

## DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL PARA EL SISTEMA ALCANO/AIRE Y ALCOHOL/AIRE MEDIANTE LA TÉCNICA DE LA GOTA COLGANTE: CORRELACIÓN PARA ALCANOS Y ALCOHOLES

SUZANA ZEPIERI, AURA LÓPEZ DE RAMOS

Universidad Simón Bolívar, Grupo de Fenómenos de Transporte (G10), Departamento de Termodinámica y Fenómenos de Transferencia. e-mail: zeppieri@usb.ve; alopez@usb.ve. Apartado Postal 89000, Caracas 1080-A. Venezuela

Recibido: octubre de 2008

Recibido en forma final revisado: abril de 2009

### RESUMEN

Se midió la tensión superficial para diferentes alcanos líquidos y alcoholes (desde n-hexano hasta n-dodecano y desde metanol hasta el decanol), empleando la técnica experimental de la gota colgante con un método numérico desarrollado por López de Ramos *et al.* (1993). El equipo experimental usado para generar las gotas, consistió en una celda de cuerpo metálico (con dos visores de vidrio de calidad óptica). La fase líquida se introdujo por el tope de la celda empleando un capilar para formar la gota colgante. La temperatura fue variada entre 10 y 70 °C, empleando un baño termostático. Para obtener las imágenes de la gota colgante se dispuso de una cámara de video, lentes micro de 60 mm, grabador y de una computadora. Se obtuvo una nueva correlación para predecir la tensión superficial como una función de la temperatura y el número de átomos de carbono. Esta correlación permite calcular la tensión superficial con una desviación menor al 10 %.

*Palabras clave:* Gota colgante, Tensión superficial, Correlación, Hidrocarburos líquidos, Alcoholes.

### DETERMINATION OF SURFACE TENSION FOR ALKANE/AIR AND ALCOHOL/AIR SYSTEMS BY PENDANT DROP TECHNIQUE: CORRELATION FOR ALKANE AND ALCOHOL

### ABSTRACT

Surface tension was measured for different liquid alkanes and alcohols (from n-hexane to n-dodecane and from methanol to decanol), using the pendant drop experimental technique with a numerical method developed by López de Ramos *et al.* (1993). The experimental equipment used to generate the drops consisted of a cell of a metallic body (with two glass windows of optical quality). The liquid phase was introduced from the top of the cell employing a capillary tube to form the pendant drop. Temperature was changed between 10 and 70 °C, employing a thermostatic bath. To obtain the images of the pendant drops it was used a video camera, a micro lens (60 mm), a video recording system and a computer. A new correlation was obtained to predict surface tension as a function of temperature and the number of atoms of carbon. This correlation allows computing surface tension with deviations no greater than 10% for the case of the hydrocarbons and no greater than 5% for the alcohol/air system.

*Keywords:* Pendant drop, Surface tension, Correlation, Liquid hydrocarbons, Alcohol.

### INTRODUCCIÓN

Muchos fenómenos fundamentales relacionados a la ciencia de los fluidos y materiales, por ejemplo, movimientos Marangoni, mojabilidad en sistemas porosos, transferencia de masa en reactores trifásicos (Zeppieri *et al.* 2001(a), 2001(b)), entre otros, son originados por fuerzas capilares.

Numerosos trabajos de tensión superficial han sido realizados para sistemas alcano/gas (Jasper, 1972), sin embargo, pocos de ellos usan la técnica de la gota colgante. La técnica de la gota colgante ha sido empleada para el estudio de diversos sistemas entre los que se pueden mencionar: polímeros-aire (Demarquette & Kamal, 1994), alcohol-aire (Zeppieri *et al.* 2001(c)), mezcla de alcoholes-aire (Morales

*et al.* 2002), en el estudio de la absorción de proteínas en la interfase agua-aire (Valderrama-Maldonado *et al.* 2003), en sistemas alcano-agua (Zeppieri *et al.* 2000 y 2001(d)), en el estudio del efecto de soluciones salinas a bajas concentraciones en octano y nonano (Zeppieri & López de Ramos, 2002). La técnica de la gota colgante ha sido adaptada para el estudio de la tensión interfacial transitoria y dinámica, permitiendo estudiar los efectos reológicos y de adsorción de agentes tensoactivos en interfases (Touhami *et al.* 1996).

