

# DESEMPEÑO DE MODELOS DE DISTRIBUCION LATERAL DE VELOCIDADES EN CANALES DE SECCIÓN COMPUESTA

Juan F. Weber<sup>\*</sup>, Ángel N. Menéndez<sup>†</sup>

<sup>\*</sup> Univ. Nac. de Córdoba – F.C.E.F. y N. y Univ. Tecnológica Nacional. – Fac. Reg. Córdoba. E-mail: jweber@efn.uncor.edu

<sup>†</sup> INA (Instituto Nacional del Agua) y Universidad de Buenos Aires. E-mail: menendez@satlink.com

## Introducción

Los estudios de ingeniería hidráulica relacionados con crecidas requieren usualmente conocer la distribución lateral de velocidades en canales de sección compuesta, constituidos por un cauce principal y planicies de inundación.

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.

De todos modos, como en la mayoría de las aplicaciones la escala longitudinal de variación del flujo es mucho mayor a la escala lateral (dada por el ancho de flujo), las variaciones longitudinales y laterales de flujo son calculadas independientemente. Las primeras, a través de los modelos hidrodinámicos unidimensionales basados en las ecuaciones de Saint – Vénant; en tanto que las segundas, a través de los modelos 1D de distribución lateral.

## Objetivos

El objetivo del presente trabajo es presentar las predicciones del perfil lateral de velocidades obtenido a través de tres modelos: el RMA2 (Donnell, 1996), tomado como representativo de los modelos numéricos hidrodinámicos bidimensionales; el programa HEC-RAS (HEC-USACE, 2001), como representativo del Método del Canal Dividido (o DCM, por sus siglas en inglés); y finalmente, la solución analítica de Shiono y Knight (1988) a la ecuación del Método de Distribución Lateral (o LDM, por sus siglas en inglés).

Se analizan los desempeños relativos entre los distintos modelos y también en relación a datos experimentales.

## 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

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:  $\rho$  = 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;  $\lambda$  = 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  $\eta$ ,  $\psi$  y  $\omega$  son coeficientes que dependen de los parámetros  $f$ ,  $\lambda$  y  $s$ ; en tanto que  $a_i$  y  $b_i$  son coeficientes que surgen del planteo de condiciones de compatibilidad y de borde adecuadas.

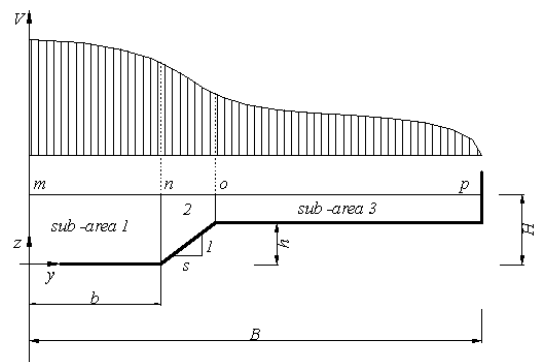


Figura 1.- Geometría típica de un canal de sección compuesta

## Modelo RMA2

RMA2 es un modelo numérico hidrodinámico en elementos finitos bidimensional promediado en la vertical. Calcula las cotas de la superficie libre y las componentes horizontales de la velocidad para flujo subcrítico en campos bidimensionales de flujo. RMA2

calcula la solución por elementos finitos de las ecuaciones de Navier – Stokes bajo la forma de Reynolds para flujos turbulentos. Las pérdidas friccionales se estiman a través de la ecuación de Manning, mientras que para caracterizar la turbulencia se utilizan coeficientes de viscosidad de torbellino. Se pueden analizar problemas tanto en flujo permanente como impermanente.

## Casos Experimentales

Los casos de estudio considerados corresponden a dos series de datos. La primera serie está constituida por 8 casos experimentales desarrollados en el Flood Channel Facility (FCF) en Hydraulics Research, Wallingford, Reino Unido Knight y Shiono, 1991). El Flood Channel Facility (FCF) es una instalación a gran escala diseñada para estudiar el flujo en ríos y canales de sección compuesta.

