

EROSIONES LOCALES Y POR CONTRACCIÓN EN PUENTES EN PLANICIES

Pablo Spalletti⁽¹⁾, José Daniel Brea⁽¹⁾ y Julio Cardini⁽²⁾

(1) Programa de Hidráulica Fluvial - Laboratorio de Hidráulica - Instituto Nacional del Agua (INA)

(2) Serman y Asociados S.A.

E-mail: pspallet@ina.gov.ar - dbrea@ina.gov.ar - juliocardini@ciudad.com.ar

RESUMEN

El presente trabajo constituye un intento por aclarar, desde el punto de vista de los autores, qué se entiende por erosión por contracción y qué por erosión local, y cómo es el desarrollo de estos fenómenos en puentes localizados en valles de inundación. Se ha analizado cómo se alcanza la configuración final del lecho en casos particulares, ante el pasaje de crecidas a través de puentes cuyos estribos presentan taludes protegidos, a partir de la aplicación de modelos matemáticos bidimensionales y de la observación en modelo físico del desarrollo y localización de los vórtices responsables de la erosión local. Finalmente, se presentan recomendaciones para el cálculo de la socavación máxima en este tipo de puentes, en la que no se consideran expresiones para cuantificar la erosión local por estribos.

ABSTRACT

The present paper constitutes an attempt to clarify, from the point of view of the authors, what is understood as erosion by contraction and what as local erosion, and how it is the development of these phenomena in bridges located in flood valleys. It has been analyzed how the final configuration of the bed in particular cases is reached, during the passage of swellings through bridges whose abutments present protected slopes, from the application of bidimensional mathematical models and the observation in physical model of the development and location of the vortices responsible for local erosion. Finally, recommendations for the calculation of the maximum scour in this type of bridges are made, in which, expressions to quantify the local erosion by abutments are not considered.

INTRODUCCIÓN

La presencia de un puente impone condicionamientos al funcionamiento hidráulico del río y su valle de inundación, con los consiguientes efectos en la morfología del lecho.

La erosión en torno a un puente durante el paso de una crecida, es consecuencia del flujo tridimensional complejo que impone al escurrimiento la presencia de este tipo de obras, que genera una contracción de la corriente e interpone elementos como pilas y estribos, que motivan cambios adicionales al flujo líquido en la zona. Por ello, el grado de afectación debido a la presencia de un puente y los cambios en la morfología del tramo de río en sus cercanías, son función de las características geométricas y morfológicas del cauce, de la localización en planta y ancho del puente, y de la geometría y ubicación de pilas y estribos.

La complejidad del fenómeno hace imposible en la práctica tratarlo en su conjunto mediante

formulaciones matemáticas, pudiéndose analizar sólo a través de mediciones en prototipo o mediante modelación física. En este último caso debe prestarse especial atención a los efectos de escala que pueden aparecer, si quiere estudiarse en modelo un puente emplazado en un cauce cuyo lecho es de material fino.

La dificultad para el tratamiento de este tipo de problemas hace que en general, se hagan simplificaciones que permitan evaluar las erosiones mediante expresiones matemáticas sencillas de carácter empírico. Para ello, las técnicas tradicionales consisten en distinguir dos tipos de erosión, que sumadas dan la erosión total esperable. Una es la generalizada, debida fundamentalmente a la contracción del flujo que imponen los estribos en conjunto con los terraplenes que avanzan dentro de los valles de los ríos y la otra es la local, que se desarrolla en torno a los elementos que se interponen a la corriente.

En numerosos Congresos de la especialidad han surgido discusiones respecto de los procesos de socavación en torno a puentes, y del desarrollo de las erosiones locales y generales. El presente trabajo constituye un intento por aclarar, desde el punto de vista de los autores, qué se entiende por erosión por contracción y qué por erosión local, y cómo es el avance de estos fenómenos en puentes localizados en valles de inundación durante el pasaje de las crecidas.

CONSIDERACIONES GENERALES

Respecto de las definiciones, algunos autores se refieren a la erosión localizada como la pérdida de material en las cercanías de una estructura hidráulica que obstruye el patrón de flujo, como puede ser un puente, la que a su vez puede dividirse en erosión general y local (Hoffmans, 1997).

Para un puente ubicado en un tramo recto de un río, la erosión general es la superposición por un lado, de los descensos del lecho en un tramo de río de gran longitud y por otro, de la erosión por contracción (FHA, 1995). Los primeros son debidos a un cambio en las condiciones hidro-sedimentológicas medias, cuyo tiempo de desarrollo es muy prolongado, y no serán tenidos en cuenta en el análisis que se realiza en el presente trabajo.

La erosión por contracción se puede definir como la remoción de material del lecho como consecuencia de la contracción del flujo debida a la disminución del área de pasaje en correspondencia con la luz del puente involucrado. Por continuidad, esta variación del área provoca un incremento de las velocidades y de las tensiones de corte en el fondo, removiendo el material y bajando el lecho. Este tipo de erosión involucra la totalidad o al menos gran parte del ancho del cauce en la zona de cruce del puente.

