

PERFILES DE CONCENTRACIÓN DE AIRE OBTENIDOS MEDIANTE UNA TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN

OSCAR POZOS ESTRADA

Introducción

En este artículo se presenta una investigación experimental, en la que se utilizó una técnica de visualización para obtener los perfiles de concentración de aire que se generan en una serie de saltos hidráulicos al interior de un dispositivo que simula un túnel de una presa, que ocurren inmediatamente aguas abajo de las compuertas cuando éstas están parcialmente abiertas. La técnica de visualización se basa en la suposición de que los perfiles de concentración de aire pueden ser estimados a partir de la intensidad de píxeles de cada fotografía; además, ofrece la posibilidad de obtener tales perfiles en cualquier punto a lo largo del salto sin perturbar el flujo. Posteriormente, los resultados obtenidos mediante las imágenes fueron comparadas con los perfiles de concentración de aire registrados con una sonda de conductividad de doble punta, observándose una muy buena concordancia. Esto demuestra que el procedimiento de procesamiento de imágenes puede ser una herramienta poderosa, para complementar las mediciones que se hacen de manera intrusiva con sondas o cualquier otro instrumento.

Técnica de visualización para el procesamiento de imágenes

Una técnica de visualización para el procesamiento de imágenes fue utilizada para obtener la concentración de aire a partir de fotografías en tonos de grises. Esta técnica consta de dos algoritmos. El primero consiste en la edición de imágenes (EI) y el segundo en un algoritmo de matriz de intensidad de píxeles (MIP). Los dos deben ser aplicados a todas las imágenes. El primero es de suma importancia porque permite la calibración del procedimiento para el procesamiento de imágenes usando los datos recolectados con la sonda de conductividad de doble punta. El segundo calcula la matriz de intensidad de píxeles necesaria para obtener los perfiles de concentración de aire.

El algoritmo EI se basa en la lógica difusa, ampliamente utilizada en el procesamiento de imágenes desde la década de los sesenta del siglo pasado. Sus aplicaciones son varias, puede

ser utilizada para mejorar el contraste de imágenes, así como para mejorar el color de las mismas. Además, permite el uso de funciones, límites (o umbrales) y condicionales *if-then*.

Las imágenes obtenidas durante las pruebas muestran dos áreas distintas divididas por la superficie del agua: el área arriba de la superficie del agua donde los píxeles negros representan una concentración de aire de 100% y el área debajo de la superficie del agua donde los píxeles grises representan una concentración de aire menor que 100% (ver figura 1). Debido a la naturaleza inestable de la superficie del agua no es posible definir un límite claro entre estas dos áreas. Además, debido a que un píxel negro tiene una intensidad de píxel $p_i = 0$ y un píxel blanco tiene $p_i = 255$, el algoritmo editor de imágenes tiene que distinguir entre un píxel negro arriba de la superficie del agua (100% de aire) y un píxel negro debajo de la superficie del agua (0% de aire). Cada imagen está definida por una matriz bidimensional de intensidad de píxeles $P_{i,j}$ con valores que van desde 0 a 255, con una dimensión $(m \times n)$ con filas y columnas definidas por los índices i y j , respectivamente.

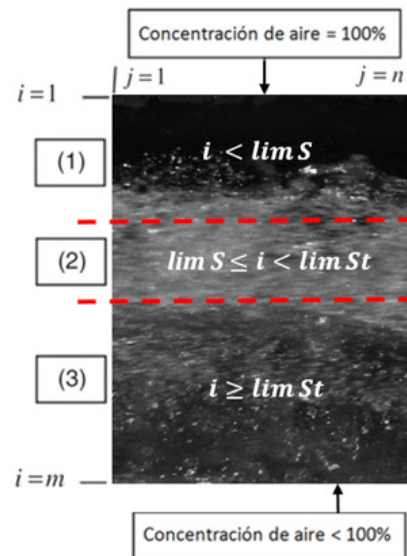


Figura 1. Definición de las tres áreas en escala de grises de la imagen

El algoritmo EI permite editar la imagen original $P_{i,j}$ para obtener una imagen final $P_{i,j}^f$ dividida en tres diferentes áreas, tal como se muestra en la figura 1. Una de las dificultades durante el procesamiento de imágenes fue ajustar la

localización de la superficie del agua, definida por un límite superior ($lim S$) y uno inferior ($lim St$), debido a la superficie oscilante del agua generada por la naturaleza turbulenta del salto hidráulico.

