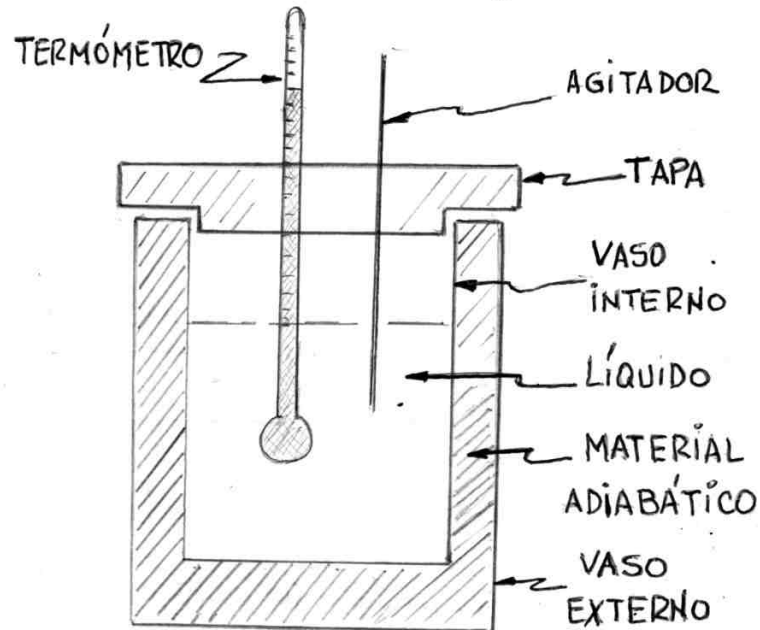


DNDA-71269931

## MEDICIÓN DE CALOR

¡(No confundir con medición de Temperatura)!

Se hace con un CALORÍMETRO como el de la figura:



Si bien el DISPLAY del calorímetro es un termómetro, el calorímetro mide cantidad de calor  $Q$  y no temperatura.

Nuestra LECTURA será de temperaturas, pero nuestra medición indirecta es de Calor -  $Q$  (cal).

La expresión que nos permite efectuar la medición indirecta se obtiene así:

Sabemos que  $Q = C \Delta T$  }  $\Rightarrow Q = c m \Delta T$   
 $C = c m$

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Se basa en lo visto desde el inicio.

Se tiene líquido a Temperatura conocida.

Se sumerge un cuerpo a Temperatura conocida. también.

El cuerpo sumergido intercambia calor con: es lo que hay que medir

- 1) el líquido del Calorímetro y con
- 2) los componentes restantes del Calorímetro.

de modo tal que se cumple (según hemos visto):

$$\underbrace{Q_{\text{CUERPO}}}_{\substack{\text{Calor entregado} \\ \text{por el cuerpo}}} = \underbrace{Q_{\text{LÍQUIDO}}}_{\substack{\text{Calor recibido} \\ \text{por el líquido}}} + \underbrace{Q_{\text{CALORÍMETRO}}}_{\substack{\text{Calor recibido por} \\ \text{el resto del Calorímetro,} \\ \text{(vaso, agitador, termómetro)}}}$$

Hemos supuesto que el cuerpo entrega calor  $\Rightarrow T_{\text{cuerpo}} > T_{\text{líquido}}$ .  
 (Podría darse al revés -)  $T_{\text{cuerpo}} > T_e > T_{\text{líquido}}$

3) Todo termina con la misma Temperatura  $T_e$  (equilibrio)

$$Q_{\text{CUERPO}} = C_{\text{cuerpo}} m_{\text{cuerpo}} (T_{\text{cuerpo}} - T_e)$$

$$Q_{\text{LÍQUIDO}} = C_{\text{Líquido}} m_{\text{líquido}} (T_e - T_{\text{líquido}})$$

El tema es cómo evaluamos la cantidad de calor recibida por los elementos restantes del calorímetro  $\equiv Q_{\text{calorímetro}}$ .

