

FLUJO Y TRANSPORTE SOBRE UN LECHO CUBIERTO CON DUNAS

Serra Silvina G., Gaudin Horacio, Vionnet Carlos A.

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral

E-mail: sserra@fich1.unl.edu.ar, vionnet@fich1.unl.edu.ar

Introducción

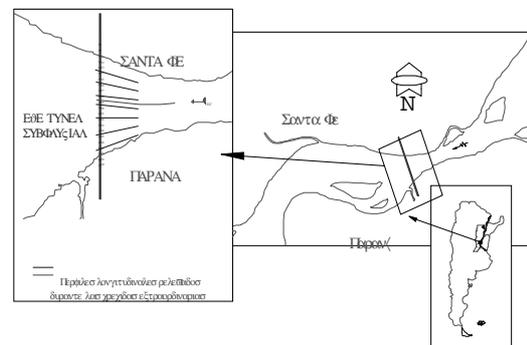
Recientemente, un comité de expertos de la Asociación Norteamericana de Ingenieros Civiles (ASCE Task Committee, 2002) concluía que si bien los ingenieros y científicos interesados en describir la evolución de cauces aluviales están en condiciones de predecir la capacidad de transporte de sedimentos del río, la cuantificación de los procesos de erosión de márgenes, de sedimentación de canales de navegación, de formación, crecimiento y eventual desintegración de islas, entre otros muchos problemas de relevancia tanto práctica como académica, aún presentan un margen de error considerable. En rigor, el comité fue muy explícito en formular, en términos muy sencillos, el problema básico de la ingeniería fluvial: *dado un tipo particular de sedimento y fluido, una cierta geometría del cauce, y una descarga líquida impuesta; ¿cuál será el tirante de agua esperado y la cantidad de sedimento transportado?* Aún considerando el escenario más simple de todos; lecho con sedimento de granulometría uniforme en cantidad suficiente, en un canal inicialmente rectilíneo y de sección transversal prismática y uniforme con márgenes estables, la respuesta a esta pregunta puede darse únicamente en términos probabilísticos, con una gran incertidumbre en los valores finales. Esta dificultad técnica para encontrar una respuesta sencilla a cuestionamiento tan elemental, tiene sus raíces en la naturaleza triplemente diferenciada de ciertos mecanismos que gobiernan la evolución morfológica de cauces aluviales (continua competencia entre la resistencia al escurrimiento, el transporte de sedimentos, y la reacción del flujo ante cambios en ambos mecanismos). Por tanto, es imposible desarrollar una teoría para analizar una faceta del problema con independencia de los otros mecanismos actuantes. En rigor, el comportamiento de un sistema aluvial está condicionado por una multiplicidad de mecanismos tipificados por otras tantas escalas temporales y espaciales, lo que obstaculiza la obtención de un único modelo teórico que explique desde la conocida resistencia de piel -a escala del grano de sedimento en un lecho inicialmente plano- hasta la resistencia y transporte que se verifica a escala de los meandros del río (Parker, 1998). No obstante, hay una escala del problema en la cual es posible analizar resistencia y transporte en condiciones de cuasi-equilibrio dinámico; y este es el rango de valores de los parámetros del flujo que caracteriza la existencia de dunas y de barras (o grandes bancos) de arena.

El interés por profundizar el conocimiento de la mecánica de dunas tiene motivaciones prácticas, como por ejemplo, determinar el calado efectivo en ciertos puntos críticos de una vía navegable ante un recrecimiento considerable de las crestas de dunas, determinar la pérdida de estabilidad de obras de arte enterradas en un lecho erosionable (túneles, gasoductos, oleoductos, etc.), ante el pasaje de dunas de gran amplitud que, eventualmente, dejan al descubierto la estructura, o la posibilidad que minas antisubmarinas sean tapadas, o destapadas, por la acción de dunas.