Con los límites fijados $lim S$ y $lim St$, las tres áreas definidas en la figura 1 claramente se pueden identificar como: 1) el área sobre la superficie del agua denominada $i < lim S$; 2) el área de transición identificada como $lim S \leq i < lim St$ y 3) el área debajo de la superficie del agua identificada como $i \geq lim St$.

Por otra parte, el objetivo de la matriz de intensidad de píxeles (MIP) es calcular el promedio de intensidad de píxeles a través del tiempo, para predecir la concentración de aire en cualquier punto dentro de la imagen PI_{ij}^f .

Medición de las concentraciones

Los componentes principales del dispositivo experimental son un tanque de carga constante de 2.0 m x 1.0 m en la base, con una altura de 1.1 m, una bomba centrífuga de 20 hp y una tubería de PVC transparente de 9 m de longitud. La sección de medición mide 1.2 m y se encuentra en el interior de una caja de acrílico de 1.2 m x 0.4 m x 0.35 m. La caja de acrílico se llena por completo de agua para disminuir la reflexión de la luz y el efecto de curvatura de la tubería al momento de tomar las fotografías. Para obtener los datos con una sonda de conductividad de doble punta se hizo una perforación en la parte superior de la tubería PVC transparente. En la figura 2 se muestra la sección de medición.

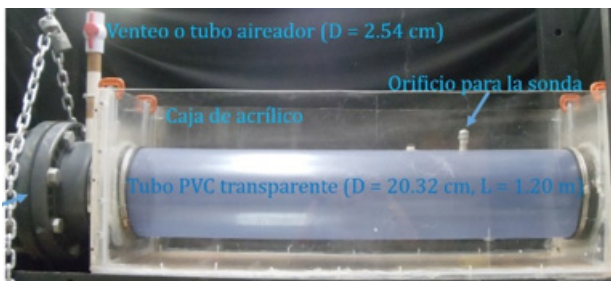


Figura 2. Sección de medición del dispositivo experimental

Las concentraciones de aire en una serie de saltos hidráulicos fueron medidas para diferentes aperturas de válvulas de compuerta que variaron desde 10 hasta 50%. Las compuertas fueron fabricadas con acrílico. Es importante mencionar que el porcentaje de apertura de las compuertas se refiere al porcentaje del área por donde pasa el agua y no a una altura de apertura en sentido vertical (figura 3).

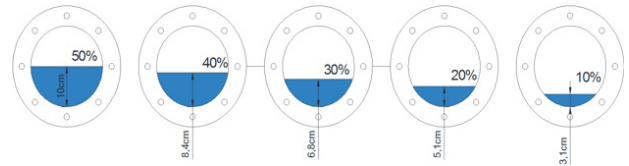


Figura 3. Esquema de las válvulas de compuerta utilizadas en la investigación

Durante las pruebas con las cinco compuertas el salto hidráulico nunca selló el conducto, es decir, la tubería trabajó parcialmente llena hasta la descarga. Para todo el rango de caudales ensayados, el salto se forzó para que siempre ocurriera en el tramo de tubería que se ubica dentro de la caja de acrílico. En la figura 4 se observa el salto hidráulico, el flujo a superficie libre y la sonda registrando las concentraciones de aire.

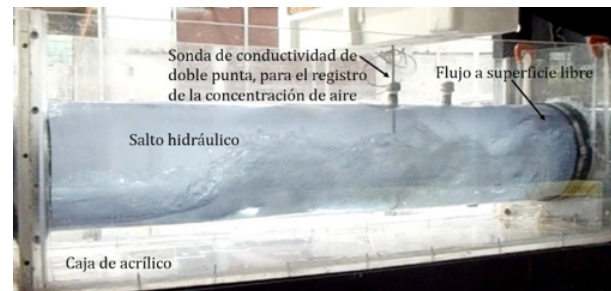


Figura 4. Salto hidráulico en la sección de medición

Una cámara de alta velocidad fue utilizada para capturar las fotografías para cada apertura de compuerta. Las fotografías del salto hidráulico aguas abajo de la compuerta fueron tomadas a 500 fps (fotogramas por segundo) con un tamaño de resolución de 900 x 600 píxeles. Durante cada prueba se capturaron mil fotografías en escala de grises que fueron guardadas en formato TIFF (Tagged Image File Format). Posteriormente, estas imágenes fueron analizadas con los algoritmos EI y MIP para evaluar el porcentaje de concentración de aire en función de la intensidad de los píxeles.

