



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
Facultad Regional Avellaneda

## Física II - 2<sup>do</sup> 31

Guía de problemas de la unidad I

# Termodinámica

### Contenidos

1 Calorimetría	1
2 Transmisión del calor	3
3 Primer principio de la termodinámica	5
4 Segundo principio de la termodinámica	8
5 Preguntas para el análisis	11
Respuestas de la unidad I	14

## 1. Calorimetría

**1.1** a) Calcule la única temperatura a la que los termómetros Fahrenheit y Celsius coinciden. b) Calcule la única temperatura a la que los termómetros Fahrenheit y Kelvin coinciden.

**1.2** a) Un termómetro de gas a volumen constante tiene una presión de 1000 Pa a 15 °C. Si la presión se incrementa a 2000 Pa, ¿cuál es la temperatura en grados Celsius? b) Un termómetro de gas registra una presión absoluta de 325 mmHg, estando en contacto con agua en el punto triple. ¿Qué presión indicará en contacto con agua en su punto de ebullición normal?

**1.3** Usando un termómetro de gas de volumen constante, un experimentador determinó que la presión del gas cuando el termómetro se encuentra a la temperatura del punto triple del agua (0,01 °C) es  $4,8 \times 10^4$  Pa; y en el punto de ebullición normal del agua (100 °C) es  $6,5 \times 10^4$  Pa. a) Suponiendo que la presión varía linealmente con la temperatura, use estos datos para calcular la temperatura Celsius en la que la presión del gas sería cero (es decir, obtenga la temperatura Celsius del cero absoluto). b) ¿El gas de este termómetro obedece con precisión la ecuación  $T_2/T_1 = p_2/p_1$ ? Si es así y la presión a 100 °C fuera  $6,5 \times 10^4$  Pa, ¿qué presión habría medido el experimentador a 0,01 °C?

**1.4** Un técnico mide el calor específico de un líquido desconocido sumergiendo en él una resistencia eléctrica. La energía eléctrica se convierte en calor transferido al líquido durante 120 s a una tasa constante de 65,0 W. La masa del líquido es 0,780 kg y su temperatura aumenta de 18,55 °C a 22,54 °C. Calcule el calor específico promedio del líquido en este intervalo de temperatura. Suponga que la cantidad de calor que se transfiere al recipiente es despreciable y que no se transfiere calor al entorno.

**1.5** En un experimento se suministra calor a una muestra sólida de 500 g a una tasa de 10,0 kJ/min mientras se registra su temperatura en función del tiempo. La gráfica de sus datos se muestra en la figura 1.1. a) Calcule el calor latente de fusión del sólido. b) Determine los calores específicos de

los estados sólido y líquido del material.

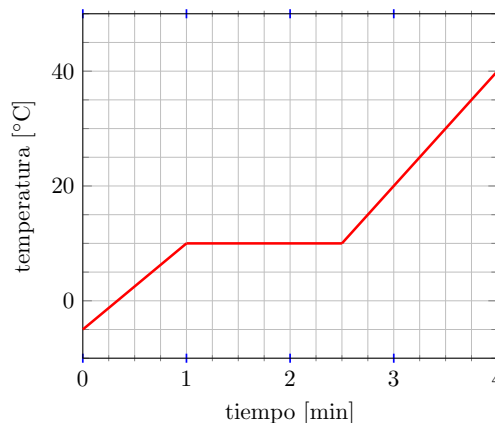


Figura 1.1: Problema 1.5

**1.6** Una pieza metálica de 6,00 kg de cobre sólido a una temperatura inicial  $T$  se coloca con 2,00 kg de hielo que se encuentran inicialmente a  $-20,0$  °C. El hielo está en un contenedor aislado de masa despreciable. Después de que se alcanza el equilibrio térmico, se observan 1,20 kg de hielo y 0,80 kg de agua líquida. ¿Cuál era la temperatura inicial de la pieza de cobre?

**1.7** Una olla de cobre con una masa de 0,500 kg contiene 0,170 kg de agua, y ambas están a una temperatura de 20,0 °C. Un bloque de 0,250 kg de hierro a 85,0 °C se deja caer en la olla. Encuentre la temperatura final del sistema, suponiendo que no hay pérdida de calor a los alrededores.

**1.8** En un recipiente adiabático de masa despreciable, 0,2 kg de hielo a una temperatura inicial de  $-40$  °C se mezclan con una masa  $m$  de agua que tiene una temperatura inicial de 80 °C. Si la temperatura final del sistema es 20 °C, ¿cuál es la masa  $m$  del agua que estaba inicialmente a 80 °C?

**1.9** El calor específico molar de cierta sustancia varía con la temperatura según la siguiente ecuación empírica:  $C = a + bT$ , donde  $a = 29,5 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  y  $b = 8,20 \times 10^{-3} \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-2}$ . ¿Cuánto calor se necesita para modificar la temperatura de 3,00 mol de la sustancia de 27,0 °C a 227 °C? (Sugerencia: Integre la ecuación  $dQ = nCdT$ .)

**1.10** Un calorímetro de cobre cuya masa es 0,446 kg contiene 0,095 kg de hielo, y el sistema está inicialmente en equilibrio a  $0^{\circ}\text{C}$ . Si se agregan 0,035 kg de vapor de agua a  $100,0^{\circ}\text{C}$  y 1 atm de presión, *a)* ¿qué temperatura final alcanzará el calorímetro y su contenido?, *b)* ¿cuántos kilogramos habrá de hielo, de agua líquida y de vapor a dicha temperatura final?

**1.11** Un calorímetro cuyo equivalente en agua es 20 g, contiene 100 g de agua a  $20^{\circ}\text{C}$ . Se agregan 50 g de una sustancia desconocida a una temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose una temperatura final de equilibrio de  $24^{\circ}\text{C}$ . Calcular el calor específico de la sustancia desconocida.

**1.12** Un calorímetro contiene 40 g de agua a  $22^{\circ}\text{C}$  y se le agregan 50 g de agua a  $50^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose una temperatura final de  $35^{\circ}\text{C}$ . *a)* Calcular el equivalente en agua del calorímetro. *b)* En un nuevo experimento, este mismo calorímetro contiene 100 g de agua a una temperatura de  $22^{\circ}\text{C}$ , y se agregan 80 g de aluminio a  $90^{\circ}\text{C}$ . Calcular la temperatura de equilibrio. *Dato:* Calor específico del aluminio:  $0,22 \text{ cal g}^{-1}^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

## 2. Transmisión del calor

**2.1** Un extremo de una varilla metálica aislada se mantiene a  $100^{\circ}\text{C}$ , y el otro se mantiene a  $0^{\circ}\text{C}$  con una mezcla de hielo y agua. La varilla tiene 60 cm de longitud y el área de su sección transversal es  $1,25\text{ cm}^2$ . El calor conducido por la varilla funde 8,5 g de hielo cada 10 min. Calcule la conductividad térmica del metal.