Esta socavación tiene una escala de tiempos diferente a la local, requiriéndose mayor tiempo para su desarrollo, pudiendo llegar a su máximo valor para una gran crecida o requiriendo el pasaje de varias de ellas, sobre todo si se tiene en cuenta que en general puede considerarse como un fenómeno cíclico, produciéndose el descenso del lecho durante las crecidas y rellenándose las fosas durante los períodos de estiaje.

La erosión local, tanto en pilas como en estribos, puede definirse como aquella causada por los vórtices inducidos por las obstrucciones interpuestas en el flujo.

La erosión local en pilas se debe al vórtice en herradura que se desarrolla al pie como

consecuencia de las corrientes descendentes en el frente de las pilas, y al tren de vórtices verticales de aguas abajo debidos a la separación del flujo. La socavación en torno a pilas circulares aisladas ha sido estudiada por numerosos investigadores y su cuantificación puede realizarse con una adecuada aproximación. Para grupos de pilas o elementos de diferente forma, también hay expresiones, aunque no tan probadas, que dan los máximos valores esperables de profundización del lecho.

Es la erosión local por estribos a la que se le prestará más atención en el presente trabajo, pues su desarrollo se superpone con la zona donde se presentan las mayores aceleraciones convectivas debidas a la contracción del flujo, siendo los vórtices que actúan como agentes erosivos, generados también por los cambios en las condiciones de escurrimiento.

La curvatura del flujo en la zona de aproximación al estribo causa una corriente secundaria que forma un vórtice horizontal principal, similar al que se desarrolla en una curva de un río (Raudkivi, 1985), y que a su vez induce un vórtice secundario pero de menor poder erosivo (Figura 1, Hoffmans, 1997). Aguas abajo del estribo se presenta una zona de separación en correspondencia con la zona de desaceleración en la que las líneas de escurrimiento comienzan a ser divergentes, desarrollándose allí un tren de vórtices verticales que divide al flujo principal de una zona de aguas muertas.

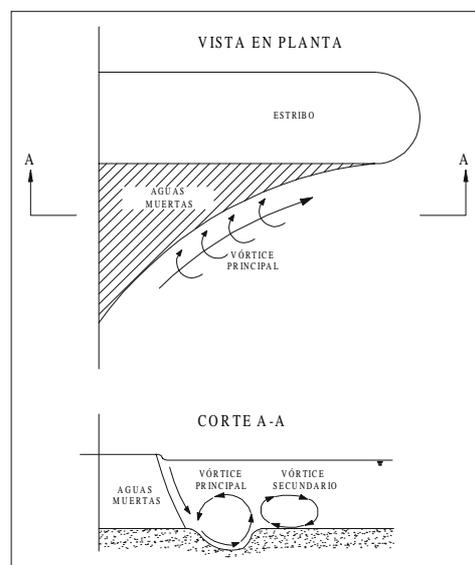


Figura 1.- Esquema del desarrollo de vórtices al pie de estribos.

Si bien cuando se estudia este tipo de problemas el objetivo es la determinación de la máxima erosión esperable para una cierta condición de funcionamiento hidráulico, es importante ponerse de acuerdo respecto de los fenómenos que ocurren en los puentes durante el pasaje de crecidas, pues en las numerosas metodologías de cálculo existentes, en general métodos empíricos desarrollados a partir de ensayos de laboratorio y relevamientos de campo, las socavaciones máximas se obtienen superponiendo los valores calculados de las erosiones generalizadas por contracción del flujo y de las locales, a pesar de ser procesos que presentan diferentes escalas de tiempo (FHA, 1995; Hoffmans, 1997).

Presentada la dificultad para tratar el problema en su conjunto y aceptada la simplificación de superponer linealmente las erosiones por contracción y locales, aparece el nuevo cuestionamiento acerca de cómo se deben considerar las distintas componentes de la erosión total en un puente, ya sea para predecir su magnitud para el diseño, o para determinar el valor

de socavación debido a cada uno de los agentes erosivos a partir de mediciones de campo o laboratorio.

Para el análisis de la erosión por contracción una posible técnica consiste en integrar el escurrimiento en vertical y estudiar su comportamiento bidimensional en planta, obteniendo de esta manera el campo de velocidades que permitirá evaluar la erosión del lecho, cuyo cálculo puede realizarse a partir de las técnicas tradicionales que tienen en cuenta la velocidad de inicio de movimiento o la tensión de corte crítica. Este tipo de análisis debe efectuarse en forma iterativa, o mejor aún con un modelo que evalúe los cambios morfológicos del lecho en forma acoplada al estudio hidráulico, pues el desarrollo de las erosiones va cambiando la configuración del lecho y por ello cambiando el patrón de escurrimiento.

El análisis del efecto de los vórtices responsables de las erosiones locales presenta mayores dificultades, habiendo para su estimación una gran variedad de expresiones empíricas. En general las mayores incertidumbres se tienen en la evaluación de la erosión local en estribos, pues para pilas los métodos de cálculo que dan la socavación máxima esperable han sido ampliamente probados, además de estar avalados por gran cantidad de investigaciones y mediciones de campo.

