

INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA EN LA PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN CAUCES NATURALES – CASO RÍO COLORADO

Juan F. Weber*, Leticia Tarrab, Juan Rojas, Lucas Liendo, Héctor I. Paoli

Laboratorio de Hidráulica, Depto. de Ing. Civil, Fac. Reg. Córdoba, Univ. Tecnológica Nacional

* además Depto. de Computación, F.C.E.F. y N., Univ. Nac. de Córdoba. E-mail: jweber@efn.unc.edu.ar

Introducción

Los estudios de hidráulica fluvial requieren usualmente conocer la distribución lateral de velocidades en cauces naturales.

Los modelos numéricos hidrodinámicos bidimensionales (como por ejemplo el programa RMA2, del U.S. Army Corps of Engineers) son considerados como modelos teóricos apropiados para resolver este problema.

Modelos unidimensionales más simples (como el Método del Canal Dividido - DCM - y el Método de la Distribución Lateral - LDM) pueden ser aplicados con este propósito. En todos éstos, la geometría del cauce (sección transversal) es un dato importante a la hora de su aplicación. En el caso en que el contorno sea rígido, es válida la hipótesis de geometría fija. Por el contrario, en el caso de cauces naturales, al sección varía de forma influyendo sobre la distribución de velocidades resultante. En muchas ocasiones es frecuente en la práctica tomar una sección media temporal del cauce despreciando el cambio de forma debido a los procesos de erosión / sedimentación, introduciendo con eso una fuente de error en la predicción.

Objetivos

El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados obtenidos de la aplicación de dos modelos unidimensionales (DCM y LDM) para la predicción de la distribución lateral de velocidades en la sección de afloros de Buta Ranquil, Río Colorado, analizando la influencia del contorno móvil.

Básicamente se comparan los resultados obtenidos por Weber y Tarrab (2003) en esa sección de afloros, los cuales fueron desarrollados en base a una sección transversal simplificada, con nuevas modelaciones obtenidas en base a la geometría real más compleja, variable para cada aforo, y se analiza el desempeño de los modelos DCM y LDM ante esta variación geométrica.

Se enuncian conclusiones acerca de la influencia de la geometría relevada sobre la estimación del perfil de velocidades.

Método del Canal Dividido (DCM)

El programa HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineers (HEC-USACE, 2001) posee una opción denominada *flow distribution*, la cual permite subdividir cada una de las tres subsecciones (canal principal, planicies de inundación izquierda y derecha) en una determinada cantidad de fajas (definidas por el usuario) en las cuales se calculará la velocidad media.

El cálculo de la velocidad media en cada faja se realiza por la ecuación [1]:

$$Q_i = K_i S_0^{1/2} \quad [1]$$

siendo

$$K_i = \frac{A_i R_i^{2/3}}{n_i} \quad [2]$$

En estas ecuaciones, Q_i , A_i , R_i y n_i son el caudal, área, radio hidráulico y n de Manning de cada faja.

Método de Shiono y Knight (LDM)

A partir de la integración de la ecuación de cantidad de movimiento en la dirección del flujo (ecuación de Navier – Stokes) en combinación con la ecuación de continuidad, para un flujo permanente y uniforme, se puede obtener la ecuación diferencial del método de la distribución lateral (LDM, por sus siglas en inglés):

$$\rho g S_0 Y - \frac{f}{8} \rho V^2 \sqrt{1 + \frac{1}{s^2}} + \frac{d}{dy} \left[\rho \lambda \sqrt{\frac{f}{8}} Y^2 V \frac{\partial V}{\partial y} \right] = 0 \quad [3]$$

en la cual: ρ = densidad del fluido; g = aceleración de la gravedad; S_0 = pendiente longitudinal del lecho; Y = profundidad de flujo; V = velocidad del flujo; y = coordenada horizontal medida transversal a la corriente (ver Figura 1); s = talud lateral; f = coeficiente de fricción de Darcy; λ = viscosidad adimensional de torbellino de Boussinesq.

Shiono y Knight (1988) obtienen las siguientes soluciones analíticas de la ecuación [3]:

Para fondo plano (horizontal) ($s \rightarrow \infty$):

$$V_{(y)} = \sqrt{a_1 e^{\eta y} + b_1 e^{-\eta y} + \frac{8gS_0 Y}{f}} \quad [4]$$

Para fondo lineal (inclinado) ($0 < s < \infty$):

$$V_{(y)} = \sqrt{a_2 Y^\psi + b_2 Y^{-\psi-1} + \omega Y} \quad [5]$$

En estas ecuaciones η , ψ y ω son coeficientes que dependen de los parámetros f , λ y s ; en tanto que a_i y b_i son coeficientes que surgen del planteo de condiciones de compatibilidad y de borde adecuadas.

