

BIBLIOTECA FAC. DE QUIMICA

**MODIFICACION AL METODO DE HARKINS Y BROWN  
PARA LA DETERMINACION DE TENSION SUPERFICIAL**

---



**NATALIA ELVIRA DE LA TORRE ACEVES**

---

México, D. F.

1969



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

MODIFICACION AL METODO DE HARKINS Y BROWN  
PARA LA DETERMINACION DE TENSION SUPERFICIAL

T E S I S  
QUE PARA OBTENER  
EL TITULO DE  
QUIMICO  
PRESENTA:  
NATALIA ELVIRA DE LA TORRE ACEVES

México, D. F., 1969

JURADO ASIGNADO

ORIGINALMENTE:

SEGUN EL TEMA

PRESIDENTE: Francisco J. Garfias Ayala

VOCAL: Ma. Teresa Toral Peñaranda

SECRETARIO: Jaime Keller Torres

1er. SUPLENTE: Hugo Fernández Pérez

2do. SUPLENTE: Elvira Santos Santos

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

División de Estudios Superiores

Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

SUSTENTANTE: Natalia Elvira de la Torre Aceves

ASESOR DEL TEMA: Dr. Francisco J. Garfias Ayala

SUPERVISOR TECNICO: I.Q. Hugo Fernández Pérez

*Natalia Elvira de la Torre*  
*Hugo Fernández Pérez*

A MIS PADRES

A LOS SIETE

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION	1
REVISION DE METODOS	5
EXPERIMENTAL	28
RESULTADOS Y DISCUSION	35
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFIA	46

## INTRODUCCION

El estudio de la tensión Interfacial ha adquirido hoy en día una gran importancia, por su manifestación de la magnitud de las fuerzas Intermoleculares. Laboratorios en: Holanda, Rusia, Inglaterra y Estados Unidos se han dedicado en las últimas dos décadas a estudiar Interfases con este - nuevo enfoque.

En México, desde hace cuatro años, existe un grupo de investigadores que persigue los mismos fines. A este respecto cabe mencionar que mientras la primera teoría postulada por London (9) sobre el origen de las fuerzas Intermoleculares fué publicada en 1930, la primera determinación experimental de la magnitud de la fuerza Intermolecular en sólidos fué desarrollada por Derjaguin (2) bastantes años - después, en 1955. Hasta la fecha no se ha hecho ninguna determinación directa de fuerza Intermoleculares en líquidos y se considera hoy por hoy, que el estudio de la tensión Interfacial puede marcar nuevas orientaciones en este campo.

En el estudio de los fenómenos biológicos, se -- ha visto que las Interfases (1) constituyen un factor Importante. En las células se ha apreciado la existencia de múltiples interfases entre las membranas y los líquidos que se encuentran en contacto con ellos, por ejemplo: la superficie

Limitante de las envolturas y cutículas celulares, la superficie externa del protoplasma vegetal, la superficie que separa al citoplasma del núcleo, las vacuolas menores y las diversas vacuolas presentes en las plantas, las superficies limitantes de los nucleolos, la superficie del conjunto de macromoléculas y microsomas, y la gran superficie que presentan -- las sustancias dispersas en las células.

La interfase puede influir en fenómenos biológicos de una manera muy diversa, y para ello basta señalar los efectos que tienen en la interfase los fenómenos de transferencia, fenómenos electrocinéticos, osmóticos, de orientación sobre moléculas cercanas a la interfase y estabilidad del coloidal, etc.

En el campo de la división celular, se han postulado dos teorías: una en que se considera que la división de la membrana es una consecuencia de una elevación generalizada de la tensión interfacial, lo cual se considera difícil -- por requerirse una elevación considerable. Y la otra en que se explica este fenómeno por diferencias localizadas de tensión en una superficie pequeña, la cual parece ser la más -- aceptable.

En el campo industrial los estudios de interfases tienen aplicación a multitud de fenómenos entre los cuales -- se mencionan los siguientes: adhesión, lubricación, emulsificación, floculación, mojado, espumas, aerosoles, detergencia,

adsorción, nucleación, flotación de minerales, catálisis, -- etc.

Expuesto ya el interés científico y tecnológico - del estudio de la interfase, se considera que una de las propiedades fundamentales de la interfase es su tensión. Se cuentan con numerosos métodos para medir tensiones interfaciales entre las fases líquido-líquido y líquido-gas, por el contrario hasta la fecha, no se ha logrado desarrollar métodos que permitan determinar la tensión interfacial sólido-líquido, - sólido-gas, y sólido-sólido. En el caso de los métodos existentes para determinar la tensión interfacial se ha visto -- que en general los resultados reportados en la literatura son poco confiables, así se puede citar que los valores de ten-sión superficial del agua varían en más de una dina. Por ello se ha juzgado conveniente desarrollar nuevos métodos que permitan medir con una mayor precisión valores absolutos de la tensión superficial y es precisamente con este objeto que se ha desarrollado la presente tesis.

En particular, se trata de mejorar el método de Harkins y Brown que está fundamentado en la medición del peso máximo de la gota de agua que se desprende de una boqui--lla. Se considera que este método es bastante inexacto por - la dificultad de mantener las fases aire y agua a una deter--minada temperatura, por problemas asociados con la evapora--ción de agua y por la dificultad de mantener saturado el ai--re. Se ha pensado que si en lugar de formar gotas en el se-

no del aire, se formen burbujas de aire en el seno del agua se reducen considerablemente los errores asociados al método.

Una vez ampliado el método de Harkins y Brown -- (6) a burbujas, se considera que el estudio del fenómeno dinámico del desprendimiento de la burbuja, estando íntimamente relacionado con la tensión interfacial sólido-agua, permita en un futuro desarrollar alguna técnica para la determinación de la característica de la interfase sólido-agua.

## REVISION DE METODOS

El objetivo de este capítulo es presentar una revisión de los métodos para determinar la tensión superficial; considerando tan solo aquellos, que se encuentran en el grupo de Interfases axi-simétricas. La descripción que se hace a -- continuación esta basada íntegramente en el trabajo de Gar---flas. (3).

Para comprender esta clasificación debe adoptarse la siguiente terminología. Una interfase es la unión que separa dos fases fluidas. Cuando una de las fases es aire, la interfase es también conocida como una superficie. El estudio de tensión interfacial, estará enfocado exclusivamente a fases fluidas, por requerir los sólidos un tratamiento diferente.

Una interfase se entiende que esta en equilibrio cuando la estructura y la proporción de moléculas presentes en la superficie permanecen invariables con el tiempo. De otra manera la interfase, esta en un estado de desequilibrio.

Un sistema aislado, es aquel formado por una interfase y dos masas fluidas, mutuamente saturadas una con la -- otra, el cual puede encontrarse en un estado de movimiento - interno ó al menos, el movimiento puede ser localizado en la interfase ó en las fases fluidas. El movimiento en la interfase puede ser causado en particular por contracción ó expansión de la interfase. El movimiento en las fases fluidas pue

de ser causado por: la convección de corrientes debidas a diferencias de temperatura, por corrientes de difusión originadas por inhomogeneidades en las fases, y por flujo de fluidos.

Si el sistema no esta aislado, vibraciones transmitidas al sistema de un origen externo, pueden originar y mantener las fases ó interfase en movimiento. Si las fases no es tan mutuamente saturadas se establecen corrientes de difusión.

