

10.30972/fac.3306845

Medir el coeficiente de tensión superficial en casa

Pedrini, D. A., Merino, C. A., Bentz, E. N. y Provasi, P. F. 1(*)

Resumen

En este trabajo se propone el diseño de un dispositivo sencillo, factible de ser construido en el hogar y que sirve para medir el coeficiente de tensión superficial. Este dispositivo se basa en el método de Du Noüy-Padday, con una varilla en lugar de una argolla. Se realizó el experimento con el dispositivo construido y se introdujeron algunas correcciones, las que deben medirse previamente. El resultado que se obtuvo para la tensión superficial del agua dista aproximadamente 14% del valor experimental conocido, pero la sencillez del equipo y la realización del experimento en sí resultan un buen incentivo para una clase sobre el tema en los últimos años del nivel medio o los primeros del nivel universitario, en particular, al cuestionar al estudiante sobre el resultado obtenido y cómo mejorar la aproximación al valor conocido.

Palabras claves: Coeficiente de tensión superficial, líquidos, cohesión y adhesión molecular, equilibrio de fuerzas.

Abstract

This paper proposes the design of a simple device, feasible to be built at home and used to measure the coefficient of surface tension. This device is based on the Du Noüy-Padday method, with a rod instead of a ring. The experiment was carried out with the built device and some corrections were introduced, which must be previously measured. The result that was obtained for the surface tension of water is approximately 14% far from the known experimental value, but the simplicity of

1. Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE). E-mail: patprovasi@gmail.com

(*) Cómo citar este artículo: Pedrini, D. A., Merino, C. A., Bentz, E. N. y Provasi, P. F. (2023). Medir el coeficiente de tensión superficial en casa. Revista Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica: claves para el desarrollo, 8(1), 77-84 <http://dx.doi.org/10.30972/fac.3306845>

the equipment and the performance of the experiment itself are a good incentive for a class on the subject in the last years of the middle level or the first ones at the university level, in particular, when questioning the student about the result obtained and how to improve the approximation to the known value.

Key-words: *surface tension coefficient, liquids, molecular cohesion and adhesion, balance of power.*

Definición e historia

La tensión superficial de un líquido es la tendencia de la superficie de dicho líquido, en reposo, a encogerse a su mínimo posible. Y se puede definir en términos de la fuerza o de la energía. En el primer caso es la fuerza por unidad de longitud que ejerce la superficie sobre una línea cualquiera situada en ella, y su unidad es [N/m]. En el segundo caso es el cociente entre el cambio de energía del líquido con relación al cambio en la superficie del mismo, y su unidad es [J/m²]. Ambas están íntimamente relacionadas y se lo puede demostrar fácilmente, pero escapa al propósito del presente trabajo.

La tensión superficial, si bien es un fenómeno macroscópico, tiene su origen a nivel molecular, y más precisamente en las fuerzas electromagnéticas que ejercen las moléculas entre sí, ya sean del mismo material o materiales diferentes. En general, se suele ejemplificar en la interfase líquido-gas (normalmente agua-aire). Aquí, conviene distinguir la tensión superficial de la capacidad de un líquido de hacer que un objeto con menor densidad que este flote (principio de Arquímedes). En particular cuando se trata el tema desde un punto de vista eléctrico, ambos fenómenos que para el neófito podrían parecer uno y el mismo, son más bien opuestos, ver por ejemplo [1].

Entonces las fuerzas de cohesión (entre moléculas del mismo compuesto, ej. agua) y adhesión (entre moléculas de compuestos diferentes, ej. agua-aire), dependen de la estructura de los orbitales electrónicos de los compuestos o elementos interactuantes. Para el caso que estamos ejemplificando aquí, es claro que la fuerza de cohesión entre las moléculas del agua es más grande que la de adhesión, entre las moléculas de agua y del aire. Como se muestra en la Figura 1.

Por supuesto la tensión superficial de un líquido también depende de factores como la composición química del líquido, la presión atmosférica y la temperatura, entre otros.

Hay varios métodos para la determinación del coeficiente de tensión superficial, partiendo de los más antiguos que plantean el equilibrio de fuerzas, como ser:

- Anillo de Du Noüy, que utiliza como sensor un anillo que se sumerge en el líquido y que se conecta a una balanza sensible o dinamómetro. Y su variante más simple, el método de Du Noüy-Padday, que solo utiliza una aguja en lugar del anillo.
- Plato de Wilhelmy, que utiliza como sensor un portaobjeto que se sumerge en el líquido y que se lo extrae conectado a un dinamómetro muy sensible.
- Elevación capilar, en el que el sensor es un capilar que se coloca en el líquido

y se espera al equilibrio de la columna dentro del capilar debido a la tensión superficial y a la fuerza de gravedad.

