

UNA ESTRATEGIA DE MODELACIÓN DE PROBLEMAS CON EROSIÓN DE MÁRGENES

Pablo García, Carlos Laciana y Angel Menéndez*

Facultad de Ingeniería-UBA, Av. Las Heras 2214, 1127 Buenos Aires, Argentina

*Instituto Nacional del Agua (INA)

E-mail: clacian@fi.uba.ar Tel (54 11) 4514 3016

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de disponer de un modelo integrado de simulación de procesos morfológicos en ríos, que cumpla a la vez un rol teórico de herramienta de investigación y un rol práctico de software de cálculo, se está llevando a cabo un plan de trabajo consistente en la implementación de metodologías de simulación numérica para el problema de evolución morfológica de cauces fluviales, incluyendo avance y retroceso de márgenes, a través del planteo de sucesivos modelos matemáticos integrados de los procesos involucrados. La filosofía de trabajo consiste en formular los modelos incluyendo todos los mecanismos significativos, pero al mismo tiempo manteniendo la máxima simplicidad posible, de modo de lograr herramientas de simulación eficientes en requerimiento de equipo y tiempo de cómputo. Se plantea una estrategia de trabajo consistente en partir de una primera formulación integrada para un problema de base simple, para luego complejizarla sucesivamente a través del agregado de nuevas acciones y mecanismos. Cada paso debe ser validado en base a comparaciones con datos experimentales o de campo. La sucesión prevista es la siguiente:

- i. Canal recto y márgenes de material suelto del mismo tipo que el lecho
- ii. Canal curvo y márgenes de material suelto del mismo tipo que el lecho
- iii. Canal general y márgenes de material suelto del mismo tipo que el lecho
- iv. Canal general y márgenes de material suelto de distinto tipo que el lecho
- v. Canal general y márgenes de material cohesivo

Al presente se ha completado la primera etapa y se trabaja en las segunda y tercera etapas.

En este trabajo se presentan los lineamientos de los modelos planteados y algunos resultados obtenidos.

MODELO HIDRODINÁMICO

Para las dos primeras etapas se supone que el canal es prismático y el flujo está totalmente desarrollado, por lo que se trabaja con un modelo hidrodinámico 1D lateral, que provee la distribución lateral de la velocidad longitudinal de la corriente, media sobre la profundidad, y la elevación del pelo de agua. El primer perfil se determina a partir del LDM (Wark et al, 1990), que es una simplificación de la ecuación de cantidad de movimiento en sentido longitudinal:

$$h \frac{\partial}{\partial y} \left[\varepsilon_y \frac{\partial U}{\partial y} \right] - BfU |U| + ghI_x = 0 \quad [1]$$

mientras que el segundo surge de una simplificación de la ecuación de cantidad de movimiento en sentido lateral (Engelund, 1974):

$$z(y) = z(0) + \frac{1}{g} \int_0^y \frac{U^2}{R_c} dy \quad [2]$$

Las ecuaciones [1] y [2] se resuelven en forma acoplada mediante un método de diferencias finitas.

En el caso curvo, la formulación se completa con un modelo paramétrico para el perfil vertical de la velocidad lateral asociada a la corriente secundaria (Kikkawa et al, 1976):

$$V(z) = \frac{U^2}{\langle U \rangle \kappa R_c} \left(F_A(\xi) - \frac{u_*}{\kappa \langle U \rangle} F_B(\xi) \right) \quad [3]$$

Desde la tercera etapa, el modelo para la velocidad longitudinal media sobre la profundidad evoluciona hacia una formulación parabólica, teniendo en cuenta la relativamente débil mezcla lateral.

