

REPORTE DE PRÁCTICA

TENSIÓN SUPERFICIAL Y EFECTO CAPILAR

Báez López José Germán 202236436, Colula Roque Brandon 202118338, Guzmán Montiel Edgar 202123419, López Espinoza Cristóbal 202129499, Muñoz Hernández Saira 202245477, Pérez Zamora José Enrique 202248104

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

RESUMEN

Los fluidos tienen una gran variedad de propiedades, que sin saberlo se encuentran presente en nuestra vida diaria. Con esta práctica se pretende explicar y demostrar una de las propiedades que poseen usando fórmulas y operaciones matemáticas.

I. OBJETIVO

Demostrar la capilaridad del agua como consecuencia de su tensión superficial mediante una práctica y realizar cálculos para comprobar los análisis hechos.

II. MARCO TEÓRICO

Tensión superficial

Las gotas de líquido se comportan como pequeños globos esféricos llenos con ese líquido y su superficie actúa como una membrana elástica estirada sometida a tensión. La fuerza de tracción causada por dicha tensión es paralela a la superficie y se debe a las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido. Su magnitud se llama tensión superficial σ_s y su unidad de medida es $\frac{N}{m}$ o $\frac{lb_f}{ft}$.

Otro nombre con el que se le conoce es energía superficial y su unidad equivalente es $\frac{J}{m^2}$. En este caso, σ_s representa el trabajo de estiramiento que se necesita para hacer el área superficial del líquido aumente en una cantidad unitaria.

Una forma de visualizar la tensión superficial es con una vista microscópica donde se consideran dos moléculas de líquido. Las fuerzas de atracción que se aplican sobre la molécula interior por las moléculas que la rodean se equilibran entre sí debido a la simetría. Pero las fuerzas de atracción que actúan sobre la molécula en la superficie no son simétricas y las fuerzas de atracción que se aplican por las moléculas de gas que están arriba suelen ser muy pequeñas.

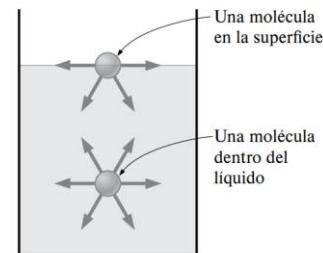


Figura 1: Fuerzas de atracción que actúan sobre una molécula.

Por lo tanto, existe una fuerza de atracción neta que actúa sobre la molécula en la superficie del líquido, la cual tiende a jalar de las moléculas que están en la superficie hacia el interior del líquido. Esta fuerza se equilibra por las fuerzas de repulsión provenientes de las moléculas que están debajo de la superficie y que están siendo comprimidas. El efecto de compresión resultante hace que el líquido minimice su área superficial.

Para comprender de manera más sencilla el efecto de la tensión superficial, podemos considerar una capa de líquido suspendida de un alambre en forma de U y un alambre movable. Normalmente la capa de líquido tiende a jalar del alambre movable hacia dentro, para minimizar su área superficial. Necesita aplicarse una fuerza F sobre ese alambre movable, en la dirección opuesta, para equilibrar este efecto de tirón.

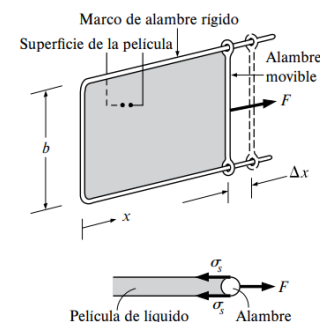


Figura 2: Estiramiento de una capa de líquido en alambre en forma de U y las fuerzas que actúan en ella.

La capa que está en el aparato tiene dos superficies (superior e inferior) expuestas al aire, por lo tanto, la longitud a lo largo de la cual actúa en este caso es $2b$.