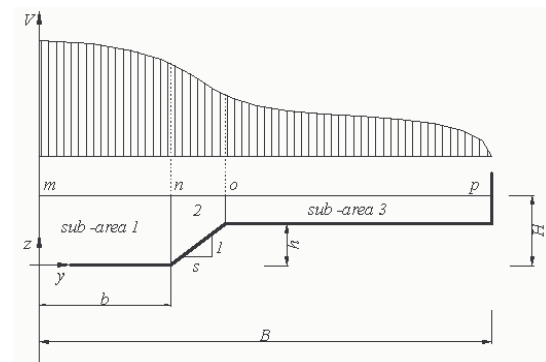


Figura 1.- Geometría típica de un canal de sección compuesta

Caso de Estudio

El río Colorado nace en la confluencia de los ríos Grande y Barrancas a 835 m sobre el nivel del mar, con una longitud total de 922 km. La sección de estudio corresponde a la estación de aforos Buta Ranquil (Figura 2), ubicada en los 37° 06' de latitud y 69° 44' de longitud. El régimen hídrico es de tipo nival; el módulo o caudal medio en la estación es de 147 m³/seg con un caudal máximo diario de 1053 m³/s y un caudal mínimo diario de 130 m³/s. El área de la cuenca es de aproximadamente 15 300 km². En el presente trabajo se utilizaron 10 perfiles de velocidad medidos por EVARSA durante el año 2003. En trabajos previos (Weber y Tarrab, 2003, Tarrab, 2004) se presentaron resultados en base a una geometría simplificada. La geometría simplificada de la sección junto con las secciones reales correspondientes a cada aforo se muestran en la Figura 3. Se pueden apreciar variaciones de hasta ±0,5 m.



Figura 2.- Estación de aforos en Buta Ranquil

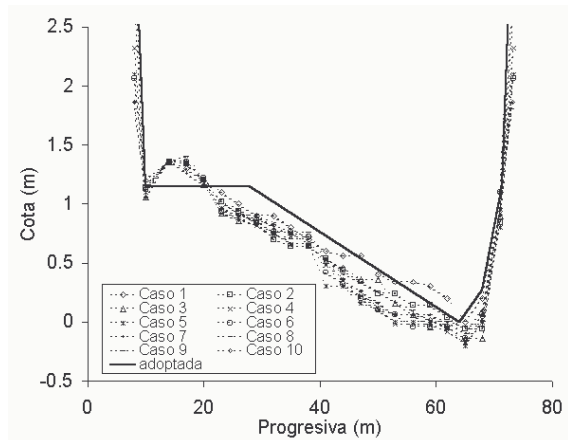


Figura 3.- Variabilidad de la sección transversal

Aplicación y resultados

Fueron aplicados los modelos descritos a cada uno de los 10 casos experimentales, tanto para la geometría simplificada (única) como para la geometría real en cada caso, obteniéndose distribuciones laterales de velocidades, las cuales fueron comparadas entre sí y con los datos experimentales disponibles.

En la figura 4 se muestran, a título de ejemplo de los resultados, los perfiles laterales de velocidad predichos por los modelos DCM (Hec-Ras) y LDM (Shiono y Knight), tanto para geometría simplificada como para geometría real, para el caso 6.

Conclusiones

- En base a los resultados obtenidos se observa , en

general un mejor comportamiento del modelo LDM frente al DCM, tal como lo habían mostrado Weber y Tarrab (2003) y Tarrab (2004).

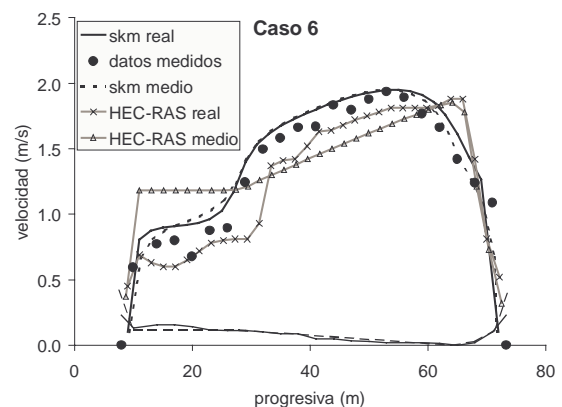


Figura 4.- Distribución de velocidades – caso 6

- Se observa una sensibilidad mucho mayor del modelo DCM (Hec-Ras) a la variación de la geometría del lecho, frente al modelo LDM. Se considera que el modelo LDM es menos sensible a la variación de la geometría debido a la presencia de efectos difusivos de la velocidad en la dirección lateral.

- En la sección considerada, y debido a la ausencia de estos procesos difusivos, la localización del máximo en el perfil de velocidades por el modelo DCM se corresponde con el punto de máxima profundidad (tanto para la geometría simplificada como para la real) mientras que el modelo LDM (al igual que los datos experimentales) ubican ese punto hacia el centro de la sección.

- Se puede concluir que, además de lograr una mejor representación de la distribución de velocidades, el modelo LDM es menos sensible a incertidumbres en la representación de la geometría transversal, las cuales son frecuentes en el caso de cauces naturales. Por otro lado, para obtener una adecuada distribución lateral de velocidades con el modelo DCM, es necesario conocer con cierto detalle la geometría transversal del cauce, lo cual no siempre es técnica ni económicamente posible.

Referencias

Hydrologic Engineering Center, (2001), *HEC – RAS Hydraulic Reference Manual*, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.

Shiono, K., Knight, D.W., (1988), “Two Dimensional Analytical Solution for a Compound Channel”, *Proc. 3rd Intl Symp. on Refined Flow Modeling and Turbulence Measurements*, Tokyo, Japan, 503-510.

Tarrab, L. (2004). *Estimación de la distribución lateral de velocidades: ríos argentinos*. Trabajo Final de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

Weber, J. F. (2003), *Modelación integrada uni y bidimensional de flujo en planicies de inundación*. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería – Mención en Recursos Hídricos - Fac. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.

Weber, J. F., Tarrab, L. (2003). Modelo analítico de la distribución lateral de velocidades en cauces naturales – caso Río Colorado. *VIII Reunión sobre Recientes Avances en Física de Fluidos y sus Aplicaciones*, FLUIDOS 2003, Tandil, noviembre 2003.