Cuando el sistema se forma al juntar dos fases inicialmente homogéneas y recíprocamente saturadas, se establecen inmediatamente gradientes de concentración variable al cruzar la interfase, dando origen al fenómeno de envejecimiento de la interfase, y una vez que la interfase alcanza el equilibrio permanece un gradiente de concentración constante. Hablando con rigor, solamente en el preciso momento de formación de la interfase, se espera que las fases sean homogéneas. Para que este concepto sea útil en el estudio de la interfase, será una condición suficiente de homogeneidad, el que las fases fluidas sean inicialmente homogéneas.

Sistemas Estacionarios.- Son sistemas inmóviles, y en ellos tanto las interfases como las fases se encuentran inmóviles.

Sistemas No Estacionarios.- Son sistemas que existen en un estado de movimiento interno y en ellos se incluyen las siguientes tres posibilidades: Interfases inmóviles en contacto con fases en movimiento, Interfases móviles en con-

tacto con fases inmóviles ó en movimiento.

Así los métodos para medir la tensión interfacial pueden ser clasificados en estacionarios y no estacionarios (ver tabla).

Hasta ahora todos los métodos están basados en la curvatura de las interfaces, donde la tensión interfacial se determina relacionando la curvatura con la diferencia de presión a través de la interfase ó por evaluación del efecto de gravedad a diferentes niveles interfaciales.

#### MÉTODOS ESTACIONARIOS.

Ha sido demostrado, que en una interfase curva, es constante la suma del recíproco del radio de curvatura de dos secciones normales en ángulo recto una, con respecto a la otra. Laplace también demostró que el valor de esa constante es igual a la relación de la diferencia de presión y de la tensión interfacial.

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = K = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma}$$

Donde:  $p_1$  es la presión en la cara concava, y  $p_2$  en la cara convexa, (la presión en la cara concava es siempre mayor) y  $R_1$  y  $R_2$ , son los radios de curvatura.

Si en la Fig. 1, se considera que  $P_1$  y  $P_2$  son los valores particulares de  $p_1$  y  $p_2$  en el ápice,  $z$  es la altura vertical de un punto del ápice de la interfase,  $z$  es positivo cuando se mide hacia el lado concavo de la curva,  $\rho_1$  es

# CLASIFICACION DE METODOS DE TENSION INTERFACIAL

(INTERFASES AXI-SIMETRICAS)

MEDIDA DE:

EJEMPLO

Métodos Estacionarios	Formas Positivas	}	Perfil de la forma	gota oblonga		
			Diferencia de Presión	elevación del capilar		
	Formas Negativas	}	Perfil de la forma	gota colgante		
			Diferencia de Presión	-----		
Métodos No Estacionarios	Todas las Velocidades de flujo	}	Formas Positivas	} Perfil de la forma -----		
			} Diferencia de Presión		por caída del menisco, máxima presión de la burbuja	
				Formas Negativas	} Perfil de la forma -----	} Diferencia de Presión
			peso de la gota			
			Coexistentes	} Diferencia de Presión y Diámetro	Burbuja de jabón	
					Velocidades de flujo grandes	} Perfil de la forma
		Jet que choca.				

la densidad del fluido localizado sobre la interfase, y  $\rho_2$  es la densidad del fluido localizado debajo de la interfase, la ecuación de Laplace puede escribirse:

$$\gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = P_1 - P_2 = P_1 - P_2 + g z (\rho_1 - \rho_2)$$

Puede observarse dos formas distintas dependiendo de la posición relativa de las fases fluidas. Si el fluido denso queda por arriba del ápice, la interfase curvada, adoptará la forma prolata correspondiente por ejemplo a la gota que pende de una boquilla, en la interfase aire-agua. Si el fluido más ligero se encuentra arriba del ápice, la forma oblata que adopta la interfase corresponde a una gota descansando sobre una placa en la interfase aire-agua. Entonces una forma similar debe esperarse por ejemplo, para una gota descansando sobre una superficie y rodeada de aire, una burbuja de aire que se mantiene en el extremo inferior de una boquilla vertical sumergida en un líquido, y el menisco formado al introducir un tubo capilar parcialmente sumergido en un líquido.

La ecuación fundamental de Laplace puede transformarse en términos del radio de curvatura  $R$  en el punto  $(x, z)$ , el ángulo  $\phi$  formado por el eje  $z$  y la normal al punto  $(x, z)$ , sobre el plano  $xz$ , y el radio de curvatura  $b$  en el punto  $(0, 0)$ , donde:

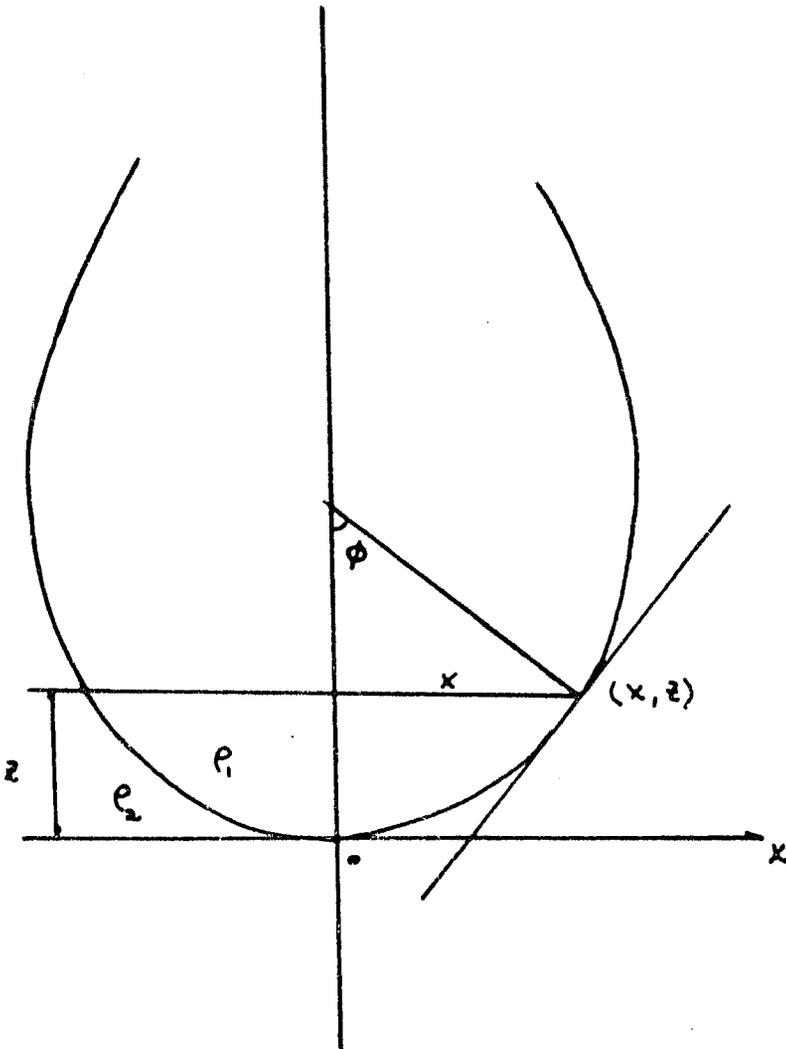


FIGURA No. 1  
PERFIL DE LA FORMA ( $\rho$  negativa)

$$\frac{1}{R/b} + \frac{\text{sen } \phi}{x/b} = 2 + \beta \frac{z}{b}$$

en donde:

$$\beta = -gb^2 \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\gamma} \dots\dots (a)$$

La ventaja de representar una interfase de revolución por la ecuación transformada, consiste en el hecho que el tamaño de la curva está dado por la cantidad  $b$ , mientras la forma queda determinada por la cantidad  $\beta$ .