El equilibrio de fuerzas sobre el alambre movable es:

$$F = 2b\sigma_s$$

De este modo, la tensión superficial se expresa como:

$$\sigma_s = \frac{F}{2b}$$

En el alambre con forma de U, la fuerza F permanece constante conforme se jala del alambre movable para estirar la película y aumentar su área superficial. Cuando se tira del alambre movable a una distancia Δx , el área superficial aumenta en $\Delta A = 2b \Delta x$, y el trabajo realizado durante el proceso de estiramiento es:

$$W = \text{Fuerza} \times \text{Distancia} = F \Delta x = 2b\sigma_s \Delta x = \sigma_s \Delta A$$

Por lo tanto, la tensión superficial también se puede definir como el trabajo realizado por unidad de incremento en el área superficial del líquido.

La tensión varía mucho de una sustancia a otra y con la temperatura para cada una de ellas. Disminuye con la temperatura y llega a cero en el punto crítico. El efecto de la presión sobre la tensión suele ser despreciable.

La tensión superficial de una sustancia puede cambiarse de manera considerable por la presencia de impurezas. Por lo tanto, se pueden agregar ciertos productos químicos, llamados surfactantes, a un líquido para que esta disminuya.

Efecto capilar

Es el ascenso o descenso de un líquido en un tubo de diámetro pequeño insertado en un líquido. Estos tubos angostos o canales de flujo confinado se llaman capilares. La superficie libre curva de un líquido en un tubo capilar se llama menisco.

La intensidad del efecto capilar se cuantifica por el ángulo de contacto ϕ , definido como el ángulo que la tangente a la superficie del líquido forma con la superficie sólida en el punto de contacto. La fuerza de tensión superficial actúa a lo largo de la recta tangente hacia la superficie sólida. Se dice que un líquido moja la superficie cuando $\phi < 90^\circ$ y no la moja cuando $\phi > 90^\circ$.

En el aire de la atmósfera, el ángulo de contacto del agua y de la mayor parte de otros líquidos orgánicos con el vidrio, es casi cero, $\phi \approx 0^\circ$. Por lo tanto, la fuerza de tensión superficial actúa hacia arriba sobre el agua en un tubo de vidrio a lo largo de la circunferencia, tendiendo a jalar el agua hacia arriba. Como resultado, el agua asciende en el tubo hasta que el peso del líquido en este, por arriba del nivel del líquido en el recipiente, equilibra la fuerza de tensión superficial.

El fenómeno del efecto de capilaridad se puede explicar en forma microscópica cuando se consideran las fuerzas de cohesión y las fuerzas de adhesión. Las moléculas del líquido en la interfaz sólido-líquido están sometidas tanto a fuerzas de cohesión, por parte de las otras moléculas del líquido, como a fuerzas de adhesión, por parte de las moléculas del sólido. Las magnitudes relativas de estas fuerzas determinan si un líquido moja o no una superficie sólida.

La magnitud del ascenso por capilaridad en un tubo circular se puede determinar a partir de un equilibrio de fuerzas sobre la columna cilíndrica de líquido de altura h en el tubo. El fondo de la columna de líquido está al mismo nivel que la superficie libre en el recipiente y, por lo tanto, la presión allí debe ser la atmosférica. Ésta equilibra la presión atmosférica que actúa sobre la superficie superior de la columna de líquido, y, en consecuencia, estos dos efectos se cancelan entre sí.

El peso de la columna de líquido es aproximadamente:

$$W = mg = \rho Vg = \rho g(\pi R^2 h)$$

Cuando se iguala la componente vertical de la fuerza de tensión superficial al peso, se obtiene:

$$W = F_{\text{superficial}} \rightarrow \rho g(\pi R^2 h) = 2\pi R\sigma_s \cos \phi$$

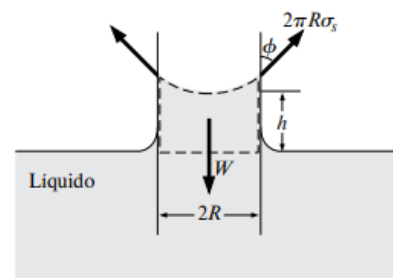


Figura 3: Fuerzas que actúan en una columna de líquido que ha ascendido en un tubo.

Despejando h se tiene que el ascenso por capilaridad está dado por:

$$h = \frac{2\sigma_s}{\rho g R} \cos \phi \quad (R = \text{constante})$$

El ascenso por capilaridad es inversamente proporcional al radio del tubo. Por lo tanto, cuanto más delgado sea el tubo, mayor es el ascenso o descenso del líquido en él.

