

# SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DE UN TRAMO MEDIO DEL RÍO PARANÁ PARA LA INTERCONEXIÓN VIAL GOYA-RECONQUISTA

Andrés Rodríguez<sup>1</sup>, Gerardo Hillman<sup>1</sup>, Daniel Brea<sup>2</sup>, Daniel Farías<sup>3</sup>, Héctor R. Bravo<sup>4</sup>  
Edgar Castelló<sup>1</sup>, Mariana Pagot<sup>1</sup> y Pablo Spalletti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lab.Hca., Universidad Nacional de Córdoba

<sup>2</sup> Universidad Nacional de la Plata / Lab.Hca. Apl., I.N.A.

<sup>3</sup> I.R.H., Universidad Nacional de Santiago del Estero

<sup>4</sup> University of Wisconsin-Milwaukee, EEUU

Dirección: Av. Vélez Sarsfield 1601, Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina

Teléfono: 433-4446 Fax: 433-4446 E-mail: arodrig@com.uncor.edu

## Introducción

La determinación de un cruce hidráulica y ambientalmente óptimo de un gran río de llanura con una amplia planicie de inundación, como es el caso del Río Paraná en su tramo medio, no es una tarea sencilla. Para la búsqueda de este cruce óptimo, se propusieron diversos criterios a satisfacer, entre los cuales se destacan la mayor macroestabilidad geomorfodinámica del tramo (cauce principal y valle aluvial), además de un adecuado diseño hidráulico de los puentes principal y en planicie. También fue considerada la menor inundabilidad por sobreelevación inducida por las obras (puentes y terraplenes), la mayor estabilidad fluvial en márgenes, talweg e islas, la menor perturbación a la hidrovía, y la menor alteración por erosiones (general y local) del cauce y márgenes.

En este trabajo se presenta, la aplicación de una herramienta de simulación bidimensional en el proceso de diseño de la obra, partiendo de una condición sin puente hasta el ajuste final en las dimensiones de los distintos componentes.

## Objetivos

El objetivo de este trabajo es describir la utilización y aplicación de herramientas de simulación de flujos bidimensionales en el análisis y diseño de obras de ingeniería de gran magnitud.

## Materiales y métodos

La simulación hidráulica del río se realizó con distintas herramientas computacionales, 1D y 2D, las cuales se complementaron de distintas maneras. Los modelos utilizados fueron:

- Unidimensionales: MIKE-11 y HEC-RAS (en su versión impermanente 3.0, ver USACE, 2001) para validar recíprocamente los resultados y aprovechar las potencialidades de cada herramienta. Los mismos resuelven numéricamente las ecuaciones clásicas de Saint Venant (Saint Venant, 1871) vía Diferencias Finitas (e.g. Barkau, 1992).
- Bidimensional: RMA2 en Elementos Finitos del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU (USACE, 1997), herramienta utilizada en grandes ríos con escurrimientos bidimensionales significativos y en estudios previos del río Paraná, (e.g. Cardini, 2000 y Tassi et al., 2000).

Los modelos 1D, permitieron asignar las condiciones de contorno al modelo 2D y fueron utilizados para contrastar la

distribución del caudal entre planicie y cauce, a lo largo de la traza del puente, como también verificar las magnitudes en las velocidades máximas de las contracciones y la elevación del pelo libre a lo largo del perfil longitudinal del río.

La definición de las distintas componentes hidráulicas de la obra sobre la planicie de inundación y sobre el cauce principal, se realizó a partir de la variación, en forma iterativa y convergente, de las características principales del puente como tamaño y número de vanos disponibles en la zona de llanura, así como también distintas topologías de viaducto sobre el cauce principal.

Los criterios utilizados para la comparación de las distintas topologías y para la selección de la mejor alternativa, se pueden resumir de la siguiente manera:

- Sobreelevación debido a la presencia de la obra.
- Diferencias de nivel en la superficie de agua, entre aguas arriba y aguas abajo del puente.
- Velocidades máximas en las contracciones provocadas por la obra.
- Alteración de las trayectorias principales de flujo ante la presencia de la obra.

