

Physical Modeling of the Reduction of Flow Velocity at the Outlet of a Stilling Basin for Derivatives Dams with Different Depths.

Gerald Jacoby Torres Villena ¹, Mercedes Silva Tanta ², Franco Aarón Chuquilín López ³,
Luis Vásquez-Ramírez, Dr. ⁴

¹ Escuela profesional de Ingeniería Hidráulica, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, gtorresv18_2@unc.edu.pe,
msilvat18_2@unc.edu.pe, fchuquilin14@unc.edu.pe, lvasquez@unc.edu.pe

This study seeks to address the challenges posed by hydraulic head management in diversion dams, focusing especially on reducing scour and improving riverbed stability. To achieve this, mechanisms such as stilling basins, designed to reduce the kinetic energy of water flow and thus minimize downstream erosion risks, were evaluated. Using the "Tres Molinos" dam in Cajamarca, Peru, as a reference, a 1:25 scale physical model was built at the Water Resources Laboratory of the National University of Cajamarca, taking into account hydraulic similarity principles. Through experimental tests carried out on this model, the flow characteristics at different depths of the stilling basin could be analyzed. The results demonstrated a considerable reduction in flow velocity and scour downstream of the mitigation structure, with velocities ranging from 0.276 m/s to 0.667 m/s and scour depths varying from 1.5 cm to 6.9 cm, confirming the effectiveness of an appropriate design of energy dissipation structures not only to control flow velocity but also to reduce scour and improve the stability of hydraulic infrastructures. Furthermore, the results showed a remarkable efficiency in energy dissipation, reaching up to 56% in flow velocity reduction and up to 60% decrease in scour compared to a diversion dam without a stilling basin.

Keywords – Diversion dam, dissipation pool, scour, flow velocity, erosion.

Modelamiento Físico de la Velocidad de Flujo en la salida de un Cuenco Amortiguador para Presas Derivadoras con diferentes profundidades.

Gerald Jacoby Torres Villena ¹, Mercedes Silva Tanta ², Franco Aarón Chuquilín López ³,
Luis Vásquez-Ramírez, Dr. ⁴

¹ Escuela profesional de Ingeniería Hidráulica, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, gtorresv18_2@unc.edu.pe,
msilvat18_2@unc.edu.pe, fchuquilin14@unc.edu.pe, lvasquez@unc.edu.pe

Resumen – Este estudio busca abordar los desafíos que plantea el manejo del resalto hidráulico en presas derivadoras, centrándose especialmente en la reducción de la socavación y en mejorar la estabilidad del lecho fluvial. Para lograr esto, se evaluaron mecanismos como cuencos amortiguadores, diseñados para reducir la energía cinética del flujo de agua y, de esta manera, minimizar los riesgos de erosión aguas abajo. Usando la presa "Tres Molinos" en Cajamarca, Perú, como referencia, se construyó un modelo físico a escala 1:25 en el laboratorio de recursos hídricos de la Universidad Nacional de Cajamarca, tomando en cuenta principios de semejanza hidráulica. A través de las pruebas experimentales realizadas en este modelo, se pudieron analizar las características del flujo en diferentes profundidades del cuenco amortiguador. Los resultados demostraron una reducción considerable en la velocidad del flujo y la socavación aguas abajo de la estructura de mitigación, las velocidades obtenidas fluctuaron entre 0.276 m/s y 0.667 m/s y profundidades de socavación que varían desde los 1.5 cm y 6.9 cm, lo que confirma la efectividad de un diseño adecuado de estructuras de disipación de energía no solo para controlar la velocidad del flujo, sino también para reducir la socavación y mejorar la estabilidad de las infraestructuras hidráulicas. Además, los resultados mostraron una eficiencia notable en la disipación de energía, alcanzando hasta un 56% en la reducción de la velocidad del flujo y una disminución de hasta un 60% en la socavación en comparación a una presa derivadora sin cuenco amortiguador.

Palabras clave – Presa derivadora, poza disipadora, socavación, velocidad de flujo, erosión.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión del resalto hidráulico en presas derivadoras es un tema importante en la ingeniería hidráulica y la gestión de recursos hídricos. La fuerza generada por este fenómeno tiene un impacto significativo en la eficiencia y sostenibilidad ya que disminuye la capacidad operativa de la estructura.