**2.2** Un método experimental para medir la conductividad térmica de un material aislante consiste en construir una caja del material y medir el aporte de potencia a un calentador eléctrico dentro de la caja, que mantiene el interior a una temperatura medida por encima de la temperatura de la superficie exterior. Suponga que en un aparato como el mencionado se requiere un aporte de potencia de 180 W para mantener la superficie interior de la caja  $65,0^{\circ}\text{C}$  arriba de la temperatura de la superficie exterior. El área total de la caja es de  $2,18\text{ m}^2$ , y el espesor de la pared es de 3,90 cm. Calcule la conductividad térmica del material en unidades del SI.

**2.3** En una casa se tiene una pared de ladrillos de  $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ , y espesor 15 cm, que separa un ambiente a  $25^{\circ}\text{C}$  del exterior a  $5^{\circ}\text{C}$ . Esta pared contiene una ventana que consiste en solo un panel de vidrio de  $1,5\text{ m} \times 1,5\text{ m} \times 5\text{ mm}$ . a) Calcular la corriente de calor total a través del concreto y la ventana, sin incluir efectos de convección. b) ¿Cuál es el porcentaje de calor que se pierde a través de la ventana respecto del total? c) Repetir los cálculos para una situación donde la ventana es cubierta por una lámina de papel de espesor 0,750 mm. *Datos:* conductividad térmica del ladrillo =  $0,6\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ; conductividad térmica del vidrio =  $1\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ; conductividad térmica del papel =  $0,050\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$ .

**2.4** Dos barras, una de latón y otra de cobre, están unidas extremo con extremo. La longitud de la barra de latón es 0,2 m y la de cobre es 0,8 m. La sección transversal de cada segmento tiene un área de  $0,005\text{ m}^2$ . El extremo libre del segmento de latón está en contacto con agua hirviendo y el extremo libre del segmento de cobre se encuentra en contacto con una mezcla de hielo y agua, en ambos casos a presión atmosférica normal. Los

lados de las varillas están aislados, por lo que no hay pérdida de calor a los alrededores. a) ¿Cuál es la temperatura del punto en el que los segmentos de latón y de cobre se unen? b) ¿Qué masa de hielo se funde en 5 min debido el calor conducido por la varilla compuesta?

**2.5** El gráfico de la figura 2.1 representa la temperatura ( $T$ ) en función de la posición ( $x$ ) dentro de una barra cuya área transversal mide  $3,00\text{ cm}^2$  y su longitud total es 30 cm. La barra está compuesta por dos materiales homogéneos, y conecta dos fuentes de calor a temperaturas constantes, transmitiendo  $1,44\text{ cal/s}$ . Determinar las conductividades térmicas de los materiales que forman la barra.

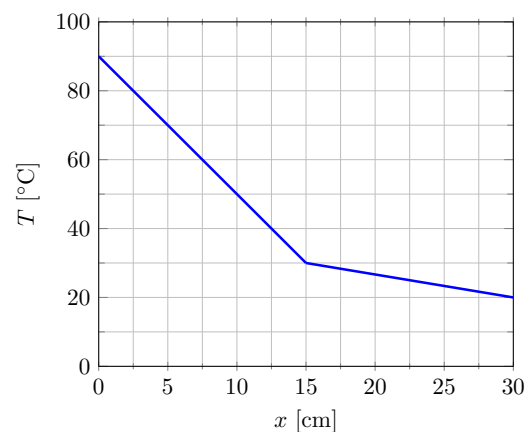


Figura 2.1: Problema 2.5

**2.6** Se sueldan varillas de cobre, latón y acero para formar una figura en forma de Y. El área de la sección transversal de cada varilla es de  $2\text{ cm}^2$ . El extremo libre de la varilla de cobre se mantiene a  $100^{\circ}\text{C}$ , y los extremos libres de las varillas de latón y acero a  $0^{\circ}\text{C}$ . Suponga que no hay pérdida de calor por los laterales de las varillas, cuyas longitudes son: 13 cm, 18 cm y 24 cm para la de cobre, latón y acero respectivamente. a) ¿Qué temperatura tiene el punto de unión? b) Calcule la corriente de calor en cada una de las tres varillas.

**2.7** Una pared de ladrillos de 20 cm de espesor y conductividad térmica  $5 \times 10^{-4}\text{ cal/(s cm }^{\circ}\text{C)}$ , separa una habitación en la que el aire está

a una temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$ , del exterior donde el aire se encuentra a una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$ . Si el coeficiente de convección interior es de  $1 \times 10^{-4} \text{ cal}/(\text{s cm}^2^{\circ}\text{C})$  y el doble de éste en el exterior, calcular: a) La temperatura de la superficie interior de la pared. b) La temperatura de la superficie exterior de la pared.

**2.8** Una pared exterior está compuesta por una capa externa de madera de 3,0 cm de espesor y una capa interna de espuma de poliestireno de 2,2 cm de espesor. Considere que la conductividad térmica de la madera es  $k_m = 0,08 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  y la del poliestireno es  $k_p = 0,01 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . La temperatura del aire en el interior es  $19^{\circ}\text{C}$  y la del aire en el exterior es  $-10^{\circ}\text{C}$ , y los coeficientes de convección del aire en el interior y del aire en el exterior valen  $5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  y  $12 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  respectivamente. a) Calcular la rapidez del flujo de calor por metro cuadrado a través de esta pared. b) Calcular la temperatura en la superficie de contacto entre la madera y la espuma de poliestireno. c) Realizar un gráfico de la temperatura en función de la posición, en la dirección del flujo de calor.

**2.9** Un carpintero construye una cabaña rústica que tiene un piso de dimensiones  $3,50 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}$ . Sus paredes, que miden 2,50 m de alto y 1,80 cm de grosor, están hechas de una madera cuya conductividad térmica vale  $0,517 \text{ cal}/(\text{h cm}^{\circ}\text{C})$ , y serán aisladas con un material sintético de conductividad térmica igual a  $0,947 \text{ cal}/(\text{h cm}^{\circ}\text{C})$ . Se desea instalar una estufa que entregue una potencia calorífica de 1100 kcal/h para mantener el interior a una temperatura de  $25,0^{\circ}\text{C}$  cuando la temperatura exterior es  $2,00^{\circ}\text{C}$ . Despreciando la pérdida de calor a través del techo y del piso, calcule el espesor mínimo necesario del material aislante. Considere que el coeficiente de convección del aire  $2,00 \times 10^{-4} \text{ cal}/(\text{s cm}^2^{\circ}\text{C})$  tanto en el interior como en el exterior.

**2.10** En un edificio de oficinas se está considerando reemplazar ventanas de un solo panel de vidrio de 3 mm de espesor por ventanas de doble panel de vidrio de 3 mm de espesor, separados por 5 mm de aire estanco. En ambos casos la conductividad térmica del vidrio es  $1 \text{ W}/(\text{m K})$  y en el caso de doble panel la conductividad térmica del aire estanco es  $0,025 \text{ W}/(\text{m K})$ . El coeficiente de transmisión interior y exterior vale  $20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  y se

puede despreciar la contribución por convección en el aire estanco. Las oficinas se calefaccionan con energía eléctrica cuyo costo es 116,63 \$/kWh, para mantener la temperatura interior  $10^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura exterior, durante 220 horas mensuales. ¿Cuánto dinero se ahorrarían cada mes por cada metro cuadrado de ventana que se reemplace?

