

PROBLEMAS

Para las tareas asignadas por el profesor, visite www.masteringphysics.com

Preguntas para análisis

P19.1. En los siguientes procesos, el trabajo efectuado por el sistema (definido como un gas que se expande o se contrae) sobre el ambiente es positivo o negativo? *a)* La expansión de una mezcla aire-gasolina quemada en el cilindro de un motor automotriz; *b)* abrir una botella de champaña; *c)* llenar un tanque de buceo con aire comprimido; *d)* la abolladura parcial de una botella de agua vacía y cerrada, al conducir descendiendo desde las montañas hacia el nivel del mar.

P19.2. No es correcto decir que un cuerpo contiene cierta cantidad de calor; no obstante, un cuerpo puede transferir calor a otro. Entonces, ¿cómo un cuerpo cede algo que no tiene?

P19.3. En que situaciones debe usted efectuar más trabajo: al inflar un globo al nivel del mar o al inflar el mismo globo con el mismo volumen en la cima del monte McKinley? Explique su respuesta en términos de presión y cambio de volumen.

P19.4. Si le dan los estados inicial y final de un sistema y el cambio correspondiente de energía interna, ¿podría determinar si dicho cambio se debió a trabajo o a transferencia de calor? Explique su respuesta.

P19.5. Comente la aplicación de la primera ley de la termodinámica a una alpinista que ingiere alimentos, se calienta y suda mucho durante un ascenso, y efectúa mucho trabajo mecánico para subir su cuerpo a la cima. La alpinista también se acalora durante el descenso. ¿La fuente de esta energía es la misma que durante el ascenso?

P19.6. Cuando se derrite hielo a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, su volumen disminuye. ¿El cambio de energía interna es mayor, menor o igual que el calor agregado? ¿Cómo lo sabe?

P19.7. Usted sostiene un globo inflado sobre un ducto de aire caliente de su casa y observa que se expande lentamente. Después, usted lo aleja del ducto y lo deja enfriar a la temperatura ambiente. Durante la expansión, ¿cuál era mayor: el calor agregado al globo o el trabajo efectuado por el aire dentro de éste? Explique su respuesta. (Suponga que el aire es un gas ideal.) Una vez que el globo regresa a la temperatura ambiente, ¿cómo el calor neto ganado o perdido por el aire dentro del globo se compara con el trabajo neto efectuado sobre el aire circundante o con el trabajo realizado por éste?

P19.8. Usted hornea galletas con chispas de chocolate y las coloca aun calientes dentro un recipiente con una tapa suelta (sin cerrar herméticamente). ¿Qué tipo de proceso sufre el aire dentro del recipiente, conforme gradualmente las galletas se enfrían a temperatura ambiente (isotérmico, isocórico, adiabático, isobárico o alguna combinación de ellos)? Explique su respuesta.

P19.9. Imagine un gas constituido exclusivamente por electrones con carga negativa. Las cargas iguales se repelen, así que los electrones ejercen fuerzas de repulsión entre sí. ¿Cabría esperar que la temperatura de semejante gas aumentara, disminuiría o se mantuviera igual durante una expansión libre? ¿Por qué?

P19.10. Hay unos cuantos materiales que se contraen cuando aumenta su temperatura, como el agua entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. ¿Cabría esperar que C_p para tales materiales fuera mayor o menor que C_v ? ¿Por qué?

P19.11. Si soplamos sobre el dorso de nuestra mano con la boca bien abierta, el aliento se siente tibio. En cambio, si cerramos parcialmente la boca como para pronunciar una “o” y soplamos sobre la mano, el aliento se siente fresco. ¿Por qué?

P19.12. En los globos aerostáticos el aire dentro de la envoltura del globo se calienta por un orificio en la pared inferior usando un quemador de propano. El aire caliente dentro de la envoltura permanece a presión atmosférica debido al orificio inferior, y a que el volumen de la envoltura es esencialmente constante. Así, cuando el piloto enciende el quemador para calentar el aire, el volumen de la envoltura y la presión dentro de ésta son constantes, aunque la temperatura aumenta. La ley del gas ideal parecería contradecir esto. ¿Por qué?

P19.13. En un tibio día de verano, se usó un cilindro grande de gas comprimido (propano o butano), para alimentar varios quemadores grandes de gas durante una comida al aire libre. Después de un rato, se formó escarcha en el exterior del tanque. ¿Por qué sucedió esto?

P19.14. Cuando se usa una bomba manual para inflar los neumáticos de una bicicleta, la bomba se calienta después de un rato. ¿Por qué? ¿Qué sucede con la temperatura del aire en la bomba al comprimirse? ¿Por qué sucede así? Cuando se levanta el mango de la bomba para succionar aire exterior hacia el interior de ésta, ¿qué sucede con la temperatura del aire admitido? De nuevo, ¿por qué sucede eso?

P19.15. En el carburador de un motor para automóvil o avión, el aire fluye por una abertura relativamente pequeña y luego se expande. Si el tiempo es fresco y con niebla, llega a formarse hielo en esa abertura, aun cuando la temperatura del aire exterior esté arriba del punto de congelación. ¿Por qué?

P19.16. En un día soleado, se forman grandes “burbujas” de aire sobre la tierra que calienta el Sol, se expanden gradualmente y, por último, se liberan para subir por la atmósfera. Las aves y los planeadores aprovechan estas “corrientes térmicas” para ganar altitud con facilidad. Esta expansión es en esencia un proceso adiabático. ¿Por qué?

P19.17. Los vientos prevalecientes en la isla hawaiana de Kauai soplan del noreste. Los vientos se enfrían al subir por las faldas del monte Waialeale (altura 1523 m), haciendo que se condense vapor de agua y que llueva. Hay mucha más precipitación en la cima que en la base de la montaña. De hecho, el monte Waialeale es el lugar más lluvioso del planeta, con una precipitación media de 11.7 m al año. ¿Qué hace que los vientos se enfríen?

P19.18. Aplicando las mismas consideraciones que en la pregunta 19.17, explique por qué la isla de Niihau, unos cuantos kilómetros al suroeste de Kauai, es casi un desierto, y los campos agrícolas de esa isla necesitan riego.

