

ANÁLISIS DEL CONCEPTO DE CAUDAL DOMINANTE EN RÍOS ALUVIALES Y EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS DE CÁLCULO

Hector Daniel Farias

Instituto de Recursos Hídricos (IRHi-FCEyT-UNSE)

Av. Belgrano (S) 1912, (G4200ABT) Santiago del Estero, Argentina. E-mail: H.D.Farias@members.asce.org

Introducción

El concepto de caudal dominante resulta de fundamental importancia en estudios fluvio-morfológicos y de ingeniería fluvial, tales como el diseño de cauces en régimen y proyectos de restauración fluvial. En esencia, este valor del flujo hidrológico establece un patrón morfológico de referencia que ayuda a inferir las condiciones bajo las cuales el río bajo análisis exhibe una condición de equilibrio y de esa manera estimar los posibles cambios morfológicos que podría desarrollar para acercarse a esa situación de estabilidad. En las últimas décadas se ha desarrollado una tendencia mundial hacia el entendimiento de los procesos naturales que gobiernan las condiciones morfológicas y de hábitat en ríos, de modo tal de procurar restaurar las mismas en ambientes naturales antrópicamente perturbados. Para ello, es necesario estimar tanto las secciones naturales como las configuraciones planimétricas asociadas a esas condiciones naturales y en ese sentido cobra relevancia el concepto de caudal dominante, o también denominado gasto generativo o formativo del cauce.

Objetivos

El objeto de este trabajo es el de revisar el concepto de caudal dominante y evaluar críticamente las metodologías disponibles para su estimación, a la vez de proponer recomendaciones que ayuden a estimar razonablemente este parámetro de importancia en hidráulica de ríos.

Concepto de Caudal Dominante

Este concepto fue inicialmente introducido con la finalidad de extender al caso de ríos naturales algunos aspectos desarrollados para canales artificiales en el contexto de la "Teoría del Régimen", y se atribuye su introducción inicial en el campo de la Hidráulica Fluvial a Inglis en 1950 (Marlette y Walker, 1968; Komura, 1969), aunque en forma casi simultánea Schaffernak (1950, citado Garde y Ranga Raju, 1985) había incorporado el término "descarga generativa del cauce". Existen varias definiciones de caudal dominante, algunas de las cuales han sido analizadas por Knighton (1998) y recientemente por Goodwin (2004). La mayoría de las definiciones asocian el caudal a rasgos morfológicos característicos del cauce. Por ejemplo, Ackers y Charlton (Knighton 1998) definieron la descarga dominante como el flujo permanente que produciría la misma longitud de onda de meandros que la secuencia hidrológica natural de caudales. Wolman y Miller (Knighton 1998) asocian el caudal dominante a aquella descarga líquida que desarrolla el mayor trabajo mecánico, entendiéndose como tal al asociado al transporte de sedimentos. Esta definición dá lugar a la siguiente: el caudal dominante es el que transportará la mayor cantidad de sedimentos más gruesos que 63 micrones con respecto al tiempo (USBR 1958, citado por Garde y Ranga Raju, 1985).

A partir de estas definiciones, en el contexto del presente trabajo, se considerará al caudal dominante (Q_D) como aquel caudal teórico que fluyendo en régimen permanente y uniforme, es capaz de producir el mismo efecto morfológico sobre el cauce (en términos del modelado de

la sección transversal y patrón de alineamiento en planta) que la secuencia natural de flujos hidrológicamente variables a lo largo de la historia geomorfológica del río. Expresando matemáticamente este concepto, se obtiene:

$$Q_D = \left(\int_{t_1}^{t_2} Q(t) \cdot Q_s(t) \cdot dt \right) / \left(\int_{t_1}^{t_2} Q_s(t) \cdot dt \right)$$

donde Q indica el caudal líquido, Q_s caudal sólido (carga total de material del lecho) y el lapso de tiempo ($t_2 - t_1$) debe ser lo suficientemente largo como para garantizar que durante el mismo hayan acontecido una cantidad de eventos (en términos de transporte sólido) suficientemente representativos de la hidrología de la cuenca.