- Presión de burbuja, en el que se insufla algún gas en un capilar y se analiza la presión justo antes de romperse la burbuja ya sea de aire dentro del líquido o bien de líquido en el gas.

Los más modernos suelen utilizar las propiedades ópticas del líquido. Este es el caso de algunos smartphones que pueden medir la tensión superficial produciendo vibraciones en un líquido transparente, y con su cámara, comparar las propiedades ópticas del líquido [2].

En la bibliografía también se pueden encontrar el diseño y desarrollo de dispositivos ingeniosos para determinar la tensión superficial siendo la mayoría de ellos re-makes de los más antiguos [2-5].

De esta revisión bibliográfica surge uno en particular propuesto por Piva [6], basado en la capilaridad, que resulta ser muy ingenioso y bastante preciso.

Fundamentos teóricos

Una forma de entender la tensión superficial se puede lograr al analizar las fuerzas actuantes sobre una molécula que se encuentra en el seno de un líquido y compararla con otra en su superficie, ver Figura 1. En la primera, *A*, todas las moléculas adyacentes ejercen una fuerza sobre la primera, que al sumarlas y debido a la simetría esférica, dan una resultante nula. Mientras que en la segunda, *B*, aparece una resultante hacia el seno del líquido.

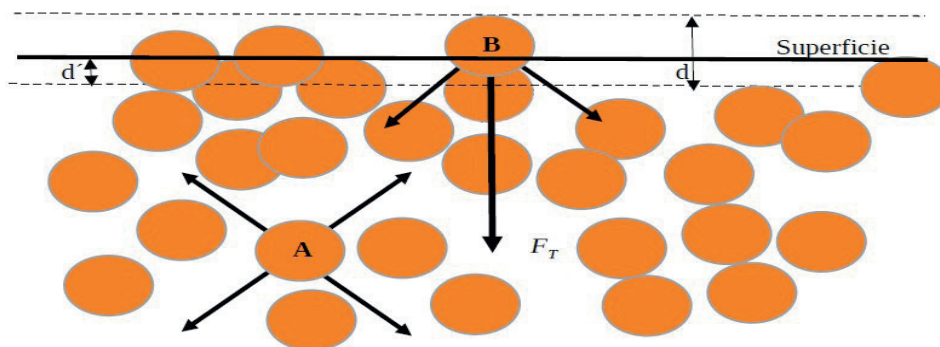


Figura 1: Representación de las fuerzas que actúan sobre una molécula en el seno (A) y en la superficie (B) de un líquido.

Para el método de Du Noüy-Padday elegido para este trabajo, con la variante de la varilla en lugar del portaobjeto habitual, podemos hacer el siguiente análisis según se esquematiza en la Figura 2.

La varilla luego de sumergirse en el líquido se extrae lentamente ejerciendo un estiramiento F_E hacia arriba hasta que se rompe el equilibrio. El valor máximo obtenido, que es justo antes de la rotura del equilibrio es el que se busca y corresponde al de la tensión superficial.

La fuerza debido a la tensión superficial depende de la superficie del líquido en contacto con el objeto y del ángulo que forma el líquido con el material particular del objeto.

$$F_T = 2(l+e)\gamma \cos\theta \quad (1)$$

Así, para una varilla de metal (acero) de longitud l y diámetro e , con $l \gg e$. Además el ángulo de contacto entre agua y acero es ≈ 0 , por lo tanto la fuerza se reduce a $F_T = 2l\gamma$ de forma que la relación de equilibrio será:

