

VERIFICACIÓN DEL CAMPO DE VELOCIDADES EN UN VERTEDERO EN FUNCIONAMIENTO UTILIZANDO LSPIV

Mariano de Dios¹, Paula Consoli-Lizzi¹, Lucas Groppo¹, Antoine Patalano², Carlos Marcelo García², Sergio O. Liscia¹ y Marcelo Cardinali³

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

²Centro de Estudios y Tecnología del agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

³Entidad Binacional Yacyretá.

E-mail: dediosmariano@gmail.com; paula_consoli@hotmail.com; lg.groppo@gmail.com; antoine.patalano@gmail.com; cgarcia2mjc@gmail.com; soliscia@ing.unlp.edu.ar; luismarcelocardinali@gmail.com

Introducción

Este trabajo se enmarca dentro de las tareas de mantenimiento que la Central Hidroeléctrica Yacyretá lleva adelante, en particular, en lo que respecta a la limpieza de uno de los vertederos que posee la obra (Vertedero Brazo Aña Cuá o VBAC). La acumulación del material pétreo dentro de la pileta de aquietamiento del VBAC, es un proceso que data de muchos años atrás. La geometría original del Vertedero fue modificada, incorporándose una serie de deflectores en el perfil vertedor, con el objeto de reducir la incorporación de aire a la masa líquida, y en consecuencia, disminuyendo considerablemente la mortandad de peces por sobresaturación gaseosa. Sin embargo, la nueva configuración anuló la capacidad auto limpiante propia del resalto hidráulico para el rango de caudales más frecuentes. Otra característica importante de este Vertedero es que, por requerimientos ambientales, tiene un funcionamiento continuo, con un caudal mínimo de 1000 m³/s.

Objetivos del trabajo

El estudio de limpieza del VBAC tiene la premisa de, sin producir la anulación del caudal por esta estructura, lograr condiciones de flujo en el cuenco disipador que permitan el retiro de material del mismo a través de medios externos (grúas), es decir, zonas de bajas velocidades. Se definió como velocidad media límite 0.5 m/s a partir de la experiencia obtenida en otros trabajos.

Materiales y métodos

Una primera etapa de caracterización del flujo en la pileta de aquietamiento asociado con los trabajos de mantenimiento del Vertedero se reportó en De Dios *et al* (2017). Allí se presentó la aplicación en conjunto de 3 técnicas de medición al modelo físico del VBAC en escala 1:80. El uso de Velocimetría por Imágenes de Partículas (PTV) proveyó un conocimiento general de las condiciones de escurrimiento; a continuación, la aplicación de Velocimetría Acústica Doppler (ADV) posibilitó conocer en detalle perfiles de velocidades incluyendo estadísticos turbulentos, y finalmente las filmaciones bajo agua del grapo permitieron estimar desplazamiento y tensión del cable de la grúa de limpieza.

En esta nueva etapa se reporta el uso de la técnica de LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) en el prototipo de manera de validar los resultados obtenidos en modelo físico antes de iniciar los trabajos de limpieza. El trazador cuyo patrón de desplazamientos se analiza está constituido por las rugosidades de la superficie libre y la espuma en el cuenco del vertedero. El software empleado para determinar mapas de velocidades a partir de los videos adquiridos es el PIVlab (Thielicke & Stamhuis, 2014).

Se llevaron a cabo tres campañas de mediciones en prototipo para aplicación de la técnica LSPIV, que conllevaron sucesivas

modificaciones para adaptar la adquisición y tratamiento de imágenes a las necesidades del estudio:

Campaña 1: Con cámaras desde tierra, validación y calibración de la técnica (escenario 1 en Tabla 1). Dado que la extensión de la pileta de aquietamiento hizo imposible, desde tierra, lograr captar la totalidad de su extensión con una adecuada resolución, se seleccionaron 5 ubicaciones de la cámara (Figura 1). Por no obtenerse las filmaciones a 90° de la superficie, las velocidades resultantes de la aplicación de PIV fueron posteriormente rectificadas utilizando el software RIVeR (Patalano et al, 2017). Debido a la extensión del cuenco y por las características del flujo (ondas superficiales sobresaliendo del plano horizontal), se concluyó que el uso de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) subsanaría las distorsiones en los patrones obtenidos.

