

DISEÑO DE CANALES ESCALONADOS PARA DRENAJE URBANO

Gabriel Rosado Cantillo, Ramiro Marbello Pérez y Lilian Posada García

Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional, sede Medellín.
E-mail: garosadoc@unal.edu.co, rvmarbel@unal.edu.co, lposada@unal.edu.co

Introducción

Actualmente en Colombia, se ha presentado un incremento en la construcción de los canales escalonados (disipadores de energía), especialmente, por la construcción de vías y canalización de los drenajes naturales; sin embargo, en el país, nunca se ha investigado el comportamiento del flujo en este tipo de canales y se han adoptado investigaciones realizadas a nivel internacional, sin ninguna validación. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en un modelo experimental a escala reducida, donde se simuló las trayectorias del flujo para distintos caudales, con distintas pendientes de canal. La experimentación permitió concluir que la metodología propuesta por Ohtsu et al. (2004) presenta una menor desviación con relación a los valores experimentales.

La mayoría de las investigaciones especializadas en el tema, realizadas en otros países, se han analizado el comportamiento del flujo en canales escalonados, orientados en optimizar la disipación de la energía en presas de concreto compactadas con rodillos (CCR).

Desde el año 860 a. c., se tienen reportes de la existencia de canales escalonados, la mayoría de ellos, empleados en corrientes naturales (ríos, quebradas, etc.), pero sin diseño alguno y sin la certeza de que hayan sido usados con el fin de disipar energía. Tan solo en 1906, con la construcción de la Presa de New Croton, se tiene registro del primer canal escalonado, construido con el fin de disipar energía (Chanson, 1994).

De acuerdo con Yasuda et al. (2001), Chanson et al. (2002) y Ohtsu et al. (2004), los canales escalonados son efectivos para disipar energía cinética en flujos supercríticos, cuando se tienen grandes pendientes, en vertederos para presas y estructuras de caídas.

El flujo en los canales escalonados es altamente turbulento y presenta auto aireación (concentración de aire en el agua, o aguas blancas), razón por la cual no presenta problemas de cavitación; sin embargo, caracterizar el flujo y determinar el comportamiento hidráulico resulta ser complicado, debido a que se deben tener en cuenta, los efectos de la turbulencia, la autoaireación y el intercambio de momentum (González & Chanson, 2007).

Experimentalmente se determinó que en un canal escalonado se puede presentar tres tipos de flujos: uno que presenta caídas sucesivas escalón a escalón, conocido como flujo saltante (Nappe Flow); otro que tiene apariencia de un flujo cuasi uniforme, ya que aparenta estar en fase reciar en fase con el fondo del canal o en otro caso, con la arista del canal, conocido como, el flujo rasante (skimming Flow) y por último, un flujo que representa la coexistencia entre el flujo saltante y rasante en algunos de los escalones, conocido como flujo transicional (González & Chanson, 2007).

Dado que el flujo en canales escalonados es difícil representarlo mediante fórmulas analíticas, en general, las recomendaciones para el diseño de canales escalonados se fundamentan en los resultados obtenidos en modelos físicos, a escala de laboratorio.

En Colombia, se tiene conocimiento que se utilizan tres metodologías para diseñar canales escalonados empleados en drenaje urbano; una de las metodologías es propuesta por González & Chanson (2007), la segunda, por Ohtsu et al. (2004) y la tercera, presentada por Llano (2003). El presente documento aporta recomendaciones y conclusiones para el diseño de canales escalonados, a partir de una recopilación de información y el montaje experimental. En la

Figura 1 se muestran algunos ejemplos de canales escalonados utilizados en drenaje urbano.



Figura 1.- Ejemplos de canales escalonados empleados en drenaje urbano.

Montaje experimental

Se desarrollaron dos montajes experimentales en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), en un canal de 6.0 m de largo y 0.394 m de ancho. Para cada uno de los montajes experimentales, se variaron, además de la pendiente longitudinal del canal, la longitud (l) de la huella y la altura (h) de la contrahuella, pasando, en el primer montaje, de 12° (h = 0.08 m, l = 0.367 m) a 8° (h = 0.08 m, l = 0.569 m); y en el segundo montaje, de 8° (h = 0.08 m, l = 0.569 m) a 17° (h = 0.08 m, l = 0.257 m). Para cada escenario de trabajo (o montaje), se simuló diferentes caudales, desde 0.010 m³/s hasta 0.845 m³/s. En la Figura 2 se muestra una imagen con los montajes experimentales realizados.

