

## ESTUDIO DE LA COALESCENCIA DE BURBUJAS EN SISTEMAS ELECTROLÍTICOS

RAFAEL ÁLVAREZ, LORENA LIENDO, JUAN VARGAS, AURA LÓPEZ DE RAMOS

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Termodinámica y Fenómenos de Transferencia,  
Apartado Postal 89000, Caracas 1080, Venezuela. e-mail: alopez@usb.ve

Recibido: octubre de 2008

Recibido en forma final revisado: julio de 2009

### RESUMEN

La coalescencia se define como un proceso binario en el que dos burbujas de un gas o dos gotas de un líquido se fusionan para formar una sola burbuja o gota. Para estudiar este fenómeno se diseñó un equipo experimental que consiste en una celda rectangular (abierta a la atmósfera en su parte superior) con dos capilares de vidrio en su parte inferior. A través de estos tubos se inyectó aire comprimido en el seno del líquido. Ocho soluciones iónicas fueron empleadas como fase líquida. El comportamiento de las burbujas fue grabado con una cámara de video justamente cuando éstas salían del capilar. Varios experimentos fueron realizados, observándose en todos los casos que la coalescencia estaba fuertemente afectada por la concentración y la naturaleza de los electrolitos, hasta el punto de poder inhibirla. Se concluyó que la naturaleza química de las especies tiene una gran influencia sobre la coalescencia.

*Palabras clave:* Coalescencia, Burbujas, Soluciones iónicas, Visualización, Sistemas electrolíticos.

### STUDY OF THE BUBBLE COALESCENCE IN ELECTROLITICAL SYSTEMS

#### ABSTRACT

The bubble coalescence is defined as a binary process in which two gas bubbles or two liquid drops are fused to form only one bubble or drop. In order to study this phenomenon, an experimental equipment was designed which consisted of a rectangular cell (its top open to the atmosphere) with two glass capillary tubes in its bottom. Through these tubes, compressed air was injected in the liquid. Eight different ionic solutions were used as liquid phases. Bubble behavior was recorded with a video-camera system just as the bubbles came out of the capillary tubes. Several experiments were carried out, observing in all the cases, that coalescence phenomenon were affected by the ionic solution concentration and the natures of the electrolyte up to the point of inhibiting it. It was concluded that nature of the chemical species acting in the process has a relevant effect on it.

*Keywords:* Coalescence, Bubbles, Ionic solutions, Visualization, Electrolytic systems.

#### INTRODUCCIÓN

La coalescencia, fenómeno de carácter generalmente binario en el cual las burbujas de un gas o un líquido pueden combinarse para dar una sola burbuja o gota, es un proceso del que se sabía poco hasta fecha muy reciente. Los trabajos pioneros en el área datan de finales de los 60 (Marruci, 1969), pero es sólo a partir de 1985 que se considera al fenómeno en toda su dimensión y se comienzan a investigar los factores que pudiesen afectarlo, tales como cuando un soluto se transfiere en una dirección específica, la viscosidad, al área de contacto interfacial, la difusividad, la tensión

superficial y los gradientes de concentración promueven la turbulencia interfacial, afectando a su vez la coalescencia. Se ha descubierto que la coalescencia es un parámetro de importancia en procesos físico-químicos donde intervienen varias fases, pues es capaz de influir (positiva o negativamente) sobre la eficiencia de algunos de ellos; además, en los estudios de flujo multifásico es deseable saber el comportamiento de la coalescencia para ayudar a entender los patrones de flujo. La comprensión del fenómeno de coalescencia tiene una gran importancia a la hora de optimizar sistemas químicos de distinta naturaleza, ya que se necesita conocer todas las variables que pueden influir en un proce-