P19.19. En un proceso a volumen constante, $dU = nC_v dT$. En cambio, en un proceso a presión constante, *no* se cumple que $dU = nC_p dT$. ¿Por qué no?

P19.20. Cuando un gas se comprime adiabáticamente contra el aire circundante, su temperatura aumenta aunque no fluya calor hacia el gas. ¿De dónde proviene la energía que eleva la temperatura?

P19.21. Cuando un gas se expande adiabáticamente, efectúa trabajo sobre su entorno. Pero, si no fluye calor hacia el gas, ¿de dónde proviene la energía para efectuar trabajo?

P19.22. El gas que se utiliza para separar los dos isótopos de uranio ^{235}U y ^{238}U tiene la fórmula UF_6 . Si se agrega calor a tasas iguales a un mol de UF_6 gaseoso y a un mol de H_2 gaseoso, ¿cuál temperatura esperarías usted que se elevará más rápido? Explique su respuesta.

Ejercicios

Sección 19.2 Trabajo realizado al cambiar el volumen y Sección 19.3 Trayectoria entre estados termodinámicos

19.1. Dos moles de gas ideal se calientan a presión constante desde $T = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $107\text{ }^{\circ}\text{C}$. *a)* Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* Calcule el trabajo efectuado por el gas.

19.2. Seis moles de gas ideal están en un cilindro provisto en un extremo con un pistón móvil. La temperatura inicial del gas es $27.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la presión es constante. Como parte de un proyecto de diseño de maquinaria, calcule la temperatura final del gas una vez que haya efectuado $1.75 \times 10^3\text{ J}$ de trabajo.

19.3. Dos moles de gas ideal están comprimidos en un cilindro a temperatura constante de $85.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que se triplique la presión original. *a)* Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* Calcule la cantidad de trabajo efectuado.

19.4. Un cilindro metálico con paredes rígidas contiene 2.50 moles de oxígeno gaseoso. El gas se enfría hasta que la presión disminuye al 30.0% de su valor original. Se puede despreciar la contracción térmica del cilindro. *a)* Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* Calcule el trabajo efectuado por el gas.

19.5. Durante el tiempo en que 0.305 moles de un gas ideal sufren una compresión isotérmica a 22.0 °C, su entorno efectúa 518 J de trabajo sobre él. *a)* Si la presión final es de 1.76 atm, ¿cuál fue la presión inicial? *b)* Dibuje una gráfica pV para el proceso.

19.6. Un gas se somete a dos procesos. En el primero, el volumen permanece constante en 0.200 m³ y la presión aumenta de 2.00×10^5 Pa a 5.00×10^5 Pa. El segundo proceso es una compresión a un volumen de 0.120 m³, a presión constante de 5.00×10^5 Pa. *a)* Muestre ambos procesos en una gráfica pV . *b)* Calcule el trabajo total efectuado por el gas durante los dos procesos.

19.7. Trabajo efectuado en un proceso cíclico. *a)* En la figura 19.7a, considere el ciclo cerrado $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 1$, que es un proceso cíclico donde los estados inicial y final son el mismo. Calcule el trabajo total efectuado por el sistema en este proceso y demuestre que es igual al área encerrada por el ciclo. *b)* ¿Qué relación hay entre el trabajo efectuado por el proceso del inciso *a)* y el efectuado si se recorre el ciclo en la dirección opuesta, $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$? Explique su respuesta.

Sección 19.4 Energía interna y la primera ley de la termodinámica

19.8. Usted clausura (tapa) la boquilla de una bomba para inflar neumáticos de bicicleta y muy lentamente oprime el émbolo, de manera que el aire interior se comprime hasta la mitad de su volumen original. Suponga que el aire se comporta como un gas ideal. Si usted hace esto tan lentamente que la temperatura del aire dentro de la bomba nunca cambia: *a)* ¿el trabajo efectuado por el aire en la bomba es positivo o negativo? *b)* ¿El flujo de calor hacia el aire es positivo o negativo? *c)* ¿Qué puede decir acerca de las magnitudes relativas del flujo de calor y del trabajo? Explique su respuesta.

19.9. Un gas en un cilindro se expande desde un volumen de 0.110 m³ a 0.320 m³. Fluye calor hacia el gas con la rapidez mínima que permite mantener la presión constante a 1.80×10^5 Pa durante la expansión. El calor total agregado es de 1.15×10^5 J. *a)* Calcule el trabajo efectuado por el gas. *b)* Calcule el cambio de energía interna del gas. *c)* ¿Importa si el gas tiene comportamiento ideal o no? ¿Por qué?

19.10. Cinco moles de un gas monoatómico con comportamiento ideal y temperatura inicial de 127 °C se expanden. Al hacerlo, absorben 1200 J de calor y efectúan 2100 J de trabajo. Calcule la temperatura final del gas.

19.11. Usted patea un balón de fútbol y lo comprime repentinamente a $\frac{2}{3}$ de su volumen original. En el proceso, efectúa 410 J de trabajo sobre el aire (que se supone un gas ideal) dentro del balón. *a)* ¿Cuál es el cambio en energía interna del aire dentro del balón debido a que se comprime? *b)* ¿La temperatura del aire dentro del balón aumenta o disminuye debido a la compresión? Explique su respuesta.

19.12. Un gas en un cilindro se mantiene a presión constante de 2.30×10^5 Pa mientras se enfría y se comprime de 1.70 m³ a 1.20 m³. La energía interna del gas disminuye 1.40×10^5 J. *a)* Calcule el trabajo efectuado por el gas. *b)* Obtenga el valor absoluto $|Q|$ del flujo de calor hacia o desde el gas, e indique la dirección del flujo. *c)* ¿Importa si el gas tiene comportamiento ideal o no? ¿Por qué?

19.13. Donas: ¡desayuno de campeones! Una dona representativa contiene 2.0 g de proteínas, 17.0 g de carbohidratos y 7.0 g de grasas. Los valores medios de energía alimentaria de esas sustancias son de 4.0 kcal/g para las proteínas y los carbohidratos, y de 9.0 kcal/g para las grasas. *a)* Al hacer ejercicio intenso, una persona representativa consume energía a una tasa de 510 kcal/h. ¿Cuánto tiempo hay que ha-

cer ejercicio para “quemar” una dona? *b)* Si fuera posible convertir la energía de una dona en energía cinética del cuerpo entero, ¿con qué rapidez se podría mover una persona después de comer una dona? Suponga que la masa de la persona es de 60 kg y exprese su respuesta en m/s y en km/h.