El caudal fue medido mediante un sensor magnético "SPARLING - GM657" y la profundidad del flujo, por medio de un sensor ultrasónico WL 705 - 12.

Mediante el análisis dimensional, se determinaron las siguientes variables representativas del comportamiento del flujo rasante [1].

$$\frac{d}{h} = f \left(F^*, C, \frac{\sigma}{\rho \cdot h^2 \cdot g}, \theta, \frac{B}{h}, \frac{\mu}{\rho \cdot h^{3/2} \cdot g^{1/2}} \right) \quad [1]$$

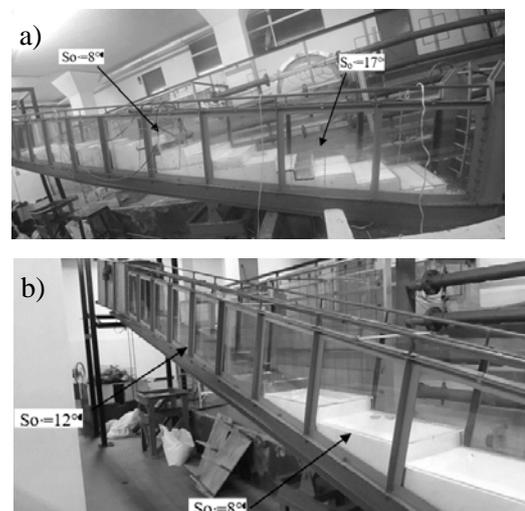


Figura 2.- Montaje experimental. a) configuración 1, b) configuración 2

Análisis de resultados

Para cada uno de los diferentes tipos de flujo (rasante y saltante), se obtuvo una expresión para determinar la profundidad media del flujo en movimiento, en función, de la relación adimensional de Froude rugoso.

Con base en el trabajo experimental se pudo establecer que para el canal de 8°, el flujo rasante se presentó a partir del caudal unitarios, $yc/h = 1.25$; para el canal de 12°, a partir de $yc/h = 1.38$; y para el canal de 17°, a partir de $yc/h = 1.31$. De acuerdo con los resultados obtenidos, estos valores presentan un buen ajuste con relación a la expresión de Chanson (2002).

En la Figura 3 y Figura 4 se muestra el comportamiento del flujo saltante y rasante, respectivamente. Como se puede apreciar, en el flujo saltante se evidencia la formación de una cavidad aireada, aguas abajo del chorro en caída, y el flujo rasante se caracteriza por presentar un flujo en fase con la huella del escalón, en ambas condiciones, el flujo en todos los escalones presenta un comportamiento constante.



Figura 3.- Comportamiento hidráulico de flujo saltante.

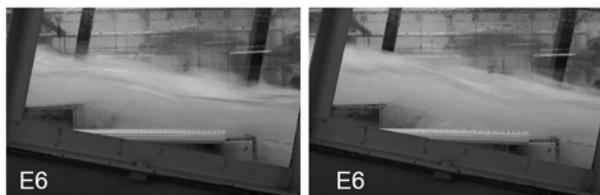


Figura 4.- Comportamiento hidráulico de flujo rasante.

De acuerdo con los resultados obtenidos y en concordancia con lo propuesto por Ohtsu (2004), se pudo establecer que, en los canales escalonados, bajo el régimen rasante, la fricción máxima se logra cuando el caudal unitario, se encuentra entre el siguiente rango: $0.43 \leq yc/h \leq 0.70$.

Los valores medidos en el canal escalonado fueron comparados con los correspondientes a un canal de fondo plano, con una pendiente de 12°. Se pudo concluir que, con régimen de flujo rasante, se puede alcanzar una disipación de la energía específica de un 70%, y para el régimen de flujo saltante se logra una disipación del 94% (Figura 5).