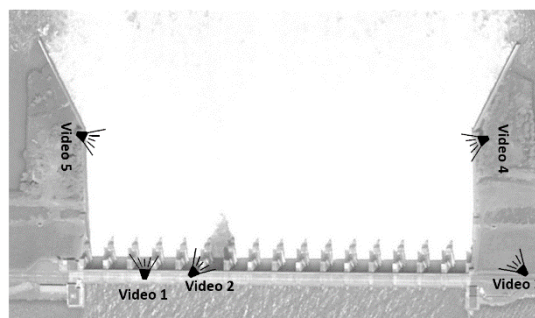


Figura 1.- Ubicación de las filmaciones de la campaña 1.

Campaña 2: Con dron, validación y calibración de la técnica (escenario 2 en Tabla 1). Se utilizó un dron DJI modelo Inspire 1 para abarcar un relevamiento de mayor extensión y evitar la distorsión de la filmación oblicua. Se adquirieron videos de 2 minutos de duración a razón de 25 imágenes por segundo, con una resolución de 4096 x 2160 pixeles, captando siempre parte de las obras de hormigón para disponer de longitudes de referencia.

Se comprobó que para que los videos puedan posteriormente analizarse con robustez, el valor de sensibilidad ISO ha de fijarse en forma manual, reduciendo su valor hasta que no existan zonas del escurrimiento donde la luz sature y provoque la pérdida de información del patrón superficial. Se obtuvieron videos a diferentes alturas, encontrando óptimos resultados de PIV para videos adquiridos volando debajo de los 80 m (abarcando unos 4 vanos). El análisis de los vuelos a mayor altura (200 m, capturando los 304 m de ancho del VBAC) presentó algunas distorsiones en el campo de velocidades, pero permitió identificar recirculaciones de gran escala.

3. Con dron, estudio de la configuración de compuertas que permitan la remoción del material acumulado. Los videos se adquirieron siguiendo los lineamientos establecidos en la campaña 2. Previamente a la aplicación de la técnica PIV, las

imágenes fueron corregidas para eliminar la distorsión de la lente. Para ello se determinaron los parámetros de la cámara con las herramientas de la librería Camera Calibration Toolbox for Matlab (Bouquet, J.Y, s.f.), aplicando las correcciones con el software RIVeR.

Tabla 1.- Escenarios estudiados en prototipo.

| Escenario | Caudal Total [m ³ /s] | Apertura /Caudal | COMPUERTA | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------------------|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | 2097 | Ap. [m] | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | x | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| | | Q [m ³ /s] | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | x | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 | 139.8 |
| 2 | 5775 | Ap. [m] | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| | | Q [m ³ /s] | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 | 360.9 |
| 3A | 1023 | Ap. [m] | x | x | x | x | x | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 | 0.75 |
| | | Q [m ³ /s] | x | x | x | x | x | 46.2 | 46.2 | 46.2 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 139.8 | 139.8 |
| 3B | 1022 | Ap. [m] | x | x | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| | | Q [m ³ /s] | x | x | 46.2 | 46.2 | 46.2 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 46.2 | 46.2 | 46.2 |
| 4 | 1023 | Ap. [m] | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | x | x | x | x |
| | | Q [m ³ /s] | 139.8 | 139.8 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 46.2 | 46.2 | 46.2 | 46.2 | x | x | x | x |
| 5 | 1022 | Ap. [m] | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | x | x | x | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.75 |
| | | Q [m ³ /s] | 139.8 | 93.1 | 93.1 | 46.2 | 46.2 | 46.2 | x | x | x | 46.2 | 46.2 | 46.2 | 93.1 | 93.1 | 93.1 | 139.8 |

(x) compuerta cerrada

Los escenarios 3, 4 y 5 corresponden a la limpieza de vano 1, vanos 16, 15 y 14, y vano 8 respectivamente.

En todos los casos, para el análisis con PIVlab se utilizó el algoritmo de correlación directa de transformada de Fourier con pasadas múltiples y deformación de ventanas (DFFT). Se usaron sucesivos pasos, en que los desplazamientos detectados en las primeras pasadas se utilizaron para compensar las áreas de interrogación en los siguientes. Mientras las primeras áreas de interrogación fueron grandes y mejoraron la relación señal-ruido dando más robustez a la correlación cruzada, las siguientes proporcionaron alta resolución vectorial y un alto rango de velocidad dinámica.

