

Guía de laboratorio 4: TENSION SUPERFICIAL

1. OBJETIVO

Medir la tensión superficial de diversos líquidos a temperatura ambiente.

2. FUNDAMENTO TEORICO

La tensión superficial es la fuerza que se desarrolla en la superficie libre de los líquidos, como consecuencia de la atracción de las moléculas que se encuentran en el seno del líquido. Dentro de un líquido las fuerzas intermoleculares de una molécula (Figura 1) actúan igualmente en todas direcciones, pero en la superficie las fuerzas que actúan sobre una molécula la atraen hacia el seno del líquido. Como consecuencia de esto, un líquido tiende a minimizar su superficie libre. Por esta razón, una gota de líquido que cae en el aire toma la forma esférica, porque en esta forma una determinada cantidad de materia ofrece la menor superficie.

La fuerza de tensión superficial es una fuerza distribuida a lo largo de una línea imaginaria en la superficie libre del líquido de modo que las moléculas que se encuentran frente a frente y a uno y otro lado de la línea interactúan atractivamente (Figura 2). Por consiguiente la fuerza de tensión superficial es calculable a través del coeficiente de tensión superficial γ definido por la siguiente relación:

$$\gamma = \frac{F}{L} \quad (\text{ecuación 1})$$

donde F es la fuerza distribuida a lo largo de la línea de longitud L .

Figura 1: Las fuerzas sobre una molécula líquida están distribuidas de modo diferente en las moléculas superficiales que en el seno del líquido.

Figura 2: Superficie del agua en el vaso vista verticalmente. La fuerza F está distribuida a lo largo de la línea de puntos de longitud L .

Si multiplicamos el numerador y denominador de (1) por Δx , vemos que el coeficiente γ también indica energía por unidad de área, lo cual se puede interpretar como la energía requerida para aumentar el área de la superficie libre del líquido en una unidad:

$$\gamma = \frac{F \cdot \Delta x}{L \cdot \Delta x} = \frac{\Delta W}{\Delta S} \quad (\text{ecuación 2})$$

La unidad SI del coeficiente de tensión superficial es N/m o el J/m^2 .

La flotación de una aguja engrasada en la superficie del agua o el caminar del zancudo sobre los charcos o la elevación de los líquidos en un tubo capilar son fenómenos que se producen por efecto de la tensión superficial, que hace que las superficies líquidas se comporten como láminas elásticas.

Una burbuja tal como una pompa de jabón es una capa esférica de líquido. La tensión superficial en las superficies de la capa tiende a encoger la burbuja, pero a ello se opone la presión (p_o) que reina en su interior, la cual es mayor que la presión (p_i) del exterior de la burbuja. Esta diferencia de presión da lugar a una fuerza hacia fuera sobre la burbuja que equilibra a la fuerza hacia adentro de la tensión superficial.

Figura 3. La presión (p_i) en el interior de la burbuja es mayor que la presión (p_o) en el exterior.

Figura 4. La fuerza (F_p) debido a la diferencia de presiones es igual a la fuerza de tensión superficial en ambas superficies.

Si la burbuja tiene un radio (r) , la fuerza hacia fuera es:

$$F_p = (p_i - p_o) \pi r^2,$$

mientras que la fuerza hacia el interior es:

$$F_i = 2(\gamma \cdot 2\pi r).$$

El factor 2 se debe a las dos superficies de la burbuja interior y exterior. En el equilibrio se tiene $(F_p = F_i)$, de donde:

$$p_i - p_o = \frac{4\gamma}{r}$$

$$p_i - p_o = \frac{4\gamma}{r} \quad \text{(ecuación 3)}$$

Para una burbuja con una sola superficie solamente, como una gota de líquido o una burbuja de aire en el agua, la fórmula correspondiente es:

$$p_i - p_o = \frac{2\gamma}{r} \quad \text{(ecuación 4)}$$

Tensioactivo: Cuando se disuelve en agua una pequeña cantidad de detergente, se forma una capa de moléculas de detergente a lo largo de la superficie del líquido. Estas moléculas no están tan fuertemente atraídas por las moléculas del agua del interior como lo están otras moléculas de agua, y de este modo, la tensión superficial del líquido se reduce. Cualquier sustancia que reduce de este modo la tensión superficial de un líquido recibe el nombre de agente tensioactivo.

