

ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE RETARDO EN CANALES VEGETADOS TRIANGULARES

Luis Javier Montoya y Olga Lucía Sánchez Ramirez

Universidad de Medellín, Carrera 87 N° 30 – 65, Colombia, +57 (4) 3405303
E-mail: ljmontoya@udem.edu.co

Introducción

Una de las mayores dificultades en el análisis de la ecuación de Manning es seleccionar adecuadamente el coeficiente de rugosidad, este coeficiente para el caso de canales con vegetación es conocido como coeficiente de retardo (Chow, 1959). La vegetación tiene una respuesta compleja frente al flujo, cambiando los patrones de velocidad y produciendo un retardo del mismo, por lo que es importante analizar el papel de la vegetación en el flujo. Este coeficiente de retardo puede ser de utilidad para el diseño de canales con vegetación, los que pueden ser útiles para utilizarse como drenaje en vías. La vegetación además de retardar el flujo puede actuar como protección del lecho del canal contra la erosión y como control de sedimentos y de otros contaminantes arrastrados por el agua.

En este artículo se estudia de forma experimental el coeficiente de retardo para un canal triangular y se estiman las relaciones del coeficiente de retardo con diferentes variables hidráulicas, también se analiza la retención de sedimentos por parte de la vegetación al comparar las características del flujo en un canal en tierra con un canal con vegetación.

Materiales y métodos

-Montaje experimental

Se dispuso de un canal de simulación de 3,0 m de longitud (Figura 1). Se analizó una cuneta triangular tipo "V" con taludes laterales de 1:2,5 (izquierdo) y 1:4,5 (derecho) (Figura 2) y se evaluaron pendientes longitudinales del 3%, 6% y 9%, intentando representar condiciones de terreno plano, ondulado y montañoso. La conformación de la cuneta piloto se realizó con suelo limo-arcilloso, colocando una capa de 10 cm de espesor de material triturado de $\frac{3}{4}$ ", como filtro en la parte inferior del canal, y sucesivas capas de 5 cm de material granular uniformemente esparcido en la sección de la cuneta.

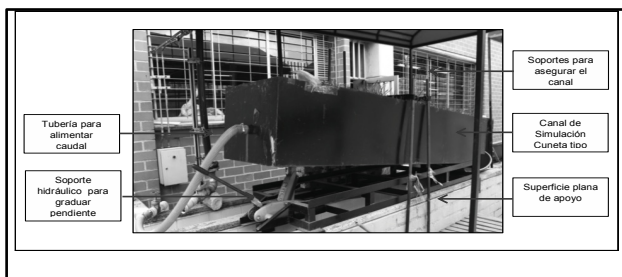


Figura 1.- Vista general del montaje experimental utilizado.

Se compararon dos condiciones de la cuneta, una en tierra y otra revestida con pasto Macana.

El suelo utilizado para el canal se puede clasificar como un A-7 (limo-arcilloso) según la clasificación de la AASHTO.

La velocidad media del flujo en las cunetas, se determinó mediante un caudalímetro modelo AVFM 5.0, marca Greyline Instruments Inc., que mediante un sensor ultrasónico mide la velocidad media del flujo en el canal. Se evaluaron diferentes caudales y para cada caudal se tomaron cinco (5) datos de velocidad y de profundidad, esta última con limnómetro marca OTT.

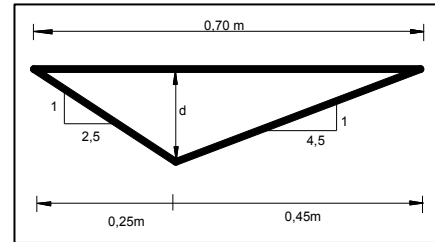


Figura 2.- Perfil transversal del canal ensayado.