En los estribos se tiene por un lado, que en muchos casos la zona en donde se produce la erosión local coincide con la de mayor concentración de líneas de corriente, haciendo muy difícil discriminar entre una y otra causa de erosión, y por otro, que el desarrollo de los vórtices y su poder erosivo está condicionado fuertemente por las características geométricas del estribo, del cauce y del valle de inundación. La cantidad de variables en juego hace muy difícil que las condiciones de prototipo o de laboratorio, a partir de las cuales se han desarrollado las fórmulas de cálculo, coincidan con las del problema. También, como una dificultad adicional, debe mencionarse que los cambios en el lecho debidos al avance de los procesos erosivos inducen cambios en el patrón del flujo en correspondencia con el puente, y por lo tanto en los parámetros de cálculo.

APLICACIÓN A CASOS PARTICULARES

Con el fin de poner de manifiesto lo expresado, se presentan los resultados obtenidos para un puente localizado en el valle de inundación del río Paraná, en correspondencia con la traza de la Conexión Vial Rosario-Victoria.

Para realizar el presente análisis se contó con una modelación matemática bidimensional del tramo de río cercano al puente, ajustada a partir de los resultados de un modelo físico de detalle, la cual fue desarrollada por la Consultora Serman & Asociados para la determinación de las socavaciones en los puentes situados en la planicie inundable. El modelo matemático fue utilizado para determinar el campo de velocidades y el patrón erosivo esperable, debido a la contracción del flujo en la sección del puente.

En primer término, se evaluó el comportamiento del modelo matemático a lecho fijo, con el objeto de calibrar en base a los resultados del modelo físico, los coeficientes de dispersión por turbulencia y la corrección por vorticidad del flujo en cercanías de los estribos. Este modelo físico a fondo fijo fue desarrollado en las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica del INA (Spalletti, 1998), y abarcó al estribo y los primeros dos grupos de pilas de un Puente Tipo (Figura 2).

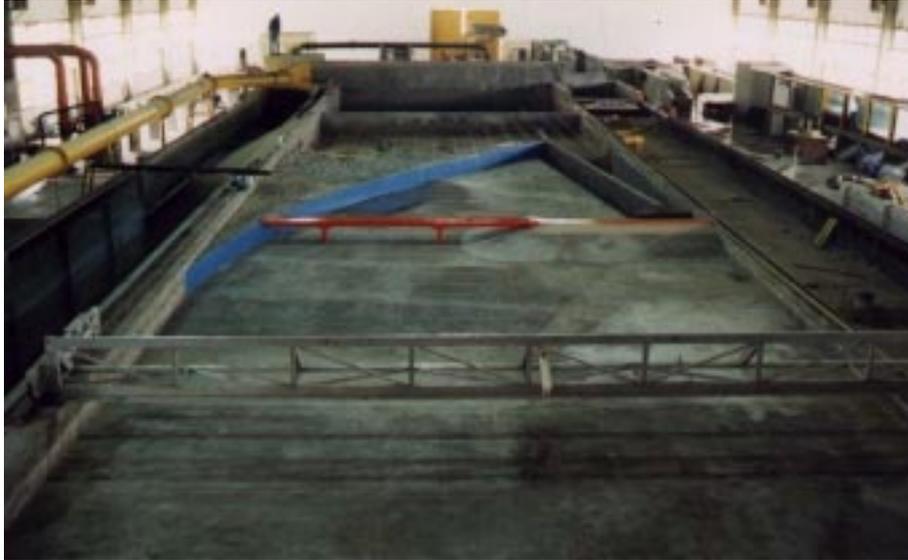


Figura 2.- Modelo físico a fondo fijo.

Los parámetros de calibración se ajustaron a partir de la comparación de los campos de velocidades obtenidos con el modelo matemático (Figura 3) con el modelo físico. Para la crecida milenaria, se obtuvo una red de escurrimiento semejante en ambos modelos, en la zona convergente de aguas arriba del puente, con velocidades similares en módulo y dirección.

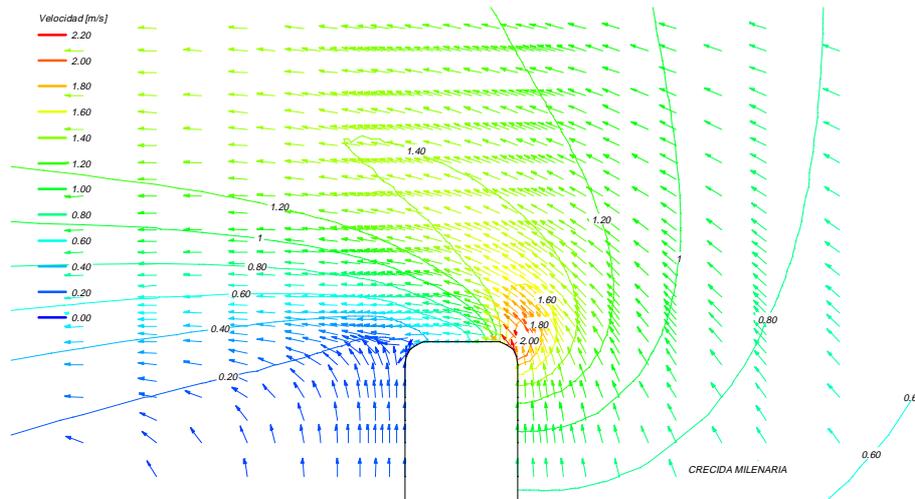


Figura 3.- Campo de velocidades para un Puente Tipo. Crecida milenaria.

