

# ESTUDIO EN MODELO HIDRÁULICO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO 'EL TORNILLITO' (HONDURAS)

Joan Nathalie Suárez Hincapié, Fernando Mejía Fernández y Jorge Julián Vélez Upegui

Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia.

E-mail: jnsuarezh@unal.edu.co, fmejiaf@unal.edu.co, jjvelezu@unal.edu.co

## Resumen

Se presentan en este documento los resultados obtenidos a través de la modelación física a escala reducida (1:85) de las estructuras que conforman el Proyecto Hidroeléctrico El Tornillito (dueño HIDROVOLCÁN. Honduras; diseñador INGETEC, Colombia) y el análisis de los efectos del funcionamiento del mismo sobre la descarga de la Central. Así, la reproducción en el modelo de la topografía relevante del embalse, las estructuras de excedencia, el canal de la descarga de la central, y un tramo de río aguas abajo de la presa permitió generar las condiciones de frontera adecuadas para reproducir las singularidades de la presa y las obras anexas para la recopilación de la información relevante para optimizar el diseño del proyecto hidroeléctrico a través de una serie de pruebas, todas ellas llevadas a cabo en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

**Palabras Claves:** modelación física, descargas de fondo, similitud hidráulica.

## Introducción

Este trabajo fue realizado por la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales para HIDROVOLCAN empresa dueña del Proyecto Hidroeléctrico El Tornillito (aprovechamiento del río Ulúa en Honduras) bajo la asesoría de INGETEC S.A., diseñadora del proyecto, y consistió en un estudio que permitió la verificación y la optimización de los diseños de las estructuras que conforman esta obra y de los efectos sobre el canal de descarga de la Casa de Máquinas al momento de la operación.



Figura 1.- Imagen renderizada de la ubicación del proyecto Hidroeléctrico el Tornillito. Fuente <http://hidrovolcan.com>.

Se relacionan en este documento los resultados principales obtenidos a través de la ejecución de pruebas que fueron encaminadas a la recopilación de la información sobre los principales fenómenos de interés, hasta que se pudiese llegar a una optimización de los diseños para posteriormente ser materializados en el prototipo y propender por la efectiva operación de la central hidroeléctrica durante toda su vida útil.

## Descripción de las instalaciones del laboratorio y del modelo

Para el planteamiento del modelo se utilizó el principio de aprovechar al máximo las instalaciones existentes dentro del Laboratorio de Hidráulica. Así, la escala 1:85 se escogió con

base en el caudal máximo de operación del modelo y su relación con la capacidad de bombeo del Laboratorio, garantizando su abastecimiento, representado en un caudal máximo de descarga de 376 l/s aproximadamente con el cual se reprodujo la CMP que equivale a 25046 m<sup>3</sup>/s. Una vez escogida la escala, se dimensionó y delimitó el modelo para verificar que el espacio del que se disponía en el Laboratorio fuera el apropiado (Figura 2). La misma disposición de espacios y la infraestructura del Laboratorio llevaron a que el desagüe del modelo se hiciera a través de las tuberías y canales existentes permitiendo así optimizar el circuito hidráulico requerido por el modelo.



Figura 2.- Ubicación del modelo dentro de las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica.

## Metodología de trabajo utilizada

### Instrumentación

Una vez verificada la información requerida sobre el proyecto y siguiendo el programa de trabajo propuesto a INGETEC S.A. y aprobado por ellos, se dio inicio al estudio con el análisis teórico de los fenómenos hidráulicos esperados en el comportamiento de las estructuras, seguido del diseño sobre planos de todos los aspectos relacionados con la construcción del modelo.

Al respecto, se emprendió la construcción de un modelo físico con escalas horizontal y vertical iguales de 1:85, regido por los criterios de similitud de Froude en donde se reprodujo la topografía relevante del embalse, la presa y la ataguía, las estructuras de excedencias (descargas de fondo y vertedero a descarga libre), la toma y descarga de la central y un tramo de río aguas abajo de la presa, de tal manera que se generaran condiciones de frontera adecuadas y se reprodujeran las singularidades de la presa y las obras anexas que influirían las líneas de corriente.

La topografía del área de descarga del vertedero y el cauce del río se modelaron hasta una distancia de 500 m aguas abajo del eje de presa y hasta una cota de 78 msnm. Es importante decir que el modelo se construyó de manera que pudiese cambiarse con facilidad la configuración geométrica de éste según las necesidades presentadas durante la investigación.

