

## Escalfament i canvi d'estat de l'aigua

### Objectius

- Comprovar com durant un canvi d'estat, l'ebullició de l'aigua, la temperatura es manté constant.
- Determinar la temperatura d'ebullició de l'aigua,  $T_e$ .
- Determinar la capacitat calorífica específica de l'aigua,  $c_e$ .
- Determinar la calor de vaporització molar de l'aigua,  $L$ .

### Introducció

Quan s'escalfa un líquid, la seva temperatura augmenta proporcionalment a l'energia subministrada, fins que el líquid bull. A partir d'aquest moment i mentre dura l'ebullició, la temperatura es manté constant.

Els paràmetres que permeten quantificar el comportament d'un líquid quan s'escalfa són:

- La capacitat calorífica específica,  $c_e$
- La calor de vaporització,  $L$
- La temperatura d'ebullició,  $T_e$ .

La capacitat calorífica específica,  $c_e$ , és l'energia necessària per aconseguir que una massa d'1 kg de substància augmenti la seva temperatura en 1°C (o 1K). Es mesura en J/kg K.

$$c_e = E_1 / m_1 \Delta T$$

$E_1$  és l'energia subministrada;  $\Delta T$  és l'augment de temperatura i  $m_1$  és la massa que s'escalfa.

La calor de vaporització,  $L$ , és l'energia necessària per vaporitzar una quantitat determinada de líquid a temperatura d'ebullició. Si considerem 1 mol de líquid, s'anomena calor de vaporització molar i es mesura en J/mol.

$$L = E_2 / n$$

$E_2$  és l'energia subministrada i  $n$  és la quantitat de líquid vaporitzat

La temperatura d'ebullició,  $T_e$  és la temperatura a la qual la substància canvia d'estat, passant de líquid a vapor i es manté constant mentre dura el procés. Un líquid bull quan la pressió del vapor s'iguali a l'atmosfèrica.

Durant l'ebullició, tota l'energia subministrada s'utilitza en el trencament d'enllaços entre les partícules del líquid (àtoms, molècules o ions). Com més grans siguin les forces intermoleculares més elevades seran la seva temperatura d'ebullició i la calor de vaporització.

En l'experiment utilitzareu un sensor de temperatura per enregistrar la temperatura de l'aigua, mentre se li subministra energia amb una resistència calefactora d'immersió de potència coneguda,  $P$ .

L'energia subministrada per la resistència en un interval de temps és:

$$E = P \cdot \Delta t$$

A partir de l'energia total subministrada (per augmentar la temperatura de l'aigua i per bullir) i de la quantitat d'aigua vaporitzada, es pot calcular la capacitat calorífica específica i la calor de vaporització:

$$E = m_1 c_e \Delta T + L.n$$

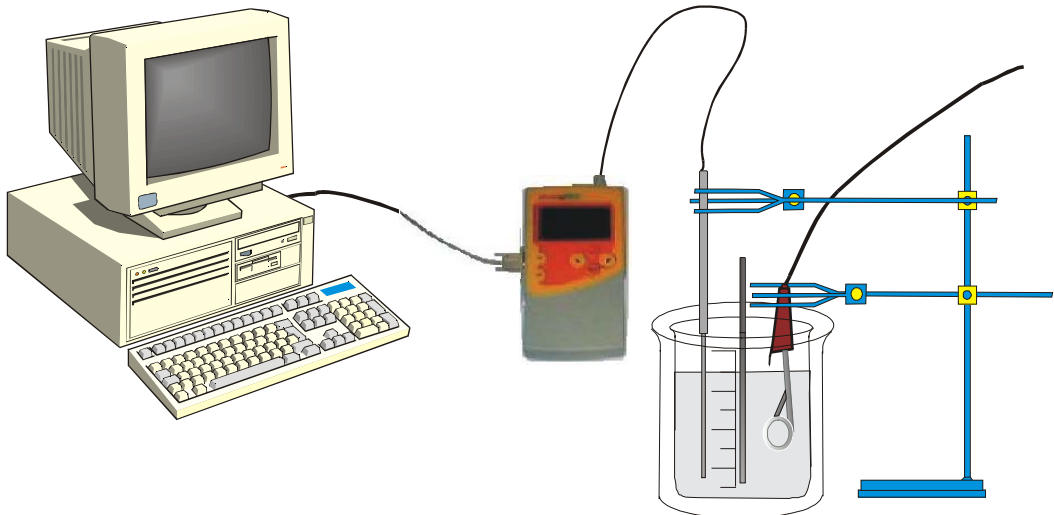
## Equipament

<b>Material de laboratori:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Vas de precipitats de 250 mL</li><li>- Recipient aïllant, de <i>porexpan</i>; sense tapa.</li><li>- Proveta de 250 mL</li><li>- Vareta de vidre o agitador magnètic</li><li>- Resistència calefactors d'uns 325 W</li><li>- Suports metàl·lics amb pinces i nous</li><li>- Aigua de l'aixeta</li></ul>	<b>Elements de l'equip Multilog:</b> Interfície MultilogPro amb cable USB Sensor de temperatura (rang: -25°C/110°C; resolució: 0,13°C)  <b>Ordinador</b>
---	--

## Procediment

### Muntatge de l'experiència

1. Mesureu amb la proveta un volum de 200 mL d'aigua, la poseu dintre del vas i aquest dintre del recipient aïllant. Submergiu en l'aigua la resistència calefactors.



2. Connecteu el sensor de temperatura a l'entrada 1 de la consola i l'introduïu-lo a l'aigua de manera que no toqui la resistència calefactors. Subjecteu el termòmetre i la resistència calefactors amb pinces.
3. Connecteu el Multilog a l'ordinador.
4. Enguegueu el Multilog i l'ordinador.
5. Obriu el programa **Multilab**



## Configuració del sistema (Paràmetres de la captació)

Configureu el programa per capturar les dades de la temperatura de l'aigua mentre s'escalfa:

1. Cliqueu el botó **Configurar ajudant**  .



Veureu que s'obre la finestra que detecta a l'entrada 1 el **sensor de temperatura de 25°C/110°C**.

Cliqueu **Proper** per obrir la finestra següent.



Seleccioneu:  
Escollir freqüència: **Cada segon**.  
Escollir mode d'escalat: **Escala completa**.  
Mode de gravació: **Substituir**.

Cliqueu **Proper** per passar a la finestra següent:




Seleccioneu:  
Per temps: **33:20** min i cliqueu **Acabar**


## Predicció

El sensor de temperatura permet visualitzar el gràfic de la temperatura de l'aigua en funció del temps. Abans d'obtenir-lo, intenteu dibuixar, de manera aproximada, la forma que al vostre parer tindrà el gràfic.

## Execució de l'experiència

1. Per iniciar la captació de les dades, cliqueu el botó **Executar**  , i

després d'uns segons, endol·leu la resistència calefactora. Si no disposeu d'un agitador magnètic, agiteu l'aigua constantment i suaument amb la vareta de vidre mentre es va escalfant. Quan l'aigua comenci a bullir ja no cal agitar.

2. Prossegueu l'escalfament de l'aigua fins que se n'hagi evaporat aproximadament la quarta part (uns 5 minuts).
3. Per finalitzar la captació, cliqueu el botó **Stop**  i **immediatament** desendol·leu la resistència calefactora





**Tingueu cura a no cremar-vos amb la resistència i amb l'aigua calenta. No deixeu la resistència endollada o calenta sobre la taula.**

4. Anomeneu i guardeu l'arxiu amb l'opció **Guardar com** del menú **Arxiu**
5. Quan l'aigua s'hagi refredat, mesureu amb la proveta el volum final d'aigua que queda en el vas. Mentre espereu que es refredi (pot trigar quasi 1/2 hora), aneu fent l'anàlisi i el tractament de les dades.

### Anàlisi i tractament de les dades





*Heu de determinar, a continuació, la temperatura d'ebullició, la capacitat calorífica específica de l'aigua i la calor molar de vaporització, a partir del gràfic de la temperatura en funció del temps:*

1. Cliqueu el botó **Commutar primer cursor**  i moveu el cursor per tal de determinar la temperatura d'ebullició de l'aigua.
2. Cliqueu el botó **Commutar segon cursor**  i moveu els cursors per tal de determinar l'interval de temps en què s'ha produït un augment de temperatura i l'interval de temps que ha estat bullint l'aigua.