19.14. Un líquido se agita irregularmente en un recipiente bien aislado, con lo que aumenta su temperatura. Considere el líquido como el sistema. *a)* ¿Se ha transferido calor? ¿Cómo lo sabe? *b)* ¿Se ha efectuado trabajo? ¿Cómo lo sabe? ¿Por qué es importante que la agitación sea irregular? *c)* ¿Qué signo tiene ΔU ? ¿Cómo lo sabe?

19.15. Un gas ideal se lleva de *a* a *b* en la gráfica pV que se muestra en la figura 19.22. Durante este proceso, se agregan 400 J de calor y se duplica la presión. *a)* ¿Cuánto trabajo realiza el gas o se efectúa sobre éste? Explique su respuesta. *b)* ¿Cómo la temperatura del gas en *a* se compara con su temperatura en *b*? Especifique. *c)* ¿Cómo la energía interna del gas en *a* se compara con la energía interna en *b*? De nuevo, especifique y explique su respuesta.

Figura 19.22 Ejercicio 19.15.

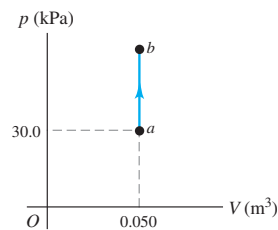
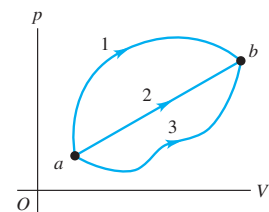


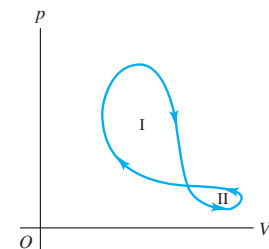
Figura 19.23 Ejercicio 19.16.



19.16. Un sistema se lleva del estado *a* al *b* por las tres trayectorias de la figura 19.23. *a)* ¿Por qué trayectoria el trabajo efectuado por el sistema es máximo? ¿Y menor? *b)* Si $U_b > U_a$, ¿por cuál trayectoria es mayor el valor absoluto $|Q|$ de la transferencia de calor? En esa trayectoria, ¿el sistema absorbe o desprende calor?

19.17. Un sistema termodinámico sufre un proceso cíclico como se muestra en la figura 19.24. El ciclo consiste en dos lazos cerrados, el lazo I y el lazo II. *a)* Durante un ciclo completo, ¿el sistema efectúa trabajo positivo o negativo? *b)* En cada lazo, I y II, ¿el trabajo neto efectuado por el sistema es positivo o negativo? *c)* Durante un ciclo completo, ¿entra calor en el sistema o sale de él? *d)* En cada lazo, I y II, ¿entra calor en el sistema o sale de él?

Figura 19.24 Ejercicio 19.17.



19.18. Un estudiante efectúa un experimento de combustión quemando una mezcla de combustible y oxígeno en una lata metálica de volumen constante rodeada por un baño de agua. Durante el experimento, la temperatura del agua aumenta. Considere la mezcla de combustible y oxígeno como el sistema. *a)* ¿Se transfirió calor? ¿Cómo lo sabe? *b)* ¿Se efectuó trabajo? ¿Cómo lo sabe? *c)* ¿Qué signo tiene ΔU ? ¿Cómo lo sabe?

19.19. Agua en ebullición a alta presión. Cuando se hierve agua a una presión de 2.00 atm, el calor de vaporización es de 2.20×10^6 J/kg y el punto de ebullición es de 120 °C. A esta presión, 1.00 kg de agua tiene un volumen de 1.00×10^{-3} m³, y 1.00 kg de vapor de agua tiene un volumen de 0.824 m³. *a)* Calcule el trabajo efectuado cuando se forma 1.00 kg de vapor de agua a esta temperatura. *b)* Calcule el incremento en la energía interna del agua.

Sección 19.5 Tipos de procesos termodinámicos

Sección 19.6 Energía interna del gas ideal, y

Sección 19.7 Capacidad calorífica del gas ideal

19.20. Durante una compresión isotérmica de gas ideal, es preciso extraer 335 J de calor al gas para mantener la temperatura constante. ¿Cuánto trabajo efectúa el gas durante el proceso?

19.21. Un cilindro contiene 0.250 moles de dióxido de carbono (CO_2) gaseoso a una temperatura de 27.0 °C. El cilindro cuenta con un pistón sin fricción, el cual mantiene una presión constante de 1.00 atm sobre el gas. El gas se calienta hasta que su temperatura aumenta a 127.0 °C. Suponga que el CO_2 se puede tratar como gas ideal. *a)* Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* ¿Cuánto trabajo efectúa el gas en este proceso? *c)* ¿Sobre qué se efectúa ese trabajo? *d)* ¿Cuánto cambia la energía interna del gas? *e)* ¿Cuánto calor se suministró al gas? *f)* ¿Cuánto trabajo se habría efectuado si la presión hubiera sido 0.50 atm?

19.22. Un cilindro contiene 0.0100 moles de helio a $T = 27.0$ °C. *a)* ¿Cuánto calor se requiere para elevar la temperatura a 67.0 °C manteniendo constante el volumen? Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* Si, en vez del volumen, se mantiene constante la presión del helio, ¿cuánto calor se requiere para elevar la temperatura de 27.0 °C a 67.0 °C? Dibuje una gráfica pV para este proceso. *c)* ¿Qué explica la diferencia entre las respuestas a los incisos *a)* y *b)*? ¿En qué caso se requiere más calor? ¿Qué sucede con el calor adicional? *d)* Si el gas tiene comportamiento ideal, ¿cuánto cambia la energía interna en el inciso *a)*? ¿Y en el inciso *b)*? Compare las respuestas y explique cualquier diferencia.

