

CRITERIOS FLUVIO-MORFOLÓGICOS APLICADOS AL DISEÑO DE OBRAS DE ENCAUZAMIENTO DE RÍOS. CASO DEL RÍO SALÍ (TUCUMÁN, ARGENTINA)

Mariano A. Corral¹ y Hector Daniel Farias²

¹Universidad Nacional de Córdoba, Av. Veléz Sarsfield 1601. TE: 4334446. mcorral@com.uncor.edu

²Instituto de Recursos Hídricos, FCEyT, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina

Introducción

La obra denominada “Canalización del Río Salí y Obras Complementarias” tuvo por objeto definir en el ámbito del cauce del Río Salí un canal de sección ‘regular’ para la conducción de una serie de caudales de diseño. El segmento de río se desarrolla contiguo a las ciudades de San Miguel de Tucumán, Alderetes y Banda del Río Salí.

El tramo de río analizado posee una pendiente media de 3,5‰, un cauce activo de 90 m de ancho, una sinuosidad del orden de 1,3 y un trazado de curvas alternadas suaves, ya que no alcanza a desarrollar un patrón meandriforme completamente definido debido a las obras ejecutadas en la planicie de inundación. Las obras de infraestructura existentes, como por ejemplo los Puentes viales “Oscar Barros” y “Lucas Córdoba” y el Puente Ferroviario restringen el desarrollo de procesos de erosión de márgenes y migración lateral, a lo que se suma una disminución del gasto dominante por efecto de la regulación de caudales por parte de la presa El Cadillal.

Materiales y Métodos

Las actividades realizadas comprenden varios tópicos de la geomorfología y la hidráulica fluvial, entre las cuales se destacan:

- Propiedades de los sedimentos del lecho y posibilidad de acorazamiento.
- Caudal formativo del cauce
- Geometría Hidráulica
- Diseño conceptual de la sección transversal

Resultados

Desde el punto de vista de los **sedimentos**, se han extraído muestras en diferentes secciones, además de la inspección visual del cauce, márgenes y aspectos característicos del sistema fluvial. Se utilizaron criterios hidráulicos para la selección de las muestras, principalmente fueron tomadas en el cauce principal del río, en correspondencia con franjas (representativas de los tubos de corriente) de mayor velocidad en la sección transversal (del orden de 1 m/s para un caudal estimado de 6 m³/s).

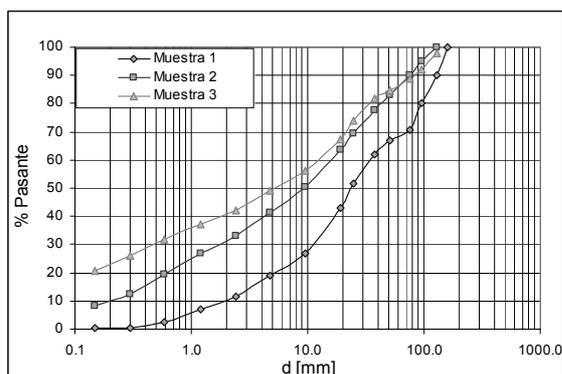


Figura 1.- Análisis granulométrico de las muestras

Se presentan en la Figura 1 las curvas granulométricas de las muestras de sedimentos (a la altura de la progresiva 6000, según la convención de obra), las cuales se han localizado en: (1) canal principal con velocidad del orden de 1 m/s, con posible efecto de acorazamiento; (2) margen interna de curva con velocidad del orden de 0,2 m/s; y (3) planicie sobre margen derecha.

El **acorazamiento** es un proceso morfológico en el cual conforme el fondo de un cauce se erosiona selectivamente, los granos más gruesos se acomodan y cubren a los más finos y el transporte de sedimentos va disminuyendo hasta llegar a una condición estable. Los sedimentos de granulometría extendida o suelos bien graduados ($\sigma_g > 2$) poseen la particularidad de que cuando están sujetos a la acción de un flujo de agua pueden desarrollar una coraza o armadura en la superficie del lecho.

Para estimar la posibilidad de acorazamiento se ha utilizado el método de Gessler (1967), el cual define como esfuerzo cortante crítico de un material no cohesivo de granulometría extendida, al esfuerzo que corresponde a la condición de flujo que hace que el diámetro medio de la coraza del cauce alcance un valor máximo (Figura 2).