**2.11** Calcule la tasa de radiación de energía por unidad de área de un cuerpo negro a: a) 273 K y b) 2730 K.

**2.12** La emisividad del tungsteno es 0,350. Una esfera de tungsteno con un radio de 1,5 cm se suspende dentro de una cavidad grande, cuyas paredes están a 290 K. ¿Qué aporte de potencia se requiere para mantener la esfera a una temperatura de 3000 K, si se desprecia la conducción de calor por los soportes?

**2.13** Calcular cuánto calor neto pierde cada hora una persona desnuda en forma de radiación, cuando se encuentra en un ambiente a  $15^{\circ}\text{C}$ . Suponer que la superficie libre que emite (y recibe) calor es de  $2,5 \text{ m}^2$ , su temperatura es  $33^{\circ}\text{C}$ , y se comporta como un cuerpo negro.

**2.14** La tasa de energía radiante que llega del Sol a la atmósfera superior de la Tierra es cercana a  $1,5 \text{ kW}/\text{m}^2$ . La distancia promedio de la Tierra al Sol es  $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$  y el radio del Sol es  $6,96 \times 10^8 \text{ m}$ . a) Calcule la tasa de radiación de energía por unidad de área de la superficie solar. b) Si el Sol irradia como cuerpo negro ideal, ¿qué temperatura tiene en su superficie?

### 3. Primer principio de la termodinámica

**3.1** Un tanque de 20,0 L contiene  $4,86 \times 10^{-4}$  kg de helio a  $18,0^\circ\text{C}$ . La masa molar del helio es 4,00 g/mol. *a)* ¿Cuántos moles de helio hay en el tanque? *b)* ¿Cuál es la presión en el tanque en pascuales y en atmósferas?

**3.2** Un tanque cilíndrico tiene un pistón ajustado que permite modificar el volumen del tanque. Originalmente, el tanque contiene  $0,110\text{ m}^3$  de aire a 0,355 atm de presión. Se tira lentamente del pistón hasta aumentar el volumen del aire a  $0,390\text{ m}^3$ . Si la temperatura permanece constante, ¿qué valor final tiene la presión?

**3.3** Un matraz de 1,50 L, provisto de una llave de paso, contiene etano gaseoso ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) a 300 K y presión atmosférica (101,3 kPa). La masa molar del etano es 30,1 g/mol. El sistema se calienta a 490 K, con la llave abierta a la atmósfera. Luego se cierra la llave y el matraz se enfría a su temperatura original. *a)* Calcule la presión final del etano en el matraz. *b)* ¿Cuántos gramos de etano quedan en el matraz?

**3.4** Dos moles de gas ideal se calientan a presión constante desde  $27,0^\circ\text{C}$  hasta  $107^\circ\text{C}$ . Calcule el trabajo efectuado por el gas.

**3.5** Seis moles de gas ideal están en un cilindro provisto en un extremo con un pistón móvil. La temperatura inicial del gas es  $27,0^\circ\text{C}$  y se desplaza el pistón manteniendo la presión del gas constante. Calcule la temperatura final del gas una vez que haya efectuado 2,4 kJ de trabajo.

**3.6** La gráfica de la figura 3.1 muestra un diagrama  $p$ - $V$  del aire en un pulmón cuando una persona inhala y luego exhala una respiración profunda. Estas gráficas, obtenidas en la práctica clínica, normalmente están algo curvadas, pero modelamos una como un conjunto de líneas rectas de la misma forma general. (Importante: La presión indicada es la presión manométrica, no la presión absoluta). *a)* ¿Cuántos joules de trabajo neto realiza el pulmón de esta persona durante una respiración completa? *b)* El proceso que aquí se representa es algo diferente de los que se han estudiado, ya que el cambio de presión se debe a

los cambios en la cantidad de gas en el pulmón, y no a los cambios de temperatura. (Piense en su propia respiración, sus pulmones no se expanden porque se han calentado). Si la temperatura del aire en el pulmón permanece en un valor razonable de  $20^\circ\text{C}$ , ¿cuál es el número máximo de moles en el pulmón de esta persona durante una respiración?

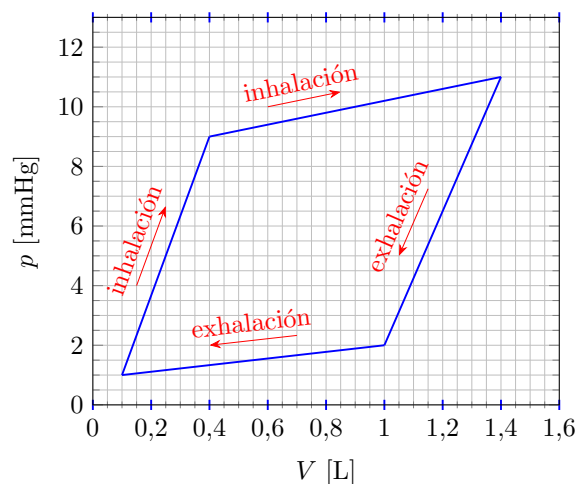


Figura 3.1: Problema 3.6

**3.7** Durante el tiempo en que 0,305 mol de un gas ideal experimentan una compresión isotérmica a  $22^\circ\text{C}$ , su entorno efectúa 468 J de trabajo sobre él. *a)* Si la presión final es 1,76 atm, ¿cuál fue la presión inicial? *b)* Realice una gráfica  $p$ - $V$  para este proceso.

**3.8** Cuando se hierve agua a una presión de 2,00 atm, el calor de vaporización es 2,20 MJ/kg y la temperatura del punto de ebullición es  $120^\circ\text{C}$ . A esta presión, 1,00 kg de agua ocupa un volumen de  $1,00 \times 10^{-3}\text{ m}^3$ , y 1,00 kg de vapor de agua ocupa un volumen de  $0,824\text{ m}^3$ . Calcule el incremento en la energía interna del agua cuando se forma 1,00 kg de vapor de agua a esta temperatura.

**3.9** Considere el ciclo cerrado  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$  mostrado en la figura 3.2. *a)* Encuentre una expresión para el trabajo total efectuado por el sistema en este proceso. *b)* Encuentre una expresión para el trabajo total efectuado por el sistema si el ciclo se recorre en sentido opuesto.

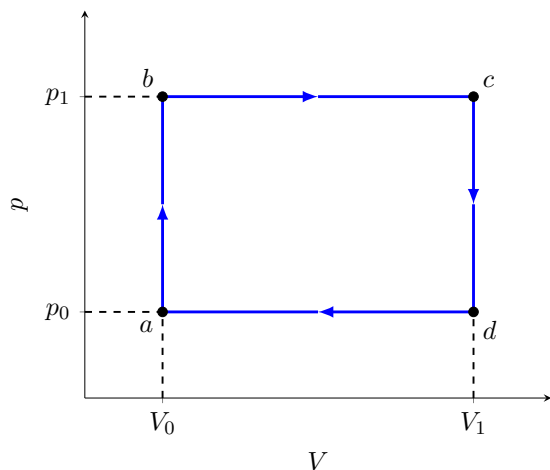


Figura 3.2: Problema 3.9

**3.10** En la figura 3.3 se muestra el diagrama  $p$ - $V$  del proceso  $a \rightarrow b \rightarrow c$  que implica 0,0175 mol de un gas ideal. a) ¿Cuál fue la temperatura más baja que alcanzó el gas en este proceso? ¿Dónde ocurrió? b) ¿Cuánto trabajo realizó o recibió el gas en el proceso  $a \rightarrow b$ ? c) ¿Cuánto trabajo realizó o recibió el gas en el proceso  $b \rightarrow c$ ? d) Si se entregaron 215 J de calor al gas durante  $a \rightarrow b \rightarrow c$ , ¿cuántos de esos Joules se destinaron a la energía interna?