19.23. En un experimento para simular las condiciones dentro de un motor de automóvil, 0.185 moles de aire a una temperatura de 780 K y a una presión de 3.00×10^6 Pa están contenidos en un cilindro cuyo volumen es de 40.0 cm³. Después se transfieren 645 J de calor al cilindro. *a)* Si el volumen del cilindro se mantiene fijo, ¿qué temperatura final alcanza el aire? Suponga que el aire es prácticamente nitrógeno puro y use los datos de la tabla 19.1 aunque la presión no sea baja. Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* Calcule la temperatura final del aire, si se permite que el volumen del cilindro aumente mientras la presión se mantiene constante. Dibuje una gráfica pV para este proceso.

19.24. Un gas con comportamiento ideal se expande mientras la presión se mantiene constante. Durante este proceso ¿entra calor al gas o sale de él? Justifique su respuesta.

19.25. Fluye calor Q hacia un gas monoatómico con comportamiento ideal y el volumen aumenta mientras la presión se mantiene constante. ¿Qué fracción de la energía calorífica se usa para efectuar el trabajo de expansión del gas?

19.26. Cuando una cantidad de gas ideal monoatómico se expande a una presión constante de 4.00×10^4 Pa, el volumen del gas aumenta de 2.00×10^{-3} m³ a 8.00×10^{-3} m³. ¿Cuánto cambia la energía interna del gas?

19.27. Un cilindro con un pistón móvil contiene 3.00 moles de N_2 gaseoso (que se comporta como un gas ideal). *a)* El N_2 se calienta a volumen constante hasta que se agregan 1557 J de calor. Calcule el cambio de temperatura. *b)* Suponga que la misma cantidad de calor se agrega al N_2 , pero en este tiempo se permite al gas expandirse mientras se mantiene a presión constante. Determine el cambio de temperatura. *c)* ¿En cuál caso, *a)* o *b)*, la energía interna final del N_2 es mayor? ¿Cómo lo sabe? ¿Qué explica la diferencia entre ambos casos?

19.28. Tres moles de un gas monoatómico ideal se expanden a una presión constante de 2.50 atm; el volumen del gas cambia de 3.20×10^{-2} m³ a 4.50×10^{-2} m³. *a)* Calcule las temperaturas inicial y final del gas. *b)* Calcule la cantidad de trabajo que efectúa el gas al expandirse. *c)* Determine la cantidad de calor agregado al gas. *d)* Calcule el cambio de energía interna del gas.

19.29. La temperatura de 0.150 moles de gas ideal se mantiene constante en 77.0 °C mientras su volumen se reduce al 25.0% de su volumen inicial. La presión inicial del gas es de 1.25 atm. *a)* Determine el trabajo efectuado por el gas. *b)* Determine el cambio de energía interna. *c)* ¿El gas intercambia calor con su entorno? Si lo hace, ¿cuánto es? ¿El gas absorbe o desprende calor?

19.30. Propano (C_3H_8) gaseoso se comporta como gas ideal con $\gamma = 1.127$. Determine la capacidad calorífica molar a volumen constante y a presión constante.

19.31. Un experimentador agrega 970 J de calor a 1.75 moles de un gas ideal, para calentarlo de 10.0 °C a 25.0 °C a presión constante. El gas realiza +223 J de trabajo al expandirse. *a)* Calcule el cambio en la energía interna del gas. *b)* Calcule γ para el gas.

Sección 19.8 Proceso adiabático para el gas ideal

19.32. En un proceso adiabático con gas ideal, la presión disminuye. ¿La energía interna del gas aumenta o disminuye durante ese proceso? Explique su razonamiento.

19.33. Un gas monoatómico con comportamiento ideal que está a una presión de 1.50×10^5 Pa y ocupa un volumen de 0.0800 m³ se comprime adiabáticamente a un volumen de 0.0400 m³. *a)* Calcule la presión final. *b)* ¿Cuánto trabajo efectúa el gas? *c)* Determine la razón temperatura final con temperatura inicial del gas. ¿Esta compresión calienta o enfría el gas?

19.34. El motor de un automóvil deportivo Ferrari F355 admite aire a 20.0 °C y 1.00 atm y lo comprime adiabáticamente a 0.0900 veces el volumen original. El aire se puede tratar como gas ideal con $\gamma = 1.40$. *a)* Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* Calcule la temperatura y presión finales.

19.35. Dos moles de monóxido de carbono (CO) están a una presión de 1.2 atm y ocupan un volumen de 30 litros. Después, el gas se comprime adiabáticamente a $\frac{1}{3}$ de ese volumen. Suponga que el gas tiene comportamiento ideal. ¿Cuánto cambia su energía interna? ¿La energía interna aumenta o disminuye? ¿La temperatura del gas aumenta o disminuye durante el proceso? Explique su respuesta.

19.36. Un jugador rebota un balón de baloncesto en el piso, comprimiéndolo a un 80.0% de su volumen original. Dentro del balón el aire (que se supone esencialmente N_2 gaseoso) está originalmente a una temperatura de 20.0 °C y a una presión de 2.00 atm. El diámetro del balón es de 23.9 cm. *a)* ¿A qué temperatura el aire en el balón alcanzará su compresión máxima? *b)* ¿Cuánto cambia la energía interna del aire entre el estado original del balón y su máxima compresión?

19.37. Durante una expansión adiabática, la temperatura de 0.450 moles de argón (Ar) baja de 50.0 °C a 10.0 °C. El argón puede tratarse como gas ideal. *a)* Dibuje una gráfica pV para este proceso. *b)* ¿Cuánto trabajo realiza el gas? *c)* ¿Cuánto cambia la energía interna del gas?

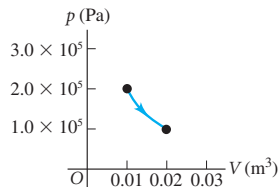
19.38. Un cilindro contiene 0.100 moles de un gas monoatómico con comportamiento ideal a una presión inicial de 1.00×10^5 Pa, en un volumen de 2.50×10^{-3} m³. *a)* Calcule la temperatura inicial del gas en kelvins. *b)* Se permite que el gas se expanda al doble de su volumen inicial. Calcule la temperatura (en kelvins) y la presión finales del gas, si la expansión es i) isotérmica, ii) isobárica, iii) adiabática.

