

## EXPERIMENTO 6

# Calor latente del agua

## Objetivos

- \* Comprender la diferencia entre los conceptos de temperatura y calor.
- \* Entender los diferentes procesos de transferencia de calor.
- \* Determinar la potencia de una plancha de calentamiento.
- \* Determinar los calores latentes de fusión y de vaporización del agua.

## Introducción

La primera parte de esta práctica consiste en tomar datos de temperatura en el tiempo para determinar el calor latente de fusión del agua. Para esto, se pone agua tibia en contacto con hielo en un calorímetro y se determinan la temperatura inicial y la temperatura final de la reacción de fusión.

En la segunda parte, se toman datos de masa y temperatura del agua en el tiempo para determinar la potencia que suministra una plancha de calentamiento y con eso, se calcula el calor latente de vaporización del agua. Esto se hace poniendo una masa determinada de agua a bullir, midiendo constantemente su peso y su temperatura durante los procesos de calentamiento y ebullición.

## Materiales

- \* Beaker de plástico de 250 ml
- \* Agua
- \* Hielo
- \* Base para medir el hielo
- \* Balanza
- \* Horno microondas
- \* Calorímetro Phywe 04401.00
- \* Sensor de temperatura Vernier
- \* Dos soportes con varilla, nuez y prensa

- \* Polea
- \* Regla
- \* Erlenmeyer de 100 ml con cordel para colgar
- \* Sensor de fuerza Vernier
- \* Plancha de calentamiento
- \* Computador con Logger Pro
- \* Interfaz LabQuest Stream

## Teoría

Cuando dos o más cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto, intercambian energía hasta que llegan al *equilibrio térmico*, es decir que ambos cuerpos llegan a un punto en el que tienen la misma temperatura. La energía que intercambian en este proceso se denomina *calor*. Los términos de calor y temperatura son muy diferentes y a menudo se confunden. La temperatura es una medida de la energía cinética de las partículas de un cuerpo, y la percibimos en la vida diaria cuando un cuerpo está caliente o frío. De este modo, si la temperatura de un cuerpo es alta lo sentimos caliente, y si es baja lo sentimos frío. Una unidad para medir temperatura es el grado centígrado ( $^{\circ}\text{C}$ )

Por su parte, el calor es la energía que se transmite de un cuerpo con alta temperatura a uno con baja temperatura. Cuando sentimos un cuerpo caliente, este nos transfiere calor, mientras que cuando lo sentimos frío, le estamos transfiriendo calor. El calor se mide en unidades de energía. En esta práctica se usará la *caloría*, que es la cantidad de energía necesaria para aumentar en  $1^{\circ}\text{C}$  la temperatura de 1 gramo de agua.

Cuando un objeto recibe o cede calor y cambia su temperatura, este calor  $Q$  se puede cuantificar por medio de la ecuación

$$Q = mc\Delta T, \quad (6.1)$$

donde  $m$  es la masa del objeto,  $\Delta T$  es el cambio de temperatura definido como  $\Delta T = T_f - T_i$  y  $c$  es su *calor específico*. Note que el sentido del flujo de calor está determinado por el signo de  $\Delta T$ : si el objeto aumenta su temperatura, el objeto *recibe* calor y este tiene signo positivo; mientras que si el objeto disminuye su temperatura, el objeto *cede* calor y este tiene signo negativo.