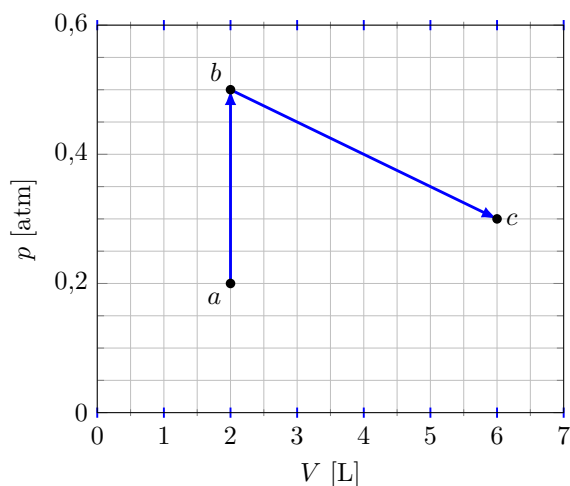


Figura 3.3: Problema 3.10

**3.11** El gráfico en la figura 3.4 muestra un diagrama  $p$ - $V$  de 3,25 mol de helio ideal gaseoso. La parte  $c \rightarrow a$  de este proceso es isotérmica. a) Calcule el calor intercambiado por el helio en los procesos  $a \rightarrow b$ ,  $b \rightarrow c$  y  $c \rightarrow a$ . b) Calcule la variación de energía interna del He en esos mismos procesos.

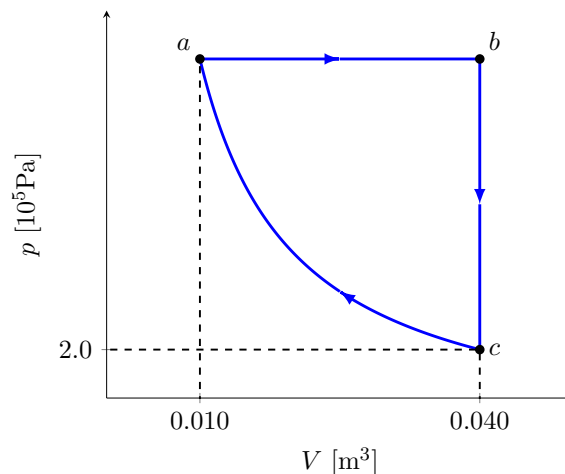


Figura 3.4: Problema 3.11

**3.12** a) Una tercera parte de un mol de gas He evoluciona a lo largo de la trayectoria  $a \rightarrow b \rightarrow c$  representada por la línea continua en la figura 3.5. Suponga que el gas se puede tratar como ideal. ¿Cuánto calor intercambia gas? b) Si, en vez de ello, el gas pasa del estado  $a$  al estado  $c$  evolucionando a lo largo de la línea horizontal punteada en la figura, ¿cuánto calor intercambia el gas en este caso?

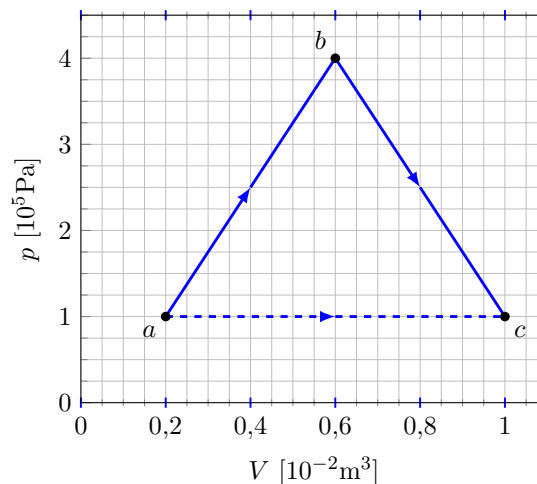


Figura 3.5: Problema 3.12

**3.13** Se colocan 0,20 mol de un gas ideal diatómico en un recipiente a 3,0 atm y 500 K. Se efectúa con el gas el siguiente ciclo: i) Se expande isotérmicamente desde el estado A hasta duplicar su volumen llegando al estado B. ii) A volumen constante se reduce su temperatura hasta 300 K, alcanzando el estado C. iii) A presión constante se reduce su volumen hasta el volumen inicial (estado D). iv) El gas aumenta su temperatura

a volumen constante hasta el estado  $A$ . Para este ciclo se pide: *a)* Realizar un diagrama  $p - V$  indicando en qué procesos el gas realiza o recibe trabajo y en cuáles absorbe o cede calor. *b)* Calcular el trabajo neto realizado por el gas. *c)* Calcular el cociente entre el trabajo realizado neto y el calor absorbido por el gas.

**3.14** Un mol de un gas ideal diatómico se comprime lentamente a un tercio de su volumen original. En esta compresión, la magnitud del trabajo realizado sobre el gas es 600 J. *a)* Si el proceso es isotérmico, ¿cuál es el valor del calor  $Q$  para el gas? ¿El flujo de calor es hacia adentro o hacia afuera del gas? *b)* Si el proceso es isobárico, ¿cuál es el cambio en la energía interna del gas? ¿Aumenta o disminuye su energía interna?

**3.15** Un cilindro con pistón contiene 0,15 mol de nitrógeno a 0,18 MPa y 300 K, que se puede tratar 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. Calcule el trabajo del gas en este ciclo.



## 4. Segundo principio de la termodinámica

**4.1** En un calorímetro ideal (adiabático y de capacidad calorífica despreciable) se introducen 50 g de agua a  $15^\circ\text{C}$  y 50 g de agua a  $5^\circ\text{C}$ , y se espera hasta que el sistema (la mezcla) alcance el equilibrio térmico. *a)* Calcule la variación de entropía del sistema. *b)* ¿Cuál es la variación de entropía del Universo en este proceso?

**4.2** Un bloque de hielo de 4,5 kg a  $0^\circ\text{C}$  cae en el océano y se funde. La temperatura media del océano es  $3,5^\circ\text{C}$ , incluyendo las aguas profundas. ¿En qué medida la fusión de este hielo cambia la entropía del mundo? ¿La aumenta o la disminuye? (La variación de la temperatura del océano mientras este bloque de hielo se funde es despreciable.)

**4.3** Un motor diesel realiza 2200 J de trabajo mecánico y cede 4300 J de calor en cada ciclo. *a)* ¿Cuánto calor debe suministrarse al motor en cada ciclo? *b)* Calcule la eficiencia térmica del motor.