MODELO SEDIMENTOLÓGICO

El transporte en suspensión específico en sentido longitudinal se calcula como (Parker, 1978):

$$q_{sx} = UhC; \quad C = \frac{E\varepsilon_z}{hw_s} \left(1 - e^{-w_s h / \varepsilon_z} \right) \quad [4]$$

mientras que el lateral surge de (Ikeda & Izumi, 1996):

$$q_{sy} = VhC - \varepsilon_y \frac{d(hC)}{dy} + \varepsilon_y \frac{w_s}{\varepsilon_z} hC \frac{dh}{dy} \quad [5]$$

Por su parte, los transportes específicos longitudinal y lateral de fondo se obtienen de (Kovacs & Parker, 1994):

$$q_{bx} = d_{50} \sigma \xi^* v_p^* \cos \psi \cos \alpha \quad [6]$$

$$q_{br} = d_{50} \sigma \xi^* v_p^* \left[\cos \psi \sin \alpha \sin \omega + \sin \psi \sqrt{\cos^2 \omega + \sin^2 \omega \cos^2 \alpha} \right] \cos \omega + q_V \quad [7]$$

donde q_V es el transporte específico lateral debido a la corriente secundaria. Esta es una corrección a la formulación original de Kovacs & Parker (1994), que se ha calculado mediante la aproximación de Kikkawa et al. (1976):

$$q_V = q_{bx} \tanh \delta \quad [8]$$

siendo δ el ángulo medio de desviación de la partícula de sedimento respecto a la dirección tangencial, debido a la velocidad lateral en el fondo. En el caso de un canal recto ($R_c = \infty$) se tiene que $q_V = 0$.

MODELO MORFOLÓGICO

La evolución morfológica del fondo se determina en base a la ecuación de Exner:

$$\frac{\partial z_0}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left[\frac{1}{R_c} \frac{\partial}{\partial y} (R_c q_y) + \frac{\partial q_x}{\partial x} \right] = 0 \quad [9]$$

que se resuelve por un método de diferencias finitas.

En las márgenes se verifica que el talud no supere el ángulo crítico. De ser así se retrocede la margen en un nodo, y se redefine el talud para compensar el volumen erosionado.

VALIDACIÓN DEL MODELO

Para validar el modelo para el caso del canal recto, se resolvió el mismo problema que Kovacs & Parker (1994), que consiste en la evolución de un canal trapezoidal hasta el equilibrio.

En la Figura 1 se presenta la comparación entre los cálculos del presente modelo y el de Kovacs-Parker, que utilizan un modelo hidrodinámico más sofisticado ya que resuelven la coordenada vertical (modelo bidimensional en el plano de la sección transversal). Se observa un acuerdo general satisfactorio, indicando que el modelo integrado en vertical y el algoritmo de erosión de la margen proveen una representación adecuada del fenómeno.

