

VALIDACIÓN DE UN MODELO NUMÉRICO TRIDIMENSIONAL DEL VERTEDERO DE DESCARGA DEL DIQUE LOS ALAZANES, PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

I. Matías Ragessi^{1,3}, Matías Eder^{1,2}, Jonathan Muchiut¹, Leticia Tarrab^{1,2}, Ferrer L. Yarielis^{1,2}, Antoine Patalano^{1,2}, Cecilia Pozzi Piacenza¹ y Andrés Rodríguez^{1,2}

¹Laboratorio de Hidráulica y Centro de Estudios y Tecnología del Agua (LH-CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEfYN), Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

²Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

³Administración Provincial de Recursos Hídricos de Córdoba (APRHI). Humberto Primo 607, Córdoba, Argentina.
E-mail: matiasragessi@gmail.com

Introducción

El Dique Los Alazanes se encuentra ubicado entre los cerros Uritorco y las Gemelas, aguas arriba de la localidad de Capilla del Monte en el Departamento Punilla a 110 km de la ciudad de Córdoba. El mismo fue construido entre los años 1939 y 1944 para abastecer de agua potable a la localidad de Capilla del Monte. El dique consiste en una presa de arco de 71 m de longitud y 25 m de altura desde el lecho del río hasta su coronamiento. Cuenta con dos vertederos para evacuar crecidas: uno de los cuales se ubica sobre la margen derecha de la presa y se activa para eventos ordinarios, el segundo vertedero se encuentra sobre la presa de arco y sólo trabaja para eventos extraordinarios.

Las intensas lluvias registradas en el verano del año 2015 produjeron la rotura por erosión del material que protegía la fundación del extremo izquierdo de la rápida del vertedero (Figura 1).



Figura 1.- Ventedero de descarga del Dique Los Alazanes posterior a la rotura por erosión.

Como consecuencia de la rotura del vertedero se proyectaron obras de reparación y readecuación tanto de la rápida como del muro lateral junto a un azud aguas abajo del vertedero, con el fin de generar un colchón de agua capaz de aumentar la disipación de energía. Para verificar y optimizar el diseño de esta última estructura se construyó en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba un modelo físico.

Sobre la base de las observaciones experimentales para el diseño propuesto, se implementó un modelo numérico que una vez validado permitirá evaluar alternativas de diseño en obras hidráulicas de este tipo.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es reportar avances en el proceso de validación de un modelo numérico tridimensional implementado para simular flujos turbulentos a superficie libre en el vertedero lateral del Dique Los Alazanes. En particular este trabajo se enfoca en la caracterización hidráulica de la

rápida del vertedero, el flujo de aproximación y el comportamiento del flujo a la salida del vertedero en la zona de disipación de energía del flujo.

Estudio experimental

En la validación de la simulación numérica se utilizó la caracterización experimental del flujo lograda en el modelo físico a escala.

En la Figura 2 se puede observar una imagen del modelo físico del vertedero del Dique Los Alazanes en la cual se describen sus principales componentes. El modelo se construyó a fondo fijo, siguiendo la similitud de Froude, con una escala de longitudes no distorsionada E_L : 1:35. El dominio modelado representa un área de 8000 m².

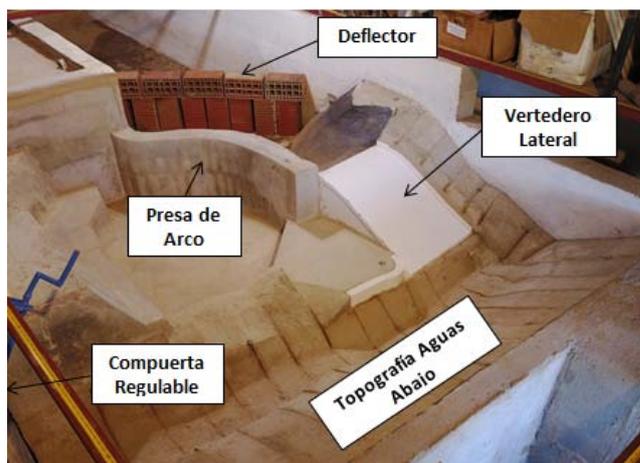


Figura 2.- Modelo Físico del Dique Los Alazanes - UNC.

