

PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA EL CÁLCULO DE TIRANTES CRÍTICOS EN CANALES DE SECCIÓN COMPUESTA

Aldo Alberto Rangel Torres¹, Víctor Manuel Arroyo Correa²

¹Maestría en Ingeniería Civil Hidráulica, Universidad Nacional Autónoma de México, ²Departamento de posgrado Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ^{1,2}México.
E-mail: alrangelt@hotmail.com, vmarroyo@tlaloc.imta.mx

Introducción

Un canal compuesto consiste de un canal principal que conduce caudales pequeños en la parte más profunda de la sección y de canales laterales más elevados que se inundan al desbordarse el primero, para conducir los caudales de avenidas en conjunto.

Al analizar las variaciones de energía específica en canales de sección compuesta la posibilidad de tirantes críticos múltiples resulta muy importante, ya que afecta el cálculo de los perfiles de flujo gradualmente variado (FGV); esto obliga a buscar procedimientos más seguros en la obtención del número y magnitud de los tirantes críticos que puedan ocurrir, esto a modo de subsanar las deficiencias de los métodos convencionales.

Planteamiento del problema

En un canal compuesto la interacción entre los flujos en el canal principal y los laterales se complica debido a la transferencia del momentum en las inter-caras. Por otra parte, la variación del coeficiente de Manning con el tirante complica aún más la situación, ya que el tirante puede variar de manera significativa con el gasto dentro de un perfil de FGV.

Considerando lo anterior, la selección del criterio de energía específica mínima o del momentum mínimo en el cálculo del régimen crítico toma particular importancia, ya que una vez que el agua inunda las subsecciones laterales los coeficientes α de corrección del flujo de energía cinética y β de corrección del de cantidad de movimiento difieren de la unidad y más entre ellos mismos, lo que aleja la coincidencia de los criterios. (Sotelo Ávila & Cafaggi Félix, 2006)

Hoy en día ya existen métodos para la determinación de los tirantes críticos partiendo de enfoques basados en las ecuaciones de Energía específica mínima (Blalock y Sturm) y de Momentum mínimo (Chaudhry y Bhallamudi), la desventaja común en ellos es la cantidad de cálculos y tiempo empleado para llevarlos a cabo.

Objetivos

Presentar un programa de computadora interactivo y de fácil manejo que permita el cálculo de las propiedades hidráulicas y la determinación de la magnitud y número de tirantes críticos posibles atendiendo los enfoques de energía específica mínima y momentum mínimo, para el diseño de canales de sección compuesta.

Verificar para diferentes secciones transversales de un canal, si la consistencia entre el enfoque de la energía y momentum prevalece, tal y como se indica en resultados enunciados en la literatura.

Incluir en el programa una subrutina de cálculo de la rugosidad n equivalente, así como las propiedades del flujo normalizado partiendo de la ecuación de Manning.

Ecuaciones fundamentales

Blalock y Sturm propusieron un no. de Froude (Ec. 1) el cual

debe ser igual a uno para que se presente el tirante crítico y la energía específica mínima.

$$F_B = \left(\frac{\alpha Q^2 T}{g' A^3} - \frac{Q^2}{2g' A^2} \frac{d\alpha}{dy} \right)^{1/2} \quad [1]$$

Chaudhry y Bhallamudi presentaron un método basado en el principio del momentum y propusieron la existencia de tirantes críticos aun cuando la energía específica no sea mínima, ajustándose estrictamente a la definición de que el no. de Froude crítico (Ec. 2), establecido por ellos, fuera igual a uno. De esta forma replantearon la condición de régimen crítico (Ec. 3) para canales de cualquier geometría.

$$F_Y = \frac{\beta V}{\sqrt{\frac{gA}{T} + V^2[\beta^2 - \beta + (A\beta'/T)]}} \quad [2]$$

$$\frac{gA}{Q^2} = \sum \left[\left(\frac{K_i \sqrt{\beta_i}}{KA_i} \right)^2 \frac{dA_i}{dy} \right] - 2 \sum \left[\frac{K_i \beta_i}{KA_i} \frac{d}{dy} \left(\frac{K_i}{K} \right) \right] \quad [3]$$

(Sotelo Ávila, 2002)

Programa

El programa MCDC (*Multi Critical Depth Channels*) desarrollado en la plataforma visual basic.net se crea como una herramienta de apoyo para el diseño o revisión de canales prismáticos de sección compuesta; este incluye conceptos y métodos de cálculo que no se abordan por otros programas de uso común, como la determinación de tirantes críticos múltiples a través de los enfoques de energía específica mínima y momentum mínimo.