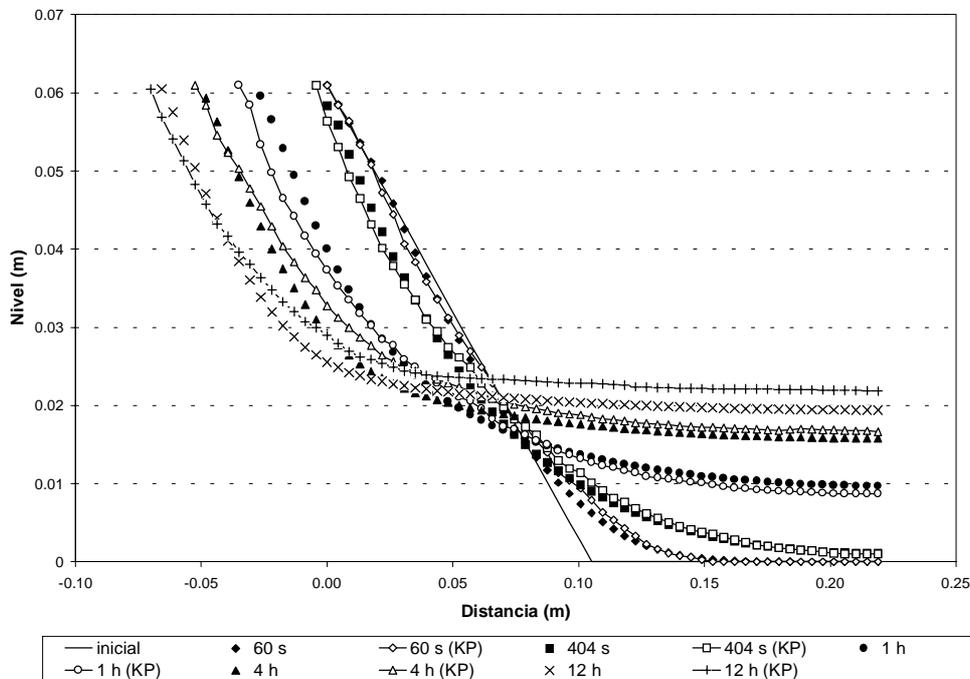


Figura 1.- Evolución de la sección transversal

Dado que este problema simula las condiciones experimentales de Ikeda (1981), en las Figuras 2 y 3 se muestran las comparaciones entre los cálculos efectuados con ambos modelos y las mediciones experimentales. Se observa que el modelo de Kovacs-Parker capta algo más precisamente la pendiente de la margen, aunque la performance del presente modelo puede considerarse totalmente aceptable a nivel ingenieril. Además, sigue correctamente la evolución de la margen y representa algo mejor la evolución del fondo en el centro del canal.

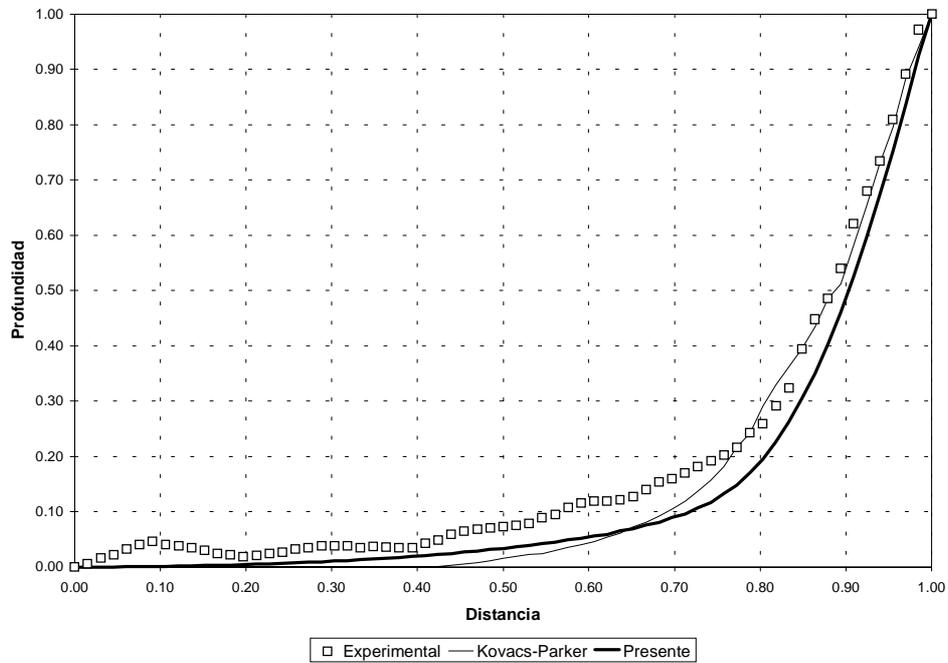


Figura 2.- Comparación de la forma de la sección (luego de 12 horas de ensayo).

