



Diseño y construcción de un generador por lotes a diferencia de presiones para la producción de microburbujas.

Fernando Franco Gutiérrez, Bernardo Figueroa Espinoza, Alicia Aguilar-Corona

Para citar este artículo: Franco Gutiérrez, F., Figueroa Espinoza, B., Aguilar-Corona A. 2022. Diseño y construcción de un generador por lotes a diferencia de presiones para la producción de microburbujas. Ciencia Nicolaita, número 83, 289-299.

DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi83.582>

View

[Ver material suplementario](#)

Online

[Publicado en línea, enero de 2022](#)

Send

[Envíe su artículo a esta revista](#)

Diseño y construcción de un generador por lotes a diferencia de presiones para la producción de microburbujas.

Fernando Franco Gutiérrez^{1*}, Bernardo Figueroa Espinoza¹, Alicia Aguilar-Corona^{1*}

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
Facultad de Ingeniería Mecánica, México

²Universidad Autónoma de México, Instituto de Ingeniería Laboratorio de Ingeniería y
Procesos Costeros, México

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recibido: 25 de septiembre de 2021

Aceptado: 22 de noviembre de
2021

RESUMEN

Se diseñan y construyen dos generadores de diferentes dimensiones para producción de burbujas en lotes utilizando saltos de presión. A medida que aumenta la diferencia de presiones, el tamaño de las burbujas disminuye. Se obtienen microburbujas de diámetro de 65 a 116 micras en un rango de diferencia de presión de 3 a 7 bares respectivamente. El diámetro equivalente de las burbujas producidas sólo está controlado por la diferencia de presión aplicada y no así por el tamaño del generador.

PALABRAS CLAVE: microburbujas, diferencia de presión, producción de microburbujas, transferencia de oxígeno.

ABSTRACT

Two prototypes of microbubble batch generators were implemented in the laboratory, using the pressure jump method. As the pressure difference increases, the bubble diameter decreases. Equivalent diameters in the range between 56 to 116 microns were obtained, using pressure differences between 3 and 7 bar, respectively. The equivalent diameter is controlled by the suddenly applied depressurization and is independent of the device dimensions.

KEYWORDS: microbubbles, pressure difference, microbubble production, oxygen transfer.

Marco teórico

Es difícil pensar en alguien que no disfrute ver y jugar con burbujas. Aunque parezca extraño, las burbujas son mucho más que un asunto de juego o distracción para los niños; los fenómenos de transferencia de masa, calor y cantidad de movimiento que se dan en flujos burbujeantes (o multifásicos, que pueden contener también sólidos en suspensión) son de gran importancia en la ciencia y la industria.

Ejemplos de aplicación de flujos burbujeantes hay muchos: desde flujos geofísicos como flujos volcánicos (lava, magma, flujos piroclásticos), hasta aplicaciones en ciencia e ingeniería, como son el bombeo por inyección de aire (airlift) en la industria petrolera y de energía geotérmica (Ahmed et al., 2016), bloqueo de sólidos flotantes en afluentes y reducción de ruido submarino por medio de “paredes de burbujas” (Gao et al., 2021), tratamiento de aguas con procesos aerobios (Azuma et al. 2019; Terasaka et al. 2011), acuicultura y piscicultura (Onari 2005), separación de partículas y nanopartículas (Terasaka y Shinpo, 2007), generación de emulsiones de agua y combustible/hidrocarburos (Watanabe et al., 2010) y su uso como trazadores para técnicas de visualización fotográficas y velocimetría con medios ópticos (Ishikawa et al., 2009).

Recientemente en la Ciudad de México se han utilizado a las burbujas para oxigenar los canales de Xochimilco y evitar la eutrofización de este cuerpo de agua (Toche 2021). En varias de esas aplicaciones es recomendable usar burbujas pequeñas o microburbujas. Una microburbuja está definida como una burbuja cuyo diámetro está entre 1 y 1000 μm . A esta escala de tamaño la tensión superficial no permite que la burbuja se deforme de su forma esférica casi perfecta. La ventaja del uso de microburbujas con respecto al uso de burbujas estándar (diámetro mayor a 1mm) es debido a las siguientes propiedades

(ver Figura 1):

- Las burbujas más pequeñas poseen mayor área interfacial y volumen comparados con las burbujas estándar lo que permite una mayor transferencia de oxígeno (Figura 1a).
- Entre más pequeña es la burbuja su flotabilidad disminuye por lo que su tiempo de residencia en el fluido es mayor. Esto permite una mayor transferencia de oxígeno (Figura 1b)
- Al ser más pequeñas las burbujas, éstas se adhieren más a las partículas promoviendo el arrastre de éstas. Esto beneficia a la mejor remoción de las partículas en suspensión (Figura 1c).

