

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS EROSIONES AGUAS ABAJO DEL MODELO FÍSICO DE LA PRESA LOS MOLINOS - (RÍO GRANDE - JUJUY)

Matías Eder¹, Mariano Corral¹, Gerardo Hillman¹, Mariana Pagot¹, Nicolás Bellino¹, Paolo Gyssels¹, Carlos M. García¹, Andrés Rodríguez¹, Gonzalo Moya¹, Daniel Farias², Daniel Bachiega³, Hector Muratore¹.

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

²Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina.

³Laboratorio de Hidráulica Aplicada, Instituto Nacional del Agua, AU Ezeiza-Cañuelas Km 1,62, Ezeiza, Argentina.

Introducción

La presa de derivación Los Molinos está ubicada sobre el Río Grande, pocos kilómetros aguas arriba de la ciudad San Salvador de Jujuy y aproximadamente 1 kilómetro aguas abajo de la confluencia con el Río Reyes (Figura 1). Su principal finalidad es la derivación de agua hacia el canal Río Grande que se utiliza para riego artificial.

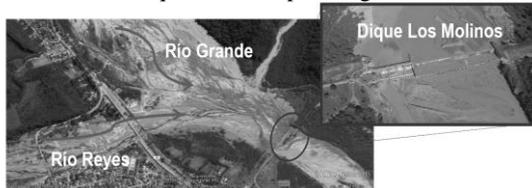


Figura 1.- Ubicación de la presa Los Molinos.

La presa incluye tres estructuras de descarga, un vertedero con cota de descarga a nivel fijo (Dique Fijo) de 200m de longitud, un vertedero controlado por cuatro compuertas de tipo segmento circular (Dique Móvil) de 70m de longitud y un canal de limpieza adjunto a este canal sobre la margen derecha (Canal Moderador) de 10m de longitud. La interposición de la presa Los Molinos en el Río Grande ha originado un corte del flujo de sedimentos desde el sector aguas arriba de la presa hacia el sector aguas abajo, esto llevó a la colmatación del vaso de la presa y complementariamente dio lugar a un proceso de erosión generalizada del lecho aguas abajo de la presa de aproximadamente 3m. Esta nueva situación se aparta de las condiciones de diseño de la obra original, lo cual se traduce en un comportamiento anómalo de las estructuras hidráulicas de descarga y disipación. Por este motivo se proyectaron obras de re funcionalización de las estructuras de descarga. Para evaluar el diseño propuesto se construyó un modelo físico tridimensional (escala 1:65) con similitud de Froude en el Laboratorio de Hidráulica de la FCEFYN - UNC. En este trabajo se presentan los estudios experimentales realizados para evaluar las erosiones locales que se producirían aguas abajo de la de la presa Los Molinos para diferentes escenarios extremos.

Condiciones experimentales ensayadas

Se definieron diferentes escenarios para determinar la erosión crítica aguas abajo de las estructuras proyectadas. Los escenarios que se definieron incluyen ensayos de caudales máximos y ensayos de despegue, correspondientes a los caudales que generan el comienzo de la separación del chorro de agua respecto a la estructura.

1. Ensayos de caudales máximos:

-Caudal de 900 m³/s (período de retorno T_R menor a 5 años) que corresponde al máximo caudal que pueden evacuar el Dique Móvil y Canal Moderador antes de que comience a escurrir por el dique fijo.

-Caudal de 3200 m³/s (T_R de aproximadamente 500 años) con compuertas totalmente cerradas y pasante solo por el Dique Fijo.

-Caudal de 4200 m³/s (T_R de 10000 años) con las compuertas totalmente abiertas.

2. Ensayos de despegue, correspondientes a los caudales

que generan el comienzo de la separación del chorro en la estructura de disipación:

-Caudal de 90 m³/s escurrido solo por el Canal Moderador (con las compuertas del Dique Móvil cerradas).

-Caudal de 220 m³/s – solo por Dique Móvil con todas sus compuertas abiertas y las del Canal Moderador completamente cerradas.

-Caudal de 600 m³/s por el Dique Fijo con todas las compuertas del Dique Móvil y Canal Moderador cerradas.

Granulometría del lecho simulada

Para representar el lecho móvil en el modelo se ha considerado un material natural de la misma densidad y de características clásticas similares a las del lecho actual, cuya curva granulométrica llevada a escala 1:65 se denomina aquí “curva ideal”.

