

## UNIDAD 3

### La termodinámica de los seres vivos

#### Ejercitación

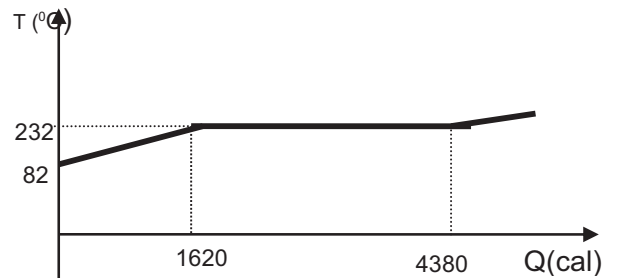
*Esta actividad le permitirá resolver ejercicios en orden creciente de dificultad. Revise sus resultados con los ofrecidos en la guía. Resuelva los ejercicios sin omitir pasos y trate de justificar los razonamientos que utiliza.*

- 1)
  - a) Si dos cuerpos de igual masa, uno de cobre y otro de hierro, ambos a la misma temperatura inicial, reciben la misma cantidad de calor, ¿cuál de los dos alcanzará una temperatura mayor?, ¿por qué?
  - b) Dos cuerpos de igual material y distinta masa se introducen, con temperaturas iniciales diferentes, en un recipiente adiabático de capacidad calorífica despreciable hasta que alcanzan el equilibrio térmico, ¿cuál de los dos experimenta mayor variación en su temperatura? ¿Qué suposición hay que hacer para responder esta pregunta?
- 2) El volumen de agua en un tanque abierto es de  $2 \times 10^6$  litros ¿Qué cantidad de calor cede el agua durante una tarde en que su temperatura desciende  $20^\circ\text{C}$  a  $18^\circ\text{C}$ ?
- 3) ¿Cuál es la variación de temperatura que sufre un trozo de latón de 450 g al perder 1800 cal? ( $c_{\text{latón}} = 0,094 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ )
- 4) El té de una taza está muy caliente y se decide agregarle un poco de agua fría para poder tomarlo ¿Cuánta agua de la canilla habrá que agregarle? (Estime Ud. los datos que necesite)
- 5) ¿Cuántas calorías requiere un bloque de hielo de 40 kg a  $-20^\circ\text{C}$  para pasar, a presión atmosférica normal, al estado:
  - a) líquido a  $40^\circ\text{C}$ .
  - b) vapor a  $100^\circ\text{C}$ .
  - c) 20 Kg. de líquido a  $100^\circ\text{C}$  en equilibrio con su vapor  
(Considere  $L_f = 80 \text{ cal/g}$ ;  $L_v = 540 \text{ cal/g}$  y  $c_{p, \text{hielo}} = 0,5 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ )
- 6) Un trozo de platino de 200 g a  $150^\circ\text{C}$  se introduce en un recipiente adiabático que tiene 200 g de agua a  $50^\circ\text{C}$ . ( $c_{p, \text{platino}} = 0,032 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ). Desprecie la capacidad calorífica del recipiente.
  - a) Responda sin hacer cuentas: ¿espera que la temperatura de equilibrio sea mayor, igual o menor que la media entre 150 y  $50^\circ\text{C}$ ? Explique.
  - b) Calcule la temperatura de equilibrio que alcanza la mezcla.
  - c) Repita el cálculo, suponiendo que la capacidad calorífica del recipiente no es despreciable, sino que vale  $20 \text{ cal}^\circ\text{C}$ .
- 7) Se vierten 250 g de esquirlas de plomo (Pb) a  $150^\circ\text{C}$  sobre un bloque de hielo de 50 g en un recipiente adiabático. Desprecie la capacidad calorífica del recipiente. La temperatura inicial del hielo es de  $-30^\circ\text{C}$ . ¿Cuál es la temperatura final del sistema? ( $c_{p, \text{hielo}} = 0,5 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ,  $c_{p, \text{Pb}} = 0,03 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ). Resuelva analítica y gráficamente.
- 8)

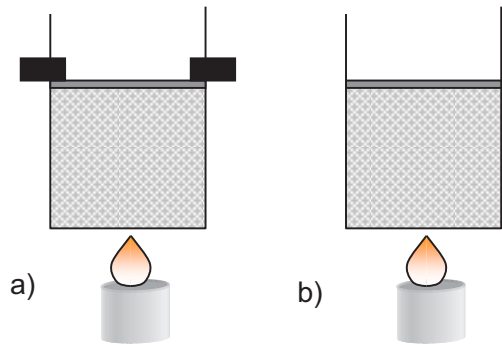
- a) Los recipientes usados para transportar agua durante salidas de campamento están cubiertos exteriormente por una tela que, en el verano, es mojada antes de salir de excursión. ¿Cuál es el propósito de esa operación?
- b) ¿Cuál es la función del desempañador de los vidrios de los autos?
- 9) En un recipiente adiabático que contiene 550 g de agua a 22°C, se echan 300 g de plomo fundido (líquido) a 327°C. Puede despreciarse la capacidad calorífica del recipiente. Consulte los datos que necesite en la tabla adjunta y determine:

Propiedad \ Sustancia	Calor esp. del sólido (cal/g °C)	Calor latente de fusión (cal/g)	Calor esp. del líquido (cal/g °C)	Temp. de fusión/solid. (°C)
Plomo	0,031	5,5	Sin dato	327
Agua	0,5	80	1	0

- a) La temperatura del agua cuando finaliza la solidificación del plomo.
- b) La temperatura de equilibrio del sistema agua-plomo.
- c)
- 10) Si se calientan 200 g de estaño sólido, inicialmente a 82°C, su temperatura varía con el calor entregado como se indica en el gráfico adjunto. Calcule:
- a) El calor específico del estaño sólido y su calor latente de fusión.
- b) ¿Cuál es el estado del estaño cuando se le han entregado 3000 cal?



- 11) Un cilindro como el indicado en la figura, contiene 3 moles de O<sub>2</sub>, a presión 1 atmósfera y temperatura 20 °C. La presión exterior es la atmosférica. Calcular el calor requerido<sup>1</sup> para elevar la temperatura del O<sub>2</sub> hasta 26 °C:
- a) si la tapa está trabada,
- b) si la tapa puede desplazarse sin rozamiento y la expansión es suficientemente lenta como para que el gas se mantenga a presión constante.

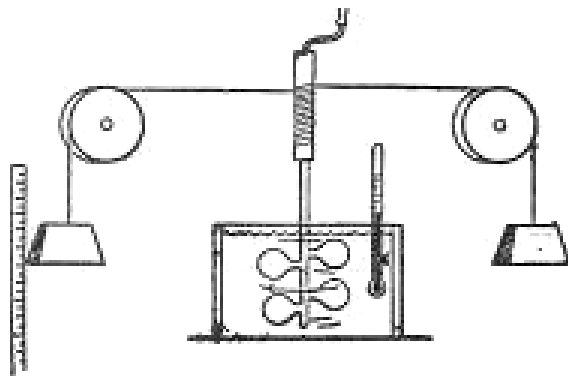


<sup>1</sup> La mayor parte de los intercambios de calor que efectúan los sólidos y los líquidos son a presión constante. En esas condiciones el calor específico es aproximadamente constante dentro de un rango amplio de temperaturas. Para presión atmosférica normal este es el valor que figura en tablas. En el caso de los gases, el calor intercambiado depende de la evolución. Esto significa que el calor específico es distinto para cada evolución. En general, para gases ideales, suelen darse dos valores característicos que son el calor específico a volumen constante ( $c_v$ ) y el calor específico a presión constante ( $c_p$ ). Para gases ideales monoatómicos  $c_v = 3/2 R$  y  $c_p = 5/2 R$  y para diatómicos  $c_v = 5/2 R$  y  $c_p = 7/2 R$ , siendo  $R$  la constante universal de los gases