Tal como se aprecia en la Figura 4, en la zona del estribo se producen separaciones de flujo mediante un tren de vórtices, que divide la zona de aguas muertas de la de escurrimiento neto. Aguas abajo de las pilas del puente, también es posible identificar la presencia de vórtices.

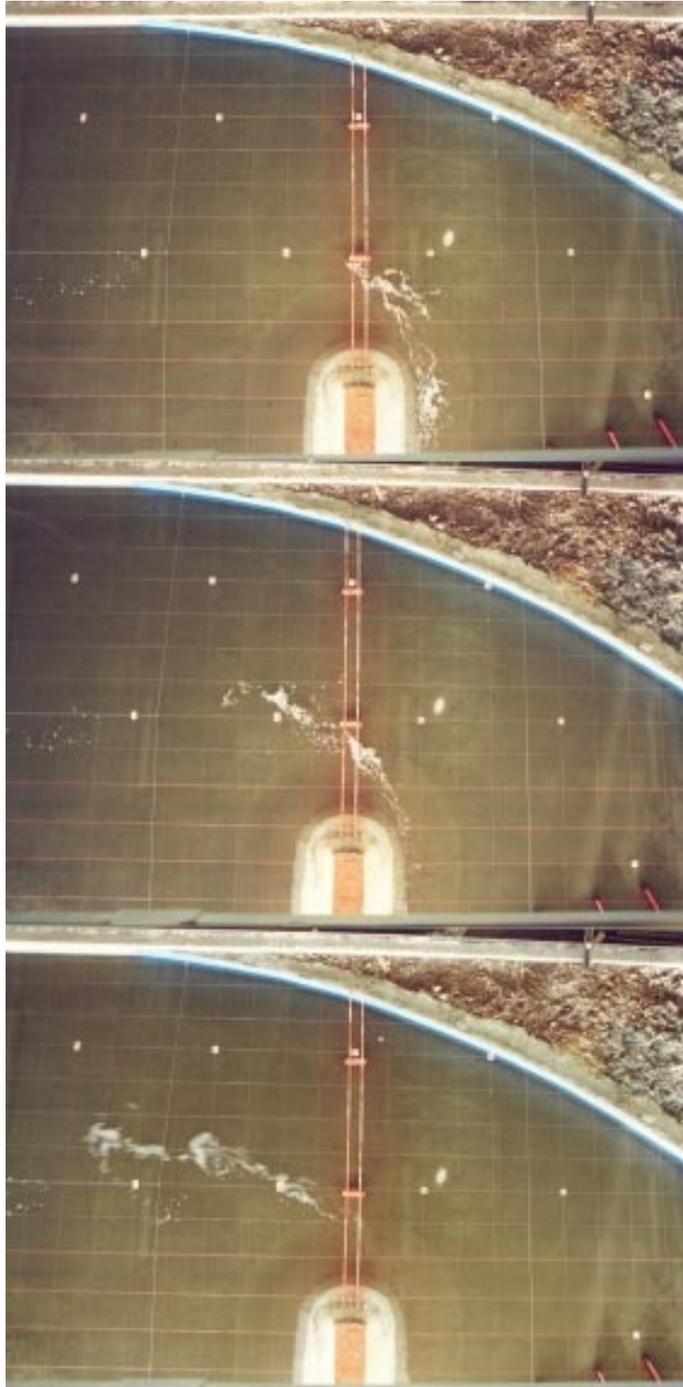


Figura 4.- Tren de vórtices aguas abajo del estribo.

En base al campo de velocidades resultante de la modelación es posible obtener la cota de erosión final que se espera que alcance el lecho en la sección del puente. La metodología de cálculo consistió en la determinación de la profundidad del lecho necesaria para que la velocidad media en la vertical, descienda por debajo del valor crítico para el cual se produce arrastre del material. El cómputo de la velocidad crítica en función del diámetro del sedimento del fondo, se realizó utilizando la formulación de Laursen (FHA, 1995).

El proceso de cálculo del lecho erosionado, obtenido a partir de la solución hidrodinámica para el lecho original, considera que durante el desarrollo de la socavación la distribución de caudales permanece constante. En la realidad, al ser un fenómeno de larga duración, el campo de velocidades se va modificando y adaptando a la nueva configuración del lecho a medida

que éste se va erosionando, produciéndose una tendencia a la captación de flujo en las zonas de mayor erosión cercanas a los estribos, haciendo que el proceso se realimente, dado que a mayor caudal conducido en esas áreas le corresponde una mayor erosión.

La simulación del proceso de adaptación se realizó en forma iterativa, calculando la erosión por pasos en toda la malla de elementos finitos del modelo, con lo cual se define un nuevo lecho inicial a partir del cual se obtiene otro campo de velocidades, otra erosión y un nuevo lecho inicial. La secuencia de pasos consideró el 50% de la erosión obtenida en el paso anterior. Los análisis de sensibilidad mostraron escasa influencia en el resultado al adoptar una secuencia más lenta.