En todos los métodos basados sobre interfaces con formas simétricas en dos ejes, se introduce una tercera fase un sólido para sostener la interfase firmemente. En el punto de unión de las tres fases, el efecto del sólido sobre cada fase queda relacionado con las tensiones interfaciales -- por el ángulo de contacto. Si no hay sólido, en contacto -- con la interfase, la tensión interfacial fuerza a la interfase a tomar la forma de una superficie de revolución completamente cerrada. Formas cerradas pueden existir generalmente en un sistema no estacionario.

En una burbuja de jabón que cuelga de un capilar, dos interfaces de forma opuesta pueden coexistir. Sin embargo, las interfaces coexistentes pertenecen a sistemas no estacionarios debido al movimiento ocasionado por drenaje de la película.

De lo anterior se observa que deben tratarse dos - casos generales. Primeramente, las formas que serán descritas aquí como "positivas", para valores positivos de  $\beta$ , cuando el fluido de arriba del ápice de la interfase es el más ligero, y en segundo lugar las formas que serán llamadas "negativas" para valores de  $\beta$  negativos, cuando el fluido arriba -- del ápice de la interfase es el más denso.

Bashforth y Adams han compilado tablas dando los - valores de las coordenadas ( $x/b, z/b$ ) en función de  $\phi$  y  $\beta$  (para valores positivos y negativos de  $\beta$ ). Bashforth y Adams han reportado valores del volumen  $\underline{v}$  incluido entre el plano - horizontal a la altura  $\underline{z}$  y el ápice de la interfase, y el valor de la longitud del arco  $\underline{s}$  del ápice al punto ( $x, z$ ).

Stalcupulus resolvió la ecuación de capilaridad por computación para valores positivos de  $\beta$ , y compiló tablas precisas y detalladas conteniendo los valores de las coordenadas de los puntos para interfases positivas, área interfacial, volumen, y el centro de gravedad de secciones de la interfase de revolución como una función del ángulo  $\phi$  para valores diferentes del parámetro.

En métodos estacionarios que involucran interfases axi-simétricas, la tensión interfacial ha sido determinada midiendo las dimensiones de algunos parámetros del perfil de la forma, ó por medición de la diferencia de presión a través de la interfase. En ambos casos, los métodos usa--

dos para calcular la tensión superficial están basados en la ecuación de Laplace.

MÉTODOS ESTACIONARIOS. FORMAS POSITIVAS. MÉTODOS BASADOS SOBRE MEDIDAS DEL PERFIL DE LA FORMA.

Los métodos basados sobre las dimensiones de los perfiles de formas positivas, han sido generalmente conocidos como "Métodos de la gota oblonga". En estos métodos ya sea que una gota del fluido denso se pone sobre una placa horizontal ó una gota, ó burbuja del fluido más ligero es localizada bajo una placa, tomándose la fotografía de las siluetas. La tensión Interfacial se determina por medición de la altura y diámetro ecuatorial " $d_E$ ", la gota ó burbuja del fluido ligero puede ser también forzada a través, de un tubo capilar de sección circular.

si  $\frac{1}{3} \left( \frac{b}{d_E} \right)^2$  se representa por  $1/H$ , entonces la ecuación (a) puede escribirse:

$$\gamma = \frac{g(\rho_1 - \rho_2)}{H} d_E^2 \dots\dots (b)$$

Basando sus cálculos sobre las tablas de Baforth y Adams, Koshevnik y colaboradores, computaron  $1/H$  como función de  $d_E/2z_E$  para valores de  $d_E/2z_E$ , comprendidos entre 1.140 a 2.009.

Stalcopulus derivó una ecuación empírica, relacionando la tensión Interfacial al radio ecuatorial ó altura.

$$\gamma = \frac{g(\rho_1 - \rho_2)}{BF^2} \left(\frac{d_E}{2}\right)^2$$

$$\gamma = \frac{g(\rho_1 - \rho_2)}{BG^2} (z_E)^2$$

Las cantidades B, F, y G fueron reportados como una función de un polinomio de cuarto orden de  $d_E/2z_E$ .

Para facilitar la computación de  $\gamma$ , Stalcopulus compiló tablas muy precisas dando  $BF^2$  y  $BG^2$  para valores de  $d_E/2z_E$ , de 1.002 a 2.189 en incrementos de 0.001. El valor de  $BF^2$  en la fórmula de Stalcopulus corresponde a  $4(1/H)$  en la ecuación (b).

La precisión del método de la gota oblonga depende principalmente, de la precisión con la cual, se localiza el plano ecuatorial y por consiguiente de la exactitud de la altura  $z_E$ .

Stalcopulus reportó una tabla para calcular tensiones interfaciales por mediciones de altura y diámetros tomados en el plano donde  $\phi = 45^\circ$ . Kozakevitch ha publicado tablas para calcular tensiones interfaciales por mediciones del diámetro ecuatorial y la distancia vertical tomada por la intersección de las tangentes del ápice de la curva, para tangentes tocando la interfase con ángulos  $\phi$  iguales a  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $135^\circ$ . Smolders y Duyvis sugirieron que en adición a la

medida del diámetro ecuatorial diez ó más mediciones de alturas y diámetro en otros planos, permitirían la evaluación de  $\beta$  graficamente de los datos de Bashforth y Adams y consecuentemente se obtendría el valor de  $\gamma$ .

Finalmente como el ángulo de contacto puede distorsionar la forma de la interfase, trabajo adicional se hace necesario para elucidar la influencia del material con el cual ha sido manufacturado la placa ó el tubo, sobre los valores de tensión Interfacial.

METODOS ESTACIONARIOS. FORMAS POSITIVAS. METODOS BASADOS SOBRE MEDIDAS DE DIFERENCIAS DE PRESION A TRAVES DE LA INTERFASE.

Cuando se desea medir tensiones Interfaciales sobre Interfases planas, es necesario introducir un objeto en la interfase, para formar una interfase curva localizada en la región contigua al objeto. Si el objeto introducido es un tubo capilar, un menisco aparecerá en el interior del capilar, y su perfil corresponderá a una interfase de revolución dado por la ecuación de Laplace. La tensión Interfacial se determina por la diferencia de presión a través de la interfase que se mide en el ápice del menisco.

En el método de elevación del capilar, la diferencia de presión se mide por la altura "h" del menisco formado dentro del tubo capilar parcialmente sumergido en la fase densa, ó por la presión requerida para forzar hacia abajo el menisco hasta que su nivel, se iguale con el nivel de la interfase de fuera del tubo. Si el radio del tubo capilar,  $r$  es --

pequeño entonces el menisco presentará una forma esférica y  $r_1 = r_2$ , siempre y cuando el ángulo de contacto entre la fase densa y la pared del tubo sea cero. Esta diferencia de presión  $p_1 - p_2$ , fuerza el líquido denso dentro del capilar hasta un nivel donde:  $h = \frac{p_1 - p_2}{g(p_1 - p_2)}$  y entonces la tensión interfacial queda dada por la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{g h R}{2} (p_1 - p_2)$$

De la ecuación anterior puede observarse que para dos fases fijas, el producto  $rh$ , es constante y se le llama la constante de capilaridad y se representa por  $a^2$ . La tensión interfacial puede entonces ser reportada en términos de la constante de capilaridad.

$$\gamma = \frac{a^2 g (p_1 - p_2)}{2}$$

Para capilares grandes, la interfase ya no puede considerarse como esférica y el radio de curvatura de la parte inferior del menisco ya no es  $r$  sino  $b$ , y la constante de capilaridad valdría  $a^2 = bh$ . Sugden ha preparado tablas para calcular la constante de capilaridad para capilares grandes, a partir de mediciones de  $b$  por aproximaciones sucesivas.