$$F_E = F_T \quad \text{o bien,} \quad F_E = 2l\gamma \quad (2)$$

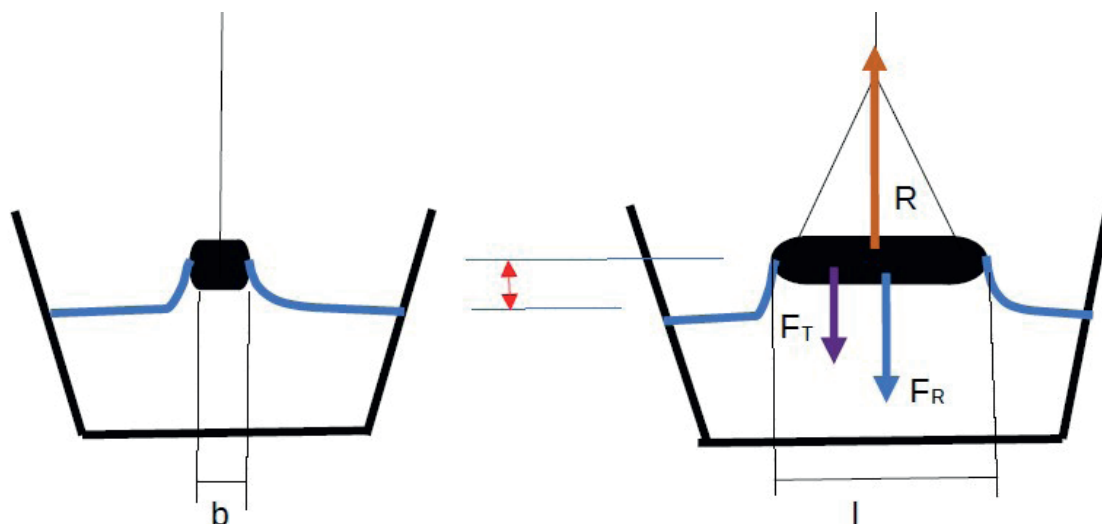


Figura 2: Diagrama de las fuerzas y magnitud que intervienen en la relación de equilibrio al extraer la varilla de metal del líquido.

Materiales y método

En este trabajo desarrollamos un dispositivo representado esquemáticamente en la Figura 3, y está construido con materiales comunes en casi cualquier casa de familia. El dispositivo fabricado es una versión simple del método de Du Noüy-Padday y los elementos utilizados son:

- Alfiler con los extremos recortados. Es la varilla que se sumerge en el líquido.
- Balanza digital con una precisión de 0.1g y peso máximo de 500g. (Se consigue en los mercados de “chucherías” electrónicas)
- Recipiente con agua.
- Palillos para brochetas en la estructura principal.
- Papel, para la canasta contenedor del contrapeso
- Sal fina común (contrapeso)

Procedimiento para la experiencia

El dispositivo que se muestra en las Figuras 3 y 4 funciona de la siguiente forma: se sumerge la varilla en el líquido que se halla en el recipiente, en el caso estudiado agua. Y se va agregando sal fina en el canasto de papel que está en el lado opuesto a la varilla. Este procedimiento se repite varias veces siempre añadiendo muy poca sal cada vez, y hasta que la barrilla se desprende del agua.

La sal recolectada en el canasto se pesa en una balanza y se determina su masa/peso. El procedimiento completo se repite en varias oportunidades para establecer un buen promedio de la masa o peso de la sal necesaria para separar a la varilla del líquido y finalmente se utiliza este valor promedio de acuerdo a la fórmula (1) para determinar el valor de γ .

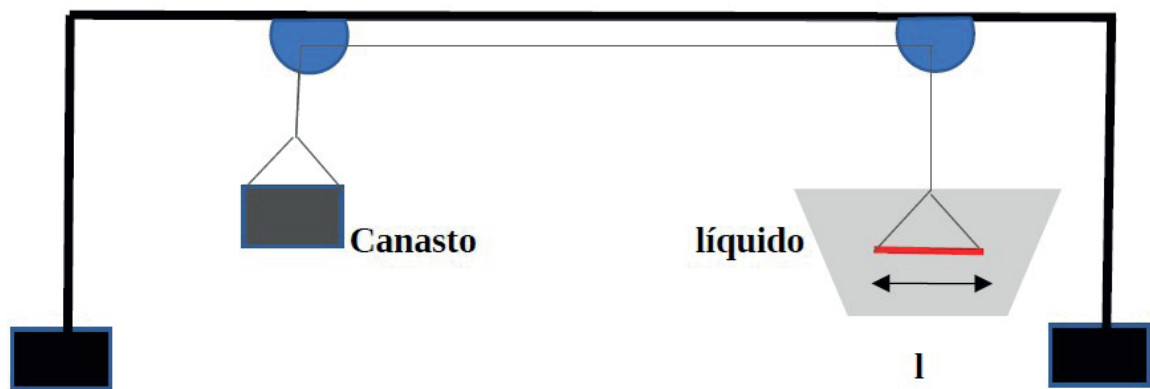


Figura 3: Esquema del dispositivo para determinar la tensión superficial del agua.

