

cir, los que no están constituidos por ----  
cristales, no tienen puntos de fusión defi-  
nidos, como: La manteca, la cera, el vi----  
drio, etc.

Existen sólidos de elevado punto de fusión  
como: El tungsteno ( $3,370^{\circ}\text{C}$ ), el tántalo --  
( $3030^{\circ}\text{C}$ ), el Molibdeno ( $2620^{\circ}\text{C}$ ), otros de -  
puntos de fusión intermedios como; el Plati-  
no ( $2774^{\circ}\text{C}$ ), el Hierro ( $1535^{\circ}\text{C}$ ), el Alumi-  
nio ( $650.7^{\circ}\text{C}$ ) y otros con puntos de fusión  
relativamente bajos como: El Zinc ( $420^{\circ}\text{C}$ ), -  
el Plomo ( $327.4^{\circ}\text{C}$ ), el Estaño ( $231.9^{\circ}\text{C}$ ), --  
etc.

La temperatura de congelación o de solidifi-  
cación, es la temperatura en la cual, un lí-  
quido se transforma en sólido.

La temperatura de fusión y de congelación, -  
son las mismas en magnitud, para una misma  
sustancia. Por ejemplo; en el caso del hie-  
lo, su punto de fusión es  $0^{\circ}\text{C}$  y su punto de  
solidificación también es  $0^{\circ}\text{C}$ .

El punto de ebullición se define como: La -  
temperatura en que un líquido hierve, trans-  
formándose en vapor.

Por lo general, todos los líquidos continua-  
mente están evaporándose sin hervir, a dife-  
rentes temperaturas. Por ejemplo, si deja-  
mos un vaso con agua, a los pocos días nota-  
remos que el agua se ha reducido a la mitad  
de su volumen, sin que en ningún momento --  
hirviera. De ahí, la importancia de la defi-  
nición correcta del punto de ebullición.

Entre los líquidos de mayor punto de ebulli-  
ción se cuenta el Mercurio ( $356.6^{\circ}\text{C}$ ), de --  
punto de ebullición intermedio como el Agua  
( $100^{\circ}\text{C}$ ), y de punto de ebullición relativa-  
mente bajo se cuenta al Bromo ( $58^{\circ}\text{C}$ ).

La temperatura de licuación o de condensa-  
ción, es la que un vapor se transforma en -  
líquido.

La temperatura de ebullición y la temperatu-  
ra de licuación, son las mismas en magni-  
tud, para una misma sustancia. Por ejemplo;  
en el caso del Agua, su temperatura de ebu-  
llición es de  $100^{\circ}\text{C}$  y su temperatura de con-  
densación es de  $100^{\circ}\text{C}$ .

Los valores de las temperaturas de fusión y  
de ebullición anotadas, fueron medidas a la



presión de una atmósfera.

Cuando se habla de un sólido, es porque la sustancia en cuestión, es sólida a la temperatura ordinaria;  $20^{\circ}\text{C}$  y presión ordinaria; una atmósfera, lo mismo se dice en el caso de los líquidos.

Para fundir un sólido es necesario aplicarle calor. Durante este proceso de fusión, el sólido absorberá el calor para convertirse en líquido.

Durante la fusión, la temperatura de la mezcla: Sólido-líquido, no aumenta, es decir, hay un equilibrio térmico entre el sólido que se funde y su líquido que se forma. Estamos hablando en este preciso momento, de la temperatura de fusión del sólido.

Al calor necesario para convertir un sólido a líquido, se le llama; calor latente de fusión.

Entonces, el calor latente de fusión es: La cantidad de calor que se aplica a la unidad de masa de un sólido en su punto de fusión, para convertirlo a líquido.

De la misma manera, para hervir un líquido, hemos de aplicarle calor. Durante éste proceso, el líquido absorberá el calor aplicado para transformarse en vapor.

Durante la ebullición (cuando el líquido hierve), la temperatura del líquido no debe aumentar aunque se le aplique calor, pues ésta calor es absorbido por el líquido para convertirse en su vapor. Estamos hablando en éste preciso momento del punto de ebullición del líquido.

Al calor necesario para convertir un líquido en su vapor durante la ebullición, se le llama; calor latente de vaporización.

Entonces, el calor latente de vaporización se define como: La cantidad de calor que se aplica a la unidad de masa de un líquido en su punto de ebullición, para convertirlo en vapor.