Con relación a la disminución de la velocidad, se pudo establecer que en los flujos rasantes, se presentó una disminución de un 50%; mientras, en el régimen saltante, la disminución fue del 80% (Figura 6).

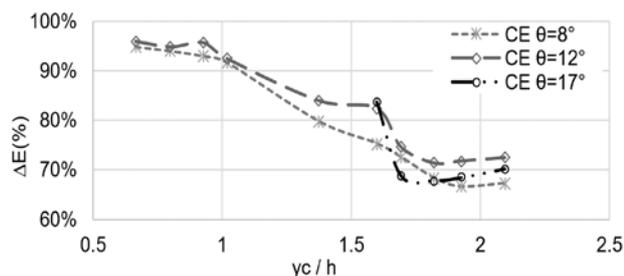


Figura 5.- Comportamiento hidráulico de flujo saltante.

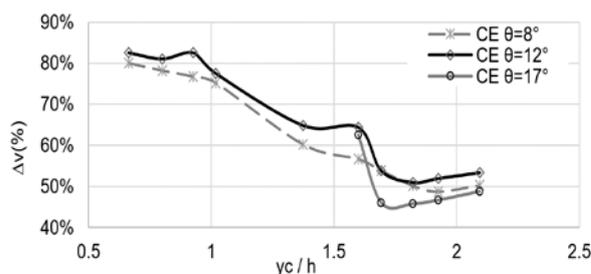


Figura 6.- Comportamiento hidráulico de flujo saltante.

La disipación de la energía y la reducción de la velocidad, fue comparada con un canal de pendiente plana (sin escalones).

Conclusiones y recomendaciones

Se compararon los datos medidos en el laboratorio, con las propuestas de Llano (2003), González & Chanson (2007), Ohtsu et al. (2004), resultando un error de 15%, con respecto a la metodología de González & Chanson, y del 9%, con la de Ohtsu et al. Se descartó la metodología de Llano, debido a que solo era aplicable para canales escalonados, con una pendiente entre $30^\circ < \theta < 55^\circ$.

De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo establecer que, el factor de fricción es independiente del ángulo del canal, y que presenta una relación directa con el caudal y la altura del escalón.

Basado en la recopilación de información y con los resultados obtenidos en la modelación física, se pudo establecer, que los canales escalonados independiente del tipo de flujo (saltante ó rasante) presentan altas tasas de disipación de la energía, por tanto, se valida el uso para disipar la energía cinética en drenaje urbano.

Si bien en la mayoría de los reportes de literatura especializada, no recomiendan diseñar bajo el régimen transicional, a partir de los resultados obtenidos, se estableció que, la tasa de disipación se encuentra entre un 80%-70%.

En la modelación física se pudo establecer que, un aumento significativo en la altura del escalón, disminuye la tasa de disipación de la energía.

Referencias

- Chanson, H. (2000). Hydraulics of Stepped Spillways: Current Status. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(9), 636–637. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2000\)126:9\(636\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2000)126:9(636))
- Chanson, H. (2002). *The hydraulics of Stepped chutes and Spillways*. Lisse: A.A Balkema Publishers.
- Chanson, H. (2004). *The Hydraulics of open channel flow: an Introduction*. (Elsevier, Ed.) (Second Ed.).
- Ohtsu, I., Yasuda, Y., & Takahashi, M. (2004). Flow Characteristics of Skimming Flows in Stepped Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(9), 860–869. Retrieved from 10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:9(860)
- LLano, S. (2003). *Hydraulics of Stepped Structures- Importance of Flow Regimes on Stepped Chutes and Practical Application in Developing Countries*.
- Frizell, K. W., & Frizell, K. (2015). *Guidelines for Hydraulic Design of Stepped Spillways*.
- Gonzalez, C. (2007). *Diseño hidráulico de vertederos escalonados con pendientes moderadas: metodología basada en un experimento conceptual*, XXII, 5–20.
- Fratino, U., Pastore, C., & Renna, F. (2003). *Sulle caratteristiche del moto in regime di vena su scaricatori a gradini*. Workshop La Difesa Idraulica Del Territorio Trieste, in [Italian], 217–228.