Tensión superficial en los pulmones: El cuerpo emplea un tensioactivo para reducir la tensión superficial en el revestimiento mucoso de los alvéolos pulmonares (cavidades de unos 100 μm). Durante una inspiración normal la presión en los alvéolos es aproximadamente de 3 mm Hg por debajo de la presión atmosférica (una presión manométrica $(p_i = -3 \text{ mm Hg})$), la cual permite que el aire llegue a ellos a través de los tubos bronquiales. En estas cavidades que están bañadas por capilares que contienen sangre arterial pulmonar se produce el intercambio del oxígeno del aire con el anhídrido carbónico de la sangre. Durante una inspiración el radio de los alvéolos se extiende desde 50 μm hasta 100 μm . Los alvéolos están recubiertos de un fluido de tejido mucoso que normalmente tiene una tensión superficial de $(0,050 \text{ N/m})$. Con esta tensión superficial, la diferencia de presión necesaria para hinchar un alveolo sería:

$$p_i - p_o = \frac{2\gamma}{r} = \frac{2(0,050)}{50 \times 10^{-6}} = 2000 \text{ Pa} = 15 \text{ mm Hg}$$

Esto significa que la presión manométrica (p_o) fuera del alvéolo tendría que ser 15 mm Hg menor que la presión ($p_i = -3 \text{ mm Hg}$) dentro de él. Por lo tanto (p_o) sería -18 mm Hg . La presión exterior en este caso es la presión que reina en el espacio entre los pulmones y la cavidad pleural. En realidad la presión manométrica en este espacio es negativa. Sin embargo, esta presión es de unos -4 mm Hg solamente, de manera que la diferencia de presión real ($p_i - p_o$) es solo de 1 mm Hg , o sea 15 veces menor que la que se necesita para dilatar un alvéolo con una tensión superficial de $0,050 \text{ N/m}$. Para salvar esta dificultad, las paredes de los alvéolos segregan un tensioactivo que reduce la tensión superficial en un factor de 15. En cada alvéolo se presenta una cantidad fija de este tensioactivo y su capacidad para reducir la tensión superficial depende de su concentración. Por lo tanto cuando un alvéolo está desinflado la concentración de tensioactivo (por unidad de área) es elevada y la tensión superficial es muy baja, de modo que el alvéolo se dilata sin dificultad. Por el contrario, cuando se dilata, la concentración de tensioactivo disminuye y aumenta la tensión superficial hasta que se alcanza un punto de equilibrio en el máximo de dilatación. Al espirar, el incremento de tensión superficial ayuda a desinflar el alvéolo y a expeler el aire contenido.

Los alvéolos de un bebé al nacer están tan aplastados que se necesita una diferencia de presión de 30 mm Hg para inflarlos la primera vez. Por lo tanto, el primer aliento de vida exige un esfuerzo extraordinario para vencer la tensión superficial en los alvéolos.

1. ****Presión en los Alvéolos****: Descripción de la presión manométrica en los alvéolos durante la inspiración y su relación con la presión atmosférica.
2. ****Intercambio de Gases****: Proceso de intercambio de oxígeno y anhídrido carbónico en los alvéolos.
3. ****Dimensiones de los Alvéolos****: Cambios en el radio de los alvéolos durante la inspiración.
4. ****Tensión Superficial del Fluido Mucoso****: Valor de la tensión superficial del fluido que recubre los alvéolos y su impacto en la respiración.
5. ****Diferencia de Presión para Inflar Alvéolos****: Cálculo de la diferencia de presión necesaria para hinchar un alvéolo y su implicación.
6. ****Concentración de Tensioactivo****: Cómo la concentración de tensioactivo afecta la tensión superficial y la dilatación de los alvéolos.
7. ****Desinflado de Alvéolos****: El papel de la tensión superficial en el proceso de espiración y desinflado de los alvéolos.
8. ****Desafíos en el Primer Aliento****: Dificultades que enfrentan los recién nacidos al inflar sus alvéolos por primera vez debido a la tensión superficial.

En el presente experimento determinaremos la tensión superficial de un líquido, formando una burbuja dentro de él y midiendo las presiones interior y exterior a la burbuja. En la Figura 5 se muestra el equipo necesario.

El aire confinado en la tubería es impelido por la bomba de compresión hacia el líquido contenido en el vaso de precipitación a través de un capilar vertical, en cuyo extremo inferior se forma una burbuja de aire de radio igual al radio del capilar. La presión en el interior de la burbuja se mide con el manómetro y la presión en el exterior a la burbuja (gota de aire) se mide por la presión hidrostática del líquido.

Como la burbuja de aire solo tiene una superficie, la ecuación (4) nos permite hallar la tensión superficial del líquido contenido en el vaso de precipitación mediante la siguiente transformación:

$$p_i = p_o + \frac{2\gamma}{r} \quad \text{(ecuación 5)}$$

donde $(p_i = \rho_m g h_1)$ (ρ_m) es la densidad del líquido manométrico; $(p_o = \rho_k g h_2)$ (ρ_k) es la densidad del líquido en estudio). Reemplazando estas expresiones en la ecuación (5) encontramos una expresión que relaciona a (h_1) con (h_2) , dada por:

$$h_1 = \frac{\rho_k}{\rho_m} h_2 + \frac{2\gamma}{r \rho_m g} \quad \text{(ecuación 6)}$$

Como a temperatura constante tanto las densidades como la tensión superficial son constantes, la expresión anterior es una relación lineal entre (h_1) y (h_2) (variables del experimento (Y) y (X) respectivamente). Por consiguiente, las constantes de la relación lineal dada por la Ec. (6) son:

Pendiente $(B = \frac{\rho_k}{\rho_m})$, Intercepto $(A = \frac{2\gamma}{r \rho_m g})$

De donde la tensión superficial queda determinada experimentalmente por:

$$\gamma = \frac{1}{2} (A r \rho_m g) \quad \text{tag{7}}$$

3. MATERIALES E INSTRUMENTOS

Materiales	Instrumentos	Precisión
-----	-----	-----

4. PROCEDIMIENTO Y DATOS EXPERIMENTALES

4.1 Medir la temperatura del líquido en estudio al iniciar y finalizar el experimento.

Temperatura inicial, $(T_i(^{\circ}\text{C})) = \dots\dots\dots$ Temperatura final, $(T_f(^{\circ}\text{C})) = \dots\dots\dots$

4.2 Medir el diámetro interior del capilar: $(d = \dots\dots\dots)$
 $(r = \dots\dots\dots)$

4.3 Instalar el equipo como se muestra en la figura 5; agregar el líquido en estudio (agua) en la probeta hasta el cero de la escala.

4.4 Introducir el capilar lentamente dentro de la probeta hasta que su extremo inferior se encuentre a una profundidad de $(8,0 \text{ cm})$. En este paso es recomendable que la manguera esté desconectada de la Hypoderma a fin de no desequilibrar las columnas de agua en el manómetro.

4.5 Conectar la manguera a la Hypoderma y comprimir hasta observar que la burbuja de aire en el extremo del capilar esté a punto de salir; en estas condiciones haga las lecturas de (h_1) y (h_2) de las columnas líquidas en los brazos del manómetro antes de que la burbuja se desprenda del capilar. Anote sus datos en la Tabla 1.

4.6 Repetir las mediciones del ítem anterior cambiando la posición del capilar a profundidades de $(10,0; 12,0; 14,0; \text{y } 16,0 \text{ cm})$ y complete la Tabla 1.

4.7 Para determinar la tensión superficial de otros líquidos reemplace el agua de la probeta por el otro líquido a estudiar.

****Tabla 1: Tensión superficial del agua****

N	Profundidad de la burbuja $(h_0 \text{ cm})$	Columnas manométricas $(h_1 \text{ cm}, h_2 \text{ cm})$	Diferencia de alturas $(h_2 - h_1 = h_e \text{ cm})$
1	8		
2	10		
3	12		
4	14		
5	16		

Tabla 2: Tensión superficial del aceite

N	Profundidad de la burbuja $(h_0 \text{ cm})$	Columnas manométricas $(h_1 \text{ cm}, h_2 \text{ cm})$	Diferencia de alturas $(h_2 - h_1 = h_e \text{ cm})$
1	8		
2	10		
3	12		
4	14		
5	16		

5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Análisis Gráfico

5.1 Para cada líquido en estudio usar una hoja de papel milimetrado graficar h_e en función de h_0 (h_e vs h_0) y obtenga la pendiente y el intercepto para cada uno de ellos:

Agua $B = \dots \quad A = \dots$
Aceite $B = \dots \quad A = \dots$

5.2 Con los resultados anteriores y la Ecuación (7) del fundamento teórico encuentre el valor experimental de la tensión superficial de ambos líquidos (Las densidades relativas del agua, aceite y son respectivamente 1,00 y 0,80)

Agua : $\gamma = \dots$
Aceite : $\gamma = \dots$

Análisis Estadístico

5.3 Usando las fórmulas de regresión lineal dados en el apéndice o una calculadora científica o un procesador estadístico de datos Microcal Origin o Excel determine la pendiente y el intercepto de la relación lineal h_e vs h_0 , para ambos líquidos:

Agua $B = \dots \quad A = \dots$
Aceite $B = \dots \quad A = \dots$

5.4 Con estos resultados halle las tensiones superficiales:

Agua : $\gamma = \dots$
Aceite : $\gamma = \dots$

6. RESULTADOS ()

Anote sus resultados en la Tabla 3, donde valor teórico corresponde al valor de la tensión superficial de los líquidos que se consignan en los textos de física universitaria, y por comparación de los valores teóricos y experimentales encuentre el porcentaje de error.

Tabla 3 Tensión superficial del agua y del aceite

Líquido	Valor teórico	Valor experimental	Discrepancia A%
Agua			
Aceite			

Temperatura media

.....
.....

7. CONCLUSIONES ()

7.1 Comentar la validez de los resultados a juzgar por la magnitud de los errores experimentales.

.....
.....
.....

7.2 ¿Qué fuentes caloríficas podrían haber influido en los resultados?

.....
.....

7.3 ¿Qué importancia tiene el conocimiento de la tensión superficial en medicina?

.....
.....

8. BIBLIOGRAFÍA()

(autor, titulo, editorial, fecha, N° de edición , página)

.....
.....

9. CALIDAD Y PUNTUALIDAD (