Objetivos

En esta comunicación técnica, la discusión se restringe al

análisis de los parámetros que tipifican la migración –o la cinemática- de dunas en el tramo del río Paraná que comprende la traza del Túnel Subfluvial Hernandarias (Fig. 1). El trabajo pretende continuar y ahondar ciertos aspectos del problema teniendo en cuenta la experiencia acumulada por la FICH en estos últimos años (Pujol et al., 1994; entre otros). El presente trabajo tiene los siguientes objetivos específicos: (i) la generación de una base de datos, partiendo tanto de información histórica como de información de campo recolectada por el grupo de trabajo, y que permita la cuantificación de parámetros que caracterizan la migración de dunas: amplitud, longitud de onda, celeridad relativa de la forma de fondo, concentración relativa de la fase sólida, etc. (ii) la estimación de tasas de transporte a partir de los datos compilados en la primera fase, con miras a su posterior reproducción mediante simulaciones numéricas. En síntesis, la generación de un banco de datos, ya sea por captura directa de información de campo con la lancha hidrográfica de la FICH, o por procesamiento de información histórica (registros de sonda ecográfica obtenidas por el Ente Adm. del Túnel) de crecidas extremas, cumple con el doble propósito de dar sustento al presente trabajo, y a su vez, de servir como



información de contraste y validación de herramientas numéricas preexistentes y en desarrollo.

Figura 1: Tramo del río Paraná analizado. Líneas de corriente relevadas

Metodología

En primer lugar, se está actualizando la base bibliográfica de manera que refleje el estado del arte a partir del reciente impulso que recibió el tema a nivel internacional (ASCE Task Committee, 2002). Paralelamente, el trabajo se divide en cuantificar el transporte de sedimento de fondo por métodos indirectos (seguimiento de la migración de un tren de dunas), y métodos directos (seguimiento de la evolución de dos trincheras de prueba excavadas en la zona). Para la aplicación del método directo, se parte de considerar los registros históricos producidos por el Ente de Adm. del Túnel Subfluvial durante las crecidas excepcionales de 1982/82, 1992, y 1998. En este caso, se apunta a separar la contribución al transporte de fondo producido por el desplazamiento de grandes dunas de las pequeñas mediante un filtrado de Fourier.

Si bien la cantidad de información sobre evolución del lecho relevada por personal del Túnel Subfluvial durante

las crecidas extraordinarias, consistente en perfiles longitudinales del lecho a lo largo de transectas (Fig.1), es abundante, no es de interpretación ni tratamiento directo ya que consisten en registros de faja ecógrafa realizada desde una embarcación en movimiento. En consecuencia, la información no presenta escalas verticales y longitudinales uniformes. En todo caso, es segmentada, por lo que la primera etapa del trabajo consistió en la transformación de la información a datos digitales, muestreados uniformemente tal lo requiere el análisis espectral (Nordin y Algert 1966). La información producida fue convenientemente referenciada en coordenadas Gauss Krüger y en cotas del Instituto Geográfico Militar. Para el seguimiento de la evolución de dos trincheras excavadas en el lecho sobre la traza del túnel, se contó con información de la trinchera realizada en 1960, previo a la construcción del Túnel, y la otra en el año 1992, previo a la colocación de la cubierta protectora de la estructura. La estimación de los caudales sólidos del fondo se realizó aplicando tres metodologías:

- *Estimación indirecta de q_b mediante el seguimiento de la migración de trenes de grandes dunas* (Van Rijn, 1993): Para un tren de dunas que se propaga a celeridad constante c_b sin cambio de forma, se aplicará la siguiente expresión, siendo Δ la amplitud de la duna y σ un coeficiente que tiene en cuenta la forma de la duna y la porosidad del material del lecho.

- *Estimación indirecta, y corregida, de q_b mediante la separación de Fourier de los trenes de dunas de menor tamaño.* En este caso, se intentará aplicar la fórmula desarrollada por Sidorchuk (1990), que incorpora la contribución de pequeñas dunas superimpuestas a dunas mayores, $q_b = \sigma_2 c_{b2} \Delta_2 + (\sigma_1 c_{b1} \Delta_1)_{1,2}$, donde los subíndices indican el orden de frecuencia dominante de duna (1:duna pequeña, 2:duna grande). Para dunas deformables, σ se transforma en una variable.