En las Figuras 5 a 8 se presentan gráficos representativos del procedimiento descrito para el cálculo de la erosión por contracción, para el caso particular del puente localizado en correspondencia con el arroyo San Lorenzo con la crecida de 100 años de recurrencia.

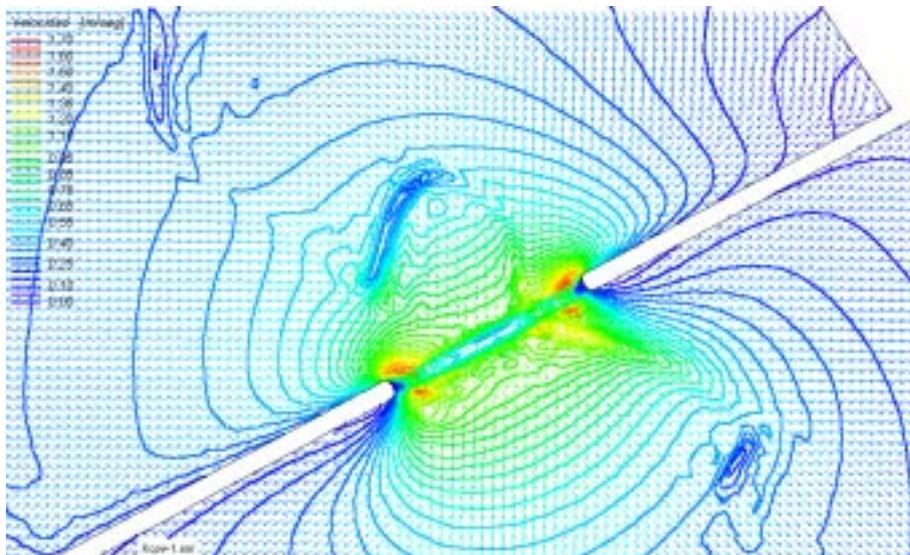


Figura 5.- Campo de velocidades para la condición inicial.



Figura 6.- Líneas iniciales de escurrimiento.

En la Figura 6 se aprecia la fuerte contracción de flujo en cercanías de los estribos, que trae

conlleva importantes aceleraciones convectivas y el correspondiente incremento de las velocidades, que se traduce en altos valores de erosión, tal como se observa en las Figuras 7 y 8, en la que se indica la erosión por contracción calculada con el modelo matemático sin haber tenido en cuenta erosiones locales.

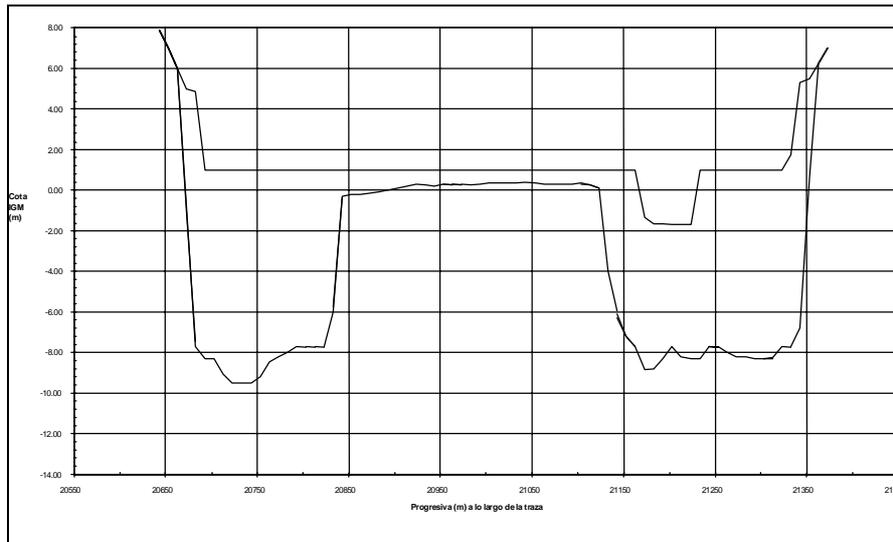


Figura 7.- Predicción de erosión por contracción. Lecho inicial y final en la sección del Puente.

