

DISEÑO DE UN DISPERSOR DE GAS EN LÍQUIDOS PARA CONTROL DE TAMAÑOS DE BURBUJAS

Francisco J. Tavera Miranda, Ramiro Escudero García*, Gerardo E. Barrera Mendoza
regarcia@zeus.umich.mx

Instituto de Investigaciones Metalúrgicas
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Santiago Tapia 403. C.P. 58000. Morelia, Michoacán, México

Resumen

En reactores de burbujeo multifase, gas-líquido y gas-líquido-sólidos, los tamaños de las burbujas (y su distribución radial-axial) determinan la eficiencia de esos procesos; por lo tanto, es importante desarrollar técnicas que permitan fijar y controlar los tamaños de burbuja que se generan en esos reactores. En este trabajo se presenta el desarrollo y aplicación de un dispersor de gas tipo jet, con el cual se puede controlar el valor de la energía cinética disipada durante la formación de las burbujas. El tamaño de las burbujas, la fracción de gas retenido y las velocidades superficiales del gas y del líquido son estimados mediante una sonda construida para ese propósito. Esta aplicación es validada en una celda de flotación piloto provista con ese tipo de dispersores de gas.

Palabras clave: diámetro de burbuja, fracción de gas retenido, velocidad superficial, análisis de flujo de arrastre.

Introducción

En el procesamiento de materiales mediante sistemas multifase de burbujeo en donde el continuum es una fase líquida, el tamaño de las burbujas que se produce y la distribución de sus dimensiones determinan los patrones de circulación y mezclado de las fases presentes así como la magnitud de la superficie específica de la interfase vapor-líquido (en donde se llevan a cabo los fenómenos interfaciales), de lo que depende la eficiencia del proceso y, finalmente, su productividad.

Los reactores de burbujeo se aplican en diferentes áreas de la ingeniería, entre estas destacan sus empleos en la ingeniería metalúrgica como es el caso de los procesos de flotación tanto en aplicaciones minerales como no-minerales.

Las aplicaciones minerales se refieren a procesos de concentración selectiva por flotación de especies mineralúrgicas con característica hidrófoba (que forman parte de menas de minerales polimetálicos) presentes en una pulpa mineral-agua; y, las aplicaciones no-minerales se aplican a procesos de flotación iónica que incluye así mismo la flotación de coloides [1-4]. En el primer caso, las especies sujetas a un proceso de flotación son partículas sólidas, cuyo tamaño normalmente varía entre 30 y 100 μ m con densidades mayores a la del agua, mientras que en el segundo caso las especies hidrófobas que son flotadas presentan densidades iguales a las del líquido que las contiene.

En este trabajo se presenta una propuesta para el desarrollo de una técnica de generación de burbujas, mediante la cual puede ser posible fijar y controlar el tamaño de las burbujas que se generan.

Experimentación

Se propone aplicar un inyector (sumergido) de gas tipo jet, de orificio de descarga de abertura variable, en donde pueda medirse una diferencial de presión, relacionando la presión dentro del inyector y la presión en el punto de descarga con la energía cinética disipada asociada al gas que se inyecta. En este sistema de inyección la presión diferencial será una función de la abertura del orificio de descarga, el flujo de gas alimentado, y la velocidad superficial del gas en la descarga del inyector, asociando estas variables controladas y las propiedades fisicoquímicas del medio (v. gr., la tensión superficial, σ) con la energía cinética del gas que se disipa en la formación de las burbujas con tamaños que serán función de todas esas variables. La Figura 1 muestra esquemáticamente el diseño del inyector del gas.

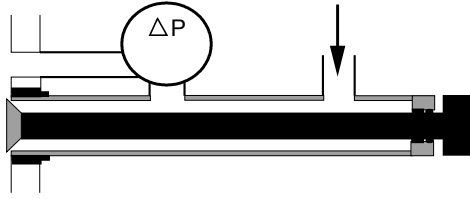


Figura 1. Representación esquemática del prototipo de inyector de gas tipo jet de orificio de descarga con abertura variable. La flecha indica la alimentación del gas y ΔP indica un manómetro diferencial.

Las burbujas que se generan frente a la descarga del inyector son tomadas por una sonda in situ y transportadas a una sección tipo ventana para su grabación electrónica y su procesamiento de imágenes para determinar el diámetro sauter (y también el diámetro promedio aritmético). La Figura 2 muestra de manera esquemática la sonda desarrollada para la medición de las dimensiones de las burbujas.

