

EROSIÓN EN ESTRIBOS DE PUENTES ALIVIADORES Y SU INTERACCIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES

*Graciela Scacchi, *Mario Schreider y **Ramón Fuentes Aguilar

*Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral – Santa Fe – Argentina. E-mail: gscacchi@fich1.unl.edu.ar
**Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia (IM2) – Santiago - Chile. E-mail: rfuen004@im2.codelco.cl

Introducción

La principal causa de daño a la estructura de puentes lo constituye la erosión del lecho en sus pilas y estribos, lo cual incide directamente en la seguridad de sus fundaciones.

Cuando los procesos erosivos se producen en valles de inundación el problema presenta características muy particulares. En este caso se combinan importantes anchos del escurrimiento de aproximación al puente con tirantes y velocidades relativamente bajos, fuertes contracciones y estructuras del flujo tridimensionales muy marcadas en las zonas próximas a los estribos. La configuración descrita plantea el predominio de las dimensiones en planta por sobre la vertical, hecho que debe ser contemplado a la hora de estudiarse los diferentes tipos de erosión involucrados.

En este trabajo se analizan los procesos erosivos que tienen lugar junto a los estribos de puentes aliviadores, insertos en vías de comunicación que atraviesan planicies inundables, de características semejantes a las del río Paraná. Los antecedentes inmediatos del tema han sugerido que la presencia de tales erosiones origina una redistribución transversal del flujo en la sección de emplazamiento del puente. La hipótesis central de la presente investigación postula que esta redistribución de caudales interactúa con el desarrollo de la erosión local junto al estribo, proceso que se encuentra gobernado por las condiciones del escurrimiento en dicha zona, al inicio del proceso, y el ancho del puente involucrado.

Enfoque metodológico

El enfoque metodológico planteado en este estudio condujo a la realización de una secuencia experimental que tuvo por finalidad sustentar la elección de las variables geométricas e hidráulicas que gobiernan el fenómeno de erosión en estribos y ajustar las relaciones funcionales propuestas.

Si se interpreta que el terraplén de aproximación a un puente aliviador en valle de inundación se configura como un estribo largo (Kandasamy, 1989) y se considera la interacción existente entre la erosión por contracción y por estribo en tales circunstancias (Schreider et al. 1998, 2000), la máxima profundidad de erosión junto a un estribo prismático, orientado normal al flujo, puede expresarse mediante una función del siguiente tipo:

$$y_e = f_1(B, h, U, g) \quad [1]$$

Donde “ y_e ” es la máxima profundidad de erosión local en un estribo; “ B ” es el ancho de la brecha o semi-sección del puente; “ h , U ” son el tirante y la velocidad iniciales evaluados en la sección de la brecha y “ g ” es la aceleración de la gravedad. La no consideración en [1] del material del lecho se basa en el supuesto que el mismo es uniforme y lo suficientemente pequeño en relación al obstáculo para no influir en el fenómeno (Melville y Coleman, 2000).

Si se aplica análisis dimensional a [1], se arriba a la siguiente expresión:

$$\frac{y_e}{B} = f_2\left(\frac{h}{B}, \frac{U^2}{g.B}\right) \quad [2]$$

La incorporación del ancho de brecha “ B ” como longitud de referencia se ha hecho sobre la hipótesis de la importancia del proceso erosivo como fenómeno en planta. Surge de este modo una forma del número de Froude, en donde el tamaño del sistema está representado por la dimensión horizontal (número de Froude de la brecha).

Se propone también incorporar en el estudio la variación que sufre la distribución de caudales en la sección del puente, la que de acuerdo a las evidencias experimentales anteriores puede expresarse como:

$$\frac{Q_{hf}}{Q_{hi}} = f_3\left(\frac{y_e}{B}, \frac{h}{B}\right) \quad [3]$$

Siendo “ Q_{hf} ” y “ Q_{hi} ” el caudal que escurre en el sector de la sección transversal correspondiente al ancho de la hoya de erosión, al final e inicio del proceso erosivo respectivamente.

De la comparación de las expresiones [2] y [3] se advierte una dependencia recíproca o retroalimentación entre los parámetros representativos del escurrimiento y la socavación resultante. El análisis de los resultados arrojados por las experiencias de laboratorio permitirán encontrar el modo y la secuencia en que estas expresiones deben relacionarse para que, como producto final, se obtenga una profundidad de erosión local mediante una expresión de cálculo que valore, de una manera indirecta, el efecto que sobre la socavación final resultante habrá de tener la incorporación extra de caudal en la zona de influencia del estribo, acorde se desarrolla el proceso erosivo.

Diseño experimental

Las experiencias se realizaron en un canal de grandes dimensiones que posee el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (Figura 1), el que fue implementado de modo tal que en sector central se encuentra un lecho erosionable, constituido por arena uniforme de 1 mm de diámetro medio. En este recinto se construyó un cierre parcial, cuya longitud fue mantenida constante durante toda la secuencia experimental.



Figura 1.- Vista cuenco de ensayos

Las experiencias de laboratorio contemplaron cinco series de ensayos, cada una de ellas identificada por tener un único valor de caudal específico inicial “q” y tirantes aproximadamente constantes (ambos en la sección estrechada). Cada “q” fue ensayado con cinco anchos de brechas “B” cubriendo un rango de variación para este parámetro de aproximadamente 300%. Los ensayos se realizaron en forma desdoblada, esto es, una primera etapa a fondo fijo representando la configuración inicial del flujo y una segunda, con fondo móvil, en la que se permitió que se desarrollara la fosa de socavación local y luego se midieron los parámetros representativos del escurrimiento en la sección erosionada.