**4.4** La figura 4.1 muestra un esquema de una máquina térmica cuyo depósito de alta temperatura está a una temperatura  $T_c = 620\text{ K}$ , recibe  $Q_{\text{abs}} = 550\text{ J}$  de calor a esta temperatura en cada ciclo y cede  $Q_{\text{ced}} = -395\text{ J}$  al depósito frío, a una temperatura  $T_f = 378\text{ K}$ . *a)* ¿Cuánto trabajo mecánico realiza la máquina en cada ciclo? *b)* ¿Cuál es la eficiencia térmica de la máquina? *c)* ¿Se trata de una máquina ideal o real?

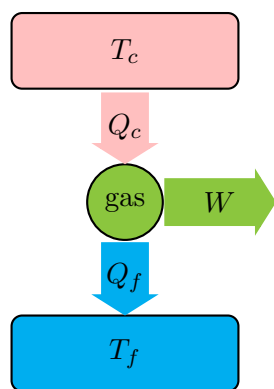


Figura 4.1: Problema 4.4

**4.5** En la tabla 1 se muestra el calor absorbido, el calor cedido (en valor absoluto) y el tra-

bajo realizado en cada ciclo de cuatro máquinas térmicas diseñadas para funcionar entre dos reservorios a temperaturas constantes de 800 K y 400 K. ¿Cuáles de estas máquinas son posibles, debido a que no violan ningún principio termodinámico?

Tabla 1: Ejercicio 4.5

Máquina	$Q_{\text{abs.}} [\text{J}]$	$Q_{\text{ced.}} [\text{J}]$	$W [\text{J}]$
<i>a</i>	1000	600	600
<i>b</i>	1000	400	600
<i>c</i>	1000	500	500
<i>d</i>	1000	700	300

**4.6** Un refrigerador tiene un coeficiente de rendimiento de 2,10. Durante cada ciclo, absorbe  $3,4 \times 10^4\text{ J}$  de calor del depósito frío. *a)* ¿Cuánta energía mecánica se requiere en cada ciclo para operar el refrigerador? *b)* Durante cada ciclo, ¿cuánto calor se desecha al depósito caliente?

**4.7** Un acondicionador de aire tiene un coeficiente de rendimiento de 2,9 en un día caluroso, y utiliza 850 W de potencia eléctrica. *a)* ¿Cuántos Joules de calor extrae el sistema de aire acondicionado de la habitación en cada minuto? *b)* ¿Cuántos Joules de calor entrega el sistema de aire acondicionado al aire caliente del exterior en cada minuto?

**4.8** Una máquina de Carnot opera entre  $500^\circ\text{C}$  y  $100^\circ\text{C}$  con un suministro de calor de 250 J por ciclo. *a)* ¿Cuánto calor se entrega al depósito frío en cada ciclo? *b)* ¿Qué número mínimo de ciclos se requieren para que la máquina levante una piedra de 500 kg a una altura de 100 m?

**4.9** Una máquina de Carnot tiene una eficiencia del 59 % y realiza 25 kJ de trabajo en cada ciclo. *a)* ¿Cuánto calor extrae la máquina de su fuente de calor en cada ciclo? *b)* Suponga que la máquina expulsa calor a una temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$ . ¿Cuál es la temperatura de su fuente de calor?

**4.10** Calcule la eficiencia térmica de una máquina en la que  $n$  moles de un gas ideal diatómico

realizan el ciclo  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$  que se muestra en la figura 4.2.

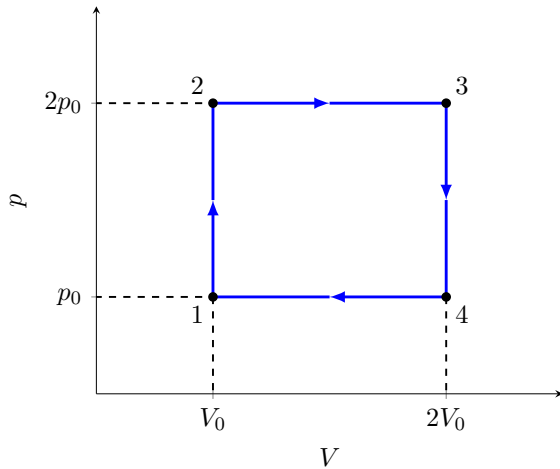


Figura 4.2: Problema 4.10

**4.11** Calcule la eficiencia térmica de una máquina en la que  $n$  moles de un gas ideal diatómico realizan el ciclo mostrado en la figura 4.3.

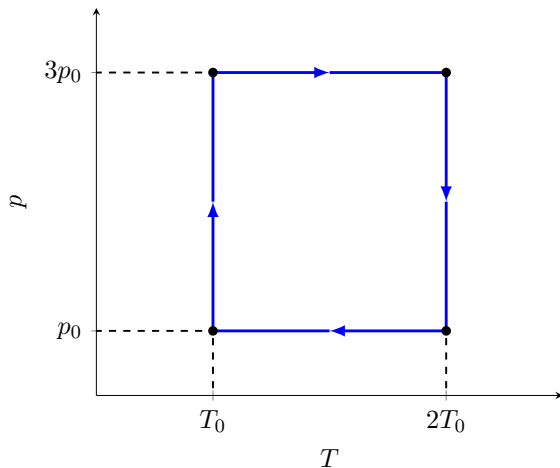


Figura 4.3: Problema 4.11

**4.12** Un cilindro contiene oxígeno a una presión de 2,00 atm, en un volumen de 4,00 L y a una temperatura de 300 K. Suponga que el oxígeno se puede tratar como gas ideal mientras se somete a los siguientes procesos: *i*) Calentamiento a presión constante desde el estado inicial (estado 1) al estado 2, donde  $T = 450$  K. *ii*) Enfriamiento a volumen constante hasta 250 K (estado 3). *iii*) Compresión a temperatura constante hasta un volumen de 4,00 L (estado 4). *iv*) Calentamiento a volumen constante hasta 300 K, regresando el

sistema al estado 1. Determine la eficiencia de este dispositivo como máquina térmica y compárela con la de una máquina de ciclo de Carnot que opera entre las mismas temperaturas mínima y máxima de 250 K y 450 K.

**4.13** Una máquina térmica opera siguiendo aproximadamente el ciclo de la figura 4.4. Dos moles de helio gaseoso, que puede ser considerado como gas ideal, son utilizados como la sustancia de trabajo en esta máquina, que alcanza una temperatura máxima de  $327^\circ\text{C}$  cuando llega al equilibrio con la fuente de temperatura alta. El proceso  $bc$  es isotérmico reversible manteniendo al gas en contacto con la fuente de temperatura, la presión en los estados  $a$  y  $c$  es 100 kPa, y en el estado  $b$  es 300 kPa. La temperatura de la fuente fría es la misma que alcanza el gas cuando llega al estado  $a$ . *a*) ¿Cuánto calor entra en el gas y cuánto sale del gas en cada ciclo? *b*) ¿Cuánto trabajo efectúa la máquina en cada ciclo? *c*) ¿Qué eficiencia tiene esta máquina? *d*) Calcule el porcentaje que representa la eficiencia de esta máquina respecto de la máxima eficiencia posible que puede lograrse con los depósitos caliente y frío que se usan en este ciclo ( $e_{\text{máquina}}/e_{\text{máximo}} \times 100\%$ ). *e*) Si se invierte el sentido del ciclo para transformarla en una máquina refrigeradora, ¿la máquina que se obtiene es posible? (Verificar que se cumplan ambos principios de la termodinámica.)