Adicionalmente, la concentración de aire en el flujo agua-aire generado por el salto hidráulico fue medida con una sonda de conductividad de doble punta que registra la conductividad del agua y del aire. La sonda se introduce en el centro de la tubería a través de un orificio ubicado 73 cm aguas abajo de la compuerta (figura 2). Se registraron los datos en sentido vertical ascendente a cada centímetro, desde el fondo de la tubería ($h = 0$ cm) hasta la clave de la misma para cada compuerta.

Análisis de resultados

En las figuras de la 5 a la 9 se presentan los perfiles verticales de concentración de aire tanto en porcentaje como en intensidad de píxeles. Todos los perfiles muestran una tendencia similar para las cinco pruebas. Además, las gráficas tienen una muy buena concordancia entre los perfiles obtenidos con las fotografías y los registrados con la sonda. Asimismo, ambos perfiles en cada figura muestran cómo en el tercio inferior del conducto se tienen las menores concentraciones de aire; mientras que en la parte superior se incrementa de forma importante las concentraciones de aire, debido a la presencia de la mezcla agua-aire generada por la turbulencia del salto hidráulico.

Las diferencias entre los perfiles obtenidos con imágenes y con la sonda, se deben principalmente a que las fotografías fueron capturadas en la vecindad de la pared del conducto, mientras que los registros con la sonda fueron hechos en el centro de la tubería. Por otra parte, la excelente aproximación entre los perfiles se debe a que las fotografías capturadas con la cámara de alta velocidad fueron de alta resolución, aunado a que la cámara se utilizó en modo manual para mantener la misma luminosidad durante la captura de todas las fotografías; además, la toma de imágenes se realizó por la noche para evitar la luz natural.

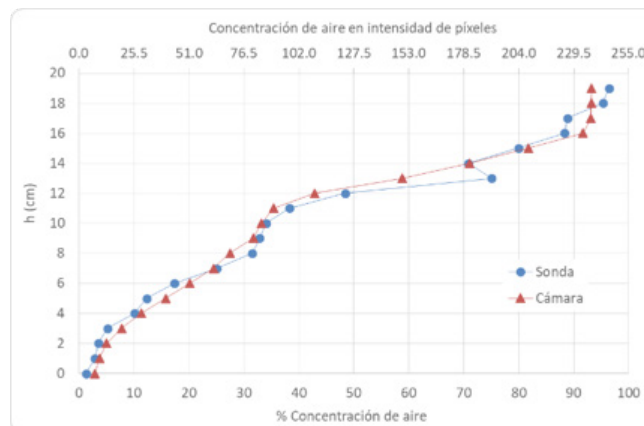


Figura 6. Perfiles de concentración de aire con apertura de compuerta de 20% y caudal de agua de 11.49 l/s

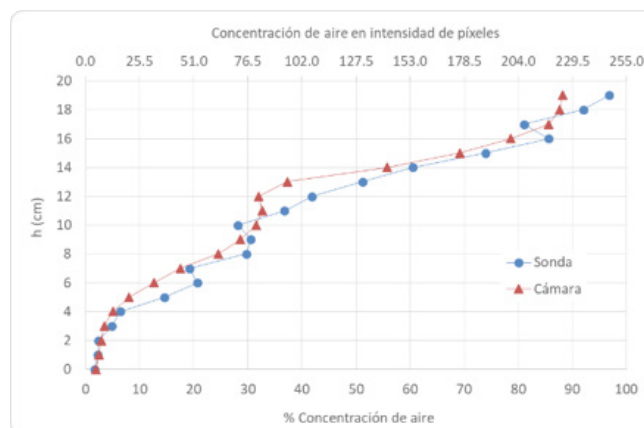


Figura 7. Perfiles de concentración de aire con apertura de compuerta de 30% y caudal de agua de 18.06 l/s

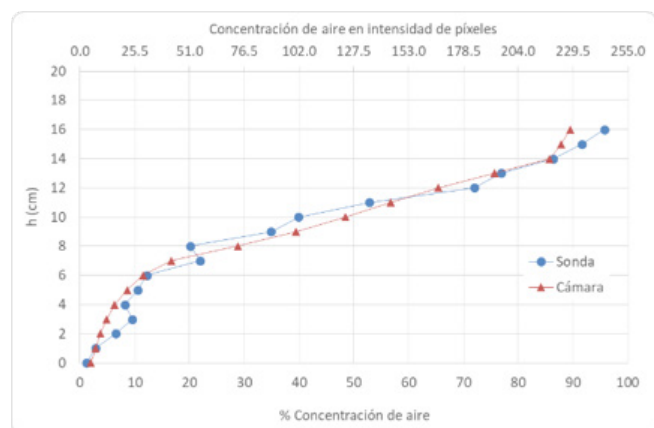


Figura 5. Perfiles de concentración de aire con apertura de compuerta de 10% y caudal de agua de 5.99 l/s

