

Línea prioritaria D: Seguridad de presas. Aspectos hidrológicos e hidráulicos

ANÁLISIS NUMÉRICO Y EXPERIMENTAL DE LA SOCAVACIÓN AGUAS ABAJO DE LA PRESA TOACHI

Luis G. Castillo y José M. Carrillo

Grupo I+D+i Hidr@m. Universidad Politécnica de Cartagena. UPCT

El Proyecto Hidroeléctrico Toachi-Pilatón se encuentra ubicado al suroeste de la ciudad de Quito (Ecuador). El Proyecto se desarrolla en las cuencas de los ríos Pilatón y Toachi, que nacen en la cordillera occidental de los Andes y forman parte del río Esmeraldas, que desemboca en el Océano Pacífico, en la costa norte de Ecuador.

La presa Toachi, que recoge las aguas de las cuencas de los ríos Toachi y Sarapullo, es de hormigón a gravedad. Tiene una altura máxima desde la cota de cimentación de 59 m, una longitud de coronación de 170.5 m y un ancho de 10 m. Sus paramentos aguas arriba y aguas abajo son inclinados con taludes V:H = 1:0.3 y 1:0.7, respectivamente. La cota de coronación se sitúa a 973 msnm. A la cota máxima de regulación (970 msnm), la presa crea un embalse de un volumen total de unos 8 Hm³. A ese nivel, el embalse se extiende una longitud máxima de 1.3 km en el río Sarapullo y 3.2 km en el río Toachi. La presa cuenta con dos vertederos finalizados en trampolín de lanzamiento, cuya capacidad individual es de 600 m³/s para la avenida de diseño.

En este estudio se va analizar la socavación generada por el salto en esquí comparando 4 metodologías complementarias: modelación física; formulaciones empíricas; método semiempírico de fluctuaciones de presión e índices de erosionabilidad; y simulaciones numéricas tridimensionales realizadas con programas de dinámica de fluidos computacional.

El modelo físico, escala 1:50, fue construido de acuerdo a la información técnica entregada por HIDROTOAPI-EP en el Centro de Investigaciones y Estudios en Recursos Hídricos (CIERHI) de la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador).

Con el modelo físico se obtiene la ubicación, forma, tamaño y profundidad máxima de los fosos de socavación que se conforman en el cuenco de disipación de energía al pie de la presa, como resultado del impacto de los chorros lanzados desde los saltos en esquí que se ubican al final de la rápida de descarga de los vertederos de excesos (Velasco y Vera, 2012). Los saltos en esquí disponen de dos deflectores que proyectan los chorros hacia la zona central del cuenco, en donde la inestabilidad de las márgenes obliga a centrar las fosas de socavación alejadas de los contornos laterales.

Los caudales fueron seleccionados en función de los caudales de crecida, proporcionados en el informe hidrológico del proyecto para el sitio donde se ubica la presa Toachi. La investigación experimental se realiza para tres tamaños representativos de material pétreo que conforman el cuenco amortiguador (Hermosilla, 2013).

La mayor parte de las ecuaciones existentes para la estimación de la erosión a pie de presa han sido obtenidas mediante análisis dimensional y análisis estadístico de datos obtenidos en modelos reducidos construidos bajo leyes de semejanza de Froude para el cálculo de la socavación aguas abajo de un salto en esquí. Algunas formulaciones están basadas en mediciones de prototipos. Siguiendo Castillo y Carrillo (2015), para este trabajo se han seleccionado veintinueve ecuaciones y se ha determinado la profundidad de socavación en la zona de impacto para caudales de diferentes períodos de retorno.

El índice de erosionabilidad se basa en un umbral de erosión que relaciona la magnitud de la capacidad erosiva del agua con la capacidad relativa de un material (natural o artificial) para resistir la erosión. Según Annandale (2006), el proceso de erosión es debida a las fluctuaciones de presión, más que a un proceso de corte. Las presiones dinámicas de los chorros se relacionan con la intensidad de la turbulencia en las condiciones de descarga, la longitud del

vuelo del chorro, el diámetro (chorros circulares) o el espesor (chorros rectangulares) en las condiciones incidentes y la profundidad del colchón de agua en el cuenco de disipación. Para ello se utilizan los resultados presentados por Carrillo (2014) y Castillo et al. (2015).