La segunda serie corresponde a tres perfiles de velocidad medidos en el río Severn en Montford, Reino Unido (Knight et al, 1989).

## Aplicación y resultados

Fueron aplicados los modelos descriptos a cada uno de los casos experimentales, obteniéndose la distribución lateral de velocidades, la cual fue comparada con los datos experimentales disponibles.

En las figuras 2 y 3 se muestran los perfiles laterales de velocidad medidos y predichos por los tres modelos considerados, para el caso 3 de la serie de laboratorio y el caso 2 de la serie de campo, respectivamente.

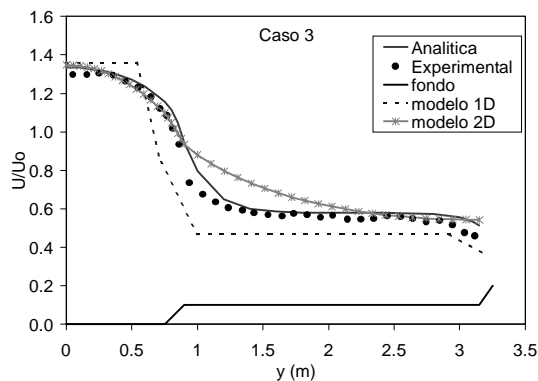


Figura 2.- Caso 3 – datos de laboratorio

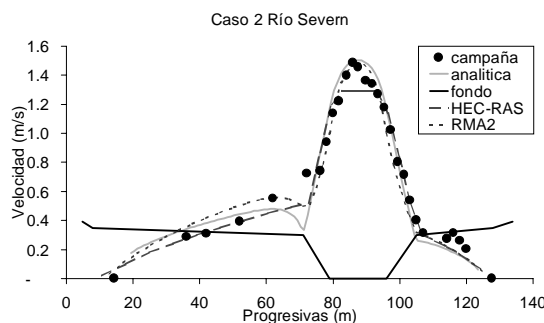


Figura 3.- Caso 2 – datos de campo

## Conclusiones

- La principal ventaja del modelo DCM es la simplicidad en su aplicación, teniendo la limitación de no poder

contabilizar la transferencia de cantidad de movimiento entre cauce principal y planicies de inundación. Esto se traduce en un perfil lateral de velocidades que sobreestima la velocidad media del cauce principal y la subestima en las planicies. Se encontró que el mejor rendimiento del modelo se da para profundidades de flujo relativas en la planicie menores a 0,4. De todos modos, es de destacar el aplanamiento del perfil de velocidades en el cauce principal del río Severn, producto del modelo geométrico adoptado y de la ausencia de difusión de cantidad de movimiento.

- El modelo LDM posee aún un buen desempeño operativo, fundamentalmente de contar con una versión programada de su aplicación. Puede contabilizar el efecto de la presencia de torbellinos de eje vertical en la interfaz canal – planicie. Tiene la limitación de resolver en forma desacoplada la hidrodinámica lateral de la longitudinal. Predice adecuadamente la distribución lateral de velocidades en todos los casos analizados.

- El modelo 2D tiene la ventaja de resolver en forma simultánea la hidrodinámica del cuerpo de agua, con lo cual es físicamente más consistente. De todos modos, ha demostrado mejor rendimiento en el caso natural que en el de laboratorio. Esto es debido a la limitación en el valor de la viscosidad de torbellino empleado, el cual debió en algunos casos ser incrementado artificialmente para lograr estabilidad numérica (Weber, 2003). En este caso, los mejores ajustes se lograron para profundidades relativas en la planicie mayores a 0,4.

## Referencias

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

**Knight, D. W., Shiono, K., Pirt, J.**, (1989), “Prediction of depth mean velocity and discharge in natural rivers with overbank flow”, *Proceedings of the International Conference on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters*, pp. 419-428, Bradford.

**Donnell, B. P.** (Ed.) (1996), *User's Guide to RMA2 WES version 4.3*, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Hydraulic Laboratory.

**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.

**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.