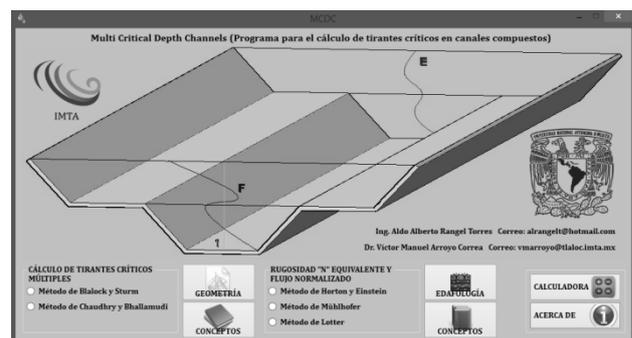


Figura 1.- Ventana principal MCDC.

Resultados

La ventana de geometría (ver figura 2) acepta combinaciones que van desde secciones prismáticas simples, hasta combinaciones trapeziales de 2 a 3 niveles asimétricas y con distintos niveles de desbordamiento; además se incluyen las opciones de sección circular y herradura para la sección central. Al generar la geometría y datos de caudal el programa determina las propiedades hidráulicas de la sección tales como:

área hidráulica A , radio hidráulico R_h , ancho de superficie libre T , rugosidad n , factor de conducción $K = AR_h^{2/3}/n$, coeficiente de coriolis α , energía específica E , Froude F_B y gastos de frontera Q_U (máximo) y Q_L (mínimo) entre los que puede ocurrir más de un tirante crítico y_c .

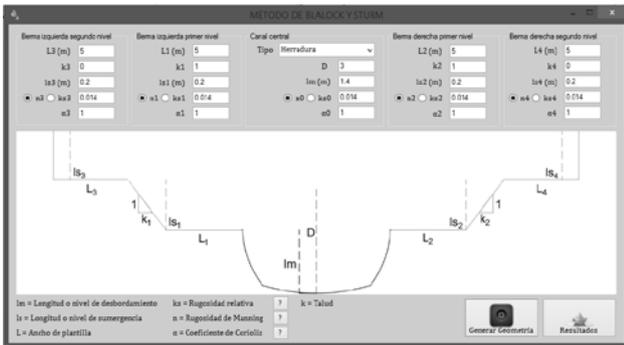


Figura 2.- Ejemplo de ingreso de geometría.

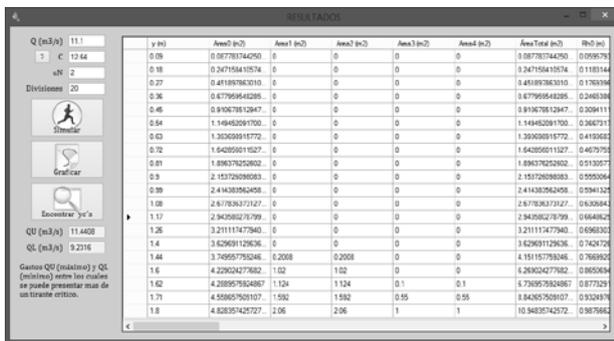


Figura 3.- Ventana de propiedades hidráulicas calculadas.

Los cálculos se realizan para el número de divisiones de canal que se requieran, y los resultados se pueden visualizar de forma gráfica (ver figuras 4 y 6) y analítica (ver figuras 5 y 7) para ambos métodos.

