

# Caracterización del tamaño de burbuja en flujos altamente aireados

## *Characterization of the bubble size in highly aerated flows*

(Recepción 28/02/2019; Aceptación 03/07/2019)

Marco F.<sup>1</sup>; García J.T.<sup>1</sup>, Castillo L.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas  
Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)  
Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena, España  
Teléfono: 868071014  
Email: francisca.marco@upct.es

**Resumen.** La aireación es uno de los procesos clave para estudiar el resalto hidráulico. El artículo se centra en la caracterización del tamaño de burbujas en flujos altamente aireados mediante el análisis de imágenes con el módulo de procesamiento de imágenes de MATLAB. Se desarrolló un algoritmo para el ajuste del contorno de las burbujas con funciones de detección de bordes y el ajuste de elipses a dichos bordes. Los contornos fueron mejorados mediante el análisis de curvatura. A diferencia de estudios previos, esta metodología nos permite obtener tamaños de burbuja en flujos con grandes cantidades de aire.

**Palabras clave.** Aireación; procesamiento de imágenes; tamaño de burbuja.

**Abstract.** Aeration is one of the key processes in the study of hydraulic jumps. This article focuses on the bubble size characterization of a highly aerated flow by using the Image Processing toolbox with MATLAB. An algorithm was developed to adjust the bubbles contour with edge functions followed by ellipse fitting. Contours were improved through curvature analysis. Unlike previous studies, this methodology allows us to obtain bubble sizes in flows with large amounts of air.

**Keywords.** Aeration; bubble size; image processing.

## 1. Introducción

En los flujos de superficie libre que ocurren en estructuras hidráulicas (e.g. vertederos, disipadores de energía, etc) se produce una importante interacción entre las fases agua-aire, que resulta en intercambio de energía, transferencia de vorticidad y difusión de gases. La aireación puede contribuir a la disipación de energía, ayudando a asegurar el funcionamiento de estructuras hidráulicas, como es el caso de los cuencos de disipación de energía.

Por este motivo, para el estudio de las estructuras hidráulicas, es importante caracterizar, no sólo la fase de agua, sino también el movimiento simultáneo de aire en el sistema. La consideración de los efectos del aire arrastrado por el flujo de agua, puede ser esencial para garantizar el correcto y seguro funcionamiento de una estructura hidráulica.

Un flujo altamente aireado es aquel que arrastra una cantidad significativa de aire que se descompone en burbujas, y que se caracteriza por su concentración, su tamaño y su desplazamiento.

Durante las últimas décadas, numerosos investigadores han estudiado la entrada de aire en una masa de agua (Wood, 1991; Chanson, 1996; Ervine, 1998; Cummings y Chanson, 1999), así como el tamaño de burbuja (Gulliver et al., 1990). Actualmente, para el estudio de la aireación y el tamaño de burbuja se pueden utilizar diferentes técnicas como la fibra óptica, la sonda de conductividad o el tratamiento de imágenes. Esta última metodología ha permitido distinguir células en el flujo sanguíneo (Cuevas et al., 2013); partículas y

nanopartículas en el campo industrial (Zafari, 2015) o burbujas en flujos agua-aire (Lin et al, 2008; Al-Lashi y Gunn, 2016; Mohagheghian y Elbing, 2018). Lin et al. (2008) estudiaron el tamaño de burbuja en procesos industriales de flotación, Al-Lashi y Gunn (2016) se centraron en el procesamiento automatizado de imágenes de burbujas presentes en la rotura de las olas y, Mohagheghian y Elbing (2018) estudiaron la caracterización del tamaño de burbuja en una columna de agua con un inyector de aire (flujo poco aireado). A diferencia de estudios previos, donde se han estudiado flujos con baja cantidad de aire, en el presente trabajo se describen una serie de tratamientos desarrollados en imágenes tomadas en un flujo altamente aireado y perteneciente a un resalto hidráulico sumergido, con la finalidad de delimitar el contorno de las burbujas existentes. El hecho de que el flujo sea altamente aireado obliga a que tengan que aplicarse múltiples tratamientos en cadena y de forma iterativa.

