CAPITULO 7. ENERGIA TERMICA Y CALOR

Tosa sustancia está conformada por un conjunto de átomos con movimiento vibracional. Por consiguiente tienen energía de movimiento y la sustancia tiene energía interna incluyendo la energía potencial proveniente de la interacción eléctrica entre los átomos moléculas.

7.1 Energía Térmica. Es la energía interna de las sustancias y se encuentra como energía cinética de movimiento en los átomos y moléculas que la conforman.

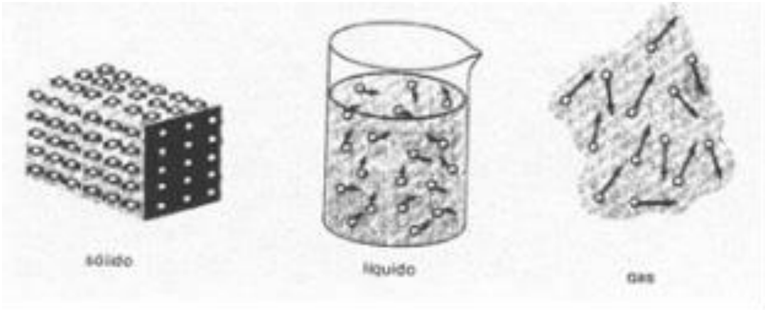


Fig. 7.1. El movimiento de los átomos en una sustancia es la energía interna.

Calor. Es la energía transferida entre sustancias a temperaturas diferentes.

Fig.7.2 El calor fluye de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura

UNIDADES: caloría (cal), Joule (J)

1 caloría (cal) = 4,18 Joule (J)

EJEMPLO 7.1

¿Cuantas calorías se liberan cuando un auto de 1500kg a 100km/h frena y se detiene?

7.2 CAPACIDAD TERMICA Y CALOR ESPECÍFICO

Cuando se entrega calor a una sustancia y se logra incrementar la temperatura, la relación entre estas cantidades y la masa de la sustancia establece los siguientes conceptos.

- Capacidad Térmica (C) = $Q/\Delta T$ o $Q = C\Delta T$. [C] 0 cal/ºC o J/K

  Es la relación entre la cantidad de calor suministrado a una sustancia entre el cambio de temperatura obtenido. A esta relación también se le llama inercia térmica.
- Calor Específico (c_e) = $Q/m\Delta T$ o $Q = mc_e\Delta T$
  Es la capacidad térmica dividido entre la masa (por unidad de masa); es una propiedad de los materiales. [Ce] = cal/gºC o J/Kg K

TABLA. 7.1Calor específico de algunas sustancias a temperatura ambiente y presión atmosférica.

Solidos	Ce (cal/g°C)	Líquidos	Ce (cal/g°C
Hielo (-5°C)	0,50	agua	1,00
aluminio	0,215	mercurio	0,033
cobre	0,0924	alcohol	0,58
plata	0,056		

Fig. 7.3. El agua en el balde tiene mayor capacidad térmica (Inercia térmica) que el agua en la taza.

En general: $c_e = \frac{\delta Q}{mdT}$ ó $Q = \int mc_e dT$;
Considerando que el calor específico no depende de la temperatura, se obtiene:

$$Q = mc_e\Delta T \quad \text{---------------------------} \quad (7.1a)$$

O en forma diferencial:

$$\delta Q = mc_e dT \quad \text{--------------------------------} \quad (7.1b)$$

EJEMPLO 7.2

Se calientan balines de cobre, cada uno de 1,20g, de masa a una temperatura de 100°C. ¿Cuántos balines se deben agregar a 500g de agua a 20,0°C para que la temperatura final de equilibrio sea de 25,0°C. Desprecie pérdidas y la capacidad térmica del envase.

7.3 CAMBIO DE FASE Y CALOR LATENTE

Se usa el término fase para identificar un estado específico de una sustancia, como sólido, líquido o gas.

Diagrama de fases

Es una gráfica en un sistema coordenado presión – temperatura, en la que se muestra claramente que el estado de una sustancia depende de la presión y temperatura en la que se encuentra

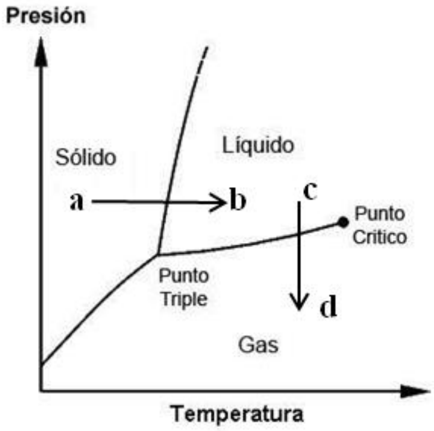


Fig. 7.4 Diagrama de fases de una sustancia.

Se puede apreciar que una sustancia sólida, al incrementarse su temperatura manteniendo la presión constante (ab), se convierte en líquido. Si a un líquido se le disminuye la presión a temperatura constante (cd), se convierte en gas.

También se puede apreciar las líneas que separan el cambio de fase de la sustancia.

En el punto triple, la sustancia coexiste en sus teres estados

El proceso de cambio de fase de una sustancia, ocurre a determinada temperatura y presión, absorbiendo o devolviendo cierta cantidad de calor.

Al calor absorbida o devuelto por una sustancia, por unidad de masa durante el proceso de cambio de fase se le llama calor latente (L).

$$L = Q/m, \text{ o } Q = mL \quad \text{-----------------------------} \quad (7.2)$$

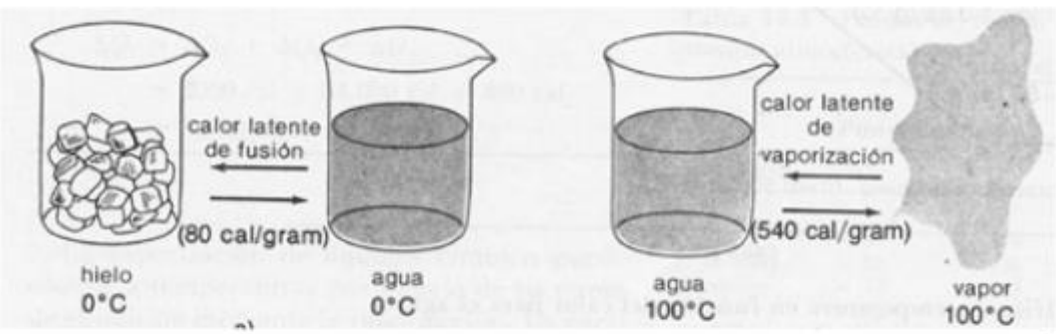


Fig. 7.5. Cambio de fase en el agua

Fusión. Es el proceso en el cual una sustancia sólida al recibir calor se derrite transformándose en líquido. Calor latente de fusión. Ejemplo: cuando se derrite el hielo al recibir calor. La Solidificación es el proceso inverso.

Calor latente de fusión = Calor latente de solidificación = L_f

Temperatura de fusión = Temperatura de solidificación = T_f

Vaporización. Es el proceso por el cual las moléculas de un líquido se desprenden y pasan a formar vapor. Ejemplo: Las moléculas del agua de mar pasan a formar la humedad en el aire. La condensación es el proceso inverso.

Calor latente de vaporiz. = calor latente de condens. = Lv

Temperatura de vaporiz. = temperatura de condens. = T_e

Tabla 7.2 Temperaturas de cambio de fase y calor latente de algunas sustancias a la presión de una atmosfera.

Sustancia	$T_{fusión}$ (ºC)	L_f (cal/g)	T_e (ºC)	L_v(cal/g)
Agua	0,00	79,7	100	541
Plomo	327	5,87	1750	208
Aluminio	660	95,0	2450	2727
Plata	961	21,1	2193	557

Representación gráfica de un proceso térmico del agua, pasando por las tres fases: Solido, líquido y vapor.

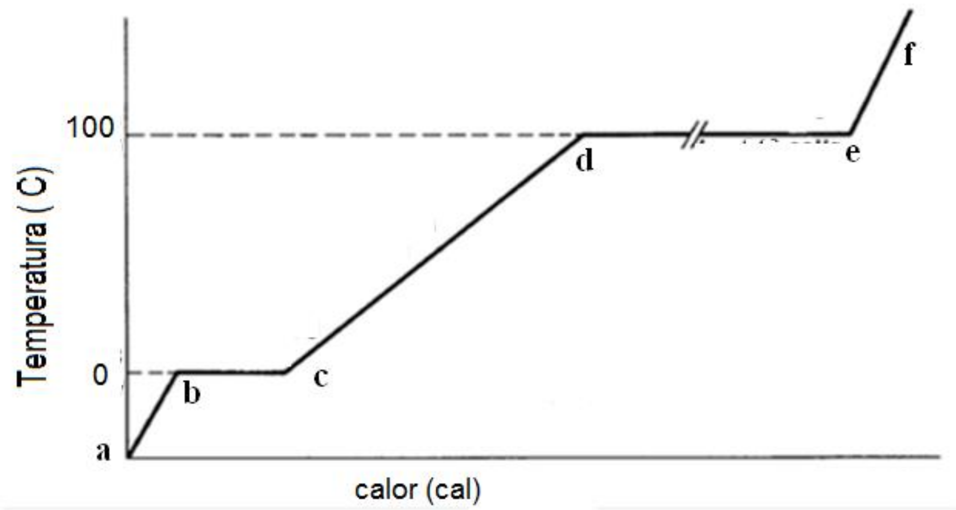


Fig. 7.6a Procesos térmicos para el agua

Sustancia	Tramo	Proceso	Ecuación
Sólido	ab	calentamiento	$Q=mc_e\Delta T$
	bc	fusión	$Q=mL_f$
Líquido	cd	calentamiento	$Q=mc_e\Delta T$
	de	ebullición	$Q=mL_v$
Gaseoso	ef	calentamiento	$Q=mc_e\Delta T$

Fig.7.6b. Ecuaciones para el proceso térmico del agua.

EJEMPLO 7.3

Se entrega calor a una muestra sólida de 500g a razón de 10,0 kJ/min, siendo su temperatura en función del tiempo, según el gráfico. Determine:

a) El calor latente de fusión del sólido.
b) Los calores específicos de los estados sólido y líquido del material.
c) El calor que se debe suministrar a 200g de la muestra para elevar su temperatura de 25,0°C a 40,0°C

7.4 TRANSMISION DEL CALOR

Es el proceso donde se transfiere energía térmica al interior de una sustancia o entre sustancias cuando existe una distribución de temperaturas no uniforme.

En general a este proceso se le llama difusión del calor.

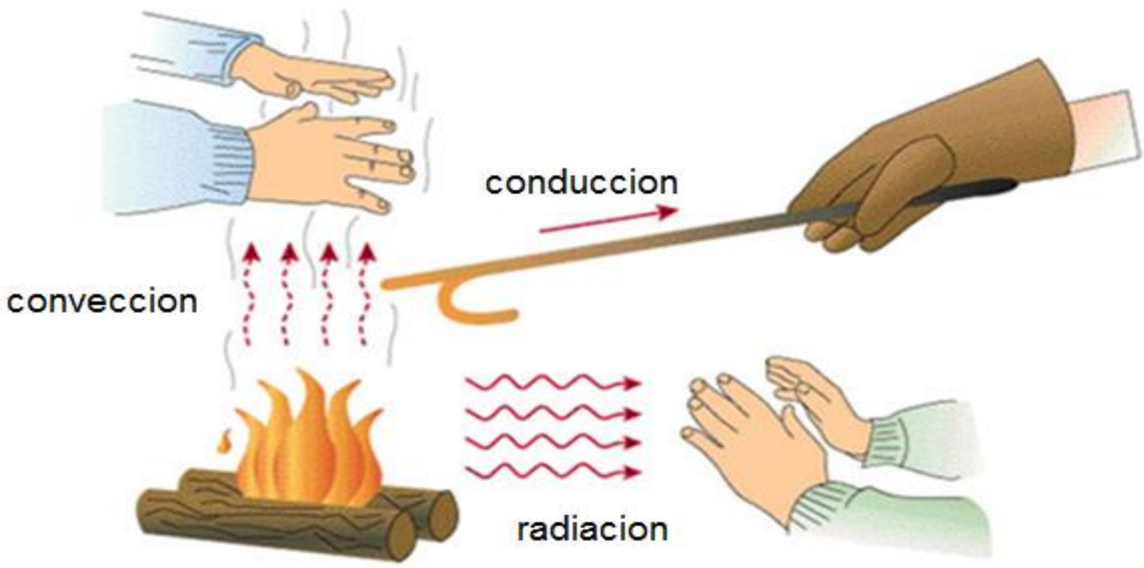


Fig. 7.7. Diferentes procesos de transferencia de calor

7.4.1 TRANSMISION DEL CALOR POR CONDUCCION

La conducción del calor ocurre a través de una sustancia con mayor importancia en los sólidos. A escala atómica podemos entenderlo como un intercambio de energía interna entre las regiones más calientes (moléculas más energéticas) con las regiones menos calientes (moléculas menos energéticas).