so y la coalescencia es una de ellas. También este tipo de investigaciones permite analizar la distribución de tamaño de burbujas en los reactores slurry ya que afecta la transferencia de masa de reactantes y productos. En general, la coalescencia influye en los procesos de separación donde ocurre transferencia de calor y masa (Riveiro & Mewes, 2007). Otra de las aplicaciones de la coalescencia es la de filtrar de manera sencilla y eficaz tanto agua como contaminantes sólidos disueltos de combustibles y aceites lubricantes. Así mismo, filtrar combustible o pequeñas concentraciones de hidrocarburos livianos de columnas de agua. La coalescencia no afecta sólo de manera positiva, en otros casos como la transferencia de masa en un reactor con una reacción heterogénea (gas-líquido), puede producir un mayor costo operativo al proceso, ya que la reducción del área interfacial que se verifica al coalescer las burbujas, disminuye la transferencia de masa y a su vez la eficiencia del reactor.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un estudio cualitativo del fenómeno de la coalescencia de burbujas para identificar los parámetros que la causan, controlan y afectan. Para ello se cuenta con un equipo de visualización con el que pueden grabarse las imágenes para su posterior estudio. El análisis derivado de la observación de la coalescencia, se centra en el estudio de la variación del porcentaje de coalescencia (fracción de burbujas que coalescen en un medio dado) en función de la concentración, para diversas soluciones acuosas de electrolitos. La selección de estos medios se hizo a través de una revisión bibliográfica tomando en consideración que las sustancias mostrasen marcada influencia sobre la coalescencia o que, por el contrario, no la afectasen apreciablemente.

## MODELO MATEMÁTICO

Debido a que las especies químicas utilizadas en las pruebas son de naturaleza iónica, se deben tomar en consideración parámetros que están asociados con las interacciones de los iones disociados en solución. Uno de estos parámetros, la fuerza iónica (I), es la responsable de que en solución, los iones tiendan a ordenarse de forma similar a como lo están en el cristal. Matemáticamente se expresa como:

$$I = 0,5 \sum C_i z_i^2 \quad (1)$$

En investigaciones previas (Prince & Blanch, 1990a, 1990b), se encontró que para ciertas sustancias y a una determinada concentración, el porcentaje de coalescencia disminuye bruscamente. Ese valor de concentración ha sido denominado concentración de transición,  $C_t$ , y las sustancias que presentan este comportamiento (sales inorgánicas y ciertos azúcares) se consideran inhibidores de la coales-

cencia. La expresión matemática empleada para los cálculos de  $C_t$  es:

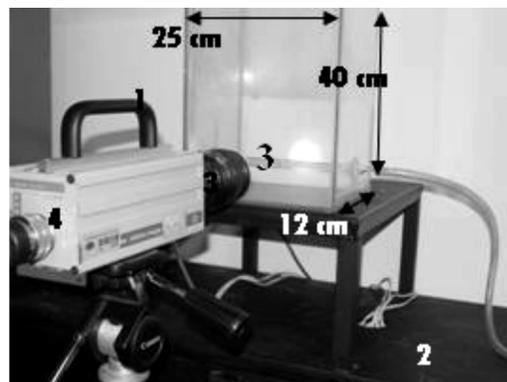
$$C_t = 1,18 \cdot v \cdot \sqrt{\frac{B \cdot \sigma}{R_b}} \cdot R_g \cdot T \cdot \left( \frac{\partial \sigma}{\partial C} \right)^{-2} \quad (2)$$

Según reportan sus autores, la expresión anterior no toma en cuenta términos inerciales, pero sí la turbulencia dentro del sistema.

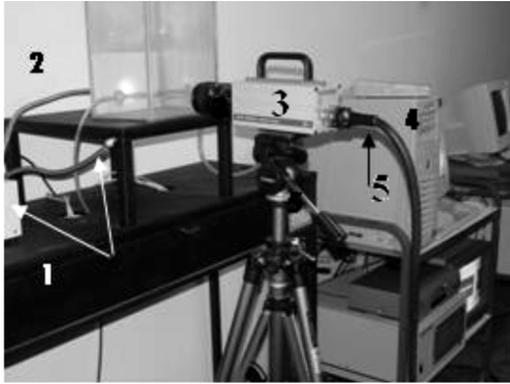
## TÉCNICA EXPERIMENTAL

Se seleccionaron ocho sustancias cuyo comportamiento, al variar su concentración en solución, aportase información interesante respecto al fenómeno estudiado. Las sustancias fueron: NaCl (99,4% de pureza), NaNO<sub>3</sub> (99,5%), HCl (37,4%) HNO<sub>3</sub> (69,5%), CH<sub>3</sub>COOH (99,7%), CuSO<sub>4</sub> (98%), MgSO<sub>4</sub> (99,9%) y NH<sub>4</sub>OH, preparado a partir de solución al 25% de NH<sub>3</sub>.

