

Práctica: Medida de la tensión superficial. Método de Du Nouy

Objetivos

1. Determinación experimental de la tensión superficial de un líquido.
2. Verificación de la ecuación de Eötvös para la variación de la tensión superficial en función de la temperatura del líquido.

Material necesario

- Dinamómetro (balanza) de torsión
- Anillo para la medición de la tensión superficial
- Hilo de seda
- Soporte con regulación de altura
- Recipiente de vidrio
- Termómetro
- Placa calefactora con agitador magnético
- Base, nuez y pinzas de sujeción
- Agua destilada
- Pipeta

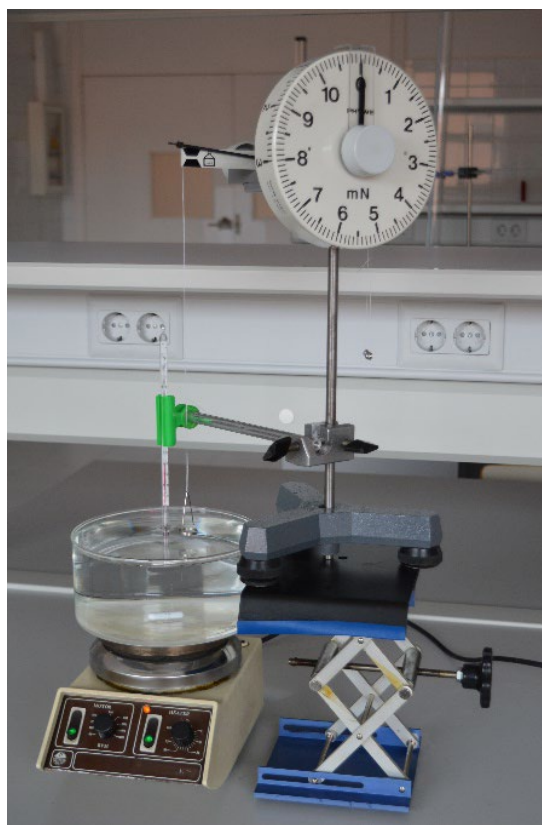


Figura 1. Montaje experimental

Introducción teórica

Considérese una molécula de un líquido que se encuentre en el interior del volumen del líquido, las fuerzas de cohesión molecular ejercidas por las moléculas circundantes se cancelan mutuamente debido a que la molécula es solicitada por igual desde todas las direcciones (aproximación válida cuando se promedia en una escala de tiempos grande en comparación con la escala de tiempos propia de la agitación térmica). Sin embargo, la situación es diferente para las moléculas situadas sobre la superficie del líquido. Dichas moléculas se encuentran sometidas a las fuerzas de cohesión molecular únicamente por el lado orientado hacia el interior del volumen. Por tanto, las moléculas situadas en la interfaz líquido/aire se encuentran sometidas a una fuerza de cohesión molecular neta orientada hacia el interior del líquido. La interfaz es de espesor molecular y a nivel macroscópico puede asimilarse a una superficie. Esta fuerza es la responsable de la tensión superficial σ que hace que la superficie libre de los líquidos se comporte como una membrana elástica de modo que, a través de cualquier línea que se trace sobre dicha superficie, existe una fuerza de intensidad σ por unidad de longitud en dirección normal a la línea y tangente a la superficie

$$\sigma = \frac{F}{L}$$

La tensión superficial también puede considerarse como la energía libre extra por unidad de área de la superficie del líquido. Para crear la superficie libre se deben trasladar hacia ésta un cierto número de moléculas que se encontraban previamente en el interior del volumen. A medida que estas moléculas se acercan a la superficie se aprecia un desequilibrio en las fuerzas de cohesión molecular, que serán mayores en el lado orientado hacia el interior del volumen. Para llevar a las moléculas a la superficie se debe ejercer una fuerza que compense a la resultante de las fuerzas de cohesión molecular. Esto implica que, para crear una superficie libre de área ΔA en un líquido, se debe realizar un trabajo ΔE igual a la fuerza necesaria para llevar a las moléculas a la superficie multiplicada por el desplazamiento. El trabajo realizado para crear una superficie libre en un líquido queda en forma de energía libre extra de las moléculas interfaciales, cuya magnitud por unidad de superficie es igual a la tensión superficial,

$$\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A}$$

Ecuación de Eötvös

La fuerza de tensión superficial es el resultado macroscópico de la descompensación en las fuerzas de cohesión molecular ejercidas sobre las moléculas situadas en la superficie de un líquido. A medida que la temperatura de un líquido aumenta, la distancia media entre las moléculas se incrementa y por tanto las fuerzas de cohesión molecular disminuyen. A nivel macroscópico este hecho se manifiesta como una disminución de la tensión superficial con la temperatura. Esta disminución continúa hasta que se alcanza el punto crítico de la transición líquido-vapor donde la

tensión superficial se anula, de forma análoga a como sucede con el calor latente de vaporización o la diferencia entre las densidades de las fases líquido y vapor.