El modelo físico permite caracterizar: 1) el comportamiento hidráulico del flujo de aproximación al vertedero; 2) ajustar la curva de descarga H-Q del vertedero; y 3) el comportamiento hidráulico aguas abajo del vertedero.

El campo de velocidades del flujo de aproximación al vertedero se determinó con la técnica de velocimetría por imágenes de partículas a gran escala (LSPIV por sus siglas en inglés). La velocimetría por seguimiento de partículas permite determinar el campo de velocidades medio e instantáneo del flujo con un alto grado de resolución espacial a partir del desplazamiento de partículas trazadoras.

Las variables Q y H se determinaron con la siguiente metodología experimental: 1) mediante una cámara aforadora con un vertedero triangular de pared delgada (se seleccionó triangular ya que el mismo es muy sensible frente a pequeñas variaciones de caudal) se determinaron los caudales Q que ingresaban en el modelo; 2) la altura H se midió con una escala graduada al milímetro sobre la cresta del vertedero del modelo.

A partir de los resultados experimentales obtenidos se ajustó la curva de descarga H-Q del vertedero

Finalmente aguas abajo del vertedero en la zona de disipación de energía se analizó cualitativamente, mediante imágenes y videos, el comportamiento de las estructuras turbulentas del flujo y se midieron presiones fluctuantes con sensores de alta frecuencia en 9 tomas.

Modelo numérico

En este estudio se implementó un modelo numérico basado en las ecuaciones promediadas de Reynolds (RANS). El código computacional utilizado para resolver numéricamente las ecuaciones RANS pertenece al paquete libre y abierto OpenFOAM® (Open Field Operation and Manipulation, OpenCFD Ltd. 2005) (OpenCFD. <http://www.opencfd.co.uk/openfoam/>).

Se propone utilizar el código interFoam de OpenFOAM® que aplica para una malla de volúmenes finitos y dos fluidos incompresibles, isotérmicos y no miscibles con un enfoque de captura de la interfaz basada en la fracción de fase. Se utilizó el algoritmo "Pressure Implicit with Splitting of Operators" de Issa (1986), como esquema de cálculo para la presión y la velocidad, el cual se adapta con éxito para la solución iterativa de problemas de estado estacionario (Versteeg and Malalasekera, 2007). El cierre turbulento utilizado es un modelo de dos ecuaciones $k - \epsilon$ estándar (Launder y Sharma, 1974). La implementación del modelo numérico es de tipo tridimensional.

Se encuentran antecedentes sobre este tipo de trabajos. Badano et al. (2013) con una estrategia que complementa modelación física y numérica, verificaron la capacidad de descarga y evaluaron alternativas de diseño para el vertedero Gatun. Para eso implementaron modelos numéricos bidimensionales y tridimensionales a dos fases (agua-aire) utilizando el código OpenFOAM®. Este mismo código usó Gerbec et al. (2013) para validar un modelo tridimensional para el diseño del aliviadero de la presa Gauguí, sobre el Río Camú en República Dominicana. Utilizando la técnica de volúmenes finitos y un modelo basado en las RANS con un modelo de cierre turbulento $k - \epsilon$ estándar, Jorabloo et al (2011) modelaron el comportamiento del flujo en un salto esquí y lograron validar el modelo en base a datos experimentales. Estos antecedentes indican lo acertado de una estrategia de complementar modelos numéricos y físicos para evaluar alternativas de diseño en este tipo de obras hidráulicas. Además, muestran que el código abierto OpenFOAM® presenta un buen comportamiento para estudiar este tipo de fenómenos de flujo a dos fases.