Según [1], las presas derivadoras son estructuras hidráulicas fundamentales diseñadas para desviar el caudal de los ríos hacia sistemas de conducción, como canales o tuberías, sin necesariamente almacenar agua. Para [2], estas estructuras regulan el flujo hacia sistemas de irrigación, generación de energía y suministro de agua potable. Además, [3] menciona que cuentan con componentes como compuertas y estructuras disipadoras de energía, esenciales para prevenir fenómenos erosivos aguas abajo. Un elemento clave en este contexto son

las estructuras disipadoras de energía, cuya función principal según [4], es reducir la energía cinética de flujos rápidos y minimizar problemas como la socavación y la erosión del lecho del río. Estas estructuras incluyen cuencos amortiguadores, vertederos escalonados y disipadores dentados, diseñados bajo principios de hidráulica.

En el diseño de estas estructuras, el resalto hidráulico desempeña un papel esencial, permitiendo la transición de un flujo rápido (régimen supercrítico) a uno más lento (régimen subcrítico), acompañado de una significativa disipación de energía. Este fenómeno, según [5], es crítico para el control de velocidades aguas abajo y la mitigación de riesgos erosivos. Por otro lado, la socavación en ríos, un proceso de erosión causado por la acción hidráulica del flujo, representa un desafío para la estabilidad de las estructuras hidráulicas, especialmente en descargas rápidas. Para abordar este problema, [6] menciona que el modelamiento hidráulico, tanto físico como computacional, permite predecir el comportamiento del flujo en condiciones controladas, asegurando el cumplimiento de los principios de semejanza dinámica, geométrica y cinemática.

El modelamiento físico a escala dinámica permite replicar las condiciones reales de flujo, manteniendo las proporciones entre fuerzas inerciales, gravitacionales y viscosas, según los principios de similitud hidráulica. Este enfoque, según [7], se basa en la aplicación de la fórmula de Froude, que asegura que la relación entre las fuerzas de inercia y gravedad sea constante en el modelo y el prototipo, garantizando que fenómenos como la formación de olas y la disipación de energía se reproduzcan de manera precisa. A través de este método, en [8] se diseña un modelo reducido en dimensiones, que permite evaluar variables clave como la disipación de energía, validar sus diseños y realizar ajustes antes de su implementación a escala real.

[9], [10] mencionan que la problemática actual se centra en la socavación en presas derivadoras, un fenómeno que pone en riesgo la estabilidad de las estructuras hidráulicas debido a las altas velocidades de flujo y condiciones erosivas. La falta de soluciones efectivas para mitigar este problema ha llevado al desarrollo de propuestas como estructuras amortiguadoras diseñadas para disipar energía y reducir la velocidad del flujo. Frente a esta situación, surge la pregunta: ¿En qué porcentaje se reduce la velocidad y la socavación al implementar una estructura amortiguadora en una presa derivadora?

El objetivo general de esta investigación es evaluar una poza dissipadora en presas derivadoras, con diferentes profundidades, que reduzca la velocidad de flujo aguas abajo de la presa. Los objetivos específicos incluyen la construcción de modelos físicos de presas derivadoras con poza de dissipación a diferentes profundidades, la determinación de la eficiencia de la estructura en la dissipación de energía y la comparación de los resultados obtenidos con otras investigaciones similares. Se plantea la hipótesis de que una poza dissipadora ubicada a 5 m de profundidad puede reducir la velocidad del flujo en un 80% o más, mejorando la estabilidad del lecho fluvial.

Diversas investigaciones han abordado la problemática de la dissipación de energía en estructuras hidráulicas. Por ejemplo, en [4] se ha estudiado el uso de pilares segmentados para mejorar la eficiencia de dissipación, alcanzando tasas de hasta el 90.04 %. También se ha analizado el impacto de la aireación en flujos supercríticos, encontrando que una mayor concentración de aire aumenta la dissipación de energía por fricción. En otro estudio, [15] nos dice que se exploraron modelos físicos de aliviaderos escalonados con diferentes configuraciones geométricas, destacando la importancia de optimizar la geometría para mejorar la eficiencia, llegando a tener valores de 44.8% de eficiencia para geometrías parabólicas. [10] Nos menciona que han realizado investigaciones en proyectos como el Sistema de Riego del Valle de Chancay-Lambayeque y la Presa Sutunta-Cusco, mostrando avances significativos en la reducción de energía y velocidad de flujo mediante el uso de modelos físicos, obteniendo como resultados una mejora en la aplicación en campo del 68.5 % en promedio para ambos proyectos.