Metodologías de Cálculo

Ante la diversidad de definiciones de Q_D , también existen diversas metodologías de cálculo, que en el marco de la presente investigación han sido tipificadas en tres grandes grupos:

Métodos Geométricos. Son aquellos que únicamente consideran la geometría del cauce y sobre las cuales subyace la hipótesis: $Q_D = Q_B$ (es decir, que el caudal dominante iguala al caudal de desborde Q_B), es decir, están asociados a la definición de "bankfull", nivel de inundación o umbral de desborde. En ellos, se identifica ese nivel o cota (por algún procedimiento más o menos objetivo, e.g., Radecki-Pawlik, 1999) y a través de una relación 'altura-caudal' [$h-Q$] se estima $Q=Q_D$. En términos matemáticos, un criterio objetivo se basa en analizar la función de la razón de aspecto $B/H=\Phi_r(H_{max})$, donde B es el ancho superficial y H_{max} es la profundidad máxima del cauce correspondiente a cada nivel H , de modo que si la función altura caudal es $Q=f_h(h)$, entonces el nivel de desborde se corresponde con un mínimo de esa función, es decir: $Q_D \approx (Q = f_h(h))|_{[B/H=\Phi_r(H_{max})] \rightarrow \text{mínimo}}$

Métodos Estadísticos. Son aquellos basados en la definición de la frecuencia asociada al gasto dominante, es decir: $Q_D = Q(T_R=T_{R0})$, donde a T_{R0} generalmente se le asigna una recurrencia empírica estimada a partir de observaciones de campo (habitualmente variable entre 1.5 y 2.4 años) (Knighton 1988; Richards 1982).

Métodos Morfológicos. Son los que consideran fundamental el aspecto referido al transporte sólido y en este caso se iguala el caudal dominante al caudal efectivo, es decir, aquella descarga capaz de transportar el máximo gasto sólido. En este grupo se incluyen los métodos de Schaffernak y Komura. Estas son las metodologías más racionales para estimar el caudal dominante, aunque poseen una componente empírica asociada por un lado a la función de transporte sólido usada y por otro a la ley de frecuencias que ajusta los valores de caudales líquidos. En virtud de ello, los valores estimados de Q_D son sensibles a la función de transporte y las singularidades de la ley de frecuencia (incluyendo la cantidad de intervalos de clase en que se segmenta la serie cronológica de caudales líquidos para su análisis).

Recientemente, Goodwin (2004) ha presentado un procedimiento analítico para la implementación de estas metodologías basada en funciones típicas de transporte y en leyes teóricas de probabilidades, encontrándose que en forma genérica puede expresarse a Q_D como una función: $Q_D = f_{Q_D}(b, \eta_i, \lambda_j)$, donde b es el exponente de la función empírica $Q_S = a \cdot Q^b$, η_i son los descriptores estadísticos característicos -posición, dispersión, asimetría- de la distribución de probabilidades (por ejemplo, la media μ_Q o la desviación estándar σ_Q) y λ_j son parámetros típicos de la distribución empleada (e.g., Gamma, log-Pearson, etc.).

Aplicación

La evaluación de los diferentes procedimientos se llevó a cabo mediante la aplicación de los mismos a un tramo de un río aluvial en el que se dispone de datos hidrométricos históricos y sobre el que se están llevando estudios morfológicos para definir el grado de estabilidad del cauce y su posible respuesta dinámica ante acciones antrópicas.

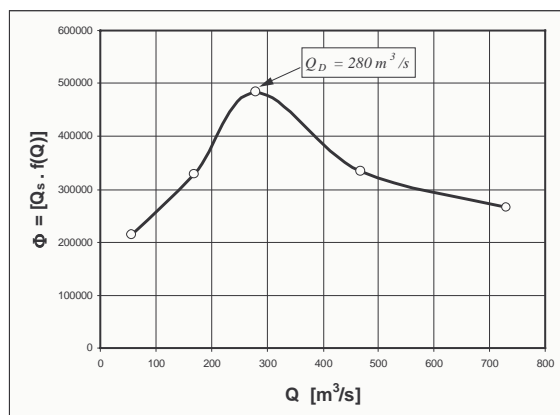


Fig.1.- Caudal dominante calculado por el método de Schaffernack para el Río Dulce

En una primera instancia, y con la única finalidad de disponer de valores aproximados de referencia, se aplicaron los métodos geométrico y estadístico. Para el primero se consideró una sección transversal media representativa del tramo mientras que para el procedimiento estadístico se obtuvo una curva empírica de frecuencias a partir de los datos de caudales.

