

MODELO FÍSICO DEL VERTEDERO DE DESCARGA DIQUE LOS ALAZANES, PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

Matías Eder^{1,2}, Jonathan Muchiut¹, Leticia Tarrab^{1,2}, L. Yarielis Ferrer^{1,2}, I. Matías Ragessi^{1,2},
Antoine Patalano^{1,2}, Candelaria Joaquín¹, Hector Muratore¹ 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 (FCEfN), 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). FCEfN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.
E-mail: matiaseder2@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 de 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: el primero 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.- Vertedero 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.

Objetivos

El objetivo de este trabajo es *verificar y optimizar el diseño hidráulico de las obras propuestas* en el proyecto de reparación del vertedero de descarga lateral del Dique Los Alazanes. Para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Definir las condiciones de borde a aplicar en el modelo físico,
- Analizar los posibles efectos de escala debidos a esfuerzos viscosos y a la tensión superficial,
- Caracterizar hidráulicamente el vertedero de descarga y el flujo de aproximación,
- Analizar el comportamiento hidráulico aguas abajo del vertedero de descarga para la situación actual y con el azud proyectado en dos posiciones diferentes.

Materiales y métodos

Modelo Numérico:

Se realizó un modelo hidráulico bidimensional (2D) del embalse con el programa HEC RAS Versión 5.0.3. Este modelo numérico tiene como objetivo definir las líneas de corrientes aguas arriba del vertedero de descarga. De este modo, conociendo las direcciones de las líneas de corriente en el embalse se pueden definir las condiciones de borde a aplicar en el modelo físico para reproducir correctamente el fenómeno en estudio.

Para definir la geometría de malla de modelación se realizó un modelo digital de elevación (DEM) a partir de las curvas de nivel del embalse, provistas por la Secretaria de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.

La malla de modelación se discretizó en celdas de 2mx2m en el embalse y se refinó a celdas de 1mx1m inmediatamente aguas arriba del vertedero.

Modelo Físico:

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.

Características del modelo físico:

- Fondo Fijo
- Similitud de Froude
- Escala de longitudes no distorsionada E_L : 1:35
- Área de modelación 8000m².

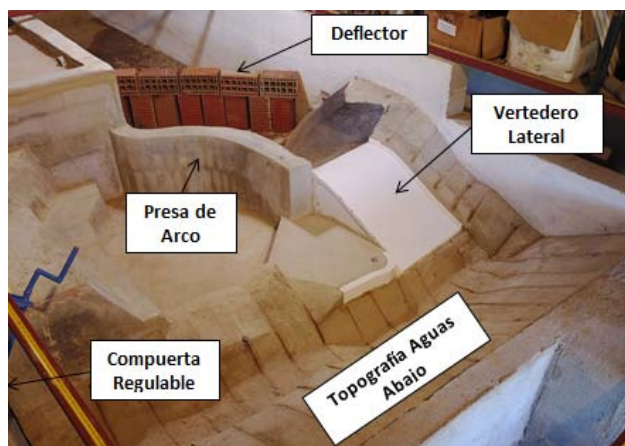


Figura 2.- Modelo Físico del Dique Los Alazanes - UNC.

En la Figura 3 se presenta una imagen satelital de la zona de estudio en la cual se superpuso los límites del modelo físico. Se observa que la dirección del flujo en el canal de ingreso al modelo (Flecha Roja) difiere de la dirección del flujo el prototipo (Flecha Verde). Para mejorar las condiciones de borde y la similitud cinemática en la zona de aproximación al vertedero se incorporó al modelo un deflector del flujo.

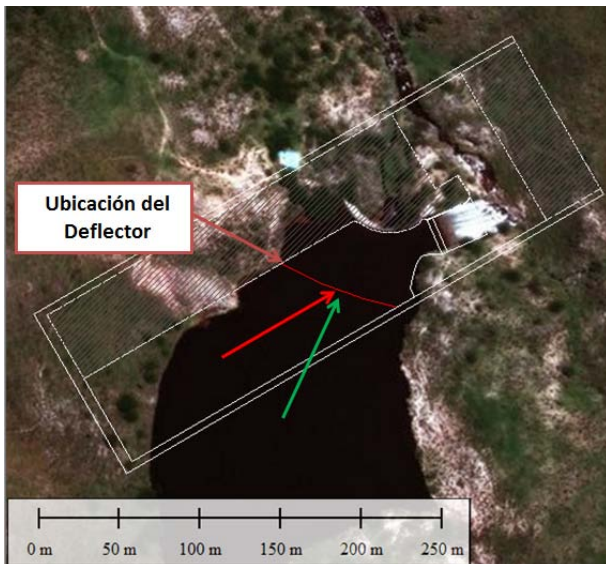


Figura 3.- Límites del modelo físico en una imagen satelital del prototipo.

Medición de Velocidades:

Para caracterizar el flujo de aproximación al vertedero en el modelo físico se aplicó 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 del flujo y de manera instantánea con un alto grado de resolución espacial a partir del desplazamiento de partículas que se desplazan en el flujo.