19.39. En un tibio día de verano, una masa grande de aire (presión atmosférica 1.01×10^5 pa) se calienta con el suelo a una temperatura de 26.0 °C y luego empieza a ascender por el aire circundante más frío. (Éste puede tratarse aproximadamente como un proceso adiabático. ¿Por qué?) Calcule la temperatura de la masa del aire cuando se ha elevado a un nivel donde la presión atmosférica es de sólo 0.850 $\times 10^5$ Pa. Suponga que el aire es un gas ideal con $\gamma = 1.40$. (Esta tasa de enfriamiento con aire seco ascendente, que corresponde aproximadamente a 1 °C por 100 m de altura, se denomina *gradiente adiabático seco*.)

Problemas

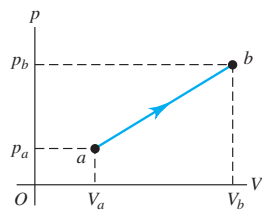
19.40. La figura 19.25 muestra la gráfica pV para una expansión isotérmica de 1.50 moles de un gas ideal, a una temperatura de 15.0 °C. *a)* ¿Cuál es el cambio en la energía interna del gas? Explique su respuesta. *b)* Calcule el trabajo efectuado por el gas (o sobre éste) y el calor absorbido (o liberado) por el gas durante la expansión.

Figura 19.25 Problema 19.40.



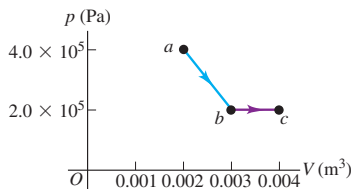
19.41. Una cantidad de aire se lleva del estado a al b siguiendo una trayectoria recta en una gráfica pV (figura 19.26). *a)* En este proceso, ¿la temperatura del gas aumenta, disminuye o no cambia? Explique su respuesta. *b)* Si $V_a = 0.0700 \text{ m}^3$, $V_b = 0.1100 \text{ m}^3$, $p_a = 1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ y $p_b = 1.40 \times 10^5 \text{ Pa}$, ¿cuánto trabajo W efectúa el gas en este proceso? Suponga que el gas tiene comportamiento ideal.

Figura 19.26 Problema 19.41.



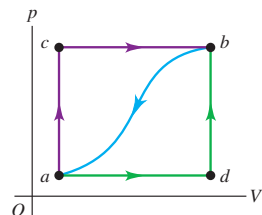
19.42. Media mole de un gas ideal se lleva del estado a al estado c , como se indica en la figura 19.27. *a)* Calcule la temperatura final del gas. *b)* Determine el trabajo efectuado por el gas (o sobre él), conforme se mueve del estado a al estado c . *c)* En el proceso, ¿sale calor del sistema o entra a éste? ¿Qué tanto calor? Explique su respuesta.

Figura 19.27 Problema 19.42.



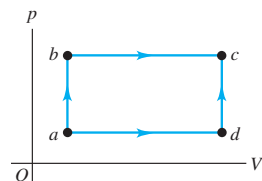
19.43. Cuando un sistema se lleva del estado a al b por la trayectoria acb (figura 19.28), 90.0 J de calor entran en el sistema y éste efectúa 60.0 J de trabajo. *a)* ¿Cuánto calor entra en el sistema por la trayectoria adb si el trabajo efectuado por el sistema es de 15.0 J? *b)* Cuando el sistema regresa de b a a siguiendo la trayectoria curva, el valor absoluto del trabajo efectuado por el sistema es de 35.0 J. ¿El sistema absorbe o desprende calor? ¿Cuánto? *c)* Si $U_a = 0$ y $U_b = 8.0 \text{ J}$, ¿cuánto calor se absorbe en los procesos ad y db ?

Figura 19.28 Problema 19.43.



19.44. Un sistema termodinámico se lleva del estado a al estado c de la figura 19.29 siguiendo la trayectoria abc , o bien, la trayectoria adc . Por la trayectoria abc , el trabajo W efectuado por el sistema es de 450 J. Por la trayectoria adc , W es de 120 J. Las energías internas de los cuatro estados mostrados en la figura son: $U_a = 150 \text{ J}$, $U_b =$

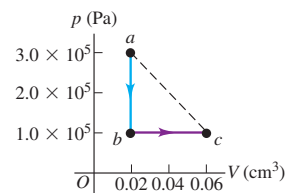
Figura 19.29 Problema 19.44.



240 J, $U_c = 680 \text{ J}$ y $U_d = 330 \text{ J}$. Calcule el flujo de calor Q para cada uno de los cuatro procesos: ab , bc , ad y dc . En cada proceso, ¿el sistema absorbe o desprende calor?

19.45. Un volumen de aire (que se supone gas ideal) primero se enfría sin cambiar su volumen y, luego, se expande sin cambiar su presión, como se indica en la trayectoria abc de la figura 19.30. *a)* ¿Cómo se compara la temperatura final del gas con su temperatura inicial? *b)* ¿Cuánto calor intercambia el aire con su entorno durante el proceso abc ? ¿El aire absorbe o libera calor en el proceso? Explique su respuesta. *c)* Si ahora el aire se expande del estado a al estado c por la trayectoria rectilínea que se indica, ¿cuánto calor intercambia con su entorno?

Figura 19.30 Problema 19.45.

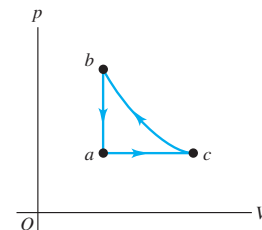


19.46. Tres moles de argón gaseoso (que se supone gas ideal) originalmente están a presión de $1.50 \times 10^4 \text{ Pa}$ y a un volumen de 0.0280 m^3 ; se calientan, primero, y se expanden a presión constante a un volumen de 0.0435 m^3 , luego se calientan a volumen constante hasta que la presión llega a $3.50 \times 10^4 \text{ Pa}$, después se enfrían y se comprimen a presión constante hasta que otra vez el volumen es de 0.0280 m^3 , y por último se enfrían a volumen constante hasta que la presión se reduce a su valor original de $1.50 \times 10^4 \text{ Pa}$. *a)* Elabore una gráfica pV para este ciclo. *b)* Calcule el trabajo total efectuado por el gas (o sobre éste) durante el ciclo. *c)* Determine el calor neto intercambiado con el entorno. En general, ¿el gas pierde o gana calor?