Eötvös observó que la disminución de la tensión superficial con la temperatura era aproximadamente lineal, y que podía describirse por

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

donde V_m representa el volumen molar del líquido, T_k es una temperatura, expresada en Kelvin, próxima a la temperatura crítica (aproximadamente $T_k = T_c - 6$) y k una constante de proporcionalidad que presenta aproximadamente el mismo valor para la mayoría de los líquidos

$$k \approx 2 \times 10^{-7} \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-2/3}$$

Método del anillo o de Du Nouy

El método de Du Nouy consiste en determinar la tensión superficial de un líquido midiendo la fuerza necesaria para extraer del líquido el borde afilado de un anillo que se encuentra sumergido en dicho líquido. El hecho de que el borde del anillo sea afilado hace que el peso de la película de líquido adherida a éste sea despreciable frente a la fuerza debida a la tensión superficial σ que viene determinada por,

$$F = \sigma \cdot 2 \cdot 2\pi R$$

donde $2\pi R$ representa la longitud de la circunferencia del anillo mientras que el factor 2 adicional se debe a que las dos superficies libres que limitan la película de líquido arrastrada por el anillo contribuyen a la fuerza. Dado que el espesor de la película es despreciable frente al radio del anillo, se puede considerar que ambas superficies tienen aproximadamente el mismo radio.

Las fuerzas a las que está sometido el anillo cuando se intenta extraerlo del líquido son: el peso del anillo, el empuje ascensional de Arquímedes y la fuerza de tensión superficial. Por tanto, para extraer el anillo sumergido en el líquido hay que aplicar la fuerza:

$$F > 4\pi R\sigma + mg - E$$

donde E representa el empuje de Arquímedes.

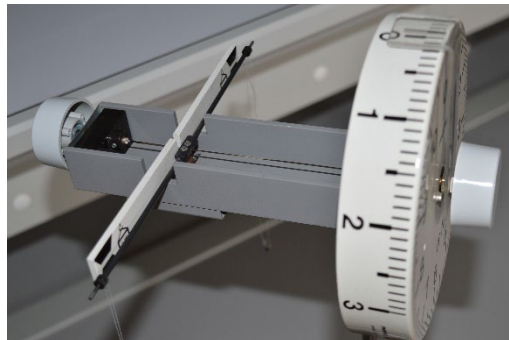
Método experimental

1. Rellenar con agua destilada la cubeta de vidrio y colocarla sobre la placa calefactora. Conectar el agitador magnético para homogeneizar la temperatura del agua.

2. Suspender el anillo del brazo de la balanza de torsión por medio del hilo de seda. El anillo debe permanecer suspendido fuera del líquido.

Muy importante: El hilo de seda ha de ser alojado entre las dos tuercas que existen en el extremo del brazo. Tener la precaución de comprobar, antes de cada medida, que el hilo se encuentra alojado entre las dos tuercas.

3. Equilibrar la balanza de torsión para descontar el peso del anillo. La balanza de torsión consta de un brazo que pende, sujeto por su centro, de un hilo plano de torsión perpendicular al brazo. Los extremos del hilo de torsión están conectados a sendos botones rotatorios, uno en la parte frontal y otro en la parte posterior de la balanza. Estos botones rotatorios permiten rotar el hilo de torsión y con ello elevar o descender el extremo del brazo de la balanza respecto a sendas marcas de nivelado. Para equilibrar la balanza hay que situar el brazo entre las marcas de nivelado, lo que asegura la horizontalidad del mismo. Para ello, primero, actuar sobre el botón rotatorio frontal situando el dial de la balanza en la posición 0 mN, y después, actuar sobre el botón rotatorio posterior girando hasta que el brazo de la balanza se encuentre en la posición de equilibrio entre las marcas (brazo horizontal). Con esta operación se descuenta el peso del anillo en mediciones posteriores.



Para equilibrar la balanza hay que situar el brazo entre las marcas de nivelado, lo que asegura la horizontalidad del mismo. Para ello, primero, actuar sobre el botón rotatorio frontal situando el dial de la balanza en la posición 0 mN, y después, actuar sobre el botón rotatorio posterior girando hasta que el brazo de la balanza se encuentre en la posición de equilibrio entre las marcas (brazo horizontal). Con esta operación se descuenta el peso del anillo en mediciones posteriores.

Para minimizar el error de paralaje en la medida (dependiente de la correcta alineación entre el observador, la aguja del dial y la escala graduada), realizar el nivelado del brazo observando a través del orificio que se encuentra a un lado de la escala graduada.

4. Desconectar el agitador magnético y descender la balanza de torsión, por medio de la plataforma con regulación de altura, hasta que el anillo entre en contacto con el líquido quedando parcialmente sumergido. Se observará que la balanza se ha desequilibrado (brazo por debajo de las marcas de equilibrio) como consecuencia de las fuerzas de tensión superficial que inmediatamente aparecen al poner en contacto el anillo con el líquido. Nótese, que estas fuerzas compensan en exceso el empuje de Arquímedes sobre el anillo.
5. Sumergir el bulbo del termómetro unos milímetros por debajo de la superficie del líquido y sujetarlo mediante una pinza.
6. Equilibrar la balanza utilizando el botón rotatorio frontal. La lectura de la fuerza en el dial de la balanza corresponde a la fuerza neta adicional (pues el peso del anillo fue descontado en el paso 3) que experimenta el anillo, es decir: la fuerza de tensión superficial menos el empuje de Arquímedes debida a la fracción de anillo sumergido.