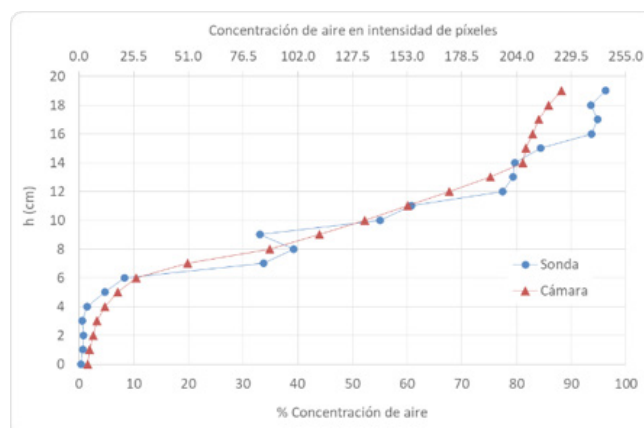


Figura 8. Perfiles de concentración de aire con apertura de compuerta de 40% y caudal de agua de 30.34 l/s

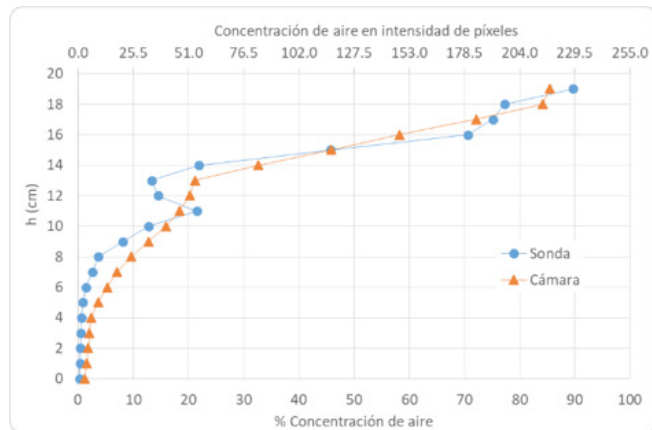


Figura 9. Perfiles de concentración de aire con apertura de compuerta de 50% y caudal de agua de 31.33 l/s

Conclusiones

Los perfiles de concentración de aire calculados a través de las imágenes en tonos de grises indican que el procedimiento de procesamiento de imágenes con una adecuada calibración, puede con suficiente precisión estimar la concentración de aire en el flujo agua-aire generado por un salto hidráulico en un conducto cerrado de sección circular. Los resultados obtenidos validan la hipótesis de que la concentración de aire en un salto se puede estimar en base a la intensidad de píxeles de las imágenes. Por tanto, esta técnica de visualización resulta

una herramienta poderosa para complementar los datos recolectados con una sonda de doble punta o con cualquier otro instrumento de medición intrusivo.

La leve variación que se observó en las gráficas entre los perfiles de concentración obtenidos con la sonda y los evaluados mediante los algoritmos EI y MIP, se debe principalmente al hecho de que, a través de los algoritmos se obtienen los perfiles cercanos a la pared del conducto mientras que la sonda mide a lo largo del centro del mismo; inclusive, las alturas a las que se tomaron las medidas no coinciden perfectamente ni en el centro ni en la pared de la tubería, no obstante, se trató de reducir el efecto de curvatura con el uso de la caja de acrílico llena de agua.

El uso de los métodos intrusivos permite la toma de lecturas puntuales dentro del flujo a lo largo de un perfil vertical como en el caso de la sonda, es decir, no permite la lectura de múltiples puntos a la vez, sino solamente en el lugar donde se coloca el instrumento. Es por eso que, la implementación de los métodos no intrusivos, como el basado en el análisis de imágenes, puede ofrecer mayor cobertura para conocer la concentración de aire en diferentes partes del flujo, a través de un registro de datos en zonas donde la sonda no fue colocada. Para ello, para tener mayor representatividad de los resultados obtenidos con imágenes, se recomienda que las fotografías sean tomadas cerca de la pared lateral del conducto en el que se están realizando los experimentos. Además, es recomendable utilizar una cámara de alta velocidad para obtener un número importante de fotografías de alta definición. Es recomendable realizar la captura de las imágenes por la noche con una buena iluminación artificial. |