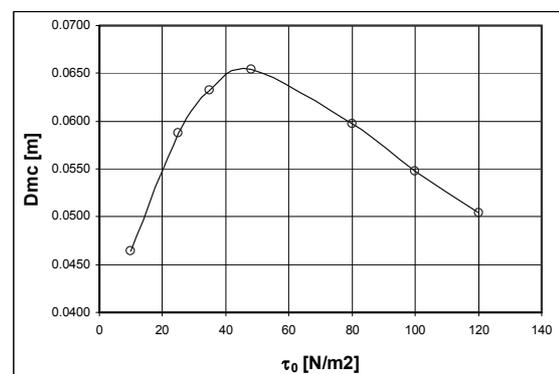


Figura 2.- Diámetro medio de coraza

De la figura anterior se ha obtenido el diámetro medio de la coraza ($D_{mc} = 65$ mm) y la tensión crítica de arrastre ($\tau_c = 48,2$ N/m²). En general, para propósitos de diseño se recomienda que la tensión de corte crítica sea reducida por un factor de seguridad de 1,5; por lo que resulta $\tau_c = 32,1$ N/m².

Por definición el **caudal dominante** es aquel caudal líquido constante fluyendo a régimen permanente y uniforme que es capaz de producir sobre el cauce el mismo efecto morfológico que la secuencia natural de flujos, los cuales son estadísticamente variables a lo largo de la historia del río. Existen diferentes enfoques y metodologías para estimar el caudal dominante, las cuales se pueden clasificar en métodos geométricos, estadísticos y morfológicos.

Considerando el criterio geométrico, los cuales consideran como gasto dominante aquel gasto máximo que es capaz de escurrir por el cauce principal sin desbordar hacia los laterales o de desborde, se realizaron modelaciones con un

rango variable de caudales y por inspección visual se obtuvo un caudal formativo de 315 m³/s.

Aplicando criterios estadísticos, los cuales se basan en la definición de la frecuencia asociada al gasto dominante, es decir, aquel caudal correspondiente a un período de retorno que varía entre 1,5 y 2,4 años, tomado a partir de datos de campo (Knighton 1988; Richards 1982) se han procesado los caudales en el Río Salí durante el período 1967 – 2007 y obtenido la curva de frecuencias, la cual por ejemplo para el caudal asociado a 2,4 años de recurrencia resulta en 220 m³/s.

A partir de los métodos morfológicos, los que consideran como caudal efectivo aquella descarga capaz de transportar el máximo gasto sólido asociada a la frecuencia de su caudal líquido, como por ejemplo el de Schaffernack, el cual establece como gasto dominante, el caudal líquido que se presenta durante el año y que transporta el mayor volumen de sedimentos, se ha obtenido un caudal entre 250 y 290 m³/s (Figura 3).

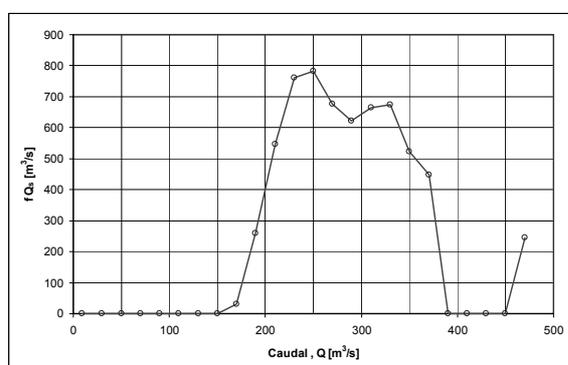


Figura 3.- Caudal formativo

Para el **diseño de la canalización** se definió un cauce de aguas bajas, como el espacio que ocupa el flujo durante la mayor parte del tiempo y está asociado al módulo del río (para el Río Salí del orden de 20 m³/s), y un cauce de aguas altas (correspondiente a gastos que se observan durante algunos días del año o pueden estar asociados a recurrencias bajas). Por ejemplo, el caudal formativo definido en el presente estudio (250 m³/s) con una recurrencia estimada de 4 años se encuentra en el límite de esta definición y el cauce de avenidas representa el espacio ocupado por los eventos extraordinarios. Por su parte, el caudal establecido para la verificación de la obra es de 1500 m³/s (100 años de recurrencia).

