se enfría: disminuye su temperatura inicial T_o y el cuerpo 1, aumenta su temperatura inicial, calentándose.

En la ecuación 1-11-6, una vez alcanzado el equilibrio térmico entre el cuerpo caliente y el cuerpo frío, la temperatura final T de los dos cuerpos se iguala, es decir, es la misma para los dos.

1-12 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- ¿Qué cantidad de calor debemos aplicar a 100 gr de plomo para elevar su temperatura de 20°C a 150°C, si su $C_p = 0.031 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$?

Solución.- Los datos de éste problema son:

$$m = 100 \text{ gr}, \; T = 150^oC, \; T_o = 20^oC \text{ y su } C_p .$$

Como el plomo se va a calentar, pués su temperatura final T es mayor que su temperatura inicial T_o, entonces: $Q = mC_p(T-T_o)$ y sustituyendo, tenemos:

$$Q = (100 \cancel{gr})\, 0.031 \frac{Cal}{\cancel{gr}\text{-}^o\cancel{C}}(150^o\cancel{C} - 20^o\cancel{C})$$

$$Q = 3.1\ (30)\ Cal = 93\ Cal$$

Entonces, la cantidad de calor Q será: 93 Cal.

2.- 500 Libras de fierro se sacan de un horno que está a 1000°F. Calcular la cantidad de calor que perderá el fierro al adquirir la temperatura del medio ambiente que le rodea: 80°F.

Solución.- Los datos del problema son:

$$m = 500\ Lb_m, \; T_o = 1000^oF, \; T = 80^oF$$

El C_p del fierro se busca en la tabla 1-8-1 resultando, $C_p = .113 \frac{B.T.U.}{Lb_m\text{-}^oF}$, que es el adecuado, pués sus unidades deben ser las mismas que las unidades de los datos.

Empleando la ecuación: $Q = -mC_p(T-T_o)$ pués el fierro se enfría, ya que la temperatura final T es menor que su temperatura inicial T_o, y sustituyendo;

$$Q = -(500\ \cancel{Lb}_m)\ 0.113 \frac{B.T.U.}{\cancel{Lb}_m\text{-}^o\cancel{F}}(80^o\cancel{F} - 1000^o\cancel{F})$$

$$Q = -500 \text{ X } 0.113\ (-920)\ B.T.U.$$

$$Q = 56.5 \text{ X } 920\ B.T.U. = 51{,}980\ B.T.U.$$

Es decir, al enfriarse el trozo de fie--rro, liberará 51,980 B.T.U.

3.- A 100 gr de hielo se le aplican 200 Cal sin fundirlo, elevando su temperatura -- hasta -1^oC. Si su C_p es de $.5 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$ ¿A -- qué temperatura se encontraba?

Solución.- Los datos con que se cuenta -son:

$m = 100$ gr, $Q = 200$ Cal, $T = -1^oC$ y el C_p

Como el hielo se calentó, usaremos la -- ecuación $Q = mC_p(T-T_o)$, y como se pregunta la temperatura inicial, despejaremos T_o:

$$\frac{Q}{mC_p} = T-T_o \ , \ -T_o = -T + \frac{Q}{mC_p}, \ T_o = T - \frac{Q}{mC_p}$$

y sustituyendo:

$$T_o = -1^oC - \frac{200\ \cancel{Cal}}{100\ gr\ (.5\ \frac{\cancel{Cal}}{gr\text{-}^oC})}$$

$$T_o = -1^oC - \frac{200\ ^oC}{100 \times .5}$$

$$T_o = -1^oC - \frac{200^oC}{50} = -1^oC - 4^oC$$

$T_o = -5^oC$, ésta será la temperatura inicial del hielo.

4.- Un volumen de 50 cm³ de mercurio a 25^oC, se introduce a un refrigerador, liberando 381.48 Cal. Calcular la temperatura - interior del refrigerador, si la densi-- dad del mercurio es de 13.6 gr/cm³ y su $C_p = .033 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$.