El objetivo de este trabajo fue calcular la tensión superficial para el sistema n-alcano/aire y alcohol/aire, usando la técnica experimental de la gota colgante y el modelo matemático desarrollado por López de Ramos *et al.* (1993). Adicionalmente, se obtuvo una correlación para tensión superficial como una función de la temperatura y el número de átomos de carbono para ambos sistemas.

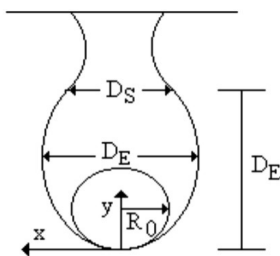
## MODELO MATEMÁTICO

La forma de una gota de líquido que pende de una superficie puede ser representada por la ecuación de Laplace-Young. Esta ecuación proviene del balance de fuerzas de gravedad y presión hidrostática considerando el efecto de la tensión en la superficie. Para una gota simétrica la ecuación de Laplace-Young puede ser escrita como:

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = -\frac{\Delta\rho \cdot g}{\sigma} y + \frac{2}{\sigma \cdot R_0} \quad (1)$$

donde:

$\sigma$  es la tensión superficial,  $R_1$  y  $R_2$  son los radios principales de curvatura,  $\Delta\rho$  es la diferencia de densidades entre la fase líquida y la gaseosa,  $g$  la aceleración gravitacional y  $R_0$  es el radio de curvatura en  $y = 0$  (figura 1).  $R_0$ ,  $D_E$  y  $D_S$  son los radios principales de curvatura en  $y = 0$ , el diámetro ecuatorial y el diámetro de cuello, respectivamente.



**Figura 1.** Variables geométricas de una gota colgante.

El término  $\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$  es la curvatura principal de la gota que es función de la posición. Esta expresión puede ser escrita de forma diferencial de la siguiente forma:

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{d^2y/dx^2}{[1+(dy/dx)^2]^{3/2}} + \frac{dy/dx}{x[1+(dy/dx)^2]^{1/2}} \quad (2)$$

La solución de la ecuación de Laplace-Young (ecuación (1)) predice una variación lineal de la curvatura de la gota colgante como una función de la elevación. Si se grafica la curvatura media de la gota como una función de la elevación, ésta puede ser aproximada a una línea recta de pendiente  $-\frac{\Delta\rho g}{\sigma}$ . La curvatura de la gota puede ser aproximada mediante *splines* cúbicos a partir de los datos experimentales con un alto porcentaje de ajuste. Además, la derivada de la función *spline*, obtenida del ajuste de la curvatura de la gota, proporciona una forma precisa y confiable para determinar la curvatura de una gota (ecuación (2)) (López de Ramos *et al.* 1993). Fariñas *et al.* (1998) resolvieron el sistema de ecuaciones diferenciales que se obtiene de sustituir en la ecuación (2) las derivadas  $y_x$  y  $y_{xx}$  y de escribir la ecuación (1) en términos del arco de longitud con el método de Runge-Kutta de cuarto orden de paso variable para diferentes valores de  $\beta = \frac{\Delta\rho g R_0^2}{\sigma}$ , donde  $\beta$  varía entre 0 y 0,6 con un paso de 0,1. Fuentes & López de Ramos (2001) propusieron un nuevo método para calcular la tensión superficial mediante la técnica de la gota colgante, resolviendo la ecuación de Laplace-Young por medio del método de integración numérica de Runge-Kutta-Fehlberg.

Para el uso de la técnica de la gota colgante no se requiere de ningún factor de corrección para determinar la tensión superficial (Jenning & Pallas, 1988). El modelo matemático fue ajustado y probado, calculando la tensión superficial del perfil de una gota teórica de agua. El perfil de esta gota es generado a partir de la ecuación de Laplace-Young usando el valor teórico de la tensión superficial del agua 72,10 mN/m. El procedimiento experimental fue previamente probado con excelentes resultados (López de Ramos, 1993; López de Ramos *et al.* 1993). El error de propagación calculado predice un valor de  $\Delta\sigma$  alrededor de 0,04 mN/m.