El ascenso por capilaridad también es inversamente proporcional a la densidad del líquido.

III. MATERIALES

- Agua a temperatura ambiente (20° C)
- Agua caliente (100° C aprox.)
- Recipientes
- Colorante para alimentos
- Tubos capilares
- Instrumentos de medición directa (regla)

IV. MONTAJE EXPERIMENTAL

• Preparación de la solución

Se preparan dos recipientes: Uno con agua a temperatura ambiente (20 °C) y otro con agua caliente (100 °C). A ambos recipientes se les añadió colorante, el agua caliente con un colorante más oscuro y el agua a temperatura ambiente con un colorante más claro. Esto facilitó la comparación de la visualización del ascenso del agua.



Figura 4: Adición de colorante al agua.

• Llenado de tubos

Se colocó un tubo capilar en cada recipiente, asegurándonos de que cada uno se encontrara en una posición vertical y sumergidos en el agua.

• Observación del ascenso

Se observó el fenómeno del ascenso del agua en ambos tubos capilares. A medida que el agua ascendía, se notó la diferencia en la altura alcanzada por cada uno.

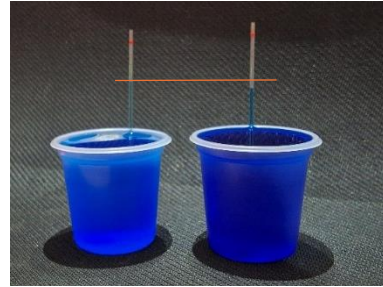


Figura 5: Observación del efecto capilar en los tubos.

• Extracción de tubos

Con mucho cuidado se retiraron los tubos capilares de los recipientes con agua, asegurándose de no perder el agua que había ascendido en los tubos.

• Medición de altura

Con los tubos fuera del agua se utilizó una regla para medir la altura que alcanzó el agua en cada tubo capilar.

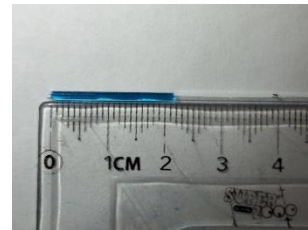


Figura 6: Altura alcanzada en el agua caliente.



Figura 7: Altura alcanzada en el agua a temperatura ambiente.

V. RESULTADOS

• Alturas medidas

Se registraron las siguientes alturas del agua ascendida en los tubos capilares:

Temperatura (°C)	Altura (mm)
20	27
100	22

Tabla 1: Resultados del ascenso obtenidos con la práctica.

• Ecuación del ascenso capilar

Para calcular la altura que se va a alcanzar en cada tubo se utiliza la siguiente ecuación:

$$h = \frac{2\sigma_s}{\rho g R} \cos \theta$$

Donde:

h = altura del líquido ascendido (m)

σ_s = tensión superficial del líquido $\left(\frac{N}{m}\right)$

ϕ = ángulo de contacto (0° en un tubo)

ρ = densidad del líquido $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

g = aceleración debida a la gravedad $\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$

R = radio del tubo capilar (m)

• Cálculo de la altura en los tubos

Para calcular el ascenso del agua en cada tubo capilar, utilizaremos las propiedades específicas de cada fluido a las temperaturas de 20° C y 100° C.

Las propiedades que consideraremos son:

Temperatura (° C)	Tensión superficial $\left(\frac{N}{m}\right)$	Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
20	0.073	998
100	0.059	958

Tabla 2: Propiedades del agua a diferentes temperaturas.

Nota: Tanto la aceleración debida a la gravedad (g) como el radio del tubo capilar (r) se consideran constantes en nuestros cálculos.

Parámetro	Valor
Aceleración	$9.81 \frac{m}{s^2}$
Radio del tubo capilar	0.55 mm

Tabla 3: Datos constantes utilizados en los cálculos.