Solución.- Primero hemos de calcular la masa de mercurio contenida en los 50 cm³, usando la ecuación de la densidad y des-pejando la masa, o sea: $D = \frac{M}{V}$, $M = D_V$ --- y sustituyendo; $M = 13.6 \frac{gr}{\cancel{cm^3}} (50\ \cancel{cm^3})$

$M = 680$ gr, y el resto de los datos son:

$T_o = 25^oC$, $Q = 381.48$ Cal. (Al enfriarse)

Como el mercurio se enfría, pués libera calor, entonces la ecuación a usar es: -

$Q = -mC_p(T-T_o)$ y despejando T ;

$$\frac{Q}{mC_p} = T-T_o$$

$$\frac{Q}{mC_p} + T_o = T \text{ , y sustituyendo:}$$

$$T = \frac{-381.48\ \cancel{Cal}}{680\ \cancel{gr}(.033\ \frac{\cancel{Cal}}{\cancel{gr}\text{-}^{o}C})} + 25^{o}C$$

$$T = \frac{-381.48^{o}C}{22.44} + 25^{o}C = -17^{o}C + 25^{o}C$$

$T = 8^{o}C$, ésta será la temperatura interior del refrigerador.

5.- A un líquido determinado, se le aplicaron 5.0 Cal para aumentar su temperatura en $4^{o}C$. Si la masa del líquido era de 5 gr, calcular su C_p.

Solución.- En éste problema se nos dá un cambio en la temperatura: $\triangle T$ del líquido, por lo que, usaremos la ecuación: $Q = mC_p \triangle T$, pués además el líquido se calentó, y despejando el C_p;

$$C_p = \frac{Q}{m \triangle T} \quad \text{y sustituyendo;}$$

$$C_p = \frac{5.0\ Cal}{5\ gr(4^{o}C)} = .25\ \frac{Cal}{gr\text{-}^{o}C}.$$

6.- El mismo líquido del problema anterior, sufre un enfriamiento provocando un cambio en su temperatura de: $\triangle T = -50^{o}C$.

¿Qué cantidad de calor desprenderá el líquido al enfriarse?

Solución.- Como el líquido se enfrió, usaremos la ecuación: $Q = -mC_p \triangle T$ y sustituyendo:

$$Q = -5\ \cancel{gr}\ (.25\ \frac{Cal}{\cancel{gr}\text{-}^{o}\cancel{C}})\ (-50^{o}\cancel{C})$$

$$Q = -5\ (-12.5)\ Cal = 62.5\ Cal$$

Esta será la cantidad de calor desprendido.

7.- Un trozo de hielo a $-5^{o}C$ y de 500 gr, ha de calentarse hasta hervirlo y convertirlo totalmente en vapor a la presión de una atmósfera. Calcular la cantidad total de calor que debe emplearse para tal efecto.

Solución.- El problema ha de resolverse en 4 pasos: El primero para llevar al hielo desde $-5^{o}C$ hasta $0^{o}C$; su punto de fusión, el segundo para fundir el hielo, el tercero psra llevarlo desde $0^{o}C$ hasta $100^{o}C$ y por último para convertirlo en vapor en su punto de ebullición.

Para el primer paso usaremos la ecuación $Q = mC_p (T-T_o)$, pués el hielo se calentará, por lo tanto:

$$Q = 500\ \cancel{gr} (.5 \frac{Cal}{\cancel{gr}-{}^oC}) \left[0^o\cancel{C}-(-5^o\cancel{C})\right]$$

$$Q = 250\ (0 + 5)\ Cal = 250\ X\ 5\ Cal$$

$$Q = 1250\ Cal$$

Para el segundo paso, utilizaremos la ecuación: $L_f = \frac{Q}{m}$, y despejando Q :

$Q = mL_f$ y como L_f del hielo vale $80\ \frac{Cal}{gr}$:

$$Q = (500\ \cancel{gr})\ 80\ \frac{Cal}{\cancel{gr}} = 40,000\ Cal$$

Para el tercer paso, de nuevo usaremos la ecuación: $Q = mC_p (T-T_o)$, pues el agua obtenida al fundir el hielo en el segundo paso ha de calentarse desde 0^oC hasta 100^oC, por lo tanto:

$$Q = 500\ \cancel{gr}\ (1 \frac{Cal}{\cancel{gr}-{}^o\cancel{C}})\ (100^o\cancel{C}-0^o\cancel{C})$$