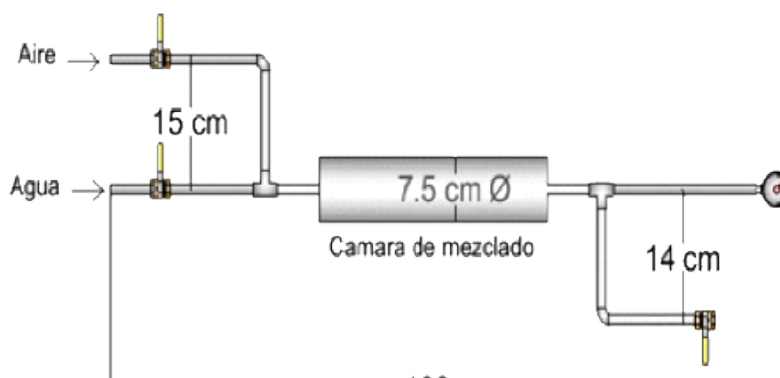


FIGURA 1. Ilustración de los beneficios del uso de microburbujas en relación con burbujas estándar: a) mayor área interfacial y volumen, b) mayor tiempo de residencia y c) remoción de partículas.

Dependiendo de la aplicación, muchas veces es deseable hacer burbujas muy pequeñas. Aunque esto suene fácil de hacer, resulta sorprendente lo difícil que es hacer burbujas de diámetro menor a 1 mm. La razón de esta curiosa situación es que a escalas pequeñas las fuerzas de tensión superficial son importantes y se dan una serie de efectos que hacen difícil hacer burbujas pequeñas: si se hace pasar gas por un orificio muy pequeño, la tensión superficial anclará la burbuja y ésta crecerá hasta que la flotación sea superior a la tensión superficial. De modo que para diámetros de perforación del orden de medio milímetro o menores, la burbuja resultante siempre resulta mucho mayor que el orificio por donde salió.

Adicionalmente, al producir burbujas pasando gas por arreglos de pequeñas perforaciones, las burbujas tienden a coalescer y el resultado será un flujo de burbujas más grandes. Finalmente, cuando se usan arreglos de perforaciones interconectadas, existe un efecto de inestabilidad de percolación paralela (Zimmerman et al., 2008), de modo que una vez formada una burbuja en una perforación, la diferencia de presión en la primera burbuja creada (inversamente proporcional al radio de la burbuja) será menor que en las demás perforaciones y todas las burbujas fluirán por un solo agujero. Existen formas de superar estos obstáculos. Entre los métodos utilizados para la generación de microburbujas encontramos (Terasaka 2011):

1. Método de disolución presurizada

Este método utiliza un flujo de aire comprimido (que tiene una mayor capacidad de disolver oxígeno) y se hace pasar por algún dispositivo o boquilla que provoque la nucleación de burbujas. Estos núcleos crecen una vez que son creadas las burbujas debido a la sobresaturación del líquido bajo las nuevas condiciones de presión al pasar por la bo-

quilla. Es posible también realizar un proceso por lotes (batch), de modo que cierta cantidad de líquido se presurice y una vez alcanzada la concentración de equilibrio se despresurice, inyectando el agua con microburbujas al afluente. Se pueden tener varios dispositivos batch intercalados para tener un funcionamiento casi continuo (Terasaka et al., 2011).

2. Método tipo Jet y Venturi

El segundo método consta de un flujo de dos fases que pasa a través de un tubo Venturi o cambios repentinos en sección, si la variación de presión debido al cambio en la sección transversal es lo suficientemente fuerte, las microburbujas se forman debido a la cavitación y la distorsión de las burbujas pre-existentes.

3. Método de sonificación.

El tercer método consiste en usar poderosos generadores de ultrasonido, que provocan un efecto de cavitación en ciertos puntos de una onda estacionaria ultrasónica (Terasaka et al., 2011).

4. Método de oscilación mecánica

El cuarto método usa un flujo de gas a una presión moderada y requiere de un método secundario para romper el flujo de aire en pequeñas burbujas. Los métodos secundarios pueden ser por ejemplo con agitación, vibración mecánica y esto provoca un rompimiento de la burbuja mientras está en etapa de formación como una copa hemisférica (Terasaka et al., 2011).

5. Método de flujo espiral de líquido

Este tipo de dispositivos consiste en un flujo espiral descendente de agua que se inyecta tangencialmente en la parte superior de un tubo o cilindro vertical. Éste fluye a con-

contra-corriente de un chorro de gas que se inyecta por la parte inferior. El efecto de “centrifugado” genera una suspensión uniforme de microburbujas que sale por una boquilla en el centro de la parte superior (Terasaka et al., 2011).

6. Otros métodos

Pimentel et al. (2012) reportan que es posible generar microburbujas a partir de fibras ópticas recubiertas con nanopartículas usando una luz láser, por medio de un efecto foto-térmico.

Esencialmente de los cuatro métodos descritos anteriormente el primero y segundo requieren grandes cantidades de energía, mientras los métodos tercero, cuarto y quinto requieren bajas energías, sin embargo escalar éstos últimos es una tarea que se revela difícil.

Las microburbujas alrededor del mundo

En medio de la creciente preocupación y las restricciones ambientales, la utilización de microburbujas presenta un gran potencial como una tecnología prometedora para la purificación del agua y tratamiento de aguas residuales (Hirai et al., 2009). Un ejemplo de ello es la degradación de contaminantes orgánicos realizado eficazmente por medio de la inyección de oxígeno al agua.