También, se realizó el diseño de la instrumentación del modelo, en donde se dispusieron los elementos necesarios para poder medir caudales, presiones, niveles, determinación de la simetría y la sobre elevación del flujo, líneas de corriente, entre otras variables. Además, se realizó la medición de la socavación

máxima generada en la zona del cuenco de socavación y la determinación de niveles de flujo en el cuenco.

### Operación del modelo

Posterior a la construcción e instrumentación, se procedió a la operación del modelo para afinar el diseño de las obras hidráulicas del proyecto, la cual se concentró en una primera instancia en definir los posibles cambios en la geometría de las descargas de fondo – ángulo del deflector- y sus defensas ante la socavación, la máxima socavación posible, las características operativas críticas de las descargas de fondo y las posibles interferencias de estas con la Central.

Posteriormente, definida la geometría con cambios como el de la altura de las descargas de fondo, del ángulo del deflector de las descargas de fondo y el recorte de la longitud del vertedero a descarga libre, se procedió a realizar las pruebas definitivas para determinar la capacidad hidráulica del vertedero analizando diferentes niveles de embalse, la acción de la operación de la Central -ya fuera con una o dos turbinas-, y se estudiaron diferentes condiciones de apertura de compuertas.

En esta etapa, también se evaluaron otros cambios en la geometría como la longitud, ángulos y altura de los muros separadores entre las estructuras, canal de descarga de la Casa de Máquinas, muros separadores de las descargas de fondo y muros de encauzamiento del vertedero a descarga libre. Estas pruebas fueron complementadas con la verificación de las medidas de protección ante eventos de socavación propuestas y con la medición del ingreso de material al canal de descarga de la Central.

Aguas arriba del eje de presa se evaluó la formación de los conos de limpieza de los sedimentos tanto frente a las bocatomas como a la entrada de las descargas de fondo.

### Análisis, resultados y conclusiones

De la operación del modelo se obtuvieron resultados entre los cuales se destacan: La obtención de curvas de capacidad hidráulica de las descargas de fondo y del vertedero, la selección de un deflector de la salida de las descargas de fondo de entre tres ensayados (el de 15°), el estudio de varios tipos de enrocados de protección contra la socavación a la salida de las descargas de fondo, la determinación (aun no definitiva) de recortar el vertedero y de hacer convergentes sus paredes, los resultados obtenidos sobre la socavación que genera en el cuenco el paso de crecientes a través de las descargas de fondo, la determinación tomada de prolongar el muro derecho del canal de descarga de la Casa de Máquinas para reducir el ingreso a él de material producto de la socavación generada por el paso de crecientes, la conveniencia demostrada de un cuenco pre excavado, la demostración de que el paso de una creciente grande como la de los 100 años sí aumenta sustancialmente los niveles de flujo en el canal de descarga de la central, el estudio de corrientes y contracorrientes que se generan en el cuenco de socavación durante el paso de crecientes y sus altas velocidades que obligan a tomar medidas de protección de estructuras, el establecimiento de alturas adecuadas para los parapetos diseñados en las coronas de las estructuras, la necesidad detectada de realzar en algunos puntos la altura de las paredes del vertedero, la medición de presiones máximas, positivas y negativas, alcanzadas en las descargas de fondo y en el vertedero para la CMP, los resultados satisfactorios obtenidos con las pruebas realizadas para estimar el comportamiento de conos de limpieza de los sedimentos que se depositan frente a las bocatomas y a las descargas de fondo y la obtención de una condición de operación más adecuada para las descargas de fondo en cuanto a la socavación generada en el cuenco, el ingreso de material al canal de descarga de la Casa de Máquinas y los niveles en dicho canal después del paso de la creciente de los 100 años.

### Referencias bibliográficas

- Brasil, A., Martins, L. and Pacheco de Assis, A.** (2013). "Experimental and Physical Modeling of Bed Load Heterogeneous Sediment Transport" *International Journal of Geomechanics*.
- Chadwick, A. and Morfett, J.** (1999). *Hydraulics in civil and Environmental Engineering*. Third edition. E& FN SPON. London.
- Echávez, G** (1996). *Introducción a los modelos hidráulicos de fondo fijo y a la ingeniería experimental*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, México.
- Holman, J.P.** (1977). *Métodos experimentales para Ingenieros*. Editorial McGraw – Hill.
- Rodríguez D., Héctor A.** (2001) *Hidráulica Experimental*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mataix, C.** (1982). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. México Alfaomega Oxford University Press 1982 [reimpresión 2007], 660 p.
- Szymkiewicz, R.** (2010). *Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics*. Dordrecht : Springer
- Vergara, M.A.** (1993). *Técnicas de modelación en hidráulica*. Ediciones Alfaomega, Mexico, D.F., 294 p.