Para [2], la evaluación de cuencos amortiguadores en condiciones de flujo variable ha demostrado la eficacia de estas estructuras en la dissipación de energía. En particular, el cuenco tipo III presentó mejores resultados para caudales cercanos al diseño en un 53.8 %, mientras que el tipo IV mostró una mayor capacidad de dissipación en un rango más amplio de caudales en un 48.2%. Estas investigaciones resaltan la importancia de diseñar estructuras adaptadas a las características específicas del flujo y del material del lecho.

Como vemos, diversos estudios han demostrado la eficiencia de estructuras hidráulicas en la dissipación de energía y la reducción de la erosión fluvial. Del mismo modo, [20] evidenció que los perfiles de barraje influyen significativamente en el comportamiento del resalto hidráulico, optimizando la reducción de velocidad y turbulencias hasta en un 40.5 %.

Estos resultados subrayan la importancia de utilizar modelos físicos y numéricos para analizar y predecir el comportamiento hidráulico de estructuras, tal como se evidencia en estudios como los de [16], [17], [19], que mencionan la utilidad de los experimentos a escala para validar diseños y optimizar su desempeño en condiciones reales.

La importancia de esta investigación radica en su contribución al diseño de estructuras hidráulicas con un sistema más eficiente, capaces de reducir los riesgos asociados a altas

velocidades aguas abajo de las presas derivadoras. Además, proporciona información para el desarrollo de modelos físicos a escala, cumpliendo con los principios de semejanza dinámica y mejorando la precisión en la predicción del comportamiento del flujo. Los resultados esperados no solo beneficiarán la estabilidad de las presas derivadoras, sino que también brindarán un aporte de conocimientos para algunas otras investigaciones, aplicable en zonas similares de alta montaña.

Esta investigación busca aportar soluciones basadas en evidencia experimental y análisis comparativos, estableciendo un marco para el diseño y la implementación de estructuras amortiguadoras más eficientes en el control de energía y la mitigación de la socavación en ríos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La presa de derivación “Tres Molinos” Está ubicado al norte del Perú en la región, departamento, provincia y distrito de Cajamarca (Fig. 1), la captación se encuentra en el lecho del río Grande que pertenece a la cuenca del Río Mashcón, vertiente de la cuenca del “Amazonas” y el Atlántico. La cuenca “Mascón”, se encuentra ubicada en la Zona 17 S y coordenadas UTM, Este (07°06'20.3”) Norte (78°31'31.2”) Altitud 2808 m.s.n.m.

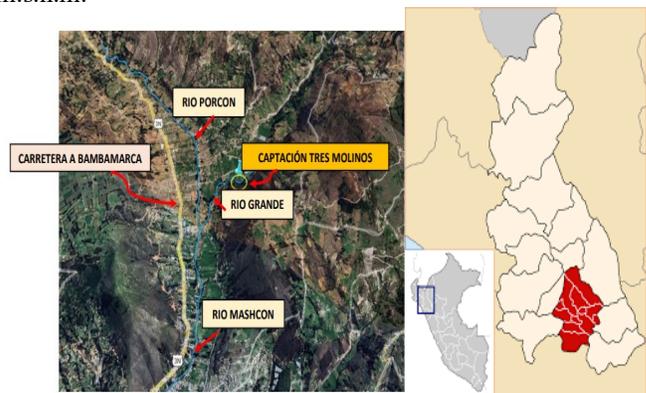


Fig. 1 Ubicación de la captación “Tres Molinos”.

La presa derivadora “Tres Molinos” fue considerada como prototipo en la investigación, se encuentra situada en el lecho areno-gravoso del río Grande en la región de Cajamarca. Este estudio fue de diseño experimental, cuantitativo de campo y laboratorio de nivel correlacional. Se utilizaron sedimentos no cohesivos de río de consistencia dura, con un modelo a escala reducida de 1:25. La elección de profundidades para el cuenco amortiguador, que van desde los 0 hasta los 20 cm, responde tanto a criterios técnicos como prácticos. Este rango fue seleccionado porque permite observar claramente cómo varía el comportamiento del flujo conforme aumenta la profundidad, manteniéndose dentro de los límites que el modelo físico y las condiciones de laboratorio pueden reproducir de forma precisa. Además, se consideró que profundidades mayores podrían generar resultados difíciles de controlar o poco representativos para el modelo a escala 1:25.