## TÉCNICA EXPERIMENTAL

### Materiales

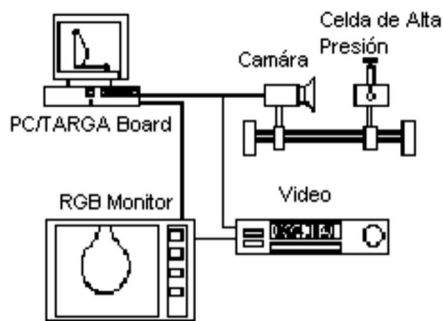
Los líquidos orgánicos usados fueron los siguientes: n-hexano (99% Aldrich), n-heptano (99% Aldrich), n-octano (99% Aldrich), n-nonano (99% Aldrich), n-decano (99% Aldrich) y n-dodecano (99% Aldrich). Para el caso de los alcoholes se empleó: metanol (99% Aldrich), etanol (99% Aldrich), propanol (99% Aldrich), butanol (99% Aldrich), pentanol (99% Aldrich), hexanol (99% Aldrich), heptanol (99% Aldrich), octanol (99% Aldrich), nonanol (99% Aldrich) y decanol (99% Aldrich). Los líquidos empleados

fueron purificados en una columna de alumina para la eliminación de posibles impurezas.

### Equipo experimental

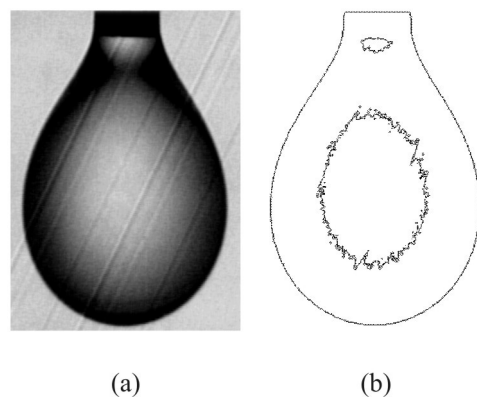
El equipo experimental diseñado para la formación de la gota colgante consta de una celda de cuerpo metálico, la cual puede trabajar a condiciones de presión y temperatura de hasta 5.000 psia (34,5 MPa) y 212 °F (373,15 K), respectivamente. La celda presenta dos ventanas laterales de Pyrex, las cuales permiten visualizar la gota. La sección de la celda donde se forma la gota es hermética permitiendo que el sistema alcance el equilibrio con su fase vapor. La fase líquida es introducida por el tope o por el fondo de la celda, ya sea para formar la gota colgante o la gota o burbuja emergente. Se emplea una aguja quirúrgica de 0,495 mm de diámetro interno y 0,813 mm de diámetro externo y de 5 cm de largo, la cual se usa para formar la gota colgante desde el tope o fondo de la celda. Para mantener la temperatura de la celda constante se utiliza un baño termostático. El agua del baño es recirculada a través de cuatro canales internos que tiene la celda en sus paredes.

Para iluminar la celda desde su parte posterior se usa una lámpara de fibra óptica; entre la lámpara y la celda se emplea un difusor o filtro con el fin de obtener una distribución de luz homogénea. Al otro lado de la celda se ubica una cámara de video (CCD-72) a la cual se le ajusta un micro lente de 60 mm con un anillo expansor tipo PK-13. La imagen de la gota es visualizada por medio de un monitor RGB, el cual permite el seguimiento de la formación de la gota (figura 2). Para grabar las imágenes se utiliza una grabadora o un computador (usando un sistema de video gráfico TARGA conectado a un CPU). La celda y el equipo de visualización son ubicados en una mesa óptica, la cual permite mantener el sistema aislado de vibraciones.



**Figura 2.** Equipo experimental para la formación y captura de la gota colgante.

En la figura 3a se muestra una imagen vista de la cámara de video y posteriormente capturada por la tarjeta de video (TARGA).