Para llevar adelante este proceso fue necesario como primer paso, estudiar el patrón de distribución de flujo en el tramo de río seleccionado y en el escenario sin obra. Los escenarios hidrológicos seleccionados en el proceso mencionado incluyeron caudales de 50.000 m<sup>3</sup>/s y 82.700 m<sup>3</sup>/s.

Esta simulación permitió calibrar los coeficientes de rugosidad (n de manning) asignados previamente, utilizando datos de niveles observados en Reconquista, Goya, en la cercanía del río Los Amores y en las cercanías del río Paraná Mini. El resultado de esta simulación fue contrastado con una imagen satelital del 4 de Mayo de 1998 (Figura 1b), lo que permitió verificar la correcta distribución de caudales a través de los patrones de flujo observados en la simulación.

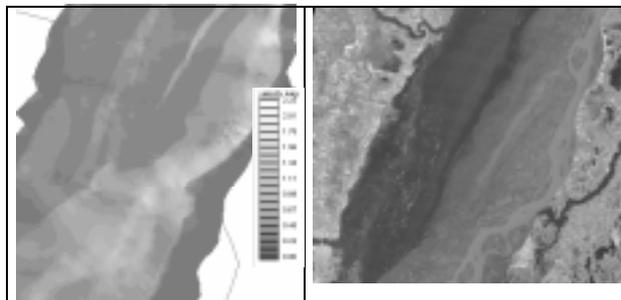


Figura 1a. Simulación sin puente. Q=50.000 m<sup>3</sup>/s.  
Figura 1b. Imágen satelital (4-5-1998), Q=50.000 m<sup>3</sup>/s.

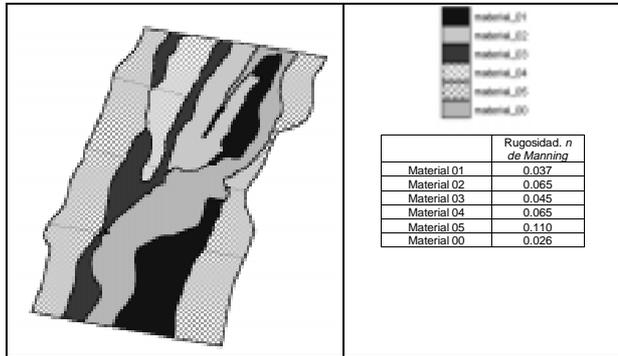


Figura 2. Polígonos de rugosidades

El paso siguiente consistió en proponer distintas topologías de puente, para lo cual fue necesario rediseñar mallas de cálculo (1 por alternativa) y modificar características inherentes al modelo, con el objetivo de incrementar la definición y resolución en las zonas cercanas a los aliviadores y al cauce principal y obtener el conjunto de resultados necesarios para analizar la distintas propuestas.

Luego de realizar varias propuestas, se arribó a la configuración definitiva (Figura 3a, b y c), la cual será utilizada para posteriores análisis hidráulicos (erosión local y general), ambientales, estructurales y económicos en general.

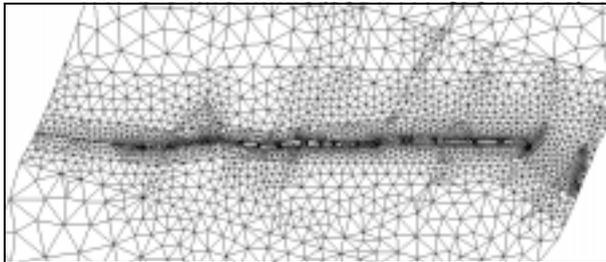


Figura 3a. Malla de elementos finitos para la versión definitiva de puente.