## 2. Material y métodos

La infraestructura utilizada se encuentra en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Politécnica de Cartagena y cuenta con una infraestructura para analizar la disipación de energía de chorros turbulentos rectangulares de vertido libre (Fig. 1). Está diseñada para analizar caudales entre 10 y 200 l/s, con alturas de vertido entre 2.20 y 3.50 m, y colchones de agua que oscilan desde el impacto directo hasta 1 m. En el resalto sumergido que se forma aguas abajo del punto de impacto se han

realizado fotografías a distintas alturas del fondo y a diferentes distancias del punto de impacto, para obtener una mejor caracterización del tamaño de burbuja. Las fotografías se han llevado a cabo con una cámara réflex y una iluminación suficiente, obteniéndose imágenes con un tamaño de ventana de 0.08x0.08 m. Las imágenes de partida son RGB de 16 bits.



Figura 1. Infraestructura del laboratorio para el estudio de chorros turbulentos y bifásicos.

La existencia de un elevado número de burbujas hace que el contorno de cada una de las burbujas existentes no se encuentre rodeado por agua, lo que dificulta enormemente la definición de sus límites (Figura 2).

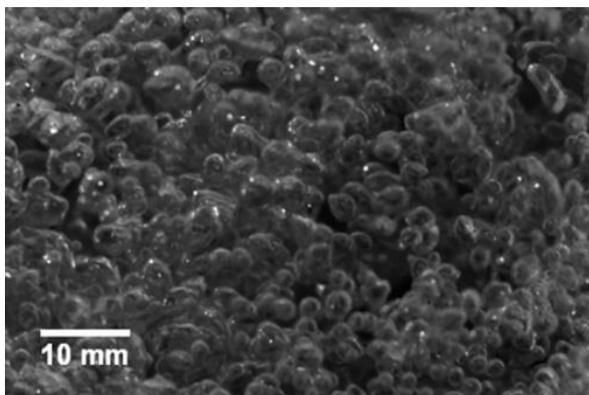


Figura 2. Imagen en escala de grises tomada en una sección longitudinal situada a 0.10 m aguas abajo del punto de impacto y a una altura de 0.20 m desde el fondo del cuenco de disipación (Carrillo et al., 2019).

Procesos de tratamiento de imágenes convencionales, como el uso de un umbral de intensidad para distinguir la diferencia de fases agua-aire, junto con procesos de erosión y dilatado de la fase de aire caracterizada para mejorar el ajuste, no han permitido delimitar las burbujas de manera directa y fiable. Tampoco los procesos de segmentación de la imagen para delimitar la burbuja, han dado resultado, debido a que cada burbuja refleja la luz de manera distinta en su extensión.

Por lo tanto, en el presente trabajo se ha utilizado como primera aproximación al contorno de cada burbuja, una técnica de detección de bordes a partir del gradiente de intensidad entre píxeles. Como resultado de esto, se obtiene una imagen binaria con

múltiples polilíneas que conforman el contorno inicial de las burbujas. A partir de esto, se ha ajustado a cada contorno una elipse y se ha comprobado la bondad del ajuste de la elipse a los puntos de la polilínea. En muchos casos, estas polilíneas no se corresponden con una única burbuja, por lo que el ajuste no se acepta y se opta por investigar dichas polilíneas buscando la existencia de puntos de inflexión, entendidos éstos como límites entre burbujas distintas y donde se introducirá una discontinuidad en la polilínea. Este proceso puede derivar en dos iteraciones en cada polilínea. Una vez que los contornos no poseen puntos de inflexión se procede a ajustar elipses mediante la técnica de mínimos cuadrados a partir de un conjunto dado de puntos, y así poder obtener la representación cónica de una elipse con una posible inclinación (Gal, 2003). Un post proceso semi-automatizado elimina las elipses que quedan en el interior de otras, las que poseen áreas muy similares o cuya propuesta da lugar a un eje menor fuera de rango. Todos estos procesos se han realizado por medio del procesamiento de imágenes de MATLAB.