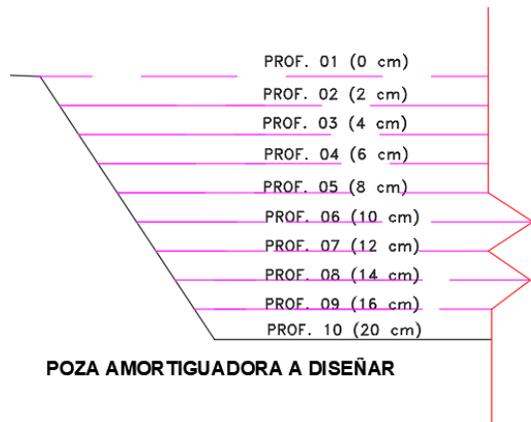


Fig. 2 Modelo computacional de la propuesta de poza disipadora

En la Fig. 2 se muestra el diseño computacional del perfil del cuenco amortiguador, observando las profundidades que se tendrán en cuenta para el experimento en laboratorio.

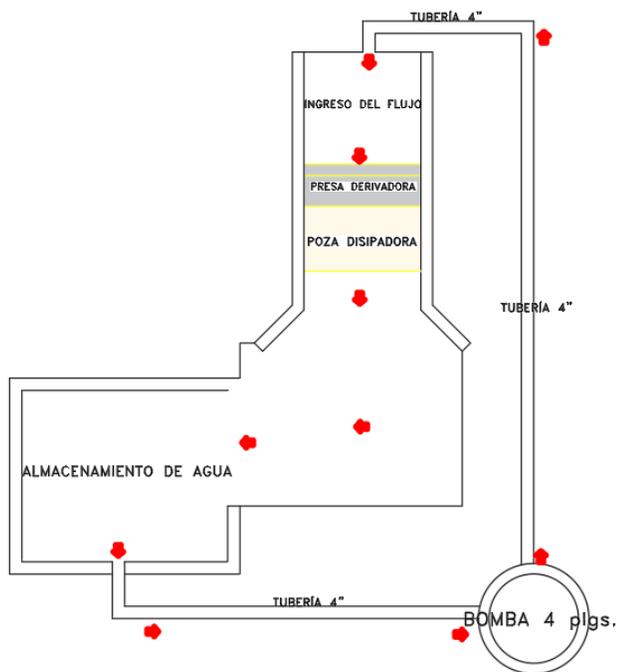


Fig. 3 Modelo computacional del sistema de poza disipadora en presas derivadoras

En la figura 3 se muestra un modelo computacional del sistema del laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca a escala reducida de 1:25.

El proceso constructivo de las presas derivadoras con propuesta de estructura amortiguadora se llevó a cabo en el laboratorio de recursos hídricos de la Universidad Nacional de Cajamarca, un entorno controlado que permite la replicación precisa de las condiciones necesarias para la evaluación experimental. La construcción se realizó siguiendo estrictamente las especificaciones de diseño de la presa

derivadora “Tres Molinos”, tanto en las condiciones geométricas como en sus características fluviales (sedimentos del lecho fluvial), asegurando que el prototipo reflejara las características esenciales de la estructura y la composición del lecho fluvial (Fig. 4).



Fig. 4 Modelo físico del modelo (escala 1:25)

La investigación fue planteada en 5 etapas, fundamentada en el análisis dimensional y teoría de similitud hidráulica entre modelo y prototipo.

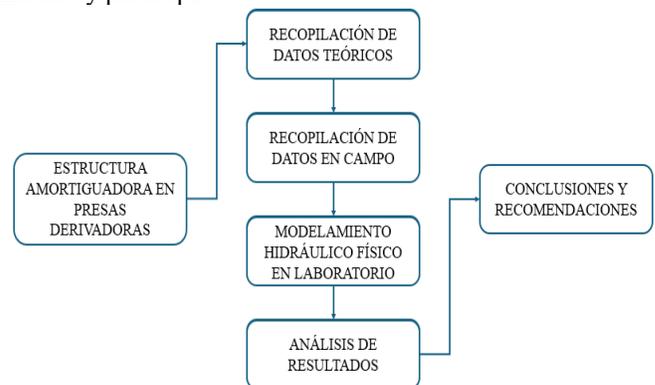


Fig. 5 Etapas del proceso de investigación

Como vemos en la Fig. 5, primero se realizó una revisión exhaustiva de la literatura para estudiar principios hidráulicos, teorías de disipación de energía, control de socavación y análisis de casos similares. Luego se recopila datos en campo incluyendo velocidades de flujo, materiales del lecho y

dimensiones de estructuras existentes, para definir parámetros para el modelamiento físico. En el laboratorio de recursos hídricos se diseñó y construyó un modelo físico a escala permitiendo simular el comportamiento hidráulico en condiciones controladas y evaluar variables como la velocidad del flujo y la socavación. Posteriormente se analizó los datos obtenidos comparando el rendimiento de la estructura amortiguadora frente a un modelo sin dicha estructura, identificando patrones de comportamiento y variaciones en la socavación del lecho. Finalmente, se extraen conclusiones y se emitió recomendaciones prácticas para el diseño y construcción de estas estructuras, junto con sugerencias para futuras investigaciones o mejoras en el modelo utilizado.