Las figuras 1 y 2 muestran el equipo experimental usado en este trabajo (Liendo, 1998; Liendo *et al.* 1999; Aguilera *et al.* 2002). Este equipo está constituido por una celda rectangular de vidrio de 25 cm x 40 cm, cuyo tope está abierto a la atmósfera. A través de dos capilares de vidrio, con diámetro interno igual a 2 mm, adosados a la base de la celda, se inyectó gas comprimido cuyo flujo era regulado a través de válvulas tipo aguja. Para cada ensayo la celda fue llenada hasta alcanzar un volumen de 10 L, con la solución de la sustancia en estudio a una concentración determinada. La concentración de cada solución fue variada desde 0,01 M hasta 0,20 M. El flujo de gas inyectado fue calculado de forma indirecta, a través del producto de la velocidad de salida de las burbujas por el área transversal de los capilares.



**Figura 1.** (1) Celda de estudio de coalescencia. (2) Válvulas de tipo aguja. (3) Capilares de pared gruesa de conexión de 2 mm de diámetro interior. (4) Cámara de alta velocidad.



**Figura 2.** (1) Lámpara. (2) Celda. (3) Cámara de alta velocidad con lente micro. (4) Monitor, video y computadora. (5) Conexión hacia el monitor, video y computadora.

El comportamiento de las burbujas, desde su salida del capilar, fue filmado por una cámara de video de alta velocidad (4500 cuadros por segundo) con lente Micro de 60 mm y grabado en formato digital. Las imágenes digitales se almacenaron y procesaron en una computadora para su posterior procesamiento. El esquema de visualización es similar al mostrado en la figura 2. El proceso de burbujeo fue filmado por 10 minutos para cada una de las pruebas efectuadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Velocidad del aire

La velocidad del aire se calculó a través de las imágenes grabadas en video, conocido el diámetro interno de los capilares y la magnificación del sistema óptico. Se registró la distancia recorrida por las burbujas al salir de los capilares y el tiempo invertido en este recorrido. El valor de la velocidad se mantuvo controlado en 0,012 m/s. Esta velocidad corresponde a una frecuencia de formación de 47 burbujas/min.

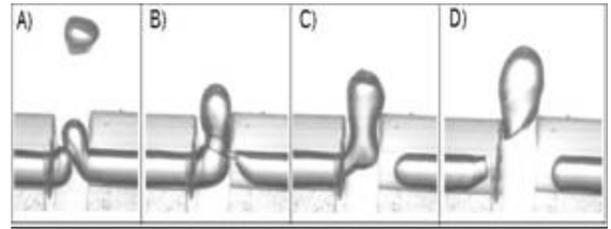
### Variables de las pruebas

El único parámetro que se modificó durante las pruebas fue la concentración de las soluciones utilizadas. Variables como la temperatura, volumen y presión se mantuvieron constantes en 24 °C, 10 L y 1 atm, respectivamente. Se realizaron 31 pruebas para cada uno de los ocho (8) electrolitos estudiados.

Uno de los resultados de esta investigación fue la obtención de las imágenes de coalescencia y la no coalescencia de las burbujas en forma secuencial, como se puede observar en las figuras 3 y 4, respectivamente.

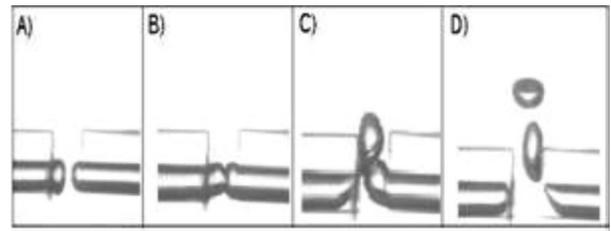
En la figura 3 puede observarse la ruptura de las interfases

de las burbujas al momento de entrar en contacto, con la consecuente coalescencia de las dos en una burbuja de mayor tamaño, que luego es liberada y asciende verticalmente hacia la superficie del líquido.