**Figure 3.** (a) Imagen de una gota colgante (formato TARGA). (b) Contorno de la gota delineada.

Una vez obtenida la imagen capturada de la gota, se procede a limpiar la imagen y obtener el contorno de la misma (figura 3b). La tensión superficial es calculada a partir de ese contorno delineado de la gota empleando el método de las plantillas (splines). El programa empleado para el cálculo de la tensión superficial fue desarrollado por Fuentes (1998).

Para el uso de la técnica de la gota colgante no se requiere de ningún factor de corrección para determinar la tensión superficial (Jenning & Pallas, 1988).

El modelo matemático fue ajustado y probado, calculando la tensión superficial del perfil de una gota teórica de agua. El perfil de esta gota es generado a partir de la ecuación (1) usando el valor teórico de la tensión superficial del agua 72,10 mN/m. El procedimiento experimental fue previamente probado con excelentes resultados (López de Ramos, 1993; López de Ramos *et al.* 1993). El error de propagación calculado predice un valor de  $\Delta\sigma$  alrededor de 0,04 mN/m.

En el caso de los valores reportados de tensión obtenidos por el método de la lámina de Wilhelmy se empleó un tensiometro digital marca Krauss, modelo K9, el cual tiene un rango de medida de 1 a 999 mN/m, con una resolución de 0,1 mN/m y un intervalo de temperatura de -10 a 100°C con una resolución de 0,1 °C.

### Procedimiento

Después de escoger el sistema a estudiar, en este caso alcohol/aire y alcohol/aire, la gota es formada dentro de la celda por medio de una aguja quirúrgica, la cual es introducida por el tope de la celda. Se realizan un promedio de 40 gotas de la misma sustancia para cada temperatura. La temperatura de la celda fue variada entre 10 y 70 °C, con intervalos de temperatura de 0,5 °C. Se verificaba que la temperatura dentro de la celda fuese estable antes de realizar la captura de la imagen de la gota. La imagen capturada fue procesada

empleando un programa de edición de fotos con el fin de obtener el contorno de la gota. El resultado final de este proceso es el perfil xy de la gota.

### Cálculo de tensión superficial

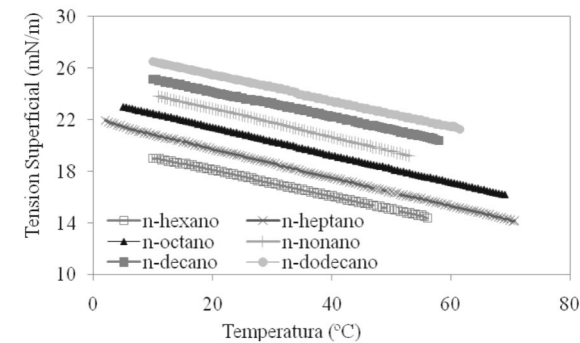
Con el perfil xy de la gota y un algoritmo de ajuste por splines de tercer grado (Fuentes & López de Ramos, 2001), se calcula el valor de la tensión superficial de esa gota. Este procedimiento se realiza para cada gota y al final se toma un promedio. El número de gotas por prueba es de 40 gotas y la desviación estándar promedio obtenida para cada uno de los sistemas y sustancias utilizados es menor del 2%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

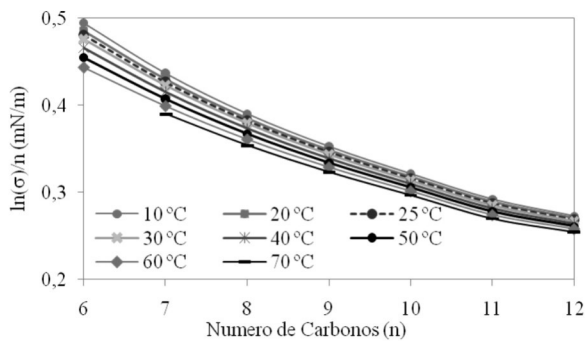
### Sistemas Alcano-Aire

En la figura 4a se observan los valores de tensión superficial como función de la temperatura para el sistema alcano/aire. Como se puede observar existe una tendencia lineal de la tensión con respecto a la temperatura.