19.47. Dos moles de un gas monoatómico con comportamiento ideal se someten al ciclo abc . En un ciclo completo, salen 800 J de calor del gas. El proceso ab se efectúa a presión constante; y el proceso bc , a volumen constante. Los estados a y b tienen temperaturas $T_a = 200 \text{ K}$ y $T_b = 300 \text{ K}$. *a)* Dibuje una gráfica pV para el ciclo. *b)* ¿Cuánto trabajo W se efectúa en el proceso ca ?

19.48. Tres moles de gas ideal se llevan por el ciclo abc de la figura 19.31. Para este gas, $C_p = 29.1 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$. El proceso ac se efectúa a presión constante, el proceso ba se efectúa a volumen constante y el proceso cb es adiabático. La temperatura del gas en los estados a , c y b es $T_a = 300 \text{ K}$, $T_c = 492 \text{ K}$ y $T_b = 600 \text{ K}$. Calcule el trabajo total W del ciclo.

Figura 19.31 Problema 19.48.



19.49. Al empezar con 2.50 moles de N_2 gaseoso (que se supone ideal) en un cilindro a 1.00 atm y 20.0 °C, un químico calienta primero el gas a volumen constante, agrega $1.52 \times 10^4 \text{ J}$ de calor, luego continúa calentando y permite que el gas se expanda a presión constante al doble de su volumen original. *a)* Calcule la temperatura final del gas. *b)* Determine la cantidad de trabajo efectuado por el gas. *c)* Calcule la cantidad de calor agregado al gas mientras se expande. *d)* Calcule el cambio de energía interna del gas en todo el proceso.

19.50. Nitrógeno gaseoso en un recipiente expandible se enfría de 50.0 °C a 10.0 °C manteniendo constante la presión en $3.00 \times 10^5 \text{ Pa}$. El calor total desprendido por el gas es de $2.50 \times 10^4 \text{ J}$. Suponga que el gas tiene comportamiento ideal. *a)* Calcule el número de moles del gas. *b)* Calcule el cambio de energía interna del gas. *c)* Calcule el trabajo efectuado por el gas. *d)* ¿Cuánto calor desprendería el gas con el mismo cambio de temperatura si el volumen fuera constante?

19.51. En cierto proceso, un sistema desprende 2.15×10^5 J de calor, al tiempo que se contrae bajo una presión externa constante de 9.50×10^5 Pa. La energía interna del sistema es la misma al principio y al final del proceso. Calcule el cambio de volumen del sistema. (El sistema *no* tiene comportamiento ideal.)

19.52. Un cilindro con un pistón móvil sin fricción, como el de la figura 19.5, contiene una cantidad de helio gaseoso. En un principio, su presión es de 1.00×10^5 Pa, su temperatura es de 300 K y ocupa un volumen de 1.50 L. Después, el gas se somete a dos procesos. En el primero, el gas se calienta y se permite que el pistón se mueva a modo de mantener la temperatura constante en 300 K. Esto continúa hasta que la presión alcanza 2.50×10^4 Pa. En el segundo proceso, el gas se comprime a presión constante hasta que vuelve a su volumen original de 1.50 L. Suponga que el gas tiene comportamiento ideal. *a)* Muestre ambos procesos en una gráfica pV . *b)* Calcule el volumen del gas al final del primer proceso, y la presión y temperatura del gas al final del segundo proceso. *c)* Calcule el trabajo total efectuado por el gas durante ambos procesos. *d)* ¿Qué tendría que hacer con el gas para devolverlo a su presión y temperatura originales?

19.53. Proceso termodinámico en un líquido. Una ingeniera química está estudiando las propiedades del metanol (CH_3OH) líquido. Usa un cilindro de acero con área de sección transversal de 0.0200 m^2 que contiene $1.20 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ de metanol. El cilindro está equipado con un pistón ajustado que sostiene una carga de $3.00 \times 10^4 \text{ N}$. La temperatura del sistema se aumenta de $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $50.0 \text{ }^\circ\text{C}$. El coeficiente de expansión de volumen del metanol es de $1.20 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, su densidad es de 791 kg/m^3 y su calor específico a presión constante es $c_p = 2.51 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$. Se puede despreciar la expansión del cilindro de acero. Calcule: *a)* el aumento de volumen del metanol; *b)* el trabajo mecánico efectuado por el metanol contra la fuerza de $3.00 \times 10^4 \text{ N}$; *c)* la cantidad de calor agregada al metanol; *d)* el cambio de energía interna del metanol. *e)* Con base en sus resultados, explique si hay una diferencia apreciable entre los calores específicos c_p (a presión constante) y c_v (a volumen constante) del metanol en estas condiciones.

19.54. Proceso termodinámico en un sólido. Un cubo de cobre de 2.00 cm por lado cuelga de un cordón. (Las propiedades físicas del cobre se dan en las tablas 14.1, 17.2 y 17.3.) El cubo se calienta con un mechero de $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $90.0 \text{ }^\circ\text{C}$. El aire que rodea al cubo está a presión atmosférica ($1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$). Calcule: *a)* El aumento de volumen del cubo; *b)* el trabajo mecánico efectuado por el cubo para expandirse contra la presión del aire circundante; *c)* la cantidad de calor agregada al cubo; *d)* el cambio de energía interna del cubo. *e)* Con base en sus resultados, explique si hay una diferencia sustancial entre los calores específicos c_p (a presión constante) y c_v (a volumen constante) del cobre en estas condiciones.