En Japón, hay muchas aplicaciones de microburbujas para propósitos industriales. Por ejemplo: la acuicultura, el cultivo hidropónico, fermentación aeróbica y tratamiento aeróbico de aguas residuales. También se han reportado mejoras en la reducción de la cantidad de lodos en aguas con un bajo consumo de energía comparado con otros métodos.

(Onari 2005; Hensirisak et al. 2002; Hoage y Messer 2005). Terasaka et al. (2007) propusieron un nuevo sistema de flotación para recuperar partículas de carbono finas suspendidas en agua residual mediante aireación de microburbujas. Terasaka (2008) aplicó la tecnología de flotación de microburbujas para recuperar hierro fino y partículas de óxido de residuos suspendidos en agua. Kobayashi et al. (2011) investigaron el comportamiento de microburbujas en un campo ultrasónico. Watanabe et al. (2010) propone una aplicación para generar microgotas de agua utilizando microburbujas de vapor. Miyazaki et al. (2010) desarrolló una nueva técnica para generar burbujas de orden micrométrico utilizando un microcanal con una unión T con estrangulación. Terasaka et al. (2011) investigó el rendimiento de la absorción de oxígeno en el agua, comparando siete clases de distribuidores de gas. Los generadores de microburbujas mostraron mejores tasas de transferencia de oxígeno que los típicos distribuidores de gas.

En otras partes del mundo como en España, Gordillo et al. (2004) presentó un nuevo método para la producción de suspensiones de burbujas compuesta de burbujas de tamaño micrométrico, empleando un nuevo tipo de dispositivo de microfluidos y empleando microcanales convencionales, en forma de T. El mismo año Gañán-Calvo (2004) presenta un método para producir microburbujas monodispersas corregido. Herrada y Gañán-Calvo (2009) utilizó un método numérico de volumen de fluido para predecir la dinámica de la formación de microburbujas en un dispositivo de microfluidos de enfoque de flujo (flow focusing) simétrico al eje para un sistema de gas-líquido.

En Canadá, Najafi y Masliyah (2008) propuso un nuevo método para la generación de burbujas de gas de una micropipeta. Este mé-

todo de pulsos de paso de presión de gas se utiliza para inyectar micro-volúmenes de gas en un líquido.

En Singapur, Xu et al. (2008) evaluó la eficiencia de generación de microburbujas de dos métodos de uso general, la agitación mecánica y sonificación, los resultados indicaron que el tratamiento con ultrasonidos genera microburbujas de una manera más eficaz que la agitación mecánica. Demostró también que el efecto del tamaño de las microburbujas puede ser afectado en gran medida por el método de generación; por lo tanto, el uso de un método de generación adecuado es especialmente importante para la aplicación de microburbujas.

En Irán, Nouri et al. (2009) mejora el rendimiento de un generador de microburbujas a través de la dependencia de las características de la dinámica de fluidos numéricamente y luego se ejecutan algunos experimentos.

En México, la investigación de las microburbujas es escasa pero no inexistente. Roldán (2005) propuso una aplicación de las microburbujas en el área de la medicina durante un ecocardiograma para incrementar la señal acústica proveniente del torrente sanguíneo. Gutiérrez-Torres (2008) implementó la inyección de microburbujas en la capa límite turbulenta en el flujo dentro de un canal cerrado utilizando la técnica de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV) para ver las modificaciones en la vorticidad y tasa de deformación, así entender el fenómeno físico de la reducción del arrastre por inyección de microburbujas. Martínez et al. (2012) investigó la flotación con microburbujas como una técnica en la industria de la concentración de minerales.

Aunque varias técnicas están disponibles para la generación de microburbujas,

se ha reportado que las propiedades de las microburbujas pueden ser afectadas por el método empleado para su generación (Onari 2007, Himuro 2007).

La investigación de microburbujas se ha convertido recientemente en un área activa de interés científico y tecnológico. Existen patentes de generadores de microburbujas, sin embargo, los conocimientos básicos de la actuación de los diferentes métodos de generación de microburbujas son insuficientes. Así mismo, las propiedades hidrodinámicas de las microburbujas no se conocen bien y los mecanismos de formación, reacción y destrucción no se han aclarado por completo.

La aportación de este trabajo es la construcción de un generador de microburbujas por lotes. En el generador por lotes, la producción de microburbujas no es constante ya que necesita un tiempo de recarga, así como de preparación para repetir el ciclo de producción. Tiene la ventaja de ser un método simple, con pocas partes móviles y se escala fácilmente debido a que el líquido puede estar en reposo durante la formación de las burbujas. En este trabajo se explora el efecto de control del tamaño de burbuja por medio de saltos de presión.

