

# Medida de la tensión superficial. Método de Du Nouy

Félix Rodríguez Lagonell  
<frodrigue1117@alumno.uned.es>  
Técnicas Experimentales IV - UNED

Septiembre 2021

## Resumen

Verificamos la ecuación de Eötvös para la variación de la tensión superficial en función de la temperatura del líquido mediante el método del anillo o de Du Nouy.

## 1. Introducción

Las fuerzas de cohesión molecular dentro de un volumen de líquido se cancelan mutuamente debido a la interacción de todas las partículas por igual y en todas las direcciones (aproximación adiabática). Sin embargo la situación difiere para las partículas que se encuentran en la superficie del fluido, pues se encuentran sometidas a una fuerza de cohesión únicamente por el lado orientado hacia el interior del volumen. Esta fuerza es responsable de la tensión superficial  $\sigma$  que hace que la superficie de los líquidos se comporte como una membrana elástica.

$$\sigma = \frac{F}{L} \quad (1)$$

A medida que la temperatura aumenta, la distancia media entre moléculas se incrementa y por tanto las fuerzas de cohesión disminuyen. A nivel macroscópico, este hecho se manifiesta como una disminución de la tensión superficial con la temperatura, hasta llegar a un punto crítico dado por la transición líquido-vapor. Loránd Eötvös observó que este comportamiento era aproximadamente lineal, y que podía describirse por

$$\sigma V_m^{2/3} = k (T_k - T) \quad (2)$$

Donde  $V_m$  representa el volumen molar del líquido,  $T_k$  es una temperatura próxima a la temperatura crítica y  $k = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-2/3}$  se conoce como constante de Eötvös.

## 2. Metodología

Contamos con un dispositivo experimental compuesto por una balanza de torsión, un anillo de diámetro  $d = 19,5 \text{ mm}$  que nos servirá para medir la tensión superficial, hilo de seda, termómetro y placa calefactora.

Como método experimental se ha llevado a cabo el método de Du Nouy, el cual consiste en determinar la tensión superficial midiendo la fuerza necesaria para extraer el borde afilado de un anillo sumergido en el líquido justo en el momento en que se despegue el anillo. La tensión superficial vendrá dada por

$$\sigma = \frac{F}{2 \cdot 2\pi r} \quad (3)$$

Siendo  $2\pi r$  la longitud de circunferencia del anillo y donde el factor 2 se debe a que las dos superficies que limitan la película de líquido arrastrada por el anillo contribuyen a la fuerza.

Disponemos entonces de una cubeta rellena con agua destilada posada sobre la placa calefactora y en la que hemos sumergido nuestro termómetro. Suspendemos el anillo sobre la superficie del agua por medio de un hilo de seda sujeto al brazo de la balanza de torsión y evacuaremos sucesivas cantidades de agua utilizando una pipeta.

Debemos regular la balanza en dos momentos durante este proceso. En primer lugar, equilibraremos la balanza en su cero cuando sobre esta cuelgue el anillo y, en segundo lugar, justo después de sumergir el anillo en el agua y tras cada evacuación. Esto es debido a que la balanza se desequilibra como consecuencia de las fuerzas de tensión que inmediatamente aparecen al poner en contacto el anillo con el líquido. La lectura de la fuerza en el dial de la balanza corresponderá a la fuerza neta adicional que experimenta el anillo, es decir, la fuerza de ten-

sión superficial menos el empuje de Arquímedes debida a la fracción de anillo sumergido.

Cuando la extracción de agua no requiera equilibrar la balanza registraremos el valor de la fuerza que marca el dial. Repetiremos este proceso para varias temperaturas (decrecientes) gracias a la placa calefactora.

Todas aquellas medidas que tengan incertidumbre asociada será explícitamente mencionado. Para aquellas magnitudes indirectas se calculará el error asociado según la fórmula habitual

$$\Delta A = \left| \frac{\partial A}{\partial \alpha_i} \right| \Delta \alpha_i \quad (4)$$

### 3. Resultados

Las medidas realizadas así como los cálculos requeridos podemos visualizarlos en la tabla (1). Para la determinación de la tensión superficial se ha aplicado la ecuación (3) con el radio del anillo  $r = 9,75\text{mm}$ . Como es de esperar la tensión superficial disminuye a medidas que aumentamos la temperatura.

Podemos comparar nuestro resultado frente al valor teórico  $\sigma_t = 72 \cdot 10^{-3}\text{N/m}$  a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Las condiciones ambientales en nuestro laboratorio eran de  $22^\circ\text{C}$ , lo que significa que hemos obtenido un resultado inferior al valor teórico. A pesar de tener un error relativo del 1% nuestra incertidumbre no abarcó en rango al valor teórico.

En la tabla (1) también se encuentran los resultados para  $\sigma V_m^{2/3}$ , datos que representamos en la figura (1) frente a la temperatura medida, donde hemos considerado  $V_m = 18\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ . Con un ajuste por mínimos cuadrados podemos verificar la ecuación (2) y determinar la constante de Eötvös  $k$  como la pendiente de la recta. En este caso obtenemos  $k = (2,8 \pm 0,3) \cdot 10^{-7}\text{J/K} \cdot \text{mol}^{2/3}$ , valor superior al correspondiente según la literatura  $k_t = 2,1 \cdot 10^{-7}\text{J/K} \cdot \text{mol}^{2/3}$ .