- 12) Entre las propiedades térmicas del cobre sólido figuran su calor específico sensible y su conductividad térmica. Explique qué significa que el calor específico sensible del cobre sea  $c_{Cu} = 0,091 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$  y que su conductividad térmica sea  $k_{Cu} = 0,9 \text{ cal/ } ^\circ\text{C cm seg}$ .
- 13) ¿Qué longitud debe tener una barra cilíndrica de cobre, de sección  $15 \text{ cm}^2$ , que se encuentra en contacto, por un extremo con una fuente a  $100^\circ\text{C}$  y por el otro con una fuente a  $20^\circ\text{C}$ , para que el flujo de calor en ella en estado estacionario sea  $300 \text{ W}$ ? (Suponga que la barra sólo intercambia calor por los extremos). Dato:  $k_{Cu} = 0,92 \text{ cal/cm.}^\circ\text{C. seg}$
- 14)
- En invierno, algunas personas acostumbran dormir acurrucados y no con el cuerpo totalmente extendido sobre la cama. Explique cómo influye la posición del cuerpo en la transmisión de calor al medio ambiente.
  - Las estufas se colocan en la parte inferior de las habitaciones. ¿Por qué? Realice un esquema gráfico que justifique su respuesta.
  - En las zonas muy frías, en las ventanas se utilizan dos vidrios separados algunos centímetros entre sí donde se confina una capa de aire estanco. ¿Cómo influye esta estructura en la transmisión del calor? Si la separación entre ambos vidrios se incrementa y se permite el movimiento del aire, ¿qué sucede con el aislamiento?
  - En los calefones el agua se calienta al pasar por una serpentina en contacto con los quemadores. ¿Por qué se utiliza para transportar el mismo caudal, una serpentina larga y angosta y no, un conducto más ancho y corto?
  - Dos vasos con agua, iguales, uno de plástico y uno de aluminio quedan toda la noche en una heladera, por lo que tienen igual temperatura. ¿Por qué razón, al tomarlos entre las manos, el de aluminio se siente más frío que el de plástico?
  - Una nave espacial en órbita, ¿intercambia calor por conducción, por convección o por radiación?
  - Un cuerpo absorbe el 90 % de la radiación que incide sobre él ¿Es razonable decir que se trata de un buen emisor?
  - ¿Por qué la sensación térmica puede ser de  $2^\circ\text{C}$  un día que el termómetro indica que la temperatura ambiente es  $7^\circ\text{C}$ ?
  - Al final del día, las superficies del suelo y del lago cercano están a la misma temperatura ¿Cuál se enfría más rápidamente durante la noche?
- 15) Estime la cantidad de calor por hora que trasmite por conducción una frazada que cubre a una persona que se halla en una habitación a  $0^\circ\text{C}$ . Considere que la superficie de la frazada en contacto con el cuerpo es  $1 \text{ m}^2$ , el espesor de la frazada,  $1 \text{ cm}$  y su coeficiente de conductividad térmica,  $8 \times 10^{-5} \text{ cal / cm.}^\circ\text{C. seg}$ .  
(Nota: Suponga que las temperaturas de la cara interior y de la cara exterior de la frazada son  $33^\circ\text{C}$  (temperatura de la piel) y  $0^\circ\text{C}$ . ¿Es correcta esta aproximación?)
- 16) a) Calcule la cantidad neta de calor por hora que transfiere el cuerpo humano al medio ambiente por radiación un día que la temperatura exterior es  $25^\circ\text{C}$ . Suponga que la superficie corporal es del orden de  $1,8 \text{ m}^2$  y se comporta aproximadamente como un cuerpo negro a temperatura de  $33^\circ\text{C}$ .  
b) ¿Mediante qué otros mecanismos el cuerpo humano transfiere calor al ambiente? Explique.
- 17) Calcule la energía emitida por segundo en forma de radiación térmica por un cuerpo negro de  $1 \text{ m}^2$  a  $300 \text{ K}$ . Repita el cálculo si la temperatura es  $3000 \text{ K}$  y compare ambos valores.

- 18) La potencia radiante emitida por cada  $\text{m}^2$  de la superficie de un cuerpo que está a una temperatura de  $1000\text{ K}$  es  $34\text{ kW/m}^2$ . ¿Cuál es su coeficiente de emisión o emisividad?, ¿Y su coeficiente de absorción?
- 19) Se quiere utilizar energía solar para calentar un tanque con  $1000$  litros de agua desde  $20^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ . Para ello se utilizan  $9\text{ m}^2$  de paneles que absorben la radiación solar incidente y la transmiten al tanque por conducción, prácticamente sin pérdidas. ¿ Cuántas horas de sol se requieren, si la irradiación es en promedio de  $400\text{ W/m}^2$  y los paneles solares tienen un coeficiente de absorción  $0,75$ ?
- 20) Indique si los siguientes sistemas termodinámicos son cerrados, abiertos o aislados: una nube, un ratón vivo, un fragmento de roca en el espacio exterior, el refrigerador de la heladera, café en un termo.
- 21) Explique, aplicando el primer principio de la termodinámica, los siguientes fenómenos:
- Un fósforo puede encenderse tanto raspándolo contra la caja como al ponerlo en contacto con la llama.
  - Una expansión rápida del gas contenido en una garrafa produce una disminución de su temperatura.
  - Al frotar rápidamente dos ramas secas se produce una llama. ¿Por qué este procedimiento debe hacerse rápidamente?
  - Si se agita un recipiente de telgopor lleno de hielo picado, el hielo se derrite
- 22) Determine si los siguientes procesos se pueden efectuar tanto en forma reversible como irreversible. En caso afirmativo explique cómo sería el proceso ideal reversible.
- Una expansión adiabática de un gas.
  - Una compresión isobárica de un gas.
  - Un globo que se desinfla en contacto con el aire atmosférico.
  - La mezcla, en un recipiente adiabático, de dos masas de agua a distinta temperatura.
  - La condensación del vapor de agua que sale del pico de una pava con agua hirviendo, al entrar en contacto con el aire ambiente

- 23)
- ¿ Qué cantidad de calor debe entregar un mechero para calentar  $2$  litros de agua de  $20^\circ\text{C}$  a  $21^\circ\text{C}$ ?
  - Si la misma variación de temperatura se quiere lograr con un dispositivo similar al utilizado por Joule en su famosa experiencia ¿Desde qué altura hay que dejar caer dos pesas, de  $10\text{ kg}$  cada una? Desprecie la capacidad calorífica del sistema de paletas.