Pensemos que:

ANTES DE INTRODUCIR EL CUERPO (Estado de Equilibrio-1):

Temperatura del Cuerpo  $\equiv T_{\text{cuerpo}}$

Temperatura del líquido  $\equiv T_{\text{líquido}}$

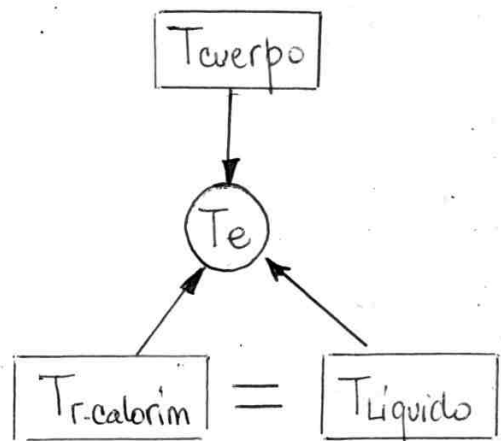
Temperatura del resto del Calorímetro  $\equiv T_{\text{líquido}}$

DESPUÉS DE INTRODUCIR EL CUERPO (Estado de Equilibrio-2)

Temperatura del Cuerpo  $\equiv T_e$

Temperatura del líquido  $\equiv T_e$

Temperatura del resto del Calorímetro  $\equiv T_e$



Como el salto térmico de los componentes del calorímetro es  $(T_e - T_{\text{líquido}})$  entonces tendríamos que calcular así:

$$Q_{\text{calorímetro}} = C_{\text{calorímetro}} m_{\text{calorímetro}} (T_e - T_{\text{líquido}}).$$

Conocer  $m_{\text{calorímetro}}$  NO ES PROBLEMA ya que se podría obtener pesando (en kilogramos) el calorímetro SIN LÍQUIDO, y ya está.

El Problema está en conocer el calor específico del calorímetro  $\equiv$

$C_{\text{calorímetro}}$ , ya que son varios y diversos los materiales que lo componen -

En lugar de esto último, se replantea todo de la siguiente forma:

1) Sabemos que el calorímetro absorbe calor  $\equiv Q_{\text{calorímetro}}$

2) Supongamos, seguidamente, que el calorímetro es ideal y que por lo tanto NO ABSORBE ABSOLUTAMENTE NADA.

3) Supongamos la existencia de un PLUS de líquido que absorbería una cantidad de calor  $\equiv Q_{\text{calorímetro}}$

A esta masa de agua hipotética se la llama:

"MASA DE AGUA EQUIVALENTE AL CALORÍMETRO" o más

vulgarmente "EQUIVALENTE EN AGUA"

Este valor de masa de agua equivalente resulta de

$$\boxed{\text{masa de agua eq}} = \frac{C_{\text{calorímetro}} \times m_{\text{calorímetro}}}{C_{\text{agua}}} = m_{\text{EQUIVALENTE}}$$

$\swarrow$   
 $1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

$\downarrow$   
 $\Pi$

Incluyendo esto en la ecuación general queda:

$$C_{\text{CUERPO}} \times m_{\text{CUERPO}} (T_{\text{CUERPO}} - T_e) =$$

$$= C_{\text{Líquido}} \times m_{\text{Líquido}} (T_e - T_{\text{Líquido}}) + C_{\text{Agua}} \cdot \overset{\Pi}{\underbrace{m_{\text{EQUIVALENTE}}}_{\text{DE AGUA EXTRA}}} (T_e - T_{\text{Líquido}})$$

$\swarrow$   
 $1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$

Para el caso en el que el Líquido ES AGUA (mayoría de casos), queda:

$$\boxed{C_{\text{CUERPO}} \cdot m_{\text{CUERPO}} (T_{\text{CUERPO}} - T_e) = 1 \cdot (m_{\text{Agua}} + m_{\text{EQUIVALENTE}}) (T_e - T_{\text{Líquido}})}$$

NOTA: La  $m_{\text{EQUIVALENTE}}$  se connota con el símbolo  $\Pi$   
DE AGUA EXTRA



8) Un calorímetro de equivalente en agua 20g contiene 100g de agua a  $20^{\circ}\text{C}$ . Se agregan 50g de una sustancia desconocida a una Temperatura de  $90^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose una Temperatura final de equilibrio de  $24^{\circ}\text{C}$ .