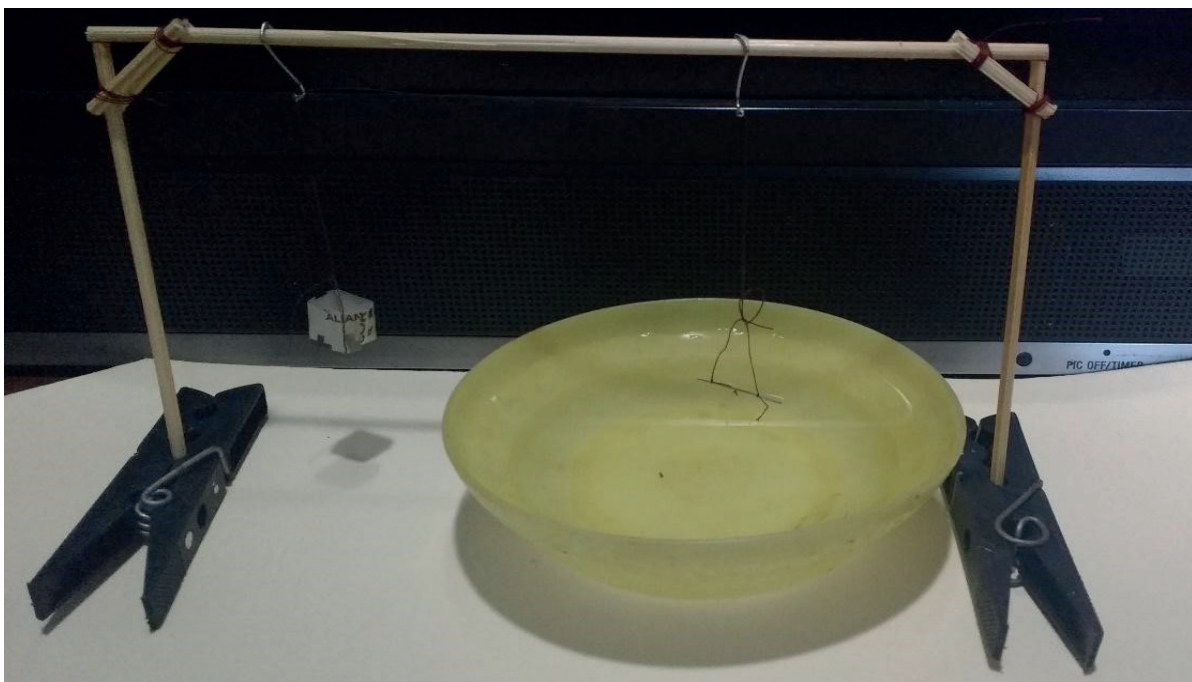


Figura 4: Fotografía del dispositivo construido.

Resultados

Como paso previo al procedimiento mencionado en el ítem anterior se tuvo que considerar la fuerza de rozamiento del hilo contra los ganchos sobre los que se desliza, el peso propio de la canasta y de la varilla. Entonces la fuerza mínima necesaria para deslizar la varilla hacia arriba sin que la varilla se encuentre sumergida en el líquido la simbolizamos con F_R .

Para mover la varilla cuando está sumergida en el agua se necesita una fuerza que simbolizamos con R . Entonces la fuerza efectiva debida a la tensión superficial se obtiene restando $R - F_R$.

También aquí se repite el procedimiento en varias oportunidades para hallar el promedio de esta fuerza. Lo que nos da una fuerza efectiva que denominamos F_T .

$$F_T = R - F_R$$

(3)

Medición	Masa (g)
1	1.52
2	1.50
3	1.49
4	1.50
5	1.49
Promedio	1.50

Tabla 1: Medidas de la masa de sal necesaria para mover la varilla sin que ésta se halle sumergida en el líquido (F_R)

Medición	Masa (g)
1	1.68
2	1.70
3	1.69
4	1.68
5	1.69
Promedio	1.69

Tabla 2: Medidas del valor de la masa de sal necesaria para despegar a la varilla del líquido (R)

Los demás valores obtenidos experimentalmente son:

- La longitud del alfiler (b): 22,8 mm = 0,0228 m.
- El peso promedio de contrapeso para separar la varilla del agua (R): 1,69 g

$$R = \frac{1,69g \times 9,8N}{1000g} = 0,0166N$$

(4)