- 24) Un bloque de plomo de masa 1 kg desliza sobre una superficie horizontal sin rozamiento con una rapidez de 20 m/s, choca contra una pared vertical, rebota, y se verifica que inmediatamente después del choque su rapidez disminuyó a 2 m/s y su temperatura aumentó en 1 °C. ( $c_{Pb} = 0,031 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ )
- ¿Cuánta energía mecánica se transforma en energía interna térmica (desordenada) del bloque?
  - ¿Cuánta energía se transfiere del bloque al medio exterior?
  - Si define el universo de este problema, como el sistema constituido por el cuerpo, la superficie horizontal, la pared y el aire, ¿cambia la energía del universo? Explique
- 25) El ventilador eléctrico de una habitación que tiene paredes adiabáticas se conecta a una batería de larga duración que descansa en el piso del cuarto. El ventilador se enciende y funciona hasta que la batería se agota. ¿Qué sucede, durante este proceso, con la energía del cuarto y con su temperatura?
- 26)
- ¿Cuánto varía la energía interna de un sistema cerrado que absorbe la misma cantidad de calor que el trabajo que realiza?
  - Un sistema cerrado recibe 100 J de calor y realiza 125 J de trabajo sobre el medio exterior, ¿es esto posible?
  - ¿Cuánto varía la energía interna de un sistema cerrado que no realiza trabajo y que cede en forma de calor 1000 calorías al medio exterior?
  - Si ahora el sistema del ítem c) evoluciona entre los mismos estados que antes, pero cediendo al medio exterior en forma de calor 1500 calorías ¿cuánto varía su energía interna? ¿Cuánto trabajo realiza?
- 27)
- El consumo de energía por unidad de tiempo de los animales, incluidos los seres humanos, en reposo pero despiertos, se denomina tasa metabólica basal. Suele expresarse por unidad de peso corporal y es aproximadamente 1,2 W/kg para un hombre de 20 años y 1,1 W/kg para una mujer de la misma edad. ¿Cuál es la tasa metabólica basal, expresada en kcal/día para un hombre de 70 kg. de peso y para una mujer de 60 kg, ambos de 20 años?
  - Cuando una persona desarrolla una actividad, la tasa metabólica aumenta. Parte de ese aumento se necesita para proporcionar el trabajo realizado por la persona. El resto se debe a las demandas internas del cuerpo para desarrollar esta actividad. La mujer del ítem a), haciendo gimnasia durante 2 horas entrega un trabajo mecánico de 200 kJ y transfiere al medio exterior 700 kcal. en forma de calor ¿A qué velocidad perdió energía interna ( tasa metabólica para la actividad desarrollada)?
  - El rendimiento del hombre en la realización de trabajo suele expresarse como el porcentaje de trabajo entregado con respecto a la diferencia entre la energía interna total consumida en la realización de ese trabajo y la energía interna basal ¿Cuál es el rendimiento para la actividad "hacer gimnasia" para la joven mencionada anteriormente?
  - ¿Qué cantidad de calorías debe reponer la joven en su alimentación para compensar las pérdidas generadas por la actividad desarrollada? ¿Qué cantidad de calorías debería reponer para compensar las pérdidas si hubiera permanecido en reposo en lugar de hacer gimnasia?

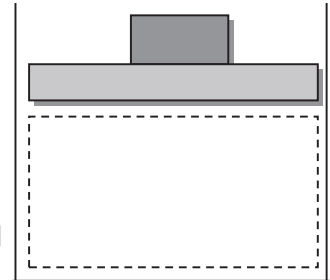
28) La tasa metabólica y el intercambio de calor:

- Un cuerpo en contacto con un ambiente a distinta temperatura intercambia calor fundamentalmente por convección y radiación. Para ambos mecanismos, el calor intercambiado por unidad de tiempo es directamente proporcional a la superficie del cuerpo. Considere dos cubos de aristas 1 cm y 10 cm, del mismo material, a la misma temperatura inicial, e inmersos en un ambiente de menor temperatura. Demuestre que la velocidad de enfriamiento ( $v_{\text{enfr}} = \Delta T / \Delta \tau$ ) del cubo grande es la décima parte de la del cubo chico.
- Con el resultado obtenido en a), a igualdad de restantes condiciones, ¿quién disipa más rápidamente calor por unidad de masa un adulto o un niño?
- ¿Cómo asociaría sus conclusiones de b) con los valores de la tasa metabólica por unidad de peso de un niño y de un adulto?
- Respecto a la alimentación, el niño debe alimentarse más, ¿sólo debido a que está creciendo?

29) Un gas en equilibrio se encuentra en un recipiente cilíndrico tapado y a una presión de 150 kPa como se muestra en la figura. La presión del aire exterior es de 100 kPa. El área transversal del cilindro es de  $0,03 \text{ m}^2$ .

Se transfiere calor al gas manteniendo constantes las restantes condiciones exteriores. Como resultado de ello el pistón se eleva una distancia de 0,3 m.

- ¿Cuál es el trabajo realizado por el gas?
- ¿Cuál es el trabajo realizado por el sistema constituido por el pistón y el gas?
- Si ahora el gas se enfría y el pistón desciende 0,3 m, ¿cuál es el trabajo realizado por el gas?
- ¿Bajo qué condiciones la expansión y la compresión descriptas, serían reversibles?



30) Un gas absorbe 20 kcal y se expande contra una presión exterior de 1,2 atm. desde un volumen de 5 litros hasta triplicar su volumen ¿cuál es la variación de su energía interna?

31) Un volumen de 200 litros de agua a  $15^\circ\text{C}$ , contenido en un recipiente adiabático rígido se calienta por medio de una resistencia eléctrica, conectada a una batería, que entrega 2500 calorías al agua. Calcule el calor intercambiado, el trabajo y la variación de la energía interna, considerando como sistema:

- el agua
- el agua y la resistencia
- el agua, la resistencia y la fuente.

Nota: suponga que en la batería no se producen pérdidas de energía, que las capacidades caloríficas del recipiente y de la resistencia son despreciables y que el trabajo de volumen debido a la dilatación del agua es insignificante. Explique en qué pasos de su desarrollo necesita hacer estas suposiciones para poder dar, con los datos dados, una respuesta numérica.

32) Calcule el cambio en la energía interna de un gramo de agua líquida a  $100^\circ\text{C}$  cuando se convierte, a presión atmosférica normal (1 atm) en:

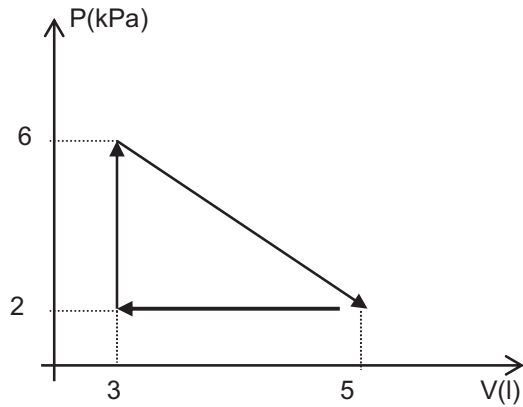
- vapor a  $100^\circ\text{C}$
- líquido a  $25^\circ\text{C}$
- sólido a  $-10^\circ\text{C}$

En las condiciones del problema, el volumen específico del vapor es  $1.7 \text{ m}^3/\text{kg}$ . mientras que los del agua líquida y del hielo son aproximadamente iguales y valen  $10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ .

$c_{p, \text{agua líquida}} = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ;  $L_v = 540 \text{ cal/g}$ ;  $c_{p, \text{hielo}} = 0,5 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ ;  $L_f = 80 \text{ cal/g}$

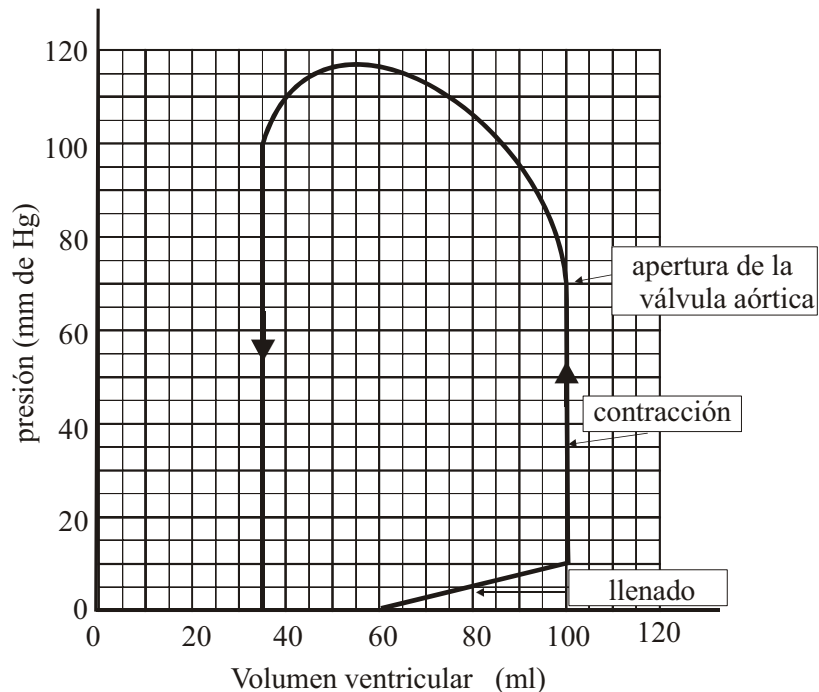
33) En la figura se muestra el gráfico  $p = p(V)$  para un gas que evoluciona reversiblemente. Calcule para el ciclo completo:

- el trabajo realizado por el gas
- el calor intercambiado
- la variación de energía interna.
- Para cada una de las evoluciones del ciclo, indique cuáles de las magnitudes: calor, trabajo y variación de energía interna, pueden calcularse sin ninguna suposición adicional y cuáles requerirían suposiciones adicionales respecto a las características del gas que evoluciona.



34)

- Estimar el trabajo que realiza el músculo cardíaco durante un ciclo a partir del siguiente gráfico que representa la presión sanguínea en el ventrículo izquierdo en función de su volumen.
- Calcular a partir del resultado anterior la potencia desarrollada por el corazón al bombear sangre al circuito sistémico, teniendo en cuenta el número de pulsaciones por minuto de una persona. Comparar el resultado con la respuesta del problema de la unidad de fluidos referido a la potencia media del corazón humano.



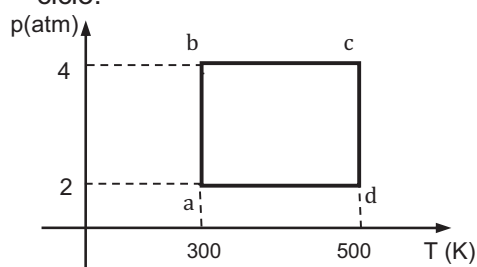
Presión en función del volumen ventricular izquierdo durante un ciclo  
 Ref.: Hobbie, R. "Intermediate Physics for Medicine and Biology"  
 3rd edition AIP Press

- 35) Un mol de un gas ideal monoatómico ( $c_p = 5R/2$ ) ocupa un volumen de  $120 \text{ dm}^3$  a una presión de  $12,8 \text{ kPa}$ . Se le entrega calor de manera que el gas se expande isobárica y reversiblemente hasta ocupar un volumen de  $300 \text{ dm}^3$ . Calcule:
- el trabajo realizado por el gas,
  - la variación de energía interna del gas.

- 36) ¿Cuánto calor intercambia un gas ideal que se expande isotérmicamente realizando un trabajo de  $3500 \text{ J}$ ?

- 37) Un recipiente rígido y adiabático de volumen  $2 \text{ m}^3$  está dividido por una pared interna en dos partes iguales. Un gas ideal monoatómico ocupa la mitad del mismo. La presión del gas es  $100 \text{ kPa}$  y su temperatura,  $300 \text{ K}$ . La otra mitad del recipiente se encuentra evacuada. Se quita la pared que separa ambas mitades dejando que el gas se expanda libremente,
- calcule el trabajo realizado por el gas y la variación de su energía interna.
  - ¿cuál es la temperatura final del gas?
  - ¿cuáles de las respuestas anteriores no cambian si el gas no es ideal?

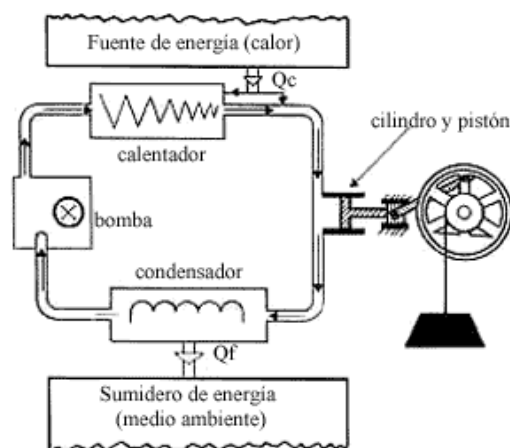
- 38) Un mol de gas ideal evoluciona cumpliendo el ciclo de la figura, en sentido abcda.
- Efectúe el gráfico de presión en función de volumen.
  - En el cuadro adjunto indique, sin efectuar cálculos, los signos del trabajo y del calor intercambiados y de la variación de energía interna del gas, en cada evolución y en el ciclo.



	ab	bc	cd	da	ciclo
Q					
L					
$\Delta U_{\text{gas}}$					

- 39) La figura adjunta representa en forma esquemática una máquina de vapor

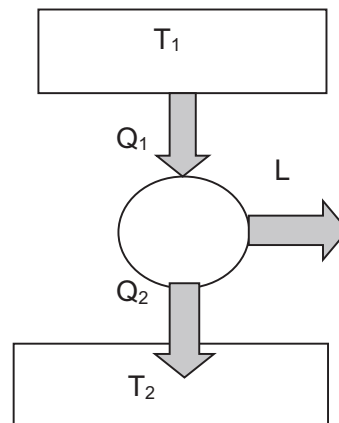
- ¿Qué partes del esquema constituyen la máquina térmica?, ¿cuál es el sistema que evoluciona según ciclos? Identifique la fuente caliente y la fría.
- Utilizando los símbolos aceptados convencionalmente para máquina térmica e intercambiador de calor (fuente), efectúe el diagrama correspondiente para la máquina de vapor.



- 40) Un inventor afirma haber desarrollado una máquina que extrae  $25200 \text{ kcal}$  de una fuente térmica, entrega  $6500 \text{ kcal}$  a otra fuente térmica y realiza un trabajo de  $25 \text{ kWh}$ . ¿Es posible este invento? Justifique su respuesta.

- 41) Una máquina térmica con un rendimiento del 20% realiza un trabajo de 100 J en cada ciclo. ¿Cuánto calor absorbe en cada ciclo?, ¿cuánto calor cede?
- 42) Un refrigerador recibe trabajo a razón de 370 W de potencia y extrae del congelador 21,2 kcal/min.
- Calcular cuánto calor cede al ambiente en una hora, suponiendo que la máquina realiza un número entero de ciclos en ese lapso.
  - Calcular la eficiencia del refrigerador, definida como el cociente entre la cantidad de calor extraída de la fuente fría y el trabajo recibido por el refrigerador en el mismo tiempo (en valor absoluto).