Calcular el calor específico de la sustancia agregada.

$$C_{\text{Agua}} = 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}.$$

Solución

$$C_{\text{Cuerpo}} = ?$$

$$C_{\text{Líquido}} = C_{\text{Agua}} = 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{Cuerpo}} = 50 \text{ g}$$

$$m_{\text{Líquido}} = 100 \text{ g} = m_{\text{Agua}}$$

$$m_{\text{EQUIVALENTE}} = 20 \text{ g}$$

$$T_{\text{Cuerpo}} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Líquido}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_e = 24^{\circ}\text{C}$$

$$C_{\text{Cuerpo}} m_{\text{Cuerpo}} (T_{\text{Cuerpo}} - T_e) = 1 (m_{\text{Agua}} + m_{\text{EQUIVALENTE}}) (T_e - T_{\text{Líquido}})$$

$$C_{\text{Cuerpo}} \cdot 50 (90 - 24) = (100 + 20) (24 - 20)$$

$$C_{\text{Cuerpo}} = \frac{120 \times 4}{50 \times 66} = 0,145 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}$$

NOTA: La  $m_{\text{EQUIVALENTE}}$  suele ser connotada con el símbolo  $\Pi$

9) Un calorímetro contiene 40 g de agua a  $22^{\circ}\text{C}$  y se le agrega 50 g de agua a  $50^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose una temperatura final de equilibrio de  $35^{\circ}\text{C}$ .

a) Calcular el equivalente en agua del calorímetro. (llamado  $\pi$ ).

b) Se vacía el calorímetro y se agrega 100 g de agua a temperatura ambiente ( $22^{\circ}\text{C}$ ). Luego se agregan 80 g de aluminio a  $90^{\circ}\text{C}$ .

Calcular la temperatura final de equilibrio.

DATO: Calor específico del aluminio =  $0,22 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ .

### Solución

a)

$$C_{\text{cuerpo}} \cdot m_{\text{cuerpo}} (T_{\text{cuerpo}} - T_e) = C_{\text{Liq}} (m_{\text{Liq}} + \pi) (T_e - T_{\text{Liq}})$$

$$1 \cdot 50 \cdot (50 - 35) = 1 \cdot (40 + \pi) (35 - 22)$$

$$50 \cdot 15 = (40 + \pi) \cdot 13 \Rightarrow \boxed{\pi = 17,69 \text{ g}}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{Liq}} &= 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} \\ C_{\text{cuerpo}} &= 1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C} \\ m_{\text{cuerpo}} &= 50 \text{ g} \\ T_{\text{cuerpo}} &= 50^{\circ}\text{C} \\ T_e &= 35^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{Líquido}} &= 22^{\circ}\text{C} \\ m_{\text{Líquido}} &= 40 \text{ g} \\ \pi &= ? \end{aligned}$$

b)

$$C_{\text{cuerpo}} \cdot m_{\text{cuerpo}} (T_{\text{cuerpo}} - T_e) = C_{\text{Liq}} (m_{\text{Liq}} + \pi) (T_e - T_{\text{Liq}})$$

$$0,22 \cdot 80 \cdot (90 - T_e) = 1 \cdot (100 + 17,69) (T_e - 22)$$

$$17,6 (90 - T_e) = 117,69 \cdot (T_e - 22)$$

$$1584 - 17,6 T_e = 117,69 T_e - 2589,18$$

$$\Rightarrow \boxed{T_e = 30,85^{\circ}\text{C}}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{Liq}} &= 1 \\ C_{\text{cuerpo}} &= 0,22 \\ T_{\text{Liq}} &= 22^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{cuerpo}} &= 90^{\circ}\text{C} \\ T_e &= ? \\ m_{\text{Liq}} &= 100 \text{ g} \\ m_{\text{cuerpo}} &= 80 \text{ g} \\ \pi &= 17,69 \text{ g} \end{aligned}$$

10) Un calorímetro contiene 200 g de un líquido cuyo calor específico se desea conocer. El equivalente en agua del calorímetro es 30 g.

