

# ESTUDIO DE LA HIDRODINÁMICA EN CAUCES DE MONTAÑA: CASO RIO LA SUELA

Juan F. Weber<sup>1</sup>, Leticia Tarrab<sup>2</sup>

<sup>1</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>2</sup> CRSA - INA (Instituto Nacional del Agua). E-mail: leticiatarrab@argentina.com

## Introducción

Diversos problemas asociados a la Ingeniería Fluvial requieren, para su resolución, el conocimiento de 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.

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. Ejemplo de éstos es la solución analítica a la ecuación diferencial del *Lateral Distribution Method* (LDM) propuesta por primera vez por Shiono y Knight (1988).

## Objetivos

El objetivo del presente trabajo es aplicar la solución analítica a la ecuación diferencial del *Lateral Distribution Method* (LDM) para la resolución de la hidrodinámica de un cauce de montaña, el río La Suela, en la estación de aforos implementada en las sierras de Córdoba (Dasso, 1977).

Este modelo analítico se aplicó en la caracterización tanto de la relación altura – caudal de la sección como en la predicción de la distribución lateral de las velocidades promediadas en la vertical.

## Modelo analítico

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.

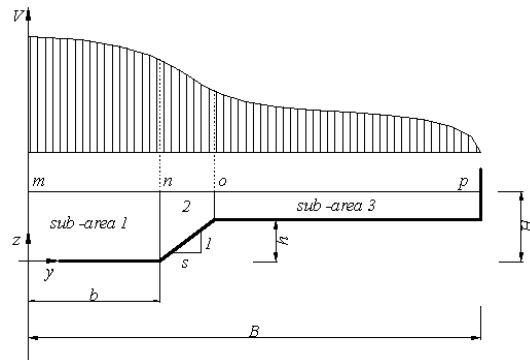


Figura 1.- Geometría típica de un canal de sección compuesta

## Caso de estudio

Para la aplicación del modelo se seleccionó la cuenca Piloto Representativa del Río La Suela.

La misma está ubicada sobre la vertiente oriental de las Sierras Grandes, entre los 64°35' y 64°46' de Long. Oeste; y 31°31' y 31°39' de Lat. Sur, en uno de los valles que median entre éstas y las Sierras Chicas. El caudal medio fue de 1.06m<sup>3</sup>/s para los años 1972 y 1973 (Dasso, 1977), mientras que la crecida máxima en el año 1975 alcanzó un pico de 500 m<sup>3</sup>/s. El área de la cuenca es de 131.95 km<sup>2</sup>

Se realizaron aforos entre los años 1971 y 1984 mientras que se relevaron perfiles transversales en los años 1971, 1975, 1979, 1982. Se seleccionaron los aforos del período 1981-1983, en el cual se alcanzó cierto equilibrio morfológico en la geometría transversal. Otra condición para la selección de los mismos fue que la profundidad máxima superara los 0.65 m, de modo de reducir la incertidumbre asociada al procedimiento de medición.

Las alturas hidrométricas se registraron con un limnógrafo perforado de cinta de cinco canales que marca cada 15 minutos la altura de la boya, a su vez se tomó lectura de la batería de escalas instalada unos metros aguas abajo de la sección de aforos, estando la misma vinculada a la lectura del limnógrafo.

En la figura 2 se puede observar la sección transversal de cauce en la estación de aforos, con la subdivisión de tramos adoptada.

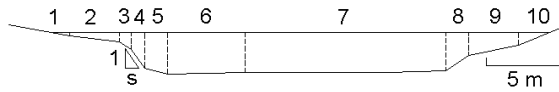


Figura 2.- Geometría de la sección de aforos

**Datos Experimentales**

Para profundidades menores a 1,2 m las mediciones se efectuaron a vadeo con un molinete Siap y las correspondientes a tirantes superiores mediante un teleférico operado desde la orilla, con un molinete Ott Kempten. En este último caso no se tomó en cuenta la catenaria formada por el cable que sostiene el velocímetro, provocada por el impulso del agua a gran velocidad sobre el mismo (y en menor grado sobre el cable), lo que distorsiona la profundidades medias.