La difusión del calor está inmersa dentro de un fenómeno más general que es el fenómeno de difusión y se representa matemáticamente por la ley de Fourier para el caso de la conducción del calor.

$$\frac{H}{A} = -k\nabla T \quad \text{---------------------------------------} \quad (7.3)$$

Siendo:

H = Flujo de calor (Q/t); [H] = watts o cal/s

A = área transversal o perpendicular al flujo de calor

K = conductividad térmica del material. [k] = W/m.ºC

T = temperatura.

Tabla 7.3. Conductividades Térmicas de algunos materiales

	Material	K(W/m ℃)
Metales	Plata	427
	Cobre	397
	Aluminio	238
Gases (20℃)	Hidrogeno	0,172
	Aire	0,0234
No metales	Hielo	2,0
	Concreto	0,8
	Vidrio	0,8
	Agua	0,6
	Asbesto	0,08
	Madera	0,08

Ecuación de la difusión del calor.

Cuando no existe una fuente de energía al interior de la sustancia, por conservación de la energía, se cumple la siguiente ecuación de balance energético:

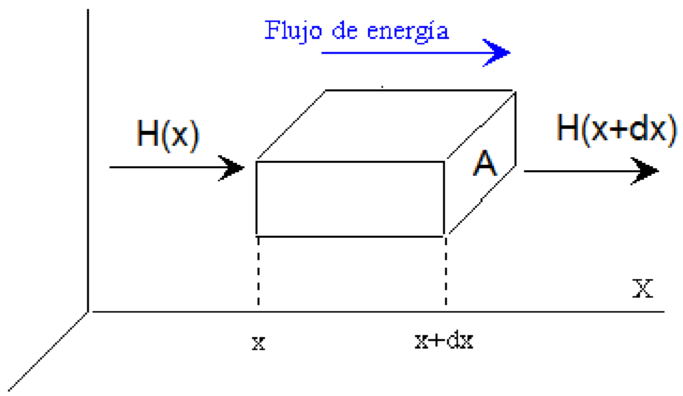


Fig.7.8. La variación del flujo de calor saliente con respecto al entrante es igual al calor acumulado en el elemento de volumen.

De la Fig. (7.8), el balance de energía nos lleva a escribir para un elemento de volumen rectangular:

$$[H(x+dx)-H(x)]=\frac{-dQ}{dt} \text{ ------------------------------- } (7.4)$$

Donde, de las ec. (7.3) y (7.4), se obtiene:

$$[H(x+dx)-H(x)]=\frac{\partial H}{\partial x}dx=-kA\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}dx$$

Adicionalmente utilizando la ec. (7.2b) del calor específico:

$$\frac{dQ}{dt}=mc_e\frac{\partial T}{\partial t}=\rho Adxc_e\frac{\partial T}{\partial t}$$

Reemplazando en la ec. (7.4), resulta la ecuación de conducción del calor, llamada también la Ley de Fick

$$\frac{\partial T}{\partial t}=-\left(\frac{k}{\rho c_e}\right)\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \text{ -------------------------------------- } (7.5)$$

En el caso de tres dimensiones se tiene la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial T}{\partial t}=-\left(\frac{k}{\rho c_e}\right)\nabla^2 T \text{ ------------------------------------ } (7.6)$$

En el caso de interés del presente texto, solo analizaremos las situaciones estacionarias, es decir no hay un dependencia explicita del tiempo en la temperatura. Resultando la ec,(7.6) de la siguiente forma:

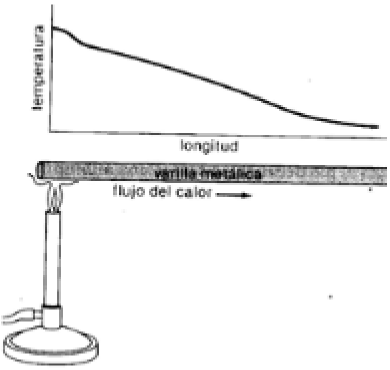
$$\nabla^2 T \ = 0 \quad \text{--} \ (7.7)$$

A esta ecuación también se le conoce como la ecuación de Laplace.

Analizaremos la ecuación de la place para tres sistemas de coordenados: Rectangular, Esférica y cilíndrica.

Conducción del Calor con geometría rectangular

Es de interés del texto desarrollar solo casos de geometría rectangular en una dimensión. Para casos de dos o más dimensiones, se requiere un proceso matemático de mayor nivel o recurrir a soluciones numéricas de la ecuación de Laplace. Por Ej. Conducción a través de barras, de paredes, etc.



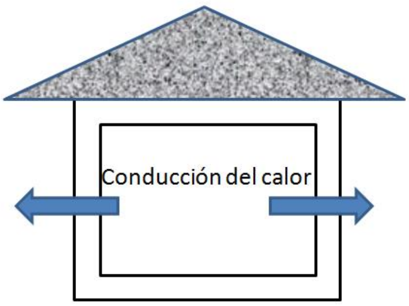


Fig. 7.9. Conducción del calor estacionario con geometría rectangular unidimensional.

Recurrimos a la ecuación de Laplace (7.7) para el caso de geometría rectangular con una variable (x), resultando:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad \text{--} \ (7.8)$$

Cuya solución es:

$$T(x) = Ax + B \quad \text{--} \ (7.9)$$

Consideramos la conducción del calor a través de la placa mostrada, de área transversal A, espesor L y conductividad k, con las condiciones de contorno mostrado, resulta:

Siendo las condiciones de contorno:

x = 0; T (0) = T_2;

x = L; T (L) = T_1

$T_2 > T_1$

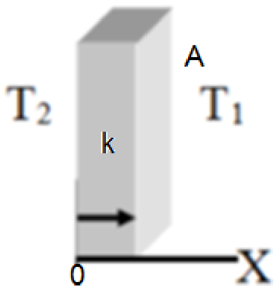


Fig. 7.10 Conduccion del calor estacionario a traves de una placa rectangular

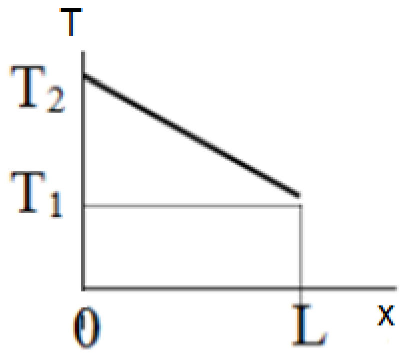
reemplazando en la ec. (7.9); resulta: A = $(T_1 - T_2)/L$;   B = T_2

de la ec. (7.9):

$$T(x) = -\left(\frac{T_2 - T_1}{L}\right)x + T_2 \quad \text{------------------------------------} \quad (7.10)$$

El perfil de la temperatura en el interior de la placa se obtiene en la grafica T vs x.

Fig. 7.11. Grafica de la temperatura al interior de una placa conductora del calor en función de la distancia x



Flujo de calor (H):

Recurriendo a la ec. (7.3) para la geometría rectangular en una dimensión, se obtiene:

$$H = -kA\frac{dT}{dx} = \frac{kA(T_2 - T_1)}{L} \quad \text{-------------------------------------} \quad (7.11)$$

EJEMPLO 7.4

Sea una barra de longitud 100 cm, de área transversal 60,0 cm^2 y de conductividad térmica 0,92 cal/°C-s-cm. Un extremo está en contacto con vapor de agua a 100°C mientras el otro extremo está en contacto con hielo a 0°C. Si L_f= 80 cal/g, L_v= 540 cal/g. Determinar al cabo de 12,0 segundos:

a) La cantidad de hielo que se funde

b) La cantidad de vapor que se condensa

Conducción del Calor con geometría esférica

Es de interés del texto desarrollar solo casos de geometría esférica en una dimensión. Para casos de dos o más dimensiones, se requiere un proceso matemático de mayor nivel o recurrir a soluciones numéricas de la ecuación de Laplace. Por ej. Conducción a través de cascarones esféricos, hornos esféricos, etc.

Siendo las condiciones de contorno:

Radio interno: r =a;   T (a) = T_1

Radio externo: r= b; T (b) = T_2

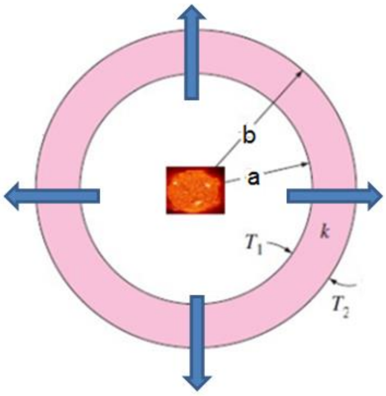


Fig. 7.12 Conducción de calor estacionaria a través de un cascaron esférico en la dirección radial.

Recurrimos a la ecuación de Laplace (7.7) para el caso de geometría esférica con una variable (r), se tiene:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dT}{dr}\right) = 0$$

Con la solución por integración

$$T(r) = \frac{A}{r} + B \quad \text{--} \quad (7.12)$$

Reemplazando las condiciones de contorno obtenemos la expresión de la temperatura en función del radio (r).

$$T(r) = \frac{(T_1 - T_2)ab}{r(b-a)} + \frac{T_2 b - T_1 a}{b-a} \quad \text{--------------------------------} \quad (7.13)$$

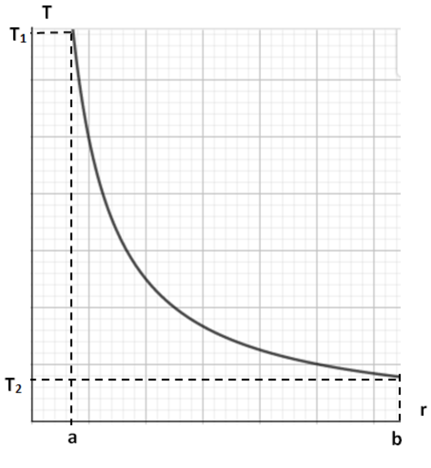


Fig.7.13. Grafica de la temperatura vs la distancia radial al interior de un cascaron esférico.

Flujo de calor (H):

Recurriendo a la ec. (7.3) para la geometría esférica con simetría en una dimensión (r), se obtiene:

$$H = -kA\frac{dT}{dr} = -k4\pi r^2\left[\frac{-(T_1-T_2)ab}{r^2(b-a)}\right] = \frac{4\pi kab(T_1-T_2)}{b-a} \quad \text{-------------------------------------} \quad (7.14)$$

Geometría Cilíndrica

Conducción del Calor con geometría cilíndrica

Es de interés del texto desarrollar solo casos de geometría cilíndrica en una dimensión. Para casos de dos o más dimensiones, se requiere un proceso matemático de mayor nivel o recurrir a soluciones numéricas de la ecuación de Laplace. Por ej. Conducción a través de cascarones cilíndricos, tuberías cilíndricas coaxiales, etc.

Siendo las condiciones de contorno:

Radio interno: r =a; T (a) = T_1

Radio externo: r= b; T (b) = T_2

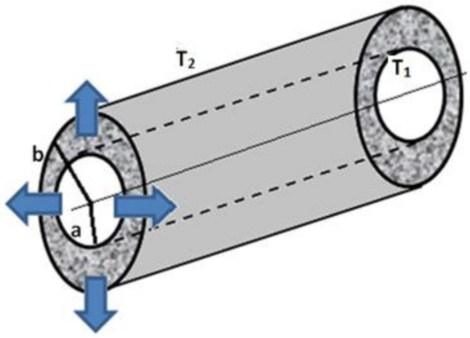


Fig. 7.14 Conducción de calor estacionaria a través de un cilindro coaxial, en la dirección radial.

