

# **SOBRE LA ESTABILIDAD DE UN SISTEMA CAUCE PRINCIPAL PLANICIE ALUVIAL**

**Aylen Carrasco<sup>1</sup>, Carlos A. Vionnet<sup>1</sup> y Eric Valentine<sup>2</sup>**

UNL – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) - University of Newcastle Upon Tyne, UK  
Ciudad Universitaria. Pje. El Pozo C.C. 217 – 3000 Santa Fe  
E-mail: Aylen@fich1.unl.edu.ar - vionnet@fich1.unl.edu.ar

## **INTRODUCCIÓN**

Es sabido que cuando una onda de crecida sobrepasa los niveles de los albardones costeros y comienza la inundación de la planicie aluvial, ésta cubre el propósito dual de proveer la capacidad de almacenamiento adicional necesaria para atenuar el pico de la crecida, y al mismo tiempo, facilitar el drenaje de las aguas aumentando la conductancia hidráulica de todo el sistema fluvial. A pesar de que el fenómeno es conocido desde la antigüedad, los riesgos que enfrentan vastos sectores de la población en diversas partes del mundo por una indebida ocupación de las planicies aluviales están en alza.

Es responsabilidad del ingeniero fluvial predecir la magnitud de las crecidas y desarrollar esquemas de defensa contra sus efectos perjudiciales. Asimismo, el ingeniero fluvial debe considerar a cualquier sistema fluvial en estado inestable o transicional, más que en estado estable o de equilibrio, dada la actual incertidumbre sobre el cambio climático y su incidencia en el medio ambiente (cambios en la hidrología del río).

Como síntesis puede decirse que uno de los problemas fundamentales que enfrenta hoy en día la ingeniería fluvial es dilucidar los mecanismos básicos que determinan la estabilidad (o perdurabilidad) de un sistema aluvial en un período de varias décadas. En éste contexto, las variables principales que controlan el comportamiento del sistema fluvial son el aporte de sedimentos y el régimen hidrológico del río, y la morfología del canal principal y de la planicie aluvial (principalmente gradientes). No obstante, diseñar herramientas de cálculo y pronóstico que integren adecuadamente la dinámica del flujo y del sedimento, los procesos de migración del canal principal (procesos de corta escala) y la evolución topográfica de la correspondiente planicie aluvial (proceso de gran escala), de manera que todas las escalas de tiempo estén correctamente capturadas, constituye un desafío de proporciones monumentales.

## **OBJETIVOS**

En consonancia con la problemática expuesta, se ha propuesto desarrollar un programa de mediciones experimentales en el Water Resource Systems Research Laboratory del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Newcastle Upon Tyne (Inglaterra, UK), en el marco de una beca doctoral financiada por CONICET, con el objetivo de documentar los procesos transitorios (inestabilidades) de erosión de márgenes y de migración de canales en situaciones de aguas bajas (inbank flow) y aguas altas (overbank flow). Por tanto se pretende adquirir un mayor conocimiento de los mecanismos involucrados en la formación de la resistencia hidráulica de cauce (con y sin formas de fondo) y de planicie, y de la erosión y del transporte de sedimentos que condicionan la evolución topográfica de la planicie. *Objetivo específico:* determinar relaciones funcionales entre los parámetros hidráulicos típicos y los procesos observados de corrimiento de márgenes. En una primera etapa el análisis se centra en el estudio de migración de barras en un canal de lecho y márgenes erosionables.

Este programa de investigación está en estado incipiente, y hasta la fecha se ha llevado a cabo una serie de experimentos exploratorios o preliminares realizados con el objetivo de observar el comportamiento general del canal y su efecto en la movilidad de las márgenes, bajo diferentes condiciones (distintas descargas y transporte de sedimentos); así como de realizar

un análisis de estabilidad lineal simple tratando de identificar la longitud de onda y la celeridad de las barras alternadas que aparecen en el lecho de arena del canal. La idea es utilizar estas observaciones como punto de referencia en las futuras series de experimentos.

## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Por definición, un canal esta en equilibrio morfológico cuando no tienen lugar en su lecho procesos de erosión o depositación. Esta condición se alcanza cuando la divergencia del flujo de sedimento es cero en cualquier punto del lecho. Si la geometría del canal o el flujo son modificados de alguna forma tal que dejan de estar en equilibrio mutuo, entonces comienza a tener lugar en el lecho procesos de erosión y depositación hasta reinstaurarse la estabilidad. Los mecanismos por los cuales el canal se ajusta al equilibrio cuando es perturbado, así como el tiempo que necesita para lograr el ajuste son de fundamental importancia en muchos problemas concernientes a hidrólogos y geomorfólogos (Nelson and Smith, 1989).

Con el fin de conocer los efectos físicos responsables de la iniciación de la inestabilidad de las barras alternadas, y determinar la inicial longitud de onda de estas características, es útil emplear técnicas de análisis de estabilidad lineal (Nelson and Smith, 1989). Este análisis es realizado usando las ecuaciones de la masa [1] y la cantidad de movimiento [2] promediadas en la vertical en unión con las ecuaciones que expresan la conservación de la masa de sedimento [3] y el transporte de fondo [4].

