

## ANÁLISIS HIDRÁULICO Y DE EROSIÓN PARA DIFERENTES PERFILES DE SANTO ESQUÍ – DIQUE LOS MOLINOS, JUJUY

Eder, Matías<sup>1</sup>; Guillén, Nicolás Federico<sup>1</sup>; Ragessi, Matías<sup>1</sup>; Hillman, Gerardo<sup>1</sup>; García, Carlos M.<sup>1</sup> y Rodríguez, Andrés<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>CETA. Centro de Estudios y Tecnología del Agua- Universidad Nacional de Córdoba - Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., Universidad Nacional de Córdoba, Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.  
E-mail: matiaseder2@gmail.com, nfguillen@hotmail.com, matiasragessi@gmail.com, ghillman@efn.uncor.edu

### Introducción

El dique Los Molinos está ubicado sobre el Río Grande, pocos kilómetros aguas arriba de la ciudad de San Salvador de Jujuy y aproximadamente 1 Km aguas abajo de su confluencia con el Río Reyes. El objetivo de esta obra es derivar parte del caudal del río hacia una obra de toma que se ubica sobre la margen derecha y se utiliza para riego artificial.

La presa está constituida por tres estructuras de descarga, un vertedero con cota de descarga a nivel fijo (Dique Fijo), un vertedero controlado por cuatro compuertas de sección circular (Dique Móvil) y un canal de limpieza sobre la margen derecha de la presa al cual llamaremos Canal Moderador.

Desde su construcción hasta la actualidad la obra produjo un corte del flujo de sedimentos desde el sector aguas arriba hacia el sector aguas abajo, esto generó por un lado la colmatación del vaso de la presa y por otro dio lugar a un descenso generalizado del nivel del cauce aguas abajo de la presa de aproximadamente 8 m. Esta nueva situación se aparta de las condiciones de diseño originales y se manifiesta en un funcionamiento anómalo de las estructuras de descarga y de dissipación. Por este motivo se proyectaron obras de re-funcionalización con el objetivo de adaptar la infraestructura existente a la nueva condición.

Una vez diseñadas las obras de re-funcionalización de la presa se construyó en el Laboratorio de Hidráulica de la FCEfYN de la UNC un modelo físico 3D, con similitud de Froude a escala no distorsionada (1:65) para evaluar su funcionamiento hidráulico.

En este trabajo se presenta el estudio hidráulico del Canal Moderador, para el cual se analizaron 4 perfiles lanzadores (salto esquí).

### Alternativas de Salto Esquí - CM

En el proyecto de re-funcionalización se propuso modificar los cuencos dissipadores de la obra original del Dique Móvil y del Canal Moderador por saltos esquí, de esta manera generar un salto del chorro del agua para alejar la zona de dissipación de energía y producir la fosa de erosión lejos del pie de la estructura.

Al realizar la evaluación hidráulica de las obras proyectadas se observó por un lado un buen funcionamiento del Dique Fijo y el Dique Móvil, como así también ineficiencia en el despegue de la lámina de agua en el Canal Moderador (esto se debe a la existencia de un resalto hidráulico en el perfil lanzador).

La existencia de este resalto hidráulico sobre la estructura tiene dos efectos negativos: Por un lado incrementa el efecto abrasivo generado por los sedimentos que transporta el flujo (lo cual puede reducir su vida útil) y por otro, al dificultar el despegue del chorro de agua, las máximas erosiones se producen a una menor distancia del pie de la estructura lo cual puede comprometer la estabilidad de las obras.

Esta situación motivó la revisión del perfil lanzador original, por lo cual se proyectaron y evaluaron 3 alternativas diferentes (Figura 1).

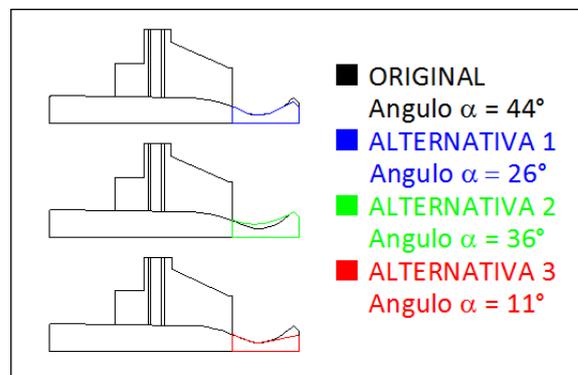


Figura 1.- Perfiles de los saltos esquí estudiados.