Recurrimos a la ecuación de Laplace (7.7) para el caso de geometría cilíndrica con una variable (r), se tiene:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right) = 0$$

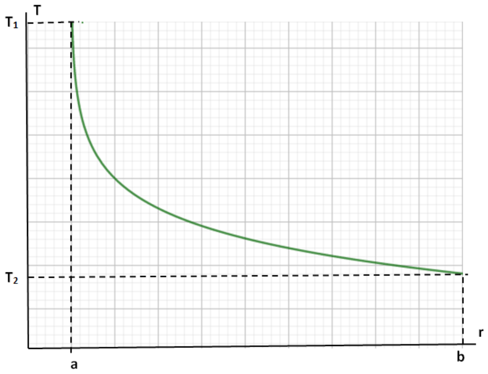
Con la solución por integración

$$T(r) = ALnr + B \quad \text{---} \quad (7.15)$$

Reemplazando las condiciones de contorno obtenemos la expresión de la temperatura en función del radio (r).

$$T(r) = T_1 + \frac{(T_2-T_1)Ln(^r/_a)}{Ln(^b/_a)} \quad \text{--------------------------------} \quad (7.16)$$

Fig.7.15. Grafica de la temperatura vs la distancia radial al interior de un cascaron cilíndrico.



Flujo de calor (H):

Recurriendo a la ec. (7.3) para la geometría cilíndrica con simetría en una dimensión (r), se obtiene:

$$H = -k2\pi RL\frac{dT}{dr} = -k2\pi L(T_2 - T_1)/Ln(\frac{b}{a}) \quad \text{-------------------------------------} \quad (7.17)$$

7.4.2 TRANSMISION DEL CALOR POR CONVECCION

Se llama así cuando el calor se transfiere a través de un fluido en movimiento. Dependiendo de cómo se origina el movimiento del fluido, se puede establecer dos formas de movimiento convectivo:

- Convección natural
- Convección forzada.

La Convección Natural. Se basa en la dependencia de la densidad de los fluidos con la temperatura. En las regiones más calientes del fluido (mayor temperatura) la densidad es menor, generándose una fuerza ascensional o de empuje dentro del mismo fluido debido a la acción de la gravedad la cual da el movimiento al fluido.

Ejemplo: El viento, el aire al interior de una habitación con un calefactor, la ebullición.

Fig 7.16. Movimiento por convección natural durante la ebullición del agua.

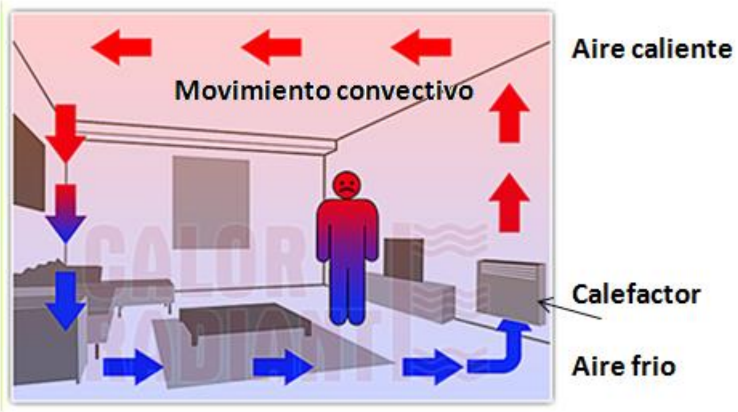


Fig. 7.17. Movimiento por conveccion natural en una habitación debido a un calefactor

La Convección Forzada, ocurre cuando el movimiento del fluido es producido por presiones externas. Ejemplo: El aire de un ventilador, en un intercambiador de calor.

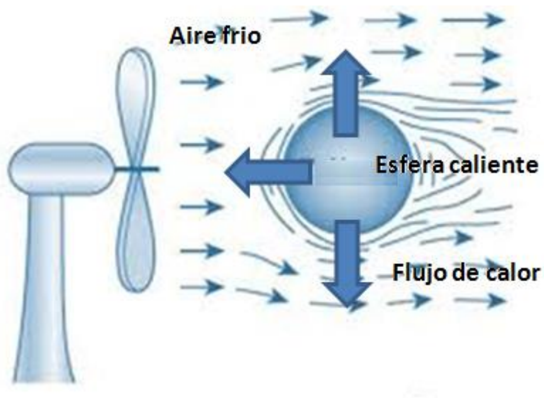


Fig.7.18. Movimiento por conveccion forzada.

En general, La transmisión de calor por convección es algo compleja debido a que interviene el movimiento de un fluido y las propiedades del fluido junto con su movimiento, se acostumbra a utilizar coeficientes promedios de transferencia de calor.

$$H = hA(T_s - T_f) \quad \text{--} \quad (7.18)$$

H = flujo de calor (W)

h = coeficiente de transferencia de calor (W/m^2 C)

A = área de contacto

T_s= temperatura de la superficie

T_f = temperatura del fluido

7.4.3 TRANSMISION DEL CALOR POR RADIACION

Se llama así a la energía transferida desde un cuerpo por medio de ondas electromagnéticas.

Radiación de Cuerpo negro.

Todo cuerpo emite radiación electromagnética debido al movimiento vibracional de sus átomos. Esta radiación depende de la temperatura del cuerpo, propiedades de la superficie del cuerpo y la radiación emitida tiene un rango de longitudes de onda según la temperatura.

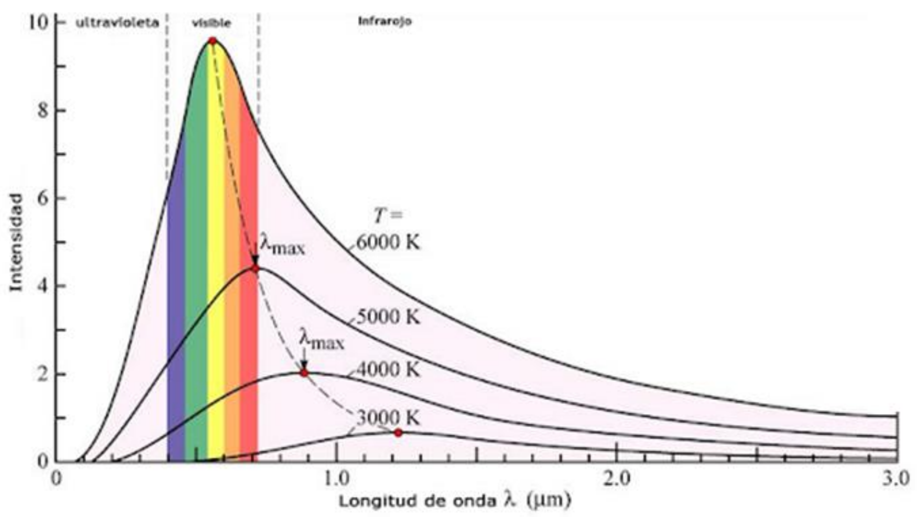


Fig.7.19 Radiación electromagnética espectral emitida por una sustancia en función de su temperatura.

La potencia emitida por una superficie, se representa por la ecuación de Stefan Boltzmann.

$$P = e\sigma A T^4 \text{ --------------------------------------- } (7.19)$$

Siendo:

P = Potencia radiada por el cuerpo (W)

$\sigma = 5{,}67\text{x}10^{-8} W/m^2K^4$

A = Área de la superficie emisora

e =emisividad, coeficiente adimensional que depende de las características de la superficie emisora ($0<e<1$).

T = Temperatura de la superficie (K)

Fig.7.20 Radiacion solar emitida por un a fogata

Frasco Dewar (Termo)

Es un recipiente diseñado de tal manera que minimiza las tres formas de transferencia del calor con el exterior de tal manera que es un recipiente que mantiene aislado térmicamente el contenido, sirviendo en épocas de frio mantener caliente un líquido y en épocas de calor mantener frio un refresco. .

Vacío: Reduce la conducción y convección.

Superficie reflejante: Reduce la radiación al reflejar hacia adentro o fuera el calor radiante.

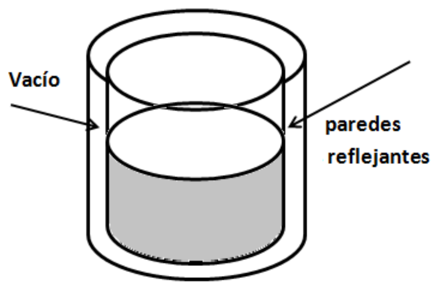


Fig.7.21 Frasco Dewar (Termo). El vacío evita pérdidas de calor por convección y conducción; las superficies reflejantes evitan pérdidas por radiación.

EJERCICIOS PROPUESTOS

EJERCICIO 7.1

Un cilindro de aluminio de 20,0 cm de altura tiene una capacidad interna de 2,000 L a 20,0 ˚C, está lleno completamente con aceite; se calienta hasta 80,0℃. (aceite: Densidad = 920 kg/m^3. Calor especifico = 1,68kJ/kg K; Coeficiente de expansión volumétrica = $6{,}00 \times 10^{-4}/°C$); Coeficiente de expansión lineal del Aluminio = $24 \times 10^{-6}/°C$. Se pide:

a) Calor absorbido por el aceite
b) Volumen de aceite que se derrama
c) A continuación se enfría todo nuevamente hasta 20,0 ◦C. ¿a qué distancia debajo del borde del cilindro estará el nivel del aceite?

Solución

a) $Q = mce\Delta T = 920x2{,}000x10^{-3}x1{,}68x(80{,}0-20{,}0) = 185$ kJ
b) $\Delta V = \Delta V_{aceite} - \Delta V_{cilindro} = 2{,}000x6{,}00x10^{-4}x(80{,}0-60{,}0) - 2{,}000x3x24x10^{-6}x(80{,}0 - 60{,}0) = 0{,}0211$ L
c) $V_o = 2{,}000+0{,}00288 = 2{,}0029$ L; $\Delta V = 2{,}0029x(6{,}00x10^{-4} - 24x10^{-6})x(20{,}0-80{,}0) = -0{,}0692$ L $= -6{,}92x10^{-5}m^3$

Área de la base del cilindro: $A = 2{,}000x10^{-3}/0{,}200 = 0{,}0100$ m^2;

Distancia debajo del borde del cilindro: $d = \Delta V / A = 6{,}92x10^{-5}/ 0{,}0100 = 6{,}92x10^{-3}$ m

EJERCICIO 7.2

Un alambre de aluminio tiene un diámetro de 1,50 mm, y se mide la longitud con una regla de acero en un ambiente a 25,0 °C resultando ser de 75,20 cm. (aluminio: densidad = 2700 kg/m^3; calor especifico 880 J/kgK; Coeficiente de expansión lineal = 24 x 10^{-6}/◦C); Coeficiente de expansión lineal del acero = $11{,}0x10^{-6}$/◦C. Se pide:

a) La lectura en la regla para la longitud de la varilla cuando la temperatura sea de – 12,0°C.
b) la cantidad de calor que perdió el alambre de aluminio
c) ¿Si solamente el alambre regresa hasta 25,0 ◦C, manteniéndose la regla a -12,0◦C, cuál será la medida de la regla?