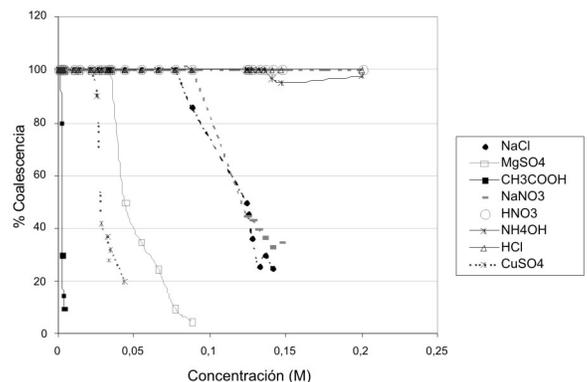
**Figura 3.** Secuencia de la coalescencia. (A) Choque entre las burbujas, (B) ruptura de la capa exterior de las burbujas, (C) coalescencia efectiva y (D) burbuja producto de la coalescencia.

En la figura 4 se muestra una secuencia similar a la de la figura 3, pero en este caso las burbujas, a pesar de tener contacto entre ellas, no se rompen, liberándose las dos y elevándose éstas a través del seno del líquido.



**Figura 4.** Secuencia de la no-coalescencia. (A) Acercamiento de las burbujas, (B) choque entre las burbujas, (C) no coalescencia, (D) dos burbujas producto de la no-coalescencia.

La figura 5 muestra el porcentaje de coalescencia en función de la concentración de la solución para cada electrolito estudiado. En concordancia con lo reportado en trabajos previos (Prince & Blanch, 1990a, 1990b), la concentración de transición (C) fue medida para una coalescencia del 50%.



**Figura 5.** Porcentaje de coalescencia en función de la concentración

En la tabla 1 se presentan los valores de  $C_t$  calculados por la ecuación (2) y el valor experimental obtenido de la figura 5 correspondientes a todas las sustancias empleadas en las pruebas.

También se reportan los datos de tensión superficial y su gradiente. La tensión superficial fue medida a 24 °C con la técnica explicada en los trabajos de López de Ramos *et al.* (1993), Fariñas *et al.* (1998), Fuentes & López de Ramos (2000) y Zeppieri *et al.* (2001).

Para obtener una caracterización de las sustancias estudiadas que permita tener una comprensión más general del proceso investigado, se incluyen en la tabla 1 los valores de la fuerza iónica ( $I_{C_t}$ ) asociados a la concentración de transición de cada sustancia. Cabe destacar, que los resultados experimentales de la tabla 1 se obtuvieron a 24°C.

### Variación del porcentaje de coalescencia

Los resultados obtenidos para la variación del porcentaje de coalescencia en función de la concentración de electrolito confirman lo ya reportado según Marrucci (1969), acerca de la influencia que, sobre la coalescencia, presentan algunas sales y ácidos. En efecto, puede observarse en la figura 5 que el aumento de la concentración del electrolito, reduce el porcentaje de coalescencia de forma apreciable. Los valores de la concentración de transición hallados experimentalmente, en aquellos casos donde se detectó disminución de la coalescencia, se desvían entre un 5 y 75% de los calculados a partir de la ecuación (2) (tabla 1).

La desviación mayor la presenta el sulfato cúprico. Un análisis de propagación de errores indica que las variables introducidas en la misma sólo arrojan una desviación inferior al 1%.

Tres de las sustancias empleadas para las pruebas, presentadas en la tabla 1, mostraron muy poca influencia en la coalescencia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{HCl}$ , y  $\text{HNO}_3$ ), aun cuando pudo calcularse  $C_t$  (por la ecuación) para las mismas. Dos de las sustancias son ácidos minerales (denominados por la química clásica electrolitos fuertes) y en su caso no se observó ninguna disminución del porcentaje de coalescencia incluso para concentraciones cercanas al valor de 0,5 mol/L. Por otro lado, y en contra de lo que podría esperarse, puesto que es un electrolito débil (tal como el  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , que sí inhibe la coalescencia), las pruebas con  $\text{NH}_4\text{OH}$  indicaron muy poca influencia sobre el fenómeno estudiado (sólo para las concentraciones más altas, superiores a 0,14 M, se notó una disminución del porcentaje de coalescencia de hasta un 5%, pero luego aumentó el porcentaje de coalescencia nuevamente (figura 5). Lo anterior constituye una excepción en la racionalización llevada a cabo por Craig *et al.* (1993) quienes establecieron una suerte de modelo de predicción de la influencia que, sobre la coalescencia, pudiesen tener los electrolitos dependiendo de la identidad de los iones involucrados. Tal modelo predice inhibición de la coalescencia por parte del hidróxido de amonio; sin embargo, no es esto lo obtenido en los experimentos realizados (tabla 1). Por otro lado, la disminución del porcentaje de coalescencia que puede leerse en la figura 5, habla de una tendencia a influir sobre la coalescencia, sólo que a concentraciones

**Tabla 1.** Datos experimentales obtenidos y valores de parámetros para el modelo de concentración de transición de electrolito,  $C_t$ .

