

Actividad V.53 – Transiciones de fases – Calor latente de transformación

Objetivo

Estudio de transiciones de fase líquido–vapor y sólido–líquido. Medición de los calores latentes de evaporación y de fusión del agua.

Introducción

Una sustancia experimenta una transición de fases cuando cambia su estado físico, por ejemplo cuando pasa del estado sólido a líquido. Para sustancias simples, estas transiciones ocurren a una temperatura bien definida, que en general depende de la presión.^[1] Cuando una sustancia sólida se calienta, pasa del estado sólido al estado líquido en un proceso denominado *fusión*, que ocurre, para una dada presión, a la *temperatura de fusión* T_f . De manera similar, si se enfría el líquido por debajo de T_f pasará al estado sólido en un proceso que se denomina *solidificación*. Cuando se calienta un líquido hasta su *temperatura de ebullición* T_e , el líquido sufre una transición al estado de vapor denominada *vaporización*. De manera inversa, si un vapor que está a temperatura mayor que T_e se enfría, pasa al estado líquido y el proceso se denomina *licuefacción*. Otro tipo de transición es la *sublimación*, que es el cambio de estado sólido–vapor, sin pasar por un estado líquido intermedio. En todos estos procesos está involucrada una cantidad de calor que se denomina calor latente de transformación.^[1] El calor latente está asociado a la energía requerida (absorbida o entregada por la sustancia) para que la sustancia realice el cambio de fase, desde un estado a otro. En esta actividad estudiaremos el comportamiento de una sustancia pura durante sus transiciones de fase sólido–líquido y líquido–vapor y mediremos los calores latentes involucrados.

Proyecto 1.- Transición líquido-vapor – Calor latente de evaporación

Equipamiento básico: Un calorímetro de unos 250 cm³. Un termómetro que mida entre 0 °C y 100 °C. Una balanza que aprecie 0.1 g. Un calentador de agua que produzca vapor.

El propósito de este proyecto es medir el calor latente de evaporación L_v del agua, asociado a la transición líquido-vapor. L_v se define alternativamente como la cantidad de calor Q que hay que suministrar a un gramo de agua líquida a la temperatura de ebullición, T_e , para que pase al estado de vapor a la misma temperatura, o bien como la cantidad de calor Q que un gramo de vapor a la temperatura T_e entrega para condensarse, convirtiéndose en líquido a la misma temperatura, es decir:

$$L_v = \frac{Q}{m} \quad \text{a } T = T_e. \quad (53.1)$$

Una manera de realizar este experimento es usando un diseño similar al que se muestra esquemáticamente en la Fig. 53.1. El método se basa en usar un dispositivo que genere vapor de agua. Esto puede lograrse con, por ejemplo, una cafetera donde hierva agua y que tenga una manguera de un material resistente al calor para conducir el vapor producido, hasta un calorímetro colocado en su adyacencia. También puede usarse un generador comercial como los que se usan para humedecer ambientes o los provistos por fabricantes de equipos de laboratorios.

El vapor generado se conduce hasta el calorímetro que contiene una masa $M_{\text{agua fría}}$ de agua fría a la temperatura $T_{\text{fría}}$. Cuando el vapor se condensa en el agua del calorímetro

la energía calórica del vapor se libera en el agua de dos maneras. Una parte de la energía es aportada por la condensación del vapor a la temperatura T_{vapor} . Si la masa de vapor condensado es M_{vapor} , según la Ec.(53.1) este calor es:

$$Q_1 = M_{vapor} L_v \quad (53.2)$$

La otra parte de la energía la aporta el agua condensada, que baja su temperatura desde la temperatura T_{vapor} a la temperatura final T_{final} , que será la temperatura final de toda el agua en el calorímetro:

$$Q_2 = M_{vapor} c_{agua} (T_{vapor} - T_{final}) \quad (53.3)$$

donde c_{agua} es el calor específico del agua.

