

CÁLCULO DE TENSIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE EL MÉTODO DE PESADA HIDROSTÁTICA

Díaz Julio C, Becerra Luis O, Peña Luis M, Pulido Olga V, Castillo Florianne, Bravo Ulises I.
 Centro Nacional de Metrología
 Carretera a los Cués km 4,5 Municipio El Marqués
 2 11 05 00 Ext. 3533 e-mail: jdiaz@cenam.mx

Resumen: Determinar la tensión superficial de líquidos en la industria es de suma importancia, ya que es indispensable conocer su valor en gran cantidad de procesos como la producción de jabones, artículos de limpieza, medicamentos, alimentos, recuperación y refinación de crudo. Adicionalmente, la tensión superficial es un factor importante para la medición de volumen y calibración de equipos tales como densímetros de inmersión o picnómetros por la formación del menisco. Este trabajo contiene los resultados que se obtuvieron al implementar un procedimiento para la determinación de la tensión superficial de un líquido de densidad conocida. El método ha sido denominado "Método por pesada hidrostática" y se basa en el principio de Arquímedes. De esta forma se ofrece el cálculo del valor de la tensión superficial como un servicio más a la industria por parte de CENAM con una incertidumbre aceptable para este parámetro.

1. INTRODUCCIÓN

Existen muchos y variados procesos en los que el conocimiento de ciertos valores de propiedades, tanto físicas como químicas, de las materias primas esenciales para el desarrollo de productos utilizados en la vida cotidiana, se vuelven imprescindibles para obtener dichos productos con la mejor calidad posible y que entreguen el mejor rendimiento que estos puedan dar. Algunas de dichas propiedades son la densidad, la viscosidad y la tensión superficial.

Los fenómenos superficiales son aquellos fenómenos físicos en los que intervienen fundamentalmente las moléculas que se encuentran en la superficie de separación entre dos medios no miscibles. Para el método aplicado en este trabajo, los medios de interés son el agua y la propia atmósfera. [1]

La energía de las moléculas en el interior del líquido, la cual depende directamente de la naturaleza del líquido principalmente, es diferente de la energía de las moléculas de la superficie, pues estas últimas sólo están ligadas a otras moléculas del propio líquido por un lado de la superficie divisoria.

De este modo, las partículas que están en la capa superficial de un líquido poseen exceso de energía con relación a las que están en el interior, dentro del líquido cada partícula está rodeada por vecinas próximas que ejercen sobre ella fuerzas intermoleculares de cohesión; por simetría estas

fuerzas se ejercen en todos sentidos y direcciones por lo que la resultante es nula.

Sin embargo las partículas de la superficie del líquido se encuentran rodeadas por arriba por otro tipo de moléculas (aire en este caso). Como en un gas la concentración de partículas es muy pequeña, la interacción entre las moléculas del gas exterior y las del líquido es despreciable, por lo que existe una fuerza tangencial neta en la superficie del líquido, dirigida hacia su interior que se opone a que las moléculas de líquido se escapen de su superficie.

Esta fuerza superficial lleva asociada una energía (que sería el trabajo necesario para arrancar una molécula de la superficie), definida como la diferencia entre la energía de todas las moléculas junto a la superficie divisoria (de los dos medios) y la que tendrían si estuvieran en el interior de sus respectivos fluidos.

Esta energía superficial ε es por tanto proporcional al área S de la superficie libre del líquido:

$$\varepsilon = \gamma \cdot S \quad (1)$$

Donde: γ = Tensión superficial.

Existen varios métodos para la medición de la tensión superficial de los líquidos, entre los que destacan, el método de la burbuja creciente, el método del anillo, el método del capilar y el método de la cuerda; algunos otros dependen de la composición química para algunas sustancias, pero todos los mencionados anteriormente requieren de

correcciones y de consideraciones que se tienen que tomar en cuenta para obtener un resultado adecuado. [2]

Este trabajo presenta la evaluación de la tensión superficial mediante el método de pesada hidrostática el cual no requiere de ninguna corrección extra y los resultados que ofrece son satisfactorios en el nivel de incertidumbre deseado.