Sustancia	$\frac{\partial\sigma}{\partial c}$ [g.cm <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> .mol]	$\sigma$ [dinas/cm]	Diámetro de las burbujas [cm]	$C_t$ de ecuación (2) [m]	$C_t$ Experimental [m]	% Desviación	$I_{C_t}$ [m]
NaCl	1700	74,39	0,206	0,1500	0,1240	17,3	0,1240
MgSO <sub>4</sub>	3200	75,22	0,206	0,0420	0,0440	4,8	0,1760
CH <sub>3</sub> COOH	-9352	68,00	0,206	0,0047	0,0032	31,9	0,0032
NaNO <sub>3</sub>	1324	73,95	0,206	0,2400	0,1230	48,8	0,1230
NH <sub>4</sub> OH	-1692	71,65	0,206	0,0055	Transición suave a 0,15 M	---	---
HCl	-247	72,55	0,206	0,2620	No hay transición	---	---
HNO <sub>3</sub>	-720	72,15	0,206	0,0300	No hay transición	---	---
CuSO <sub>4</sub>	1850	69,45	0,206	0,1200	0,0290	75,8	0,1160

mucho mayores (0,15 M) a las que podría suponerse por el valor calculado por la ecuación (2) (tabla 1).

En la búsqueda de una explicación que determine el por qué las sales inhiben la coalescencia y sustancias como el HCl, HNO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub>OH, aparentemente no tienen influencia sobre tal fenómeno, debe recurrirse a las características particulares de los iones en solución y su efecto sobre las propiedades del disolvente. En primer lugar, debe puntualizarse que los electrolitos estudiados aquí (exceptuando al ácido acético, de cuyo comportamiento excepcional se hablará más adelante), y los reportados en trabajos previos, cuya influencia sobre la coalescencia es apreciable, incrementan en mayor o menor medida la tensión superficial del agua, lo que vendría a contradecir los resultados obtenidos en pruebas con surfactantes cuya influencia comprobada en la disminución de la tensión superficial, se creía que era la causa de la inhibición de la coalescencia (Prince & Blanch, 1990a, 1990b). Más aún, y para comprobar mejor lo erróneo de esta conclusión, tanto el HCl como el HNO<sub>3</sub> y el NH<sub>4</sub>OH, disminuyen la tensión superficial de la interfase agua-aire y, de los resultados, se obtiene que estas sustancias no tienen influencia en el parámetro que se estudia para los valores de concentraciones utilizados en los ensayos experimentales.

La correspondencia entre la disminución de coalescencia y la disminución de tensión superficial sólo parece ser cierta para el ácido acético, pues es un electrolito que afecta fuertemente, disminuyéndolas apreciablemente, tanto a la coalescencia como a la tensión superficial.

Para el caso de los electrolitos que inhiben la coalescencia, se observa en efecto una relación entre la fuerza iónica y el porcentaje de coalescencia. En lo que respecta al sulfato de magnesio, puede notarse que, de las sales inorgánicas seleccionadas para los experimentos, es la que posee un menor valor de  $C_i$  que corresponde al valor más grande de  $I_{C_i}$  de los determinados para todas las sales. Esto quiere decir que sí existe una relación importante entre la fuerza iónica y la coalescencia y aunque se note que el ácido acético inhiba la coalescencia a menor concentración y para una  $I_{C_i}$  muy baja, también en su caso la disminución de la coalescencia está referida a un aumento de la fuerza iónica.