Como elemento calefactor, hay una resistencia eléctrica sumergida en el líquido. Sus hilos conductores (cables) son suficientemente finos como para despreciar la transferencia de calor al exterior a través de los mismos. (180 segundos)

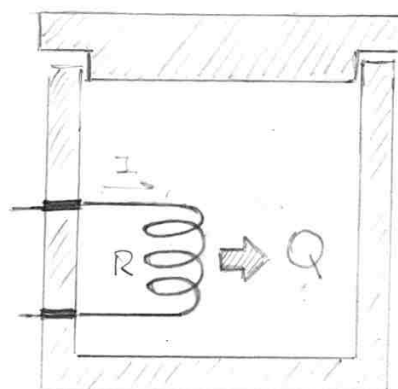
La resistencia disipa una potencia constante de 20 Watt durante 3 minutos.

La Temperatura del líquido se incrementa de  $17,6^{\circ}\text{C}$  a  $22,5^{\circ}\text{C}$ .

Hallar el Calor específico del líquido.

Solución.

La resistencia  $R$  emite calor (energía) por efecto Joule.



$$\text{Energía (Joules)} = \text{Potencia (watts)} \times \text{tiempo (seg)}.$$

$$3600 \text{ Joules} = 20 \text{ Watts} \cdot 180 \text{ sec}$$

Hemos definido equivalencias :  $1 \text{ Joule} = 0,239 \text{ cal}$

$$\therefore 3600 \text{ Joules} = 3600 \text{ Joules} \times \frac{0,239 \text{ cal}}{\text{Joule}} = 860,4 \text{ cal} = Q$$



El aporte de Calor de la resistencia eléctrica es  $Q = 860,4 \text{ cal}$ .

Este calor es absorbido por el líquido y el resto del Calorímetro.

$$860,4 = C_{\text{liq}} (m_{\text{liq}} + \pi) (T_e - T_{\text{liq}})$$

$$860,4 = C_{\text{liq}} (200 + 30) (22,5 - 17,6)$$

$$860,4 = C_{\text{liq}} \cdot 230 \cdot 4,9 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_{\text{liq}} = 0,77 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

$$C_{\text{liq}} = ? \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{liq}} = 200 \text{ g}$$

$$T_e = 22,5^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{liq}} = 17,6^\circ\text{C}$$

$$\pi = 30 \text{ g}$$

# CALOR SENSIBLE Y CALOR LATENTE

El calor  $Q$  agregado a un cuerpo tiene DOS EFECTOS EXCLUYENTES Y NO SIMULTÁNEOS:

- a) Aumentar la velocidad (energía cinética) de las moléculas (lo que se traduce en aumento de temperatura).
- b) Disminuir la rigidez de los enlaces intermoleculares (lo que se traduce en un cambio de estado sin cambio de temperatura)

La cantidad de Calor entregada al cuerpo en el caso a) se llama CALOR SENSIBLE.

La cantidad de Calor entregada al cuerpo en el caso b) se llama CALOR LATENTE, (porque está oculto ya que es asintomático  $\therefore \Delta T = 0$ )

Estrictamente, se define:

$$\text{CALOR LATENTE ESPECÍFICO} \equiv L = \frac{Q}{m} \left[ \frac{\text{cal}}{\text{g}} \right]$$

y como ya vimos:

$$\text{CALOR SENSIBLE ESPECÍFICO} = \frac{Q}{m} = c \Delta T \left[ \frac{\text{cal}}{\text{g}} \right]$$

CONCLUSIÓN  $\Delta T \Rightarrow Q$  pero  $\Delta T \nLeftarrow Q$ .

Si un cuerpo aumenta su Temperatura es porque recibe Calor. Pero NO TODO cuerpo que recibe Calor aumentará su Temperatura

11) Calcular la Cantidad de Calor necesaria para transformar

10kg de hielo a  $T_1 = -30^\circ\text{C}$ , en Vapor de agua a  $T_2 = 100^\circ\text{C}$ .

- Representar  $Q = Q(T)$  siendo  $-30^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$ .
- Suponer Calores específicos constantes.