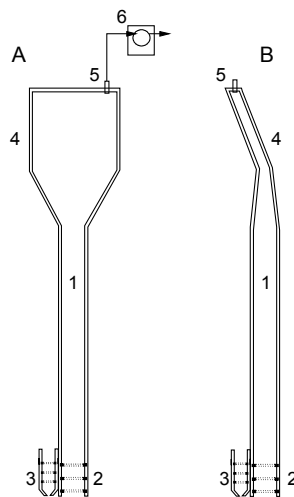


Figura 2. Representación esquemática de la sonda para medición de tamaño de burbujas, velocidad superficial de gas y fracción de gas retenido en el punto de muestreo; A, vista frontal, B, vista lateral. 1. sección tubular de la sonda; 2. celda de flujo de medición de conductividad de la dispersión burbujas-líquido; 3. celda de flujo de separación de burbujas para medición de la conductividad del líquido; 4. sección plana (ventana) de la sonda para observación de las burbujas; 5. salida de muestra de la dispersión burbujas-líquido; 6. bomba para la toma de muestra.

La sonda, está construida en acrílico transparente para permitir la observación de las burbujas de la dispersión gas-líquido. El área de la sección transversal de la sonda en su sección tubular y en su sección plana (ventana) tiene la misma dimensión, con el objeto de preservar el mismo valor de velocidad superficial de las fases ($J = Q / A$; J es la velocidad superficial de alguna fase, Q es el flujo volumétrico de esa fase, A es el área de la sección transversal de la sonda, dados todos estos en algún sistema de dimensiones conveniente).

En su extremo inferior, la sonda tiene adaptadas dos celdas de flujo de conductividad [5], una de ellas formando parte de la sección tubular de la sonda para medir la conductividad eléctrica de la dispersión burbujas-líquido y, separadamente, en la parte inferior de la sonda otra celda de flujo de conductividad tipo sifón, para excluir la fase gas de la dispersión y poder medir la conductividad eléctrica del líquido sin burbujas; este método se ha denominado “de separación de fases” [6-8]. Una vez que se conoce los valores de la conductividad eléctrica de la dispersión burbujas-líquido y del líquido, puede aplicarse el Modelo de Maxwell que describe la transferencia de energía en dispersiones de fases no-conductoras en un continuum conductor en términos de la fracción volumétrica de la fase no-conductora [9].

El uso del inyector de gas tipo jet con orificio de abertura variable, así como la aplicación de la sonda de medición de tamaños de burbuja, se probaron en una celda de flotación piloto (50 cm de frente, 50 cm de fondo, 70 cm de altura), en donde se instalaron cuatro inyectores de gas tipo jet (dos frente a dos). La celda de

flotación se operó en régimen batch y en régimen continuo. El flujo de gas a través de cada inyector se estableció en valores tales que la velocidad superficial del gas se pudo fijar en 0.63 cm s^{-1} , 0.833 cm s^{-1} , 1.041 cm s^{-1} y 1.25 cm s^{-1} , mediante cuatro medidores-controladores de flujo másico de gas (uno para cada inyector de gas tipo jet); la velocidad superficial de líquido se fijó en 0 cm s^{-1} , 0.06 cm s^{-1} , 0.12 cm s^{-1} y 0.18 cm s^{-1} , utilizando dos bombas peristálticas ($0 - 25 \text{ L min}^{-1}$), una para el control de la alimentación y la otra para el control de la descarga.

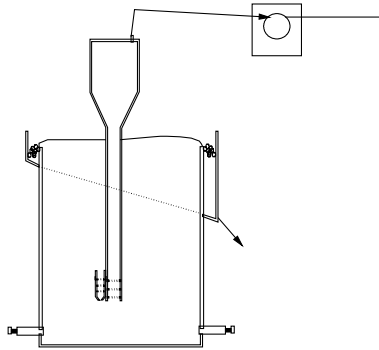


Figura 3. Representación esquemática de los aparatos experimentales: celda de flotación piloto con inyectores de gas tipo jet de abertura de orificio de descarga variable; sonda de medición de tamaño de burbujas, velocidad superficial y fracción de gas retenido.

En los experimentos se usaron medios acuosos preparados con agua corriente en donde se adicionaron cantidades de tensoactivador (Dowfroth 250; Alkemin, S. A.), en concentraciones tales que la tensión superficial de la fase acuosa, σ , se determinó en $71.91 \text{ dina cm}^{-1}$, $71.34 \text{ dina cm}^{-1}$, $70.69 \text{ dina cm}^{-1}$, $70.19 \text{ dina cm}^{-1}$ y $69.38 \text{ dina cm}^{-1}$ mediante un aparato medidor de la tensión superficial de efecto de capilaridad. El objeto en el empleo de estos diferentes medios acuosos es el observar la relación entre la propiedad σ en la dimensión de las burbujas producidas.

Resultados y discusión

La relación entre el valor de la energía cinética del gas disipada (Bernulli modificado para fluidos compresibles) en la formación de burbujas y el valor de la presión diferencial medida con referencia al inyector de gas se evaluó bajo las diferentes condiciones experimentales impuestas. La Figura 4 muestra los resultados de las mediciones experimentales de presión diferencial y los valores estimados de energía cinética disipada.