Metodología

Se diseñan y construyen dos generadores por lotes usando el método de salto de presión (ver Figura 2). El primer generador se construye en PVC y consta de una cámara de mezclado con un diámetro de 75 mm que está conectada a un tubo de 12 mm de diámetro y éste a su vez está acoplado a dos tubos del mismo diámetro mediante los que se suministra un flujo de aire y agua a una presión determinada. El flujo de estos fluidos es controlado mediante válvulas de globo. Del otro ex-

remo de la cámara, se tiene conectado un manómetro y un tubo de 12 mm de diámetro con una válvula para controlar el flujo de salida de las microburbujas y la generación por lotes.

transparente de polimetilmetacrilato. En la Figura 3 se muestra el dispositivo. La cámara es llenada con agua usando las válvulas de entrada y salida del lado izquierdo cerrándolas al terminar el proceso.

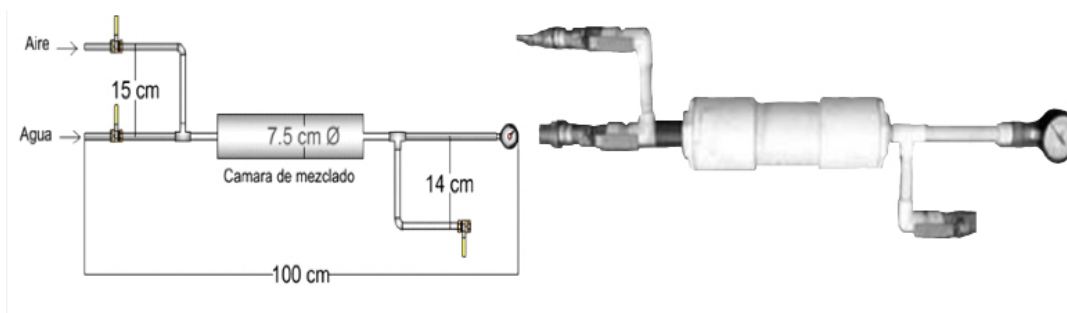


FIGURA 2. Diagrama y prototipo del generador de burbujas por salto de presión y lotes.

El generador se opera llenándolo completamente con un volumen de 500 ml de agua, posteriormente se introduce el aire hasta obtener el valor de la presión deseada. El rango de presiones analizado es de 0 a 7 bares, el cual se encuentra en el rango de seguridad para trabajar tubos de PVC. Sin embargo, por debajo de 3 bares no hubo producción de microburbujas. Así, el efecto de la presión es determinado para 3, 4, 5, 6, y 7 bares.

Con el fin de poder observar el mecanismo de formación de microburbujas la cámara de PVC fue remplazada por un tubo de sección transparente de polimetilmetacrilato. En la Figura 3 se muestra el dispositivo. La cámara es llenada con agua usando las válvulas de entrada y salida del lado izquierdo cerrándolas al terminar el proceso. El aire entra por la válvula del lado derecho hasta llegar a la presión deseada. La lectura del manómetro permite controlar la presión del experimento.



FIGURA 3. Segundo dispositivo generador de microburbujas por lotes.

Una vez estabilizada la presión al valor deseado (Figura 4), se libera abruptamente el fluido a presión atmosférica. En ese momento se observa la formación de una nube de microburbujas. Posteriormente se vierte en un contenedor el fluido con las microburbujas. Un microscopio estereoscópico y un objetivo micrométrico de 1mm con divisiones 0.01 se utilizaron para realizar las capturas de imagen

La determinación del diámetro de las burbujas fue realizada mediante un software de tratamiento de imágenes. Se observa que el tamaño de la cámara de mezcla no afecta al mecanismo de formación si se mantienen las mismas presiones, lo que facilita el proceso de escalamiento, pues se obtienen resultados idénticos con ambos prototipos.

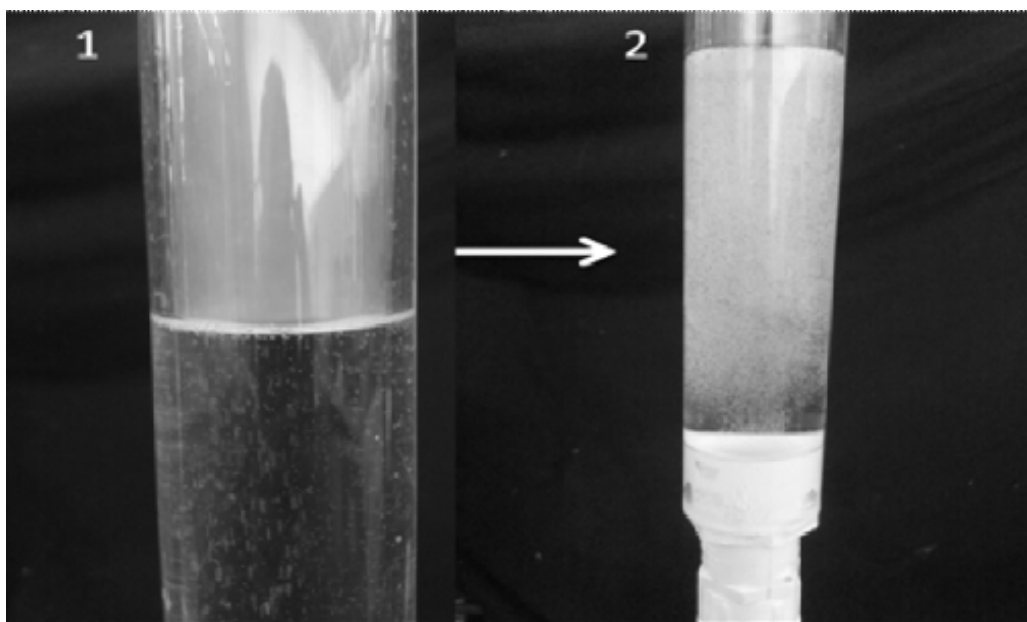


FIGURA 4. Sección transparente de polimetilmetacrilato con microburbujas.