- 43) El esquema de la figura representa una máquina que intercambia calor con las fuentes  $T_1$  y  $T_2$ . La máquina entrega 200 cal de trabajo al exterior absorbiendo 1000 cal de la fuente  $T_1$  (500K) y entregando 800 cal a la fuente  $T_2$  que se halla a 300K.
- Muestre que la máquina descrita es termodinámicamente factible porque no contradice ninguno de los principios termodinámicos.
  - Calcule el rendimiento de esta máquina (definido como el cociente entre el trabajo realizado y el calor absorbido de la fuente a mayor temperatura)



- 44) Un kilogramo de hielo a  $0^\circ\text{C}$  se funde hasta transformarse totalmente en agua líquida a  $0^\circ\text{C}$  en un ambiente a  $20^\circ\text{C}$ .
- ¿Cuánto ha variado la entropía del hielo?
  - ¿Cuánto ha variado la entropía del Universo?
  - ¿Cómo debería procederse para realizar el mismo proceso en forma reversible?
- 45) Se comprime un mol de un gas ideal en forma reversible e isotérmica a  $20^\circ\text{C}$  de temperatura efectuando para ello un trabajo de 5000 J.
- ¿Cuál es el cambio en la entropía del sistema?
  - ¿Cuál es el cambio en la entropía del universo?

- 46) Para el ciclo descrito en el ejercicio 38 indique, en el cuadro adjunto, sin efectuar cálculos, el signo de la variación de entropía del gas, del medio exterior y del universo para cada evolución y para el ciclo completo.

	ab	bc	cd	da	ciclo
$\Delta S_{\text{gas}}$					
$\Delta S_{\text{ambiente}}$					
$\Delta S_{\text{Universo}}$					

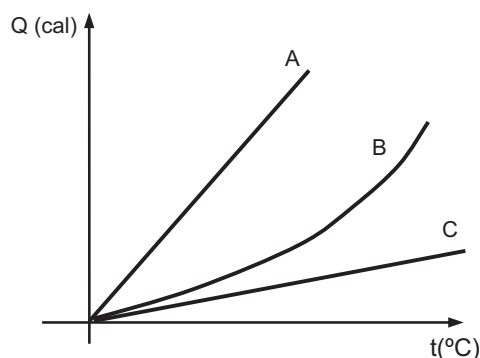
- 47) Una bolsa de arena de 5 kg, originalmente en reposo, se deja caer desde una altura de 6 m hasta el piso, choca contra él y se detiene. La bolsa, el piso y la atmósfera están inicialmente a  $27^\circ\text{C}$ . En este proceso:
- ¿Se conserva la energía del universo? Explique
  - ¿Se mantiene constante la entropía del universo? Explique.
  - ¿Se podría hacer descender la bolsa de arena en forma reversible?, ¿cómo?
  - Suponiendo despreciable la deformación de la bolsa y tratando al piso y a la bolsa como fuente térmica infinita, estime la variación de entropía del universo.

## 4. Elección múltiple

Mediante estos ejercicios podrá practicar otra forma de responder preguntas de Física. Le recomendamos que lea atentamente el enunciado y recién después pase a buscar la solución. En algunas situaciones la solución puede obtenerse descartando las opciones que conceptualmente son imposibles. En otros casos será necesario hacer cálculos del mismo modo que en un problema de desarrollo.

### Problema 1

Se colocan en termos iguales la misma masa de tres líquidos A, B y C, a la misma temperatura inicial. Se los calienta mediante calentadores de inmersión. Se registra la cantidad de calor entregada y la temperatura que adquieren y con estos valores se confecciona un gráfico como el indicado. Para el rango de temperaturas de la experiencia, indique cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera:



- El líquido A es el de mayor calor específico.
- Los tres líquidos mantienen constante su calor específico.
- Para producir la misma variación de temperatura, las tres masas requieren intercambiar la misma cantidad de calor.
- Si los tres sistemas intercambian la misma cantidad de calor, el líquido A aumenta más su temperatura que los otros dos.
- El líquido B cambia de fase durante el proceso.
- El calor específico del líquido B disminuye con la temperatura.

### Problema 2

Un pedazo de cobre de 150 g que está a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  se coloca dentro del vaso de un calorímetro que contiene 200 g de agua a  $20^{\circ}$ . El vaso es de aluminio y tiene una masa de 37 g. Si la temperatura final de la mezcla es de  $25^{\circ}\text{C}$ . ¿Cuál es el calor específico del cobre ( $c_{\text{Cu}}$ )?

Datos:  $c_{\text{agua}} = 1 \text{ kcal/kg.}^{\circ}\text{C}$      $c_{\text{Al}} = 0,22 \text{ kcal /kg }^{\circ}\text{C}$

- |                                      |                                      |                                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| a) 0,093 kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$ | b) 0,93 kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$  | c) 0,052 kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$ |
| d) 0,52 kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$  | e) 0,064 kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$ | f) 0,64 kcal/kg. $^{\circ}\text{C}$  |

### Problema 3:

En climas de fuertes heladas, es habitual que los agricultores coloquen dentro de los invernaderos grandes tachos con agua. Un agricultor coloca un barril con 100 kg de agua a  $20^{\circ}\text{C}$  en el invernadero donde cultiva verduras. Si la temperatura del agua desciende a  $0^{\circ}\text{C}$  y luego se congela totalmente, calcule el calor entregado por el agua al interior del invernadero, y cuánto tiempo tendría que haber funcionado un calefactor eléctrico de 1 kW para entregar la misma cantidad de calor que el agua.

- 2000 kcal; 2,3 horas
- 10000 kcal; 11,6 horas
- 8000 kcal; 9,3 horas
- 10000 kcal; 9,3 horas
- 100 kcal; 1,16 horas
- 10000 kcal; 2,8 horas

#### Problema 4

Una varilla metálica cuyos extremos están, uno a  $250^{\circ}\text{C}$  y el otro a  $40^{\circ}\text{C}$  conduce  $75,4 \text{ cal/s}$ . Si su longitud y su diámetro se reducen a la mitad, y se colocan sus extremos a las mismas temperaturas que antes, la varilla conducirá (en  $\text{cal/s}$ ):

- a) 75,4      b) 7,5      c) 18,9      d) 754      e) 150,8      f) 37,7

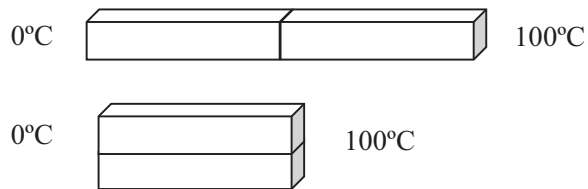
#### Problema 5

Un iglú tiene forma semiesférica, 2 metros de radio interno, y está construido con bloques de hielo de 40 cm de espesor. Si la temperatura de la cara interior de la pared de la vivienda es de  $0^{\circ}\text{C}$  y la de la cara exterior,  $-40^{\circ}\text{C}$ , calcule cuánto calor se transmite por conducción a través de las paredes en una hora. ( $k_{\text{hielo}} = 0,0004 \text{ kcal/}^{\circ}\text{C m s}$ ). Observe que la superficie a través de la cual fluye del calor no es constante, como lo es en el caso de una varilla o una pared plana. No obstante, para las condiciones del problema, es una buena aproximación considerarla constante y tomar como radio de la misma el promedio de los radios de las caras interna y externa.

- a) 4380 kcal    b) 8734 kcal    c) 2189 kcal    d) 1,2 kcal    e) 43,8 kcal    f) 4,18 kcal

#### Problema 6

Dos barras rectangulares idénticas están unidas como se muestra en la figura superior, de modo que cuando las temperaturas son las indicadas, en régimen estacionario, se transmiten a través de ellas 10 calorías por minuto.



¿Cuál sería la potencia transmitida si estuvieran unidas como se muestra en la figura inferior? En ambas situaciones el sistema está aislado lateralmente.