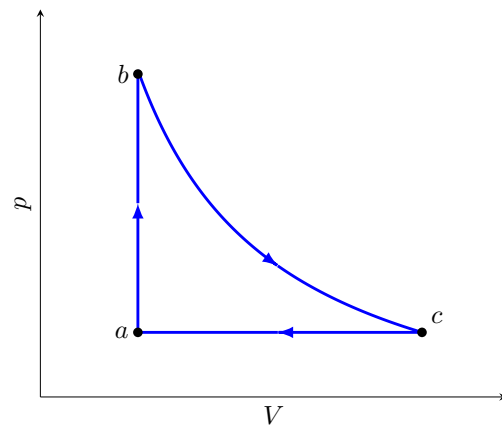


Figura 4.4: Problema 4.13

**4.14** El diagrama  $p$ - $V$  de la figura 4.5 muestra un ciclo de una máquina térmica que usa 0,250 mol de un gas ideal para el cual el coeficiente de dilatación adiabática es  $\gamma = 1,40$ . La parte curva  $ab$  del ciclo corresponde a un proceso adiabático. *a*) ¿Cuánto calor absorbe este

gas por ciclo, y en qué parte del ciclo ocurre? *b)* ¿Cuánto calor cede este gas por ciclo, y en qué parte del ciclo ocurre? *c)* ¿Cuánto trabajo realiza esta máquina en un ciclo? *d)* ¿Cuál es la eficiencia térmica de la máquina?

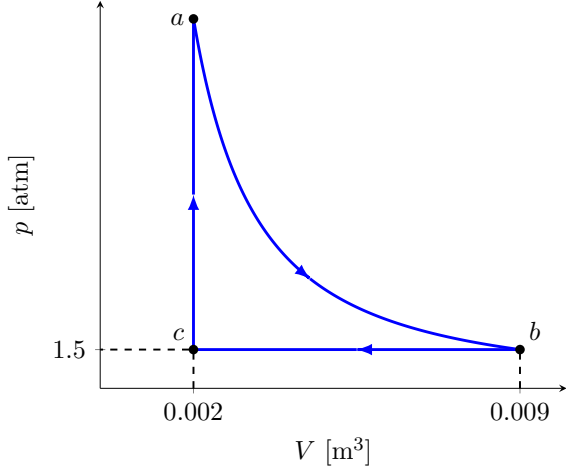


Figura 4.5: Problema 4.14

**4.15** Una planta generadora de energía eléctrica de 1000 MW, alimentada con carbón, tiene una eficiencia térmica del 40 %. *a)* ¿Cuál es la rapidez de suministro de calor a la planta? *b)* La planta quema carbón de piedra (antracita), que tiene un calor de combustión de  $2,65 \times 10^7$  J/kg. ¿Cuánto carbón consume la planta al día, si opera de manera continua? *c)* El depósito frío hacia donde la planta cede calor es un río cercano. La temperatura del río es  $18,0^\circ\text{C}$  antes de llegar a la planta de energía y  $18,5^\circ\text{C}$  después de recibir el calor de desecho de la planta. Calcule el caudal del río en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

**4.16** La figura 4.6 muestra el ciclo de Stirling idealizado, donde el proceso  $1 \rightarrow 2$  es una expansión isotérmica a alta temperatura ( $T_c$ ) y el proceso  $3 \rightarrow 4$  es una compresión isotérmica a baja temperatura ( $T_f$ ). *a)* En un motor Stirling, las transferencias de calor en  $4 \rightarrow 1$  y  $2 \rightarrow 3$  no implican fuentes de calor externas, sino que usan regeneración: la misma sustancia que transfiere calor al gas del interior del cilindro en el proceso  $4 \rightarrow 1$  absorbe calor del gas en el proceso  $2 \rightarrow 3$ . Por lo tanto, los calores transferidos  $Q_{41}$  y  $Q_{23}$  no afectan a la eficiencia del motor. Explique esta afirmación demostrando que se cumple  $Q_{41} = -Q_{23}$ . *b)* Deduzca la eficiencia de este ciclo en términos de las temperaturas  $T_c$  y  $T_f$ , teniendo

en cuenta que representa a un motor Stirling que utiliza regeneración.

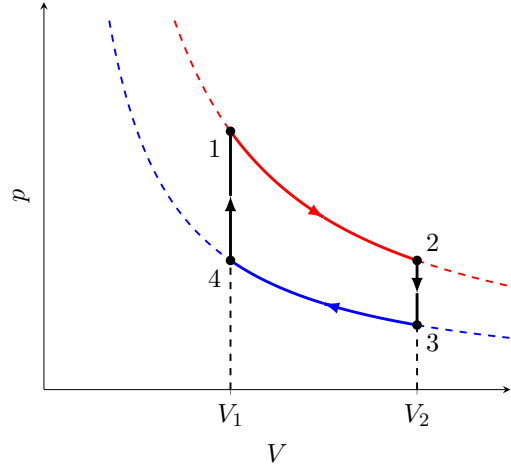


Figura 4.6: Problema 4.16

**4.17** El ciclo de la figura 4.7 aproxima el funcionamiento de una máquina térmica constituida por 0,55 mol de un gas ideal diatómico que intercambia calor con dos depósitos que mantienen sus temperaturas constantes. El gas comienza en el estado *a* con un volumen de 2,3 L y a la temperatura del reservorio caliente, 520 K. Se expande adiabáticamente hasta un volumen de 9,0 L, llegando al estado *b* cuya temperatura es la del reservorio frío, 300 K. Luego se comprime isotérmicamente hasta el estado *c* con un volumen de 1,5 L. Por último evoluciona sobre la trayectoria rectilínea que une los estados *c* y *a* para completar el ciclo. Calcular la eficiencia térmica de esta máquina.

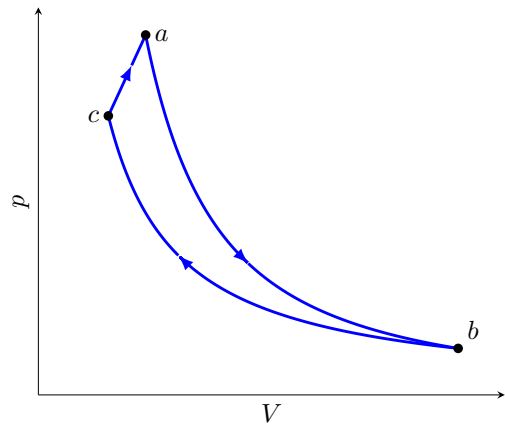


Figura 4.7: Problema 4.17

## 5. Preguntas para el análisis

En esta sección se requiere brindar respuestas argumentadas.

**5.1** Explique por qué no tendría sentido utilizar un termómetro de vidrio de tamaño normal, para medir la temperatura del agua caliente contenida en un dedal.