De la teoría de Debye-Hückel puede extraerse que, gracias a su naturaleza y a sus características particulares, los electrolitos se encontrarán disociados en solución en mayor o menor medida, estableciendo así una gama de sustancias con constantes de disociación variables. Los electrolitos muy débiles, como es el caso del ácido acético, estarán muy poco disociados a bajas concentraciones. Esto podría explicar por qué para su caso, el CH<sub>3</sub>COOH afecta a la coales-

cencia a un valor tan bajo de concentración, pues al hallarse débilmente ionizado, iones de este ácido no se encontrarán solvatados y, por ende, modificarán el comportamiento macroscópico del líquido en el que estén disueltos.

De igual forma, electrolitos con constantes de disociación de valores promedios, como es el caso de las sales, se encontrarán parcialmente disueltos en un grado que sólo podrá determinar esa constante de disociación y, precisamente porque su disolución en el líquido no es total, pero tampoco es muy baja, su influencia en las propiedades del solvente, y su efecto en fenómenos como el que aquí se analiza, vendrá relacionada con la cantidad de iones libres en la disolución. Por esta razón, los valores de las concentraciones de transición obtenidos para estas sales no alcanzan cifras extremas y fluctúan entre 0,03 a 0,4 M. Para los electrolitos fuertes, los cuales no afectan la coalescencia, la disociación es total a bajas concentraciones y, aún a mayores concentraciones, el grado de disociación es elevado. Podría afirmarse, en este caso, que la sustancia está totalmente solvatada por las moléculas del solvente y, en tal sentido, su influencia en parámetros como el estudiado se verá disminuida por la debilitación de las fuerzas interiónicas, gracias a la interferencia de las moléculas del solvente, por lo que no afectará significativamente fenómenos como la coalescencia.

Tal suposición encuentra sustento en los resultados experimentales que arrojan un efecto nulo de los electrolitos fuertes empleados sobre el porcentaje de coalescencia. De la tabla 1 se extrae que, aunque no puede afirmarse que exista un único valor de  $I_{C_i}$  para las concentraciones de transición de los electrolitos que las presentan, en lo que respecta a sales con iones similares (NaNO<sub>3</sub> y NaCl), sí es válida tal afirmación.

De todas las sustancias utilizadas, la que escapa de cualquier generalización, convirtiéndose así en una excepción, es el NH<sub>4</sub>OH. El mismo es un electrolito débil, de características similares al ácido acético; disminuye la tensión superficial (asemejándose con esto nuevamente al CH<sub>3</sub>COOH); sin embargo, al igual que los ácidos minerales analizados no presenta influencia apreciable sobre la coalescencia en el intervalo de concentraciones estudiadas, lo cual se explica por el hecho de que se está trabajando con una base de poco grado de disociación.

Finalmente, en lo que respecta al sulfato cúprico, aún cuando su comportamiento corresponde a lo esperado, pues efectivamente inhibe la coalescencia como las otras sales, el valor obtenido experimentalmente para la concentración de transición está bastante alejado del calculado por la ecuación (2) (de hecho, el resultado experimental es casi la cuarta parte del dato teórico, lo que corresponde a un error

del 75 %). El valor reportado en la literatura, es sólo ligeramente mejor. De hecho, Prince & Blanch (1990<sup>a</sup>, 1990b) reportan un valor de  $C_t$  experimental igual a 0,07 M, que corresponde a un error cercano al 50%. Para tal desviación no se tiene una explicación plenamente satisfactoria, pues aún si el fenómeno estudiado fuese extremadamente sensible a cualquier variación de las condiciones experimentales (lo que no es cierto en este caso), las condiciones en las que se efectuaron las pruebas con el sulfato cúprico no difirieron apreciablemente de las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas con las demás sustancias, para las que los valores de  $C_t$  teóricos y experimentales poseen una desviación menor. Como explicación a este fenómeno podría argumentarse que, para el caso de esta sal, la fuerza iónica involucrada en el proceso de disociación electrolítica es mayor de lo que podrían arrojar los valores numéricos reportados en la tabla 1, debido a la influencia de un elemento de transición como lo es el  $\text{Cu}^+$ .

Por otro lado, nótese que los resultados asociados al sulfato de magnesio (tabla 1), que también es una sal bivalente como el sulfato cúprico, son bastantes similares a los obtenidos para esta última sustancia. Con esto se ratifica nuevamente la importancia que reviste, para la coalescencia, la naturaleza de los iones disueltos en el medio que contiene a las burbujas.