En la figura 4b se muestra la relación entre la tensión superficial y el número de átomos de carbono. En este caso



(a)



(b)

**Figura 4.** (a) Valores experimentales de tensión superficial en función de la temperatura, (b) Tensión superficial en función del número de átomos de carbono.

se puede observar que no existe un comportamiento lineal entre la tensión y el número de átomos de carbono. Se tiene que a medida que el número de átomos de carbono aumenta, el valor del logaritmo neperiano de la tensión superficial entre el número de átomos de carbono disminuye, pues, las fuerzas intermoleculares entre las moléculas que se encuentran en la superficie son mayores, debido a la densidad de la capa de moléculas y esto incrementa el valor de la tensión. En el caso de la temperatura, la tensión superficial disminuye a medida que la temperatura aumenta. Este comportamiento se debe a que los enlaces se debilitan y aumentan las interacciones entre las moléculas.

La correlación que mejor se ajusta a los resultados experimentales obtenidos, tiene la siguiente forma:

$$\sigma = A_2 n^2 + A_1 n + A_0 \quad (3)$$

La ecuación (3) se puede reescribir de la siguiente manera:

$$\sigma = \sum_{i=0}^2 A_i n^i \quad (4)$$

los valores de  $A_i$  (donde  $i$  va de 0 a 2) son calculados usando la siguiente ecuación:

$$A_i = \sum_{j=0}^2 B_{ij} \times T^j \quad (5)$$

donde:

$\sigma$  = tensión superficial (mN/m).

$n$  = número de átomos de carbono.

$T$  = temperatura en °C.

Si se desarrolla la ecuación (5) para el caso de  $A_0$  se obtiene la siguiente expresión en función de la temperatura.

$$A_0 = B_{00} + B_{01} T + B_{02} T^2 \quad (6)$$

donde:

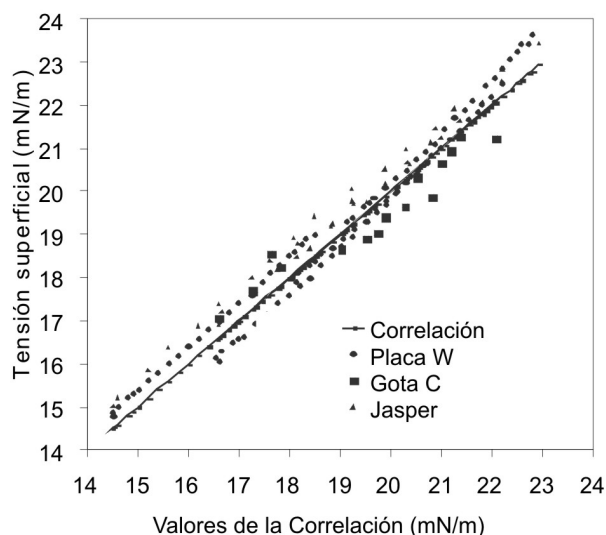
los valores de  $B_{ij}$  son reportados en la tabla 1. Para calcular  $A_1$  y  $A_2$  se desarrolla la ecuación (5) y se obtiene una expresión parecida a la ecuación (6).

El valor máximo de desviación, entre la correlación y los valores experimentales fue del 5%. Los valores de cada coeficiente ( $B_{ij}$ ) son mostrados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Valores  $B_{ij}$  para cada valor de  $A_i$ , usados en la ecuación (4) para el cálculo de la tensión superficial.

$A_i$	$B_{i0}$	$B_{i1}$	$B_{i2}$
$A_0$	0,0284	0,3562	$4,4 \times 10^{-3}$
$A_1$	4,4097	-0,1198	1,1 x
$A_2$	-0,0284	$7,6 \times 10^{-3}$	$-7 \times 10^{-5}$

En la figura 5 se observa la desviación de los valores calculados por la correlación (ecuación (4)) con los valores de tensión obtenidos experimentalmente por el método de la gota colgante, la lámina de Wilhelmy (Adamson, 1967) y los reportados por Jasper (1972).



**Figura 5.** Comparación entre los valores experimentales (Gota colgante, (Jasper, 1972) y los obtenidos con la correlación (ecuación (3)).