**5.2** Si usted calienta el aire dentro de un recipiente rígido y sellado hasta que su temperatura en la escala Kelvin se duplique, la presión del aire en el recipiente también se duplica. ¿Esto es cierto si se duplica la temperatura Celsius del aire en el recipiente?

**5.3** a) Suponga que en el problema 1.4 no es posible despreciar la transferencia de calor del líquido al recipiente en ese experimento. ¿El resultado obtenido en dicho experimento, es mayor o menor que el calor específico promedio real del líquido? b) Ahora suponga que se puede despreciar el intercambio de calor con el recipiente, pero no es posible despreciar el intercambio de calor con el entorno. ¿El resultado obtenido en dicho experimento, es mayor o menor que el calor específico promedio real del líquido?

**5.4** Si en el problema 2.3 se tuviera en cuenta la convección del aire a ambos lados de la pared, ¿la corriente de calor sería mayor, menor o la misma que la calculada en dicho problema?

**5.5** Se desea cubrir las paredes metálicas de un horno con un material aislante. ¿Cuáles de los siguientes valores cambian y cuáles se mantienen igual si en lugar de aplicar el revestimiento en el interior del horno se lo aplica sobre el exterior de las paredes?: i) la potencia transmitida a través de las paredes; ii) la temperatura de la superficie interior; iii) la temperatura de la superficie exterior. ¿Sus respuestas son las mismas si se incluye o no convección en los cálculos?

**5.6** En la figura 5.1 se muestra la evolución de la temperatura en función del calor intercambiado con el entorno para una muestra de un líquido desconocido. Si  $C_l$  es el calor específico de este líquido y  $C_s$  es el calor específico de la misma sustancia en estado sólido, ¿cuál de las siguientes

opciones es la única correcta?

- a)  $C_s = C_l$       b)  $C_s = 3C_l$       c)  $C_s = C_l/3$   
d)  $C_s = 9C_l$       e)  $C_s = C_l/9$



Figura 5.1: Pregunta 5.6

**5.7** ¿Es correcto afirmar que si se disminuye el área de un cuerpo, el calor intercambiado disminuye en la misma proporción independientemente del mecanismo considerado?

**5.8** a) Un bloque de metal frío se siente más frío que uno de madera a la misma temperatura. ¿Por qué? b) Un bloque de metal caliente se siente más caliente que uno de madera a la misma temperatura. ¿Por qué? c) ¿Hay alguna temperatura a la que ambos bloques se sientan igualmente calientes o fríos? ¿Cuál es esta?

**5.9** En algunas situaciones suele considerarse que uno de los mecanismos de transmisión del calor es “más importante” que los otros. a) Mencione un caso en que la conducción es el mecanismo primordial y de algunas razones para que esta aproximación pueda considerarse correcta. b) Ídem a) para convección. c) Ídem a) para radiación.

**5.10** El gráfico de la figura 5.2 representa la temperatura en función a la distancia a la fuente caliente dentro de una pared formada por dos materiales, el material  $A$  con un espesor  $l$  y el material  $B$  con espesor  $2l$ . Para el gráfico en cuestión analice las siguientes afirmaciones y diga si son verdaderas o falsas y por qué: a) La conductividad térmica de  $A$  es mayor que la de  $B$ . b)

La temperatura de unión en la superficie de contacto entre  $A$  y  $B$  es menor que el promedio de las temperaturas en los lados de la pared. c) El flujo calórico es mayor en el material de mayor conductividad.

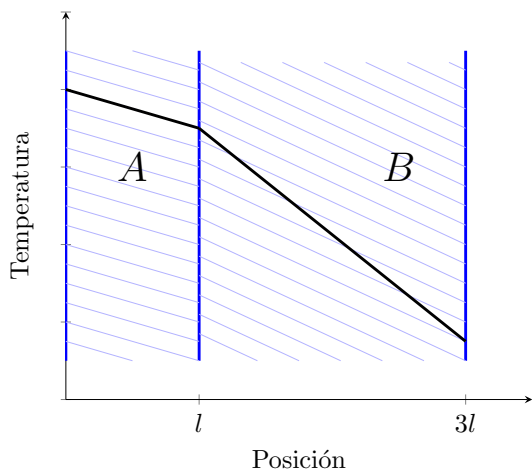


Figura 5.2: Problema 5.10

**5.11** En la figura 5.3 se muestran dos evoluciones de un mismo gas ideal. ¿Cómo se comparan el calor  $Q_{a \rightarrow b \rightarrow c}$  a lo largo de la línea sólida con el calor  $Q_{a \rightarrow c}$  a lo largo de la línea punteada?

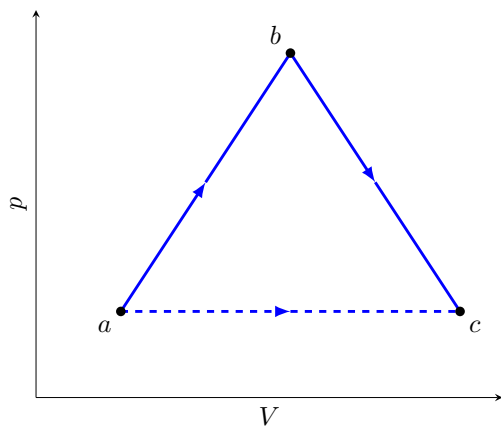


Figura 5.3: Problema 5.11

**5.12** En un calorímetro ideal se mezclan una masa de agua a  $70^\circ\text{C}$  y otra masa de agua a  $20^\circ\text{C}$ , y se espera hasta que el sistema (la mezcla) alcance el equilibrio térmico. Siendo que el sistema está aislado del entorno, ¿varía su entropía?

**5.13** 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 de automóvil; 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.

**5.14** ¿En qué situación 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 Aconcagua?

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

**5.16** Un gas ideal se expande mientras que la presión se mantiene constante. Durante este proceso, ¿hay flujo de calor hacia el gas o hacia afuera de este?

**5.17** 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?

**5.18** Convertir energía mecánica totalmente en calor, ¿viola la segunda ley de la termodinámica? ¿Y convertir calor totalmente en trabajo?

**5.19** Un sistema termodinámico experimenta un proceso cíclico como se muestra en la figura 5.4. El ciclo consiste en dos lazos cerrados: el lazo  $I$  y el  $II$ . a) Durante un ciclo completo, ¿el sistema efectúa trabajo neto positivo o negativo? b) Durante un ciclo completo, ¿entra calor al sistema o sale de él? c) En cada lazo,  $I$  y  $II$ , ¿entra calor en el sistema o sale de él?

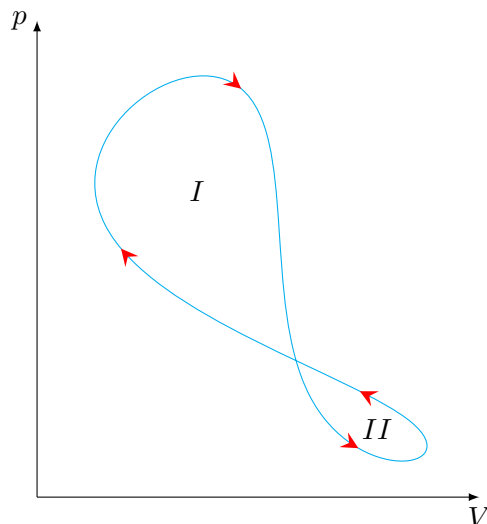


Figura 5.4: Problema 5.19

**5.20** Compare el diagrama  $p$ - $V$  para el ciclo Otto con el diagrama para la máquina térmica de Carnot. Explique algunas diferencias importantes entre los dos ciclos.

