

# ANÁLISIS HIDRODINÁMICO Y MORFODINÁMICO DEL EFECTO DE OPERACIÓN DE LOS ÓRGANOS DE EVACUACIÓN DEL DIQUE LOS MOLINOS (JUJUY) MEDIANTE MODELO FÍSICO

Nicolás F. Guillén<sup>1</sup>, Carlos Pacheco<sup>1</sup>, Pablo Pistoia<sup>1</sup>, Tomas Vaschalde<sup>1</sup>, Mariano Corral<sup>1</sup>, Gerardo Hillman<sup>1</sup>, Andrés Rodríguez<sup>1</sup>, Carlos M. García<sup>1</sup>, Antoine Patalano<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av Filloy s/n, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina .

## Introducción

La presa Los Molinos, localizada 1 km. aguas debajo de la confluencia de los Ríos Reyes y Grande en la provincia de Jujuy, Argentina (ver **Figura 1**), es una obra hidráulica existente cuyo objetivo es abastecer a la región de agua para riego. En su situación actual, la obra presenta problemas en su operación debido a la colmatación con sedimentos aguas arriba del dique, erosiones significativas aguas abajo y desgaste de la presa por abrasión. Para evaluar el diseño propuesto para dar solución a esta problemática, se construyó un modelo físico 3D (escala 1:65) con similitud de Froude en el Laboratorio de Hidráulica de la FCEfyN - UNC.

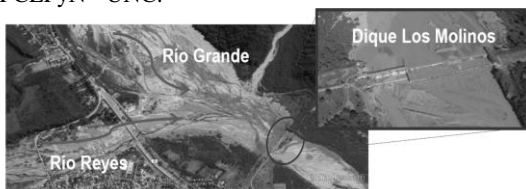


Figura 1.- Ubicación de la presa Los Molinos.

## Metodología

El trabajo se divide principalmente en 2 partes:

- Medición de velocidades en las estructuras para diferentes caudales para evaluar la capacidad de descarga de cada una bajo distintas configuraciones hidráulicas.
- Ensayos a fondo móvil aguas arriba del dique para evaluar la capacidad de evacuación de sedimentos de esa zona con distintas metodologías de operación.

En los ensayos se utilizaron las siguientes técnicas:

- Tubo Pitot: se midió velocidad en el centro de cada estructura.
- PTV (Velocimetría por seguimiento de partículas): se midió la distribución de velocidades superficiales aguas arriba del dique.
- Medición con nivel óptico: se midió la fosa final formada en cada ensayo.
- Captura de fotografías: se midió la variación de la hoya de erosión en el tiempo.

## Resultados

En la **Figura 2** se muestran los órganos de evacuación con las denominaciones que recibirán de ahora en adelante.

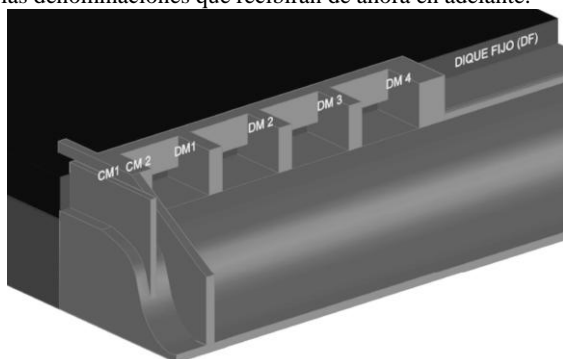


Figura 2.- Croquis de la instalación experimental.

Como primera tarea, utilizando el Tubo Pitot se midió la velocidad en cada estructura móvil del dique y se evaluó la eficiencia de cada compuerta y descargador de fondo. En la **Figura 3**, se observa lo obtenido:

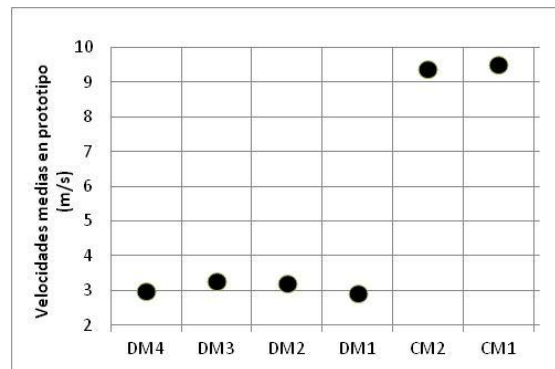


Figura 3.- Velocidades medias en prototipo [m/s] en cada estructura.