Resultados obtenidos

El análisis de los resultados verificó la existencia de un fenómeno de redistribución transversal del flujo en la sección de la brecha con el desarrollo de la fosa de erosión local. Se ha encontrado que las derivaciones de caudal al sector comprometido por la erosión en estribo fueron mayores en la medida que se consideraron valores de “B” más grandes, ante las mismas condiciones iniciales del escurrimiento, esto es “q” y “h”.

Se ha ratificado el concepto fundamental planteado en relación a la dependencia que existe entre la redistribución de caudales verificada en la sección y el desarrollo mismo de las erosiones locales, representado por la relación funcional [3]. Este hecho se ha puesto en evidencia en la figura 2, donde se han representado las modificaciones sufridas por el flujo en el sector afectado por la hoya como una función de la máxima profundidad de erosión medida, adimensionalizada con el ancho “B” .

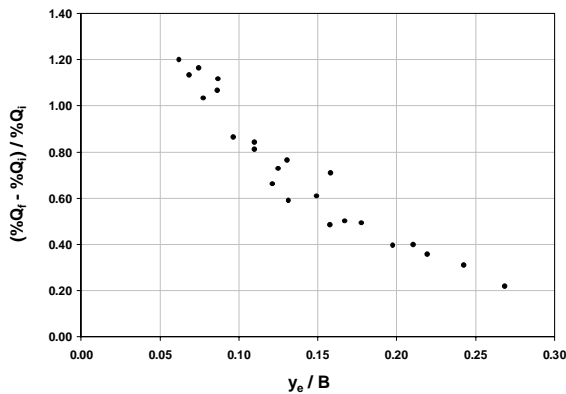


Figura 2.- Relación entre la variación del caudal que escurre en la zona de erosión local y la máxima profundidad relevada

Los resultados experimentales permitieron verificar parcialmente la relación funcional [2], lo cual pone de manifiesto la necesidad de incorporar en el análisis a la geometría de la brecha. La figura 3 muestra la relación funcional que existe entre la máxima profundidad de erosión en el estribo, adimensionalizada con el ancho de la sección, y el número de Froude de la brecha. El buen ajuste de los datos valida el enfoque metodológico que sustenta la presente investigación. La ecuación de mejor ajuste tuvo la siguiente forma:

$$\frac{y_e}{B} = 2.3057 \left(\frac{U}{\sqrt{g \cdot B}} \right) - 0.0315 \tag{4}$$

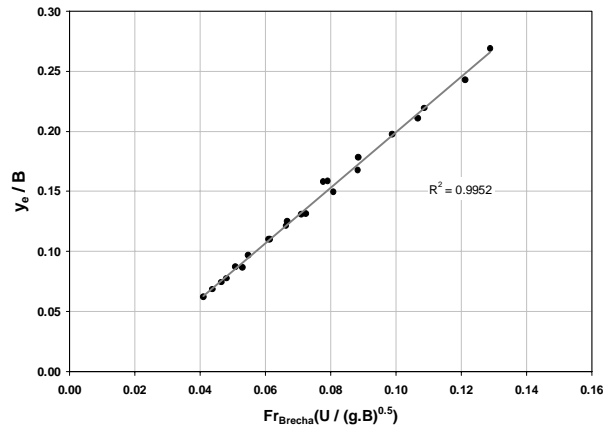


Figura 3.- Máxima profundidad de erosión en función del número de Froude de la brecha.

Se concluye así que, para el rango de las variables consideradas en el presente estudio, las erosiones junto al estribo responden en forma directa a las condiciones iniciales del flujo en las inmediaciones del mismo, específicamente a la velocidad de la corriente, y al ancho de la brecha. Esta última variable representa el fenómeno de incorporación de caudal a la hoya, el cual en conjunto con la profundidad de erosión, retroalimenta el proceso de redistribución de caudales.

Conclusiones

Mas allá del muy buen ajuste obtenido a partir de los resultados experimentales, el elemento central que surge como resultado de este estudio, es el reordenamiento de las variables involucradas. En efecto, la incorporación del ancho como variable representativa del proceso de transferencia lateral de caudales, redefine la aplicación de las ecuaciones de estribo largo a situaciones de puentes en valles de inundación. Las restricciones experimentales que inevitablemente debe afrontar todo trabajo de laboratorio, no habilita a la ecuación [4] como una expresión de cálculo de aplicación generalizada, pero si brinda una relación funcional que, mas allá de su posible perfeccionamiento, puede ser considerada hoy un avance en la descripción del fenómeno de erosión local en estribos de puentes aliviadores.

Referencias Bibliográficas

Kandasamy, J. K. (1989) “Abutments scour.” Report N° 458, School of Engineering, The University of Auckland, Auckland, New Zealand, 278 p. s, Inc., New York, U.S.A.

Melville, B.W. y Coleman, S.E. (2000) "Bridge Scour." Water Resources Publications, LLC.

Schreider, M.; Zanardi, L.; Scacchi, G.; Franco, F. (1998) "Erosión por contracción y por estribo en puentes aliviadores en valle de inundación." Revista Ingeniería del agua. Vol. 5 . N° 2. Madrid, España, pp. 23 – 34.

Schreider, M.; Scacchi, G.; Franco, F. y Romano, C. (2000) "Incidencia del ancho del puente en la interacción entre la erosión por contracción y por estribo." Anales del XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Vol. I. Córdoba, Argentina, pp. 359 – 368.