### 3. Resultados

A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos en el proceso de definición de burbujas en flujos altamente aireados. La Figura 3 muestra dos casos en los que la elipse ajustada con una primera iteración es aceptada. Las Figuras 4 y 5 en su parte izquierda muestran dos casos en los que la polilínea de borde de burbuja no se ajusta a una única elipse en la primera iteración. En la parte derecha de las mismas se observa el resultado final obtenido al cortar las polilíneas por los puntos de inflexión encontrados y el nuevo ajuste de elipses propuesto en las nuevas polilíneas resultantes.

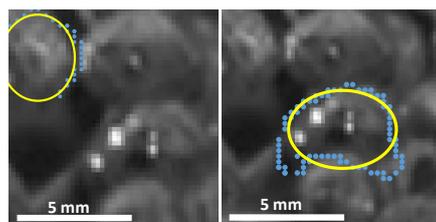


Figura 3. Vista del borde de burbuja junto con la elipse ajustada a dicho borde para dos casos validados en una primera iteración.

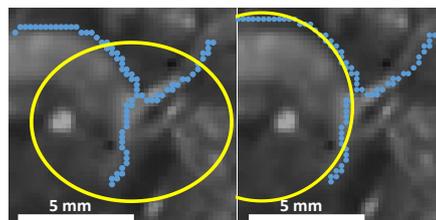


Figura 4. Vista del borde de burbuja junto con elipse propuesta en una primera iteración no validada (izqda.). Elipse propuesta finalmente tras cortar la polilínea en el punto de inflexión detectado (dcha.).

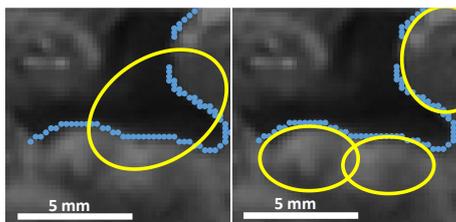


Figura 5. Vista del borde de burbuja junto con elipse propuesta en una primera iteración no validada (izqda.). Elipses propuestas finalmente tras cortar la polilínea en los dos puntos de inflexión detectados (dcha.).

La Figura 6 detalla los puntos de inflexión seleccionados para el corte de las polilíneas originales de las Figuras 4 y 5. Estos puntos están ubicados donde se anula la segunda derivada, y de acuerdo a los valores donde se maximiza la primera derivada de cada uno de los contornos analizados.

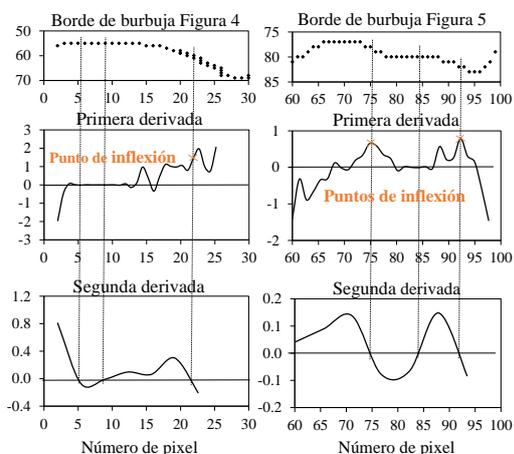


Figura 6. Gráficos de la primera y segunda derivada de la curva de ajuste para los contorno de burbuja analizados en las Figuras 4 y 5.

La Figura 7 muestra el detalle de los ajustes finales obtenidos a partir de la metodología propuesta en una parte de la imagen analizada. Con el procesamiento de imágenes se ha obtenido un tamaño promedio de burbujas de unos 3 mm. Los valores obtenidos se corresponden a los obtenidos con otras técnicas en Carrillo et al. (2018).

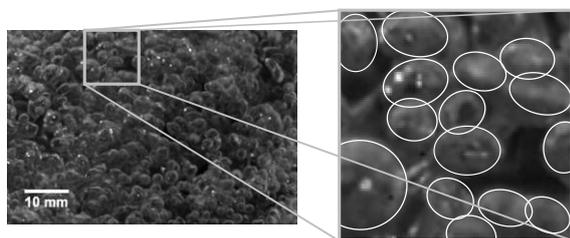


Figura 7. Detalle de las burbujas en una sección longitudinal situada a 0.10 m aguas abajo del punto de impacto y a una altura de 0.20 m desde el fondo del cuenco de disipación y ajuste final obtenido con el análisis de imágenes (Carrillo et al., 2019).