Cuando un objeto se somete a una transición de fase, este no cambia su temperatura aunque si intercambia calor. Este calor se cuantifica con la ecuación

$$Q = \pm mL, \quad (6.2)$$

donde  $L$  es una constante que depende del material del objeto, denominada *calor latente*. Esta constante es diferente para las distintas transiciones de fase de un material, de modo que cada uno posee un *calor latente de fusión*,  $L_f$ , y un *calor latente de vaporización*,  $L_v$ . Note que el calor de transición dado por la ecuación (6.2) puede ser positivo o negativo. Esto implica que en procesos que reciben calor (fusión y vaporización), este será positivo, mientras que en aquellos procesos que ceden calor (solidificación y condensación), este será negativo. Los calores latentes de fusión y vaporización del agua son, respectivamente

$$L_f = 79.7 \frac{\text{cal}}{\text{g}}, \quad L_v = 539 \frac{\text{cal}}{\text{g}}. \quad (6.3)$$

### 1. Calor latente de fusión

Para la primera parte del experimento, se pone hielo, de masa  $m_H$ , a  $0^\circ\text{C}$  en el calorímetro con agua caliente, de masa  $m_A$ ; ambos a una temperatura inicial  $T_i$ . Una vez el hielo, el agua caliente y el calorímetro estén en contacto, se tendrán dos procesos: el primero consiste en el cambio de fase del hielo (sólido) al agua líquida, donde se transfiere un calor  $Q_F$  y se usa la ecuación (6.2); y el segundo que consiste en el aumento de temperatura del agua (proveniente del hielo que se acaba de derretir) a la temperatura final de equilibrio de todo el sistema  $T_f$ , donde se transfiere un calor  $Q_T$  y se usa la ecuación (6.1). Al sumar estos términos, se obtiene el calor total  $Q_H$  que recibe el hielo del conjunto agua-calorímetro desde la transición de fase hasta que alcanza el equilibrio térmico:

$$\begin{aligned} Q_H &= Q_F + Q_T \\ &= m_H L_f + m_H c_A (T_f - 0^\circ\text{C}), \end{aligned} \quad (6.4)$$

$$\sigma_{L_f} = \sqrt{\frac{\sigma_m^2 (T_f - T_i)^2 (c_A^2 m_H^2 + (c_A m_A + C_C)^2)}{m_H^4} + \frac{\sigma_T^2 (2c_A m_H (c_A m_A + C_C) + c_A^2 m_H^2 + 2(c_A m_A + c_c)^2)}{m_H^2}}. \quad (6.9)$$

### 2. Calor latente de vaporización

Para la segunda parte del experimento, se requiere calcular la potencia de calentamiento de la plancha, que es la tasa de emisión de calor por unidad de tiempo; es decir

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t}. \quad (6.10)$$

En esta parte del experimento, la plancha transfiere calor al conjunto agua-Erlenmeyer, causando un aumento en su temperatura. Si durante un tiempo  $\Delta t$ ,

donde  $c_A = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  es el calor específico del agua. Por otro lado, los calores que le ceden el agua y el calorímetro al hielo son, respectivamente

$$\begin{aligned} Q_A &= m_{AC} (T_f - T_i), \\ Q_C &= C_C (T_f - T_i). \end{aligned} \quad (6.5)$$

donde  $C_C$  es la capacidad calorífica del calorímetro que se calculó en la práctica pasada. Para esta práctica usaremos el valor especificado por su fabricante, que es  $16.73 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ .

En un proceso de calorimetría como el de esta práctica, en donde dos o más objetos intercambian calor en un *sistema aislado*, la suma de los calores debe ser igual a cero. Cuando el hielo entra en contacto con el sistema agua-calorímetro, el calor que gana el hielo es igual al calor que pierde el sistema agua-calorímetro. De esta manera, la suma de los calores se puede expresar como

$$Q_H + Q_A + Q_C = 0, \quad (6.6)$$

que reemplazando con las ecuaciones (6.4) y (6.5) se obtiene la ecuación

$$m_H L_f + m_H c_A T_f + (m_A c_A + C_C)(T_f - T_i) = 0. \quad (6.7)$$

Al despejar  $L_f$  de la ecuación (6.7), se tiene una expresión para el calor latente de fusión del agua en términos de las temperaturas inicial y final, de la capacidad calorífica del calorímetro y de las masas del agua y del hielo dada en la ecuación (6.8).

