

DETERMINACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE AIRE EN UN VERTEDERO MEDIANTE ANÁLISIS DE IMÁGENES

Paula Consoli-Lizzi¹, Milagros Loguercio¹, Mariano De Dios¹, Sergio Liscia¹, Marcelo Cardinali²

¹Laboratorio de Hidromecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

²Departamento Técnico, Entidad Binacional Yacuyretá.

E-mail: paula_consoli@hotmail.com; milagrosloguercio@gmail.com; dediosmariano@gmail.com; soliscia@ing.unlp.edu.ar; hidrologia.eby@gmail.com

Introducción

Este trabajo se enmarca dentro de las tareas de mantenimiento que la Central Hidroeléctrica Yacuyretá lleva adelante, en particular, en lo que respecta al control de erosiones en un terraplén aguas abajo del Vertedero del Brazo Principal (VBP). Entre las actividades previstas, una propuesta de solución temporal consiste en plantear operaciones no uniformes de los vanos del vertedero.

Por otra parte, estas tareas se planifican respetando la premisa de reducir la incorporación de aire a la masa líquida a fin de disminuir la mortandad de peces por sobresaturación gaseosa. En concreto, estas afectaciones podrían manifestarse en especies que habitan en las zonas más profundas de la columna de agua y poseen vejiga natatoria independiente. Las mismas son susceptibles de sufrir daños internos en caso de subir rápidamente a la superficie, debido a que son incapaces de liberar el aire en poco tiempo.

Entonces, la motivación de este estudio es garantizar que bajo condiciones asimétricas de operación del VBP no se incorpore en zonas profundas e intermedias una mayor cantidad de aire que la actual (con apertura uniforme).

Objetivo del trabajo

El objetivo del trabajo es estudiar la incorporación de aire para diferentes aperturas de compuertas en modelo físico bidimensional escala 1:32 de un vano del VBP existente en la UIDET Hidromecánica.

La misma se caracteriza a través de la distribución de concentración de aire C , definida como la relación del volumen de aire al volumen de agua y aire, tanto en vertical como su evolución y transporte aguas abajo. Ésta se obtiene a partir de análisis de imágenes, siguiendo los lineamientos de la metodología propuesta por Leandro et al (2012).

Materiales y métodos

El modelo se materializa en un canal de 0.47 m de ancho, 1.30 m de alto y 10.61 m de largo, tal como se observa en la Figura 1. En él se reproduce un módulo del VBP, ubicándose en la zona de aguas arriba del mismo un tramo de canal de ingreso que representa al embalse y constituyendo la parte final del canal la restitución al río. A fin de visualizar la distribución vertical y evolución longitudinal del aire incorporado, el canal cuenta con ventanas de acrílico transparente en la parte inicial y final del cuenco y en la restitución al río (ver Figura 1). El modelo satisface la semejanza de Froude, aunque los adimensionales de Reynolds y Weber son más pequeños que en prototipo, con lo cual las *tendencias* de incorporación y transporte de aire observadas en estos ensayos serán válidas en escala prototipo.

Las variables de control que caracterizan el comportamiento hidráulico de la obra incluyen caudal, niveles de embalse y restitución y apertura de la compuerta.

La distribución del aire incorporado se cuantifica con técnicas de visualización, asociando niveles de grises de fotografías a concentraciones de aire, tal como en el trabajo pionero de

Mossa y Tolve (1998). Así se da cuenta de variaciones espaciales y temporales, y dado que permite visualizar las estructuras turbulentas coherentes, la interpretación de resultados se enriquece. Si bien las frecuencias de adquisición de datos son menores que con el uso de sondas, estas últimas presentan la desventaja de ser intrusivas y brindar información en unos pocos sitios puntuales.