Para la simulación numérica del cuenco de socavación se ha empleado el programa de diferencias finitas FLOW-3D. Este paquete informático está muy extendido en el mundo de la ingeniería de presas. Presenta diversos modelos específicamente diseñados para el campo de la hidráulica: transporte de sedimentos, erosión, cavitación, la lámina libre bien definida, etc.

Teniendo en cuenta los resultados del modelo físico, se ha calibrado y se ha simulado numéricamente el comportamiento hidráulico y las socavaciones generadas en el cauce por el aliviadero en salto en esquí.

Los resultados ponen de manifiesto la idoneidad de cruzar distintas metodologías para conseguir una adecuada solución de fenómenos complejos como es el caso de la erosión al pie de presa. De este modo, las simulaciones numéricas sirven como complemento de las formulaciones clásicas y de los modelos de laboratorio, permitiendo ahondar en el conocimiento de los fenómenos físicos para obtener la mejor solución.

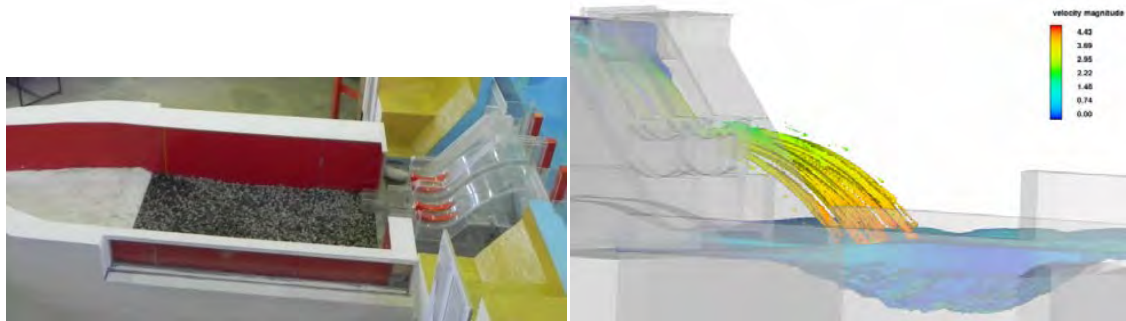


Fig.1 Modelos físico y numérico del trampolín de lanzamiento de la presa Toachi.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Annandale, G. W. (2006). Scour technology. Mechanism and engineering practice. McGraw-Hill.
- Carrillo, J.M. (2014). Metodología numérica y experimental para el diseño de los cuencos de disipación en el sobrevertido de presas de fábrica. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Cartagena, Spain.
- Castillo, L. G. and Carrillo, J. M. (2015). "Characterization of the dynamic actions and scour estimation downstream of a dam". Proc. Int. Conf. Dam Protections against Overtopping and Accidental Leakage. pp. 231-243. Madrid, Spain.
- Castillo, L. G., Carrillo, J. M. and Blázquez, A. (2015). "Plunge pool mean dynamic pressures: a temporal analysis in nappe flow case". Journal of Hydraulic Research, Vol. 53, No. 1, pp. 101-118.
- Flow Science, Inc. (2011). FLOW-3D. Theory v10.0.
- Hermosilla, D.H. (2013). Estudio experimental en modelo físico sobre el desarrollo del cuenco de socavación al pie de la Presa Toachi. Tesis de Grado. Quito: Escuela Politécnica Nacional-Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Hidrotopi E.P. (2010). Informe 6256.0-R-18. Presa Toachi. Hidráulica. Memoria de cálculo. Quito.
- Velasco, C. and Vera, P. (2012). Estudio en modelo físico de la disipación de energía aguas debajo de los vertederos de excesos y desagües de fondo de la Presa Toachi Proyecto Hidroeléctrico Toachi-Pilatón. Tesis de Grado. Quito: Escuela Politécnica Nacional-Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.