➤ Cálculo a 20° C

$$h_{(20^\circ C)} = \frac{2 * 0.073 \frac{N}{m} * \cos(0)}{998 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * (0.55 * 10^{-3} m)}$$

$$h_{(20^\circ C)} \approx 0.0271 m \approx 27.1 mm$$

➤ Cálculo a 100° C

$$h_{(100^\circ C)} = \frac{2 * 0.059 \frac{N}{m} * \cos(0)}{958 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * (0.55 * 10^{-3} m)}$$

$$h_{(100^\circ C)} \approx 0.0228 m \approx 22.8 mm$$

• Alturas calculadas

A continuación, se presentan las alturas calculadas del agua ascendida en los tubos capilares utilizando la ecuación de capilaridad:

Temperatura (°C)	Altura (mm)
20	27.1
100	22.8

Tabla 4: Resultados de altura obtenidos con fórmula.

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este experimento se compararon las alturas de ascenso del agua en tubos capilares, obtenidas mediante mediciones directas con una regla y los resultados calculados utilizando la ecuación de capilaridad. Los resultados son:

Temperatura (° C)	Altura medida (mm)	Altura calculada (mm)
20	27	27.1
100	22	22.8

Tabla 5: Comparación de alturas de ascenso del agua

Los resultados de la tabla muestran que el agua a temperatura ambiente (20°C) ascendió más en el tubo capilar que el agua caliente (100°C). Esto tiene sentido si analizamos el comportamiento de la capilaridad. Al calentar el agua, su tensión superficial disminuye, lo que hace que se adhiera menos a las paredes del tubo capilar, como si le interesara menos ascender.

Al revisar los datos, podemos ver que la ecuación para calcular el ascenso por capilaridad funciona bien, ya que los resultados calculados son muy cercanos a las mediciones directas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que nuestras operaciones se realizaron bajo condiciones ideales, lo cual fue difícil de lograr en la práctica. Factores como la variación de temperatura, la densidad y la tensión superficial pudieron haber influido en los resultados.

Observamos que la diferencia en la altura medida fue de 0.1 mm a 20°C y de 0.8 mm a 100°C . Estas diferencias son relativamente pequeñas y en la vida cotidiana son difíciles de apreciar. No obstante, reflejan las condiciones específicas del experimento, ya que la ecuación se basa en un entorno ideal.

Creemos que la principal fuente de error en nuestros resultados fue la variación de temperatura. Durante el experimento, el agua no se mantuvo a 100°C en todo momento, lo que probablemente afectó la tensión superficial y, por consecuencia, el ascenso del agua.

VII. CONCLUSIONES

La práctica que realizamos nos permitió observar de manera sencilla y clara la capilaridad del agua y su relación con la tensión superficial. Los resultados que se obtuvieron de manera práctica y teórica confirmaron la validez de la ecuación utilizada, ya que las alturas medidas y calculadas fueron similares.

La diferencia que se observaba entre las alturas a las temperaturas dadas refleja el efecto de la temperatura en la tensión superficial. Como se mencionó con anterioridad, conforme aumenta la temperatura del agua, su tensión superficial disminuye, ocasionando un menor ascenso en los tubos capilares.

Este comportamiento se explica con la teoría de que la tensión superficial depende de las fuerzas de cohesión del líquido, las cuales disminuyen cuando aumenta la

temperatura, lo que a su vez reduce su capacidad para ascender en los tubos.

Además, el análisis de los resultados refleja la importancia de mantener condiciones experimentales controladas, ya que cualquier pequeña variación puede afectar las mediciones y resultados finales.

A través de esta práctica, nuestro equipo pudo comprender mejor los conceptos fundamentales y apreciar cómo funcionan las fuerzas en la naturaleza. Comprender la capilaridad es crucial en aplicaciones cotidianas, como en la manera en que el agua se mueve a través de materiales porosos, u otros materiales.

Para concluir, es importante resaltar que la capilaridad y la tensión superficial no solo son interesantes desde un punto de vista científico, sino que también tienen implicaciones prácticas en nuestra vida diaria.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (4ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Dorn, L. (2023, agosto 22). *The coming wave: Technology, power, and the 21st century's greatest dilemmas* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/lrKpDqay7X8>

White, F. M. (2011). *Mecánica de fluidos* (7ª ed.). McGraw-Hill.