Si representamos con las letras  $L_f$  al calor latente de fusión y con las letras  $L_v$  al calor latente de vaporización, podemos representar sus expresiones matemáticas correspondientes:



$$L_f = \frac{Q}{m} \dots\dots 1-9-1$$

$$L_v = \frac{Q}{m} \dots\dots 1-9-2$$

De acuerdo con las ecuaciones 1-9-1 y 1-9-2, determinaremos que las unidades de los calores latentes pueden ser:

$$\frac{\text{Cal}}{\text{gr}}, \quad \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \quad \text{y} \quad \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m}$$

Así como cada sustancia tiene un  $C_p$ , también tendrá un  $L_f$ , un  $L_v$ , una  $T_f$  (temperatura de fusión) y una  $T_e$  (temperatura de ebullición) que las caracterizará o la identificará del resto de las demás sustancias.

A continuación se dan los valores del punto de fusión:  $T_f$ , del punto de ebullición:  $T_e$ , del calor latente de fusión  $L_f$  y del calor latente de vaporización:  $L_v$ , del agua a la presión de una atmósfera.

$T_f$	$T_e$	$L_f$	$L_v$
$0^\circ\text{C}$	$100^\circ\text{C}$	$80 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}}$	$540 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}}$

El calor latente de fusión, será el mismo -

que libere el líquido al solidificarse en su punto de congelación. De la misma manera, el vapor al licuarse en su punto de condensación, liberará la misma cantidad de calor que se le aplicó para evaporarlo en su punto de ebullición: O sea, será igual a su calor latente de vaporización.

Lo anterior da a entender, que un vapor contiene más energía interna que su líquido, y el líquido contiene más energía interna que su sólido.

#### 1-10 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- La capacidad calorífica de cierta sustancia es de  $50 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$ . Expresar ésta capacidad en (a)  $\frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C}}$  y (b)  $\frac{\text{B.T.U.}}{^\circ\text{F}}$

Soluciones.- (a) Empleando el modelo matemático de conversiones de unidades ya conocido:

$$50 \frac{\text{Cal}}{^\circ\text{C}} = X \frac{\text{KCal}}{^\circ\text{C}}$$

$$50 \frac{\text{Cal}}{\text{Kcal}} \frac{^\circ\text{F}}{^\circ\text{C}} = X$$

$$50 \frac{\text{Cal}}{1000 \text{ Cal}} = X$$



que libere el líquido al solidificarse en su punto de congelación. De la misma manera, el vapor al licuarse en su punto de condensación, liberará la misma cantidad de calor que se le aplicó en su punto de ebullición. Al ser los calores latentes de ebullición y condensación iguales, se puede expresar el calor latente de vaporización en B.T.U. o en Kcal.

$$\frac{50}{1000} = X$$

$$X = .050$$

Entonces;  $50 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} = .050 \frac{\text{Kcal}}{^{\circ}\text{C}}$

(b)  $50 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} = X \frac{\text{B.T.U.}}{^{\circ}\text{F}}$

$$50 \frac{\text{Cal}}{\text{B.T.U.}} \frac{^{\circ}\text{F}}{^{\circ}\text{C}} = X$$

$$50 \frac{\text{Cal}}{252 \text{ Cal}} \frac{1.8^{\circ}\text{F}}{1.8^{\circ}\text{F}} = X$$

$$\frac{50}{252 \times 1.8} = X$$

$$X = .110$$

Por lo tanto;  $50 \frac{\text{Cal}}{^{\circ}\text{C}} = .110 \frac{\text{B.T.U.}}{^{\circ}\text{F}}$

Nota.- En éste inciso, se sustituyeron los  $^{\circ}\text{C}$  por su equivalente  $1.8^{\circ}\text{F}$ , no lo olvides.

2.- Demostrar, que cualesquier calor específico expresado en  $\frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}}$ , se puede expresar también con el mismo valor numérico en  $\frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m\text{-}^{\circ}\text{F}}$ .

Demostración.- Supongamos el  $C_p$  del Aluminio:

$$.220 \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}} = X \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m\text{-}^{\circ}\text{F}}$$

$$.220 \frac{\text{Cal}}{\text{B.T.U.}} \frac{\text{Lb}_m}{\text{gr}} \frac{^{\circ}\text{F}}{^{\circ}\text{C}} = X$$

$$.220 \frac{\text{Cal}}{252 \text{ Cal}} \frac{453.5 \text{ gr}^{\circ}\text{F}}{\text{gr}^{\circ}\text{F}} = X$$

$$\frac{.220 \times 453.5}{252 \times 1.8} = X$$

$$\frac{99.77}{453.6} = X$$

$$.220 = X$$

Al sustituir la X por su valor encontrado:  $.220$  en la primera ecuación, tendremos:

$$.220 \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}} = .220 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m\text{-}^{\circ}\text{F}}$$

Con esto se demuestra el enunciado de éste problema.