19.55. Proceso termodinámico en un insecto. El escarabajo bombardero africano *Stenaptinus insignis* puede emitir un chorro de líquido repelente por la punta móvil de su abdomen (figura 19.32). El cuerpo del insecto tiene depósitos de dos sustancias; cuando se molesta el escarabajo, las sustancias se combinan en una cámara de reacción, produciendo un compuesto que se calienta de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por el calor de reacción. La elevada presión que se genera permite expulsar el compuesto con una rapidez de hasta 19 m/s (68 km/h) para asustar a depredadores de todo tipo. (El escarabajo que se muestra en la figura mide 2 cm a lo largo.) Calcule el calor de reacción de las dos sustancias (en J/kg). Suponga que el calor específico de las dos sustancias y del producto es igual al

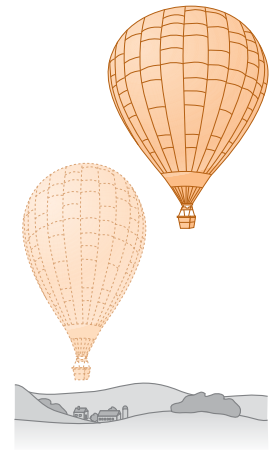
Figura 19.32 Problema 19.55.



del agua, $4.19 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, y que la temperatura inicial de las sustancias es de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

19.56. Investigación de gran altura. Un globo de investigación grande contiene $2.00 \times 10^3 \text{ m}^3$ de helio gaseoso a 1.00 atm y a una temperatura de $15.0 \text{ }^\circ\text{C}$ se eleva rápidamente desde el nivel del suelo hasta una altura donde la presión atmosférica es de sólo 0.900 atm (figura 19.33). Suponga que el helio se comporta como un gas ideal y que el globo sube tan rápido que permite mucho intercambio de calor con el aire circundante. *a)* Calcule el volumen del gas a la máxima altura. *b)* Determine la temperatura del gas a la máxima altura. *c)* ¿Cuál es el cambio en la energía interna del helio conforme el globo se eleva a su máxima altura?

Figura 19.33 Problema 19.56.



19.57. Chinook. En ciertas épocas del año, fuertes vientos llamados *chinooks* soplan desde el oeste, bajando por las faldas orientales de las Rocallosas hacia Denver y regiones circunvecinas. Aunque las montañas son frías, el viento en Denver es muy caliente; pocos minutos después de llegar el chinook, la temperatura llega a subir $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (“chinook” es una palabra en una lengua indígena norteamericana que significa “devorador de nieve”). Se presentan vientos similares en los Alpes (llamados favones) y en el sur de California (donde se llaman “Santa Anas”). *a)* Explique por qué la temperatura del viento chinook aumenta al descender las laderas. ¿Por qué es importante que el viento sea rápido? *b)* Suponga que sopla un viento fuerte hacia Denver (elevación, 1630 m) desde el Pico Grays (80 km al oeste de Denver, con una elevación de 4350 m), donde la presión del aire es de $5.60 \times 10^4 \text{ Pa}$ y la temperatura del aire es $-15.0 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura y presión en Denver antes de que llegue el viento son $2.0 \text{ }^\circ\text{C}$ y $8.12 \times 10^4 \text{ Pa}$. ¿En cuántos grados Celsius subirá la temperatura en Denver cuando llegue el chinook?

19.58. La capacidad calorífica molar a volumen constante de cierto gas con comportamiento ideal es C_v . Una muestra de este gas ocupa inicialmente un volumen V_0 a una presión p_0 y una temperatura absoluta T_0 . El gas se expande isobáricamente a un volumen $2V_0$ y luego se sigue expandiendo adiabáticamente hasta un volumen final de $4V_0$. *a)* Dibuje una gráfica pV para esta sucesión de procesos. *b)* Calcule el trabajo total efectuado por el gas en esta sucesión de procesos. *c)* Calcule la temperatura final del gas. *d)* Determine el valor absoluto $|Q|$ del flujo total de calor que entra en el gas o sale de él durante esta sucesión de procesos, e indique la dirección del flujo.

19.59. Una bomba de aire tiene un cilindro de 0.250 m de longitud, con un pistón móvil. La bomba se utiliza para comprimir aire de la atmósfera (a una presión absoluta de $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$) e introducirlo en un tanque muy grande, cuya presión manométrica es de $4.20 \times 10^5 \text{ Pa}$. (Para el aire, $C_v = 20.8 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.) *a)* El pistón inicia la carrera de compresión en el extremo abierto del cilindro. ¿Qué distancia se ha movido el pistón en el cilindro cuando comienza a fluir aire del cilindro al tanque? Suponga que la compresión es adiabática. *b)* Si el aire se introduce en la bomba a $27.0 \text{ }^\circ\text{C}$, ¿qué temperatura tendrá una vez comprimido? *c)* ¿Cuánto trabajo efectúa la bomba al introducir 20.0 moles de aire en el tanque?

19.60. Turbocargadores e interenfriadores (radiadores) para motores. La potencia desarrollada por un motor de automóvil es

directamente proporcional a la masa de aire que se puede introducir en el volumen de los cilindros del motor, para reaccionar químicamente con la gasolina. Muchos automóviles tienen un *turbocargador* que comprime el aire antes de que entre en el motor, para que haya mayor masa de aire en el mismo volumen. Esta compresión rápida, prácticamente adiabática, también calienta el aire. Con la finalidad de comprimir el aire aún más, se le hace pasar por un *interenfriador*, en el cual intercambia calor con su entorno a presión prácticamente constante. Después, el aire es succionado hacia los cilindros. En una instalación típica, se introduce aire en el turbocargador a presión atmosférica (1.01×10^5 Pa), densidad $\rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$ y temperatura 15.0°C . Se le comprime adiabáticamente a 1.45×10^5 Pa. En el interenfriador, el aire se enfría a la temperatura original de 15.0°C a presión constante de 1.45×10^5 Pa. *a)* Dibuje una gráfica pV para esta sucesión de procesos. *b)* Si el volumen de uno de los cilindros del motor es de 575 cm^3 , ¿qué masa de aire salida del interenfriador llenará el cilindro a 1.45×10^5 Pa? En comparación con la potencia desarrollada por un motor que admite aire a 1.01×10^5 Pa a 15.0°C , ¿qué porcentaje de aumento de potencia se obtiene empleando un turbocargador y un interenfriador? *c)* Si no se usa el interenfriador, ¿qué masa de aire salida del turbocargador llenará el cilindro a 1.45×10^5 Pa? En comparación con la potencia desarrollada por un motor que admite aire a 1.01×10^5 Pa a 15.0°C , ¿qué porcentaje de aumento de potencia se obtiene empleando un turbocargador solo?