2. MÉTODO

Este método está basado en el principio de Arquímedes el cual dice: "Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado". [3]

Como se explicó anteriormente, al sumergir un cuerpo en el seno de algún líquido, éste sufre una fuerza de atracción en la superficie ejercida por los enlaces de las moléculas la cual es proporcional a esta superficie, formando también un menisco alrededor de todo el cuerpo del que podemos conocer el peso aparente (W) relacionado con la ecuación (1) dada por:

$$W = \gamma \cdot P \quad (2)$$

Donde: P = perímetro del cuerpo

$$P = \pi \cdot d \quad (3)$$

Conociendo entonces la relación de la fuerza de las moléculas con la superficie de contacto, en este caso se ocupa sumergir una espiga (cuerpo) de boro silicato de forma vertical, sostenida por una suspensión de acero, dicha espiga debe ser de diámetro (d), masa (m) y volumen (V) conocidos, con graduaciones en su interior, esto para evitar cualquier tipo de interacción con el líquido al poner alguna marca por fuera de la espiga.

Tomando en cuenta los parámetros de los que depende el peso aparente del menisco se tiene que:

$$W = m_w \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_F}\right) \cdot g \quad (4)$$

Donde: ρ_L = Densidad del aire

ρ_F = Densidad del líquido

m_w = Masa del menisco

De la ecuación (2) se despeja el término de la tensión superficial y se sustituyen los términos definidos, se obtiene:

$$\gamma = m_w \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_F}\right) \cdot \frac{g}{\pi \cdot d} \quad (5)$$

Anteriormente se mencionó que la espiga de cristal debería tener graduaciones, la que principalmente interesa es una división/marca en la parte central, la cual divide la espiga en dos partes no necesariamente iguales con esto su volumen total está dado por:

$$V_T = V_1 + V_2 \quad (6)$$

Cuyos valores se pueden determinar pesando con una balanza de acuerdo a la figura 1.

De esta forma se sumerge la espiga en el líquido hasta la marca indicada, esto será V_1 , se realizan las mediciones correspondientes con los procedimientos para pesada hidrostática, con lo que se tiene:

$$I_1 \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_G}\right) = m - \rho_F \cdot V_1 - \rho_L \cdot (V_T - V_1) + m_w \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_F}\right) \quad (7)$$

Donde I_1 es el valor de la pesada (Indicación de la balanza) para V_1 y ρ_G es la densidad del patrón utilizado, del que se conocen todas sus propiedades, dicho patrón es de acero inoxidable y se cuenta con pesas desde 1mg hasta 1 kg, con ello podemos acercarnos al valor de la espiga sumergida para evitar contribuciones al error por diferencia de pesos, estos patrones son para determinar el peso de la espiga sumergida mediante comparaciones. [3]

Posteriormente se voltea la espiga, lo que será V_2 de igual forma queda:

$$I_2 \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_G}\right) = m - \rho_F \cdot V_2 - \rho_L \cdot (V_T - V_2) + m_w \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_F}\right) \quad (8)$$

Se resuelven simultáneamente las ecuaciones (7) y (8) obteniendo entonces:

$$m_w \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_F}\right) = \frac{(I_1 + I_2) \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_G}\right) + (\rho_F + \rho_L) \cdot V_T - 2m}{2} \quad (9)$$

Sustituyendo finalmente la ecuación (8) en la ecuación (5) se tiene para la tensión superficial:

$$\gamma = \frac{(I_1 + I_2) \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_G}\right) + (\rho_F + \rho_L) \cdot V_T - 2m}{2} \cdot \frac{g}{\pi \cdot d} \quad (10)$$

Se realiza la pesada para V_1 y V_2 considerando especialmente la localización del menisco. [4]