Solución

a) $\Delta L = 75{,}20x(24x10^{-6} - 11{,}0x10^{-6})x(-12{,}0 - 25{,}0) = -0{,}0362$ cm

   Lectura nueva de la longitud de la varilla = 75,20 – 0,0362 = 75,16 cm
b) $Q = mce\Delta T = 2700x\pi(0{,}750x10^{-3})^2x0{,}7520x880x(-12{,}0 - 25{,}0) = -117$ J
c) $\Delta L = 75{,}16x24x10^{-6}x(25{,}0 -(-12{,}0)) = 0{,}0667$ cm;

Medida de la regla = 75,16 +0,0667 = 75,23 cm

EJERCICIO 7.3

El volumen del bulbo de un termómetro de mercurio es 0,200 cm^3 a 0°C y la sección transversal del tubo capilar es 0,120 mm^2. El mercurio llena exactamente el bulbo a 0°C. Coeficiente de dilatación lineal del vidrio $5{,}0x10^{-6}$ / °C; (mercurio: Coeficiente de dilatación cúbica $1{,}82x10^{-4}$ /°C; densidad = 13,6 g/cm^3; calor especifico 138 J/kg K). Se pide:

a) la longitud de la columna de mercurio en el capilar a 50,0°C
b) la cantidad de calor que absorbió el mercurio
c) la temperatura si la longitud del mercurio es 15,0 cm

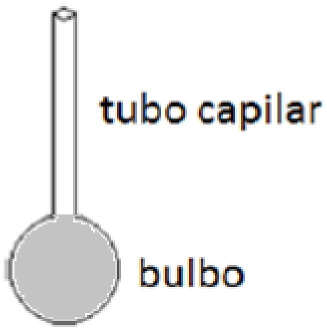


Fig. 7.22 Termómetro de mercurio. Ejercicio 7.3

Solución

a) $\Delta V = 0{,}200x\ (1{,}82x10^{-4} – 3x5x10^{-6})\ x\ (50{,}0 – 0) = 1{,}67x10^{-3}\ cm^3$

La longitud de la columna de mercurio en el capilar: $L = \Delta V/A = 1{,}67x10^{-9}/0{,}120x10^{-6} = 0{,}0139$ m

b) $Q = mce\ \Delta T = 13600x0, 200x10^{-6}x138x\ (50, 0 -0) = 18, 8$ J

c) $\Delta V = 0{,}200x10^{-6}x\ (1, 82x10^{-4} – 3x5, 0x10^{-6})\ x\ (T – 0) = 0{,}120x10^{-6}x0, 150$
Temperatura: T = 539℃

EJERCICIO 7.4

Un recipiente contiene 1,20 L de agua y una masa desconocida de hielo en equilibrio a 0 ºC. Se le cede calor con potencia constante y se mide la temperatura de la mezcla en varios tiempos obteniendo la gráfica mostrada. Durante los primeros 50,0 s la mezcla permanece en 0 ºC. Entre el segundo 50,0 y el 60,0 la temperatura aumenta a 2,00 ºC. Ignore la capacidad calorífica del recipiente y determine:

a) la masa inicial del hielo y la potencia suministrada.
b) En que instante (t), el sistema llega al punto de ebullición.
c) En el instante t = 30,0 s, ¿Cuál es la composición de la mezcla?

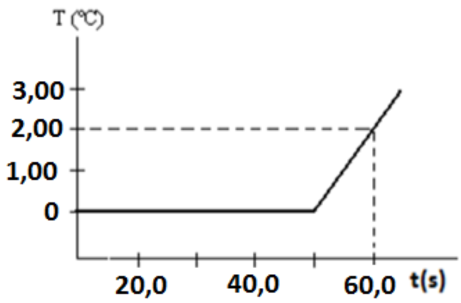


Fig. 7.23 Temperatura en función del tiempo de una sustancia a medida que recibe calor. Ejercicio 7.4

Solución

a) Fusión: $Q = Pt = mL_f$; 50P =80m -------- (7.20)
Calentamiento: Q = P (10) = (m+1200) x1, 00x (2,00); m + 1200 = 5P ----------- (7.21)
Resolviendo: la masa inicial del hielo: m = 171 g;
Potencia suministrada: P = 274 cal/s

b) Calor necesario para llegar a la ebullición desde t = 50,0 s; Q = (1200+171)x1,00x(100-0) = 137 kcal;
$Q = P\Delta t$; Δt = 137x103/274 = 500 s;
Tiempo cuando se llega al inicio de la ebullición: t = 500 + 50,0 = 550 s

c) t=30,0s; Q = 274x30,0 = 8220 cal; masa de hielo derretido: $m = Q/L_f$ = 8220/80,0 = 103 g
Composición de la mezcla: m_{hielo} = 171 – 103 = 68 g; m_{agua} = 1200 + 103 = 1303 g

EJERCICIO 7.5

A un calorímetro que contiene 300 g de agua a la temperatura 5,00 °C, se le agregan 250 g de agua a 70,0 °C y 400 g de hielo a -15,0 °C. Si la capacidad térmica del calorímetro es de 12,0 cal/°C. Considere: $c_{e,\ HIELO}$= 0,500 cal/g°C y L_f = 80,0 cal/g. Se pide:

a) Calor necesario para llevar al hielo hasta 0°C y para derretir todo el hielo
b) La temperatura final del sistema
c) La composición final del sistema

Solución

a) $Q_1 = m_h c_{e,h} \Delta T$ = 400x0,500x (0+15,0) = 3,00x10^3 cal; Q_2 = 400x80,0 = 3,20x10^4 cal
b) Calor total que desprende el agua y calorímetro si llegase a 0°C;
   Q_3 = 300x1, 00x (0-5,00) + 250x1, 00x (0- 70,0) + 12,0x (0-5,00)= -1,91x10^4 cal
   De los calores obtenidos, abs (Q_3) < Q_1 +Q_2; concluimos que solo se derrite parte del hielo, por tanto la temperatura final del sistema es: T_f = 0°C.
c) masa de hielo derretida: $\sum Q_i$ = 3000 +m (80,0) -19060 = 0; m = 201 g de hielo.
   Masa de hielo: m_h = 400 – 201 = 199 g; masa de agua = 300 + 250 + 201 = 751 g de agua.

EJERCICIO 7.6

En un calorímetro cuya capacidad térmica es de 65,0 cal/ºC, se tienen 140 g de agua a 20,0 ºC. Si se le echan 210 g de plomo a la temperatura de 130ºC, ($C_{e,\ plomo}$ = 0,0305 cal/g C), se pide:

a) la temperatura final del sistema.
b) la cantidad de calor que cede el plomo
c) La cantidad de calor que absorbe el agua

Solución

a) $\sum Q_i$ = 65,0x(T-20,0) + 140x1,00x(T-20,0) +210x0,0305x(T-130) =0;

   Temperatura final del sistema: T = 23,3°C

b) Q = 210x0,0305x(23,3-130) = -683 cal
c) Q = 140x1,00x(23,3 – 20,0) = 462 cal

EJERCICIO 7.7

Nitrógeno líquido con una masa de 115 g a 77,3 K (Temperatura de ebullición), se agita en un vaso que contiene 250 g de agua a 15,0 °C. Todo el nitrógeno sale de la solución tan pronto como se evapora, (calor latente de vaporización del nitrógeno = 48,0 cal/g, calor latente de la fusión del hielo = 80,0 cal/g.). Se pide:

a) La cantidad de calor que cede el agua al nitrógeno liquido
b) La temperatura final del agua
c) La cantidad de hielo que se forma

Solución

a) $Q_1 = -mN_2\ L_v$ = -115x48,0 = -5,52x10^3 cal
b) $Q_1 = mc_v\Delta T$; -5,52x10^3 = 250x1, 00x (T – 15,0); T = -7,08°C; ¡Todo el agua se congela!
   Calor necesario extraer para que todo el agua pase a 0°C
   Q_2 = 250x1, 00x (0-15,0) = - 3,75 kcal
   Calor necesario extraer para convertir todo a hielo
   Q_3 = - 250x80,0 = -20,0 kcal

En vista que $|Q_1|<|Q_2+Q_3|$; no todo el agua se congela. Temperatura final del agua T = 0 °C

c) $Q_1 = Q_2 - m_hL_f$; $-5{,}52x10^3 = -3750 - m_hx80{,}0$;
Cantidad de hielo que se forma: m_h = 22,1 g de hielo

EJERCICIO 7.8

A un calorímetro que contiene 300 g de agua a la temperatura 5,00 °C, se le agregan 200 g de agua a 10,0 °C y 400 g de hielo a -15,0 °C. Si la capacidad térmica del calorímetro es de 12,0 cal/°C. Considere: $c_{e,\ HIELO}$ = 0,500 cal/g°C y L_f = 80,0 cal/g. Se pide:

a) Calor necesario para llevar al hielo hasta 0°C y para derretir todo el hielo
b) La temperatura final del sistema
c) La cantidad de calor que absorbe el hielo
d) La composición final del sistema

Solución

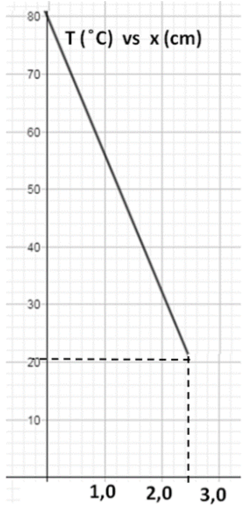
a) Calor necesario para llevar al hielo a 0°C; $Q_1 = mh\ ce{,}h\ \Delta T = 400x0{,}500x(0-(-15{,}0)) = 3{,}00x10^3$ cal
b) Calor necesario para derretir todo el hielo: $Q_2 = m_hL_f = 400x80{,}0 = 32{,}0x103$ cal
Calor que cede el calorímetro y el agua hasta llegar a 0°C;
$Q_3 = C\Delta T + m_{ag}ce_{ag}\ \Delta T = 12{,}0x\ (0-5{,}00) +300x1{,}\ 00x\ (0-5{,}00) + 200x1{,}\ 00x\ (0-10{,}0) = -3{,}56$ kcal
En vista que |Q3| > Q1; Todo el hielo se derrite y Q1 + Q2 > |Q3|;
Temperatura final del sistema: T_f = 0°C
c) Calor que absorbe el hielo = $|Q_3|$=3,56 kcal
d) Calor que sirve para derretir el hielo: Q_4 = 3560 – 3000 = 560 cal
Masa de hielo derretido: m_h = 560 /80,0 = 7,00 g
Composición final del sistema: Quedan 393 g de hielo y 507 g de agua a 0°C

EJERCICIO 7.9

Una lámina de plomo de 12,0 cm^2 de sección transversal y 2,50 cm de espesor, está sujeta a las temperaturas de 20,0 °C y 80,0 ºC en sus caras. (K_{pb} = 0,0800 cal/cm.s ºC). Se pide:

a) La cantidad de calor que fluye en 15,0 s

b) Encuentre una expresión para la temperatura dentro de la placa en función de x. (asuma x = 0 en una de las caras)
c) Grafique T vs x y encuentre la temperatura en x = 1,50 cm



Solución

a) $H = KA\Delta T/L = 0{,}0800x12{,}0x60{,}0/2{,}50 = 23{,}0$ cal/s;
   H = Q/t; cantidad de calor que fluye: Q = Ht =346 cal
b) H = KA(80,0 – 20,0)/2,50 =KA(80,0 –Tx)/x;
   Temperatura dentro de la placa en función de x: T(x) = 80,0 – 24,0x
c) Grafica T(x) vs x.

   x = 1,50 cm; T = 44,0°C

Fig. 7.24 Gráfica de la temperatura en función de la posición al interior de la lámina de plomo. Ejercicio 7.9

EJERCICIO 7.10

La figura muestra el comportamiento térmico en un ensayo de laboratorio con 22,5g de una muestra A y 35,0g de una muestra B.

a) Calcular el calor específico de cada material.
b) Si ambas muestras se encuentran a 22,0°C y se llevan a un horno de 1500 W, determine el calor suministrado y la temperatura que alcanza cada muestra al cabo de 25,0 s

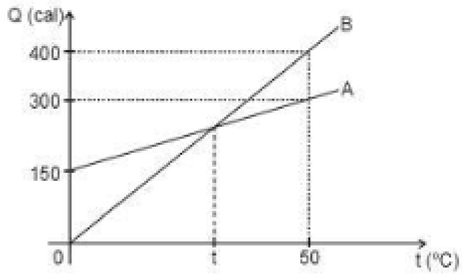


Fig. 7.25. Temperatura en función del tiempo para dos sustancias diferentes a medida que reciben calor. Ejercicio 7.10

Solución

a) $Q_A = m_A c_{e,A}\, \Delta T_A$; $150 = 22{,}5c_{e,A}(50)$; Calor especifico de A: $c_{e,A} = 0{,}133$ cal/g°C.
   $Q_B = m_B c_{e,\,B}\, \Delta TB$; $400 = 35c_{e,\,B}\,(50)$; Calor especifico de B: $c_{e,\,B} = 0{,}229$cal/g°C
b) Cuando t= 25,0s;
   Calor suministrado al material A: Q_A = Pt = 1500x25, 0= 37500 J = 8971 cal;
   Q_A = 8971 = 22,5x0, 133(T_A-150); Temperatura que alcanza A: $T_A = 3{,}15x10^3$°C;
   Calor suministrado al material B: Q_B = Pt = 1500x25, 0= 37500 J = 8971 cal;
   Q_B = 8971 = 35,0x0, 229(T_B-0); Temperatura que alcanza B: T_B= 1,12x103°C;

EJERCICIO 7.11

Se le entrega calor a una muestra sólida de 450g con una potencia de 230 W, registrándose su temperatura en función del tiempo, de acuerdo al gráfico que se adjunta.

a) Calcule el calor latente de fusión del sólido
b) Determine los calores específicos de los estados sólido y líquido del material.
c) Cuantas calorías se le debe suministrar a 150g de la muestra a 5,00°C para elevar su temperatura hasta 30,0°C

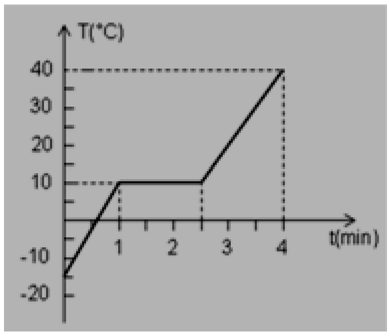


Fig. 7.26 Grafica de la temperatura en función del tiempo de una inicialmente sustancia solida recibiendo calor. Ejercicio 7.11.

