interna si hay transferencia de calor.
9. Del calor y del trabajo puede decirse que:
  - a)** Son formas de energía intercambiables.
  - ▶ **b)** Son dos métodos de transferir energía.
  - ▶ **c)** Todo el trabajo puede convertirse en calor, pero no todo el calor puede convertirse en trabajo.
10. Las sustancias con menor calor específico:
  - a)** Tardan más en calentarse que las de mayor calor específico a igualdad de calor transferido.
  - ▶ **b)** Se calientan más rápidamente, pero también se enfrían antes.
  - c)** Varían poco su temperatura frente a las transferencias de calor.