$$Q = 500\ (100)\ Cal = 50,000\ Cal$$

y finalmente, para evaporar al agua en

su punto de ebullición: 100^oC, hemos de agregarle su calor latente de vaporización: $L_v = 540 \frac{Cal}{gr}$ y usando la ecuación: $L_v = \frac{Q}{m}$, despejaremos Q y tenemos:

$$Q = mL_v = (500\ \cancel{gr})\ 540\ \frac{Cal}{\cancel{gr}}$$

$$Q = 500\ X\ 540\ Cal = 270,000\ Cal$$

Por lo tanto, el calor total se obtendrá sumando cada uno de los calores aplicados en cada paso, así es que:

$$Q\ Total = 1250 + 40000 + 50000 + 270,000$$

$$Q\ Total = 361,250\ Cal = 361.25\ Kcal$$

Esta misma cantidad de calor total, devolverá el vapor de agua obtenido, al convertirse de nuevo en hielo a; -5^oC.

8.- Un termómetro de masa 60 gr y de calor específico $0.20 \frac{Cal}{gr-{}^oC}$ marca 15^oC. Se introduce en 300 gr de agua y alcanza la misma temperatura final del agua. Si el termómetro marca $44.^oC$ y es exacto ¿Cuál era la temperatura del agua antes de introducir el termómetro, no tomando en cuenta otras pérdidas de calor?

Solución.- Como el termómetro elevó su - temperatura, de $T_o = 15^oC$ a $T = 44.^oC$, - su ecuación será: $Q_1 = m_1C_{p1}\ (T-T_o)_1$, y como el agua perdió calor al introducir el termómetro en ella, su ecuación será: $Q_2 = -\ m_2C_{p2}(T-T_o)_2$. El calor: Q_1, que ganó el termómetro será igual al calor - Q_2 que perdió el agua, por lo tanto: -- $Q_1 = \ Q_2$, o bién,

$$m_1C_{p1}(T-T_o)_1 = -\ m_2C_{p2}(T-T_o)_2$$

Como el termómetro y el agua finalmente alcanzan el equilibrio térmico, es decir, La temperatura final T_1 del termómetro será ---- igual a la temperatura final T_2 del agua, o sea; $T_1 = T_2 = T$, y desarrollando la -- ecuación anterior:

$$m_1C_{p1}T_1 - m_1C_{p1}T_{o1} = -\ m_2C_{p2}T_2 + m_2C_{p2}T_{o2}$$

Arreglando ésta ecuación para que en el -- miembro izquierdo queden solamente términos que contengan a T_1 y T_2:

$$m_1C_{p1}T_1 + m_1C_{p2}T_2 = m_2C_{p2}T_{o2} + m_1C_{p1}T_{o1}$$

y como: $T_1 = T_2 = T$, tendremos:

$$m_1C_{p1}T + m_2C_{p2}T = m_2C_{p2}T_{o2} + m_1C_{p1}T_{o1}$$

y sacando como factor común a T:

$$T\ (m_1C_{p1} + m_2C_{p2}) = m_2C_{p2}T_{o2} + m_1C_{p1}T_{o1}$$

Ahora, pasando al miembro izquierdo el -- término $m_1C_{p1}T_{o1}$:

$$T\ (m_1C_{p1} + m_2C_{p2}) - m_1C_{p1}T_{o1} = m_2C_{p2}T_{o2}$$

y despejando T_{o2}:

$$T_{o2} = \frac{T\,(m_1C_{p1} + m_2C_{p2}) - m_1C_{p1}T_{o1}}{m_2C_{p2}}$$

Los datos del problema son:

$m_1 = 60$ gr, $m_2 = 300$ gr, $C_{p1} = 0.20\ \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$, $C_{p2} = 1\ \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$, $T_{o1} = 15^oC$ y $T = 44\ ^oC$

Como las unidades de todos los datos son del mismo sistema, para no complicar la - ecuación, se escribirán solamente los valores de las variables al sustituirlas:

$$T_{o2} = \frac{44(60 \times 0.20 + 300 \times 1) - 60 \times 0.20 \times 15}{300 \times 1}$$

Finalmente: $T_{o2} = 45.16^oC$

Esta es la temperatura del agua, antes de introducir el termómetro.