-Modelo matemático

Para la estimación del coeficiente de rugosidad o para el coeficiente de retardo vegetal se utilizó la ecuación de Manning [1], donde las propiedades geométricas para la cuneta triangular ensayada se presentan en las ecuaciones [2] y [3]

$$Q = \frac{\phi}{n} R^{\frac{2}{3}} A S_0^{\frac{1}{2}} \quad [1]$$

Donde, n es el coeficiente de Manning o el coeficiente de retardo (según el caso), R el radio hidráulico, A el área y S_0 la pendiente del canal.

$$A = \frac{Z_1 + Z_2}{2} d^2 \quad [2]$$

$$R = \frac{\frac{Z_1 + Z_2}{2} d}{\sqrt{Z_1^2 + 1 + \sqrt{Z_2^2 + 1}}} \quad [3]$$

Rouse (1965) presenta dicho coeficiente de retardo relacionado con varios factores como la geometría, la viscosidad, la rugosidad de las paredes, la velocidad de flujo y la no uniformidad del mismo (Yen, 2002). Se podría expresar dicho coeficiente como una función de varios factores adimensionales tal como se presenta en la ecuación [4]

$$n = \frac{\phi R_6^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{8g}} \varphi(Re, K, Fr, \eta, N, U) \quad [4]$$

Para el caso de canales con vegetación, la vegetación modifica la distribución de velocidades en el canal, por lo que además de los factores antes mencionados, se deben relacionar otros parámetros asociados a la vegetación como L_v un parámetro relacionado con la geometría de la vegetación, J uno relacionado con la flexibilidad, D asociado a la sumergencia y M parámetro asociado con la densidad y distribución de la vegetación en el lecho del canal (Yeng 2002). De acuerdo a esto el coeficiente de retardo se podría representar como en la ecuación [5]

$$n_r = \frac{\phi R_6^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{8g}} \varphi(Re, Fr, K, L_v, J, D, M, \eta, N, U) \quad [5]$$

Donde, n_r es el coeficiente de retardo.

Resultados y discusión

Se compararon los resultados obtenidos para las velocidades y las profundidades para la cuneta en tierra y en pasto y se realizó

un análisis de ANOVA. Se encontró que existen diferencia significativa entre los valores de la velocidad en tierra y en pasto. La velocidad media fue mayor en la cuneta en tierra, y en los dos tratamientos la velocidad aumentó con el caudal y con la pendiente longitudinal. La velocidad media del flujo en la cuneta en pasto fue excedida en un 41,24% por la velocidad del flujo en la cuneta en tierra. La vegetación (pasto Macana) disminuyó la velocidad en la cuneta revestida, debido a que el pasto produjo una acción de retardo sobre el flujo.

Al comparar la profundidad media del flujo en la cuneta en tierra y la cuneta en pasto, se encontró diferencia significativa entre los valores obtenidos para la profundidad del flujo para la cuneta en tierra y en pasto. La profundidad media del flujo fue menor en la cuneta en tierra y en los dos tipos de tratamientos la profundidad aumentó con el caudal y disminuyó con la pendiente longitudinal. La profundidad media del flujo en la cuneta en pasto excedió en un 120% a la profundidad media del flujo en la cuneta en tierra. La vegetación (pasto macana) aumentó el nivel del agua en las pendientes menores.

Se realizó un análisis de sólidos suspendidos totales (SST) para las muestras de agua recolectadas en las pruebas sobre la cuneta en tierra, arrojó un valor mínimo de concentración de sedimentos de 0,06 g/l, un valor máximo de 0,013 g/l y un valor promedio de 0,09 g/l; el valor promedio de concentración obtenida para las pendientes del 3%, 6% y 9% fueron de 0,08 g/l, 0,08 g/l y 0,10 g/l, respectivamente. Para las muestras de agua recolectadas de la cuneta en pasto, el SST arrojó un valor mínimo de concentración de sedimentos de 0,05 g/l, un valor máximo de 0,013 g/l y un valor promedio de 0,07 g/l; el valor promedio de la concentración obtenida para las pendientes del 3%, 6% y 9% fueron 0,06 g/l, 0,07 g/l y 0,07 g/l, respectivamente. La carga de sedimento en la cuneta en tierra registró para las pendientes del 3%, 6% y 9 %, valores promedios de 0,66 g/l, 0,75 g/l y 0,88 g/l, respectivamente; y en la cuneta en pasto para los mismos rangos de pendientes registró valores promedio de 0,53 g/l, 0,60 g/l y 0,68 g/l, respectivamente. Desde el punto de vista estadístico no se pudo ser concluyente en las diferencias en la carga de sedimentos en la cuneta en tierra y la cuneta en pasto, esto se puede explicar pues la carga de sedimento es una variable compleja, en la que inciden diversos factores asociados a la toma de datos, que pueden afectar los valores obtenidos. Sin embargo, se pudo observar que la carga de sedimento en los dos tipos de tratamientos analizados, aumenta con el caudal, la velocidad y la pendiente longitudinal de la cuneta, registrándose un rango de valores más amplio para la carga de sedimentos en tierra. También se buscaron relaciones entre la carga de sedimentos y la velocidad del flujo y se encontraron relaciones potenciales con buenas correlaciones para la cuneta en tierra de R^2 entre 0,87 y 0,94 y para la cuneta en pasto valores de R^2 entre 0,972 y 0,979.