Resultados y discusión

La Figura 5 muestra el diámetro equivalente medio obtenido con respecto a la diferencia de presión utilizada en los experimentos. Se registra una disminución del diámetro de las burbujas obtenidas a medida que la presión aumenta.

Para una presión de 3 bares se tiene un diámetro promedio de 116 micrómetros llegando a un diámetro de 65 micrómetros a 7 bares reduciendo su tamaño al 44%.

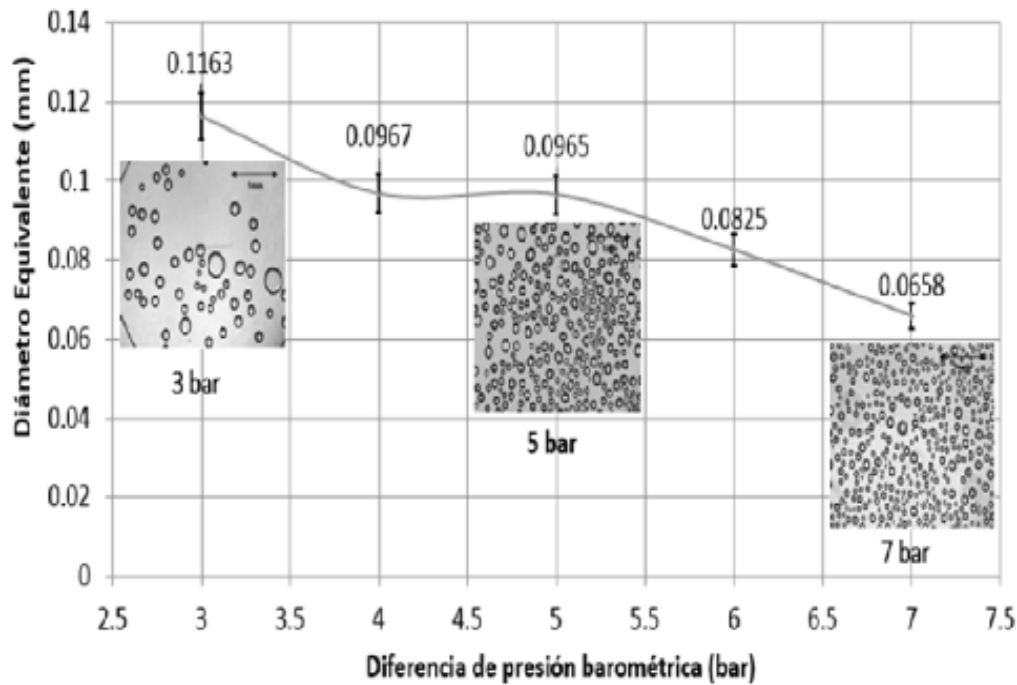


FIGURA 5. Gráfica del diámetro equivalente con respecto a la diferencia de presión. El tamaño de las barras de error representa la desviación estándar.

El fenómeno de crecimiento de la burbuja es complejo, ya que depende de la presencia de pequeñas imperfecciones en las superficies (y de diminutas partículas) conocidas como “sitios de nucleación”. A alta presión el fluido puede disolver gran cantidad de gas, de modo que si se hace bien el experimento, a alta presión se tendrá la concentración de saturación de gas c_s . Al cambiar bruscamente a una menor presión, el líquido queda sobre-saturado a menor presión, de modo que se producirá un número n finito de burbujas en los sitios de nucleación. El radio de estas burbujas iniciales R_0 está dado por el equilibrio entre presión, tensión superficial, es decir:

$$R_0 = \frac{\sigma}{\Delta p}$$

Donde Δp es la diferencia de presiones. Es por esto que una mayor diferencia de presiones resulta en diámetros de burbuja menores. Sin embargo el radio final de la burbuja será diferente de R_0 (que para el agua y aire es muy pequeño, del orden de micras). Éstas burbujas crecerán debido al transporte de gas por difusión desde la solución sobre-saturada (que se quiere “deshacer” de este exceso de gas disuelto) al interior de las burbujas. Las ecuaciones (diferenciales parciales) de concentración-difusión que describen este proceso fueron planteadas y resueltas por Epstein y Plesset (1950), tomando en cuenta varios casos entre los que se incluye el efecto de la tensión superficial. Se muestra que el crecimiento es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo. Si la solución sobre-saturada no cambiase su concentración, la burbuja continuaría creciendo indefinidamente

sta alcanzar la superficie por flotabilidad). En la realidad la solución pierde una cantidad de gas equivalente a