$$L_f = \frac{1}{m_H} [(C_C + m_A c_A)(T_i - T_f) - m_H c_A T_f]. \quad (6.8)$$

La incertidumbre se calcula de acuerdo a la expresión dada por la ecuación (6.9)

el sistema agua-Erlenmeyer experimenta un cambio  $\Delta T$  de temperatura, entonces el calor absorbido por el sistema será

$$\Delta Q = (m_A c_A + m_E c_E) \Delta T, \quad (6.11)$$

donde  $m_A$  es la masa del agua,  $c_A$  su calor específico,  $m_E$  la masa del Erlenmeyer y  $c_E$  su calor específico, que tiene un valor de  $c_E = 0.186 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ . Al reemplazar la ecuación (6.11) en la ecuación (6.10), se tiene que

$$P = (m_A c_A + m_E c_E) \frac{\Delta T}{\Delta t}. \quad (6.12)$$

Durante el cambio de fase de agua líquida a vapor, el calor se calcula con ecuación (6.2) por lo que la definición de potencia cambia a ser la de la ecuación

$$P = L_v \left| \frac{\Delta m}{\Delta t} \right| \quad (6.13)$$

siendo  $\Delta m$  la masa de agua evaporada, tal que la tasa  $\frac{\Delta m}{\Delta t}$  indica la masa que se evapora por unidad de tiempo. Igualando las expresiones de potencia de las ecuaciones (6.12) y (6.13) y reorganizando térmi-

nos obtenemos una expresión para el calor latente de vaporización  $L_V$  como se ve en la ecuación (6.14).

$$L_V = (m_A c_A + m_E c_E) \frac{\frac{\Delta T}{\Delta t}}{\left| \frac{\Delta m}{\Delta t} \right|} \quad (6.14)$$

La incertidumbre asociada al calor latente de vaporización estará dada por la ecuación (6.15).

$$\sigma_{L_V} = \sqrt{\frac{\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)^2 \sigma_m^2 (c_A^2 + c_E^2)}{\left(\frac{\Delta m}{\Delta t}\right)^2} + \frac{\left(\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)^2 \sigma_{\frac{\Delta m}{\Delta t}}^2 + \left(\frac{\Delta m}{\Delta t}\right)^2 \sigma_{\frac{\Delta T}{\Delta t}}^2\right) (c_A m_A + c_E m_E)^2}{\left(\frac{\Delta m}{\Delta t}\right)^4}}. \quad (6.15)$$

## Precauciones

**⚠ Advertencia:** Tenga precaución con el manejo del agua caliente. Líquidos a 60°C producen quemaduras graves tras 5 segundos de exposición; a 68°C tras apenas 1 s. Fuente: [American Burn Association](#).

**Nota:** Evite a toda costa que los elementos electrónicos como el *LabQuest Stream* o el computador se mojen con el agua o el hielo usados durante la práctica.


**⚠ Advertencia:** La plancha de calentamiento es un dispositivo que debe manipularse con mucha precaución. Esté siempre muy consciente de cuándo está encendida o cuándo permanece caliente después de usarla. Puede permanecer muy caliente, hasta 350°C, por varios minutos después de usarla.

**Nota:** Evite que materiales que puedan quemarse o sufrir daños a altas temperaturas entren en contacto con la superficie de la plancha de calentamiento.

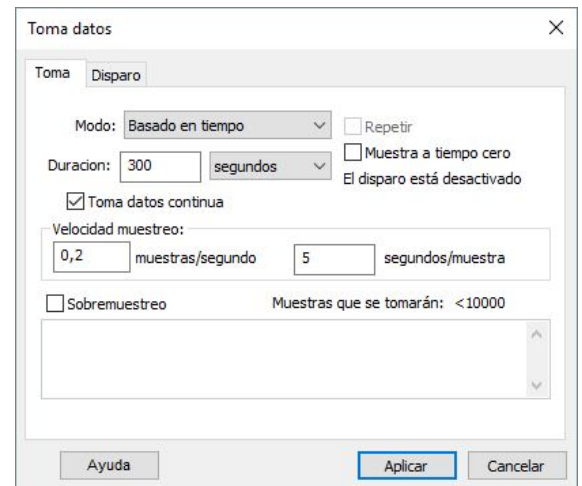
## Procedimiento

Se recomienda que mientras un estudiante del grupo está realizando las medidas de *calor latente de fusión*, el otro esté preparando el montaje de *calor latente de vaporización*.