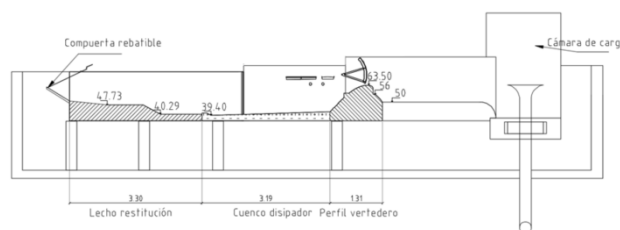


Figura 1.- Modelo físico: a) esquema con dimensiones en metros y cotas según prototipo y b) fotografía en que se destacan las ventanas de visualización.

Adquisición de imágenes. La fuente de iluminación es un factor clave en estos experimentos, debiendo ser uniforme, difusa y de alta potencia, por lo cual se emplearon lámparas halógenas en conjunto con un arreglo de paneles led. La calidad de las imágenes también se mejoró pintando de negro la cara trasera del canal, con lo cual se redujeron los reflejos en el acrílico y se aumentó el contraste entre burbujas y agua.

Dado que no era objetivo del trabajo efectuar un análisis de frecuencias, se tomaron sólo algunas decenas de fotografías utilizando una cámara réflex Nikon D3300 equipada con un lente de 52 mm Nikon VR 18-55. Para garantizar la consistencia de todas las imágenes en cuanto a exposición a la luz en tiempo y espacio, la captura de las mismas se hizo en modo manual y se incluyó en la región de interés un papel blanco para verificar su homogeneidad. Considerando que las burbujas se mueven a gran velocidad, la trepidación de las fotografías se redujo seleccionando un tiempo de exposición de 1/4000 s. Para que además de presentar contornos bien definidos cada burbuja quede muestreada con una cantidad razonable de píxeles (de manera de poder determinar tamaños), se seleccionó la mayor resolución que ofrece el sensor de la cámara prefiriendo el modo fotografía frente al video.

Procesamiento de imágenes. El procesamiento de imágenes para obtención de la distribución de la concentración de aire se llevó a cabo recurriendo a la programación de un algoritmo propio en MATLAB®, basado en las descripciones provistas por Leandro et al (2012 y 2014), e incluyendo algunas modificaciones originales.

La metodología se basa en la hipótesis de que la fracción de vacíos se puede estimar en función a partir de la intensidad de píxel (IP) o nivel de grises de las imágenes. El procesamiento tiene como objetivo determinar para cada fotografía la fracción de vacíos instantánea, y en base a ello obtener un valor medio temporal. Para ello, dos algoritmos se aplican sucesivamente a cada una de las imágenes: edición de imágenes (EI) y cálculo de la matriz de intensidad de píxeles (MIP).

El primero, EI, permite calibrar la técnica, mejorando el contraste de imágenes. Teniendo en cuenta que mientras que un píxel negro indica 100% aire si se encuentra por encima de la superficie libre, y cerca de 0% aire si se encuentra bajo el agua (ver Figura 2), la edición se aborda con diferentes instrucciones de lógica difusa según el píxel se encuentre en una de tres zonas: por encima de la superficie libre, cerca del fondo o en la transición. Además, estas operaciones tienen parámetros de calibración dependientes de la instalación experimental, cuyos valores se adoptan utilizando los datos recopilados con otra técnica de medición.

El segundo algoritmo, MIP, calcula la matriz espacialmente promediada de intensidad de píxel (es en realidad un vector columna). A su vez, éste se emplea para determinar el promedio temporal de los perfiles verticales de concentraciones, según se ejemplifica en la Figura 3. La concentración de aire C se estima en base a la IP, de manera que $IP=255$ equivale a $C=1$ (100% aire). A su vez, la superficie libre se define como la profundidad en la que $C=0.9$.