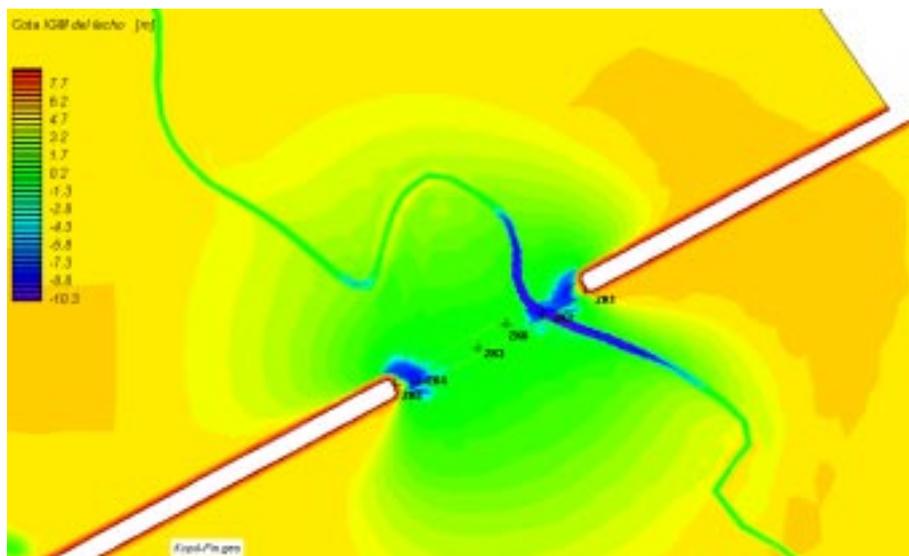


Figura 8.- Patrón de erosión por contracción.

Como se indicara, la erosión local se debe a la remoción del material del pie de las pilas y estribos como consecuencia de la acción de los vórtices horizontales y verticales. Los primeros se originan por el apilamiento de agua frente a la obstrucción, con la consiguiente aceleración del flujo alrededor de la misma. A medida que la profundidad de la erosión avanza, la fuerza del vórtice se reduce, disminuyendo de esta manera la tasa de transporte de sedimentos hacia fuera de la fosa.

Por otro lado, los vórtices verticales disminuyen rápidamente su intensidad con la distancia hacia aguas abajo de la obstrucción, motivando la presencia de depósitos de material.

En los estribos con taludes protegidos, el patrón de flujo está influenciado por los ángulos de

los terraplenes a los lados y en la nariz del estribo, siendo otro factor a tener en cuenta si los bordes están redondeados o son agudos. Hay referencias (Hoffmans et al. 1997) que indican que si los taludes son menores a 1:10, la erosión por contracción será dominante frente a la debida al tren de vórtices aguas abajo del punto de separación del flujo en el estribo.

En este tipo de estructura, su configuración geométrica reduce el efecto del flujo descendente generador de los vórtices horizontales (Raudkivi, 1985), y en consecuencia su acción erosiva.

Los vórtices debidos al flujo tridimensional en torno a las pilas y los estribos, así como sus efectos en la erosión local fueron observados en un modelo a fondo móvil también desarrollado en el LHA del INA, que abarcó al estribo y los primeros dos grupos de pilas de un Puente Tipo de la Conexión Vial Rosario-Victoria (Spalletti, 1998). En la Figura 9 se presenta una vista desde aguas abajo del estribo, una vez finalizado un ensayo.

En dicha Figura se observa la erosión local en la pila, la socavación al pie del estribo y el depósito de sedimento aguas abajo de la pila, aunque lo más interesante de la imagen es la identificación de los fenómenos asociados a los vórtices inducidos por la presencia del estribo.

Es así, que se distingue por un lado el desarrollo de un proceso erosivo local en la zona del pie aguas abajo del eje del puente (A), debido a los vórtices originados por el grupo de pilas cercano al estribo y a la separación del flujo que impone la presencia del mismo. Este efecto local no tiene entidad suficiente como para generar una notoria redistribución de caudales en la sección del puente, a medida que avanza el fenómeno.

Por otro lado, en el tramo medio del talud protegido que conforma el estribo, se aprecia un sector totalmente libre de material suelto (B), en contraposición con el resto del terraplén y del lecho que presenta formas de fondo, lo que pone de manifiesto que el vórtice horizontal se localiza, en este caso en que el terraplén tiene una pendiente 1:4, sobre la cara protegida del talud, y por consiguiente su desarrollo no tiene efecto en la erosión del cauce.

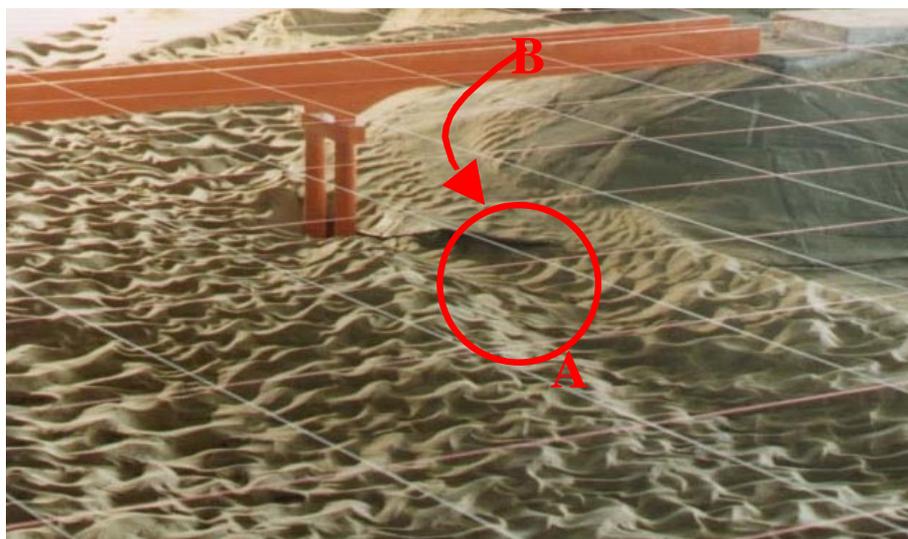


Figura 9.- Modelo físico a fondo móvil.