Para el modelamiento hidráulico se tuvo como fundamento a la teoría de similitud modelo–prototipo, para las condiciones de semejanza geométrica, cinemática, dinámica y sedimentológica.

$$\frac{Q_M}{Q_P} = Le^{5/2} \quad (1)$$

Donde: Q_M es caudal del modelo, Q_P es caudal del prototipo y Le será la escala aceptada.

Para el porcentaje sedimentológico, de acuerdo con [10] realizamos una extracción de los sedimentos en campo dimensionando una calicata de 1 m² y 0.60 m de profundidad en el río aguas arriba de la presa derivadora “Tres Molinos”.



Fig. 6 Extracción de material sedimentológico del Río Grande.

Porcentaje de cada material

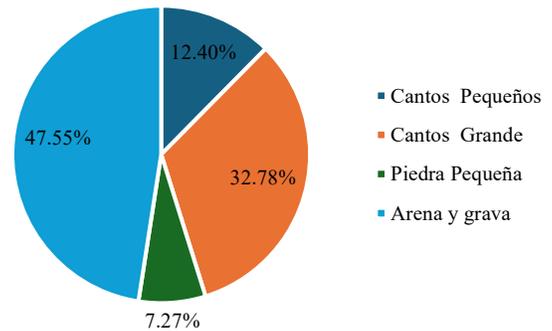


Fig. 7 Porcentajes de la muestra extraída, compuesta por cantos, piedra, arena y grava.

En la Fig. 7 se observa el porcentaje sedimentológico para el modelamiento del lecho del río a escala, viendo un 47.55% de arena y grava, 32.78% de cantos grandes, 7.27% de piedra pequeña y 12.40% de cantos pequeños.

TABLA I
VALORES DE DATOS DE PROFUNDIDAD DE POZA A MODELAR EN LABORATORIO

Ensayo	Prof. cm
1	0
2	4
3	6
4	8
5	10
6	12
7	14
8	16
9	18
10	20

TABLA II
VALORES DE DATOS DE CAUDAL A MODELAR EN LABORATORIO

CAUDAL	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
L/S	3.0	3.6	4.0	4.4	4.8	5.7	6.0

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se trabajaron con la teoría de modelamiento físico a escala dinámica según Froude:

$$Q_P = 13.8974 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_M = 0.0060 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

Se muestran los resultados de las mediciones realizadas en el laboratorio de recursos hídricos de la Universidad Nacional de Cajamarca y datos obtenidos previamente en trabajos anteriores para datos de cálculo hidrológico en el río, donde aplicando el cálculo respectivo obtenemos la siguiente escala a trabajar en nuestro modelo:

$$Le = 1/22.5$$

Para mayor facilidad de cálculos y construcción, se construyó una escala múltiplo de 5 para tener mejor facilidad de trabajo.

$$Le = 1/25$$

TABLA III
DATOS DE VELOCIDADES OBTENIDAS AGUAS DEBAJO DEL CUENCO AMORTIGUADOR

Datos de velocidad de flujo en cada ensayo (m/s)							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
Prof. 1	0.364	0.429	0.465	0.571	0.632	0.667	0.667
Prof. 2	0.373	0.423	0.449	0.529	0.489	0.532	0.574
Prof. 3	0.358	0.399	0.418	0.476	0.45	0.483	0.514
Prof. 4	0.343	0.377	0.392	0.433	0.417	0.442	0.466
Prof. 5	0.33	0.358	0.369	0.397	0.389	0.408	0.425
Prof. 6	0.318	0.34	0.348	0.367	0.364	0.378	0.392
Prof. 7	0.303	0.326	0.33	0.335	0.337	0.351	0.361
Prof. 8	0.303	0.308	0.314	0.326	0.33	0.333	0.343
Prof. 9	0.286	0.294	0.294	0.299	0.303	0.308	0.312
Prof. 10	0.276	0.286	0.286	0.279	0.288	0.294	0.299

De la tabla III podemos decir que a medida que el cuenco amortiguador tiene más profundidad la velocidad tiende a disminuir, mientras que un mayor caudal genera velocidades más altas, especialmente en la superficie. En las capas más cercanas a la superficie, las velocidades oscilaron entre 0.364 m/s y 0.667 m/s, dependiendo del caudal. En cambio, en las zonas más profundas, las velocidades fueron menores y con menos variación, entre 0.276 m/s y 0.299 m/s.