A partir del término independiente podemos determinar también el valor de la temperatura crítica  $T_k$ . Manipulando la ecuación (2) identificamos  $T_k = \frac{b}{k}$  siendo  $b$  el término independiente de nuestro ajuste. Así pues, obtenemos  $T_k = 456 \pm 12\text{K}$ , valor muy por debajo de los  $T_{kt} = 647\text{K}$  correspondientes al agua (siendo la diferencia de entorno al 30%).

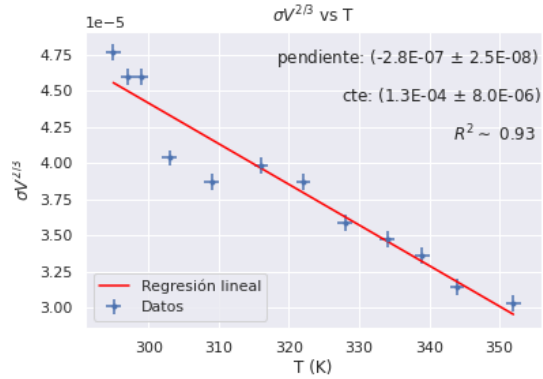


Figura 1: Representación  $\sigma V_m^{2/3}$  frente a la temperatura.

### 4. Conclusiones

En este experimento hemos determinado la tensión superficial del agua mediante el método de Du Nouy. Nuestro resultado ha sido notablemente inferior al valor teórico para el agua destilada. Hemos aprovechado éste cálculo para determinar la constante de Eötvös  $k$  y la temperatura crítica  $T_k$ , siendo nuestros valores experimentales superior e inferior, respectivamente, a aquellos publicados en la literatura.

Estas diferencias pueden tener su origen en la toma de datos y el dispositivo experimental disponible en el laboratorio. En efecto, resulta muy complicado determinar los valores exactos de temperatura y, sobretudo, fuerza ejercida sobre el anillo. Contamos con una balanza de torsión analógica sobre la cual resulta difícil recoger el instante concreto en el cual se produce la separación del anillo de la superficie del agua. Además, no es imprescindible hacer una recalibración constante de la balanza entre medidas, lo cual induce errores aleatorios a lo largo de nuestro experimento y que, indudablemente, se trasladan en nuestros cálculos. Por ejemplo, en la figura (1) vemos un ajuste muy pobre,  $R^2 = 0,93$ , que nos induce a pensar que tuvimos que repetir nuestro experimento para incluir más datos.

### Referencias

- [1] G. Batchelor. *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press, 2000.

[2] E. L. L.D. Landau. *Mecánica de Fluidos*. Reverté, 1991.

## A. Tablas

$F(N) \cdot 10^{-3}$	$T(K)$	$\sigma(Nm^{-1}) \cdot 10^{-3}$	$\sigma V_m^{2/3} (Jmol^{-2/3}) \cdot 10^{-6}$
$5,4 \pm 0,1$	$352 \pm 1$	$44,1 \pm 0,8$	$30,3 \pm 0,6$
$5,6 \pm 0,1$	$344 \pm 1$	$45,7 \pm 0,8$	$31,4 \pm 0,6$
$6,0 \pm 0,1$	$339 \pm 1$	$49,0 \pm 0,8$	$33,6 \pm 0,6$
$6,2 \pm 0,1$	$334 \pm 1$	$50,6 \pm 0,8$	$34,8 \pm 0,6$
$6,4 \pm 0,1$	$328 \pm 1$	$52,2 \pm 0,8$	$35,9 \pm 0,6$
$6,9 \pm 0,1$	$322 \pm 1$	$56,3 \pm 0,8$	$38,7 \pm 0,6$
$7,1 \pm 0,1$	$316 \pm 1$	$57,9 \pm 0,8$	$39,8 \pm 0,6$
$6,9 \pm 0,1$	$309 \pm 1$	$56,3 \pm 0,8$	$38,7 \pm 0,6$
$7,2 \pm 0,1$	$303 \pm 1$	$58,8 \pm 0,8$	$40,4 \pm 0,6$
$8,2 \pm 0,1$	$299 \pm 1$	$66,9 \pm 0,8$	$46,0 \pm 0,6$
$8,2 \pm 0,1$	$297 \pm 1$	$66,9 \pm 0,8$	$46,0 \pm 0,6$
$8,5 \pm 0,1$	$295 \pm 1$	$69,4 \pm 0,8$	$47,6 \pm 0,6$

Cuadro 1: Resultados experimentales. Todos los resultados se han llevado a cabo con el mayor número de decimales posibles marcados por la precisión del ordenador.

## B. Tratamiento de incertidumbres

### ■ Tensión superficial

$$\Delta\sigma = \left| \frac{1}{4\pi r} \Delta F \right|$$

### ■ Eötvös

$$\Delta(\sigma V^{2/3}) = \left| V^{2/3} \Delta\sigma \right|$$

### ■ Temperatura crítica

$$\Delta T_k = \left| \frac{1}{k} \Delta b \right| + \left| \frac{-b}{k^2} \Delta k \right|$$