La carga de sedimento en la cuneta en pasto fue excedida en un 21,05% por los valores registrados en la cuneta en tierra. En la cuneta en pasto estas dos variables presentan valores menores, debido a que la vegetación protege el suelo contra la erosión de impacto y brinda rugosidad al terreno por el que el flujo superficial viaja, reduciendo su velocidad y su poder erosivo (Morgan y Rickson, 1995). La vegetación también actúa como filtro del flujo de agua, facilitando la sedimentación de las partículas del suelo transportadas por el agua. Ambas situaciones favorecen el sistema de la cuneta en pasto, en donde la erosión superficial es la principal fuente de sedimentos.

El cálculo del coeficiente de rugosidad (n) en la cuneta en tierra, arrojó un valor mínimo de 0,01, un valor máximo de 0,00388 y un valor promedio de 0,012. El cálculo del coeficiente de retardo (n_r) para la cuneta en pasto, arrojó un valor mínimo de 0,0187, un valor máximo de 0,00587 y un valor promedio de 0,031. Se construyeron relaciones de dicho coeficiente con el número de Froude y el número de Reynolds encontrando buenas correlaciones.

Conclusiones

Se analizó la respuesta de variables de flujo como la velocidad, la profundidad y la carga de sedimentos para un canal en tierra y un canal en pasto, encontrando diferencias significativas desde el punto de vista estadístico. La velocidad media del flujo fue mayor en la cuneta en tierra que en la cuneta en pasto. La profundidad media del flujo registra menores valores en la cuneta en tierra que en la cuneta en pasto. La carga de sedimento registró mayores valores en la cuneta en tierra que en la cuneta en pasto. En los dos tipos de tratamiento la carga de sedimentos aumentó con la velocidad del flujo, con el caudal y con la pendiente longitudinal de la cuneta.

El coeficiente de rugosidad (n) obtenido para la cuneta en tierra es de 0,012 y el coeficiente de retardo (n_r) para la cuneta revestida con pasto Macana fue de 0,031. Los dos coeficientes aumentan en función del producto entre la velocidad y el radio hidráulico. Los mayores valores de retardo se registran para la pendiente mayor (9%) y los mayores valores de rugosidad se obtienen para la pendiente menor (3%). Los resultados permiten establecer que la vegetación retarda el flujo del agua a través de la cuneta, generando menores velocidades por lo que previene la erosión.

Fue posible establecer una relación entre el coeficiente de rugosidad y el número de Froude, con un buen ajuste (con $R^2 = 0,9878$), así como una relación entre el coeficiente de retardo y el número Froude para los canales con vegetación (con R^2 entre 0,9631-0,9998). También se encontraron buenas correlaciones entre número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad (R^2 0,7356 y 0,9416) y entre el número de Reynolds y el coeficiente de retardo (R^2 entre 0,9200 y 0,9440).

Referencias bibliográficas

- Chen, Y.-C., Kao, S.-P., Lin, J.-Y., & Yang, H.-C. (2009). "Retardance coefficient of vegetated channels estimated by the Froude number". *Ecological Engineering*, 35(7), 1027-1035.
- Chow, V.T., 1959. *Open-channel Hydraulics*. Mc-Graw-Hill, New York.
- Morgan, R. P. C. & Rickson, R.J. (1995). *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. Chapman and Hall, London.
- Rouse, H. (1965). "Critical analysis of open-channel resistance". *J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 91 (HY4), 1-25.
- Yen, B. C. (2002). "Open channel flow resistance". *Journal of hydraulic engineering*, 128(1), 20-39.