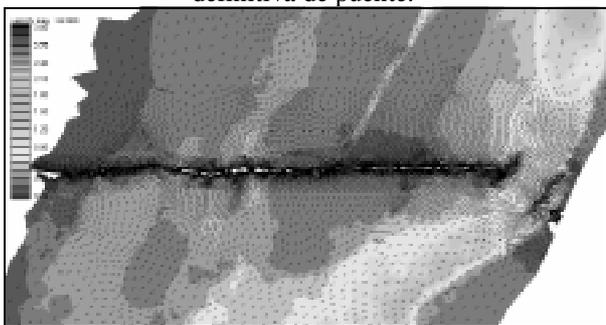


Figura 3b. Patrón de velocidades para la alternativa con puente definitiva.  $Q= 50.000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

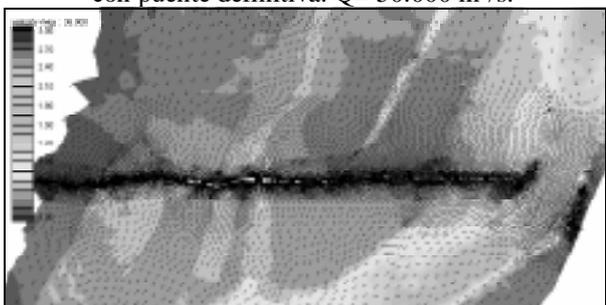


Figura 3b. Patrón de velocidades para la alternativa con puente definitiva.  $Q= 82.700 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## Conclusiones

La implementación de herramientas computacionales como las descritas combinadas con el análisis de imágenes satelitales, han permitido estimar con cierta precisión el comportamiento e interacción entre el medio y la obra, brindando los elementos de análisis necesarios para arribar al diseño óptimo de la misma.

## Referencias Bibliográficas

**Barkau, R.** (1992): *UNET, One –dimensional unsteady flow through a full network of open channels*. Computer Program, St. Louis, MO, USA.

**Bombardelli, F., Menéndez, A. y Brea, J.D.** (1997): *A mathematical model for the lower Paraná river delta*. 3rd International Conference on River Flood Hydraulics, Stellenbosch, South Africa.

**Cardini, J.** (2000): *Proyecto hidráulico de la Conexión Física Rosario Victoria sobre el río Paraná*. Anales del Curso Internacional Ingeniería de Ríos. Pre-Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2000. INA - Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

**DHER** (1996): *Modelo matemático del Delta del Río Paraná (Mike 11)*. Dirección de Hidráulica y Recursos Hídricos de la Provincia de Entre Ríos, Argentina.

**Prendes, H.** (1983): *A mathematical model with movable beds. Its application to the Paraná river*. Gerencia paraná Medio, AYEE, Sta. Fe, Argentina.

**Tassi P., Vionet, C. y Gaudin, H.** (2000): *Modelación numérica 2DH de un tramo del río Paraná*. XVIII Congreso Nacional del Agua, Las Termas de Río Hondo, Argentina.

**Saint Venant, A. J. C. Barre de** (1871): *Théorie de mouvement non permanent des eaux, avec application aux crues des rivieres et a l'introduction des maré es dans leur lits*. Comptes rendus des Séances de L'Académie des Sciences, Vol 73.

**Toniolo, H. A.** (1999): *Las Divagaciones del Thalweg del Río Paraná*. Tesis de Magister en Ingeniería de los Recursos Hídricos. FICH – UNL, Santa Fe, Argentina.

**USACE** (1997) User's guide to RMA2-WES, Version 4.3, U.S. Army Corps of Engineers – Water Ways Experimental Station Hydraulics Laboratory, Vicksburg, Miss., EEUU.

**USACE** (2002): *HEC-RAS River Analysis System*. Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, Hydrologic Engineering Center, Manual de Usuario CPD-68, Manual de Referencia Hidráulica CPD-69, Versión 3.1, Enero. Vicksburg, Miss. USA.