$$\Delta m = \rho V \Delta c$$

donde m es la cantidad de masa transferida, ρ es la densidad del gas, V es el volumen total de líquido y Δc es la diferencia de concentraciones a las presiones alta y baja. Este transporte se detendrá cuando la concentración llegue a la saturación correspondiente a la presión baja. Si se calcula la cantidad de gas transferido a las burbujas en términos de la variación de volumen de las n burbujas que lo contienen (suponiendo que son del mismo tamaño):

$$n \frac{4\pi}{3} (R^3 - R_0^3) = V \Delta c$$

entonces se puede calcular el radio final de las burbujas, si se conoce el número de burbujas por unidad de volumen n/V (que en este caso no se pudo medir¹):

$$R = \left[\frac{3}{4\pi} \frac{V}{n} \Delta c + R_0^3 \right]^{1/3}$$

Nótese que el segundo término del lado derecho es despreciable, por ser radio inicial tan pequeño. Esta última ecuación podría servir para estimar la densidad volumétrica de burbujas en términos de los radios efecti

vos de burbuja medidos (que para este caso es del orden de 105 burbujas/m³). Queda claro de estas simples expresiones que una diferencia de presiones mayor implica una densidad de burbujas mayor, así como un radio de burbujas menor. Ambos fenómenos se observaron en el experimento.

Conclusiones

Este trabajo presenta una revisión sobre las aplicaciones y los métodos existentes para la producción de micro burbujas. En particular se utiliza el método de saltos de presión, para determinar la relación entre la presión y el diámetro equivalente resultante de las burbujas. Las conclusiones de esta serie de experimentos se enlistan a continuación:

- Se diseñan y construyen dos generadores de microburbujas basados en diferencias de presión.
- Se obtienen burbujas con diámetros en el rango de 65 a 116 micras.
- Se determinan que la diferencia de presión a la cual inicia la formación de microburbujas es de 3 bares.
- Se encontró que a medida que aumenta la diferencia de presiones, las burbujas obtenidas son de menor diámetro.

• El tamaño del cuerpo del generador no influye en el diámetro de las burbujas formadas, mientras se utilicen las mismas presiones.

Esto es una ventaja, que permite escalar fácilmente este tipo de dispositivos.

• Se presenta un estimado del radio final de burbuja en función de la densidad de burbujas y los parámetros medidos que concuerda cualitativamente con las observaciones.

• Queda claro de estas simples expresiones que una diferencia de presiones mayor implica una densidad de burbujas mayor, así como un radio de burbujas menor. Ambos fenómenos se observaron en el experimento

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento de la Coordinación de la Investigación Científica - UMSNH y del programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IN103321.

Bibliografía

AHMED, W. H., AMAN, A. M., BADR, H. M., & AL-QUTUB, A. M. (2016). AIR INJECTION METHODS: THE KEY TO A BETTER PERFORMANCE OF AIRLIFT PUMPS. *EXPERIMENTAL THERMAL AND FLUID SCIENCE*, 70, 354-365. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/ABS/PII/S0894177715002678](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0894177715002678)

AZUMA, T., OTOMO, K., KUNITOU, M., SHIMIZU, M., HOSOMARU, K., MIKATA, S., & HAYASHI, T. (2019). REMOVAL OF PHARMACEUTICALS IN WATER BY INTRODUCTION OF OZONATED MICROBUBBLES. *SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY*, 212, 483-489. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/ABS/PII/S1383586618324195](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586618324195)

EPSTEIN, P. S., & PLESSET, M. S. (1950). ON THE STABILITY OF GAS BUBBLES IN LIQUID-GAS SOLUTIONS. *THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS*, 18(11), 1505-1509.

GAÑÁN-CALVO, A. M. (2004). PERFECTLY MONODISPERSE MICROBUBBLING BY CAPILLARY FLOW FOCUSING: AN ALTERNATE PHYSICAL DESCRIPTION AND UNIVERSAL SCALING. *PHYSICAL REVIEW E*, 69(2), 027301.

GAO, Y., MA, J., & DING, Y. (2021). NUMERICAL SIMULATION ON THE NOISE REDUCTION OF UNDERWATER PILE-DRIVING USING A BUBBLE CURTAIN. IN *JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES* (VOL. 1865, NO. 3, P. 032027). IOP PUBLISHING. [HTTPS://JOURNALS.APS.ORG/PRE/ABSTRACT/10.1103/PhysRevE.69.027301](https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.69.027301)

GORDILLO, J. M., CHENG, Z., GANAN-CALVO, A. M., MARQUEZ, M., & WEITZ, D. A. (2004). A NEW DEVICE FOR THE GENERATION OF MICROBUBBLES. *PHYSICS OF FLUIDS*, 16(8), 2828-2834. [HTTPS://AIP.SCITATION.ORG/DOI/ABS/10.1063/1.1737739](https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1737739)