Se observa que a pesar que todas las compuertas del DM tienen las mismas dimensiones, no todas tienen el mismo comportamiento hidráulico. Esto se debe a que tienen distintas condiciones de borde. DM3 es la compuerta más eficiente (evacúa mayor caudal y las velocidades medidas son mayores). Si seguimos este criterio, le sigue DM2, luego DM4 y finalmente DM1. Aproximadamente, DM2 y DM3 evacuan el 17% del caudal total cada una; mientras que DM1 y DM4 evacuan el 16% cada una.

Análogamente, a pesar de que los 2 descargadores de fondo del CM tienen las mismas dimensiones, no tienen el mismo comportamiento hidráulico. CM1 es el más eficiente, ya que la velocidad medida es mayor que la obtenida en CM2. Aproximadamente, CM1 y CM2 evacuan el 18% del caudal total cada una.

También se evaluó la diferencia entre hacer entrar agua al modelo completamente por el Río Grande (Ensayo 1 de la **Tabla 1**), completamente por el Río Reyes (Ensayo 3), o una combinación de ambos casos, 65% por el Río Grande y un 35% por el Reyes -tal como lo dicta el estudio hidrológico de la cuenca- (Ensayo 2).

En estos ensayos estuvieron abiertas todas las compuertas (las 4 del DM y las 2 del CM) y el caudal ensayado fue 600 m<sup>3</sup>/s en prototipo. En la **Tabla 1**, se muestran los porcentajes de caudal erogados por cada estructura en los ensayos:

Tabla 1.- Porcentaje de caudal evacuado por cada estructura.

Ensayo	Prototipo					
	% de caudal evacuado					
	CM1	CM2	DM1	DM2	DM3	DM4
1	15%	15%	16%	17%	18%	18%
2	15%	15%	17%	17%	18%	18%
3	15%	14%	17%	18%	19%	17%

Lo que se observó fue que el modelo es poco sensible a la forma de ingreso de caudal. Si bien es conveniente que el

agua ingrese en forma combinada -Ensayo 2- (tal como lo dicta el estudio hidrológico), se ve claramente que varían poco los caudales erogados por los órganos de evacuación en las distintas condiciones ensayadas.

Luego de que se evaluaran las eficiencias de los órganos de evacuación, se procedió a ensayar con fondo móvil aguas arriba del dique. Se buscó verificar y observar el comportamiento del flujo de sedimentos aguas arriba de la estructura en el modelo. A su vez se evaluó la capacidad de evacuación de las compuertas y las combinaciones más eficientes, operando las mismas de acuerdo a planes de maniobra pensados para un óptimo funcionamiento. El caudal ensayado fue 600 m<sup>3</sup>/s en prototipo y este fue ingresado en un 65% por el Río Grande y el 35% restante lo hizo por el Río Reyes.

Al comienzo se evaluó la situación con una sola estructura abierta por ensayo. Esto se hizo tanto para DM3 como para CM1. También se evaluó lo que ocurría al abrir 2 estructuras móviles en un ensayo; esto se hizo tanto con DM2 y DM3 como con CM1 y CM2. Además, se ensayó con las 4 compuertas del DM abiertas.

Luego, se procedió a ensayar la situación con todas las estructuras móviles abiertas para evaluar la envolvente máxima de erosión. Para ello se fueron abriendo sucesivamente las 6 estructuras existentes: las 4 compuertas DM y los 2 descargadores de fondo del CM.

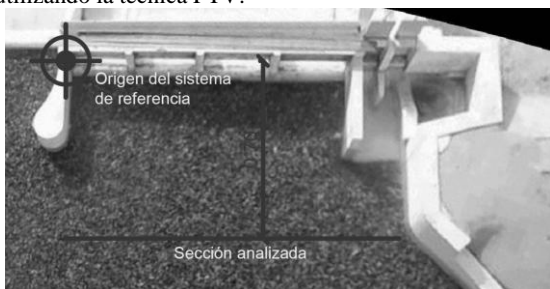
Para que la apertura de las diferentes estructuras móviles no fuese toda en el mismo instante, sino que la llamada de erosión se fuese formando en forma escalonada, se decidió ir abriendo cada una en un intervalo de tiempo de 5 minutos. El orden de apertura de dichas estructuras es el que se observa en la **Tabla 2** y es el mismo que el utilizado por los operadores del sistema en la actualidad ante una crecida que se espera con compuertas cerradas.