### 1. Calor latente de fusión


- Configure Logger Pro para que la adquisición de datos sea en modo basado en tiempo. Para esto, abra el menú **Toma datos** oprimiendo el botón . En la casilla desplegable **Modo** escoja **Basado en tiempo**, seleccione la casilla


**Toma datos** continua y en velocidad de muestreo ponga **5 segundos/muestra**.




- Caliente agua en el microondas por 2 minutos aproximadamente. Deba alcanzar una temperatura de al menos 40°C. Anote la cantidad de masa de agua en la casilla correspondiente de Logger Pro.

**Nota:** La cantidad de agua caliente que debe agregar debe ser solo un poco mayor a la cantidad de masa de hielo que agregará posteriormente para obtener mejores resultados.

- Agregue el agua caliente en el calorímetro y espere a que llegue al equilibrio térmico con este. La temperatura de equilibrio será  $T_i$ , anóte este valor en la casilla **T aguacalorímetro**.
- Obtenga la masa del hielo que va a usar y asegúrese que esté a 0°C (se debe estar derritiendo). Agregue el hielo al sistema agua-calorímetro. Empiece la toma de datos oprimiendo el botón **Tomar Datos** .
- Cuando la temperatura se estabilice alrededor de un punto en la gráfica (verificando que el hielo

sí se haya derretido en su totalidad), presione el botón **Parar**  en Logger Pro para detener la toma de datos. Esta será la temperatura final de equilibrio  $T_f$ . Dé un nombre adecuado a la columna de datos.

## 2. Calor latente de vaporización

- \* Encienda la plancha a su máxima capacidad y déjela calentarse alrededor de 5 minutos.
- \* En Logger Pro, oprima **Ctrl + L** para crear una nueva columna de datos. Mantenga la configuración de toma de datos igual que en el montaje anterior.
- \* Caliente 70 mL de agua en el microondas por minuto y medio tal que su temperatura llegue por lo menos  $40^{\circ}\text{C}$ ; mida su temperatura y de ser necesario caliente por más tiempo su agua.
- \* Oprima el botón **Establecer punto cero**  para llevar a cero el sensor de fuerza.

**Nota:** Para optimizar el tiempo, puede compartir con sus compañeros de otros grupos un microondas donde cada grupo ingrese su beaker con los 70 mL requeridos.


- \* Mida la masa del agua caliente en la balanza y luego viértala en el Erlenmeyer.
- \* Asegúrese que uno de los extremos de la cuerda se encuentre atado al sensor de fuerza y el otro al sujetador del Erlenmeyer de manera tal que dicha cuerda pase por la polea, tal y como se muestra en la figura 6.1 (o de forma equivalente).

Asegúrese que el Erlenmeyer esté en el centro de la plancha y que la distancia que los separa sea la menor posible, entre 2 mm y 4 mm.

**Nota:** Es sumamente importante que el Erlenmeyer no toque la plancha en ningún momento, y que la distancia no se modifique a lo largo del experimento. Una vez ensamblado, no cambie el montaje bajo ninguna circunstancia.

- \* Introduzca la sonda de temperatura en el agua. Asegúrese que la punta del sensor esté completamente sumergida en el agua.