- a) 20 calorías por minuto      b) 10 calorías por minuto  
c) 40 calorías por minuto      d) cero  
e) 2,5 calorías por minuto      f) calorías por minuto

#### Problema 7

Una varilla de cobre y otra de acero de igual longitud y sección transversal están soldadas con un extremo en común. El extremo libre de la varilla de cobre se mantiene a  $100^{\circ}\text{C}$  y el extremo libre de la de acero, a  $0^{\circ}\text{C}$ . Las varillas están aisladas lateralmente. El coeficiente de conductividad térmica del cobre es 8 veces el del acero. Una vez que alcanza el régimen estacionario, podemos afirmar que:

- a) la temperatura de la unión de ambas varillas es menor que  $50^{\circ}\text{C}$ .  
b) la temperatura de la unión de ambas varillas es mayor que  $50^{\circ}\text{C}$ .  
c) las diferencias de temperatura entre los extremos de ambas varillas son iguales.  
d) la cantidad de calor que, por unidad de tiempo, atraviesa cualquier sección transversal de la varilla de cobre es mayor que la que atraviesa cualquier sección transversal de la varilla de acero.  
e) la cantidad de calor que, por unidad de tiempo, atraviesa cualquier sección transversal de la varilla de cobre es menor que la que atraviesa cualquier sección transversal de la varilla de acero.  
f) no fluye calor a través de las varillas.

### Problema 8

Sean dos recipientes cúbicos A y B conteniendo hielo. Las paredes son adiabáticas, salvo la superior que está expuesta al aire. Los cubos de hielo están a una temperatura inicial de  $0^{\circ}\text{C}$  y la arista del cubo A es la mitad de la del cubo B. En el mismo lapso en que el cubo A se funde totalmente, la masa de B que se funde es:

- a) toda.
- b) la cuarta parte de su masa inicial.
- c) la mitad de su masa inicial.
- d) la octava parte de su masa inicial.
- e) la décima parte de su masa inicial.
- f) la tercera parte de su masa inicial.

### Problema 9

Si la temperatura de la superficie del Sol fuera la quinta parte de su temperatura actual (ambas expresadas en K), la potencia que la Tierra recibiría del Sol sería, con respecto al actual, aproximadamente:

- a) 16 veces menor
- b) la misma
- c) la quinta parte
- d) la mitad
- e) 25 veces menor
- f) más de 600 veces menor

### Problema 10

Una persona que realiza trabajo mecánico a razón de 34 W pierde energía interna a razón de 300 W. Si el calor disipado por la persona se distribuye un 70% en radiación y el resto en evaporación del sudor, la cantidad de agua que pierde la persona en una hora es aproximadamente: ( $L_v$  a  $37^{\circ}\text{C}$  = 570 cal/g)

- a) 2,8 litros
- b) 0,5 litros
- c) 2,5 litros
- d) 0,67 litros
- e) 9,3 litros
- f) 0,12 litros

### Problema 11

Indique cuál de las siguientes afirmaciones es la única verdadera:

- a) La energía interna de cualquier sistema termodinámico es sólo función de la temperatura.
- b) La energía interna de un gas ideal es sólo función de la temperatura.
- c) En una evolución isotérmica el sistema no intercambia calor.
- d) En un proceso adiabático el sistema no varía la temperatura.
- e) Si un sistema no varía su volumen, entonces no realiza ni recibe trabajo.
- f) Si un gas no varía su energía interna entonces no recibe calor.

### Problema 12

Un hombre de 70 kg andando en bicicleta entrega una potencia mecánica de 100 W. La tasa metabólica (rapidez con la que varía la energía interna de un ser vivo) para la actividad "andar en bicicleta", para un hombre de 70 kg, es aproximadamente 500 W. Entonces, la cantidad de calor que el hombre entrega al medio exterior si marcha en bicicleta durante 4 horas es, expresada en kilocalorías, aproximadamente:

- a) 600
- b) 2067
- c) 2512
- d) 573
- e) 1380
- f) 100

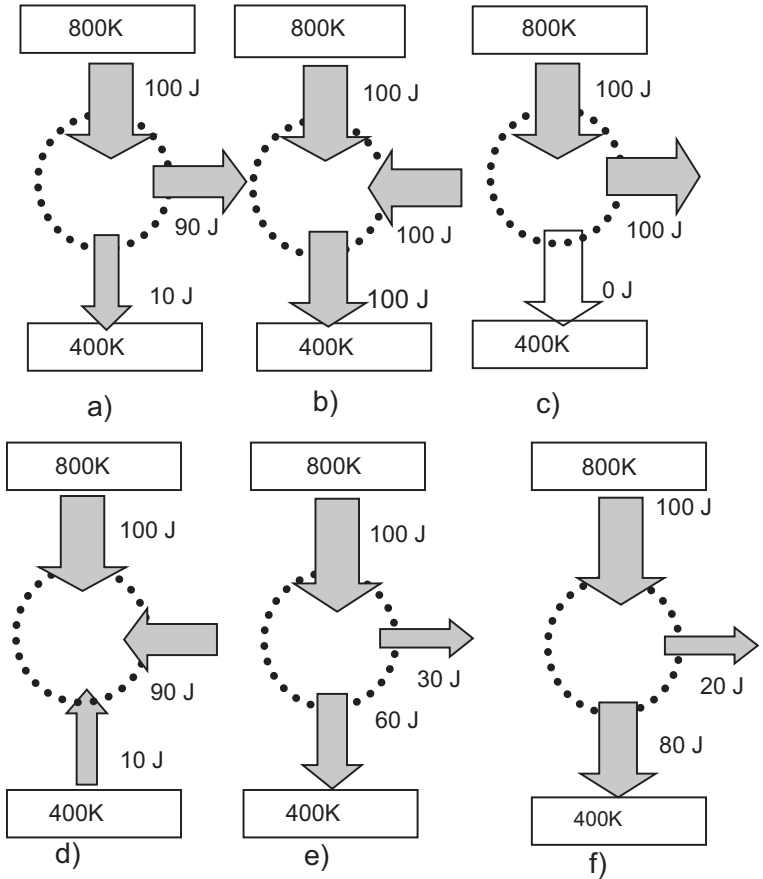
### Problema 13

Una central termoeléctrica cuyo rendimiento es del 33%, entrega  $1000 \text{ MW} = 10^9 \text{ W}$  de potencia eléctrica. Si el 15% del calor residual se elimina por la chimenea y el resto se transfiere a un río cuyo caudal medio es de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  ¿Cuánto aumenta la temperatura del agua?

- a)  $5,7^{\circ}\text{C}$
- b)  $1,3^{\circ}\text{C}$
- c)  $1300^{\circ}\text{C}$
- d)  $4,1^{\circ}\text{C}$
- e)  $0,24^{\circ}\text{C}$
- f)  $0,67^{\circ}\text{C}$

**Problema 14**

En la figura, los círculos representan seis máquinas cíclicas, que operan entre dos fuentes de temperaturas 800 K y 400 K. Las flechas verticales representan intercambios de calor con las fuentes; las horizontales, de trabajo con el exterior de las máquinas. Sólo una de ellas es posible, debido a que no viola ninguno de los principios termodinámicos. ¿Cuál es?