Solución

a) $Q = mL_f$; $230x1{,}50x60 = 450L_f$; Calor latente de fusión: $L_f = 46{,}0$ J/g
b) $Q = mc_{e,s}\,\Delta T$; $230x1{,}00x60 = 450c_{e,s}(25{,}0)$; Calor especifico del solido: $c_{e,s} = 1{,}23$J/g°C
   $Q = mc_{e,l}\,\Delta T$; $230x1{,}50x60 = 450xc_{e,l}\,(30{,}0)$; Calor especifico del líquido: $c_{e,l} = 1{,}53$ J/g°C
c) $Q = mc_{e,s}\,\Delta T + mL_f + mce{,}l\Delta T = 450x(1{,}23x5{,}00 + 46{,}0 + 1{,}53x20{,}0) = 8{,}91$ kcal

EJERCICIO 7.12

Se introducen 250g de una sustancia sólido en 0,600 L de agua a temperatura inicial de 50,0 ˚C. El sistema llega al equilibrio, habiéndose fusionado todo el sólido. Las temperaturas del sólido y del agua se muestran en la gráfica adjunta. Hallar:

a) El calor total que recibe la sustancia hasta que se derrite completamente.
b) El calor específico del sólido.
c) El calor latente de fusión del sólido.

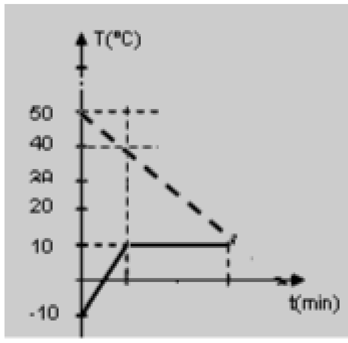


Fig. 7.27 Temperatura en función del tiempo de dos sustancias en contacto térmico. Ejercicio 7.12

Solución

a) $Q = mce\Delta T = 600x1{,}\ 00x\ (50{,}0\text{-}10{,}0) = 2{,}40x10^4$ cal
b) Calor cedido por el agua al solido: $Q = mce\Delta T = 600x1{,}00x(50{,}0\text{-}40{,}0) = 6{,}00x10^3$ cal
   Cambio de temperatura en el sólido: $Q = Mc_{e,s}\Delta T$; $6{,}00x10^3 = 250c_{e,s}(20{,}0)$;
   Calor específico del sólido $c_{e,s} = 1{,}20$cal/g°C
c) Calor cedido por el agua durante la fusión: $Q = mce\Delta T = 600x1{,}00x(40{,}0\text{-}10{,}0) =$ 18,0kcal
   Fusión del solido: $Q = ML_f$; $18{,}0x10^3 = 250L_f$;
   Calor latente de fusión del sólido: $L_f = 72{,}0$ cal/g

EJERCICIO 7.13

El diagrama adjunto muestra la temperatura de una sustancia A, de masa 200 g, en función del calor que se le suministra, a ritmo constante. Calcular:

a) Los calores específicos del sólido y del líquido.

b) El calor de fusión.

c) Se tiene 200 g de otra sustancia B con un calor específico igual al doble de la anterior, ($ce_{B,S} = 2ce_{A,S}$), igual calor latente de fusión pero la mitad del calor específico en la fase liquida ($ce_{B,l} = ce_{A,l}/2$). Temperatura de fusión igual a 80 °C. Trazar una gráfica T vs Q para la sustancia B similar a la anterior mostrando los datos en los ejes coordenados.

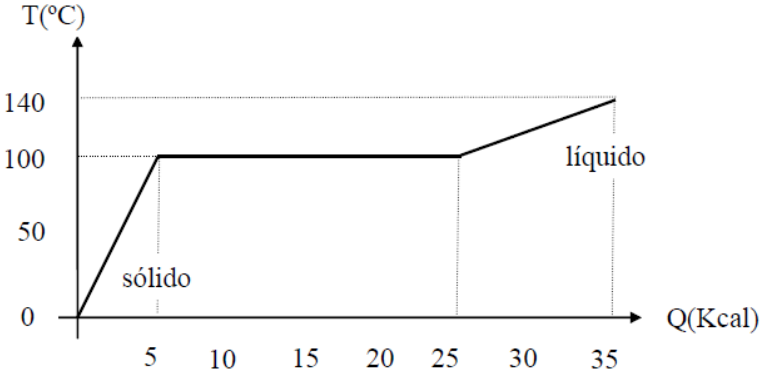


Fig. 7.28 Temperatura en función del calor absorbido por una muestra. Ejercicio 7.13

Solución

a) $ce_s = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{5{,}0x10^3}{200x100} = 0{,}25cal/g°C$

$$ce_l = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{(35-25)x10^3}{200x(140-100)} = 1{,}25cal/g°C$$

b) Q = mL_f; $L_f = \frac{(25-5)x10^3}{200} = 25cal/g$

c)

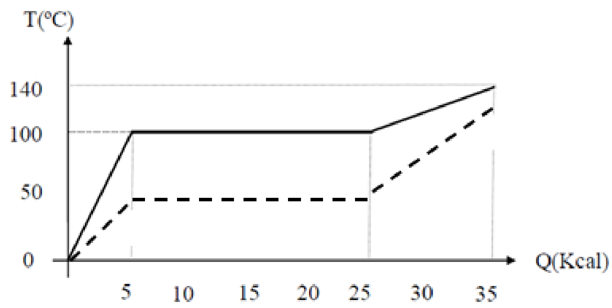


Fig. 7.29 Temperatura en función del tiempo de dos sustancias en contacto térmico. Ejercicio 7.13

EJERCICIO 7.14

En un calorímetro cuya capacidad térmica es de 65,0 cal/ºC, se tienen 140 g de agua a 20,0 ºC. Si se le echan 210 g de plomo a la temperatura de 130ºC, (Ce_{plomo} = 0,0305 cal/g C), se pide:

a) la temperatura final del sistema.

b) la cantidad de calor que cede el plomo

c) La cantidad de calor que absorbe el agua

Solución

a) ∑Q = 65,0x(T-20,0) + 140x1,00x(T-20,0) +210x0,0305x(T-130) =0; T = 23,3°C

b) Q = 210x0,0305x(23,3-130) = -683 cal
c) Q = 140x1,00x(23,3 – 20,0) = 462 cal

EJERCICIO 7.15

Un cuerpo de 700 g de masa tiene un calor específico de 0,9 cal/gºC y una temperatura inicial de 74ºC. Empleando un horno eléctrico logramos que en 5 minutos alcance los 135ºC y empiece la ebullición que dura 9 minutos. Determinemos el calor latente de ebullición de ese cuerpo.

Solución

Para elevar la temperatura hasta el punto de ebullición ha hecho falta un calor de: Q1 = 900 0.9 (135 -74) = 38430 cal Así sabemos que el horno suministra cada minuto: 38430/5= 7686 cal/min Como la ebullición ha durado 9 minutos, el calor que se habrá empleado en ese proceso es: Q2 = 7686 9 = 69174 cal Sí que el calor latente de ebullición (por cada gramo) será: ceb = 69174/700 = 98,8 cal/g

EJERCICIO 7.16

Un trineo de 200 kg de masa desciende, partiendo del reposo, por una pendiente de hielo de 80 m de desnivel. Al alcanzar el llano, su velocidad es de 11,11 m/s. Calculemos las calorías que se han producido.

Solución.

La energía del trineo en la parte superior es: Ep = mgh = 156800 J La energía cinética al pie de la pendiente es: Ec = ½mv2 = 12357,37 J La energía perdida (convertida en calor) es: Q = 144442,63 J = 34555,65 cal donde hemos aplicado el factor de conversión de Joule (1cal = 4,18 J).

EJERCICIO 7.18

Un carpintero construye una pared de madera (K= 0,0750 W/mºK) de 2,20 cm de espesor con 6,50 m^2 de área por el exterior y una capa de espuma aislante (K= 0,0120 W/mºK) de 3,40 cm de espesor de la misma área por el interior. La temperatura de la superficie interior es de 18,0 ºC y la exterior de -12,0 ºC. Calcular:

a) La temperatura de la unión de la madera con la espuma.
b) El flujo de calor a través de la pared compuesta.
c) El grosor de la capa de espuma para reducir la perdida de calor hasta el 60%

Solución

a) madera: H = 0,0750x6,50x(T+12,0)/0,0220 --------------------------- (7.22)
Espuma: H = 0,0120x6, 50x (18,0 – T)/0,0340 --------------------- (7.23)
Resolviendo ambas ecuaciones:
Temperatura de la unión de la madera con la espuma: T = -9,18°C
b) H = 62,4 W
c) madera: 37,4 = 0,0750x6,50x(T+12,0)/0,0220; T = -10,3°C

Espuma: 37,4 = 0,0120x6, 50x (18,0 +10,3)/d; d = 0,0590 m = 5,90 cm

EJERCICIO 7.19

Una barra cilíndrica de 2,30 m de longitud está formada por un núcleo macizo de acero de 1,20 cm de diámetro, rodeado de una envoltura de cobre cuyo diámetro exterior es de 2,00 cm. La superficie exterior de la barra está aislada térmicamente. El extremo izquierdo se encuentra conectado a un reservorio con vapor de agua a la temperatura T_1=100°C y el extremo derecho a un reservorio con hielo a la temperatura T_2=0°C. Si las conductividades térmicas son: cobre = 385 W/mK y acero = 50,2 W/mK. (Fusión del agua = 80 cal/g; evaporación del agua = 540 cal/g). Calcular:

a) El flujo calorífico que transporta cada material.
b) La cantidad de hielo que se funde en 12,0 min.
c) La cantidad de vapor que se condensa en 12,0 minutos

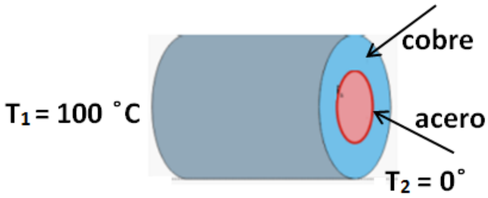


Fig. 7.30 Cilindro con núcleo macizo trasmitiendo calor por conducción. Ejercicio 7.14

Solución

a) $H_{ac} = 50,2x\pi x0,00600^2x(100\text{-}0)/2,30 = 0,246$ W

$H_{cu} = 385x\pi\ (0,0100^2\text{-}0,00600^2)\ x\ (100\ \text{-}0)/2,30 = 3,37$ W

b) Q = Ht = (0,246 + 3,37)x12,0x60 = 2,60 kJ

$M_h = Q/L_f = 7,79$ g de hielo

c) M_v = 2604/540x4,18 = 1,15 g de vapor

EJERCICIO 7.20

La figura muestra dos barras de la misma sección transversal A = 90,0 cm^2, que conducen calor, una de cobre (K_{cobre}= 0,92 cal/s-cm-°C; L_1= 80,0 cm) y la otra de acero (K_{acero}= 0,12 cal/s-cm-°C, L_2), que conducen calor desde el reservorio con vapor de agua a la temperatura T_1= 100°C al reservorio de hielo a la temperatura T_2= 0°C. Si la temperatura de la unión cobre-acero es Tx= 60,0°C. (L_v = 540 cal/g; L_f = 80cal/g). Determine:

a) La longitud L_2 de la barra de acero
b) La cantidad de vapor condensado y la cantidad de hielo derretido en un tiempo t = 2,00 min
c) Haga una gráfica de T vs x a lo largo de las barras, considerando x = 0 el extremo izquierdo de la barra de cobre.