*Noteu que és difícil determinar exactament l'instant en què l'aigua comença a bullir. A què creieu que és degut?*

3. Completeu els valors de la taula següent:

Massa d'aigua inicial (kg)	$m_1$	
Massa d'aigua final (kg)		
Massa d'aigua evaporada (kg)	$m_2$	
Quantitat d'aigua evaporada (mol)	$n$	
Temperatura inicial de l'aigua (°C)	$T_o$	
Temperatura d'ebullició de l'aigua (°C)	$T_e$	
Increment de temperatura (°C)	$\Delta T$	
Interval de temps d'augment de temperatura (s)	$\Delta t_1$	
Interval de temps d'ebullició (s)	$\Delta t_2$	
Durada total de l'escalfament (s)	$\Delta t_1 + \Delta t_2$	
Potència de la resistència (W)	$P$	
Energia subministrada durant l'augment de temperatura (J)	$E_1$	
Energia subministrada durant l'ebullició (J)	$E_2$	
Energia total subministrada per la resistència (J)	$E_1 + E_2$	

4. Calculeu, a partir de les dades anteriors, la capacitat calorífica de l'aigua i la calor molar de vaporització.
5. Observeu al gràfic com varia el pendent de la línia quan s'aproxima a l'ebullició. Per determinar la capacitat calorífica específica de l'aigua, és necessari mesurar el temps total des de l'inici de l'escalfament fins que comença a bullir, o es pot fer servir un interval de temps menor?
6. Cliqueu els botons **Commutar primer cursor** i **Commutar segon cursor**  i moveu els cursors per tal de seleccionar el tram de la línia de major pendent.
7. Trobeu, per al tram seleccionat, l'equació que relaciona la temperatura de l'aigua en funció del temps, fent ús del botó **Ajust lineal**  .
8. Cliqueu el botó **Editar gràfic**  i poseu un nom al gràfic.
9. Per guardar aquest gràfic amb l'equació, cliqueu el botó **Afegir gràfic a projecte**  i, a continuació, l'opció **Guardar com** del menú **Arxiu**.
10. Calculeu la capacitat calorífica específica de l'aigua a partir de l'equació ajustada. Amb el valor obtingut de  $c_e$ , determineu la calor molar de vaporització. Compareu els resultats obtinguts amb els determinats anteriorment.

## Qüestionari

1. Per què el pendent de la corba d'escalfament es va fent cada vegada menor quan s'aproxima a la temperatura d'ebullició? Hi ha alguna relació entre la vaporització abans de l'ebullició i la suavitat de la corba?
2. A partir de quina temperatura l'evaporació de l'aigua és apreciable?
3. Compareu l'energia necessària per escalfar l'aigua fins a la temperatura d'ebullició i l'energia necessària per a la vaporització completa.
4. Al gràfic de la temperatura-temps varia el pendent de la línia quan es va aproximant a l'ebullició. Per determinar la capacitat calorífica específica, per què creieu que s'ha seleccionat el tram de major pendent?
5. Dibuixeu en paper mil·limetrat la corba de l'escalfament de 100 mL d'aigua en les mateixes condicions de l'experiència.
6. Dibuixeu en paper mil·limetrat i en un mateix gràfic la corba d'escalfament de l'aigua i la d'un altre líquid de capacitat calorífica específica meitat i temperatura d'ebullició doble i compareu-les. Supposeu que la massa d'ambdós líquids és la mateixa.
7. Determineu el rendiment del conjunt format per la resistència calefactora, el vas, la vareta i el termòmetre.
8. Com es justifica que la temperatura de l'aigua es mantingui constant durant l'ebullició?

9. En quin cas és més apreciable l'efecte del vas, de la vareta de vidre i del termòmetre en els resultats de l'experiència?
10. Compareu els valors obtinguts de la capacitat calorífica específica i de la calor molar de vaporització de l'aigua amb els valors esperats. Quines són les fonts d'error en aquesta experiència?

## **Informe**

---

Redacteu un informe de l'experiència. En aquest informe s'han de distingir les següents parts: objectius, introducció, realització i conclusió, junt amb les respostes al qüestionari.

## **Suggeriment d'ampliació**

---

Per obtenir millors resultats en els càlculs de la capacitat calorífica específica de l'aigua i de la calor de vaporització, s'hauria de tenir en compte l'energia absorbida pel conjunt del vas, el termòmetre i la vareta. Com es podria determinar l'equivalent en aigua del conjunt?

Feu la determinació i, amb el valor obtingut, repetiu els càlculs de la capacitat calorífica específica i de la calor de vaporització. Quins són els errors relatius dels resultats?