**Problema 15**

A cierta masa de agua que se encuentra a temperatura inicial 20°C se le entregan 100 kJ de trabajo mediante un sistema de paletas y simultáneamente se le extraen 10 kcal poniéndola en contacto con un cuerpo a menor temperatura (evolución A). Luego el agua vuelve a su estado inicial pero intercambiando sólo calor (evolución B). Entonces, en la evolución B, el agua:

- a) absorbe 34 kcal y aumenta su entropía.
- b) absorbe 14 kcal y aumenta su entropía.
- c) cede 14 kcal y aumenta su entropía.
- d) cede 34 kcal y disminuye su entropía.
- e) cede 14 kcal y disminuye su entropía.
- f) absorbe 10 kcal y aumenta su entropía.

**Problema 16**

Al mezclar, en un recipiente adiabático, a presión atmosférica constante, una cierta masa de agua a 50°C con un kilogramo de hielo a 0°C se comprueba que el hielo se funde totalmente y el sistema alcanza una temperatura final de 0°C. (Considere  $L_f = 80 \text{ cal/g}$ ). Desprecie el cambio de volumen del hielo en las transformación

Parte A: la masa de agua (en kg) que había en el calorímetro es:

- a) cero
- b) 1
- c) 1,6
- d) 2
- e) 0,625
- f) 4,2

Parte B: la variación de entropía del hielo (en kcal/K) es:

- a) cero
- b) 0,29
- c) infinito
- d) 8
- e) - 8
- f) - 0,29

Parte C: la variación de entropía del agua líquida es (conteste sin efectuar cuentas):

- a) cero
- b) de igual valor absoluto y signo opuesto a la del hielo.
- c) negativa y de valor absoluto mayor que la del hielo.
- d) negativa y de valor absoluto menor que la del hielo.
- e) positiva y mayor que la del hielo.
- f) positiva y menor que la del hielo.

Parte D: la variación de entropía del agua líquida ( en kcal/K) es:

- |            |            |
|------------|------------|
| a) cero    | b) - 0,29  |
| c) - 0,247 | d) - 0,269 |
| e) 0,269   | f) 0,021   |

### Problema 17

Un mol de gas ideal evoluciona en forma reversible desde una presión de 1,2 atm y un volumen de 5 litros hasta una presión de 4 atm y un volumen de 1,5 litros. En esa evolución la variación de energía interna del gas ( $\Delta U$ ) y la variación de entropía del gas ( $\Delta S$ ) valen

- |                                 |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| a) $\Delta U = 0, \Delta S = 0$ | b) $\Delta U = 0, \Delta S > 0$ | c) $\Delta U = 0, \Delta S < 0$ |
| d) $\Delta U > 0, \Delta S = 0$ | e) $\Delta U < 0, \Delta S < 0$ | f) $\Delta U < 0, \Delta S > 0$ |

### Problema 18

Indique cuál de las siguientes afirmaciones es la única verdadera:

- a) Cuando un sistema pasa de un estado A a otro estado B, la cantidad de calor neta intercambiada por el sistema es la misma cualquiera sea el proceso entre ambos estados.
- b) Cuando un sistema pasa de un estado A a otro estado B, la variación de su entropía es la misma cualquiera sea el proceso entre ambos estados.
- c) Cuando un sistema pasa de un estado A a otro estado B, la variación de la entropía del universo es la misma cualquiera sea el proceso entre ambos estados.
- d) Siempre que un sistema realiza un ciclo, el trabajo total que intercambia con el medio exterior es cero.
- e) El trabajo entregado a un sistema nunca puede transformarse completamente en calor cedido a una fuente térmica.
- f) El calor absorbido de una única fuente térmica nunca puede transformarse en completamente en trabajo.

### Problema 19

Indique cuál de las siguientes afirmaciones es la única verdadera:

- a) Es imposible transferir una cantidad determinada de calor de una fuente a cierta temperatura a otra fuente a mayor temperatura.
- b) La entropía de un sistema nunca puede disminuir.
- c) Si un sistema puede volver a su estado inicial luego de una transformación entonces la transformación se llama reversible.
- d) Todos los procesos que se producen muy lentamente son procesos reversibles
- e) Los procesos espontáneos son aquellos que se producen con un aumento de la entropía del universo.
- f) Cuando un sistema evoluciona en forma espontánea de un estado a otro disminuye su energía interna.

### Problema 20

Una cacerola contiene agua a 70°C. El sistema se enfría reversiblemente hasta que su temperatura iguala a la del ambiente que es de 22°C. Durante ese proceso se puede afirmar que:

- a) El proceso se realiza poniendo la cacerola en contacto con el ambiente
- b) La energía y la entropía del sistema disminuyen, la energía del universo no cambia y su entropía aumenta.
- c) La energía del sistema disminuye, su entropía aumenta, y la energía y la entropía del universo no cambian.
- d) La energía y la entropía del sistema disminuyen, y las del universo no cambian.
- e) La energía del sistema disminuye, su entropía aumenta, la energía del universo no cambia y su entropía aumenta.
- f) La energía y la entropía del medio exterior aumentan, la energía del universo no cambia y su entropía aumenta.

## 6. Respuestas

Se utilizaron las aproximaciones: 1 cal = 4,18 joule; 1 joule = 0,24 cal

Pequeñas diferencias en los resultados pueden deberse a que en lugar de multiplicar por 0,24 se dividió por 4,18, o viceversa.

### Ejercitación

- 1) a) El cobre porque tiene menor  $c_p$ .  
b) El de menor masa. Que no haya cambios de fase.
- 2)  $4 \times 10^6$  kcal
- 3)  $-42,5$  °C
- 4) Una estimación posible es: Capacidad de una taza: 200 ml. El té es prácticamente agua. Se hizo con agua hirviendo pero por transmisión de calor al ambiente, la temperatura cuando está en taza es 90°C; la temperatura del agua de la canilla 20°C. Para poder tomarlo deberá estar a unos 70°C, hay que agregar 80 ml de agua fría.
- 5) a) 5200 kcal, b) 29200 kcal, c) 18400 kcal
- 6) a) menor que la media y cercana a la del agua, ya que las masas son iguales y el calor específico del platino es mucho menor que el del agua  
b) 53,1 °C  
c) 52,8 °C
- 7) Estado final; 4,7 g de agua, 45,3 g de hielo y 250 g de Pb a temperatura 0°C
- 8)
  - a) El calor que el ambiente a mayor temperatura trasmite al recipiente y su contenido, se usa en una primera etapa para evaporar el agua de la tela mojada con lo cual se demora el calentamiento del contenido
  - b) Evaporar el rocío acumulado en la superficie de los vidrios, entregándole al agua el calor necesario para producir la evaporación. Evitar la condensación al aumentar la temperatura ambiente cercana al vidrio y con ello el punto de rocío.