Se puede observar en la Figura 4 que a medida que la presión diferencial en el inyector del gas se incrementa, variando la abertura del orificio de descarga, así la cantidad de energía cinética disipada también aumenta; se puede notar aquí que el aumento en el valor de la velocidad superficial del gas afecta directamente a la cantidad de energía cinética disipada.

Los resultados de las mediciones experimentales muestran que existe una buena correlación entre la energía cinética disipada y la presión diferencial con respecto al inyector de gas.

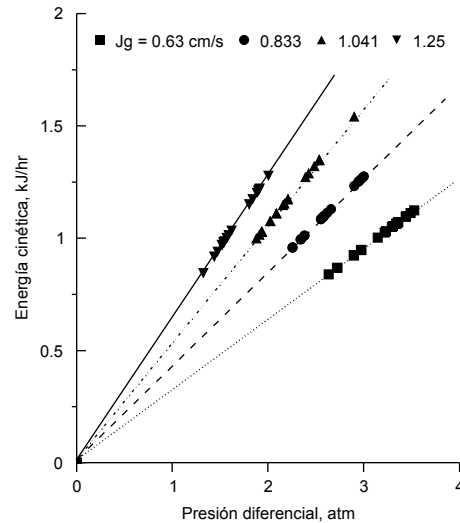


Figura 4. Estimación de la energía cinética disipada en la formación de burbujas en función de los valores de presión diferencial. Se observa el efecto de la velocidad superficial del gas inyectado.

Conclusiones

De las mediciones experimentales del presente trabajo se pueden derivar las conclusiones siguientes:

Se desarrolló un sistema de inyección de gas tipo jet para su aplicación en sistemas de burbujeo gas-líquido, mediante el cual es posible determinar la energía cinética del gas disipada en el proceso de formación de burbujas. En este trabajo se encontró que existe una relación directa entre las condiciones de operación del sistema de inyección de gas tipo jet, las propiedades de la dispersión gas-líquido (J_g , J_l , ϵ_g) y los tamaños de burbujas que se generan. Por lo tanto, los resultados experimentales sugieren que es posible controlar los tamaños de burbujas que se producen usando este sistema de inyección de gas de una manera relativamente simple, lo cual presenta a esta técnica como un buen candidato para su aplicación en reactores de burbujeo industriales.

A través de este trabajo se desarrolla también una técnica para medir en línea (tiempo real, in situ, sin suposiciones sobre las propiedades del sistema) los tamaños de burbuja, la velocidad superficial del gas y la fracción volumétrica del gas retenido presentes en el punto de medición del reactor de burbujeo. Estas características de la técnica la permiten presentarla aquí como un buen candidato para ser una sonda de medición de tales variables del proceso en el ambiente industrial, pensando en su aplicación como herramienta de monitoreo, diagnóstico y, finalmente, de control de procesos de burbujeo.

Sin embargo, los resultados de este trabajo no son concluyentes en cuanto a otras las posibilidades de estos desarrollos en su aplicación en sistemas de dispersión gas-sólidos-líquido. De esta forma es importante estudiar experimentalmente el efecto de la presencia de sólidos hidrófobos e hidrófilos en el comportamiento de estos sistemas de procesamiento de dispersiones, en sus acercamientos de estudios fundamentales y aplicados.

Referencias

- [1] Sebba, F. Concentration by ion flotation, *Nature*, vol. 184, pp. 1062-1063, 1959
- [2] Sebba, F. *Ion Flotation*, New York, Elsevier Publishing Company, 1962.
- [3] Tavera, F. J., Escudero, R., Uribe, A., Finch, J. A. Ni-DETA flotation in aqueous media: application of flotation columns, *AFINIDAD*, vol. LVII, no. 490, pp. 415-423, 2000.

- [4] Doyle, F. M. Ion flotation – its potential for hydrometallurgical operations, *International Journal of Mineral Processing*, vol. 72, pp. 387-399, 2003.
- [5] Tavera, F. J., Gomez, C. O., Finch, J. A. Conductivity flow cells for measurements on dispersions, *Canadian Metallurgical Quarterly*, vol. 37, no. 1, pp. 19-25, 1998.
- [6] Tavera, F. J. Ph.D. thesis, McGill University, Canada, 1996.
- [7] Tavera, F. J., Gomez, C. O., Finch, J. A. Novel gas hold-up probe and application in flotation columns, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, vol. 105, pp. C99-104, 1996.
- [8] Tavera, F. J., Escudero, R. Gas hold-up and solids hold-up in flotation columns: on-line measurements based on electrical conductivity, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, vol. 111, pp. C94-99, 2002.
- [9] Maxwell, J. C. *A treatise of electricity and magnetism*, 3rd edition., vol. 1, part II (Oxford: Oxford University Press), pp. 435-449, 1892.