En la Figura 10 se presenta la planta del modelo una vez finalizado el ensayo, en la que también se aprecia lo indicado en los párrafos anteriores.



Figura 10.- Modelo físico a fondo móvil.

También en el Laboratorio de Hidráulica, se realizaron ensayos en un canal a fondo móvil, para estudiar el comportamiento frente a la acción de corrientes de estribos protegidos con distintos tipos de coberturas, siendo la pendiente de los taludes de 1:2 (Loschacoff, 2001). En la Figura 11 se presenta una fotografía de la planta del modelo durante uno de los ensayos, en la que puede observarse la localización de la zona de separación del flujo contra la estructura.



Figura 11.- Modelo físico a fondo móvil.

En esta figura se nota que la turbulencia en la zona de flujo convergente, debida al desarrollo del vórtice horizontal, se localiza sobre el talud protegido, mientras que los remolinos generados por la separación del flujo, acompañan la contracción del escurrimiento y se ubican en parte sobre el lecho sin protección.

En las Figuras 12, 13 y 14 se presentan vistas de aguas arriba con la configuración final, para tres ensayos característicos. En ellos se nota que a la altura del eje del estribo y aguas abajo de dicha posición, se presentan las erosiones mayores. En base a lo que se observa en las Figuras y a lo indicado en el párrafo precedente, en esa zona las erosiones son debidas en parte a la

contracción del escurrimiento, y en parte a los vórtices verticales que se generan por separación del flujo en el borde de aguas arriba de la nariz del estribo. Como se indicara, estos vórtices disminuyen rápidamente su intensidad con la distancia hacia aguas abajo de la obstrucción.



Figura 12.- Modelo físico a fondo móvil – Estribo protegido con colchonetas de alambre rellenas con piedras.



Figura 13.- Modelo físico a fondo móvil – Estribo protegido con bloques intertrabados.



Figura 14.- Modelo físico a fondo móvil – Estribo protegido con bloques de hormigón adheridos a geotextil.

Debido a que el objetivo de estos ensayos no fue obtener la máxima socavación al pie de la estructura, los mismos no tuvieron la duración suficiente para alcanzar la condición final, por lo que no se llegó a la máxima erosión por contracción, no pudiéndose hacer un análisis para discriminar la socavación debida a la contracción del flujo, de la originada por los vórtices verticales. A medida que las erosiones crecen, la influencia de los remolinos va perdiendo entidad, y para la situación de equilibrio final, la configuración final del lecho es consecuencia fundamentalmente del efecto de contracción del flujo.

RECOMENDACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN MÁXIMA

Para la predicción de la socavación local máxima en pilas de puentes, los métodos de cálculo han sido ampliamente probados y avalados por numerosas investigaciones, aceptándose su adición a las erosiones generalizadas para la determinación de la profundización máxima del lecho.

Para la evaluación de la erosión en las cercanías de los estribos, la fuerte interrelación entre el flujo convergente de aproximación y los torbellinos generados por la afectación local que la presencia de la estructura impone al escurrimiento, imposibilita la generalización del cálculo mediante formulaciones sencillas, debiéndose tener en cuenta tanto las características geométricas del lecho y los estribos, como las condiciones del flujo de aproximación al puente.

Desde el punto de vista de la geometría del estribo, no es posible comparar el comportamiento de una estructura con taludes, con el de un estribo vertical, pues el desarrollo de los vórtices, su intensidad y el patrón de escurrimiento en torno al mismo son totalmente diferentes, siendo por lo tanto también distinto el mecanismo de erosión.

Si se desearan aplicar las técnicas habituales de superposición de efectos y obtener estimaciones mediante expresiones empíricas sencillas, las mismas deberían obtenerse a partir de estudios que tengan en cuenta las características de este tipo de estructuras y las condiciones del flujo en su entorno y su zona de aproximación.

Para discriminar la influencia relativa de los fenómenos de contracción y vorticidad, se

debería relevar la condición final del prototipo o del modelo, hacer el análisis de la erosión por contracción y la diferencia será la erosión local por estribo. En general las fórmulas empíricas de predicción de erosiones locales en estribos, en su intento de ser más abarcativas dan resultados de máxima, sin tener en cuenta, en general, las características geométricas de la estructura, ni la interrelación descrita entre los fenómenos en juego.

Como se ha indicado, estos fenómenos tienen diferentes escalas de tiempo, por lo que a medida que avanzan las socavaciones, la importancia relativa de cada uno de ellos va variando, hasta llegar a la condición final. A pesar de ello, en puentes localizados en planicies de inundación, caracterizados en general por presentar estribos con taludes protegidos, al desarrollarse los remolinos sobre las mantas de protección, tal como se ha presentado en los ensayos desarrollados en el Laboratorio de Hidráulica, éstos no tienen un efecto inicial significativo en el desarrollo de la socavación, siendo su influencia aún menor a medida que pasa el tiempo de ensayo.