**Tabla 2.-** Orden de apertura de las estructuras móviles.

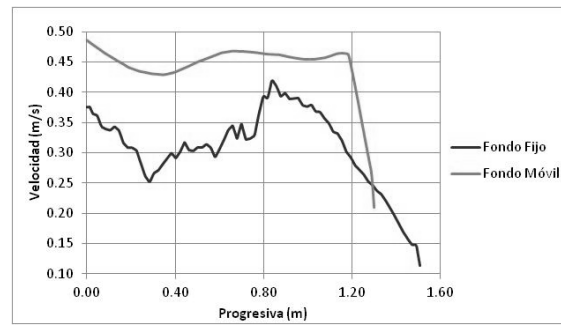
Tiempo ensayo	Estructura abierta
00:00	DM3
00:05	DM2
00:10	DM4
00:15	DM1
00:20	CM2
00:25	CM1

Luego de esos primeros 25 minutos se prosiguió con el ensayo pero ya con todas las estructuras abiertas hasta el final del mismo.

Como este mismo ensayo se había realizado con fondo móvil y con fondo fijo, se procedió a comparar los perfiles de velocidad obtenidos en la sección que se observa en la **Figura 4** (que se encuentra a 70 cm. del labio del dique), utilizando la técnica PTV.



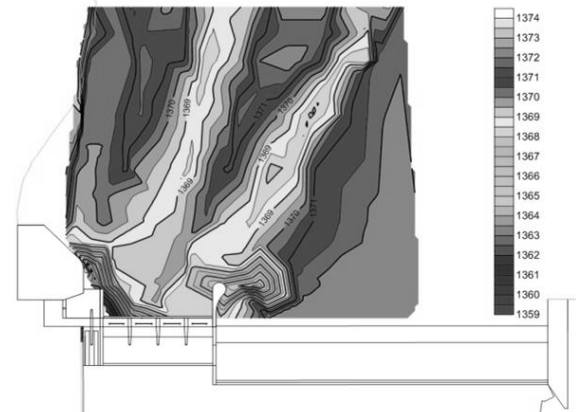
**Figura 4.-** Sección donde se midieron perfiles de velocidad.



**Figura 5.-** Perfiles de velocidad superficial [m/s] de la sección que se observa en la **Figura 4**.

Los perfiles obtenidos (que son los que se ven en la **Figura 5**), muestran que las velocidades en el ensayo a fondo móvil son superiores al caso con fondo fijo. Si se tiene en cuenta que las batimetrías de la misma sección son diferentes, se demuestra que el caudal en ambos ensayos es el mismo.

Luego de haber logrado la estabilización de la fosa de erosión, antes de finalizar del ensayo se relevaron puntos para generar la superficie digital de la misma (ver **Figura 6**) y así poder evaluar el volumen de arena removido.



**Figura 6.-** Curvas de nivel obtenidas a partir de la superficie digital del terreno.

Para validar la superficie lograda se procedió a cuantificar el volumen de arena removido. Para poder realizar esto, a partir de la superficie digital, es posible determinar el volumen de arena transportado hacia aguas abajo. Por otro lado, se recurrió a una tolva construida debajo del dique. Partiendo de la superficie de la misma (dato conocido) y de la altura de arena almacenada, se cuantificó el volumen de arena removida. Los resultados de esta cuantificación se muestran en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.-** Volumen de arena removido durante el ensayo.

<u>1) Tolva</u>		
Superficie de la tolva [m <sup>2</sup> ]		0.90
Altura arena [m]		0.42
Volumen de arena [m <sup>3</sup> ]		0.37 (A)
<u>2) Superficie Digital del Terreno</u>		
Volumen de arena removido	Prototipo [m <sup>3</sup> ]	107777
	Modelo [m <sup>3</sup> ]	0.39 (B)
	Diferencia [m <sup>3</sup> ]	0.02 (A-B)
	Error [%]	5% (A-B)/max(A,B)