En las tablas 2 y 3 se muestra el error relativo y el error absoluto de los valores de tensión superficial para cada sistema estudiado (hexano, heptano, octano, nonano, decano y dodecano) con respecto a los valores experimentales de tensión superficial obtenidos por el método de la Gota Colgante y los valores reportados por Jasper (1972).

**Tabla 2.** Error relativo y absoluto de la correlación con respecto a los valores experimentales (lámina de Wilhelmy).

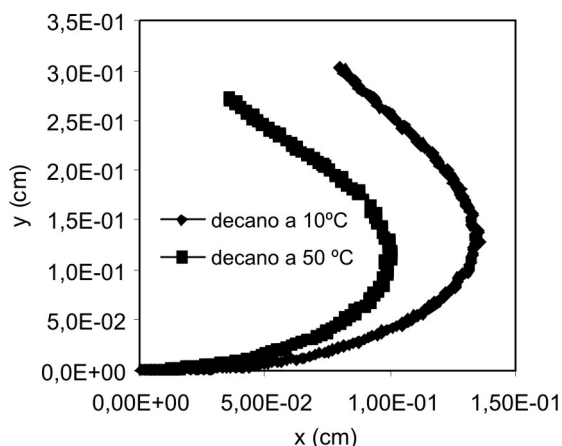
$n$	6	7	8	9	10	12
Error absoluto (%)	0,20	0,23	0,27	0,29	0,41	0,32
Error relativo (%)	0,30	0,49	0,48	0,58	0,79	0,61

**Tabla 3.** Error relativo y absoluto de la correlación con respecto a los valores reportados por Jasper (1972).

$n$	6	7	8	9	10	12
Error absoluto (%)	0,37	0,31	0,29	0,49	0,46	0,28
Error relativo (%)	0,22	0,29	0,25	0,58	0,53	0,19

En la figura 6 se puede observar el perfil  $xy$  de una gota de decano a 10 °C y 50 °C. A medida que aumenta la temperatura la tensión superficial disminuye, este efecto se puede observar en las dimensiones de la gota, a una temperatura menor el diámetro ecuatorial es mayor que para el caso de

la gota expuesta a una temperatura de 50 °C y por lo tanto su tensión será mayor.

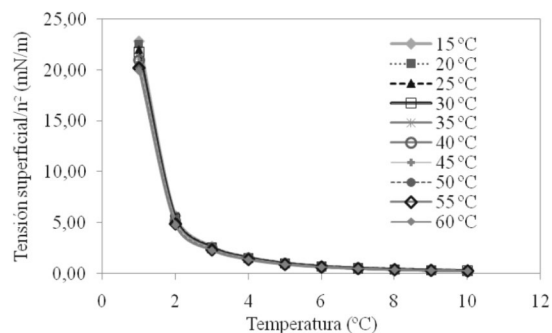


**Figura 6.** Perfil  $xy$  de una gota de decano a temperatura de 10 °C y 50 °C.

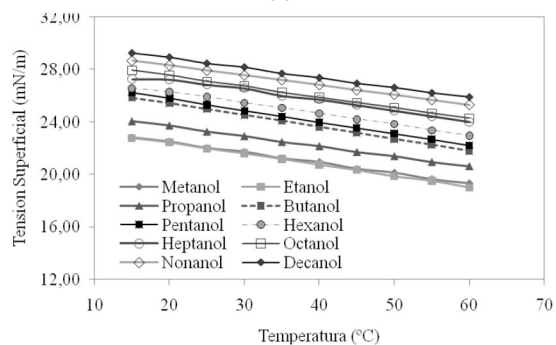
### Sistemas Alcohol-Aire

En la figura 7a se observan los valores de tensión superficial como función de la temperatura para el sistema alcohol/aire.

Se comprueba el comportamiento lineal de la tensión superficial respecto a la temperatura, obteniéndose expresiones



(a)



(b)

**Figura 7.** (a) Valores experimentales de tensión superficial en función de la temperatura, (b) Tensión superficial en función del número de átomos de carbono.

de la forma general:  $\sigma = a - bT$ , lo cual concuerda con el comportamiento esperado (Zeppieri *et al.* 2001(c)).

