

MODELACIÓN FÍSICA TRIDIMENSIONAL DE LAS PROTECCIONES DE LOS AZUDES DEL RÍO CUARTO

Moya, G., Rodríguez, A., López, F., Muratore, H., Hiruela, J., Díaz, A.

Laboratorio de Hidráulica. Universidad Nacional de Córdoba
Av. Velez Sarsfield 1601, ciudad Universitaria. CP: 5000. Córdoba
E-mail: gmoya@com.uncor.edu

Introducción

En las últimas décadas se ha observado un continuo descenso generalizado del cauce natural del río Cuarto, lo cual ha comprometido la estabilidad de diversas estructuras emplazadas sobre el cauce del río. Un ejemplo de éste fenómeno lo constituyen los puentes Carretero y Ferroviario, que emplazados en la ciudad de Río Cuarto, presentan importantes descensos del lecho en las proximidades de las pilas. Ver Figura N° 1.



Foto 1.- Descalce de las pilas del Puente Carretero por descenso del cauce del Río Cuarto.

Por esta razón, y aguas abajo de los puentes Carretero y Ferroviario, se ha proyectado la ejecución de dos azudes, denominados *Azud del Puente Carretero* y *Azud del Puente Ferroviario*, en correspondencia a los puentes que protegen. Estos azudes, proyectados a 145 y 27 m aguas abajo de los puentes Carretero y Ferroviario respectivamente, tienen como una de sus funciones la de restituir localmente la cota de fondo del lecho en las proximidades de las pilas de los puentes, protegiéndolas del descenso generalizado del río, y asegurando por lo tanto la estabilidad estructural de los puentes.

El azud denominado Azud del Puente Carretero tiene un vertedero de umbral fijo a cota 432,80 msnm, nivel hasta el cual se producirá el embanque y levantamiento del lecho, resguardando de esta manera la erosión generalizada a la altura de las pilas. El cuerpo principal del azud tiene un ancho de 161,80 m y 367,70 m incluyendo los terraplenes escalonados laterales, siendo la longitud del azud de 39,00 m.

Si bien el volumen previsto de arena embancada en los primeros años, no tendrá suficiente densidad para aumentar la capacidad portante del pilote, se detendrá el proceso erosivo generalizado en la zona próxima del puente.

En el caso del denominado Azud del Puente Ferroviario éste tiene el umbral del vertedero fijo a cota 427,10 msnm. El cuerpo principal del azud tiene un ancho de 144,10 m y 499,70 m incluyendo los terraplenes escalonados laterales, siendo la longitud del azud de 39,24 m, provocando un embanque que levantará el lecho

del río en la zona del puente, llegando hasta las proximidades del Puente Nuevo.

Dada la cercanía presente entre las pilas de los puentes y los mismos azudes, principalmente en el caso del Azud del Puente Ferroviario, se genera un complejo mecanismo de erosión *Pila-Azud*, de difícil cuantificación por métodos convencionales. Por esta razón se planteó la necesidad de desarrollar dos modelos físicos a fondo móvil que permitan cuantificar la interacción entre las estructuras, además de posibilitar el estudio y análisis del diseño hidráulico óptimo, que verifique un correcto desempeño para diferentes escenarios hidrológicos.

Descripción de los Modelos Físicos

Los ensayos se realizaron sobre modelos físicos con semejanza de Froude, en cuencos 3D construidos a escala no distorsionada de longitudes $E_L=1:60$. Esto ha permitido modelar un tramo de río de 582m de longitud, con un ancho efectivo de 417m en el caso del azud del Puente Carretero y 544m para el azud del Puente Ferroviario. Cabe destacar que sobre los modelos físicos tridimensionales se han ensayado las obras y modificaciones solicitadas por el proyectista, además de variantes derivadas de observaciones sobre los modelos.

En los modelos se han representado las principales características hidromorfodinámicas y del flujo en la zona bajo análisis, entendiéndose ésta como el conjunto cauce, planicie fluvial, azudes, terraplenes, protecciones y entorno circundante.

Para el desarrollo del trabajo, y de acuerdo con los requerimientos del proyectista, se realizó la modelación para caudales constantes en prototipo de 1900 y 2900 m^3/s para el caso del azud del Puente Carretero y 2900 m^3/s para el Azud del Puente Ferroviario, todos con una duración de ensayo de 15:30 hs que garantiza la condición más desfavorable respecto de la duración de las crecidas de diseño en prototipo.

Los estudios incluyeron las siguientes actividades:

- a- Estudio de las protecciones:
 - Protección con enrocado aguas arriba, aguas abajo y sobre las márgenes del azud "Puente Carretero", hasta lograr su optimización.
 - Protección con enrocado aguas arriba, aguas abajo y sobre las márgenes del azud "Puente Ferroviario", hasta lograr su optimización.