El peso promedio de la masa de contrapeso para hallar la fuerza de restricción (F_R): 1,50 g

$$F_R = \frac{1,5g \times 9,8N}{1000g} = 0,0147N \quad (5)$$

Entonces el valor de la fuerza efectiva (F_T) es

$$F_T = R - F_R = 0,0166 - 0,0147 = 0,0019N \quad (6)$$

Finalmente, al usar la ecuación (1) se obtiene para el coeficiente de tensión superficial:

$$\gamma = \frac{F_T}{b} = \frac{0,0019N}{0,0228m} = 0,083 \frac{N}{m} = 83 \times 10^{-3} \frac{N}{m} \quad (7)$$

Mientras que el valor de tabla para este coeficiente del agua pura a la temperatura de 20°C y presión atmosférica normal es de $72.8 \times 10^{-3} \frac{N}{m}$.

Esto nos da un error en la determinación de un 14% por encima del valor de tabla. Esta diferencia y el sentido de la misma se deben principalmente a la configuración del equipo y al método en sí elegido para determinar el valor de la tensión superficial en el experimento. Dicho error no puede atribuirse a la temperatura del líquido ni a la concentración de algunos solutos en ella (puesto que es agua corriente del grifo) ya que son casi despreciables en el agua corriente.

Sin embargo, este error es una excelente excusa para que el alumno investigue los efectos que tienen diferentes tipos de solutos en la tensión superficial de un solvente, así por ejemplo podemos mencionar:

1. Las sales, iónicas en agua, solventan fuertemente y en general producen un incremento de la tensión superficial con la concentración de soluto. Así el agua corriente tiene el error en el sentido esperado respecto al agua pura.
2. Algunas sales, que no solventan fuertemente, producen una ligera disminución de la tensión superficial con la concentración.
3. Finalmente, las sustancias denominadas tensioactivas (comunes en los tejidos biológicos) o surfactantes tienen la peculiaridad de producir una fuerte disminución de la tensión superficial con poca concentración de ésta y luego la tensión superficial permanece casi constante al aumentar la concentración.

Conclusiones

En este trabajo se fabricó un dispositivo con elementos muy sencillos que sirve para determinar el coeficiente de tensión superficial de un líquido. Con él se logró determinar el valor del coeficiente con un error relativamente grande, de un 14%, pero que dada las características del equipo puede considerarse como aceptable para un trabajo que debería realizar un alumno tanto de los últimos años del nivel medio como también podría ser un alumno de los primeros años del nivel universitario.

Bibliografía

- [1] a) Wojciech Dindorf (2001). “Tokar’s question”, *The Physics Teacher* 38, 488 (2000). b) Paul J. Dolan Jr. and Charles W. Smith “Tokar’s question: Surface tension vs buoyancy” 39, 69. doi: 10.1119/1.1355159.
- [2] Shichao Yue and Dina Katabi (2021). “Liquid testing with your smartphone”, *Communications of the ACM* 64, 75-83, <https://doi.org/10.1145/3481038>.
- [3] Alem-Mar B. Goncalves, Welica P. S. Freitas, Diogo D. Reis, Cicero R. Cena, Diego C. B. Alves, and Doroteia F. Bozano (2019). “Surface Tension Measured with Arduino”, *The Physics Teacher* 57, 640, doi: 10.1119/1.5135800.
- [4] Nicolas-Alexandre Goy, Zakari Denis, Maxime Lavaud, Adrian Grolleau, Nicolas Dufour, Antoine Deblais, and Ulysse Delabre (2017). “Surface tension measurements with a smartphone” *The Physics Teacher* 55, 498; doi: 10.1119/1.5008349.
- [5] Lei Tang¹, Guan-nan Liu¹, Jun Qian², Qian Sun² and Chun-ling Zhang (2016). “Discussion on the measurement of the surface tension coefficient by the pull-off method” *Eur. J. Phys.* 37. 025801 (10pp) doi:10.1088/0143-0807/37/2/025801.
- [6] Wenlian Li, Xiangdong Ren, Jingjing Zhang, Yang Li (2010). “The Design and Implementation of Liquid Surface Tension Coefficient Measurement System Based on Virtual Instrument” *Advanced Materials Research Vols 108-111*. 921-925, <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.108-111.921>.
- [7] M. Piva (2009). “Capillary Rise in a Wedge” *The Physics Teacher*, 47, 528; doi: 10.1119/1.3246472