Otro aspecto referente a la calidad de los datos de tensión superficial obtenidos por el método de la gota colgante, lo constituye la buena repetibilidad del método, puesto que se obtuvieron desviaciones estándar menores al 0,76%, respecto al promedio de los valores calculados para cada gota de la respectiva temperatura. Se observó una tendencia lineal al graficar los valores de la tensión superficial, para cada temperatura, y una tendencia no lineal con respecto al número de átomos de carbono de la cadena del alcohol respectivo (figura 7b).

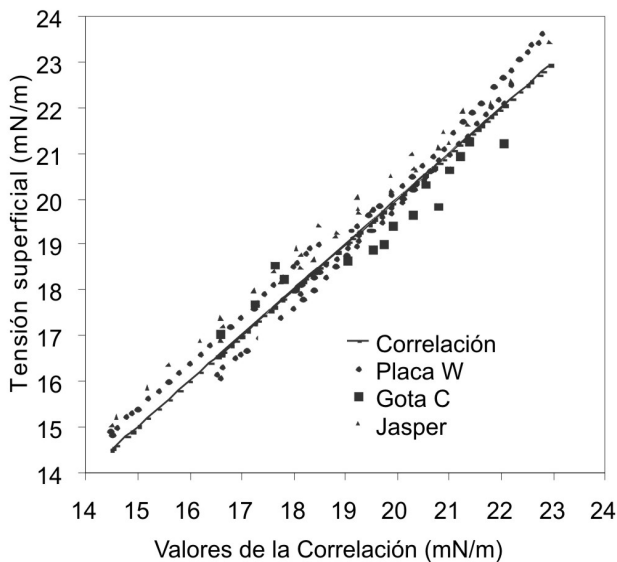
La correlación que mejor se ajusta a los resultados experimentales obtenidos, tiene la siguiente forma:

$$\sigma = A \cdot n^{-B+2} \quad (7)$$

donde los parámetros A y B se calculan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} A &= 22,9412 - 0,0750T \\ B &= 1,88651 - 0,000301T \end{aligned} \quad (8)$$

Para verificar la validez de la correlación encontrada, se determinaron los valores de la tensión superficial haciendo uso de la correlación y se compararon con los valores obtenidos experimentalmente. La mayor discrepancia entre esta serie de datos no superó el 5%, lo cual es indicativo de la calidad de la correlación propuesta. A continuación se muestra la figura 8 correspondiente a la banda de error.



**Figura 8.** Comparación de los valores obtenidos experimentalmente respecto a los obtenidos mediante la correlación propuesta.

Puede observarse que los compuestos que presentan una mayor desviación (hasta de 5%), un mayor margen de error, son precisamente aquellos que se encuentran en los extremos que delimitan el número de átomos de carbono ( $n = 1, 2$  y  $n = 9, 10$ ), mientras que para los compuestos intermedios ( $n = 3, 4 \dots 8$ ) el error es menor al 2%.

Si se comparan los valores obtenidos de tensión superficial en función de la temperatura para los sistemas alcano-aire y alcohol-aire (figura 4a y figura 7a), se puede decir que la presencia del radical  $-OH$  en la molécula de alcano, produce un aumento de la tensión superficial debido a que las fuerzas intermoleculares de las moléculas ubicadas en la interfase aire-líquido se incrementan originando un aumento de las fuerzas superficiales.

## CONCLUSIONES

Los valores de tensión superficial calculados empleando la técnica de la gota colgante y el método de spline son confiables.

Las ecuaciones (3) y (7) son expresiones simples que pueden ser usadas para predecir los valores de tensión superficial (mN/m) a partir del número de átomos de carbono ( $n$ ) y la temperatura ( $T$ ). La desviación máxima presentada entre los valores calculados por la correlación y los obtenidos experimentalmente es menor al 10% para el caso de los alcanos y del 5% para el caso de los alcoholes.

Se puede concluir que la presencia del radical  $-OH$  en la cadena de un alcano origina un incremento del valor de la tensión superficial debido a que las fuerzas interfaciales de las moléculas en la superficie aumentan.

