

PROGRAMA PYTHON, PARA CALCULAR LA PENDIENTE CRÍTICA LÍMITE EN CANALES ABIERTOS, APLICADO AL CÁLCULO DE PERFILES DE FGV

Ramiro Marbello-Pérez y Carlos A. Álvarez Canchila

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.
E-mail: rvmarbel@unal.edu.co, caalvare@unal.edu.co

Introducción

El diseño de canales, en general, y el de redes de alcantarillado, en particular, presupone la ocurrencia del flujo uniforme subcrítico o supercrítico, aceptándose que, además del flujo uniforme, pueden coexistir los flujos gradual y rápidamente variados, en ambos regímenes. En cualquier caso, es de gran importancia el conocer de antemano el caudal, el coeficiente de rugosidad y la pendiente longitudinal de la rasante del fondo del canal.

La pendiente longitudinal del canal, S_0 , siendo un parámetro hidráulico fijo, puede comportarse como pendiente crítica, o subcrítica (suave) o supercrítica (empinada), en función de que el flujo sea simultáneamente uniforme y crítico, o uniforme y, sub-crítico o uniforme y supercrítico, respectivamente. Una u otra situación dependerá de la magnitud del caudal que conduzca el canal.

El Flujo Gradualmente Variado (FGV) se caracteriza por presentar una variación suave o gradual de la profundidad del mismo, a lo largo del canal, y a la representación gráfica de su superficie libre, en sentido longitudinal, se le conoce con el nombre de Perfil de Flujo, cuyo análisis, cálculo y dibujo son prácticas frecuentes y fundamentales en el ejercicio de la Hidráulica de Canales Abiertos. (Marbello, 2006).

De otro lado, ha sido práctica común el calcular perfiles de FGV empleando un único valor del caudal que ha de transportar el canal, arrojando, en consecuencia, un único perfil de FGV, sin considerar la ocurrencia de otros escenarios de posibles caudales y de otros posibles perfiles de flujo. En efecto, debido a estos otros escenarios, el canal podrá comportarse como un Canal Tipo M (mild: suave o moderado) o como un Canal Tipo S (steep: empinado, pronunciado o fuerte), siendo diferentes los respectivos perfiles de FGV que pueden presentarse, dependiendo de que el valor del caudal de flujo corresponda a uno u otro rango de caudales. Por fortuna, dichos rangos de caudales pueden determinarse a priori, a partir del concepto y el cálculo de la pendiente crítica límite del canal ($S_{c,L}$). (Marbello & Ocampo 2015).

La $S_{c,L}$ es el valor mínimo que podría tener un determinado canal, a efectos de que el flujo uniforme que se produzca en el canal sea, además de uniforme, flujo crítico, al mismo tiempo, por encima del cual el canal se comportaría como un Canal Tipo M o como un Canal Tipo S, dependiendo de que el caudal del flujo pertenezca a uno u otro rango de caudales, y que, por debajo del cual, el canal se comportaría como un Canal Tipo M, independientemente del valor del caudal que transite por el mismo.

En el presente trabajo, se presenta un Programa de Cálculo de la Pendiente Crítica Límite, en lenguaje de programación Python, aplicable a canales prismáticos de las secciones transversales más usuales, tales como: rectangular, triangular, trapecial, circular y parabólica.

Dicho programa dibujará la sección transversal del canal y sus respectivas curvas de variación: 1ª) Pendiente Crítica (S_c) vs. Caudal (Q) y Pendiente Crítica (S_c) vs. Profundidad Crítica (y_c), Véanse las Figuras 1, 2 y 3.

Así mismo, el algoritmo de cálculo permitirá determinar la $S_{c,L}$, la Profundidad Crítica Límite ($y_{c,L}$) y los Rangos de Caudales

para los cuales los canales se comportan como canales Tipo M y Tipo S.

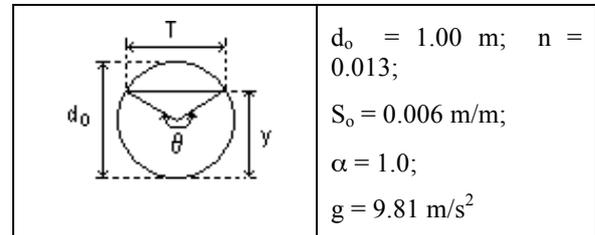


Figura 1.- Sección transversal y datos para el canal del ejemplo.