## CONCLUSIONES

Con el equipo experimental propuesto en este trabajo se pudo medir el porcentaje de coalescencia en función de la concentración de varias sustancias electrolíticas.

El fenómeno de la coalescencia se ve fuertemente afectado por la concentración y la naturaleza de los electrolitos. Se observa una estrecha relación entre fuerza iónica, grado de disociación del electrolito y disminución del porcentaje de coalescencia para el grupo de sustancias empleado.

Respecto al comportamiento anómalo del  $\text{NH}_4\text{OH}$ , y a la gran diferencia observada entre los valores teóricos y experimentales de  $C_t$  para el  $\text{CuSO}_4$ , no se tiene todavía una explicación aceptable para la desviación del comportamiento general que estos electrolitos presentan, por lo que es necesario continuar con el estudio.

La coalescencia no puede ser explicada solamente a partir de los cambios en los valores de tensión superficial, pues tanto las sustancias que aumentan como las que disminuyen la tensión superficial pueden inhibir la coalescencia.

## NOMENCLATURA

B	Coefficiente de retardo de van der Waals, [erg•cm]
C	Concentración de electrolito, [mol/ L (M)]
$C_t$	Concentración de transición, [mol/ L (M)]
I	Fuerza iónica, [m]
$R_g$	Constante de los gases, [ Kcal / Kmol K]
$R_b$	Radio de las burbujas, [cm]
T	Temperatura, [K]
z	Valencia, [-]

### Subíndices

b	Burbujas
g	Gas
i	Partícula i

### Letras Griegas

$\nu$	Número de iones que se producen en la disociación electrolítica, adm
$\sigma$	Tensión superficial, dinas/cm

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Decanato de Investigación y Desarrollo, al Decanato de Estudios Profesionales y a la Sección de Fenómenos de Transporte del Laboratorio "A", de la Universidad Simón Bolívar quienes financiaron parcialmente este trabajo.

## REFERENCIAS

- AGUILERA, M. E., OJEDA, A., RONDÓN, C., LÓPEZ DE RAMOS, A. L. (2002). Effect of electrolytes on bubble coalescence in columns observed with visualization techniques, *Ann. N. Y. Acad. Sci*: 973, 242-246.
- CRAIG, V. S. J., NINHAM, B. W., PASHLEY, R. M. J. (1993). The effect of electrolytes on bubble coalescence in water, *Phys. Chem*: 97, 10192-10197.
- FARIÑAS, J., BLANCO, P., LEDANOIS, J. M., LÓPEZ DE RAMOS, A. L. (1998). Determinación de la tensión superficial mediante el método de la gota colgante usando la técnica de digitalización de imágenes, *Información Tecnológica*: (9) 1, 167-173.
- FUENTES, J., LÓPEZ DE RAMOS, A. L. (2001). Nuevo método para medir tensiones superficiales mediante la técnica de la gota colgante, *Información Tecnológica*, (2), 181-188.

- LIENDO, L. (1998). Estudio de la coalescencia de burbujas en sistemas electrolíticos. Tesis de Grado, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
- LIENDO, L., PIRONTI, F., LÓPEZ DE RAMOS, A. L. (1999). Estudio de la coalescencia de burbujas en sistemas electrolíticos, 49ª. Convención Anual de Asovac, (50) Aragua, 140.
- LÓPEZ DE RAMOS, A. L., REDNER, R., CERRO, R. L. (1993). Surface tension from pendant drop, *Langmuir*: 9, 3691-3694.
- MARRUCCI, G. (1969). Chem. A Theory of coalescence. *Eng. Sci*: 24, 975.
- PRINCE, M. J., BLANCH, H. W. (1990a), Bubble coalescence and break-up in air-sparged bubble *AIChE J*: 36, 1425-1431.
- PRINCE, M. J., BLANCH, H. W. (1990b). Transition electrolyte concentrations for bubble coalescence: *AIChE J.*, 36, 1485-1499.
- RIVEIRO, C. P, MEWES, D. (2007). The effect electrolytes on the critical velocity for bubble coalescence, *Chem. Eng J.* (126), 1, 23-33.
- ZEPIERI, S., RODRÍGUEZ, J., LÓPEZ DE RAMOS, A. L. (2001). Interfacial tension of alkane + water systems *J. Chem. Eng. Data*: 46, 1086–1088.