### Objetivo

El objetivo del presente estudio es seleccionar la Alternativa más favorable, para lo cual se realizó la caracterización hidráulica de las 4 alternativas.

### Metodología

Para realizar la evaluación de las alternativas se construyeron las curvas Altura – Caudal (H-Q), las curvas de Despegue (Q-D) y se evaluaron las erosiones producidas aguas abajo de la estructura para diferentes caudales.

Para la realización de las curvas H-Q, se hizo variar el caudal Q que ingresa al modelo y se midió la altura H correspondiente a cada uno de los caudales. Para realizar esta tarea el modelo físico cuenta con escalas graduadas al milímetro ubicadas en las márgenes derecha e izquierda de cada estructura de descarga (Figura 2).

Las lecturas de H para caracterizar los diferentes perfiles del CM fueron tomadas en las escalas ubicadas sobre la margen derecha del CM y en la margen derecha del DM. No se utilizó la escala de margen izquierda del CM, ya que su lectura está influenciada por efectos de separación del flujo.



Figura 2.- Ejemplo de Figura (gráfico tipo "line-art")

Por otro lado, para realizar la medición de los caudales que ingresan al modelo físico se construyeron cámaras de aforo, las cuales cuentan con vertederos triangulares de pared delgada (ángulo de 90°), cuya curva de descarga había sido calibrada previamente.

Además, se determinaron las curvas de despegue (Q - D). La distancia de despegue (D) del chorro aguas abajo del salto esqui se midió como se muestra en la Figura 3.

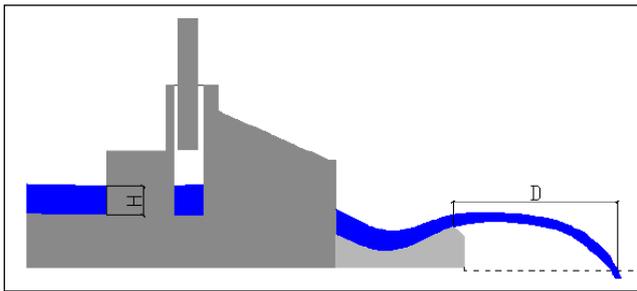


Figura 3.- Ejemplo de Figura (gráfico tipo "line-art")

Finalmente se realizaron ensayos de erosión aguas abajo del Canal Moderador para diferentes caudales y una vez estabilizada la erosión se relevaron 4 perfiles de las fosas de erosión (Figura 4).

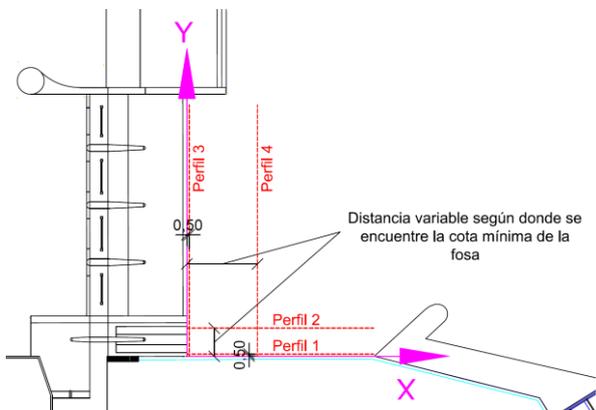


Figura 4.- Ubicación de los perfiles relevados de la fosa de erosión para los distintos ensayos.

## Resultados

Al realizar las curvas H-Q de las diferentes alternativas del Canal Moderador se observó que esta relación es independiente del perfil del salto esqui, esto se debe a que cuando el flujo pasa a través de la rápida de esta estructura se pasa a régimen supercrítico. En la Figura 5 se muestran los valores obtenidos para las 4 alternativas ensayadas:

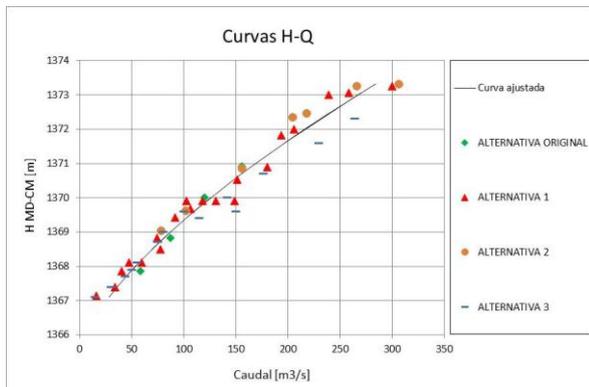


Figura 5.- Curvas H-Q del Canal Moderador.