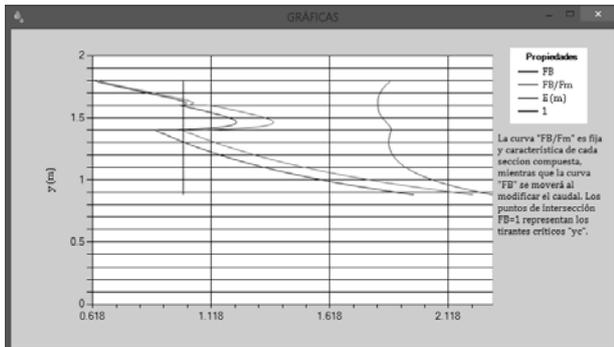


Figura 4.- Gráfica de curvas " $F_B - y$ ", " $F_B/F_m - y$ " y " $E - y$ ", en ese orden de izquierda a derecha.

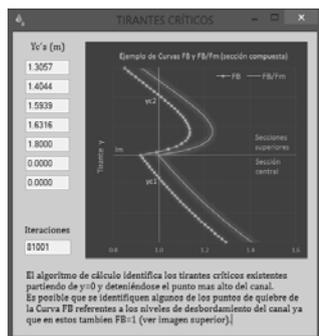


Figura 5.- Ventana explicativa con ubicación de y_c 's (método de Blalock y Sturm).

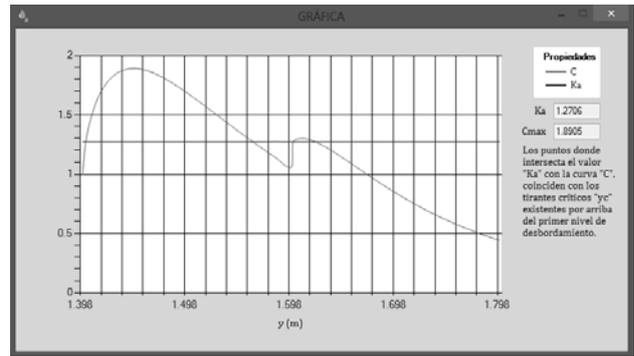


Figura 6.- Gráfica de curva " $y - C$ " y constante " Ka ".

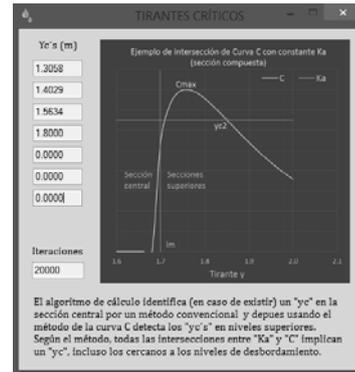


Figura 7.- Ventana explicativa con ubicación de y_c 's (método de Chaudhry y Bhallamudi).

Para la solución analítica (figuras 5 y 7) el programa ejecuta algoritmos de barrido que bajo un rango de aproximación establecida de 10^{-5} detectan los tirantes críticos existentes mediante la solución de las ecuaciones 1 y 3.

Conclusiones

El programa logró reproducir con éxito los ejemplos mostrados en la literatura, mejorando notablemente la aproximación de variables como Q_U y Q_L debido a la posibilidad de discretizar los canales en hasta 1000 divisiones para el cálculo de las propiedades hidráulicas.

Al analizar iguales geometrías, los tirantes críticos obtenidos por el método de momentum son de un 3% a 7% menores que los obtenidos por el método de la energía específica, contrario a lo que dice la literatura.

La herramienta MCDC ha permitido el estudio de una amplia cantidad de canales compuestos de tres niveles, cuyos casos no se abordan en la literatura. Con esto se ha logrado entender mejor el comportamiento de las curvas " $F_B - y$ " y " $F_B/F_m - y$ " cuya correcta interpretación permite la ubicación y prevención de zonas de flujo inestable.

El uso repetido del programa ha permitido encontrar puntos "ciegos" (no detecta tirantes críticos) en la solución de la condición de régimen crítico según el método de momentum mínimo (Ec. 3) para canales de tres niveles.

Referencias

Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de Canales* (Vol. 2). México, D.F.: Limusa, pp 231-251

Sotelo Ávila, G., & Cafaggi Félix, A. A. (2006). Criterios de energía específica mínima y momentum mínimo en el cálculo del régimen crítico en canales de sección compuesta. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, VII, 175-184.