**⚠ Advertencia:** el cable del sensor de temperatura no debe tocar la plancha de calentamiento.

- \* Monitoree la temperatura del agua con el medidor en Logger Pro. Cuando la temperatura se acerque a las  $50^{\circ}\text{C}$ , empiece la toma de datos oprimiendo el botón **Tomar Datos** . Evite mover cualquier parte del montaje durante la toma de datos, pues el sensor de fuerza es sensible

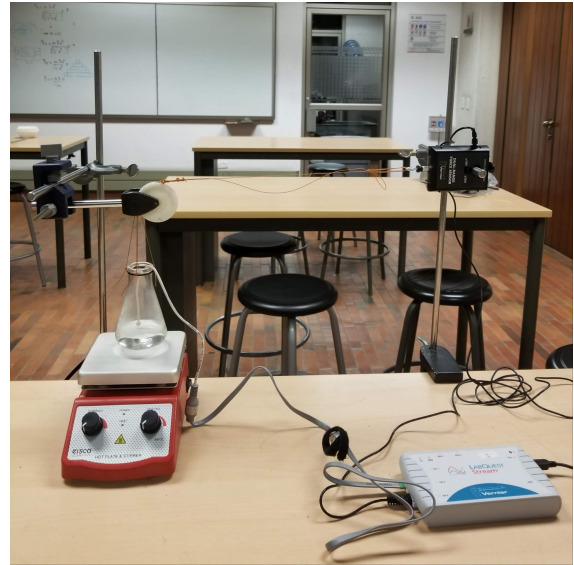



Figura 6.1: Foto del montaje para la segunda parte del experimento.

a estos movimientos. Configure la gráfica para que muestre los datos tomados de temperatura contra tiempo y fuerza contra tiempo en tiempo real igual que en el montaje anterior.

- \* Cuando se hayan evaporado aproximadamente unos 20 mL (un cambio de 0.2N en el sensor de fuerza) de agua dentro del Erlenmeyer detenga la toma de datos con el botón **Parar** .
- \* Apague la plancha. Tenga cuidado ya que esta puede permanecer caliente por un tiempo después de apagada. Dé un nombre adecuado a la columna de datos.

## Análisis cualitativo

- \* ¿Qué pasa si el hielo al entrar al calorímetro no está a  $0^{\circ}\text{C}$  sino a una temperatura menor?
- \* ¿Por qué se pesa el agua después de calentarla y no antes?
- \* ¿Qué pasa si no da suficiente tiempo para que el agua y el calorímetro lleguen al equilibrio?
- \* ¿Por qué el Erlenmeyer no puede tocar la plancha?
- \* ¿Por qué la distancia entre el Erlenmeyer y la plancha no puede modificarse durante el experimento?
- \* ¿Qué factores pueden afectar la potencia estimada de la plancha?
- \* ¿Por qué no se necesita el calor específico del hielo?

## Análisis cuantitativo

### 1. Calor latente de fusión

- \* Determine el calor latente de fusión del agua usando la ecuación (6.8) y los valores que calculó durante la práctica. Determine la incertidumbre con la ecuación (6.9). Compare con el valor teórico.

### 2. Calor latente de Vaporización

- \* Describa la gráfica de temperatura contra tiempo del segundo montaje. ¿Puede distinguir procesos diferentes? ¿Es consistente con la gráfica de m vs t?
- \* En Logger Pro, en el menú **Datos** seleccione **Nueva columna calculada** y a partir de la fuerza calcule la cantidad de masa evaporada.
- \* Haga una regresión lineal de los datos de temperatura vs tiempo, seleccione la región en donde el comportamiento sea lineal. De la regresión obtenga el resultado para  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ .
- \* De la gráfica de masa vs tiempo en la región donde se tiene evaporación, realice una regresión lineal para encontrar  $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ .
- \* Use la ecuación (6.14) para hallar el calor latente de vaporización del agua. Halle su incertidumbre usando la ecuación (6.15). Compare con el valor teórico.
- \* Comente todos sus resultados y gráficas e indique las posibles fuentes y tipos de error.