## REFERENCIAS

- ADAMSON, A. (1967). Physical chemistry of surfaces, segunda edición, Editorial Interscience Publishers.
- DEMARQUETTE, N. & KAMAL, M. (1994). Interfacial tension in polymer melts: An improved pendant drop apparatus. *Polymer Engineering and Science*. 34 (24), 1823-1833.
- FARIÑAS, F., BLANCO, P., LEDANOIS, J. & LÓPEZ DE RAMOS, A. (1998). Determinación de la tensión superficial mediante digitalización de imágenes de gota colgante. *Información Tecnológica*, 9, 167-173.
- FUENTES, J. (1998). Estudio hidrodinámico de los filamentos: Formación y avance de los mismos. Tesis de maestría, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela.

- FUENTES, J. & LÓPEZ DE RAMOS, A. (2001). Nuevo método para medir la tensión superficial mediante la técnica de la gota colgante. *Información Tecnológica*. 12 (2), 181-188.
- JASPER, J. (1972). The surface tension of pure liquid compounds. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. 1, 841-1009.
- JENNING, J. & PALLAS, N. R. (1988). An efficient method for the determination of interfacial tensions from pendant drop profiles. *Langmuir*. 4 (4), 959-967.
- LÓPEZ DE RAMOS, A. L. (1993). Capillary enhanced diffusion of carbon dioxide in porous media, Ph.D. Dissertation. The University of Tulsa,
- LÓPEZ DE RAMOS, A., REDNER, R., CERRO, R. (1993). Surface tension from pendant drop. *Langmuir* (9) 12, 3691-3694.
- MORALES, J., MOLLEGA, I., ZEPPIERI, S., LÓPEZ DE RAMOS, A. (2002). Determinación de la tensión superficial en las mezclas octanol-decanol y nonanol-decanol utilizando el método de la gota colgante, *Memorias del 9º Congreso latinoamericano de transferencia de calor y materia*, San Juan, Puerto Rico.
- TOUHAMI, Y., NEALE, G., HORNOF, V., KHALFALAH, H. (1996). A modified pendant drop method for transient and dynamic interfacial tension measurement. *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 112, 31-41.
- VALDERRAMA-MALDONADO, J., WEGE, H. A., RODRÍGUEZ-VALVERDE, M. A., GALVÉZ-RUIZ, M. J., CASBRERIZO-VÍLCHEZ, M. A. (2003). Comparative study of adsorbed and spread  $\beta$  case in monolayer at the water-air interface with the pendant drop technique. *Langmuir*, 19, 8436-8442.
- ZEPPIERI, S., RODRÍGUEZ, J., LÓPEZ DE RAMOS, A. (2000). An interfacial tension experimental values and correlation for alkanes-water, *Memorias del Fourteenth Symposium on Thermophysical Properties*, Boulder, Colorado, 25-30.
- ZEPPIERI, S., ARROLLO, C., GONZÁLEZ, D., LÓPEZ DE RAMOS, A. (2001(a)). Estimación de la tensión superficial crítica. *Memorias del 8º Congreso latinoamericano de transferencia de calor y materia*, Veracruz, México.
- ZEPPIERI, S., ARROLLO, C., GONZÁLEZ, D., LÓPEZ DE RAMOS, A. (2001(b)). Effect of the contact angle and surface tension on the trickle bed wetting factor predictions, *Memorias del 6th World congress of chemical engineering*, Melbourne, Australia, 23-27.
- ZEPPIERI, S., RODRÍGUEZ, J., LÓPEZ DE RAMOS, A. (2001(c)). Medidas de tensión superficial y correlación para sistemas alcohol/aire. *Memorias del 8º Congreso latinoamericano de transferencia de calor y materia*, Veracruz, México.
- ZEPPIERI, S., RODRÍGUEZ, J., LÓPEZ DE RAMOS, A. (2001(d)). Interfacial tension of alkane+water systems, *Journal of Chemical and Engineering Data*, 46, 5, 1086-1088.
- ZEPPIERI, S. & LÓPEZ DE RAMOS, A. (2002). Determinación de la tensión interfacial de los sistemas octano/NaCl(ac) y nonano/NaCl(ac) a bajas concentraciones, *Memorias del 9º Congreso latinoamericano de transferencia de calor y materia*, San Juan, Puerto Rico.