Algunos autores consideran que la redistribución de caudales comienza a desarrollarse a partir de la profundización del cauce en las cercanías del estribo debido a la erosión local, que por tener una escala de tiempo menor que la erosión por contracción se genera primero, y a partir del cambio en el patrón de escurrimiento, se produce una nueva configuración del lecho (Schreider et al. 1998).

Esta consideración es una hipótesis adecuada siempre que el desarrollo de la erosión local por estribo presente una magnitud suficiente como para despreciar, durante el comienzo del proceso erosivo, el más lento pero progresivo avance de la erosión por contracción. Este violento desarrollo inicial se observa para un estribo vertical, como consecuencia de la presencia del potente vórtice horizontal que se genera aguas arriba de la estructura y que acompaña al flujo convergente en la zona de aproximación, en su zona de máxima aceleración (Bateman, 2002). El desarrollo de este remolino, tal como se ha indicado en párrafos anteriores no genera socavaciones importantes al pie de estribos con taludes protegidos.

A partir de lo expresado hasta aquí, para la estimación de la máxima socavación en puentes ubicados en valles de inundación, con taludes protegidos, el método de cálculo que se adapta mejor a los procesos erosivos observados, consiste en la aplicación de un modelo morfológico. Una alternativa es la determinación en forma iterativa del campo de velocidades y el patrón erosivo debido a la contracción del flujo en la sección del puente, obtenido de forma tal que la velocidad media en la vertical descienda por debajo del valor crítico para el cual se produce arrastre de material, sin tener en cuenta la eventual erosión local debida a la separación del flujo. La configuración del fondo así obtenida se utiliza como condición inicial para calcular el nuevo campo de velocidades y a partir de éste, el nuevo patrón erosivo. De esta manera se va calculando por pasos hasta obtener la situación final del lecho.

Este método de cálculo fue el utilizado en el análisis de los puentes en planicie de la conexión vial Rosario-Victoria, presentado en este trabajo, siendo sus resultados consistentes con lo observado en puentes de características semejantes.

Si la erosión local no es despreciable, vamos a estar frente a un sistema dinámico complejo en el que gradualmente se va alcanzando la situación de equilibrio final, al mismo tiempo que el flujo se va acomodando a las condiciones variables del lecho en la zona del puente. Este equilibrio se alcanzará cuando termine de desarrollarse la erosión por contracción, a la que eventualmente podría llegar a superponerse una erosión local, siempre y cuando los vórtices

en esta última condición tengan suficiente intensidad para producir erosiones en el lecho.

CONCLUSIONES

Si bien la erosión local tiene una escala de tiempo menor, las condiciones en torno al estribo deben permitir su desarrollo para que pueda actuar en la readecuación del escurrimiento.

En el caso que los vórtices se desarrollen sobre superficies protegidas, como puede ser el caso de estribos con terraplenes, la configuración final del lecho será alcanzada en forma progresiva, siendo la contracción del flujo en las cercanías de los estribos, el disparador del fenómeno progresivo de redistribución de caudales por profundización del lecho en la sección del puente.

Se ha explicado cómo se alcanza la configuración final del lecho ante el pasaje de crecidas a través de puentes cuyos estribos presentan taludes protegidos, localizados en planicies de inundación.

Se ha presentado una metodología que permite estimar la configuración final del lecho, en la que no se han utilizado expresiones para cuantificar la erosión local por estribos, despreciando este término a partir de la observación en modelo físico del desarrollo y la localización de los vórtices responsables de dicha socavación.

REFERENCIAS

Bateman, A.; Bertram, A.; Roca, M. (2002). “Estudio Experimental de la Erosión Local en Estribos de Puente”. *XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica – La Habana. Cuba.*

Cardini, J. (2000). “Proyecto Hidráulico de la Conexión Física Rosario-Victoria sobre el Río Paraná”. *Memorias del Curso Internacional Precongreso “Ingeniería de Ríos”. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. La Plata.*

Federal Highway Administration (1995). “Evaluating Scour at Bridges” Third Edition. *Hydraulic Engineering Circular N° 18.*

Hoffmans, G. J. C. M. and Verheij, H. J. (1997). “Scour Manual”. *Editorial Balkema.*

Loschacoff, C.S.; Busquets, M.; Brea, J.D. (2001). “Estudio en Modelo Físico del Comportamiento de Diferentes Tipos de Protecciones de Márgenes frente a la Acción de las Corrientes”. *Informe LHA-INA 208-01-2001.*

Raudkivi, A. J. (1985). “Functional Trends of Scour at Bridge Piers – Scour at Bridge Abutments”, *Curso Latinoamericano de Mecánica Fluvial.*

Schreider, M; Zanardi, L.; Scacchi, G.; Franco, F. (1998). “Erosión por Contracción y por Estribo en Puentes Aliviadores en Valle de Inundación”. *Ingeniería del Agua Vol.5 N°2 pág. 21-32.*

Spalletti, P.; Brea, J.D. (1998). “Estudio en Modelo Físico de los Estribos de los Puentes de

la Conexión Física Rosario-Victoria – Etapa de Calibración y Ensayos a Fondo Móvil”.
Informes LHA-INA 171-01-98 y 171-02-98.