La sinuosidad es el segundo factor de importancia para el diseño de canalizaciones, la cual se ha mantenido en los valores naturales de 1,3. Otro aspecto es el ancho, el cual para el Río Salí se encuentra entre 30 y 100 m, con un valor medio de 85 m. Aplicando el criterio sugerido por Chang ($R = 3B$), el radio de curvatura se ha mantenido entre 90 y 300 m, con un valor medio de 250 m.

Desde el punto de vista **geomorfológico** la sección transversal de un río es compuesta, es decir, se compone generalmente de un cauce principal y planicies de inundación, las cuales se pueden desarrollar en una de sus márgenes o en ambas. Las dimensiones (ancho y profundidad) y pendiente estables de un río aluvial es una disciplina en el marco de la hidráulica fluvial, con diversas aplicaciones como el diseño de canales estables, obras de encauzamiento de cauces, etc.

Para el desarrollo del presente trabajo se han analizado los diferentes enfoques, pero teniendo en cuenta la particularidad de que la granulometría del Río Salí en el

tramo en estudio es de sedimentos gruesos (gravas y cantos). En este caso se han utilizado las expresiones de Altunin (A), Julien & Wargadalam (JW) y Lee & Julien (LJ), Parker (P), Eaton & Miller (EM) y Hey & Thorn (HT). En la Tabla 1 se incluye un resumen de los parámetros geométricos estimados para el caudal formativo y la granulometría existente en el Río Salí. Estos valores han tenido por objeto establecer las dimensiones del canal principal de la sección compuesta propuesta.

Autor	Ancho [m]	Tirante [m]	Velocidad [m/s]	Pendiente [m/m]	τ^*
A	87	2.07	2.75	0.0024	0.073
LJ	75	1.94	2.23	0.0044	0.081
JW	71	2.01	1.61	0.0034	0.071
P	58	2.19	1.98	0.0020	0.044
EM	90	1.25	2.07	0.0035	-
HT	68	2.10	1.74	0.0019	-
Promedio	75	1.92	2.06	0.0029	0.067

Tabla 1.- Dimensiones para canal estable

De esta manera es recomendable establecer dos niveles en el perfil transversal, uno para aguas bajas y altas y otro para las avenidas. Esto supone que para caudales menores a 250 m³/s el ancho del río será uniforme (75 m) y para caudales mayores el ancho de ocupación será una función del ancho de planicie de inundación disponible, de la diferencia de altura entre cauce y planicie y de la rugosidad relativa de las planicies (Figura 4).

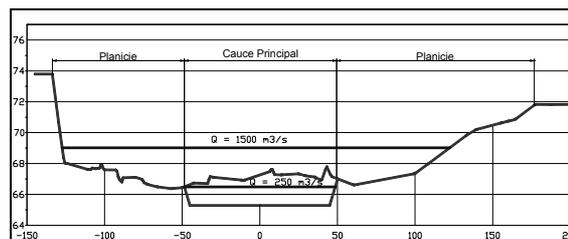


Figura 4.- Sección transversal propuesta

Conclusiones

Se han presentado algunos de los lineamientos fluvio-morfológicos esenciales que se han tenido en cuenta para el diseño racional del encauzamiento de un tramo del Río Salí. Los aspectos considerados han sido las propiedades de los sedimentos del lecho y posibilidad de acorazamiento, caudal formativo del cauce, geometría hidráulica y diseño conceptual de la sección transversal. A partir de la aplicación de una serie de formulaciones disponibles en la literatura se han determinado los parámetros de diseño para el encauzamiento.

Referencias Bibliográficas

Maza Alvarez, J.A. y García Flores, M. (1996). *Manual de Ingeniería de Ríos*. Series del Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF.

Farias H. D. (2005). "Forma en planta de ríos de llanura. Conciliación de criterios empíricos y analíticos para la identificación de umbrales morfológicos". *Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Neuquén, Argentina, Noviembre 2005.

Farias H. D. (2005). "Análisis del concepto de caudal dominante en ríos aluviales y evaluación de metodologías de cálculo". *Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Neuquén, Argentina, Noviembre 2005.