MÉTODOS ESTACIONARIOS. FORMAS NEGATIVAS. MÉTODOS BASADOS SOBRE MEDIDAS DEL PERFIL DE LA FORMA.

El método clásico de determinación de la tensión interfacial basado en la forma de una superficie capilar negativa es: "el método de la gota que pende", en el cual las gotas se forman en un orificio capilar.

En el método de la gota que pende, la tensión interfacial se determina por mediciones del diámetro ecuatorial  $d_E$ , y de otro diámetro  $d_S$ , en un plano seleccionado. El plano horizontal seleccionado se escoge a una distancia del ápice de la interfase igual al diámetro ecuatorial. La tensión interfacial queda dada por:

$$\gamma = \frac{g(\rho_1 - \rho_2)}{H} d_E^2$$

donde  $1/H$  representa:

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{\beta} \left( \frac{b}{d_E} \right)^2$$

Andreas y colaboradores fotografiaron siluetas de gotas y de las mediciones de " $d_E$ " y " $d_S$ ", compilaron una tabla dando valores de  $1/H$ , en función de la relación  $S = d_S/d_E$ , de 0.66 a 1. Fordham computó la relación entre  $1/H$  y  $S$ , de la solución de la ecuación de Laplace, según se encuentra en las tablas de Bashforth y Adams.

#### MÉTODOS NO ESTACIONARIOS.

En los métodos basados sobre sistemas estacionarios, es necesario esperar por lo menos 10 segundos, después

de formada la interfase antes de que la determinación pueda ser hecha.

Los métodos basados en "sistemas no estacionarios" fueron originalmente desarrollados para determinar tensión interfacial en interfases de muy corta edad, (menor que un segundo). Sin embargo los presentes métodos no estacionarios pueden muy bien cubrir cualquier intervalo de tiempo.

Si una corriente de líquido se fuerza lentamente a través de una boquilla vertical, aparecerán gotas. Si el líquido es forzado a una velocidad relativamente alta el líquido que sale formará un jet. Por lo tanto, la forma de la interfase curva formada en sistemas no estacionarios, depende principalmente de la velocidad de flujo. Sin embargo, si las velocidades de flujo son bastante bajas, la forma de la interfase curva no se desvía considerablemente de la formada por la ecuación de capilaridad. A ciertas velocidades de flujo medias, la forma de la interfase se desvía apreciablemente de lo predicho por la ecuación de Laplace, en donde las fuerzas de viscosidad no han sido tomadas en cuenta, y finalmente a velocidades mayores de flujo, la forma difiere totalmente. Este criterio puede ser usado para clasificar sistemas no estacionarios en dos categorías de acuerdo a que, el perfil de la interfase pueda ser dado por la ecuación de Laplace.

La edad interfacial de los sistemas no estacionarios

queda gobernada principalmente por la velocidad de flujo. - Así para una boquilla en particular, las velocidades de flujo son necesariamente mayores para la formación de un jet - que para la formación de una gota, y por lo tanto, es de -- esperarse, que los métodos en que se formen jets, faciliten el estudio de Interfases más jóvenes, que en aquellos métodos en los cuales se forman gotas.

El estudio y clasificación de métodos no estacionarios a bajas velocidades de flujo sigue la misma pauta -- establecida para los métodos estacionarios.

#### ✓ METODOS NO ESTACIONARIOS. VELOCIDADES DE FLUJO PEQUEÑAS. FORMAS POSITIVAS.

a.) Métodos basados sobre mediciones del perfil de la forma.

En un trabajo experimental aun no reportado por -- Garfias se establece que el perfil de las gotas no se des-- via apreciablemente del correspondiente a la ecuación de Laplace si las gotas, ó burbujas son formadas a baja velocidad.

b.) Métodos basados sobre medición de diferencia de presión.

De acuerdo a la ecuación de Laplace, una interfase curva, existe solamente cuando hay una diferencia de presión. Sin embargo si la diferencia de presión aumenta por arriba - de un cierto, "valor máximo", entonces la interfase tiende a ser inestable y se rompe. La interfase se rompe porque los radios de curvatura  $R_1$  y  $R_2$  no pueden disminuir indefinidamente para contrarrestar el aumentar en presión. En efecto,

el diámetro de la sección capilar sólida, establece el máximo alcanzable de  $(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2})$ , el cual a su vez establece la diferencia máxima de presión posible. Se debe señalar que la diferencia de presión se alcanza antes que la interfase se desprende de la boquilla sólida.

Estos métodos pueden ser subdivididos de acuerdo a la fase que se mueve fuera del plano de la boquilla después del rompimiento. En el "Método de Máxima Presión de la Burbuja" una porción de la fase ligera se desprende de la boquilla. En el "Método de la caída del Menisco", es la fase más pesada la que cae. En ambos métodos, la diferencia de presión puede ser regulada por modificaciones de la presión de cualquier fase. Ambos métodos son también aplicables a interfaces líquido - líquido.

En el método de la "máxima presión de la burbuja", de aire ó de la fase más ligera, se despega de la parte inferior de una boquilla vertical. Si el radio de curvatura de la burbuja ó gota es  $r$ , entonces la forma de la interfase es una hemisfera. En estas condiciones, la diferencia de presión máxima corresponde a  $2\gamma/r$ . La distancia  $h_0$  a la cual se sumerge la boquilla bajo la superficie del líquido denso debe de ser deducida, de las mediciones de presión máxima.

Adam, y Harkins han descrito extensamente en sus libros, el tratamiento teórico de Sugden del Método de Presión Máxima de la Burbuja, cuando el diámetro del orificio es grande

y la burbuja se desvía de la forma hemisférica.

Las tablas de Sugden están basadas en la Ecuación de Laplace, según fué resuelta por Bashforth y Adam.

En el método de la máxima presión de la burbuja, - hay una fuente adicional de error, que consiste en la precisión a la cual la profundidad  $h_0$  puede ser estimada, y por lo tanto, como un método absoluto, este método no es muy preciso; pero puede ser usado con buen éxito, como un método relativo para determinar las tensiones interfaciales.

En el método de caída del menisco, la fase densa cae del orificio del capilar, situada en la parte inferior de un tubo de vidrio. En el momento de rompimiento, el menisco que sostiene una máxima  $h$  de fase densa dentro del tubo. El método de máxima presión de la burbuja y el método de caída del menisco dependen ambos de los mismos principios teóricos y el tratamiento de Sugden debe ser aplicable también al segundo.

Para pequeños orificios, la tensión interfacial -- está dada en función de la altura máxima de la fase densa -- por:

$$\gamma = \frac{rgh}{2} (\rho_1 - \rho_2)$$

Defay y Homelén han revisado recientemente el método de la caída del menisco y han hecho algunas sugerencias prácticas para eliminar errores en las determinaciones.

El hecho que sólo la máxima diferencia de presión, y el diámetro del orificio capilar tienen que ser medidos -- hacen que el método de calda del menisco sea más simple que el método de máxima presión de la burbuja, en donde tiene -- que ser determinada además la profundidad a que se encuentra sumergida la boquilla.