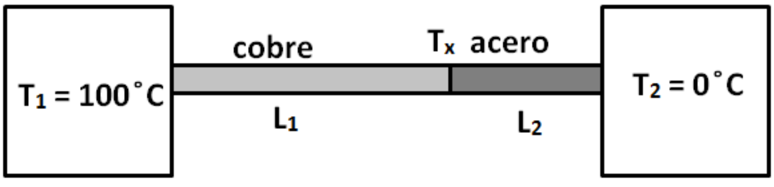


Fig. 7.31 Barra compuesta transmitiendo calor por conducción. Ejercicio 7.20

Solución

a) $H = K_{cu}A\Delta T/L_1$ = 0,92x 90,0x(100-60,0)/80,0 = 41,4 cal/s;
H_{acero} = 0,12x90, 0x (60,0-0)/L_2 = 41,4;
La longitud L_2 de la barra de acero: L_2 = 15,7 cm

b) $Q = Ht = m_vL_v$;
   a. Cantidad de vapor condensado: m_v = 41,4x2,00x60/540 =9,20 g

Q = Ht = 41,4x2, 00x60 = m_h (80); cantidad de hielo derretido: mh = 62,1 g

c) Grafica T vs x

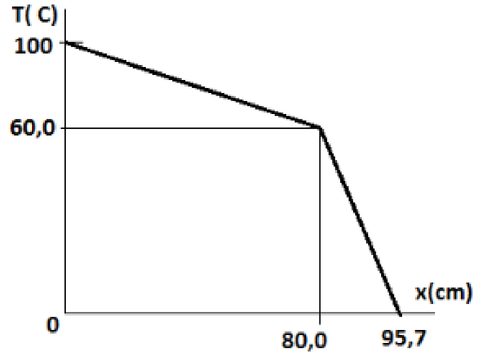


Fig. 7.32 Grafica de la temperatura en función de la posición a lo largo de la barra compuesta. Ejercicio 7.15

EJERCICIO 7.21

Una barra de cobre (K_{Cu}=397 W/m°C) está unida a una barra de aluminio (K_{Al} = 238W/m°C) de la misma sección recta A=18,0 cm^2. Un extremo de la barra compuesta está sumergido en vapor de agua a 100°C y el otro extremo en una mezcla de agua y hielo (0°C). La temperatura de la unión cobre - aluminio es de 35,0°C.
Siendo el régimen estacionario, se pide:

a) Cantidad de calor que pasa por la barra de cobre en los primeros 1,20 minutos
b) La longitud L de la barra de cobre
c) Haga una gráfica de T vs x a lo largo de las barras, considerando x = 0 el extremo izquierdo de la barra de aluminio.

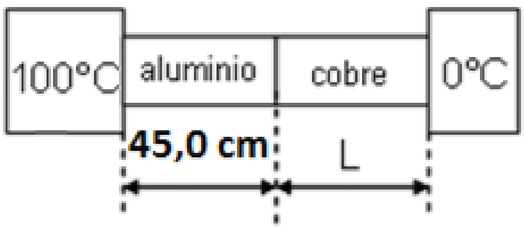


Fig. 7.33 Barra compuesta transmitiendo calor por conducción. Ejercicio 7.21

Solución

a) $H = K_{Al}A\Delta T/d$ = 238x18, 0x10^{-4}x (100- 35,0)/0,450 = 61,9W

H = Q /t; Cantidad de calor: Q = 61,9x1, 20x60 = 4,46x10^3 J

b) 61,9 = 397x18, 0x10^{-4}x (35,0-0)/L; longitud L de la barra de cobre L = 0,404 m

c) Grafica T vs x.

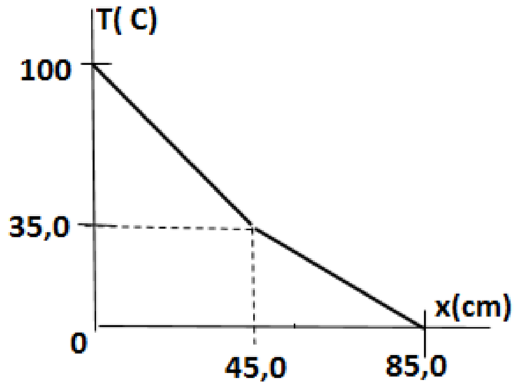


Fig. 7.34 Grafica de la temperatura en función de la posición para una barra compuesta transmitiendo calor por conducción. Ejercicio 7.21

EJERCICIO 7.22

Sea una barra de longitud 1,20 m, de área transversal 58,2 cm^2 y de conductividad térmica 0,850 cal/°C-s-cm. El extremo izquierdo está en contacto con vapor de agua a 100 °C mientras el otro extremo está en contacto con hielo a 0 °C. Si $L_{fusión}$= 80 cal/g, L_{vapor}= 540 cal/g. Se pide:

a) La temperatura al interior de la barra en función de(x), siendo x=0 el extremo izquierdo de la barra.
b) Graficar en un sistema coordenado T vs x
c) La cantidad de hielo que se funde y la cantidad de vapor que se condensa en 50,0 s

Solución

a) H = 0,850x58, 2x (100-0)/120 = 41,2 cal/s
   H = 41,2 =0,850x58, 2(100 – T)/x; temperatura al interior de la barra: T = 100 – 0,833 x.
b) Grafica T vs x

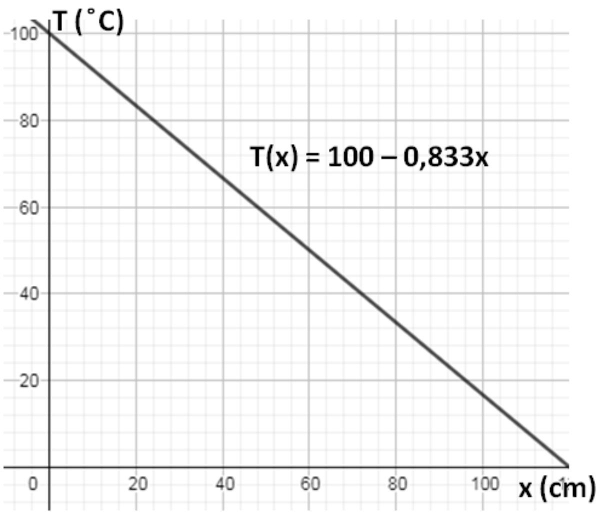


Fig. 7.35 Grafica de la temperatura en función de la posición al interior de la barra. Ejercicio 7.23

c) Q =Ht = 41,2x50 = 2,06 kcal

Cantidad de hielo que se funde: $M_h = Q/L_h = 2{,}06x10^3/ 80 = 25{,}8$ g

Cantidad de vapor que se condensa: Mv = Q/Lv = 3,81 g

EJERCICIO 7.23

Una olla con fondo de aluminio de 2,10 cm de espesor esta sobre una estufa caliente. La superficie del fondo de la olla es de 800 cm^2. En el interior de la olla hay agua a 100ºC, y cada 4,50 minutos se evaporan 700 g. (L_v = 540 cal/g; K_{Al} = 209 W/m°C). Se pide:

a) El flujo de calor que ingresa a la olla.
b) La temperatura de la superficie inferior de la olla, que está en contacto con la estufa.
c) En cuanto tiempo se evaporan 150 g de agua

Solución

a) En 4,50 minutos se necesitas: $Q = mL_v = 700x540 = 3{,}78x10^5$ cal
   El flujo de calor que ingresa a la olla: H = Q/t = 3,78x105 /(4,50x60) = 1,40 kcal/s
b) Flujo de calor en la base de la olla: H = KAΔT/L;
   1400x4, 18 = 209x0, 0800x (T-100) /2, 10x10^{-2};
   La temperatura de la superficie inferior de la olla T = 107°C
c) H = Q/t; tiempo de evaporación: t = 150x540x4, 18/(1400x4, 18) = 57,9 s

EJERCICIO 7.24

A una olla de aluminio ($K_{aluminio}$= 0,040 J/m-s-°C) de área de la base 150 cm^2 y 5,00 mm de espesor que contiene agua en ebullición, se le está suministrando calor mediante una hornilla. Si se evaporan 14,0 g de agua por minuto, y el calor latente de evaporación del agua es 540 cal/g, hallar:

a) La potencia con que la hornilla suministra calor al agua a través de la base de la olla.
b) La temperatura de la hornilla
c) El tiempo en evaporarse los 1,50 l de agua en la olla.

Solución

a) $P = \frac{Q}{t} = \frac{mL_v}{t} = \frac{14x540}{60} = 527\ W$
b) $P = H = \frac{KA\Delta T}{d}$
   $527 = \frac{0{,}040x150x10^{-4}x(T_h - 100)}{5{,}00x10^{-3}}$;
   Resolviendo; temperatura de la hornilla: $T_h = 4{,}49x10^3$ ℃
c) $P = \frac{Q}{t} = \frac{mL_v}{t}; 527 = \frac{1{,}50x10^3x540x4{,}18}{t}$; resolviendo,

   Tiempo de evaporación: t = 6425 s = 1,78 h

EJERCICIO 7.25

A una olla de aluminio ($K_{aluminio}$= 0,040 J/m-s-℃) de área de la base 520 cm^2 y espesor 4,20 mm que contiene agua en ebullición, se le suministra calor mediante un mechero. Si se evaporan 15,0 g de agua por minuto, y el calor latente de evaporación del agua es 540 cal/g, (1 cal = 4,18 J). Halle:

a) La cantidad de calor por segundo que llega al agua a través de la base de la olla
b) la temperatura en la base de la olla. Considerando la temperatura de ebullición del agua.
c) el calor suministrado durante 1,20 minutos

Solución

a) H = mL_v/t = 15,0x540/60 = 135 cal/s = 564 W
b) 135x4,18 = 0,04x520x10-4x(T-100)/4,20x10^{-3};
Resolviendo. Temperatura en la base de la olla: T = 1239°C
c) Q = Ht = 135x72 = 9720 cal = 40,6 kJ

EJERCICIO 7.26

La pared compuesta de un horno, consiste en tres materiales de igual área transversal, dos de los cuales son de conductividad térmica conocida, K_A =20 W/m°C y K_C =50W/m°C. De espesores conocidos d_A=0,20 m y d_C=0,15 m. el tercer material B que se intercala entre A y C tiene espesor conocido d_B=0,12 m, pero conductividad K_B desconocida. En condiciones de estado estable, las mediciones indican que la pared de la superficie externa en el material C es de T4 =20°C y la superficie entre A y B está a T2 = 600°C, con una temperatura interna del horno T1= 800°C. Se sabe que el flujo de calor desde el interior del horno es de 250 W y tiene la dirección del eje X, siendo x= 0 al interior del horno. Se pide:

a) El área de la pared
b) El valor de K_B
c) Una gráfica en un sistema coordenado, de la Temperatura (T) vs. desde el interior del horno hasta la, parte externa.