GUTIÉRREZ TORRES, C. D. C., HASSAN, Y. A., JIMÉNEZ BERNAL, J. A., & BARBOSA SALDANA, J. G. (2008). DRAG REDUCTION BY MICROBUBBLE INJECTION IN A CHANNEL FLOW. *REVISTA MEXICANA DE FÍSICA*, 54(1), 8-14. [HTTP://WWW.SCIELO.ORG/MX/SCIELO.PHP?PID=S0035-001X2008000100003&SCRIPT=SCI_ABSTRACT&TLNG=PT](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0035-001X2008000100003&script=sci_abstract&tlng=pt)

HENSIRISAK, P., PARASUKULSATID, P., AGBLEVOR, F. A., CUNDIFF, J. S., & VELANDER, W. H. (2002). SCALE-UP OF MICROBUBBLE DISPERSION GENERATOR FOR AEROBIC FERMENTATION. *APPLIED BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY*, 101(3), 211-227. [HTTPS://LINK.SPRINGER.COM/ARTICLE/10.1385/ABAB:101:3:211](https://link.springer.com/article/10.1385/ABAB:101:3:211)

HERRADA, M. A., & GAÑÁN-CALVO, A. M. (2009). SWIRL FLOW FOCUSING: A NOVEL PROCEDURE FOR THE MASSIVE PRODUCTION OF MONODISPERSE MICROBUBBLES. *PHYSICS OF FLUIDS*, 21(4), 042003. [HTTPS://AIP.SCITATION.ORG/DOI/ABS/10.1063/1.3123533](https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.3123533)

HIMURO, S. (2007). A NEW WASHING METHOD USING MICROBUBBLES. *PROGRESS IN MULTIPHASE FLOW RESEARCH*, 2, 39-45. [HTTPS://CI.NII.AC.JP/NAID/10021105087/](https://ci.nii.ac.jp/naid/10021105087/)