Resultados

Teniendo en cuenta el objetivo último de dejar pasar un caudal mínimo compatible con exigencias ambientales y generar condiciones propicias para la limpieza del cuenco, las Figuras 2 y 3 ejemplifican los resultados de aplicación de LSPIV a una configuración de limpieza de los vanos centrales correspondiente a la campaña 3. En particular, las recirculaciones de Figura 2 permiten estimar si podría existir reingreso de áridos, mientras que la Figura 3 permite identificar con robustez el sector donde la velocidad del flujo permitiría una operación segura de la grúa.

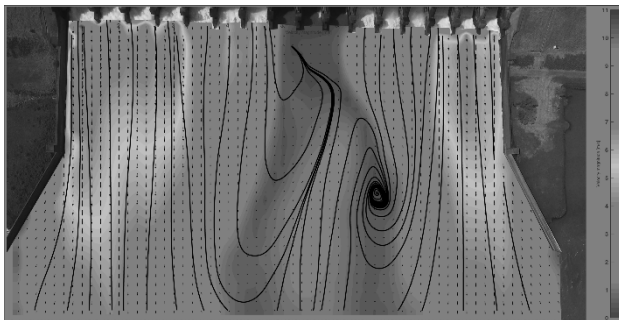


Figura 2.- Resultados de aplicación de LSPIV a un video obtenido a gran altura para el escenario 5, para caracterización de patrones generales de flujo.

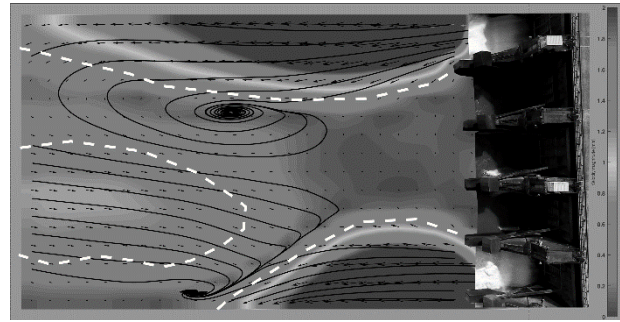


Figura 3.- Resultados de aplicación de LSPIV al escenario 5. Mapa de magnitudes y vectores velocidad (las líneas a trazos corresponden a 0.5 m/s). Las líneas de corriente se indican en trazo continuo.

Conclusiones

La aplicación conjunta de mediciones en modelo y prototipo ha permitido seleccionar las configuraciones de compuertas más apropiadas para la de limpieza y extracción del material pétreo presente en el cuenco disipador del VBAC.

Al momento de llevar a cabo las tareas de limpieza, una vez materializada cada configuración recomendada y antes de comenzar con los trabajos del grapo, nuevas mediciones con LSPIV en prototipo permitirán determinar las corrientes de recirculación y las velocidades en la zona de trabajo a fin de verificar la seguridad de la grúa.

Referencias

- De Dios, M; Groppo, L.; Salvetti, D., Patalano, A; Garcia, C.M., Liscia, S.O. & Cardinali, M. (2017) "Estudio sobre las condiciones óptimas de operación de un vertedero para posibilitar su mantenimiento". *V Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica, Buenos Aires, Argentina.*
- Patalano, A., García, C.M. & Rodríguez, A. (2017). "Rectification of Image Velocity Results (RIVeR): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface Particle Image Velocimetry (PIV) and Particle Tracking Velocimetry (PTV)". *Computers & Geosciences, Vol 109, 323-330.*
- Thielicke, W. & Stamhuis, E.J., (2014). "PIVlab – Towards User-friendly, Affordable and Accurate Digital Particle Image Velocimetry in MATLAB". *Journal of Open Research Software. 2(1), p.e30.*
- Bouquet, J.Y. (s.f.). "Camera Calibration Toolbox for Matlab". Librería desarrollada por Caltech disponible en Agosto de 2017 en http://www.vision.caltech.edu/bouquetj/calib_doc/index.html#parameters