Estudio de las Protecciones

En el caso de colocación de *enrocado* de aguas arriba y sobre las márgenes se modelaron distintas configuraciones en planta, con un diámetro representativo de 0,40 m en prototipo y espesor de 1 m. Bajo el enrocado se ha colocado una material textil que permite representar correctamente el nivel de la manta de geotextil que se colocará en obra.

Aguas abajo de los azudes se modelaron las protecciones de enrocado con distintas longitudes, medidas inmediatamente aguas abajo de cada azud. Se utilizaron rocas de diámetro representativo de 1,00 m en prototipo, con espesor del manto de protección de 2,00 m.

En ambos casos se modelaron distintas configuraciones en planta de las protecciones, hasta que llegara a su diseño óptimo para los escenarios hidrológicos considerados.

Resultados Obtenidos

Azud Puente Carretero:

- Escenario con Protecciones de Enrocado: Aguas arriba del azud el comportamiento de las protecciones proyectadas es aceptable, eliminando las erosiones frente al azud, y asegurando así la estabilidad de la estructura para el escenario hidrológico ensayado.

Se observó la migración de una pequeña cantidad del material de enrocado hacia aguas abajo, que no compromete la estabilidad del enrocado.

Aguas abajo la protección se comportó favorablemente deteniendo el proceso erosivo, asegurando la estabilidad de la estructura por falta de material de sustentación.

Azud Puente Ferroviario:

- Escenario con Protecciones de Enrocado: Aguas arriba del azud las protecciones se comportaron favorablemente, eliminando el proceso erosivo. Finalizado el ensayo se ha observado la migración de una pequeña cantidad de material de la protección, que no afecta la estabilidad de la protección.

Esta migración de material se incrementa en las proximidades de las pilas del Puente Ferroviario, por lo cual se ha modificado las protecciones de enrocado en el sector, que han presentado con comportamiento apropiado en ensayos posteriores. Aguas abajo las protecciones proyectadas se han comportado favorablemente evitando localmente el proceso erosivo que puede llegar a afectar la estabilidad de la estructura.

Conclusiones

- En los escenarios sin protecciones, aguas arriba del azud sobre la margen derecha, se produce erosión por efecto de turbulencia generada por el ingreso del flujo lateral desde la planicie.
- La forma de la erosión que se genera aguas abajo del cuenco de disipación de energía es propia de la que se genera por la influencia de la macroturbulencia generada en el resalto hidráulico.
- El comportamiento de las protecciones proyectadas aguas arriba del azud es aceptable, eliminando el proceso erosivo que puede llegar a comprometer la estabilidad estructural del azud.
- El comportamiento de la protección transversal proyectada aguas abajo a la salida del cuenco disipador es aceptable.
- Se determinaron las erosiones que se producen a la salida del cuenco en el caso sin protección. La magnitud de las mismas, justificó el ensayo y diseño de una protección con enrocado que resultó estable para el máximo caudal de ensayo.
- El resalto hidráulico producido en el cuenco disipador, permaneció parcialmente ahogado,

produciéndose en el pie, como resalto libre, para ciertas condiciones del flujo en algunos de los ensayos realizados.

- Las erosiones medidas deben considerarse como máximas posibles o envolventes superior ya que corresponden a ensayos con agua clara, caudales constantes y tiempos de ensayos equivalente en prototipo de aproximadamente 15 hs. El caso real de crecidas con transporte de sólidos y menor duración producirá erosiones de menor magnitud.

Bibliografía

Aguirre Pe, J. (1980): Hidráulica de Sedimentos. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

Barbeito O., Massera L., Ambrosino S. (2000) Fotocarta Geomorfológica, Río Chocancharagua, ciudad de Río Cuarto.

Fernandez Bono, J. F. (1986) Modelos Físicos en Ingeniería Hidráulica. Escuela Técnica superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Valencia. 230 pgs.

Maza Álvarez J. A. (1996) Transporte de Sedimentos Tomo 1 al 12, Instituto de Ingeniería.

U.N.C. (2003) "Informe Preliminar de los estudios sobre el Modelo Físico del Azud del Puente Carretero". Laboratorio de Hidráulica. Universidad Nacional de Córdoba.

U.N.C. (2003) "Informe de Avance de los estudios en Modelos Físicos de Azudes de Río Cuarto". Laboratorio de Hidráulica. Universidad Nacional de Córdoba.

U.N.C. (2003) "Informe de Avance de los estudios en Modelos Físicos de Azudes de Río Cuarto". Laboratorio de Hidráulica. Universidad Nacional de Córdoba.

U.N.C. (2003) "Modelación Física Tridimensional a Fondo Móvil de los Azudes de la Ciudad de Río IV Informe Final – Parte I". Laboratorio de Hidráulica. Universidad Nacional de Córdoba.

U.N.C. (2003) "Modelación Física Tridimensional a Fondo Móvil de los Azudes de la Ciudad de Río IV Informe Final – Parte II". Laboratorio de Hidráulica. Universidad Nacional de Córdoba.

Vide, J. P. (2002) Ingeniería de Ríos, UPC, 331 pgs.