TABLA IV
DATOS DE PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN OBTENIDAS EN LA SALIDA DEL CUENCO

Datos de socavación (cm)							
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
Prof. 1	3.6	4.5	5.3	5.9	6	6.4	6.9
Prof. 2	3.6	4.3	5.4	5.9	5.9	6.4	6.9
Prof. 3	3.1	4.2	5	5.6	5.7	6.3	6.5
Prof. 4	2.9	3.8	4.4	4.4	5.5	6	6.5
Prof. 5	2.8	3.7	3.8	4	5.5	5.8	6.2
Prof. 6	2.5	3.2	3.3	3.5	5.2	5.3	5.5
Prof. 7	1.6	2.6	2.8	3.2	4.9	5.1	5.4
Prof. 8	1.6	2.4	2.5	2.8	4.7	4.9	4.9
Prof. 9	1.6	2.1	2.1	2.6	4.7	4.8	4.8
Prof. 10	1.5	1.9	1.9	2	3.5	3.9	4.1

En la tabla IV podemos ver que la socavación aumenta con el caudal y disminuye con la profundidad. En las profundidades más superficiales la socavación varió entre **3.6 cm** y **6.9 cm**, siendo mayor en los caudales más altos. A medida que la profundidad aumenta, la socavación se reduce progresivamente, alcanzando valores mínimos de **1.5 cm** a **4.1 cm** en la mayor profundidad evaluada.

Para analizar la eficiencia de la poza disipadora utilizamos la fórmula de eficiencia mencionada en [22] para desarrollar la relación entre una estructura con poza disipadora a diferentes profundidades y una sin estructura disipadora.

$$ef = \frac{PR}{CE} \times 100 \quad (2)$$

Donde PR Velocidad con poza disipadora (m/s) y CE es la velocidad sin poza disipadora (m/s).

Al realizar los ensayos en laboratorio obtuvimos los resultados para la velocidad reducida por la poza disipadora, los cuales los trabajaremos en base a porcentaje, teniendo la relación de la velocidad obtenida en una presa disipadora sin estructura de disipación y con estructura a diferentes profundidades, en la Fig. 8 podemos observar la relación existente entre estos parámetros.

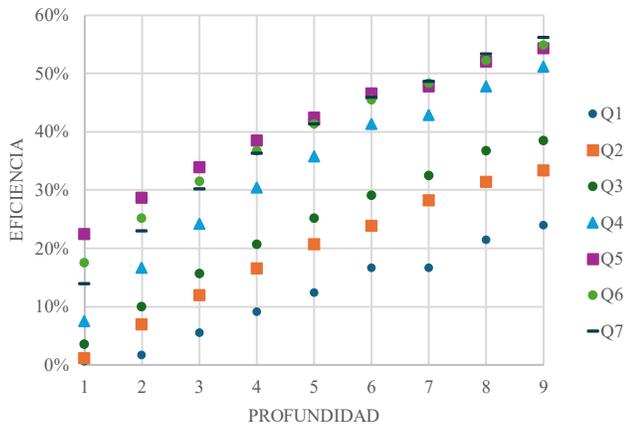


Fig. 8. Resultados de la eficiencia en la reducción de la velocidad del flujo aguas debajo del cuenco amortiguador.

En la Fig. 8 podemos observar que la eficiencia en la reducción de la velocidad del flujo aumenta con la profundidad del cuenco amortiguador. En las profundidades más superficiales, la reducción de velocidad es baja, variando entre 1% y 14% dependiendo del caudal. Conforme la profundidad aumenta, la eficiencia mejora progresivamente, alcanzando valores máximos entre 24% y 56% en la mayor profundidad evaluada.