## 4. Conclusiones

En el presente trabajo se han llevado a cabo diferentes procesos de tratamiento de imágenes con el Image Processing toolbox de MATLAB para poder ajustar el contorno de las burbujas existentes en un flujo altamente aireado. Para ello, se han llevado a

cabo funciones de detección de bordes, creación de elipses y depuración mediante el análisis de la primera y la segunda derivada. Los resultados obtenidos en este primer trabajo son considerados aceptables, obteniéndose tamaños de burbuja muy similares a los obtenidos con otras técnicas como es la fibra óptica (Carrillo et al., 2018).

Cabe destacar que el resultado obtenido puede ser mejorado con la aplicación de nuevas funciones para el perfeccionamiento de la forma de la burbuja y la automatización del proceso, en el cuál se está trabajando.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por la ayuda financiera recibida de la beca de Formación de Profesorado Universitario (FPU), número de referencia FPU16/05658.

## Referencias

- Al-Lashi R. S., Gunn S.R. (2016). "Automated Processing of Oceanic Bubble Images for Measuring Bubble Size Distributions underneath Breaking Waves". *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 2016, 33(8):1701-1714.
- Carrillo J. M., Castillo L. G., Marco F., García J. T., (2018). "Experimental and numerical analysis of two-phase flows in plunge pools". 7th International Symposium on Hydraulic Structures, Aachen, Germany.
- Carrillo J. M., Castillo L. G., Marco F., García J. T., (2019). "Experimental and numerical analysis of two-phase flows in plunge pools". *Journal of Hydraulic Engineering*. Manuscript submitted for publication.
- Chanson, H. (1996). "Air bubble entrainment in free-surface turbulent shear flows". Ed: Academic Press. ISBN: 0-12-168110-6.
- Clift, R., Grace, J.R., Weber, M.E. (1978). "Bubbles, drops and particles". Ed: Academic Press. ISBN: 012176950X.
- Cuevas E., Díaz M., Manzanares M., Zaldivar D., Perez-Cisneros M. (2013). "An Improved Computer Vision Method for White Blood Cells Detection". *Journal Computational and Mathematical Methods in Medicine* 2013, 2013:1-14.
- Cummings, P.D. and Chanson, H. (1999). "An experimental study of individual air bubble entrainment at a planar plunging jet". *Journal Chemical Engineering Research and Design* 1999; 77(2):87-169.
- Ervine, D.A. (1998). "Air entrainment in hydraulic structures: A review". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water, Maritime and Energy*, 130(3), pp. 142-153.
- Gal, O. (2003). "Fit ellipse algorithm version 1.0.0.0 (4.19 KB)". [https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/3215-fit\\_ellipse](https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/3215-fit_ellipse).
- Gulliver J.S., Thene J.R., Rindels A.J. (1990). "Indexing Gas Transfer in Self-Aerated Flows".

Journal of Environmental Engineering; 116(3):503-523.

Lin B., Recke B., Knudsen J.K.H., Jorgensen S. B. (2008). "Bubble size estimation for flotation processes". Journal Minerals Engineering 2008; 21(7):539-548.

Mohagheghian S., Elbing B.R. (2018). "Characterization of Bubble Size Distributions within a Bubble Column". Journal Fluids 2018; 13(3):1-17.

RBI-Instrumentation (2012). ISO Software user's guide.

Wood I.R. (1991). "Air entrainment in free-surface flows". Ed: IAHR. ISBN: 90-6191-994-0.

Zafari S., Eerola T., Sampo J., Kälviäinen H., Haario H. (2015). "Segmentation of Overlapping Elliptical Objects in Silhouette Images". IEEE Transactions on Image Processing, 24(12), pp. 5942-5952.