Para pasar de la constitución ideal a la real a emplear en el modelo, es necesario tener en cuenta dos limitaciones:

1) Escalar todos los diámetros lleva a que parte importante del contenido de la curva granulométrica ideal, aproximadamente el 35 % esté constituido por diámetros inferiores a 75 micrones (pasante Tamiz 200) por lo cual se debe eliminar esta fracción de la curva.

2) Además, es importante considerar que para diámetros menores a 0,6 mm en el modelo se generan formas de fondo que modifican la macro rugosidad del cauce. Por esta razón se considera como diámetro mínimo admisible 0,6mm.

La granulometría a colocar en el modelo se ha preparado por cribado, separación, selección y mezclado y en base a combinaciones proyectadas. Para esto se han analizado las siguientes granulometrías: a) muestra 1: arena muy gruesa (1 – 2 mm); b) muestra 2: arena muy gruesa mezclada con grava fina; c) muestra 3: arena muy gruesa mezclada con grava muy fina.

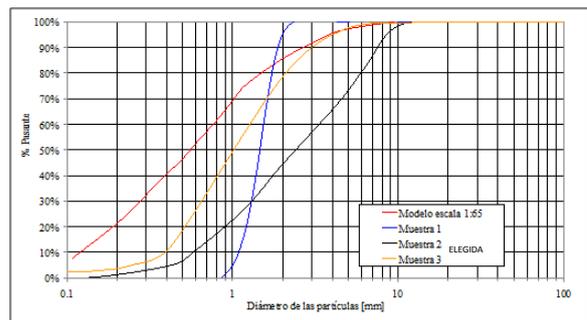


Figura 2.- Granulometría “ideal” del modelo y reales.

En los ensayos experimentales se utilizó granulometría de la muestra 3 ya que es la que mejor reproduce la granulometría ideal descartándose la fracción inferior a 0,6mm y la más gruesa por la existencia aislada de esos diámetros.

Metodología experimental

Durante la duración del ensayo se monitoreo periódicamente (con intervalos de tiempo mayores a medida que avanzaba el desarrollo del ensayo) la evolución de la ero-

sión en el tiempo. Para ello se relevaron las profundidades de erosión con nivel óptico en seis puntos al pie de la obra y seis al fondo del foso de erosión. Estas mediciones se realizan hasta que la fosa de erosión se estabilice, luego se apaga el modelo y se realizan las mediciones de erosiones finales. Estas mediciones de las erosiones finales se realizaron utilizando dos tecnologías diferentes:

a) **Medición Tradicional:** Consiste en un relevamiento convencional de puntos sobre perfiles longitudinales y transversales, utilizando un nivel óptico y una escala graduada al milímetro. Se definieron tres perfiles paralelos al eje de la presa para realizar las mediciones: Perfil 1 al pie de la presa; Perfil 2 en el fondo del foso de erosión; Perfil 3 en la barra de sedimentos (Figura 4). Los dos perfiles perpendiculares relevados al eje de la presa fueron: Perfil 4 en el Dique Móvil; Perfil 5 en el Dique Fijo (Figura 5).

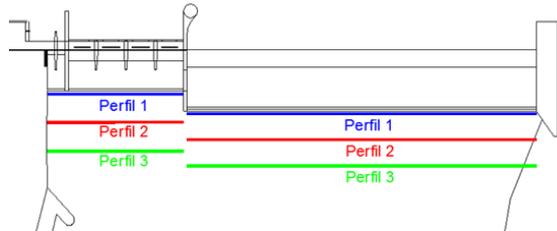


Figura 4.- Ubicación de perfiles paralelos al eje de la presa para medir las erosiones finales.

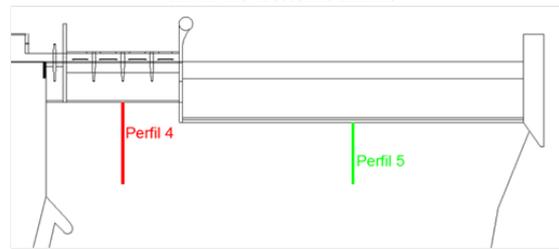


Figura 5.- Ubicación de perfiles transversales al eje de la presa para medir las erosiones finales.

b) **Medición Digital:** Se realiza mediante la utilización de una cámara digital Kinect fabricada por Microsoft en el año 2010).