- 9) a) 25°C; b) 30,02 °C
- 10) a) 0,054 cal/g°C; 13,8 cal/g; b) 100 g líquido y 100 g sólido.
- 11) a) 89,7 cal; b) 125,6 cal
- 12)
- Que 1 g de cobre intercambia 0,091 cal por cada °C de variación de temperatura.
  - Que, si a lo largo de una varilla de cobre de 1 cm<sup>2</sup> la temperatura disminuye a razón de 1°C por cada 1 cm, la varilla conduce 0,9 cal/s.
- 13) 15,4 cm
- 14)
- El calor entregado por convección y radiación es directamente proporcional al área en contacto con el ambiente. Dormir acurrucado disminuye el área.
  - Para contribuir a la convección natural del aire.
  - El aire tiene bajo coeficiente de conducción y si no se permite que haya convección actúa como aislante.
  - Aumentar la superficie de contacto con el quemador y por tanto la cantidad de calor que transmite al agua
  - El coeficiente de conducción del aluminio es mayor que el del plástico, por tanto conduce más rápidamente el calor de la mano al vaso.
  - Por radiación
  - Sí, emite el 90% de la radiación que emitiría, a igual temperatura, si fuera negro.
  - La temperatura del aire exterior no siempre es un indicador seguro y digno de confianza para determinar el frío que una persona puede sentir, si está expuesta al aire libre. Existen otros parámetros meteorológicos que influyen como la velocidad del viento, la radiación y la humedad relativa. El término sensación térmica es usado para describir el grado de incomodidad que un ser humano siente, como resultado de la combinación de la temperatura y el viento en invierno y de la temperatura, la humedad y el viento en verano.
  - Como el calor específico del agua es 2,5 veces el del suelo, a igualdad de calor cedido, el descenso de la temperatura del agua es 0,4 veces el de la temperatura del suelo. El efecto se hace aún más notable si la emisividad el suelo es mayor que la del agua (la cantidad de calor radiado no es necesariamente igual para el agua que para el suelo ya que depende de sus emisividades)
- 15) 95 kcal/h. No es totalmente correcta, la temperatura de la frazada del lado externo es algo mayor que cero (conducción en la capa de aire inmóvil cercana a la pared) y del lado interno algo menor que 33 °C (conducción en la capa de aire piel-frazada).
- 16) a) 77,4 kcal/h
- por convección, por evaporación del sudor, por evaporación de agua en los pulmones, por calentamiento del aire exhalado, por calentamiento de la orina.
- 17) 459,3 W;  $459,3 \times 10^4$  W.  
La potencia es 10.000 veces mayor pues la temperatura absoluta es 10 veces mayor.
- 18) 0,6; 0,6
- 19) 17,15 h

- 20) abierto, abierto, cerrado, cerrado, aislado ( si no se saca café ni se agita el termo)
- 21)
- En el primer caso se entrega trabajo y en segundo calor. En ambos casos aumenta la energía interna del fósforo y con ello se alcanza la temperatura a la cual se produce la combustión.
  - Una expansión rápida es casi adiabática porque el calor necesita tiempo para transmitirse. El trabajo de expansión se efectúa a expensas de una disminución de la energía interna del gas y la consiguiente disminución de su temperatura.
  - Se entrega trabajo, aumenta la energía interna. Debe hacerse rápidamente para que no se produzca un flujo de calor de las ramas al ambiente.
  - Se entrega trabajo en forma adiabática. Aumenta la energía interna.
- 22)
- reversible o irreversible
  - reversible o irreversible
  - irreversible
  - irreversible
  - irreversible
- 23) a) 2 kcal, b) 42,65 m ( con  $|g| = 9,8 \text{ m/s}^2$ )
- 24) a) 129,6 J  
b) 68,4 J  
c) No cambia, se transforman 198 J de energía mecánica en energía térmica.
- 25) La energía se mantiene constante, la energía química se transforma en térmica; la temperatura aumenta.
- 26)
- cero
  - sí, a expensas de una disminución de su energía interna de 25 J.
  - 1000 cal
  - 1000 cal; el medio exterior realiza un trabajo de 500 cal sobre el sistema :  $L = -500 \text{ cal}$
- 27)
- 84 W = 1733 kcal/día; 66 W = 1362 kcal/día
  - 374 kcal/h = 434,25 W
  - 7,54 %
  - 748 kcal; 114 kcal
- 28)
- de elaboración personal
  - un niño
  - la tasa metabólica por kilogramo de peso es mayor para el niño que para el adulto
  - no
- 29) a) 1,35 kJ; b) 0,9 kJ; c) -1,35 kJ, d) de elaboración personal
- 30) 19,7 kcal
- 31)
- a) Agua:  $Q = 2500 \text{ cal}$        $L = 0$        $\Delta U = 2500 \text{ cal}$

- b) Agua y resistencia:  $Q = 0$   $L = -2500\text{cal}$   $\Delta U = 2500\text{ cal}$   
 c) Agua, resist. y batería:  $Q = 0$   $L = 0$   $\Delta U = 0$

32) a) 498,7 cal; b) - 75 cal; b) - 185 cal (se desprecian las variaciones de volumen en el caso de sólidos y líquidos)

33) a)  $L_{\text{ciclo}} = 4\text{ J}$ , b)  $Q_{\text{ciclo}} = 4\text{J}$ ; c)  $\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$ ; d)  $L_{AB}$ ;  $L_{BC}$  ;  $L_{CA}$

34) a) el trabajo es aproximadamente 0,9 J  
 b) la potencia es aproximadamente 1 W

35) a) 2304 J; b) 3456 J

36)  $Q = 3500\text{ J} = 836\text{ cal}$ , absorbido

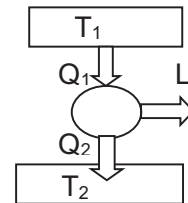
37) a)  $L = 0, \Delta U = 0$ ; b) 300 K; c) La respuesta a)

38)

	ab	bc	cd	da	ciclo
Q	-	+	+	-	+
L	-	+	+	-	+
$\Delta U_{\text{gas}}$	0	+	0	-	0

39) El calentador, el cilindro con el pistón, el condensador, la bomba que regresa el agua a la caldera; el sistema que evoluciona es el agua  
 Fuente caliente: alimentación del calentador.

Fuente fría: sumidero que recibe el calor cedido por el condensador



40) No es posible, contradice el primer principio (no se conserva la energía del Universo):

$$Q_{\text{neto en el ciclo}} = 1,87 \times 10^4 \text{ kcal}; L_{\text{en el ciclo}} = 2,16 \times 10^4 \text{ kcal}$$

41) 500 J = 119,42 cal; 400 J = 95,53 cal

42) a)  $Q = 1591\text{ kcal}$ ; b) Eficiencia = 4

43)

- a)  $1000\text{ cal} - 800\text{ cal} = 200\text{ cal}$ ;  $\Delta S_{\text{universo}} = 0,66\text{ cal/K} > 0$ .  
 b) 0,2

44)

- a)  $\Delta S_{\text{hielo}} = 0,293\text{ kcal/K}$   
 b)  $\Delta S_{\text{universo}} = 0,02\text{ kcal/K}$   
 c) Se debería fundir el hielo en contacto con una fuente a temperatura  $0^\circ\text{C} + dT$

45)  $\Delta S_{\text{gas}} = -17,1\text{ J/K}$ ;  $\Delta S_{\text{universo}} = 0$

46)

	ab	bc	cd	da	ciclo
$\Delta S_{\text{gas}}$	-	+	+	-	0
$\Delta S_{\text{ambiente}}$	+	-	-	+	0
$\Delta S_{\text{Universo}}$	0	0	0	0	0

47)

- a) Sí:  $\Delta E_{\text{pgravitatoria bolsa}} = \Delta U_{\text{bolsa}} + \Delta U_{\text{entorno}}$
- b) No, aumenta, pues se trata de una evolución irreversible.
- c) Sí, por ejemplo haciéndola descender muy lentamente mediante una cuerda que pasa por una polea y en cuyo extremo hay enganchado un balde con arena de peso total apenas inferior al de la bolsa.
- d)  $\Delta S_{\text{universo}} = 1 \text{ joule/K}$  (tomando  $|g| = 10 \text{ ms}^{-2}$ )

### Elección múltiple

1) a

2) a

3) b

4) f

5) a

6) c

7) b

8) c

9) f

10) f

11) b

12) e

13) d

14) f

15) e

16) Parte A: c    Parte B: b    Parte C: d    Parte D: d

17) c

18) b

19) e

20) d