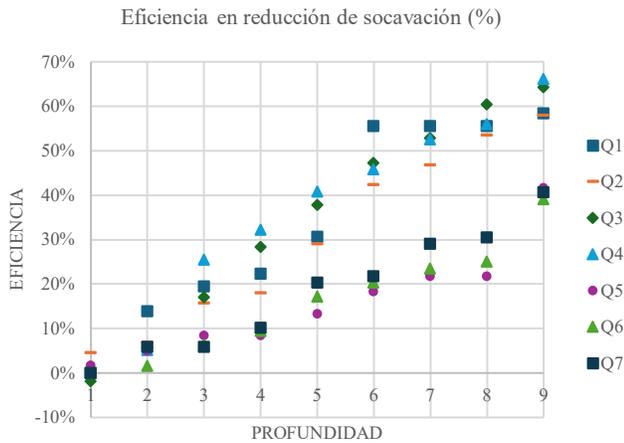


Fig. 9. Resultados de la eficiencia en la reducción de la socavación aguas debajo del cuenco amortiguador

En la fig. 9 vemos que la eficiencia en la reducción de socavación mejora con la profundidad, alcanzando sus valores más altos en las capas más profundas. En las primeras profundidades (las más superficiales), la eficiencia es baja, con valores entre 2% y 6%. Conforme la profundidad aumenta, la eficiencia mejora progresivamente, llegando a valores entre 58% y 66% dependiendo del caudal en la mayor profundidad evaluada.

Los resultados obtenidos en este estudio sobre la eficiencia en la reducción de la velocidad de flujo y la socavación

coinciden con los hallazgos de investigaciones previas sobre disipación de energía en estructuras hidráulicas. En cuanto a la reducción de la velocidad de flujo, se observó una eficiencia considerable, especialmente en los ensayos con los perfiles más altos, alcanzando una eficiencia de hasta el 56%. Este valor se alinea con los resultados de [10], donde se logró una mejora en la eficiencia de disipación de energía de hasta el 68.5% mediante el uso de modelos físicos. Estos avances subrayan la efectividad de la modificación de la geometría de las estructuras para lograr una mayor eficiencia en la reducción de la velocidad de flujo.

Por otro lado, en términos de la reducción de la socavación, se alcanzaron eficiencias de hasta el 60% en los perfiles más profundos, lo que resalta la capacidad de las estructuras para mitigar la erosión del lecho y aumentar la estabilidad de las infraestructuras hidráulicas. Este comportamiento es consistente con otros estudios previos sobre el uso de pilares segmentados y estructuras amortiguadoras como es el caso de [4], que han mostrado eficiencias de hasta el 90% en la disipación de energía y la reducción de socavación. Según lo mencionado en [2] para los cuencos amortiguadores, también han demostrado ser eficaces en la disipación de energía, con una mejora de hasta el 53.8% en caudales cercanos al diseño, lo que resalta la importancia de adaptar las estructuras a las características del flujo y del material del lecho.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio reveló que la velocidad disminuye a medida que aumenta la profundidad del cuenco amortiguador; en las profundidades más superficiales la velocidad es mayor y varía con el caudal con valores entre 0.364 m/s y 0.667 m/s, mientras que en las profundidades mayores la velocidad es menor y más estable, variando entre 0.276 m/s y 0.299 m/s. Cuando el caudal aumenta, la velocidad del flujo también lo hace en todas las profundidades, pero este efecto es más notable cerca de la superficie. En cuanto a la erosión del lecho, la socavación es más intensa en las profundidades superficiales y se reduce progresivamente con profundidades mayores, siendo más severa con caudales más altos. Además, se encontró que reducir la velocidad del flujo es más eficaz en las profundidades mayores, con eficiencias de hasta 56%, mientras que la reducción de la socavación alcanza hasta un 66% en las capas más profundas. Aunque el estudio se ha desarrollado en un entorno de laboratorio, la propuesta tiene potencial para ser adaptada a obras reales. Los resultados obtenidos indican que, con un diseño adecuado, es posible mejorar la eficiencia hidráulica y reducir los efectos erosivos de manera significativa. Este tipo de solución podría implementarse en zonas con características similares, especialmente en regiones altoandinas donde la estabilidad del lecho fluvial es un desafío constante. Como recomendaciones para proteger un sistema con presas derivadoras instalar estructuras que disipen la energía en áreas de alta velocidad y socavación como cuencos amortiguadores a profundidad, reforzar las zonas superficiales

más afectadas con materiales más resistentes para alargar la vida útil de estas estructuras. Dentro del modelado físico se recomienda combinar estudios físicos con modelos numéricos para predecir y optimizar soluciones, teniendo en cuenta ser lo más precisos en la construcción de los modelos y en la toma de datos, ya que esto ayudará a que nuestros resultados sean lo más parecidos a la realidad. Profundizar más un cuenco amortiguador implica mayor inversión inicial, sobre todo en términos de excavación y materiales. Sin embargo, al observar que profundidades mayores reducen notablemente la velocidad del flujo y la socavación, también se puede esperar una reducción en los costos de mantenimiento y reparación en el mediano y largo plazo, en ese sentido, la relación costo/beneficio resulta favorable, ya que se prioriza la durabilidad y el buen funcionamiento de la infraestructura.