Aplicando el principio de conservación de la energía a este proceso de intercambio de calor tenemos:

$$M_{vapor} \cdot L_v + M_{vapor} \cdot c_{agua} (T_{vapor} - T_{final}) = M_{agua_fría} \cdot c_{agua} \cdot (T_{final} - T_{fría}) \quad (53.4)$$

De esta expresión puede obtenerse el valor de L_v para el agua.

- Coloque en el calorímetro aproximadamente 250 cm³ de agua fría entre 10 a 20 °C por debajo de la temperatura ambiente. Mida la masa de esta agua fría y su temperatura inicial, $M_{agua_fría}$ y $T_{fría}$. Para lo primero pese el calorímetro vacío y luego péselo con el agua fría y obtenga $M_{agua_fría}$ por diferencia.
- Encienda el generador de vapor y observe que mientras dura la ebullición del agua, es decir, mientras se realiza la transición líquido-vapor del agua, la temperatura se mantiene constante.

- ✓ Mida la temperatura de ebullición T_e del agua.

Espere que el vapor caliente la manguera y que fluya continuamente, de modo que cuando lo haga ingresar al agua fría del calorímetro pueda suponer que ingresa a la temperatura $T_v = T_e$. Cuando esto ocurra, sumerja la manguera en el agua fría del calorímetro para que el vapor intercambie calor con esta agua. Usando un termómetro en el calorímetro, preferentemente conectado a una computadora (aunque esto último no es imprescindible para la realización del experimento), siga la evolución de la temperatura del calorímetro. Cuando la temperatura del agua suba por sobre la temperatura ambiente una magnitud tal que:

$$T - T_{\text{agua fría}} = T_{\text{amb}} - T_{\text{agua fría}}$$

retire la manguera y deje de aportar vapor. Continúe agitando el agua y registre la temperatura final que alcanza el agua, T_{final} . Finalmente pese nuevamente el calorímetro con el agua. Obtenga por diferencia el valor del agua aportada por la condensación del vapor, M_{vapor} .

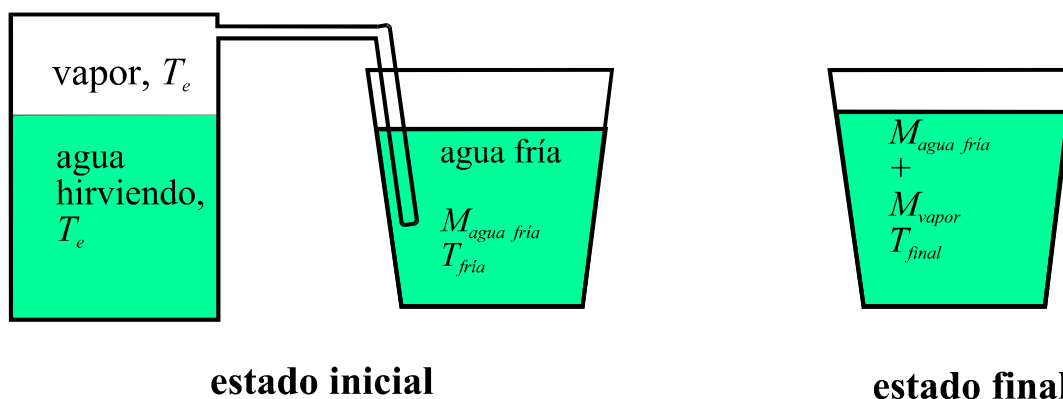


Figura 53.1 Diagrama esquemático del experimento de determinación del calor de evaporación del agua.

- Usando la Ec. (53.4) y los valores medidos de masas y temperaturas, obtenga el valor de L_v para el agua y estime la incertidumbre de la determinación.

- Compare el valor obtenido con el valor de tabla de L_v para la misma temperatura T_e que midió en el generador de vapor.
- Discuta como se modificaría el valor de L_v si se incluyera una corrección por el hecho de que el calorímetro y el termómetro que contiene intervienen en el proceso de transferencia de calor. En la Actividad V.54 se da un método para determinar la masa equivalente de agua con la que pueden reemplazarse el calorímetro, el termómetro y los demás elementos colocados en él, denominada equivalente en agua del calorímetro, M_{equiv} .