Resultados

En la Figura 6 se comparan los resultados obtenidos en el relevamiento de las erosiones finales para uno de los ensayos con caudales máximos utilizando las dos tecnologías experimentales (convencional y digital) en el perfil paralelo al eje de la presa y cuya localización se indica en la Figura 4. Se observa un muy buen desempeño de la cámara digital Kinect generando información con mayor resolución espacial que con el nivel óptico.

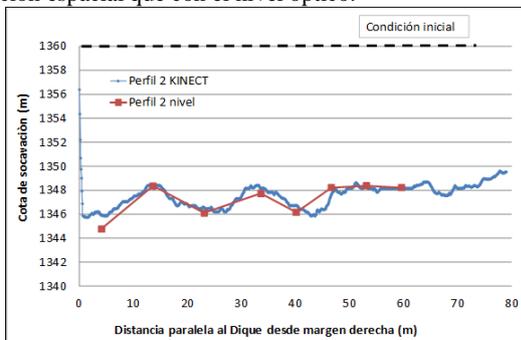


Figura 6.- Comparación de resultados obtenidos con el método tradicional y con la cámara digital Kinect (Perfil paralelo al eje de la presa Perfil 2. Caudal Q = 900m³/s).

Con el uso de las técnicas mencionadas se obtuvieron las siguientes erosiones críticas al pie y en el foso de erosión

(desplazado aguas abajo).

En las tablas 1 a 3 se detallan las cotas de erosiones críticas (máximas finales) al pie y en el foso de erosión (desplazado aguas abajo) para la zona aguas abajo del canal moderador, del dique móvil y del dique fijo. Se obtuvieron las erosiones máximas en el canal moderador (expresadas como cotas en el prototipo).

Tabla 1.- Erosiones críticas al pie y en el foso de erosión para la zona aguas abajo del canal moderador. Las erosiones máximas se expresan como cotas en prototipo.

	Ensayo	Cota de erosión máxima [m]
Pie del Dique	90m ³ /s	1351
Foso de Erosión	4200m ³ /s	1344.6

Tabla 2.- Erosiones críticas al pie y en el foso de erosión para la zona aguas abajo del Dique Móvil. Las erosiones máximas se expresan como cotas en prototipo.

	Ensayo	Cota de erosión máxima [m]
Pie del Dique	4200m ³ /s	1351.8
Foso de Erosión	4200m ³ /s	1342.3

Tabla 3.- Erosiones críticas al pie y en el foso de erosión para la zona aguas abajo del Dique Fijo. Las erosiones máximas se expresan como cotas en prototipo.

	Ensayo	Cota de erosión máxima [m]
Pie del Dique	4200m ³ /s	1350.3
Foso de Erosión	4200m ³ /s	1347.1

En las tablas 1 a 3 se muestra que el ensayo de 4200 m³/s resultó ser crítico para la mayoría de las erosiones, a excepción de la producida al pie del canal moderador, por este motivo se repitió este ensayo en tres oportunidades. En la Figura 7 se puede observar una comparación de los resultados obtenidos en los tres ensayos de 4200m³/s en los perfiles paralelos 1 (pie de presa) y 2 (fosa de erosión - Figura 4). Se observa una muy buena repetitividad de los resultados experimentales.

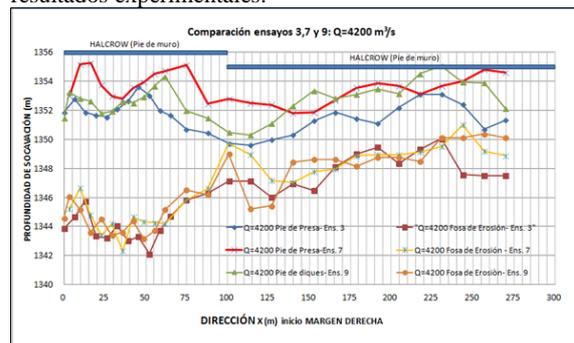


Figura 7.- Comparación de erosiones para los tres ensayos de 4200m³/s en los perfiles paralelos 1 (pie de presa) y 2 (fosa de erosión - Figura 4).

Conclusiones

En este trabajo se presentaron estudios experimentales en los cuales se evaluaron las erosiones locales que se producirían aguas abajo de la presa Los Molinos para diferentes escenarios extremos. Para ello se usaron técnicas tradicionales y nuevas tecnologías. El ensayo de 4200 m³/s resultó ser crítico para la mayoría de las erosiones, a excepción de la producida al pie del canal moderador. Se observó una muy buena repetitividad de los resultados experimentales.