**MÉTODOS NO ESTACIONARIOS. VELOCIDADES DE FLUJO PEQUEÑAS. FORMAS NEGATIVAS.**

a.) Métodos basados en mediciones del perfil de la forma.

No se ha reportado trabajo experimental en el que se establezca la desviación de la ecuación de Laplace debida a una continua expansión de la interfase.

Garfias ha encontrado que la tensión interfacial -- podía ser medida, con tal que, la velocidad de formación de la gota exceda a una gota por segundo.

El mismo procedimiento puede aplicarse a burbujas formadas sobre el extremo superior de un capilar sumergido en agua.

b.) Métodos basados sobre medidas de diferencia de presión.

No ha sido desarrollado un método que permita determinar la tensión superficial basándose en las diferencias de presión a través de una interfase con  $\beta$  negativa.

En una gota que pende de una boquilla en la interfase aire-agua, la altura máxima de la gota podía ser usada para determinar la presión máxima diferencial a través del -

ápice de la gota. En el método del peso de la gota, la altura máxima no se mide; pero sí una cantidad que puede relacionarse con la tensión superficial y que es el peso de la gota que cae. Si el ángulo de contacto es cero y todo el líquido alrededor de la interfase estuviera contenido en la gota, el peso de la gota estaría dado entonces por:  $W = 2\pi R\gamma$ , donde  $R$ , es el radio de la boquilla. De hecho se encuentra que el peso de la gota es siempre menor, en un 40% aproximadamente. Harkins y Brown confirmaron experimentalmente que el peso de una gota desprendida es una función de  $r/a$ , y publicaron tablas para determinar la tensión interfacial a partir del peso de la gota y del diámetro de la boquilla. Conal ha sugerido uniformizar los factores reportados por Harkins y Brown.

Si se pretende hacer una determinación lo más exacta posible mediante el método de peso de la gota, la gota debe irse aumentando en tamaño lentamente antes que se desprenda. Una variación al método de peso de la gota aplicable a varias velocidades de formación fué desarrollada por Mc. Gee quien determinó el efecto de la velocidad de flujo sobre el peso de la gota para líquidos puros en el aire. Por este camino, Mc. Gee pudo determinar tensiones interfaciales en sistemas en desequilibrio en edades de superficie mayores que 0.5 segundos. Davies y colaboradores desarrollaron esta técnica en interfases aceite-agua, y reportaron tensiones interfaciales en edades mayores que 0.1 segundos.

En el método del anillo, al máximo empuje requerido para desprender un anillo horizontal hecho de fino alambre, - ha sido usado para determinar la tensión superficial.

Si el ángulo de contacto es cero, y el anillo tiene un diámetro promedio  $R$ , Entonces el empuje requerido para desprenderlo de la superficie será:  $\Delta P_a V \eta R \gamma$ . En la -- práctica, el máximo empuje se alcanza antes que el anillo se desprenda, y este empuje es una función de la forma de las - superficies de revolución interna y externa creadas por la - elevación del anillo sobre la superficie. Un factor de corrección  $F$ , ha sido calculado experimentalmente como una función de  $R^3/V$ ,  $R/r$  por Harkins y Jordan, así que la tensión - Interfacial puede ser calculada por:

$$\gamma = \frac{\Delta P}{4\pi R} \cdot F$$

donde  $r$ , es el radio del alambre del anillo, y  $V$ , es el volumen máximo de líquido levantado por el anillo.

Las tablas de Harkins y Jordan cubren el intervalo de  $R^3/V$  de 0.30 a 3.50. Fox y Chrisman extrapolaron las tablas de Harkins y Jordan para cubrir valores más altos de  $R^3/V$  de 3.50 a 7.59.

MÉTODOS NO ESTACIONARIOS. VELOCIDADES DE FLUJO PEQUEÑAS.

INTERFASES COEXISTENTES.

Una interfase coexistente se define como una interfase en la cual, la interfase con una  $\beta$  positiva, coexiste

con otra interfase con  $\sigma$  negativa, siendo un ejemplo una burbuja de jabón.

Si el aire se introduce a través de un tubo capilar vertical que contiene, una pequeña cantidad de solución de jabón, una esfera vacía será formada. Si  $r$ , es el radio de la burbuja de jabón y  $p_1$  es la presión del aire dentro de la burbuja,  $p_2$  es la presión de la fase líquida y  $p_3$  es la presión del aire fuera de la burbuja, y suponiendo que la burbuja de jabón es una esfera verdadera, entonces de la ecuación de Laplace:  $R_1 = R_2 = r$

$$P_1 - P_2 = P_2 - P_3 = 2\gamma/R$$

$$\gamma = \frac{P_1 - P_3}{2} R$$

la tensión superficial puede ser calculada por mediciones simultáneas de la diferencia de presión total a través de las dos interfaces y sus radios.

En realidad, la forma de la burbuja de jabón adherida ó suspendida de un capilar no es esférica, sino ligeramente positiva en el interior y negativa sobre su exterior.

MÉTODOS NO ESTACIONARIOS. VELOCIDADES ALTAS DE FLUJO.

La tensión interfacial ha sido determinada por mediciones del perfil del jet que sale de una boquilla capilar con orificio circular.

También puede determinarse la tensión superficial

por observaciones del comportamiento de un jet que choca con un objeto colocado en la dirección del flujo. La deformación en el jet cercana al objeto está relacionada con la tensión superficial.

a.) Jet que se contrae.

Addison y Elliot observaron que cuando el líquido fluye verticalmente en aire por un orificio circular, se contrae debido a la tensión superficial y a fuerzas gravitacionales; la contracción del jet es más pronunciada en cuanto a la velocidad de flujo del líquido se reduce; pero a una velocidad de flujo constante la forma del jet queda determinada por la tensión superficial. Addison y Elliot proponen una ecuación relacionando la tensión superficial con la velocidad de flujo, la diferencia de densidad de ambas fases, el radio y la altura.

Garner y Mina encontraron discrepancias en los valores de tensión interfacial en el equilibrio en las interfaces líquido - líquido cuando aplicaban la ecuación de Addison y Elliot. Garner y Mina entonces calibraron empíricamente dos boquillas de diferente tamaño con interfaces líquido - líquido de tensiones interfaciales completamente diferentes; pero con la misma densidad y viscosidad. Para convertir la edad del jet en algún punto de la interfase en la verdadera edad de la superficie, Garner, Mina y Jenson desa-

rollaron un tratamiento teórico, siendo confirmados sus resultados experimentalmente.

b.) Jets que chocan.

Bond y Peels formaron dos jets que chocaban uno contra otro. Una película de líquido se forma y de sus dimensiones la tensión promedio sobre la superficie que se expande -- fué calculada.

Permitiendo que un jet vertical caiga sobre una superficie plana, la tensión superficial puede ser calculada -- por medición de las ondas estacionarias que se forman en la superficie del jet.

## EXPERIMENTAL

## DESCRIPCION DEL APARATO

El aparato usado consiste fundamentalmente de dos partes: una celda en donde se mantiene a temperatura constante el líquido bajo estudio, y de un dispositivo en donde se encuentra montada la boquilla unida a una jeringa.

La celda tiene una capacidad mayor de 250 cc., y para mantener un nivel constante dentro de la misma se vertían 250 cc. del líquido. Dentro de la celda se encuentra un serpentín de vidrio donde se le hace circular agua mediante un baño Colera a una temperatura de  $\pm 0.01^\circ$  de la temperatura de experimentación.