Según el sistema de referencia planteado por Callander (1969) y asumiendo que: (a) la velocidad esta uniformemente distribuida en la profundidad del flujo y tiene componente vertical igual a cero, (b) la distribución de presiones es hidrostática, (c) el gradiente de tensiones de corte en la profundidad del flujo es constante, (d) el gradiente de tensiones de corte en el plano perpendicular al flujo es cero, (e) la tensión de corte en el lecho es paralela a la velocidad resultante  $V$ , y (f) el transporte de fondo se origina en la dirección de la velocidad resultante; las ecuaciones de gobierno se expresan

$$\frac{\partial}{\partial x}(ud) + \frac{\partial}{\partial y}(vd) + \frac{\partial d}{\partial t} = 0 \quad [1]$$

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\gamma \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\tau}{d} \quad [2]$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\gamma \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{u \tau}{V d} \quad [3]$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(h-d) + \frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{v}{V} L \right) = 0 \quad [4]$$

donde  $(u, v)$ : componentes de la velocidad en la dirección  $(x, y)$  respectivamente,  $t$ : tiempo,  $d$ : profundidad del flujo,  $h$ : elevación de la superficie libre,  $S_0$ : pendiente media del lecho cubierto de formas de fondo,  $\gamma$ : peso específico del material del lecho,  $\rho$ : densidad del fluido,  $\tau$ : tensión de corte en el lecho,  $V$ : velocidad resultante y  $L$ : tasa de transporte o transporte de fondo.

## EXPERIMENTOS

A los fines de investigar la evolución y estabilidad de canales naturales, se debe caracterizar de manera realista la interacción entre campo de flujo, topografía del lecho del canal y transporte de sedimento.

Una serie de ensayos preliminares se realizaron en el canal experimental del laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Newcastle Upon Tyne, manteniendo una pendiente del lecho uniforme de 0.002m/m. El mismo está construido en madera, consta de 2.5m de ancho, 22.0m de largo y 0.6m de altura, y presenta lecho de arena de granulometría uniforme (1mm de diámetro), ver Figura 1. En el lecho de arena se excava la sección transversal prismática del cauce principal que se desea estudiar, usando dos rieles ajustables ubicados en los bordes superiores del canal y con los que es posible cambiar además la pendiente del lecho. En caso de querer realizar ensayos con aporte de sedimentos a la entrada del canal se cuenta con un alimentador de sedimentos, el cual puede funcionar con distintas tasas de transporte.



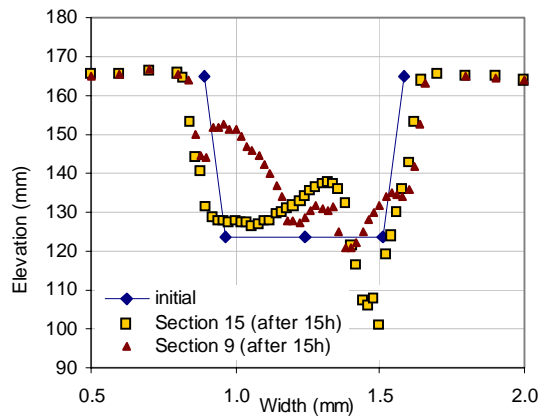
**Figura 1.-** Canal alisado, condición inicial de ensayo.

La sección inicial del canal prismático fue prefijada usando los datos de trabajos previos en el mismo laboratorio (Haidera, 2002), las cuales fueron calculadas según la teoría del régimen racional White-Paris-Bettes (1982). Una vez alcanzado el punto de saturación, garantizando la no iniciación de movimiento, el canal fue dejado desarrollar libremente bajo condiciones de flujo uniforme hasta que la tasa de cambio de márgenes o ensanchamiento fue menor que el 2% por hora, lo cual sugiere un estado de quasi - equilibrio. En todos los casos la sección de quasi - equilibrio se alcanzó después de las 4 horas de ensayo, tiempo en donde se le agregaron perturbaciones al sistema como ser aumento del caudal y de la tasa de transporte de sedimento.

En todos los casos en el proceso de lograr el equilibrio se observó la formación de barras alternadas (Ver Figura 2 y 3), las cuales se mantuvieron migrando lentamente aguas abajo sin mostrar ninguna reacción a los cambios introducidos y sin causar ninguna acción aparente sobre las márgenes; las cuales a su vez mantuvieron una movilidad menor del 2% por hora.



**Figura 2.-** Barras alternadas.



**Figura 3.-** Sección transversal final, ensayo 2

### EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS RESULTADOS

En anteriores investigaciones en este canal (Shakir, 1992), encontró la reiterada aparición de barras alternadas para diferentes condiciones de ensayo pero manteniendo la granulometría y la pendiente; lo que hace pensar que usando un análisis de inestabilidad simple es posible establecer a priori las causas y el rango de valores de los parámetros hidro-sedimentológicos que condicionan la aparición de las barras, así como la posición que ocuparían estas con el paso del tiempo para comparar estos datos con los obtenidos en el laboratorio. Dicho análisis de estabilidad está en etapa de implementación y ejecución, por lo que mayores detalles del mismo, así como sus resultados se ofrecerán durante el simposio.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Callander, R. A.** (1969): "Instability and River Channels", *Journal of fluid mechanics*, Vol. 36, Part. 3, pp. 465-480.
- Nelson, J. M. y Smith, D.** (1989): "Evolution and Stability of Erodible Channel Bars", *River Meandering*, American Geophysical Union, Water Resources Monograph **12**.
- Haidera, M. A.** (2002): "The Stability of Alluvial Channels with Overbank Flow", *PhD thesis*, University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- Shakir, A. S.** (1992): "An experimental investigation of channel planforms", *PhD thesis*, University of Newcastle Upon Tyne, UK.
- White, W. R., Paris, E., y Bettes, R.** (1982): "Analytical approach to river regime", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 108(HY10), pp. 1179-1193.