Proyecto 2.- Transición sólido-líquido – Calor latente de fusión

Equipamiento básico: Un calorímetro de unos 250 cm³. Un termómetro que mida entre 0 °C y 100 °C. Una balanza que aprecie 0.1 g.

El propósito de este experimento es medir el calor latente de fusión L_f del agua, es decir la cantidad de calor Q necesaria para que un gramo de agua sólida (hielo) a la temperatura de fusión T_f pase al estado líquido a la misma temperatura, es decir:

$$L_f = \frac{Q}{m} \quad \text{a} \quad T = T_f \quad (53.5)$$

Este experimento es similar al del Proyecto 1, excepto que esta vez usaremos hielo que mezclaremos con el agua líquida contenida en un calorímetro. Si mezclamos una masa M_{hielo} de hielo con una masa M_{agua} de agua líquida que se encuentre a una temperatura T_{cal} mayor que T_f , ésta le entregará una cantidad de calor al hielo que lo

fundirá y, una vez líquido, lo calentará hasta una temperatura final de mezcla T_{final} . Si aplicamos el principio de conservación de la energía a este proceso, tenemos:

$$M_{hielo} \cdot L_f + M_{hielo} \cdot C_{agua} (T_{hielo} - T_{final}) = M_{agua_cal} \cdot C_{agua} \cdot (T_{cal} - T_{final}) \quad (53.6)$$

donde el primer término es la parte del calor que entrega el agua para fundir el hielo a $T_{hielo} = T_f$ y el segundo es el calor que recibe el hielo fundido para calentarse hasta T_{final} . De esta expresión puede obtenerse el valor de L_f para el agua.

- Coloque en el calorímetro aproximadamente 250 cm³ de agua a una temperatura unos 20 °C por encima de la temperatura ambiente. En otro recipiente coloque el hielo. Para medir T_f puede mezclar el hielo con agua fría y esperar a que exista equilibrio térmico de esta mezcla, *sin que se funda totalmente el hielo*. Esta mezcla en equilibrio estará a la temperatura T_f que puede medirse con un termómetro sumergido en el agua.
- ✓ Mida la masa de agua M_{agua_cal} colocada en el calorímetro y también mida su temperatura T_{cal} .
- ✓ Mida la temperatura del hielo, $T_{hielo} = T_f$.
- Proceda a agregar lentamente pequeños trozos de hielo en el agua mientras la agita continuamente. Trate de que sea sólo hielo lo que agrega; para esto es conveniente que escurra el exceso de agua líquida de cada trozo de hielo antes de agregarlo al calorímetro. Mida la evolución de la temperatura de la mezcla. Puede ser adecuado usar un termómetro conectado a una PC para tener una lectura automática continua. Cuando la temperatura T sea tal que:

$$T_{amb} - T \cong T_{agua_cal} - T_{amb}$$

y todo el hielo esté fundido:

- ✓ mida la temperatura final de la mezcla (ahora todo es agua líquida), T_{final} .
- ✓ pese el calorímetro para determinar por diferencia la masa de hielo agregado, M_{hielo} .

➤ Note que la Ec.(53.6) puede escribirse como:

$$M_{agua_cal} \cdot c_{agua} \cdot (T_{cal} - T_{final}) - M_{hielo} \cdot c_{agua} (T_{hielo} - T_{final}) = M_{hielo} \cdot L_f \quad (53.7)$$

de manera que si se repite el procedimiento usando distintas masas de hielo M_{hielo} , podemos esperar que un gráfico del primer miembro de (53.6) en función de M_{hielo} sea una recta cuya pendiente representa el calor latente de fusión L_f .

- ✓ Obtenga el valor de L_f para el agua y estime la incertidumbre de esta determinación.
- Consulte una tabla de propiedades físicas del agua y compare el valor obtenido con el aceptado para L_f para la misma temperatura T_f .

Bibliografía

1. M. Zemansky, *Calor y termodinámica* (Aguilar, Madrid, 1973).
2. J.E. Fernández y E. Galloni, *Trabajos prácticos de Física* (Nigar, Buenos Aires, 1968).