19.61. Un gas monoatómico con comportamiento ideal se expande lentamente al doble de su volumen original, efectuando 300 J de trabajo en el proceso. Calcule el calor agregado al gas y el cambio de energía interna del gas, si el proceso es *a)* isotérmico, *b)* adiabático, *c)* isobárico.

19.62. Un cilindro con pistón contiene 0.250 moles de oxígeno a 2.40×10^5 Pa y 355 K . El oxígeno puede tratarse como gas ideal. Primero, el gas se expande isobáricamente al doble de su volumen original. Después, se comprime isotérmicamente a su volumen original y, por último, se enfría isocóricamente hasta su presión original. *a)* Muestre esta serie de procesos en una gráfica pV . *b)* Calcule la temperatura durante la compresión isotérmica. *c)* Calcule la presión máxima. *d)* Calcule el trabajo total efectuado por el pistón sobre el gas durante la serie de procesos.

19.63. Use las condiciones y los procesos del problema 19.62 para calcular *a)* el trabajo efectuado por el gas, el calor agregado a éste y su cambio de energía interna durante la expansión inicial; *b)* El trabajo efectuado, el calor agregado y el cambio de energía interna durante el enfriamiento final; *c)* el cambio de energía interna durante la compresión isotérmica.

19.64. Un cilindro con pistón contiene 0.150 moles de nitrógeno a 1.80×10^5 Pa y 300 K . El nitrógeno puede tratarse como un gas ideal. Primero, el gas se comprime isobáricamente a la mitad de su volumen original. Luego, se expande adiabáticamente hasta su volumen original. Por último, se calienta isocóricamente hasta su presión original. *a)* Muestre esta serie de procesos en una gráfica pV . *b)* Calcule las temperaturas al principio y al final de la expansión adiabática. *c)* Calcule la presión mínima.

19.65. Use las condiciones y los procesos del problema 19.64 para calcular: *a)* El trabajo efectuado por el gas, el calor agregado a éste y su cambio de energía interna durante la compresión inicial; *b)* el trabajo efectuado por el gas, el calor agregado a éste y el cambio de energía interna durante la expansión adiabática; *c)* el trabajo efectuado, el calor agregado y el cambio de energía interna durante el calentamiento final.

19.66. Comparación de procesos termodinámicos. En un cilindro, 1.20 moles de un gas monoatómico con comportamiento ideal, a 3.60×10^5 Pa y 300 K , se expande hasta triplicar su volumen. Calcule el trabajo efectuado por el gas, si la expansión es *a)* isotérmica, *b)* adiabática, *c)* isobárica. *d)* Muestre cada proceso en una gráfica pV . ¿En qué caso es máximo el valor absoluto del trabajo efectuado por el gas? ¿Y mínimo? *e)* ¿En qué caso es máximo el valor absoluto de la transfe-

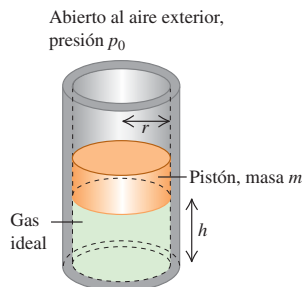
rencia de calor? ¿Y mínimo? *f)* ¿En qué caso es máximo el valor absoluto del cambio de energía interna del gas? ¿Y mínimo?

19.67. En un cilindro sellado con un pistón, se comprimen rápidamente 3.00 L de N_2 gaseoso, inicialmente a una presión de 1.00 atm y a 0.00°C , a la mitad de su volumen original. Suponga que el N_2 se comporta como un gas ideal. *a)* Calcule la temperatura y la presión finales del gas. *b)* Si ahora el gas se enfría a los 0.00°C sin cambiar la presión, ¿cuál será su volumen final?

Problemas de desafío

19.68. Oscilaciones de un pistón. Un cilindro vertical de radio r contiene una cantidad de gas ideal, y está provisto de un pistón con masa m que puede moverse libremente (figura 19.34). El pistón y las paredes del cilindro carecen de fricción, y el cilindro completo se coloca en un baño a temperatura constante. La presión del aire exterior es p_0 . En equilibrio, el pistón está a una altura h sobre la base del cilindro. *a)* Calcule la presión absoluta del gas atrapado bajo el pistón cuando está en equilibrio. *b)* Se tira del pistón para subirlo una distancia corta y después se suelta. Determine la fuerza neta que actúa sobre el pistón cuando su base está a una distancia $h + y$ sobre la base del cilindro, donde y es mucho menor que h . *c)* Después de que el pistón se desliza del equilibrio y se suelta, oscila verticalmente. Calcule la frecuencia de estas pequeñas oscilaciones. Si el desplazamiento no es pequeño, ¿las oscilaciones son armónicas simples? ¿Cómo lo sabe?

Figura 19.34 Problema de desafío 19.68.



19.69. La ecuación de estado de Van der Waals, una representación aproximada del comportamiento de los gases a presión elevada, está dada por la ecuación (18.7):

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

donde a y b son constantes con diferentes valores para gases distintos. En el caso especial de $a = b = 0$, ésta es la ecuación del gas ideal. *a)* Calcule el trabajo efectuado por un gas que obedece esta ecuación de estado, durante una expansión isotérmica de V_1 a V_2 . Demuestre que su respuesta concuerda con el resultado para el gas ideal obtenido en el ejemplo 19.1 (sección 19.2) cuando se hace $a = b = 0$. *b)* Para etano (C_2H_6) gaseoso, $a = 0.554 \text{ J} \cdot \text{m}^3/\text{mol}^2$ y $b = 6.38 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$. Calcule el trabajo W efectuado por 1.80 moles de etano cuando se expande de $2.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ a $4.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ a una temperatura constante de 300 K . Efectúe el cálculo utilizando: i) la ecuación de estado de Van der Waals y ii) la ecuación de estado del gas ideal. *c)* ¿Qué tan grande es la diferencia entre los dos resultados de W en el inciso *b)*? ¿Con qué ecuación de estado W es mayor? Utilice la interpretación de los términos a y b dada en la sección 18.1 para explicar por qué debería ser así. ¿En este caso son importantes las diferencias entre las dos ecuaciones de estado?