3.- El calor específico del hielo es de  $0.5 \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}}$ , expresarlo en  $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg-}^{\circ}\text{C}}$



Solución.-

$$.5 \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}} = X \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg-}^{\circ}\text{C}}$$

$$.5 \frac{\text{Cal}}{\text{Kcal}} \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} \frac{\text{Kg}}{\text{gr}} = X$$

$$.5 \frac{\text{Cal}}{1000 \text{ Cal}} \frac{1000 \text{ gr}}{\text{gr}} = X$$

$$.500 = X$$

$$X = .5$$

así es que:

$$.5 \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}} = .5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg-}^{\circ}\text{C}}$$

Este resultado nos conduce a ampliar el enunciado del problema 2, diciendo; cualesquier calor específico expresado en  $\frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}}$  se puede también expresar con el mismo valor numérico en  $\frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m\text{-}^{\circ}\text{F}}$  y además en  $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg-}^{\circ}\text{C}}$ . Entonces, para el caso del hielo tendremos:

$$.5 \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{\circ}\text{C}} = .5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg-}^{\circ}\text{C}} = .5 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m\text{-}^{\circ}\text{F}}$$

4.- Calcular la cantidad de calor necesario para fundir 50 gr de hielo. El calor la

tente de fusión del hielo es de  $80 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}}$ . Expresar el resultado en B.T.U.

Solución.- Partiendo de la ecuación:

$$L_f = \frac{Q}{m} \text{ y despejando } Q, \text{ tenemos:}$$

$Q = mL_f$ , sustituyendo  $m$  y  $L_f$  por sus valores;

$$Q = 50 \text{ gr} \left( 80 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}} \right) = 4000 \text{ Cal}$$

La cantidad de calor necesaria es de 4000 Cal, pero se pide que se exprese en B.T.U., por lo tanto:

$$4000 \text{ Cal} = X \text{ B.T.U.}$$

$$4000 \frac{\text{Cal}}{\text{B.T.U.}} = X$$

$$4000 \frac{\text{Cal}}{252 \text{ Cal}} = X$$

$$\frac{4000}{252} = X$$

$$X = 15.87$$

Por lo tanto, la cantidad de calor  $Q$  será de 15.87 B.T.U.

5.- El calor latente de fusión del hielo es



de  $80 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}}$ , expresar  $L_f$  en  $\frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m}$

Solución.-

$$80 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}} = X \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m}$$

$$80 \frac{\text{Cal}}{\text{B.T.U.}} \frac{\text{Lb}_m}{\text{gr}} = X$$

$$80 \frac{\text{Cal}}{252 \text{ Cal}} \frac{453.5 \text{ gr}}{\text{gr}} = X$$

$$\frac{80 \times 453.5}{252} = X$$

$$X = 143.96$$

Entonces:  $80 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}} = 143.96 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m}$

6.- El calor latente de vaporización del --  
agua es de  $540 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}}$ , expresarlo en  $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$

Solución.-

$$540 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}} = X \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$540 \frac{\text{Cal}}{\text{Kcal}} \frac{\text{Kg}}{\text{gr}} = X$$

$$540 \frac{\text{Cal}}{1000 \text{ Cal}} \frac{1000 \text{ gr}}{\text{gr}} = X$$

$$\frac{540 \times 1000}{1000} = X$$

$$X = 540$$

así es que:

$$540 \frac{\text{Cal}}{\text{gr}} = 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

7.- ¿Cuánto hielo se fundirá al aplicarle -  
200 B.T.U. en su punto de fusión?

Solución.- Si partimos de que:

$$L_f = \frac{Q}{m} \text{ y despejamos } m:$$

$$m = \frac{Q}{L_f}, \text{ y aprovechando el resultado}$$

$$\text{del problema 5 en que: } L_f = 143.96 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m}$$

tendremos que:

$$m = \frac{Q}{L_f} = \frac{200 \text{ B.T.U.}}{143.96 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Lb}_m}} = 1.39 \text{ Lb}_m$$

o sea que, se fundirán 1.39 Libras de -  
hielo.

