



PROPIEDADES TÉRMICAS DEL AGUA Y SUS CAMBIOS DE FASE

Objetivo

1. Estudiar experimentalmente diversas propiedades térmicas del agua pura (realmente agua del grifo) y del agua de mar (realmente agua del grifo con 35 g/kg NaCl).
2. Estudiar diferentes procesos de cambio de fase, en sustancias puras y en mezclas.
3. Conocer el comportamiento anómalo del agua, y la influencia de la salinidad.
4. Aunque todas las propiedades de equilibrio están incluidas en $\rho(T,p)$ y $c_p(T,p_0)$, se estudian aparte.

Actividades

1. Densidades. Medida de densidades de agua pura, de agua salada y de hielo (la del vapor es muy difícil), a distintas temperaturas y por distintos procedimientos: con densímetro (Principio de Arquímedes), y por pesada volumétrica, $\rho=m/V$. Determinar el coeficiente de dilatación por variación de densidad y por variación de volumen en tubo con capilar. Las pequeñísimas variaciones de densidad del agua pura cerca de 4 °C se detectarán por otro procedimiento (la estratificación térmica se hace inestable por debajo de 4 °C).
2. Puntos de cambio de fase. Estudiar experimentalmente la temperatura de congelación de agua pura y de agua de mar, enfriándolas en tubo de ensayo por inmersión en mezcla hielo-sal (añadir 20 g de sal a 40 g de hielo picado). Efecto de la velocidad (poniendo algo de aislante) en las curvas de enfriamiento ($T-t$). La temperatura de ebullición se ve aparte.
3. Presión de vapor. (La vaporización del agua a baja temperatura en campana de vacío ya se hizo en otra práctica.) Determinar la presión de vapor del agua a distintas temperaturas en un tubo de ensayo invertido encerrando aire húmedo, midiendo la variación del volumen con la temperatura del aire atrapado, y calcular con ello una entalpía de vaporización media.
4. Entalpía de cambio de fase. Determinar la entalpía de vaporización del agua en un destilador; medida de potencias y caudales; balance energético del destilador.

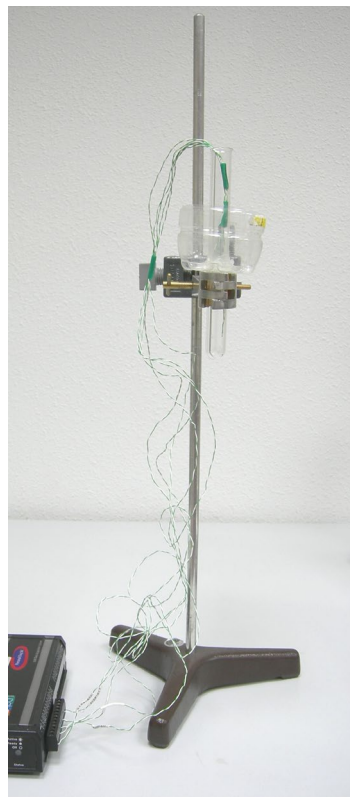
$$\Delta E = W + Q + \sum_{\text{tiempo}}^{\text{aberturas}} \int h_{t,e} dm_e$$

5. Conductividad térmica. (No se va a hacer porque es muy difícil; hay que evitar la convección en el fluido; y para la del hielo trabajar bajo cero).
6. Evaluación de la incertidumbre de los resultados obtenidos.

Equipos



Fig. 1. Montajes de la práctica.



(a)



(b)

Fig. 2. a) comportamiento anómalo del agua, b) densímetro.