El sistema de inyección de aire consiste de una boquilla unida a un bulbo horizontal de saturación. De la cámara de saturación sale un tubo capilar que va directamente a la jeringa, la cámara de saturación y la boquilla se encuentran sumergidos dentro del líquido contenido en la celda.

La jeringa tiene un centímetro cúbico de capacidad y los desplazamientos del pistón de la jeringa se logran efectuar con una precisión de  $\pm 0.0001$  pulgada mediante un micrómetro acoplado al pistón.

Con el fin de colocar la boquilla a una cierta distancia de la superficie del líquido que se encuentra en la celda, el sistema de burbujeo está montado en un gato de

laboratorio. La posición relativa de la boquilla con respecto a la superficie del líquido se mide con un catetómetro.

#### PARTE EXPERIMENTAL.

Este método para determinar tensión interfacial -- consiste en medir el volumen máximo de una burbuja, siendo este volumen determinado en el momento en que la burbuja se --- desprende.

Es interesante definir que es una burbuja, de acuerdo al diccionario es una pequeña cantidad de gas rodeada de líquido, en términos generales, la apariencia de una burbuja, significa la existencia de una superficie cerrada, la cual divide una región en dos partes, cada una ocupada por un fluido homogéneo.

De acuerdo al diseño del aparato descrito anteriormente, los parámetros variables son: diámetro del capilar, altura del líquido sobre la boquilla y volumen máximo de la burbuja.

Para calibrar el diámetro de la boquilla se siguió el método recomendado por Harkins y Alexander (5), el cual consiste en introducir mercurio purificado por destilación en el tubo capilar, determinando el peso del tubo con mercurio y la distancia ocupada por éste dentro del tubo capilar. Conocido el peso del tubo sin mercurio se puede determinar el radio del capilar aplicando la siguiente fórmula:

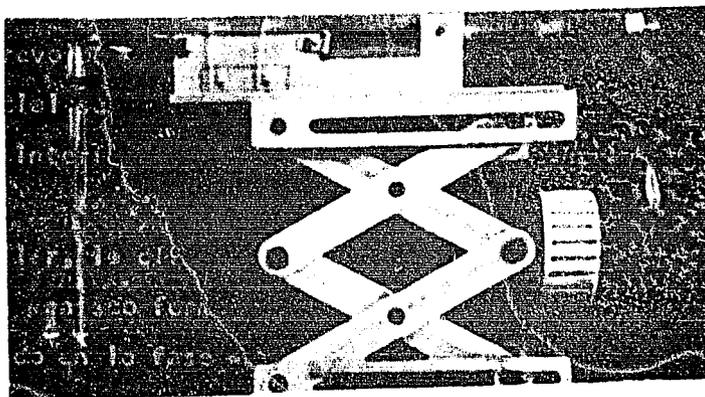
$$R = [(m_1 - m_2) / n\rho(l_1 - l_2)]^{1/2}$$

Se seleccionaron tres capilares que presentaban la sección más uniforme. Estos capilares fueron cortados con una sierra, para obtener una superficie horizontal pulida y normal.

Los radios de los capilares son: 0.04785 cm.; ----  
0.04995 cm.; 0.08250 cm.

Se trabajó con dos jeringas, obteniéndose que para un recorrido del micrómetro de 0.1 pulgada, corresponde a un desplazamiento de líquido en la primer jeringa de 0.04789 cc., y 0.04012 cc., en la segunda.

El aparato armado se muestra en las fotografías y 2.



FOTOGRAFIA No. 1

## MANEJO DEL APARATO.

La principal precaución que se debe tomar en trabajos relacionados con interfases es la limpieza, por lo cual, todo el material de vidrio deberá lavarse cuidadosamente con mezcla

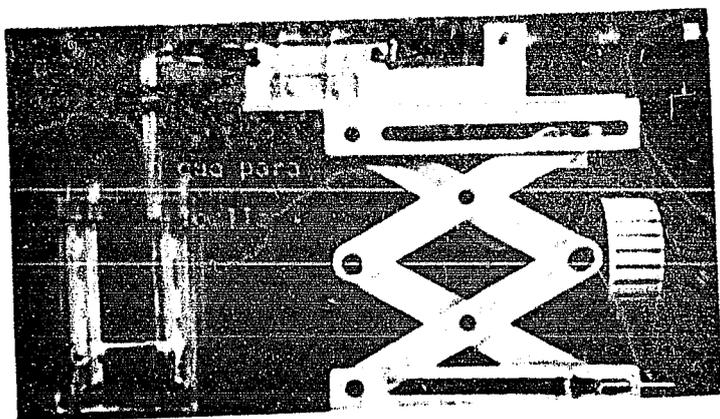


FIGURA No. 2

crónica y enjuagarse suficientemente con agua destilada. El agua destilada utilizada, se encuentra libre de sales y materia orgánica. Debe procurarse usar agua recién destilada para evitar la formación de algas que afectarían los resultados.

En este trabajo los líquidos utilizados fueron agua destilada y benceno del grado reactivo analítico, el cual también fue destilado para evitar pequeñas cantidades de impurezas de tipo tensioactivo que usualmente contiene.

En el caso de trabajar con agua destilada para evitar que el líquido penetrara en la boquilla, se siguió -

la técnica empleada por Garner y Garfias (4), quienes indican que para evitar este fenómeno recubrir tan sólo la superficie interna del capilar con un material que vuelva la superficie repelente al agua.

La forma más simple de tratar la boquilla para -- hacerla repelente al agua, consiste en atacar los grupos hidróxilo de la superficie del vidrio con metil cloro silano -- formándose una película de metil polisiloxano que no es removida por solventes neutros.

Esta película impermeable al agua puede eliminarse por medio de abrasivos (10) ó por reactivos destructivos así como el HF, una solución de KOH alcohólica. En este trabajo y cuando era necesario se removía la película de las boquillas con metil clorhídrico caliente recién preparada. El efecto neto de las películas es cambiar el ángulo de contacto del sistema agua-aire. Es interesante hacer notar que el ángulo de contacto del agua sobre placas de vidrio, que han sido tratadas con metil silanos u otros alquilo y arilo clorosilanos varía grandemente de acuerdo con el tipo de grupos orgánicos unidos a los átomos del silicio de la estructura de siloxano resultante. Obteniéndose valores de ángulo de contacto 103° para metil siloxanos y 90 a 110° para otros.

Los compuestos más resistentes al calor son aquellos que contienen grupos metilos y fenilos, y son los recomendados por Zisman y Szafrin (11); pero los mayores ángulos

de contacto son producidos por siloxanos que contienen grupos alquilo de  $C_{12}$  a  $C_{18}$ .

Cuando se utilizó benceno no se dió ningún tratamiento especial a la boquilla ya que al observar el desprendimiento de las burbujas se juzgo que no era necesario. Se observó que en el momento del desprendimiento de la burbuja, el nivel no quedaba en el borde de la boquilla; sino un poco más abajo; pero este nivel permanecía constante, por lo cual, se hizo esta pequeña corrección restando al volumen correspondiente al desplazamiento del pistón el volumen de aire remanente en el capilar.

Se evitó que se transmitieran las vibraciones al equipo experimental colocando una lámina de poliestireno entre el equipo y la mesa de trabajo.