9.- Calcular el calor específico de un metal a partir de los siguientes datos. Un depósito hecho del mismo metal tiene una masa de 3.6 Kg que contiene además 13.6 Kg de agua. Un trozo de metal de 1.8 Kg, que está inicialmente a una temperatura de 175^oC se arroja al agua. Esta y el depósito tienen inicialmente una temperatura de 15^oC y la temperatura final de todo el sistema fué de 18^oC.

Solución.- Como el depósito y el agua se calentaron durante el proceso, ganaron energía calorífica, perdida por el metal caliente. Entonces podemos escribir:

$Q = Q_1 + Q_2$, siendo Q_1 y Q_2, los calores ganados por el agua y el depósito respectivamente, y Q el calor total ganado por ellos dos.

Entonces: $Q_1 = m_1C_{p1}(T-T_o)_1$

$$Q_2 = m_2C_{p2}(T-T_o)_2$$

que al sustituir Q_1 y Q_2 por sus iguales en la ecuación anterior, tenemos:

$$Q = m_1C_{p1}(T-T_o)_1 + m_2C_{p2}(T-T_o)_2$$

Ahora, como el calor perdido por el metal caliente está dado por:

$$Q = -m_3C_{p2}(T-T_o)_3$$

y además, el calor ganado es igual al calor perdido;

$$m_1C_{p1}(T-T_o)_1 + m_2C_{p2}(T-T_o)_2 = -m_3C_{p2}(T-T_o)_3$$

Arreglando esta ecuación con el fin de tener en el miembro izquierdo solamente al metal:

$$m_2C_{p2}(T-T_o)_2 + m_3C_{p2}(T-T_o)_3 = -m_1C_{p1}(T-T_o)_1$$

Sacando como factor común al C_{p2} y despejándolo;

$$C_{p2} = \frac{-m_1C_{p1}(T-T_o)_1}{m_2(T-T_o)_2 + m_3(T-T_o)_3}$$

Ahora escribiremos los valores de los datos:

$m_1 = 13.6$ Kg, $C_{p1} = 1 \frac{Kcal}{Kg\text{-}^oC}$, $T_1 = 18^oC$, $T_{o1} = 15^oC$

$m_2 = 3.6$ Kg, $C_{p2} = ?$, $T_2 = 18^oC$, $T_{o2} = 15^oC$

$m_3 = 1.8$ Kg, $T_3 = 18^oC$ y $T_{o3} = 175^oC$

Vuelve a leer la redacción del problema, para que compruebes éstos datos. El subindice 1 se refiere al agua, el subindice 2 se refiere al depósito y el subindice 3 se refiere al metal caliente. Recuerda que el depósito está hecho del mismo metal, que el metal caliente.

Sustituyendo las variables por sus respectivos datos en la ecuación última:

$$C_{p2} = \frac{-13.6 \times 1\ (18-15)}{3.6\ (18-15) + 1.8(18-175)}$$

$$C_{p2} = \frac{-40.8}{10.8 - 282.6} = \frac{-40.8}{-271.8} = 0.15$$

De acuerdo con las unidades de los datos, el C_p del metal será:

$$C_p = 0.15\ \frac{Kcal}{Kg\text{-}^oC}$$

10.- Un calorímetro hecho de aluminio, tiene un depósito cilíndrico de 50 gr. Se le agregan 200 grs de agua y una vez alcanzado el equilibrio térmico entre el depósito y el agua su temperatura es de 20^oC.

Al agregar 50 grs de un líquido que se encuentra a 70^oC, al agua y depósito, se llega finalmente a una temperatura de 25^oC. Calcular el C_p del líquido, si el C_p del aluminio es de $0.22\ \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$.

Solución.- El depósito y el agua se calientan después de agregar el líquido, enfriándose éste.

Entonces: $Q_1 = m_1C_{p1}\Delta T_1$ y $Q_2 = m_2C_{p2}\Delta T_2$

Siendo Q_1 y Q_2, los calores ganados por el agua y su depósito respectivamente.