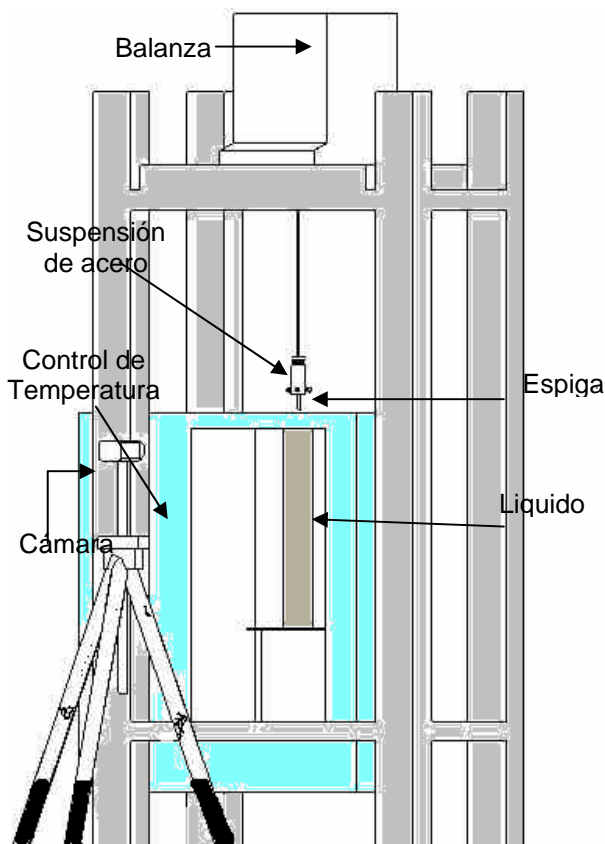


Fig. 1 Sistema de Medición.

2.1 Localización del menisco

Es importante que la localización del menisco se efectúe de forma minuciosa, ya que a parte de las

demás variables de influencia esta es la que tiene mayor peso en la obtención de un buen resultado, se muestra un diagrama (Fig. 2) y una foto (Fig. 3) de la localización de la marca en el líquido, la cual para ser mejor observado se debe ubicar por debajo de la superficie del líquido de prueba (10° aproximadamente con respecto a la horizontal) hasta observar una elipse formada por el menisco, y ubicar la marca de la espiga exactamente sobre una línea imaginaria que denota el eje mayor de la elipse. [5]

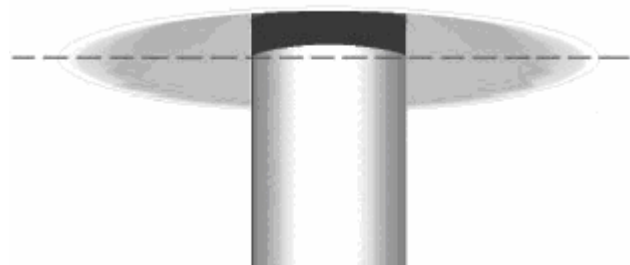


Fig. 2. Diagrama de la ubicación del menisco.

Al dar vuelta para medir V_2 se debe tener también especial cuidado en la localización del menisco ya que esta parte del procedimiento será la que define la incertidumbre en el resultado.



Fig. 3. Foto de la alineación del menisco.

Debe de contarse con un laboratorio adecuado para las mediciones, en el que se pueda tener bajo control las condiciones ambientales y la temperatura del líquido problema, el cual además debe de estar en un contenedor que permita la visualización de la espiga. Y como no se debe de contaminar el sistema de pesada, para su manejo se debe usar guantes.

3. RESULTADOS

El método se efectuó utilizando un líquido al que se le midió una densidad de $0,7898 \text{ g/cm}^3$ esto con un densímetro Antón Paar DMA 5000, para la tensión superficial se siguió el procedimiento antes mencionado y para la determinación del volumen de

la espiga se aplicó el procedimiento para la determinación del volumen utilizado en la división de masa y densidad. [3]

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos al medir la tensión superficial del etanol mediante el método propuesto.

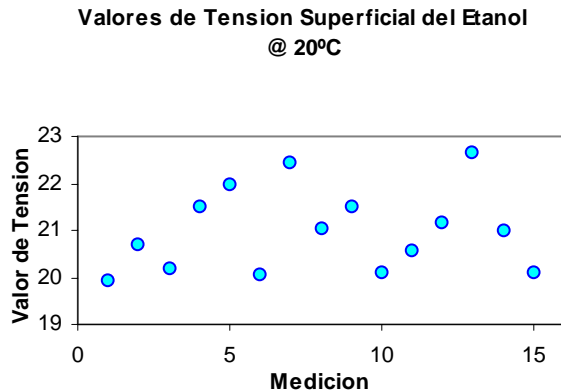


Fig 4. Dispersión de Resultados $\gamma = (21,01 \pm 0,42) \text{ mN/m}$ ($k=2.040$)

4. DISCUSIÓN

En la tabla 1 se observa el presupuesto de incertidumbres de la medición, de todos los parámetros que influyen en la medición de la tensión superficial; se puede apreciar que la variable de mayor influencia es la reproducibilidad, por lo que es la variable a la que se va a otorgar especial atención en las futuras mediciones con la intención de disminuir el valor de la incertidumbre.