8.- ¿Cuánta agua ha de evaporarse en su pun-  
to de ebullición, si le aplicamos -----



10 Kcal?

Solución.- Si tenemos que:

$$L_v = \frac{Q}{m}, \text{ despejamos } m,$$

$m = \frac{Q}{L_v}$  y aprovechando el resultado del problema 6, en el cual:  $L_v = 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$ ,

$$\text{entonces: } m = \frac{Q}{L_v} = \frac{10 \text{ Kcal}}{540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}} = .185 \text{ Kg}$$

o sea, que se evaporarán:  $.0185 \text{ Kg} = 18.5 \text{ gr}$  de agua.

9.- ¿Cuanta energía calorífica hemos de aplicar para evaporar 100 litros de agua, en su temperatura de ebullición?

Solución.- Como tenemos que:  $L_v = \frac{Q}{m}$ , despejamos:  $Q = m L_v$

Ahora, como la densidad del agua es  $1 \frac{\text{Kg}}{\text{Lto}}$ :

y usando la fórmula de la Densidad:  $D = \frac{M}{V}$ , y

y despejando M, tenemos,  $M = DV$ , al sustituir D y V por los datos conocidos:

$$M = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{Litro}} (100 \text{ Litros}) = 100 \text{ Kg}$$

o sea que 100 Litros de agua equivalen a 100 Kg.

Como el calor latente de vaporización -  $L_v$  del agua es de  $540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$ , tenemos:

$$Q = mL_v = 100 \text{ Kg} (540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}) = 54,000 \text{ Kcal}$$

o sea, que habrá necesidad de gastar: 54,000 --- Kcal, para evaporar los 100 litros de agua.

1-11 CALENTAMIENTO.- Un cuerpo frío lo podemos calentar aplicándole directamente energía térmica, por ejemplo; poniéndolo al sol o sobre la llama de una estufa. O ejerciendo directamente sobre él, un trabajo mecánico, por ejemplo; frotándolo. O también, si lo sumergimos directamente en un medio caliente, por ejemplo: echándolo en agua que esté a una temperatura superior a la del cuerpo. En cualesquiera de los casos anteriores, el cuerpo recibirá energía térmica: Q, dando lugar a un aumento en su temperatura. Para una masa m dada, la cantidad de calor Q que reciba para que su temperatura aumen



te un cierto valor dado por  $\Delta T$ , estará expresada por:

$$Q = m C_p \Delta T \quad \dots\dots 1-11-1$$

siendo el  $C_p$ , el calor específico de la sustancia de que se trate, mientras que  $\Delta T$  será igual a:  $T - T_o$ , siendo  $T$  la temperatura final y  $T_o$  la temperatura inicial. La ecuación 1-11-1, también se puede expresar así:

$$Q = m C_p (T - T_o) \quad \dots\dots 1-11-2$$

Las ecuaciones 1-11-1 y 1-11-2, se pueden usar tanto para un cuerpo que se calienta, como para un cuerpo que se enfría, con la diferencia de que al enfriarse;  $\Delta T$  será negativo, pues  $T$  será menor que  $T_o$ , escribiéndose entonces las ecuaciones de la siguiente manera, para un cuerpo que se enfría:

$$Q = - m C_p \Delta T \quad \dots\dots 1-11-3$$

$$Q = - m C_p (T - T_o) \quad \dots\dots 1-11-4$$

El signo menos en estas ecuaciones significan físicamente: pérdida de calor, que es lo que le pasa a un cuerpo que se enfría.

Ahora, si combinamos las ecuaciones de un cuerpo que se enfría, con las ecuaciones de un cuerpo que se calienta:

$$m_1 C_{p1} \Delta T_1 = - m_2 C_{p2} \Delta T_2 \quad \dots\dots 1-11-5$$

$$m_1 C_{p1} (T - T_o)_1 = - m_2 C_{p2} (T - T_o)_2 \quad \dots\dots 1-11-6$$

Las ecuaciones 1-11-2 1-11-4 y 1-11-6, son las que más usaremos: La ecuación 1-11-2 para calcular la cantidad de calor necesaria para calentar un cuerpo, la 1-11-4 para calcular la cantidad de calor que pierde un cuerpo al enfriarse y la 1-11-6 para calcular la cantidad de calor que pierde un cuerpo al enfriarse, pero que la gana a la vez, el otro cuerpo al calentarse.

En la ecuación 1-11-6, el subíndice 1 es para el cuerpo que se calienta y el subíndice 2 es para el cuerpo que se enfría.

La ecuación 1-11-6 indica una forma de expresar la conservación de la energía, pues la energía interna que pierde el cuerpo 2 en forma de energía calorífica, la gana el cuerpo 1, para aumentar su energía interna. En éste proceso termodinámico, el cuerpo 2