**Aplicación y resultados**

En primer lugar se aplicó el modelo HEC-RAS (HEC, 2001) para estimar el valor local de la pendiente de la línea de energía en la sección de aforo, asumiendo como condición de contorno aguas abajo la existencia del muro aforador construido. El valor asumido es de 0,15 %.

El modelo analítico considerado se aplicó a través de un algoritmo especial implementado en GNU Octave especialmente diseñado para secciones irregulares (Weber, 2003). Los valores del *n* de Manning considerados fueron: 0,036 para el tramo 6 y 0,030 para el tramo 7 (figura 2); en los tramos restantes, *n* = 0,050. Estos valores son consistentes con los publicados anteriormente en otros estudios (Caamaño Nelli, 1985).

Las viscosidades adimensionales de torbellino ( $\lambda$ ) utilizadas fueron: 0,5 en el cauce principal, 0,2 en los taludes y en las márgenes 1,0.

Mediante la integración numérica del perfil lateral de velocidades dado por las ecuaciones [4] y [5] se determinó la relación profundidad – caudal (H-Q), la cual se puede observar en la figura 3 junto con los valores experimentales.

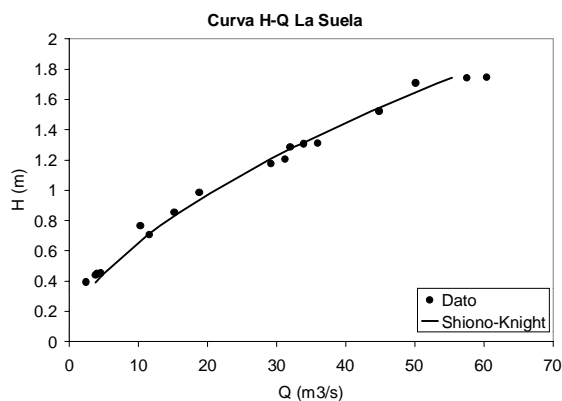


Figura 3.- Curva altura - caudal

En la figura 4 se puede observar la distribución lateral de velocidades predicha por el modelo analítico junto con los datos experimentales, para uno de los 17 casos procesados.

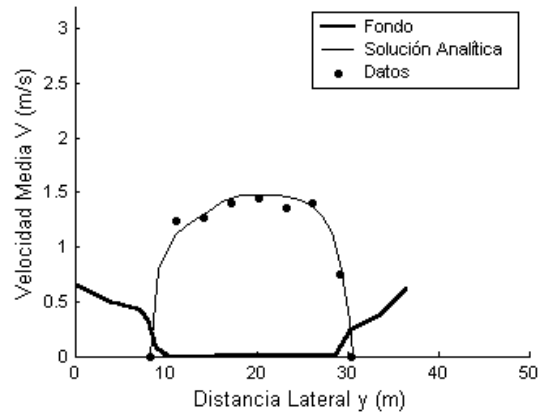


Figura 4. Aforo 8 – distribución de velocidades

**Conclusiones**

- El modelo analítico aplicado ha demostrado ser de utilidad en el estudio de la hidrodinámica de un cauce de montaña.
- A pesar de la inestacionariedad de ciertos caudales, la relación profundidad – caudal predicha ajusta adecuadamente a los datos disponibles ( $R^2 = 0,99$ ), lo cual confirma al modelo de Shiono y Knight como un buen predictor de la función H-Q, aún en cauces de régimen torrencial.
- La distribución lateral de velocidades fue predicha, en términos generales, en forma adecuada por el modelo analítico, si bien se observa cierta variabilidad asociada a: (a) la variación de la pendiente de la línea de energía con el caudal; (b) la inestacionariedad del flujo, y (c) incertidumbres propias en el proceso de medición, asociadas a la finalidad del trabajo (aforo).

**Referencias**

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

**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.

**Dasso, C.** (1977), *Investigación del escurrimiento subsuperficial en la Cuenca del Río la Suela*, Informe Final de Beca, Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.

**Caamaño Nelli, G. H.** (1985), “La Curva de Descarga para Cursos no Aforados” *Anales*, XII Congreso Nacional del Agua, Mendoza, Argentina.