**5.21** ¿Puede un sistema experimentar variaciones de entropía negativas?

**5.22** ¿Un refrigerador lleno de alimentos con una temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$  consume más potencia si la temperatura es de  $15^\circ\text{C}$ ? ¿O el consumo es el mismo?

**5.23** Explique si en cada uno de los siguientes procesos hay aumentos de entropía o no: la mezcla de agua caliente y fría; expansión libre de un gas; flujo irreversible de calor; producción de calor por fricción mecánica.

**5.24** La expansión libre de un gas ideal es un proceso adiabático, por lo que no hay transferencia de calor. Tampoco se realiza trabajo, de manera que la energía interna no cambia. Por lo tanto,  $Q/T = 0$ ; sin embargo, la entropía es mayor después de la expansión. ¿Por qué la ecuación  $\Delta S = \int dQ/T$  no se aplica a esta situación?

## Respuestas de la unidad I

- 1.1** a)  $-40^{\circ}\text{C} = -40^{\circ}\text{F}$   
b)  $575^{\circ}\text{F} = 575\text{ K}$
- 1.2** a)  $303^{\circ}\text{C}$   
b)  $444\text{ mmHg}$
- 1.3** a)  $-282,4^{\circ}\text{C}$   
b)  $4,6 \times 10^4\text{ Pa}$
- 1.4**  $2,51 \times 10^3\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
- 1.5** a)  $L_f = 3,00 \times 10^4\text{ J/kg}$   
b)  $c_{\text{sólido}} = 1,33 \times 10^3\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$  y  $c_{\text{líquido}} = 1,00 \times 10^3\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
- 1.6**  $T = 150^{\circ}\text{C}$
- 1.7**  $27,5^{\circ}\text{C}$
- 1.8**  $m = 0,4\text{ kg}$
- 1.9**  $Q = 19\,700\text{ J}$
- 1.10** a)  $86,2^{\circ}\text{C}$   
b) sin hielo, sin vapor,  $0,130\text{ kg}$  de agua en estado líquido.
- 1.11**  $0,145\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- 1.12** a)  $17,7\text{ g}$   
b)  $30,8^{\circ}\text{C}$
- 2.1**  $227\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$
- 2.2**  $0,0495\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$
- 2.3** a)  $9780\text{ W}$   
b)  $92\%$   
c)  $3030\text{ W}$  ( $74,3\%$ )
- 2.4** a)  $53,1^{\circ}\text{C}$ ; b)  $115\text{ g}$
- 2.5**  $0,12\text{ cal}/(\text{cm }^{\circ}\text{C s})$  y  $0,72\text{ cal}/(\text{cm }^{\circ}\text{C s})$
- 2.6** a)  $78,4^{\circ}\text{C}$   
b)  $H_{\text{latón}} = 9,50\text{ W}$ ,  $H_{\text{acero}} = 3,28\text{ W}$  y  $H_{\text{cobre}} = 12,8\text{ W}$
- 2.7** a)  $11,4^{\circ}\text{C}$   
b)  $-3,16^{\circ}\text{C}$
- 2.8** a)  $10,2\text{ W/m}^2$   
b)  $-5,36^{\circ}\text{C}$
- 2.9**  $0,51\text{ cm}$
- 2.10**  $\$ 1650$
- 2.11** a)  $315\text{ W/m}^2$   
b)  $3,15 \times 10^6\text{ W/m}^2$
- 2.12**  $4540\text{ W}$
- 2.13**  $963\text{ kJ}$
- 2.14** a)  $\approx 70\text{ MW/m}^2$   
b)  $\approx 5900\text{ K}$
- 3.1** a)  $0,122\text{ mol}$   
b)  $14\,750\text{ Pa}$  o  $0,146\text{ atm}$
- 3.2**  $0,100\text{ atm}$
- 3.3** a)  $62\text{ kPa}$   
b)  $1,12\text{ g}$
- 3.4**  $1330\text{ J}$
- 3.5**  $75,1^{\circ}\text{C}$
- 3.6** a)  $1\text{ J}$   
b)  $0,06\text{ mol}$
- 3.7** a)  $0,941\text{ atm}$
- 3.8**  $\Delta U = 2,03 \times 10^6\text{ J}$  (es menor al calor recibido)

- 3.9** a)  $W_{abcda} = (p_1 - p_0)(V_1 - V_0)$   
 b)  $W_{adcba} = -W_{abcda}$

- 3.10** a) 278 K en el estado  $a$   
 b) 0 J  
 c) realizó 162 J de trabajo  
 d) 53 J

- 3.11** a)  $Q_{ab} = 60,0 \text{ kJ}$ ,  $Q_{bc} = -36,0 \text{ kJ}$  y  $Q_{ca} = -11,1 \text{ kJ}$   
 b)  $\Delta U_{ab} = 36,0 \text{ kJ}$ ,  $\Delta U_{bc} = -36,0 \text{ kJ}$  y  $\Delta U_{ca} = 0 \text{ kJ}$

- 3.12** a) 3200 J  
 b) 2000 J

- 3.13** b)  $W = 327 \text{ J}$   
 c) 0,16

- 3.14** a)  $Q = -600 \text{ J}$ , el gas cede calor  
 b)  $\Delta U = -1500 \text{ J}$ , disminuye

- 3.15**  $W = -74,4 \text{ J}$

- 4.1** a) 0,016 cal/K  
 b) 0,016 cal/K

- 4.2**  $\Delta S = 71,3 \text{ J/K}$

- 4.3** a) 6500 J  
 b) 34 %

- 4.4** a)  $W = 155 \text{ J}$   
 b)  $e = 0,282$   
 c) la máquina es real

- 4.5** Máquinas  $c$  y  $d$

- 4.6** a)  $1,62 \times 10^4 \text{ J}$   
 b)  $5,02 \times 10^4 \text{ J}$

- 4.7** a) 148 kJ  
 b) 199 kJ

- 4.8** a) 121 J  
 b)  $3,79 \times 10^3$  ciclos

- 4.9** a) 42,37 kJ; b) 442 °C

- 4.10**  $e = 2/19$

- 4.11**  $e = \ln(3)/(2 \ln(3) + 7/2)$

- 4.12** 7,5 % (el máximo posible es 44,4 %)

- 4.13** a) Entran 20,9 kJ y salen 16,6 kJ  
 b) 4,3 kJ  
 c) 21 %  
 d) La eficiencia de esta máquina es 31 % del máximo posible.

- 4.14** a) 5480 J  
 b) 3720 J  
 c) 1760 J  
 d) 32 %

- 4.15** a) 2500 MW  
 b) 8150 ton  
 c)  $720 \text{ m}^3/\text{s}$

- 4.16** b)  $e = 1 - T_f/T_c$

- 4.17** 0,254