- *Estimación directa de q_b mediante el análisis de la evolución de trincheras:* la integración de las ecuaciones de gobierno del proceso hidro-sedimentológico permite, bajo el sustento de una serie de hipótesis simplificadoras, el cálculo directo de la carga de fondo por la comparación sucesiva -a diferentes tiempos- del estado de la trinchera.

Resultados

Al presente, se ha culminado la etapa de procesamiento de información básica, lo que permitió generar gráficos de la evolución de dunas durante las crecidas extremas, como la que se muestra en la Fig. 2 y de la evolución de trincheras como puede verse en la Fig. 3. Los valores estimados de los parámetros hidrosedimento-lógicos fueron tabulados siguiendo el formato de la Tabla 1. Asimismo, se está realizando el procesamiento de Fourier de la información digital producida, con lo cual se espera contar con resultados adicionales al momento del simposio; entre ellos, comparaciones con códigos numéricos de fondo móvil (Tassi et al., 2003).

Tabla 1: Parámetros estimados

Fecha	$h(m)$	$u(m/s)$	$\Delta(m)$	$\lambda(m)$	$C=c_b/u$	$\epsilon_b=q_b/q$
17/11/00	14.5	1.4	2.7	80	1.5e-5	8.9e-7

Arriba: h : tirante hidráulico, u : velocidad media de la corriente, $q=uh$: caudal líquido unitario, Δ : altura de la duna, c_b : celeridad de la duna, q_b : carga sólida de fondo (m^2/s) y ϵ_b : parámetro de transporte, resultante

del cociente entre el caudal sólido y el caudal líquido.

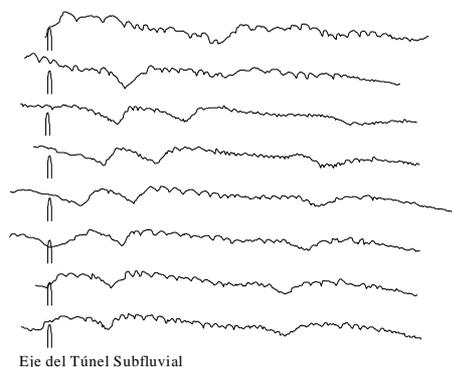


Fig. 2: Evolución de las formas de fondo a lo largo de la progresiva transversal 1256. Datos relevados entre el 2 y el 31 de julio de 1983.

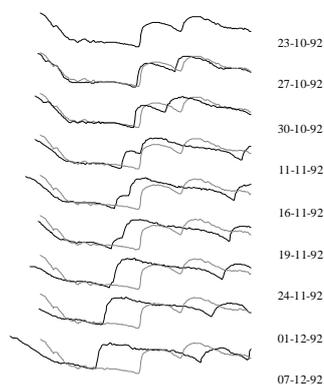


Fig. 3: Evolución de la trinchera excavada en el lecho sobre el empazamiento del eje del Túnel Subfluvial, los relevamientos se realizaron durante los meses de octubre a diciembre de 1992.

Referencias

ASCE Task Committee (2002): "Forum on flow and transport over dunes", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 128, pp 726-728.

Nordin C., and Algert J. (1966): "Spectral analysis of sand waves." *Journal of Hydraulic Division*, Vol. 92, HY5, pp 95-114.

Pujol A., Amsler M., Schreider M., Trento A., Toniolo H., and Gaudin H. (1994): "Estudio experimental de un escurrimiento sobre dunas rígidas con pequeñas dunas superimpuestas, XVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Vol. 2, pp 405-416.

Sidorchuk A. (1990): "Cálculo de la velocidad de transporte de formas de fondo y del caudal de material en suspensión". *Recursos Hídricos*, Vol. 5 (Navka, traducido del ruso por P. Kurganski).

Tassi P., Vionnet C., Serra S. (2003): "Simulación numérica 1D de la evolución del lecho de un cauce aluvial con el método de Galerkin Discontinuo". I Simposio Reg. de Hidráulica de Ríos. Ezeiza, nov.2003

Van Rijn L.C.(1993): "Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas". *Agua Publications. Amsterdam. Holland.*