La celda de vidrio se encontraba colocada sobre una superficie plana y horizontal con el objeto de facilitar la nivelación de los equipos. Se procuró siempre mantener cubierta la celda para evitar evaporaciones o contaminaciones del líquido bajo estudio. El aparato de burbujeo se arma llenando de líquido el pistón y más ó menos la mitad del bulbo cilíndrico, con el objeto de asegurar que el aire se encuentra perfectamente saturado con agua ó benceno según el caso. Una vez que el aparato de burbujeo se encuentra cargado, se introduce en la celda de cristal, de tal forma, que la boquilla quede sumergida a una altura previamente establecida, que se escogió arbitrariamente. Se tiene especial cuidado de que

la boquilla se encuentre en una posición estrictamente vertical.

Una vez que todo el sistema se encuentra listo para utilizarse se mantiene a la temperatura de trabajo para -- lograr que el sistema alcance el equilibrio durante 30 minutos.

Para formar las burbujas se gira el micrómetro, el cual actúa sobre el embolo de la jeringa, desplazando hacia el bulbo y expeliendose un volumen equivalente de aire por la boquilla. Conociendo la distancia recorrida por el micrómetro, se infiere el volumen de la burbuja formada, en el punto de desprendimiento. Esta operación deberá hacerse lentamente, apreciandose claramente el punto de desprendimiento observando con una lente la boquilla.

Por lo que queda establecido que los sistemas utilizados en la experimentación fueron: aire-agua, y aire-benceno.

## RESULTADOS Y DISCUSION

De las tablas críticas Internacionales (7), se tomaron los valores de tensión superficial reportados por Harkins y Brown para agua a 25° y benceno a 20°.

Se siguió el mismo tratamiento de Harkins y Brown, tomando en consideración los parámetros determinados de volumen de la burbuja y radio del capilar.

El método de cálculo es el siguiente: El peso ideal de la burbuja " $w_0$ " según la ley de Tate corresponde a:

$$w_0 = 2\pi R \gamma$$

donde:  $r$  es el radio del capilar,  $\gamma$  la tensión superficial - obtenida de tablas, del líquido a la temperatura de experimentación. El peso ideal se calcula para cada boquilla con cada líquido.

El peso real de la burbuja " $w_1$ ", queda dado en -- función del volumen determinado experimentalmente por:

$$w_1 = v (e_1 - e_2)$$

donde:  $v$  es el volumen máximo de la burbuja,  $e_1$  es la densidad del líquido a la temperatura del experimento,  $e_2$  es la densidad del aire saturado del líquido.

Para el caso del agua, la densidad del aire húmedo está dada por:

$$\rho_{\text{A hmedo}} = \frac{g.e. \times 0.999973 \times (P_T - 0.3783 \times P_{\text{vapor del H}_2\text{O}})}{760 \text{ mm. Hg}}$$

en donde:

$g.e.$  es la gravedad específica en las condiciones de trabajo.

$$g.e. = 11.84268 \times 10^{-4} \text{ g/ml.}$$

$P_T$  es la Presión trabajo.

$P_T = \text{Presión Barométrica} + \text{Presión Hidrostatica} - \text{Presión de vapor del agua a la temperatura del experimento.}$

Siendo: La presión barométrica en la Ciudad Universitaria 586 mm. de Hg; la presión hidrostática del agua en la celda de -- trabajo 0.2576 mm. de Hg; la presión de vapor del agua a 25° es 23.753 mm. de Hg.

Con estos valores se obtuvo una densidad para el - aire húmedo de 0.000860 g/ml.

Para el caso del benceno, la densidad del aire saturado de benceno, esta dada por la relación masa/volumen, - que corregida para gases esta dada por:

$$\rho_{\text{A saturado}} = \frac{M}{V} = \frac{P_{\text{Aire - benceno}}}{22,400} \times \frac{273}{293} \times \frac{586}{760}$$

En esta relación desconocemos el peso molecular del

aire saturado.

Si sabemos:

Presión Total = Presión Atmosférica + Presión Hidrostatica.

Presión del Aire = Presión Total - Presión de vapor del Bence

no.

Recordando que la suma de fracciones mol siempre es 1,  $X_1 +$

$$X_2 = 1$$

La fracción mol esta dada por la relación:  $X_n = \frac{P_n}{P_T}$

de donde:

$$X_1 = X_B = \frac{P_V B}{P_T} \quad X_2 = X_A = \frac{P_{\text{AIRE}}}{P_T}$$

$$X_2 = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{vapor benceno}}}{P_{\text{total}}}$$

La fracción molar en función de los pesos moleculares:

$$X_n = \frac{PM_n}{\sum PM_i} \quad X_1 = \frac{PM_B}{PM_B + PM_A} \quad PM_{\text{MECCIA}} = PM_B X_B + PM_A X_A$$

$$PM_{\text{MECCIA}} = \frac{PM_B + P_{\text{vapor B}}}{P_T} + \frac{PM_A (P_T - P_{\text{vapor B}})}{P_T}$$

Todos los datos son conocidos, ya que la presión de vapor del benceno se puede encontrar aplicando la siguiente ecuación:

$$\log P_{\text{vapor}} = A - \frac{B}{C + t}$$

Donde los valores para las constantes son los siguientes (8):

$$A = 6.90565$$

$$B = 1211.033$$

$$C = 220.790$$

$$t = 20^\circ$$

Con estos valores se obtuvo una densidad para el aire saturado de benceno de 0.0009213 g/ml.

Finalmente para construir la gráfica de  $r/V^{1/3}$  contra  $f(r/V^{1/3})$ , y a partir de los datos experimentales, se tiene  $r/V^{1/3}$  dividiendo el radio del capilar, entre la raíz cúbica del volumen máximo de la burbuja. Y la función  $f(r/V^{1/3})$  corresponde al cociente del peso máximo de la burbuja " $w_1$ " y el peso de la burbuja según la ley de Tate:

$$f(r/V^{1/3}) = \frac{w_1}{w_0}$$

Los valores obtenidos para agua se reportan en la tabla 2.

Los valores correspondientes al benceno se indican en la tabla 3.

Con los valores obtenidos, y los datos reportados por Harkins y Brown (6) se construyó la gráfica 1.

#### DISCUSION.

En la gráfica 1, se observa que los datos obtenidos para la burbuja de agua en aire presentan una tendencia similar a los resultados de Harkins y Brown para gotas de agua en aire. Se aprecia una ligera diferencia, pero dado que tan solo se utilizaron tres boquillas de tamaño diferente no se tiene una base firme para confirmar posibles desviaciones. A este respecto se recomienda continuar el trabajo, haciendo experiencias con boquillas de mayor diámetro al utl

lizado en este trabajo.

Por lo que respecta al comportamiento de las burbujas de aire en benceno, se observa que el comportamiento es -- totalmente diferente al reportado por Harkins y Brown, lo cual puede ser debido a que en la boquilla no se mantenía fija la interfase aire-benceno. A este respecto es interesante hacer notar que Harkins y Brown no establecen la necesidad de mantener la interfase triple aire-benceno-vidrio fija en un cierto punto, lo cual se ha inferido del presente trabajo. Esto es cuando se trabajó con burbujas de aire en agua, solamente se obtuvieron resultados reproducibles cuando se cubrió la cara interna del capilar, dejándose sin recubrir la superficie -- transversal del capilar. (Ver figura 2).