Generación de la malla

La geometría del dominio presenta formas complejas (formas geométricas y relieve accidentado) por lo que se optó por trabajar con las aplicaciones blockMesh y snappyHexMesh de OpenFOAM® para resolver el mallado del dominio.

En una primera fase, con blockMesh se construyó una malla base cuyo tamaño corresponde a todo el dominio del modelo físico. Los volúmenes que componen esta malla son de tamaño uniforme igual a 5 cm de lado. En la Figura 3 se puede apreciar la red de volúmenes sobre las fronteras sólidas.

Al momento se están realizando las primeras simulaciones y realizar un análisis de convergencia de malla para seleccionar la resolución óptima para el modelo tridimensional.

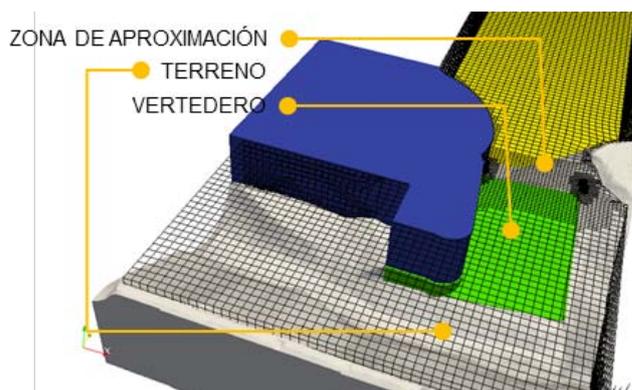


Figura 3.- Malla base de volúmenes uniformes de 5cm de lado.

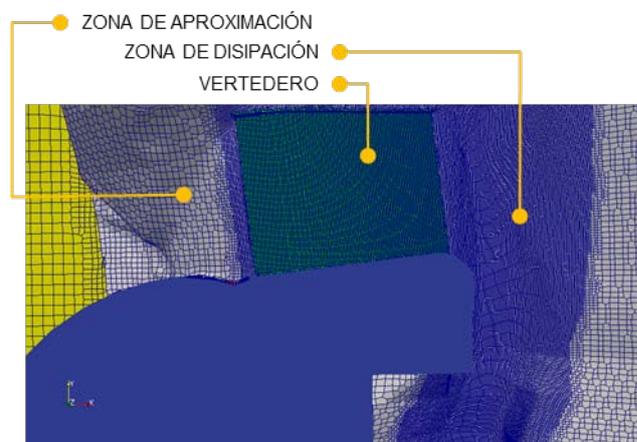


Figura 4.- Malla resuelta con snappyHexMesh.

Referencias

- Launder, B. E., y Sharma, B. I. (1974). "Application of the Energy Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow Near a Spinning Disc", Letters in Heat and Mass Transfer, vol. 1, no. 2, pp. 131-138.
- OpenCFD. <http://www.opencfd.co.uk/openfoam/>.
- Versteeg H. K. and Malalasekera W. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics. The Finite Volume Method. Pearson Education Limited, Second Edition, 2007.
- Badano Nicolás D., Sabarots Gerbec Martín, Menéndez Ángel Nicolás (2013). "Modelación numérica de vertederos para la verificación de la capacidad de descarga y evaluación de alternativas". VII Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos 2013. San Juan, 13 y 16 de noviembre de 2013.
- Gerbec Martín Sabarots, Fattor Claudio, Badano Nicolás D., Díaz Ruiz Ramiro, Menéndez Ángel N., y Bacchiega Daniel (2013). "Complementación entre modelación física y matemática para la evaluación hidrodinámica de una rápida de desarrollo curvo". XXIV° Congreso Nacional del Agua 2013. San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013.
- Issa, R. I. (1986). "Solution of the Implicitly Discretised Fluid Flow Equations by Operator-Splitting". J. Comput. Phys., Vol. 62, pp. 40-65.
- M. Jorabloo, R. Maghsoodi, and H. Sarkardeh (2011). "3D Simulation of Flow over Flip Buckets at Dams". Journal of American Science 2011; 7(6):931-936. (ISSN: 1545-1003).