Se calibró la siguiente relación H-Q:

$$Q = 12.738 \cdot H^{1.5} \quad [1]$$

Al realizar los ensayos para determinar las curvas H-Q se analizó el comportamiento hidráulico de los diferentes perfiles lanzadores y se observó que la Alternativa 2, al igual que la original, genera el despegue de la lámina de agua para un caudal de cercano a 100 m³/s el cual se considera muy elevado, ya que

para valores menores se produce el resalto hidráulico (efecto perjudicial para la estructura). Por este motivo la Alternativa 2, al igual que la original fueron desestimadas.

Se determinaron las curvas de despegue (Q-D) para las Alternativas no descartadas (1 y 3), que son los perfiles que presentaron un mejor comportamiento hidráulico. En la Figura 6 se presentan las curvas Q-D.

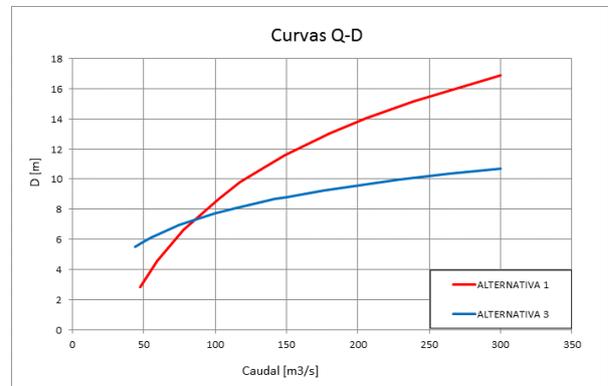


Figura 6.- Curvas Q-D del Canal Moderador.

De esta figura se observa que el caudal de despegue de la Alternativa 1 (50 m³/s) es mayor que el de la Alternativa 3 (45 m³/s), esta diferencia se debe a que la Alternativa 3 tiene un ángulo menor (11°) por lo que el despegue se produce con un caudal menor que para la Alternativa 1 cuyo ángulo de despegue es 26°.

Para estas últimas 2 alternativas (1 y 3), además se evaluó la erosión aguas abajo de la estructura para diferentes caudales. En la Figura 7 se presenta un gráfico comparativo del Perfil 2 correspondiente al máximo caudal erogable por la estructura (250 m³/s). Se puede observar que la alternativa 3, que tiene el menor ángulo de despegue generó una erosión mayor (cota 1342 msnm) y a una distancia menor del pie de la estructura (24m).

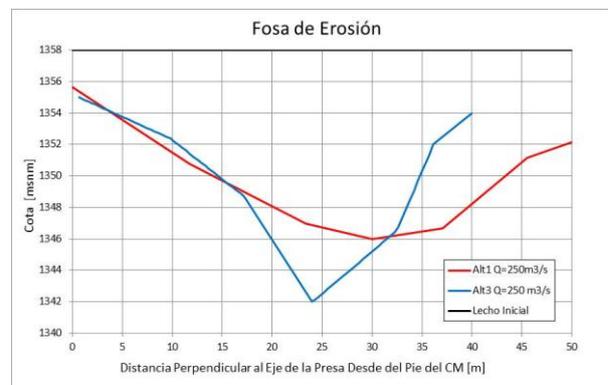


Figura 7.- Perfil de la fosa de erosión perpendicular al eje de la presa.

## Conclusiones

Se observó que los perfiles lanzadores que presentan un mejor funcionamiento hidráulico son las alternativas 1 y 3.

Para la alternativa 1 se observaron erosiones menores, pero un mayor caudal de despegue. Por otro lado las erosiones producidas para diferentes caudales que van entre 15 y 250 m³/s con la alternativa 3 no comprometen la estabilidad de la estructura.

Finalmente, haciendo un balance entre la erosión aguas abajo de la estructura y el despegue de la lámina para diferentes caudales se optó por la alternativa 3. Ya que el despegue de la lámina se genera para un caudal más bajo, con lo cual se reducen los efectos de abrasión, y aunque las erosiones sean mayores estas no ponen en riesgo la obra.