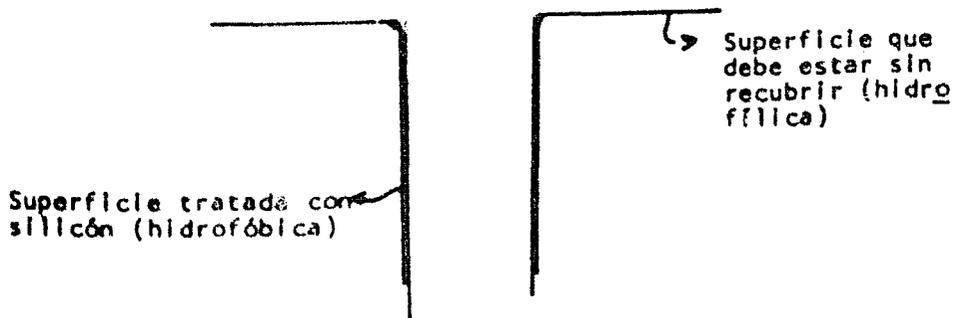


FIGURA No. 2

T A B L A No. 2

## RESULTADOS PARA AGUA A 25 °C.

EXPERIENCIA No.	RADIO CM.	PESO DE LA GOTA SEGUN LA LEY DE TATE. (g)
1	0.04785	0.022125
2	0.04995	0.023096
3	0.08250	0.038610

VOLUMEN MAXIMO DE LA BURBUJA cc.	$V^{1/3}$	PESO DE LA GOTA MAXI- MO (g)
0.01903	0.268	0.01899
0.01963	0.271	0.01956
0.02921	0.309	0.02910

$R/V^{1/3}$	$f(R/V^{1/3})$
0.1785	0.85827
0.1843	0.84686
0.2669	0.75369

T A B L A No. 3

## RESULTADOS PARA BENCENO A 20°C

EXPERIENCIA No.	RADIO CM.	PESO DE LA GOTA SEGUN LA LEY DE TATE.
1	0.04785	0.08879
2	0.04995	0.009268
3	0.08250	0.015308

VOLUMEN MAXIMO DE LA BURBUJA cc.	$V^{1/3}$	PESO DE LA GOTA MAXIMA (g)
0.00594	0.182	0.00522
0.00631	0.186	0.00554
0.011590	0.227	0.01018

$R/V^{1/3}$	$f(R/V^{1/3})$
0.262912	0.58790
0.268548	0.59775
0.363436	0.66501

11/1/18

Wapiti aus. Raposocha

A. Saludarí antes el día

del de la sesión a la

sesión de T. J. y la

Junta. El día de la sesión

es el día de la sesión.

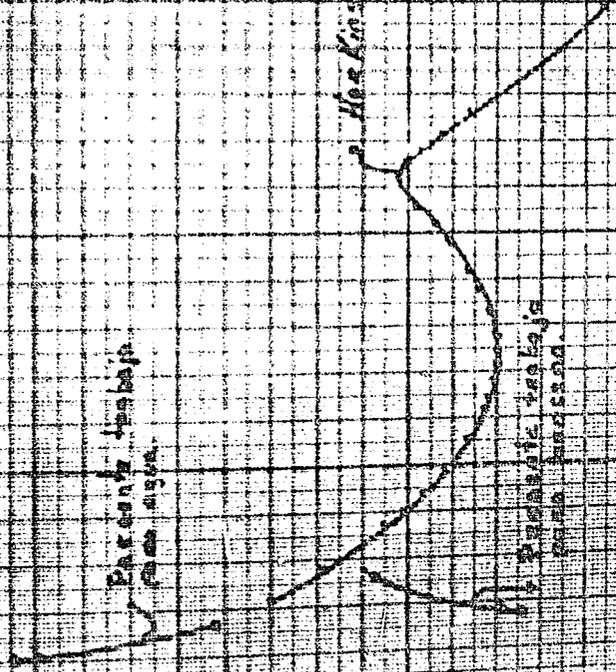
Por tanto, también

por tanto, también

McKins y Gorman

Por tanto, también

por tanto, también



No. 6

11/1/18

1.5

1.0

0.5

0.1

FIGURA 2.- Tratamiento que deben recibir las boquillas, para obtener resultados reproducibles.

Ahora bien, para el caso de burbujas formadas en el seno de benceno, un tratamiento equivalente debe darse, - haciendo la superficie de la cara interna del capilar poco - mojable al benceno. Este punto deberá considerarse para cada uno de los sistemas, de tal forma que el tratamiento que reciba la boquilla será específico del sistema usado.

Como se ha indicado anteriormente, no se cuenta - con suficientes resultados experimentales para establecer diferencias entre burbujas de aire formadas en agua o gotas de agua formadas en aire, sin embargo, teóricamente debe de existir diferencia, por dos razones en primer término el peso de la burbuja o gota desprendida depende de qué tanto fluido -- permanece adherido a la boquilla, depende de la cinámica del proceso.

Siendo un proceso dinámico el desprendimiento de la burbuja o gota, se infiere que factores como la viscosidad de los dos medios, el disperso y el continuo, influyan - notablemente sobre la cantidad de fluido que quede adherido a la boquilla.

En segundo lugar, es obvio que durante el proceso de desprendimiento de la burbuja o gota, la interfase que se comporta como una membrana elástica sufre una gran extensión. El grado de extensión que soporte la interfase dependerá de la tensión interfacial y del ángulo de contacto.

Estos dos puntos merecen ser considerados teorica  
y experimentalmente con una mayor profundidad.

CONCLUSIONES

- 1.- Se establece la necesidad de tratar específicamente cada boquilla de acuerdo con el sistema en estudio.
- 2.- Se nota una ligera diferencia entre el método de Harkins y Brown y el propuesto en este trabajo, sin llegar a concluir definitivamente. Se recomienda continuar las experiencias con boquillas de diámetro mayor al utilizado.
- 3.- Se analiza los posibles factores que afecten el peso máximo de un fluido que se desprende de una boquilla.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Bourné, G.  
Cytology and Cell Physiology  
Oxford at the Clarendon Press
- 2.- Derjaguin, B.V. y Abricosjova, I.I.  
J. Exp. Theor. Phys.  
Rusia, 21, 945 (1951)
- 3.- Garfias Ayala, F.J. Ph. D. Thesis  
University of Birmingham (1964)
- 4.- Garner F.H. y Garfias, F.J.  
J. Colloid & Interface Science 26, 254, (1968)
- 5.- Harkins, W.D., Alexander, A.E., in  
"Physical Methods of Organic Chemistry"  
A. Weissberger, ed. 3er. ed., p. 757  
Interscience, New York, 1959.
- 6.- Harkins, W.D. y Brown, F.E.,  
J. Am. Chem. Soc., 41, 499 (1919)
- 7.- Int. Critical Tables.  
Volumen 4, 447-454 (1928)
- 8.- Lange  
Handbook of Chemistry  
Decima edición McGraw Hill
- 9.- London, Zeit  
Physical Chem B, 11, 222 (1930)
- 10.- Rochow, E.G.  
An Introduction to the Chemistry of the  
Silicones  
John Wiley and Sons, Inc.  
Segunda Edición, New York
- 11.- Shafrin, E.G. y Zisman, W.Z.  
Upper Limits to the contact angles of liquids on  
solids. Advances in Chemistry series, Contact  
Angles Wettability and Adhesion.  
43, American Chemical Society  
Washington, D.C. (1964)

ESTA TESIS SE IMPRIMO EN DICIEMBRE DE 1969  
EMPLEANDO EL SISTEMA DE REPRODUCCION  
SERIE - OFFSET EN LOS TALLERES DE  
IMPRESOS OFFSALO, S. A., AV. COLONIA DEL  
VALLE 81 TEL. 513-71-03 OFICINAS MIER Y  
AGUADO 18-A TEL. 513-21-31 MEXICO D. F.