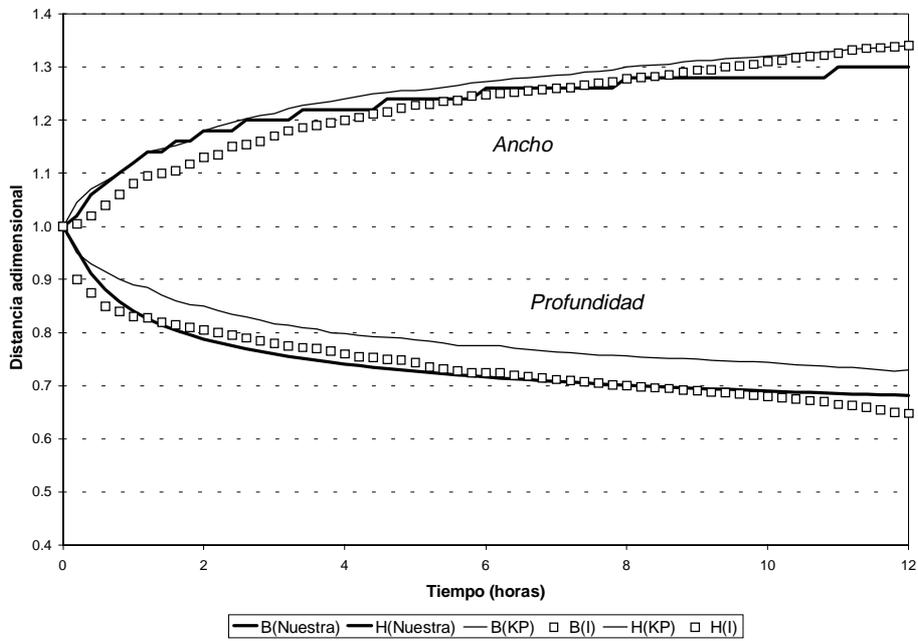


Figura 3.- Comparación de la evolución del ancho y la profundidad.

Se está trabajando en la validación del modelo para el caso de un canal curvo. En la Figura 4 se muestra una simulación de la evolución del lecho para un canal rectangular curvo con un radio central de 4,5 m, luego de transcurridos 100 seg. Se observa la profundización que se desarrolla en la margen externa y la acumulación en la derecha, de acuerdo a lo esperado.

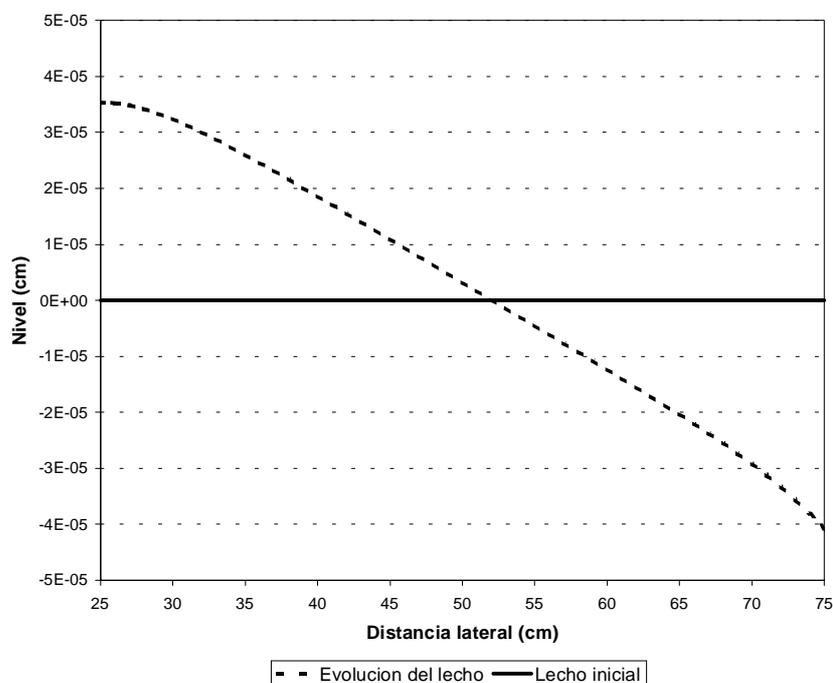


Figura 4.- Evolución del lecho en canal curvo

REFERENCIAS

Engelund, F. (1974). "Flow and bed topography in channel bends", *Journal of the Hydraulics Division*, HY11, Nov., 1631-1649.

Ikeda, S., Izumi, N. (1996). "Stable Channel Cross Sections of Straight Sand Rivers", *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 9, 2429-2438.

Ikeda, S. (1981). "Self-formed straight channels in sandy beds", *J. Hydr. Div.*, ASCE 107 (4), 389-406.

Kikkawa, H., Ikeda, S., and Kitagawa, A. (1976) "Flow and Bed Topography in Curved Open Channels", *Journal of the Hydraulics Division*, Vol. 102, No. HY9, September, 1327-1343.

Kovacs, A., Parker, G. (1994). "A new vectorial bedload formulation and its application to the time evolution of straight river channels", *J. Fluid Mech.*, vol. 267, 153-183.

Parker, G. (1978). "Self-formed straight rivers with equilibrium banks and mobile bed. Part 1. The sand-silt river", *J. Fluid. Mech.*, vol.89, part 1, 109-125.

Wark, J.B., Samuels, P.G., Ervine, D.A. (1990). "A practical method of estimating velocity and discharge in compound channels", *International Conference on River Flood Hydraulics*, edited by W.R.White, 17-20 September.