7. Evacuar sucesivamente pequeñas cantidades de líquido del recipiente (~ 10 ml) utilizando una pipeta. Después de cada extracción equilibrar de nuevo la balanza con el botón rotatorio frontal. Con esta operación se trata de disminuir la fracción de anillo sumergida en el líquido haciendo así decrecer el empuje de Arquímedes. La cantidad de líquido a extraer se irá reduciendo a medida que se observe que el filo del anillo está próximo a emerger de la superficie de líquido (p. ej.: $10 \rightarrow 5 \rightarrow 1$ ml). Cuando la extracción de líquido no requiera reequilibrar la balanza, registrar el valor de la fuerza que indica el dial, así como la temperatura del termómetro (cuyo bulbo se encontrará sumergido unos milímetros en el líquido con objeto de tomar la temperatura superficial de éste). En este punto se observará la formación de una película cilíndrica de agua que liga el borde afilado del anillo con la superficie del líquido. Posteriores extracciones de líquido hacen que esta película aumente de altura hasta que finalmente la película se rompe. Dependiendo del líquido empleado, y por tanto del valor de la tensión superficial, este último fenómeno puede ser difícil de observar.
8. Elevar la plataforma regulable en altura para proceder con el equilibrado de la balanza antes de comenzar con una nueva medida. Observación: Después de la medida el anillo puede haber acumulado agua en su superficie de tal forma que la balanza no recupera su posición de equilibrio (brazo horizontal). El peso del agua impregnado en el anillo vendrá indicado por la desviación del dial respecto de la posición de equilibrio (0 mN), lo que permitirá corregir la medida efectuada.
9. Reponer el líquido extraído en la cubeta (de esta forma no habrá que modificar la posición del termómetro en sucesivas medidas).
10. Conectar la placa calefactora y el agitador magnético. Elevar la temperatura del agua en aproximadamente 8°C . Una vez alcanzada la temperatura de consigna, desconectar la placa calefactora y el agitador magnético y repetir los pasos 3 – 9. Este procedimiento se llevará a cabo desde la temperatura ambiente (primera medida), en incrementos de $\sim 8^{\circ}\text{C}$, hasta alcanzar una temperatura del agua de aproximadamente 85°C .
11. Medir el diámetro del anillo con un calibre cuidando de no dañar el borde afilado en esta operación.
12. Pesar el anillo (con el hilo) utilizando la balanza de torsión y posteriormente mediante la balanza analítica con objeto de calibrar, si fuera necesario, la fuerza medida por la primera.

Resultados experimentales

1. Determinar la tensión superficial ($\sigma = \frac{F}{4\pi R}$) para cada temperatura considerada del agua a partir de la lectura de la fuerza ejercida por la balanza de torsión en el momento de la extracción del anillo del líquido (o cuando sucesivas extracciones no requieran reequilibrar la balanza).
2. Representar gráficamente $\sigma V_m^{\frac{2}{3}}$ frente a la temperatura expresada en Kelvin. Realizar un ajuste por mínimos cuadrados de los datos con el fin de obtener k (a partir de la pendiente de la recta) y T_k (a partir de la ordenada en el origen). Para una mayor exactitud en la determinación puede valorar el corregir el volumen molar del agua según la temperatura en lugar de introducir un valor constante ($V_m=18 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ a 20°C).
3. Comparar los valores obtenidos con los publicados en la literatura. Justificar de forma razonada los resultados obtenidos y apuntar las posibles causas de error que originen la discrepancia entre los valores experimentales y los publicados en la literatura.

Bibliografía

1. Batchelor, G. K.: *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press, 2000 third ed., 1967.
2. Landau, L. D. y E. M. Lifshitz: *Mecánica de Fluidos*, vol. 6 de *Curso de Física Teórica*. Reverté, primera ed., 1991. Traducción de la primera edición inglesa.

NOTA MUY IMPORTANTE

- Tome nota de las incertidumbres de todos los equipos de medida que utilice.
- **Realice la propagación de incertidumbre para medidas indirectas (mostrando las derivadas parciales calculadas así como la expresión de la incertidumbre en función de las magnitudes), requisito imprescindible para que el informe de la práctica sea evaluado.**
- Aunque no se exija explícitamente en el guion de prácticas, incluya una tabla de datos para cada representación gráfica que realice. Añada las columnas correspondientes a las incertidumbres de medida y propagación de incertidumbres.
- En las representaciones gráficas consigne las magnitudes representadas en cada eje, así como sus unidades correspondientes. Incluya barras de incertidumbre en los puntos de datos representados.
- Lea los documentos “Presentación de informes” y “Cálculo de incertidumbres” disponibles en el curso virtual.