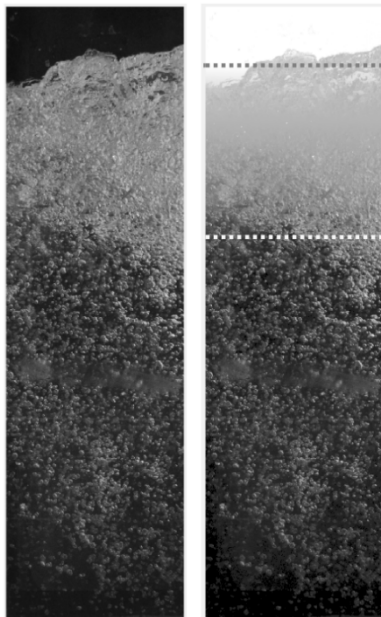


Figura 2.- Ejemplo de fotografías del experimento: a) imagen cruda, y b) imagen resultante del algoritmo de edición, donde adicionalmente se delimitan los sectores encima de superficie libre, de transición y cerca del fondo.

Resta comentar que para la calibración del algoritmo EI se ha recurrido al uso de una sonda de conductividad, la cual hemos construido a muy bajo costo con una placa Arduino Uno. La sonda se posicionó en el centro del canal a diferentes profundidades para registrar conductividad a 2000 Hz durante 180 s, y posteriormente se ha analizado interpretando que cuando la señal adopta un valor umbral mínimo éste se origina por el paso de burbujas. A partir del contraste de los perfiles de concentración de aire obtenidos con sonda y con análisis de imágenes, se terminaron de ajustar el algoritmo EI y sus parámetros.

Resultados

En la Figura 3 se muestran tres fotografías ilustrativas de uno de los escenarios estudiados, acompañadas por el resultado del análisis de imágenes. Se observa que el perfil de concentración de aire se asemeja a los reportados en la bibliografía.

La metodología se ha aplicado a un mayor número de fotografías, para obtener perfiles en cada ubicación y en distintos escenarios.

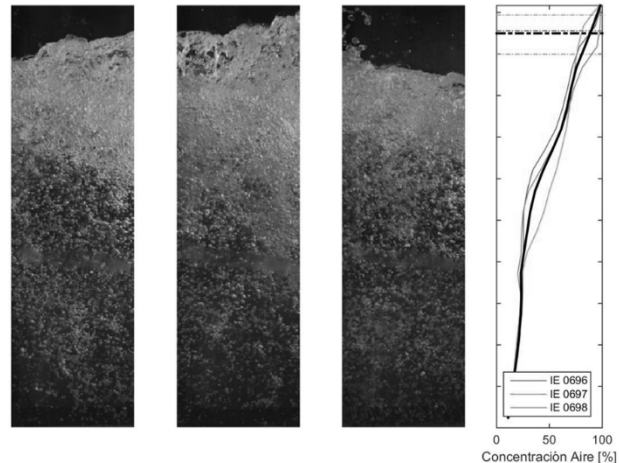


Figura 3.- Algoritmo MIP. Ejemplo simplificado del cálculo de vector de intensidad de píxel promediado en el tiempo.

Para cada una de las tres fotografías de la izquierda, se representa a la derecha el perfil de concentración de aire (línea sólida) y posición de superficie libre (línea horizontal discontinua). El promedio temporal se muestra en líneas de trazo grueso.

Conclusiones

Se ha implementado una metodología de bajo costo para determinar experimentalmente la incorporación, distribución y evolución de aire en un vertedero. Para ello, a las fotografías tomadas en modelo físico se ha aplicado un análisis de imágenes inspirado en el propuesto por Leandro et al (2012). La edición de imagen permite la calibración de cada fotografía, de manera de obtener la matriz de intensidad de píxeles para, una vez aplicado el algoritmo a todas, obtener el promedio temporal de la distribución vertical de la concentración de aire.

Bibliografía

- Leandro, J.; Carvalho, R.; Chachereau, Y., & Chanson, H. (2012) "Estimating void fraction in a hydraulic jump by measurements of pixel intensity". *Exp Fluids*, pp. 1307-1318.
- Leandro, J.; Bung, D., & Carvalho, R. (2014) "Measuring void fraction and velocity fields of a stepped spillway for skimming flow using non-intrusive methods". *Exp Fluids*, vol. 55, n° 1732.
- Mossa, M. & Tolve, U. (1998) "Flow visualization in bubbly two-phase hydraulic jump". *Journal of Fluid Engineering*, pp. 160-165.