La técnica PIV consiste en un análisis euleriano (es decir, estudia los cambios producidos en una superficie de control). El resultado de este análisis es una imagen base con vectores que caracterizan el sentido y magnitud de la velocidad promedio de todas las imágenes.

En general la dinámica de todas las frecuencias bajas (grandes vórtices) puede ser capturada sin problemas con esta técnica de medición, mientras que para obtener información de los pequeños vórtices se deben usar partículas de diámetros muy pequeños (y baja inercia), lo cual trae algunas restricciones respecto al tamaño del área de flujo que se puede muestrear.

Resultados

Condiciones de borde:

En la Figura 4 se presentan las líneas de trayectorias medias en la zona de aproximación al vertedero obtenidas en el modelo numérico 2D (a) y las medidas en el modelo físico "sin" (b) y "con" (c) el deflector, para un caudal en prototipo de $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se puede observar que la dirección del flujo aguas arriba del vertedero no presenta modificaciones significativas por incorporar el deflector, y, además, en puntos homólogos son similares a los resultados obtenidos con el modelo numérico, con lo cual se validan las condiciones de borde aplicadas al modelo físico.

Análisis de efectos de escala:

Se calcularon los números de Reynolds y Weber para diferentes caudales en la cresta del vertedero. Se observó que para caudales mayores a $26 \text{ m}^3/\text{s}$ en prototipo el número de Reynolds es mayor a 5000 y el número de Weber mayor a 11, con lo cual se pueden despreciar los efectos de escala producidos por los esfuerzos viscosos y la tensión superficial.

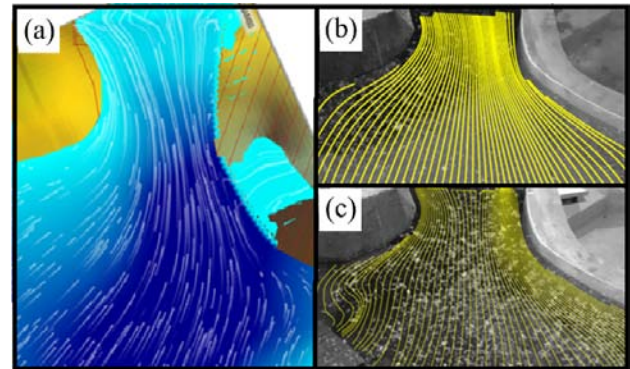


Figura 4.- Comparación de líneas de trayectorias: (a) Modelo numérico, (b) Modelo físico sin deflector y (c) Modelo físico con deflector. Caudal en prototipo $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

Curvas de Descarga (H-Q)

A partir de los resultados experimentales obtenidos se ajustó la curva de descarga H-Q del vertedero (Figura 5). Las alturas H fueron medidas sobre la cresta del vertedero.

El ajuste obtenido por regresión con una ecuación polinómica de segundo orden mostró el mejor ajuste a los datos experimentales con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.9919$.

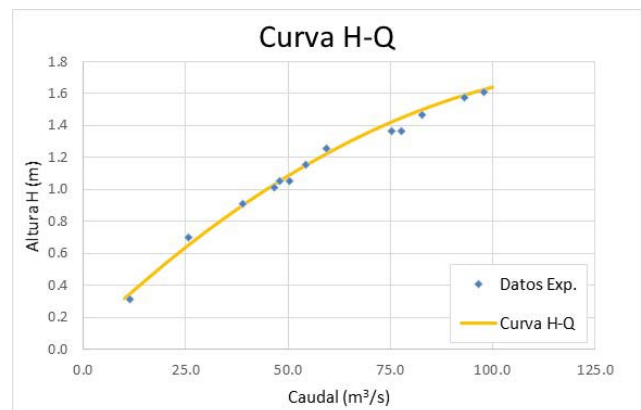


Figura 5.- Ubicación de tomas de presión en el cauce de restitución.

Comportamiento hidráulico aguas abajo del vertedero:

Se ensayaron tres condiciones: sin azud, con azud en la posición propuesta en el proyecto original ("A") y con el azud 30m aguas debajo de la posición propuesta ("B").

Para las tres condiciones se observó la formación de las mismas estructuras turbulentas: Un vórtice de eje horizontal y otro de eje vertical. Para las 3 condiciones el vórtice de eje horizontal impacta en la fundación del vertedero en la zona de rotura.

Al incorporar el azud, en ambas posiciones (A y B), se observó un incremento en el nivel de agua y con ello el aumento de las presiones medias en las tomas. Las fluctuaciones tienden a aumentar en las tomas que se encuentran sobre los taludes laterales, mientras que en las tomas centrales tienden a disminuir.

Conclusiones

Se logró reproducir correctamente el fenómeno en el modelo físico, los efectos de escala debidos a tensión superficial y a efectos viscosos no son significativos y las líneas de corriente aguas arriba del vertedero coinciden con las obtenidas en el modelo numérico del embalse.

La construcción de un azud aguas abajo del vertedero no reduce considerablemente las fluctuaciones de presiones en el pie del vertedero.