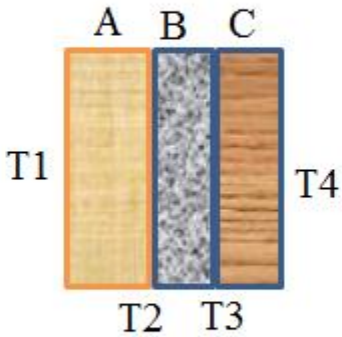


Fig. 7.36 Temperaturas en la pared compuesta. Ejercicio 7.26

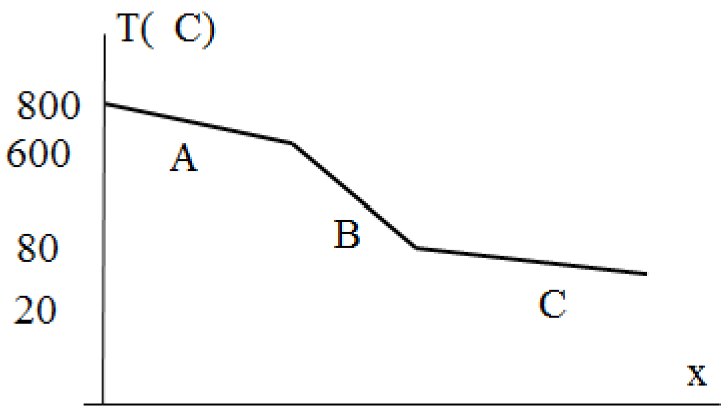
Solución

a) $H = \frac{K_A A(T_1 - T_2)}{d_A}$; $250 = \frac{20A(800-600)}{0,20}$; A = 12,5x10^{-3} m^2

b) $H = \frac{K_C A(T_3 - T_4)}{d_C}$; $250 = \frac{50A(T_3-20)}{0,15}$; T3 = 80 °C

$H = \frac{K_B A(T_2 - T_3)}{d_B}$; $250 = \frac{K_B A(600-80)}{0,12}$; KB = 4,6 W/m°C c)

Fig. 7.37 Temperatura en la pared compuesta. Ejercicio 7.26



EJERCICIO 7.27

A una olla de aluminio (Kaluminio= 0,040 J/m-s-□C) de área de la base 520 cm^2 y espesor 4,20 mm que contiene agua en ebullición, se le suministra calor mediante un mechero. Si se evaporan 15,0 g de agua por minuto, y el calor latente de evaporación del agua es 540 cal/g, (1 cal = 4,18 J). Halle:

a) La cantidad de calor por segundo que llega al agua a través de la base de la olla
b) la temperatura en la base de la olla. Considerando la temperatura de ebullición del agua.
c) el calor suministrado durante 1,20 minutos

Solución

a) H = mLv/t = 15,0x540/60 = 135 cal/s = 564 W
b) $135x4,18 = 0,04x520x10^{-4}x(T-100)/4,20x10^{-3}$; T = 1239°C
c) Q = Ht = 135x72 = 9720 cal = 40,6 kJ

EJERCICIO 7.28

Una ventana de cristal está constituida por dos hojas de vidrio, cada una de 3,20 m^2 de área, 0,450 cm de espesor y separadas por una capa de aire de 0,600 cm de espesor. Si el interior está a 23,0 ºC y el exterior a -10,0 ºC, (Kaire = 5,7 x 10^{-5} cal/s.cm.ºC , Kvidrio = 2 x 10^{-3} cal/s.cm.ºC). Halle:

a) el flujo de calor a través de la ventana
b) Las temperaturas en las caras internas de las hojas de vidrio
c) La cantidad de calor que se pierde al exterior en 0,250 hrs.

Solución

a) H = KvA(23,0-Tx)/Lv; 23,0 –Tx = HLv/KvA
H = KaA(Tx – Ty)/La; Tx – Ty = HLa/KaA
H = KvA(Ty +10,0)/Lv; Ty +10,0 = HLv/KvA
Sumando: $23,0 + 10,0 = H\ (0,45/2x10^{-3}+0,600/5,7x10^{-5}+0,45/2x10^{-3})/3,20x10^{4}$; H = 96,2 cal/s
b) $Tx = 23 – 96,2x0,450/2x10^{-3}x3,20x10^{4}$ = 22,3 ◦C
$Ty = 96,2x0,45/2x10^{-3}x3,20x10^{4}$ -10,0 = -9,32◦C
c) Q = Ht = 96,2x0,25x3600 = 86,5kcal

EJERCICIO 7.29

La figura muestra dos barras de la misma sección transversal $A = 90,0\ cm^2$, que conducen calor , una de cobre (K_{cobre}= 0,92 cal/s-cm-°C L_1= 80 cm) y la otra de acero (K_{acero}= 0,12 cal/s-cm-°C ,L_2), que conducen calor desde el reservorio con vapor de agua a la temperatura T_1= 100°C al reservorio de hielo a la temperatura T_2= 0°C. Si la temperatura de la unión cobre-acero es T_x= 60,0°C. (Lv = 540 cal/g; Lf = 80cal/g). Determine:

a) El valor de L_2
b) La cantidad de vapor condensado y la cantidad de hielo derretido en un tiempo t = 2 min
c) Haga una gráfica de T vs x a lo largo de las barras, considerando x = 0 el extremo izquierdo de la barra de cobre.

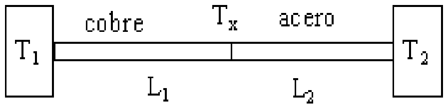
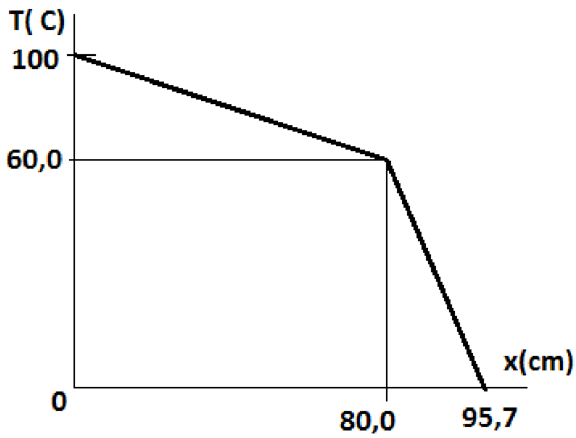


Fig. 7.38 Temperatura en las barras. Ejercicio 7.29

Solución

a) $H = K_{cu}A\Delta T/L_1 = 0,92x\ 90,0x(100-60)/80 = 41,4$ cal/s;
$H_{acero} = 0,12x90,\ 0x\ (60-0)/L_2 = 41,4$; $L_2 = 15,7$ cm
b) $Q = Ht = m_vL_v$; $m_v = 41,4x2x60/540 = 9,20$ g
$41,4x2x60 = m_h(80)$; $m_h = 62,1$ g

Fig. 7.39 Temperatura en función de la posición. Ejercicio 7.29



EJERCICIO 7.30

Sea una barra de longitud 1,20 m, de área transversal 58,2 cm^2 y de conductividad térmica 0,850 cal/°C-s-cm. El extremo izquierdo está en contacto con vapor de agua a 100 °C mientras el otro extremo está en contacto con hielo a 0 °C. Si L_{fusion}= 80 cal/g, L_{vapor}= 540 cal/g. Se pide:

a) La temperatura al interior de la barra en función de(x), siendo x=0 el extremo izquierdo de la barra.
b) Graficar en un sistema coordenado T vs x

c) La cantidad de hielo que se funde y la cantidad de vapor que se condensa en 50 segundos

Solución

a) H = 0,850x58,2x(100-0)/120 = 41,2 cal/s

H = 41,2 =0,850x58,2(100 – T)/x;
T = 100 – 0,833 x.

b) Grafica T vs x

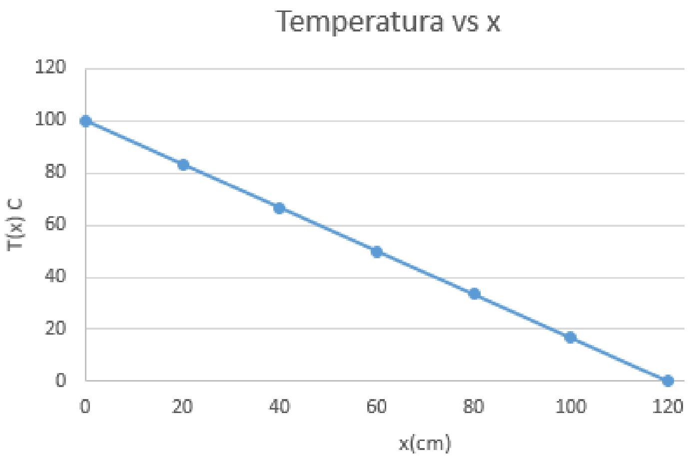


Fig. 7.40 Temperatura en función de la posición. Ejercicio 7.30

c) Q =Ht = 41,2x50 = $2,06x10^3$ cal

Mh = Q/Lh = $2,06x10^3$/ 80 = 25,8 g

Mv = Q/Lv = 3,81 g

PROBLEMAS PROPUESTOS

PROBLEMA 7.1

Sobre un cubo de hielo a 0°C se coloca una moneda de plata de 1,5 cm de diámetro, de 15,0 g que se encuentra a 85,0°C. La moneda desciende, manteniéndose horizontal, hasta recorrer una distancia h hasta que llega a 0 °C. Sin considerar las pérdidas de calor hacia el medio ambiente, se pide:
(ρ_{hielo} = 920 kg/m^3; $ce_{,Ag}$ = 5,59x10^{-2} cal/g°C; L_f = 80 cal/g)

a) La cantidad de calor que cede la moneda
b) La cantidad de hielo que se derrite
c) La altura h que desciende la moneda

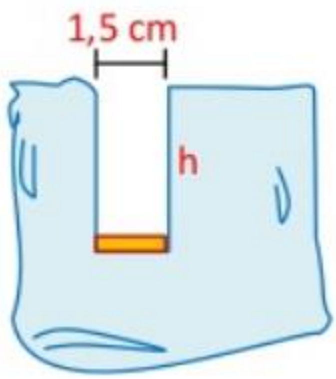


Fig. 7.41 Temperatura en función de la posición. Problema 7.1

PROBLEMA 7.2

La figura representa la evolución de la temperatura en función del calor intercambiado cuando, en un recipiente aislado térmicamente que contiene 700 gramos de cierto sólido (A), se introducen 120 gramos de un sólido desconocido (B). a) ¿Cuál es el calor latente de fusión de A? b) ¿Cuál es el calor específico de B?

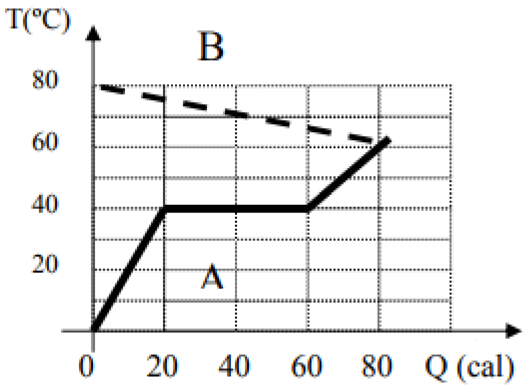


Fig. 7.42 Temperatura en función de la posición. Problema 7.2

PROBLEMA 7.3

Se tiene una terma que suministra agua caliente continuamente. La figura muestra un diseño de prueba. Si la energía que suministra la resistencia por unidad de tiempo para calentar el agua es de 430 cal/s. La temperatura con la que ingresa el agua es 18 °C y la de salida es de 68 °C. ¿Cuál debe ser caudal para que la temperatura de salida se mantenga constante?

PROBLEMA 7.4

Para una parrilla, se tiene un trozo de carne de 1,25 kg que está en el congelador a una temperatura de -5 °C. Considerar que el trozo de carne está compuesto en un 75% de agua y el resto de su peso lo componen las proteínas y las grasas.

a) Determina la cantidad de calor necesaria para descongelar la carne asumiendo que solamente el agua cambia de estado.
b) Para descongelar a la carne y dejarla a la temperatura ambiente de 20 °C se la coloca en 5 litros de agua. ¿Qué temperatura inicial debería tener el agua?
c) Si un pedazo de ésta carne (forma de paralelepípedo) se coloca sobre una plancha de fierro de 1 cm de espesor a 80 °C, determinar el flujo de calor por conducción absorbido por la carne. El pedazo de carne tiene 250 g, un grosor de 2 cm y un área transversal de 250 cm^2

.