REFERENCIAS

- [1] Ayala-Rojas, L. E., Franco-Rojas, A., & Padilla-González, E. A. (2020). Evaluación de la eficiencia en disipación de energía en estructuras hidráulicas construidas con gaviones y material reciclado (neumático usado) mediante modelamiento físico a escala reducida. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 143-154.
- [2] Vásquez, L. (2019). Evaluación hidráulica de la disipación de energía en cuatro tipos de cuencos amortiguadores, bajo condiciones de flujo variable. *Revista INGENIERÍA UC*, 26(2), 163-174.
- [3] Albank, H. H., & Khassaf, S. I. (2023). An Experimental Investigation of Energy Dissipation for Stepped Spillways with Different Flow Conditions. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 10(1).
- [4] Jáchal, I. D. G. C. R., & Juan, S. (2016). IAHR AIIH XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Lima, Perú, 28 al 30 de setiembre de 2016.
- [5] Schleiss, A. J., Erpicum, S., & Matos, J. (2023). Advances in spillway hydraulics: from theory to practice. *Water*, 15(12), 2161.
- [6] Rebollo, J. J., López, D., Ramos, T., & Garrote, L. (2018). Energy Dissipation Structures: Influence of Aeration in Supercritical Flows. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 7(1), 5.
- [7] Vásquez, L., & Terrones, N. (2019). Hydraulic evaluation of energy dissipation in four types of buffer basins, under variable flow conditions [Evaluación hidráulica de la disipación de energía en cuatro tipos de cuencos amortiguadores, bajo condiciones de flujo variable].
- [8] Verdum, R., Vieira, C. L., & Caneppele, J. C. G. (2016). Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo.
- [9] Andrade, J. H. R., & Maia, C. E. (2018). Erosão de Margens em Rios Semiáridos: Estudo na Sub-Bacia do Baixo Jaguaribe–Ceará–Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 19(4).
- [10] Vásquez, L. (2021). Modelamiento hidráulico en la estimación del incremento de la erosión en ríos altoandinos con contracción del cauce por presencia de presas derivadoras.
- [11] Gómez, R. P., & Breña, E. A. (2012). Diseño hidráulico de aliviaderos y obras de toma para presas. Editorial Universitaria Félix Varela.
- [12] Arreguín-Cortés, F. I., Rubio-Gutiérrez, H., Domínguez-Mora, R., & Luna-Cruz, F. D. (2014). Análisis de las inundaciones en la planicie tabasqueña en el periodo 1995-2010. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(3), 05-32.
- [13] Arreguín Cortés, F. (2000). Obras de excedencia. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- [14] Haramboure, Y. G., Sosa, O. G., & Díaz, S. R. Las fallas en presas de tierra. Caso de Estudio: falla por estabilidad de taludes en función de las condiciones de drenaje.
- [15] Galvis, O. L. P., Torres, H. R. V., & Mejía, J. H. G. (2008). Diseño de un sistema de inyección de corriente en pozo (sicp) modelado de la tubería de producción. *Revista UIS Ingenierías*, 7(1), 77-86.
- [16] Quispe Alvarado, J. J. (2021). Simulación numérica del comportamiento hidráulico de la bocatoma Huachipa-Lima 2019.
- [17] Gencel, Z. (2012). Ubicación de bocatomas en embalses en partes altas de ríos de gran capacidad de arrastre. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 33(2), 1-10.
- [18] Castro-Orgaz, O., Roldán, J., & Dolz, J. (2015). Resalto hidráulico ondulatorio. *Ingeniería del agua*, 19(2), 63-74.
- [19] Serrano Bajaña, F. D., & Hales Kusanovic, J. A. (2018). Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para el ensayo de resalto hidráulico de la asignatura mecánica de fluidos de la Universidad del Azuay (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- [20] Toribio Fernández, W. (2021). Influencia de tipos de perfil de barraje en el resalto hidráulico mediante modelos físico y numérico.