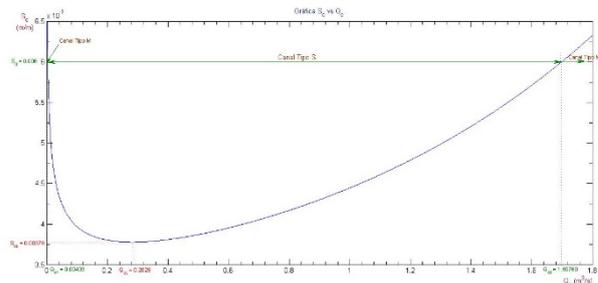


Figura 2.- Curva de variación $S_{c,L}$ vs. Q , para una sección transversal circular.

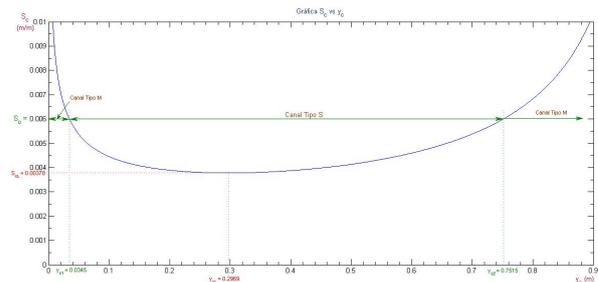


Figura 3.- Curva de variación $S_{c,L}$ vs. $y_{c,L}$, para una sección transversal circular.

Objetivo del artículo

Presentar un programa de cálculos hidráulicos conducentes a la determinación de la pendiente crítica límite del canal ($S_{c,L}$), la profundidad crítica límite del flujo ($y_{c,L}$), el rango de caudales en los cuales el canal se comportaría como un canal Tipo M o como un Canal Tipo S, o como un canal Tipo M, con independencia del caudal que conduzca. Para ello, el Programa requerirá de los siguientes datos: coeficiente de rugosidad, pendiente longitudinal del fondo y la geometría de la sección transversal del canal. La ecuación de resistencia empleada será la Ecuación de Manning.

Al final de la presentación del Artículo, en el supuesto caso de ser aceptado, se hará una breve demostración del empleo del Programa de Cálculo, realizando uno o más ejemplos de aplicación del mismo.

Algunas ecuaciones empleadas en el algoritmo

$$S_c = \left(\frac{g}{\alpha}\right) \left(\frac{n}{\phi}\right)^2 \left(\frac{P_c^{4/3}}{T_c A_c^{1/3}}\right) \cos^2[\tan^{-1}(S_o)] \quad [1]$$

Ecuación general para el cálculo de la $S_{c,L}$:

$$S_{c,L} = \left(\frac{8}{3}\right) \left(\frac{g}{\alpha}\right) \left(\frac{n}{\phi}\right)^2 B^{-1/3} \cos^2[\tan^{-1}(S_o)] \quad [2]$$

Ecuación particular para el cálculo de la $S_{c,L}$ en canales de sección rectangular.

$$S_{c,L} = \left(\frac{g}{\alpha}\right) \left(\frac{n}{\phi}\right)^2 \frac{\cos^2[\tan^{-1}(S_o)]}{(2d_o)^{1/3}} \left[\frac{\theta_c^{4/3}}{\sin\left(\frac{\theta_c}{2}\right) (\theta_c - \sin(\theta_c))^{1/3}} \right] \quad [3]$$

Ecuación particular para el cálculo de la $S_{c,L}$ en canales de sección circular.

$$\left(\theta_{c,L} - \sin(\theta_{c,L})\right) \left[8 \tan\left(\frac{\theta_{c,L}}{2}\right) - 3\theta_{c,L}\right] - 2\theta_{c,L} \left[1 - \cos(\theta_{c,L})\right] \tan\left(\frac{\theta_{c,L}}{2}\right) = 0 \quad [4]$$

Ecuación particular para el cálculo de la $\theta_{c,L}$ en canales de sección circular.

Referencias bibliográficas

Chow, V. T., (1988). *Open – Channel Hydraulics*. McGraw – Hill Book Company, Inc. U.S.A. 680 p.

Domínguez, F. J., (1978). *Hidráulica*. 5ª Edición. Editorial Universitaria. Chile. 773 p

León M., A. & Estopiñan P., A. (1989). *Hidráulica de Canales*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.

Marbello P., R. V., 2005. *Manual de Laboratorio de Hidráulica*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Medellín, Colombia.

Marbello P., R. V. & Álvarez L., A. M., 2006. “Ecuaciones General y Particulares para el Cálculo de la Pendiente Crítica Límite de Canales Abiertos”. *XVII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Sociedad Colombiana de Ingenieros. Popayán, Cauca, Colombia*.

Marbello P., R. V. & Ocampo G., Daniel M., 2015. “Determinación de rangos de caudales, para los cuales la pendiente longitudinal de un canal se comporta como moderada o empinada”. *XIV Seminario Iberoamericano de Redes de Agua y Drenaje. Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México*.