Entonces, el calor total ganado Q, será:

$$Q = Q_1 + Q_2 = m_1C_{p1}\Delta T_1 + m_2C_{p2}\Delta T_2$$

Como el agua y el depósito sufren el mismo aumento en su tenperatura, es decir; $\Delta T_1 = \Delta T_2$, ΔT_1 y ΔT_2 se pueden también hacer iguales a ΔT simplemente, de modo que la ecuación del calor total, se pueda escribir ahora, así:

$$Q = m_1C_{p1}\Delta T + m_2C_{p2}\Delta T$$

y como ΔT es factor común, entonces:

$$Q = (m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) \Delta T$$

Este calor total debe ser igual al calor perdido por el líquido: $-m_3 C_{p3} \Delta T_3$ por lo tanto:

$$(m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) \Delta T = -m_3 C_{p3} \Delta T_3$$

y despejando C_{p3}, que representa el calor específico del líquido:

$$C_{p3} = \frac{(m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) \Delta T}{-m_3 \Delta T_3}$$

Ahora sacaremos los datos del enunciado del problema:

$$m_1 = 200\ gr,\ C_{p1} = 1\ \frac{Cal}{gr\text{-}^oC},$$

$$m_2 = 50\ gr,\ C_{p2} = 0.22\ \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$$

$$m_3 = 50\ gr,\ \Delta T = T - T_o = 25^oC - 20^oC = 5^oC$$

$$\Delta T_3 = T - T_o = 25^oC - 70^oC = -45^oC$$

Como todos los datos tienen unidades del mismo sistema, procederemos a sustituir

las variables por sus respectivos valores:

$$C_{p3} = \frac{(200 \times 1 + 50 \times .22)\ 5}{-50(-45)}$$

$$C_{p3} = \frac{(200 + 11.0)\ 5}{2250} = \frac{1055}{2250} = .468$$

Entonces, el calor específico del líquido, es de: $0.468\ \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$.

1-13 TRANSFERENCIA DE CALOR.- Cuando entre el sistema y su medio ambiente, exista una diferencia de temperaturas, siempre se generará un flujo de energía térmica: Del cuerpo caliente al cuerpo frío. El sistema puede ser el cuerpo caliente o el frío, según sea el caso, así como también, el medio ambiente puede ser cualesquiera de los dos: El caliente o el frío.

Al decir que el flujo térmico siempre será del caliente al frío, ya se le está dando un sentido o una dirección.

Hay tres métodos de transferencia de calor, que son: Por conducción, por convección y por radiación.

A.- TRANSMISION DE CALOR POR CONDUCCION: En éste método, la transferencia de calor se efectúa mediante las vibraciones de las moléculas y electrones libres, que constituyen a un material dado., iniciándose las vibraciones o exitación de las partículas mencionadas, en el extremo caliente del material, dirigiéndose siempre hacia el extremo frío.

Entonces daremos una definición de éste método diciendo: La conducción es la transmisión de energía térmica a través de un material que no se mueve, por medio de sus moléculas, átomos y electrones en vibración.

La mayoría de los metales son buenos conductores del calor, ya que tienen un buen número de electrones libres, además de sus átomos que vibran facilmente bajo una diferencia de temperatura, por más pequeña que sea ésta.

La ecuación fundamental de la conducción del calor es una generalización de los resultados experimentales que se obtuvieron en relación con el flujo térmi

co a través de un material en forma de placa rectangular.

Consideremos la placa de la siguiente figura:

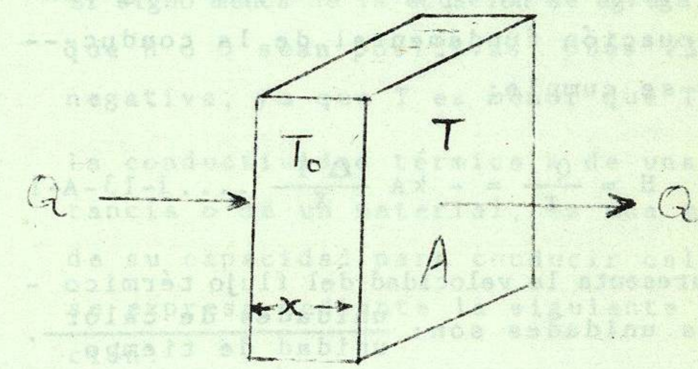

Fig. 1-13-A-1

En esta figura, la placa es de un espesor X, a lo largo del cual fluye el calor Q . Observa que al flujo del calor se le ha asignado una dirección: paralela al espesor y un sentido: de izquierda a derecha, pués la cara izquierda de la placa, está a una temperatura T_o mayor que la cara derecha de la placa, que se encuentra a una temperatura final T, menor que T_o.