Datos:

$$\text{Calor latente de fusión del hielo} = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = L_1$$

$$\text{Calor latente de vaporización del Agua} = 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = L_2$$

$$\text{Calor específico del hielo} = 0,55 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

$$\text{Calor específico del Agua} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

SOLUCIÓN : La transformación  $\boxed{\text{HIELO}(-30^\circ\text{C}) \longrightarrow \text{VAPOR}(100^\circ\text{C})}$

se realiza en 4 etapas:

$$1) \text{HIELO}(-30^\circ\text{C}) \longrightarrow \text{HIELO}(0^\circ\text{C})$$

$$2) \text{HIELO}(0^\circ\text{C}) \longrightarrow \text{AGUA}(0^\circ\text{C}) \longleftarrow \text{CAMBIO DE ESTADO}$$

$$3) \text{AGUA}(0^\circ\text{C}) \longrightarrow \text{AGUA}(100^\circ\text{C})$$

$$4) \text{AGUA}(100^\circ\text{C}) \longrightarrow \text{VAPOR}(100^\circ\text{C}) \longleftarrow \text{CAMBIO DE ESTADO}$$

1) HIELO (-30°C) → HIELO (0°C)

$$Q_1 = C_{\text{hielo}} m_{\text{hielo}} \cdot \Delta T = 0,55 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \times 10000 \text{ g} \times 30^\circ\text{C} = 165.000 \text{ cal}$$

∴  $Q_1 = 165 \text{ Kcal}$  → produce cambio de temperatura  
⇒ es calor Sensible.

2) HIELO (0°C) → AGUA (0°C)

$$Q_2 = m_{\text{hielo}} \times L_1 = 10000 \text{ g} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 800.000 \text{ cal}$$

∴  $Q_2 = 800 \text{ Kcal}$  → durante el cambio de estado No se  
PERCIBE cambio de temperatura  
⇒ es calor latente.

3) AGUA (0°C) → AGUA (100°C)

$$Q_3 = C_{\text{agua}} \cdot m_{\text{agua}} \Delta T = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot 10000 \text{ g} \cdot 100 = 1.000.000 \text{ cal}.$$