Los métodos morfológicos analizados fueron los de Schaffernak y Komura. Para ambos se trabajó con una serie de caudales líquidos diarios de 60 años de longitud y la función $Q_S = f_{Q_S}(Q)$ se ajustó con las ecuaciones de transporte disponibles en el programa HEC-RAS, ya que de esta manera se facilitan los cálculos usando directamente las secciones naturales del tramo y las granulometrías del material de lecho. Para el caso del método de Schaffernak se realizó un análisis de sensibilidad en función de la cantidad de intervalos de clase, encontrándose que $N=20$ producía valores razonables, y de esta manera se estimó $Q_D=280 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 1). Este valor está asociado a una recurrencia menor de un año. Por su parte, se implementó una variante del método de Komura, trabajando con un hidrograma anual promedio y se realizó un análisis de sensibilidad en función del exponente b de la función de transporte $Q_S = a \cdot Q^b$.

Para el caso analizado (Río Dulce en Santiago del Estero) se encontró que para una variación de b entre 1.2 y 2.0 (valores típicos para el conjunto de funciones de transporte habitualmente usadas en ríos aluviales) el valor de caudal dominante calculado experimentó una variación del orden del 30% encontrándose que $Q_D \sim b^{0.6}$ aproximadamente.

En estas condiciones, los valores encontrados se sitúan aproximadamente en forma coincidente con los indicados por Goodwin en sus funciones analíticas para estimar el caudal dominante. En efecto, Goodwin (2004) encontró que para el caso en que la serie cronológica de caudales observados se ajuste a una distribución normal, resulta $Q_D \sim b^{0.5}$, mientras que para el caso de una distribución log-normal de dos parámetros $Q_D \sim e^b$. Para otras distribuciones de probabilidad las funciones son más complicadas, pero dependen esencialmente de b y de los estadísticos de la serie (en rigor, de los momentos de orden 1, 2 y 3, es decir, media, varianza y asimetría ya sea de los valores de Q o de $\log(Q)$).

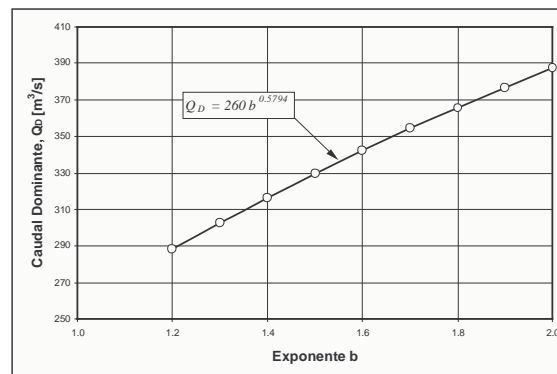


Fig. 2.- Variación del caudal dominante calculado por el método de Komura con el exponente b de la función: $Q_S = a \cdot Q^b$.

Conclusiones

Se ha revisado el concepto de caudal dominante en ríos aluviales y se han clasificado las metodologías existentes en geométricas, estadísticas y morfológicas, siendo estas últimas las recomendadas para su aplicación a casos prácticos. En ese sentido, se encontró que el método de Schaffernak presenta ciertas dificultades de aplicación por su alta sensibilidad a la cantidad de intervalos en que se segmenta la serie de caudales, mientras que el método de Komura (una vez obtenido un buen ajuste de la función $Q_S = a \cdot Q^b$) es más sencillo de implementar y produce resultados razonables.

Referencias Bibliográficas

- Garde, R.J., Raju, K.G.R. (1985). *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*. (2nd edition) Wiley Eastern Ltd., 618 pages [ISBN 0-85226-306-6].
- Goodwin, P. (2004). "Analytical Solutions for Estimating Effective Discharge". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 130, No. 8, August 2004, pp. 729-738.
- Jansen, P.P., van Bendegom, L., van den Verg, J., de Vries, M. & Zanen, F. (1979). *Principles of River Engineering: The Non-Tidal Alluvial River*. Pitman Publishing Ltd., London, U.K.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms and Processes: A new perspective*. Oxford University Press, New York, 400 p.
- Komura, S. (1969). "Computation of Dominant Discharge". *Proceedings of IAHR Congress, Kyoto, Japan*, pp. 265-268.
- Marlette, R.R. & Walker, R.H. (1968). "Dominant Discharges at Platte-Missouri Confluence". *Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE*, Vol. 94, No. WW1, pp. 23-32.
- Radecki-Pawlik, A. (1999). "Bench Index Method as a way of Bankfull Discharge Determination in the Polish Carpathian". *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Environmental Development*, Volume 2, Issue 2.
- Richards, K.S. (1982). *Rivers: Form and Processes in Alluvial Channels*. Ed. Methuen, London, U.K., 358 p.