DATOS: Ce GRASAS Y PROTEÍNAS= 1,5 cal/g °C y k_{FIERRO}= 80,3 W/m K

PROBLEMA 7.5

Se sumerge una resistencia eléctrica en un líquido y se disipa energía eléctrica durante 100 s a un ritmo constante de 50 W. La masa del líquido es de 530 g y su temperatura aumenta desde 17,64 °C hasta 20,77 °C. Hallar el calor específico medio del líquido en éste intervalo de temperaturas.

PROBLEMA 7.6

Se sumerge una resistencia eléctrica en un líquido y se disipa energía eléctrica durante 100 s a un ritmo constante de 50 W. La masa del líquido es de 530 g y su temperatura aumenta desde 17,64 °C hasta 20,77 °C. Hallar el calor específico medio del líquido en éste intervalo de temperaturas.

PROBLEMA 7.7

Una olla de aluminio (K = 0,0420 $\frac{J}{m.s.^0C}$), de 20,0 cm. de altura, cuya área de la base es 400cm^2, espesor de 3,50 mm, está llena con agua 100 ^{0}C. Una cocinilla cuyas llamas alcanzan la temperatura de 2000^{0}C le proporciona calor. La densidad del agua a 100 °C es 958 kg/m^3. Lv = 540 cal/g.

a) ¿Cuál es la potencia de la hornilla que calienta la olla?
b) Considerando que la pérdida del calor proveniente de la hornilla hacia el exterior es del 8,20%: ¿En qué tiempo se evapora toda el agua?
c) Si estando la olla vacía la llenamos con agua a 18 °C, ¿Qué tiempo tarda en llegar el agua hasta los 100 °C, considerando la misma hornilla?.

PROBLEMA 7.8

Dos ambientes a temperaturas T_1 y T_2, están separados por un espacio de longitud L; Se cubre este espacio con tres materiales diferentes (1, 2 y 3) con dos arreglos diferentes (a) y (b). Para cada arreglo, las dimensiones de los materiales son iguales, pero de conductividades K_1 = 20,0 W/mC, K_2=30,0W/mC y K_3=40,0W/mC. En el arreglo (a) fluyen 600 calorías en 120 segundos, se pide:

a) Las temperaturas T_1 y T_2 de los ambientes
b) Las temperaturas en las intercaras del arreglo (a)
c) El flujo de calor en el arreglo (b) y el tiempo que tardan en pasar las 600 calorías

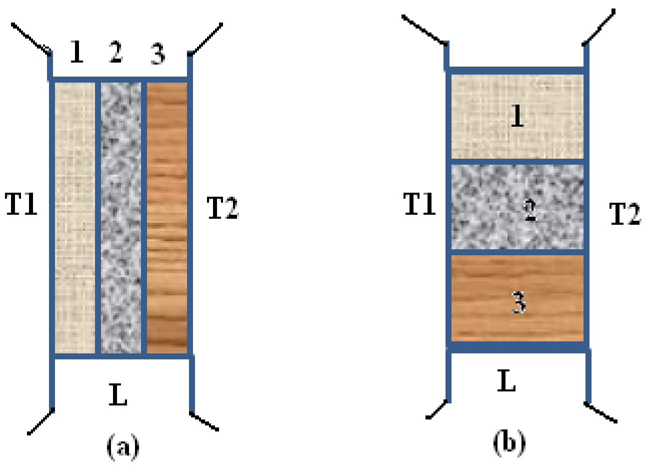


Fig. 7.43 Temperatura en función de la posición. Problema 7.8

PROBLEMA 7.9

Una habitación a la temperatura de 19ºC está separada del exterior con temperatura 4,0ºC mediante un muro de 15 cm de espesor, 2,5×3,5 m^2 de área, y conductividad térmica 1,4 kcal / (m.K.hora). Hallar:

a) La potencia calórica que atraviesa el muro
b) El calor transmitido durante 30 minutos
c) El espesor de una capa aislante de conductividad 0,035 kcal/(m.K.hora) para reducir el flujo a la cuarta parte

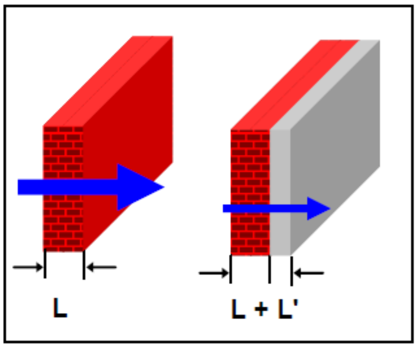


Fig. 7.44 Temperatura en función de la posición. Problema 7.9

PROBLEMA 7.10

La pared de un horno industrial está compuesta de 25,0 cm de ladrillo de barro refractario en la cara interior, una capa intermedia de 8,00 cm de ladrillo aislante y una capa exterior de 12,0 cm de ladrillo de mampostería (en la figura se muestra una sección del mismo). Las conductividades térmicas respectivas son: K_1 = 0,150 W/m.K, K_2 = 0,025 W/m.K y K_3 = 0,120 W/m.K. Las temperaturas interior y exterior son 250 ºC y 22 ºC, respectivamente. Calcular:

a) Las temperaturas de las superficies interiores, T_{12} y T_{23}, de los respectivos ladrillos.
b) El flujo de calor que se transmite en un área transversal de 2,00 m^2
c) La cantidad de calor que se pierde, en una hora por metro cuadrado, hacia el exterior

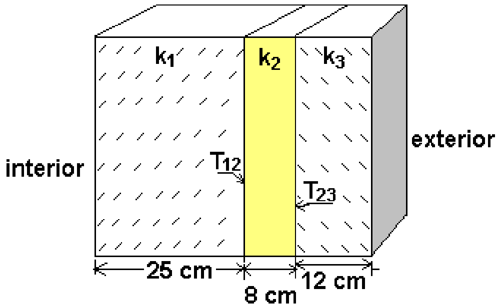


Fig. 7.45 Temperatura en función de la posición. Problema 7.10

PROBLEMA 7.11

Cierta sustancia de 1,50 kg se pone en contacto con una fuente de calor, la cual le suministra calor a razón de 500 W. La temperatura de la sustancia se muestra en la gráfica en función del calor absorbido. Hallar:

a) El calor latente de fusión
b) El calor especifico de la fase liquida
c) El tiempo que tarda todo el proceso de ebullición.

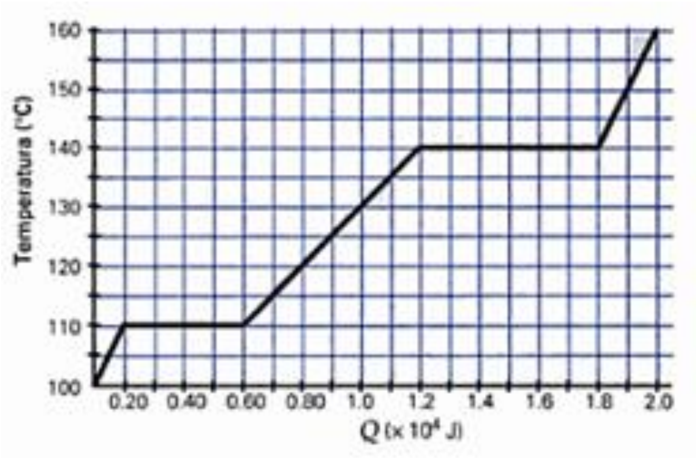


Fig. 7.46 Temperatura en función de la posición. Problema 7.11

PROBLEMA 7.12

Una pared extensa de conductividad K_2= 0,800 W/mK, está cubierta por dos capas de material de conductividad K_1. El sistema separa dos ambientes. Las temperaturas tomadas en los diferentes puntos, en estado estacionario, se muestran en la gráfica. Hallar:

a) La conductividad K_1
b) El flujo de calor a través de las paredes por unidad de área
c) Si se desea reducir el flujo de calor a la mitad, determine el espesor (d_1) que deberían tener las capas cobertoras.

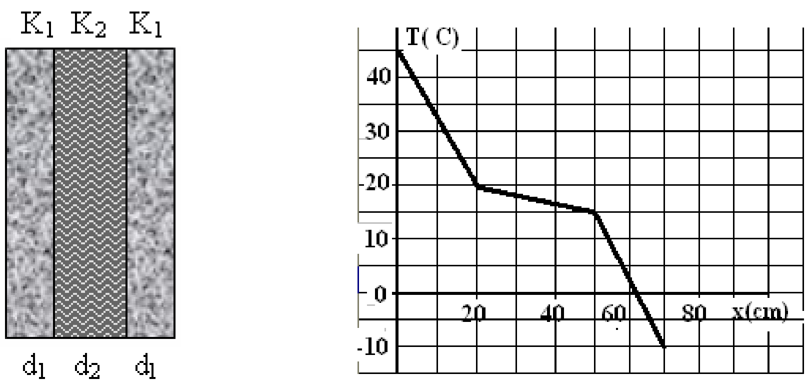


Fig. 7.47 Temperatura en función de la posición. Problema 7.13

PROBLEMA 7.13

Considere una casa de ladrillos (conductividad térmica = 0.55W/mK) calentada eléctricamente cuyas paredes tienen 0,30m de espesor. En cierto día, se mide la temperatura de la superficie interior y resulta ser de 21°C, en tanto que se observa que la temperatura promedio de la superficie exterior permanece en –3,0°C durante el día por 10 h, y en 5,0°C en la noche por 14 h. Se pide:

a) El flujo de calor desde el interior de la casa durante el día y durante la noche

b) El calor total perdido por la casa ese día.

c) el costo de esa pérdida de calor para el propietario, si el precio de la electricidad fuese de 0,600 soles/kWh.

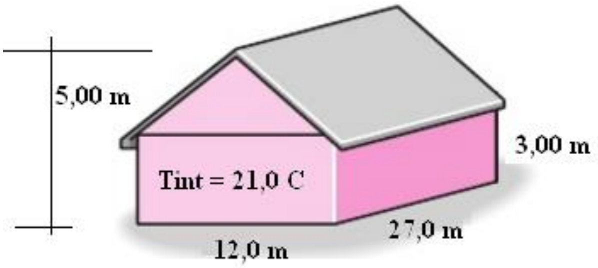


Fig. 7.48 Temperatura en función de la posición. Problema 7.13

PROBLEMA 7.14

Es una observación cotidiana al hecho que los objetos calientes se enfrían y los fríos se calientan hasta alcanzar la temperatura de sus medios ambientes. Si la diferencia de temperatura entre un objeto y su medio ambiente no es demasiado grande, la rapidez de enfriamiento o de calentamiento es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el objeto y su medio ambiente, es decir: $d(\Delta T)/dt = -k\Delta T$ En donde K es una constante. El signo negativo aparece porque ΔT decrece con el tiempo τ si ΔT es positiva y viceversa. Esto se conoce como la ley de Newton del enfriamiento.
Si en el instante $\tau = 0$, la diferencia de temperatura en ΔT_0, demostrar que en un tiempo posterior será: $\Delta T = \Delta T_0 e\text{-}^{kt}$

PROBLEMA 7.15

Para su cabaña campestre, usted decide construir un primitivo refrigerador de espuma de poliestireno y planea mantener fresco el interior con un bloque de hielo, cuya masa inicial es de 24,0 kg. La caja tiene dimensiones de 0.500 m 30,800 m 30,500 m. El agua del hielo derretido se recolecta en el fondo de la caja. Suponga que el bloque de hielo está a 0,00 °C y que la temperatura exterior es de 21,0 °C. Si la tapa de la caja vacía nunca se abre y usted desea que el interior de la caja permanezca a 5,00 °C durante una semana exactamente, hasta que el hielo se derrita, ¿cuál debe ser el grosor la espuma de poliestireno?

PROBLEMA 7.16

Se sueldan varillas de cobre, latón y acero para formar una "Y". El área transversal de cada varilla es 2.00 cm^2.El extremo libre de la varilla de cobre se mantiene a 100.0 °C; y los extremos libres de las varillas de latón y acero, a 0.0 °C. Suponga que no hay pérdida de calor por los costados de las varillas, cuyas longitudes son: cobre, 13.0 cm; latón, 18,0 cm; acero, 24.0 cm.

a) ¿Qué temperatura tiene el punto de unión?

b) Calcule la corriente de calor en cada una de las varillas