- HIRAI, S., KOMURA, M., SAECHOUT, V., SUGAYA, S., AOKI, S., & TAKAHASHI, T. (2009). DEVELOPMENT OF HIGH DENSITY MICRO-BUBBLE GENERATOR FOR ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY. *EL EKTRONIKA IR ELEKTROTECHNIKA*, 92(4), 37-40.
[HTTPS://WWW.EEJOURNAL.KTU.LT/INDEX.PHP/ELT/ARTICLE/VIEW/10222](https://www.eejournal.ktu.lt/index.php/elt/article/view/10222)
- HOAGE, J. B., & MESSER, L. A. (2005). U.S. PATENT NO. 6,884,353. WASHINGTON, DC: U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE.
- ISHIKAWA, M., IRABU, K., TERUYA, I., & NITTA, M. (2009). PIV MEASUREMENT OF A CONTRACTION FLOW USING MICRO-BUBBLE TRACER. IN *JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES* (VOL. 147, NO. 1, P. 012010). IOP PUBLISHING. [HTTPS://IOPSCIENCE.IOP.ORG/ARTICLE/10.1088/1742-6596/147/1/012010/META](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/147/1/012010/meta)
- KOBAYASHI, D., HAYASHIDA, Y., SANO, K., & TERASAKA, K. (2011). AGGLOMERATION AND RAPID ASCENT OF MICROBUBBLES BY ULTRASONIC IRRADIATION. *ULTRASONICS SONOCHEMISTRY*, 18(5), 1193-1196. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S1350417710002208](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417710002208)
- MARTÍNEZ-GÓMEZ, V., PÉREZ-GARIBAY, R., RUBIO-ROJAS, J. (2012), FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS FINAS UTILIZANDO MICROBURBUJAS. XXI CONGRESO INTERNACIONAL DE METALURGIA EXTRACTIVA, MÉXICO, D.F.
- MIYAZAKI, R., OGASAWARA, T., TAKEUCHI, S., TAKAGI, S., & MATSUMOTO, Y. (2010). SCALING AND DYNAMICS OF MICROBUBBLE GENERATION IN MICROFLUIDIC T-JUNCTION. IN 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIPHASE FLOW-ICMF 2010.
- SCALING AND DYNAMICS OF MICROBUBBLE GENERATION IN MICROFLUIDIC T-JUNCTION. IN 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIPHASE FLOW-ICMF 2010.
- NAJAFI, A. S., XU, Z., & MASLIYAH, J. (2008). SINGLE MICRO-BUBBLE GENERATION BY PRESSURE PULSE TECHNIQUE. *CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE*, 63(7), 1779-1787. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0009250907009025](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250907009025)
- NOURI, N. M., SARRESHTHDARI, A., & MAGHSOUDI, E. (2009). Improvement of a Microbubble Generator's Performance Via Reliance on Fluid Dynamics Characteristics. *JOURNA*
- ONARI, H. (2005). MICROBUBBLES AND ITS APPLICATION TO THE FISHERIES TECHNOLOGY. *CONCEPTS IN BASIC BUBBLE AND FOAM ENGINEERING*, 475-484.L
- PIMENTEL-DOMÍNGUEZ, R., HERNÁNDEZ-CORDERO, J., & ZENIT, R. (2012). MICROBUBBLE GENERATION USING FIBER OPTIC TIPS COATED WITH NANOPARTICLES. *OPTICS EXPRESS*, 20(8), 8732-8740. [HTTPS://WWW.OSAPUBLISHING.ORG/OE/FULLTEXT.CFM?URI=OE-20-8-8732&ID=231659](https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-20-8-8732&id=231659)
- ROLDÁN, F. J. (2005). INTERACCIÓN ENTRE MICROBURBUJAS Y ULTRASONIDO. *APLICACIONES PRESENTES Y FUTURAS DE LOS EECORREALZADORES*. *ARCHIVOS DE CARDIOLOGÍA DE MÉXICO*, 75(2), 222-226. [HTTP://WWW.SCIELO.ORG.MX/SCIELO.PHP?SCRIPT=SCI_ARTTEXT&PID=S1405-99402005000200015](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-99402005000200015)
- TERASAKA, K., & SHINPO, Y. (2007). RECOVERY OF FINE CARBON PARTICLES FROM WATER USING MICROBUBBLE FLOTATION. IN *PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIPHASE FLOW*.
- TERASAKA, K. (2008). REMOVAL OF IRON OXIDE FINE PARTICLES FROM WASTE WATER USING MICROBUBBLE FLOTATION. *PROG. MULTIPHASE FLOW RES.*, 3, 43-50. [HTTPS://CI.NII.AC.JP/NAID/80019580709/](https://ci.nii.ac.jp/naid/80019580709/)
- TERASAKA, K., HIRABAYASHI, A., NISHINO, T., FUJIOKA, S., & KOBAYASHI, D. (2011). DEVELOPMENT OF MICROBUBBLE AERATOR FOR WASTE WATER TREATMENT USING AEROBIC ACTIVATED SLUDGE. *CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE*, 66(14), 3172-3179. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0009250911001382](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250911001382)
- TOCHE N., 04 DE AGOSTO 2021, OXIGENAR LOS CANALES DE XOCHIMILCO CON AYUDA DE LA PROPIA COMUNIDAD, *EL ECONOMISTA*. [HTTPS://WWW.ELECONOMISTA.COM.MX/ARTESEIDEAS/OXIGENAR-LOS-CANALES-DE-XOCHIMILCO-CON-AYUDA-DE-LA-PROPIA-COMUNIDAD-20210804-0013](https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/OXIGENAR-LOS-CANALES-DE-XOCHIMILCO-CON-AYUDA-DE-LA-PROPIA-COMUNIDAD-20210804-0013). HTML
- WATANABE, C., TODA, Y., SAITO, J., TERASAKA, K., & KOBAYASHI, D. (2010). GENERATION OF MICROWATER DROPLETS IN OIL USING CONDENSATION OF STEAM BUBBLES. IN *PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIPHASE FLOW P* (VOL. 2, P. 71).
- XU, Q., NAKAJIMA, M., ICHIKAWA, S., NAKAMURA, N., & SHIINA, T. (2008). A COMPARATIVE STUDY OF MICROBUBBLE GENERATION BY MECHANICAL AGITATION AND SONICATION. *INNOVATIVE FOOD SCIENCE & EMERGING TECHNOLOGIES*, 9(4), 489-494. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/ABS/PII/S1466856408000325](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1466856408000325)
- ZIMMERMAN, W. B., TESAR, V., BUTLER, S., & BANDULASENA, H. C. (2008). MICROBUBBLE GENERATION. *RECENT PATENTS ON ENGINEERING*, 2(1), 1-8. [HTTPS://WWW.INGENTACONNECT.COM/CONTENT/BEN/ENG/2008/00000002/00000001/ART00001#RES](https://www.ingentaconnect.com/content/ben/eng/2008/00000002/00000001/ART00001#RES)

Ciencia Nicolaita 83, año 30, diciembre 2021-enero 2022, es una publicación cuatrimestral editada por la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, con domicilio en Edificio C-2, Ciudad Universitaria, C. P. 58030, Morelia, Michoacán. Tel. +52 (443) 3272366, (443) 316 7436 (443) 322 35 00 EXT. 4112. Correo electrónico: ciencianicolaita.publicaciones@umich.mx. Página web: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn>. Editor responsable: Pedro Corona Chávez. ISSN: 2007 7068 gestionado ante el Instituto Nacional de Derechos de Autor, Registro Latindex No. 21693. Responsable de la última actualización de este número: Hugo Cesar Guzmán Rivera, fecha de última modificación: 9 de febrero de 2022.

Ciencia Nicolaita 83 fue formada y preparada para su versión electrónica, Arte y Diseño editorial por Lic, Artes Visuales: Cesar Eduardo Gallardo Arciga Morelia, Mich. México. Tel. 443-7261108. Correo electrónico: cesarnucleoarte@gmail.com

DERECHO DE USO

Se permite la reproducción, publicación, transmisión, difusión en cualquier modo o medio de cualquier parte del material contenido en el archivo (únicamente texto sin imágenes) sin alterar o modificar el original, con fines de referencia y/o reproducción, académicos o educativos, con excepción de los personales o comerciales, citando la fuente de referencia y otorgando el crédito correspondiente al autor y al editor.

Sitio implementado por el equipo de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo sobre la plataforma OJS3/PKP