5. CONCLUSIONES

Mediante el desarrollo del método “Cálculo la tensión superficial mediante el Método de Pesada Hidrostática” se evaluó esta propiedad para un líquido seleccionado, del cual se obtuvo un valor de $21,01 \pm 0,42 \text{ mN/m}$ la incertidumbre expresada con un factor de cobertura de $k= 2.040$, y un nivel de confianza de 95.45%, dicho factor corresponde a 63 grados efectivos de libertad de la probabilidad de t de student, los grados efectivos de libertad fueron evaluados mediante la ecuación de Welch-Satterthwaite [6].

Este método se seleccionó, con base en su novedad y se están evaluando aún todas las variables de influencia para la obtención del resultado con una incertidumbre pequeña entre las que se encuentran: la temperatura, el sistema de pesada, el procesamiento de imágenes, la correcta ubicación del menisco por parte del observador, la concentración del líquido y el diámetro de la espiga, motivo por el que se continuará trabajando en este método. Por otro lado se realizarán mediciones de la tensión superficial con otros líquidos químicamente puros para afinar el método.

En el método se utilizó una cámara de alta resolución para mejorar la repetibilidad del mismo, esto mediante la correcta ubicación del menisco; variable que tiene mayor aportación en el incremento de la incertidumbre.

Magnitud de entrada Xi Fuente de Incertidumbre	Valor Estimado Xi	Incertidumbre Original		G.L.	Coefficiente de sensibilidad (Ci)	Contribución	Varianza
Indicación I ₁	3.57	6.29E-04	g	5	257.70	1.62E-01	2.63E-02
Indicación I ₂	3.97	7.60E-04	g	5	257.70	1.96E-01	3.84E-02
Masa(espiga)	5.36	1.05E-04	g	100	515.45	-5.39E-02	2.91E-03
Volumen(espiga)	4.12	4.00E-04	cm ³	100	257.51	1.03E-01	1.06E-02
Densidad del aire	9.6E-04	5.50E-07	g/cm ³	125	8.14E+02	4.48E-04	2.01E-07
Densidad del líquido	0.79	3.35E-05	g/cm ³	50	1.06E+03	3.55E-02	1.26E-03
Densidad del patrón	7.87	6.08E-08	g/cm ³	100	3.01E-02	1.83E-09	3.34E-18
Reproducibilidad	-----	3.13E-01	mN/m	150	1.00E+00	3.13E-01	9.80E-02
Grados efect. de libertad 63.2						Inc.	0.42
Tensión Superficial	21.01	0.42	mN/m				

Tabla 1. Presupuesto de incertidumbres.

REFERENCIAS

- [1] Getman F. Hutton, Outlines of theoretical chemistry, ed Jhon & Sons, 146-149.
- [2] N.R.Pallas, Surface and Interfacial Tension, Colloids & Surfaces, Vol 6, 221-227.(1983)
- [3] Becerra S. Luis O., Pezet S. Felix, Determinación de la densidad en sólidos y Líquidos, Centro Nacional de Metrología, Publicación Técnica CNM-MMM-PT-002, 120.(2002)
- [4] Horst Bettin, Frank Spieweck, Hans Toth, Bestimmung der Oberflächenspannung mit Hilfe eines Glasstngels, PTB-Mitteilungen 103, 2/93, 147-148.(1993)
- [5] Y J. Lee, K H Chang, J C Chon, C Y Oh , Automatic alignment method for Calibration of hydrometers, Institute of Physics Publishing 102.(2004)
- [6] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, "Guide to the expression of uncertainty in measurement", 1993, pg 61.