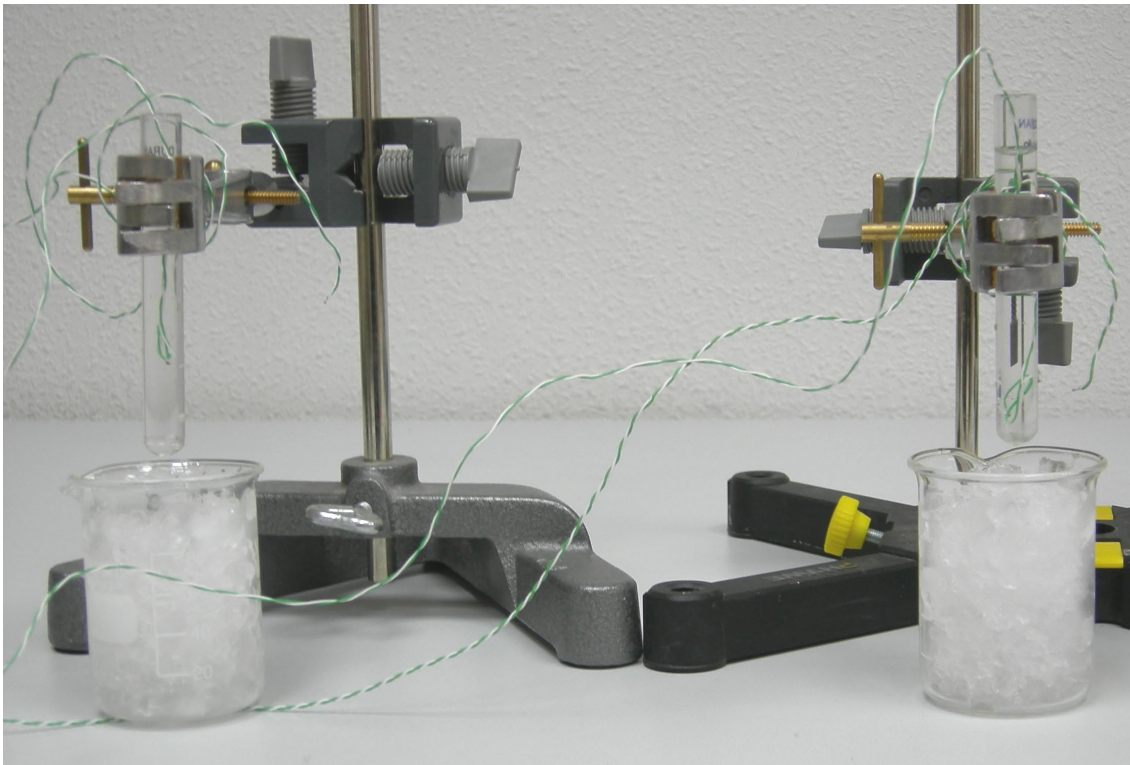


Fig. 3. Congelación de agua dulce y salada.

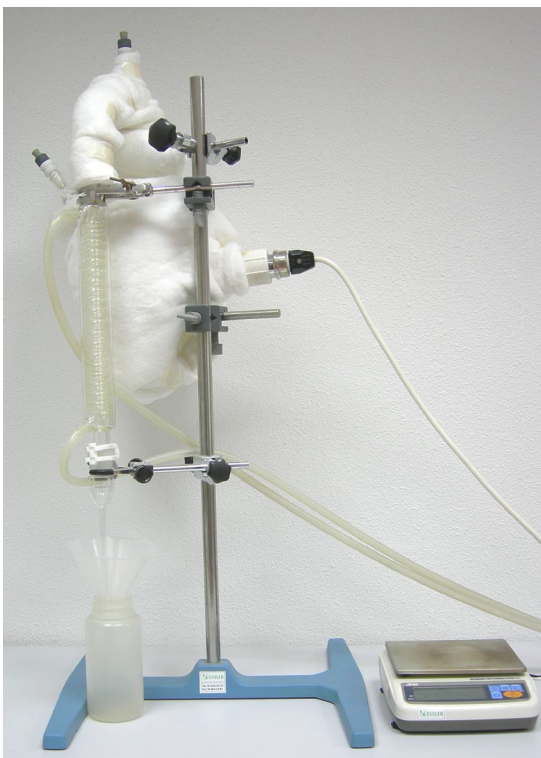


Fig. 4. Entalpía de vaporización en destilador.



Fig. 5. Destilador.



Fig. 6. Presión de vapor del agua.

Desarrollo

Presión de vapor del agua y entalpía de vaporización

Para el gas atrapado, en todo instante (ley del gas ideal):

$$pV=(n_a+n_v)R_uT \quad (1)$$

Si hay equilibrio bifásico, se verificará en todo instante (ley de Raoult):

$$x_v = \frac{p^*(T)}{p} \quad (2)$$

siendo p^* la presión de equilibrio bifásico del agua pura a esa temperatura. La presión en el gas será prácticamente la atmosférica, ya que $p=p_0+\rho_w g \Delta z$, que se mira en un barómetro y suele ser en Madrid:

$$p \approx p_0=94 \text{ kPa} \quad (3)$$

En una primera aproximación, incluso la temperatura del gas se puede considerar que varía poco (e.g. de 290 K a 370 K es menos del 30%), y con $V=zA$, sería:

$$\frac{p_0 A z_2}{p_0 A z_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_a + n_{v2}}{n_a + n_{v1}} \frac{R_u T_0}{R_u T_0} = \frac{n_a + n_{v2}}{n_a + n_{v1}} = \frac{1 - x_{v1}}{1 - x_{v2}} = \frac{p_0 - p_1^*}{p_0 - p_2^*} \quad (4)$$

que también se podría haber deducido razonando con presiones parciales $(p_0 - p^*)Az = n_a R_u T$. Si se retiene el efecto de la temperatura:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{n_a + n_{v2}}{n_a + n_{v1}} \frac{T_2}{T_1} = \frac{p_0 - p_1^*}{p_0 - p_2^*} \frac{T_2}{T_1} \quad (5)$$

Si se desprecia la p^* a baja temperatura (e.g. $p^*(15 \text{ °C})=1,3 \text{ kPa}$), a alta temperatura será:

$$p^*(T) = p_0 \left(1 - \frac{z_0}{z} \frac{T}{T_0} \right) \quad (6)$$

siendo z_0 y T_0 la posición del menisco y la temperatura iniciales. Y de la ecuación de Clapeyron se puede despejar la **entalpía de cambio de fase**, h_{lv} , con $R = 462 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$:

$$\ln \frac{p^*(T_2)}{p^*(T_1)} = \frac{-h_{lv}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (7)$$

[Back to lab](#)