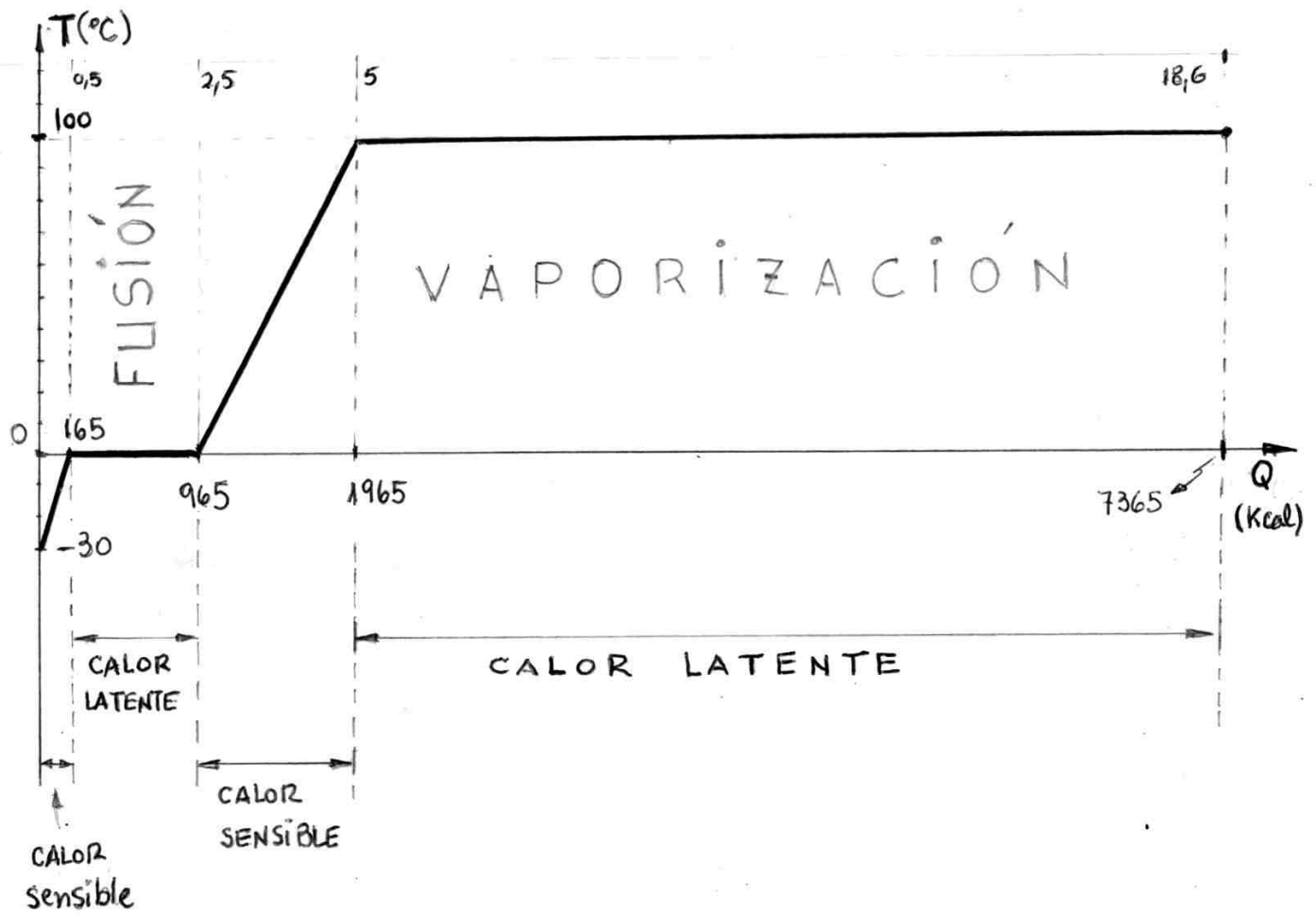
∴  $Q_3 = 1.000 \text{ Kcal}$

4) AGUA (100°C) → VAPOR (100°C)

$$Q_4 = m_{\text{agua}} \times L_2 = 10.000 \times 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 5.400.000 \text{ cal}.$$

∴  $Q_4 = 5.400 \text{ Kcal}$

∴  $\sum_1^4 Q_i = 7.365 \text{ Kcal}$  ← Rta d)





12) En el interior de un calorímetro se tiene una mezcla de 100 g de hielo y 300 g de Agua a la temperatura  $0^{\circ}\text{C}$ .

¿Qué cantidad de agua a  $30^{\circ}\text{C}$  debe añadirse a la mezcla para fundir completamente el hielo y que quede agua líquida a  $0^{\circ}\text{C}$ ?

Solución.

Calor latente de fusión del hielo =  $L_f = 80 \text{ cal/g}$

Para fundir (derretir) 100 g de hielo  $\Rightarrow Q = L_f \times m_{\text{hielo}} = 80 \times 100 \text{ cal}$

$$\Rightarrow Q = 8000 \text{ cal}$$

Hay que agregar una masa de agua que al enfriarse de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , sea capaz de entregar 8000 cal al hielo.

$$8000 \text{ cal} = C_{\text{agua}} \times m_{\text{agua}} (30^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) \Rightarrow m_{\text{agua}} = \frac{8000}{1 \times 30}$$

$$\therefore m_{\text{agua}} = 266,67 \text{ g}$$

¿Por qué NO SE TUVO EN CUENTA los 300 g de Agua que estaban inicialmente mezclados con el hielo? Porque esa agua (300g), nunca cambió su temperatura ( $0^{\circ}\text{C}$ ) y por lo tanto JAMÁS INTERCAMBIÓ CALOR. Inicialmente, el hielo está a  $0^{\circ}\text{C}$  y los 300g de agua también están a  $0^{\circ}\text{C}$ .  $\therefore$  Ni el hielo congela al agua, ni el agua derrite al hielo  $\therefore$  están en equilibrio CADA UNO EN SU FASE O ESTADO. Una MEZCLA como ésta es utilizada para CALIBRAR TERMÓMETROS a  $0^{\circ}\text{C}$ .

13) En un recipiente aislado, que inicialmente contiene 2 kg de agua a  $25^{\circ}\text{C}$ , se introduce un trozo de hielo de 0,350 kg de masa y que está a  $0^{\circ}\text{C}$ . Determinar la temperatura y composición finales del sistema. Luego REPETIR el cálculo para una cantidad inicial de 1 kg de Agua.

Solución.

a) Veamos cuánto calor necesita el hielo a  $0^{\circ}\text{C}$  para transformarse en Agua a  $0^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_{\text{fusión}} = m_{\text{hielo}} \times L_{\text{fusión}}$$

$$Q_{\text{fusión}} = 350 \text{ g} \times \frac{80 \text{ cal}}{\text{g}} = 28.000 \text{ cal}$$

$\therefore$  28000 cal para sólo fundir el hielo.

b) Veamos cuánto calor puede entregar 2 kg de Agua al enfriarse de  $25^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ .

$$Q_{\text{Agua}} = C_{\text{Agua}} \cdot m_{\text{Agua}} (25^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) = 1 \times 2000 \times 25 = 50.000 \text{ cal}$$

$\therefore$  El agua es CAPAZ de derretir todo el hielo, y ADEMÁS de elevar la temperatura del agua resultante.

Todo tenderá a una temperatura  $T_e$  tal que :

$$\underbrace{m_{\text{Hielo}} \cdot L_{\text{fusión}}}_{\textcircled{1}} + \underbrace{C_{\text{Agua}} m_{\text{Hielo}} (T_e - 0)}_{\textcircled{2}} = \underbrace{C_{\text{Agua}} \cdot m_{\text{Agua}} (25 - T_e)}_{\textcircled{3}}$$

① : Cantidad de calor que recibe el hielo a  $0^\circ\text{C}$  para transformarse en Agua a  $0^\circ\text{C}$

② : Cantidad de Calor que recibe el agua proveniente del hielo ( $m_{\text{Hielo}}$ ) para elevar su temperatura a  $T_e$

③ : Cantidad de Calor que Cede el agua que inicialmente se encontraba en el recipiente al enfriarse de  $25^\circ\text{C}$  a  $T_e$ .

Reemplazando valores queda :

$$350 \times 80 + 1 \times 350 \times T_e = 1 \times 2000 (25 - T_e)$$

$$28000 + 350 T_e = 50000 - 2000 T_e$$

$$2350 T_e = 50000 - 28000 \Rightarrow T_e = 9,36^\circ\text{C}$$

El contenido será de 2350 g de Agua a  $T_e = 9,36^\circ\text{C}$ .

Veamos el caso en que inicialmente hay 1 kg de Agua en el recipiente.

a) Cantidad de Calor que puede aportar el enfriamiento de  $25^{\circ}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , del Agua inicial.

$$Q_1 = C_{\text{Agua}} m_{\text{Agua}} (25 - 0) = 1 \times 1000 \times 25 = 25000 \text{ Cal.}$$

b) Calor de fusión del hielo de  $m_{\text{hielo}} = 350 \text{ g} \Rightarrow Q_2 = 80 \times 350 \text{ cal}$

$$Q_2 = 28000 \text{ cal}$$

$\therefore$  El Agua inicial no puede fundir la totalidad del hielo.

Sólo podrá fundir parte del hielo.  $m_x$

El agua resultante quedará a  $0^{\circ}\text{C}$ .

$$m_x L_f = Q_1 \Rightarrow m_x = \frac{Q_1}{L_f} = \frac{25000 \text{ cal}}{80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}} = 312,5 \text{ g.}$$

$\therefore$  Quedará una mezcla equilibrada de Agua y Hielo a  $0^{\circ}\text{C}$ .

$$m_{\text{Agua}} = 312,5 \text{ g}$$

$$m_{\text{hielo}} = (350 - 312,5) \text{ g} = 37,5 \text{ g}$$

} a  $0^{\circ}\text{C}$ .