

EVOLUCIÓN DEL LECHO Y FLUJO DURANTE EL DESARROLLO DE EROSIONES JUNTO A UN ESTRIBO PROTEGIDO

Graciela B. Scacchi⁽¹⁾, Carlos M. García⁽²⁾ y Mario L. Amsler⁽³⁾

⁽¹⁾Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) – Universidad Nacional del Litoral – Santa Fe. Argentina

⁽²⁾Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina

⁽³⁾Instituto Nacional de Limnología - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

E-mail: gscacchi@fich1.unl.edu.ar; cgarcia2mjc@gmail.com; mamsler2003@yahoo.com.ar

Introducción

Para mitigar posibles daños por erosión, es habitual colocar sistemas de protección que fijan el lecho en las inmediaciones de los estribos de un puente. Entre las técnicas disponibles para prevenir el desarrollo de erosiones locales en esas regiones, han adquirido gran difusión los métodos directos o de acorazamiento; entre ellos el sistema constituido por bloques de cemento adheridos a geotextil constituye un ejemplo de aplicación bastante común en la práctica ingenieril.

Los resultados experimentales disponibles indican que la presencia de este tipo de protecciones, si bien inhiben el desarrollo de erosiones inmediatamente junto al estribo, no las elimina por completo ya que estas tienen lugar a una cierta distancia desde el estribo (Morales et al., 2008; Cardoso y Fael, 2009; Reynares, 2010). Para comprender acabadamente los procesos físicos que generan estas erosiones, es necesario caracterizar el flujo turbulento que interactúa con el estribo, sus protecciones y el lecho, en constante evolución durante el desarrollo de aquellos.

En este trabajo, se presentan resultados experimentales preliminares relacionados con la evolución temporal del lecho y de los principales parámetros característicos del flujo, en las inmediaciones de un estribo prismático con protección. Se han considerado como elementos de contraste mediciones realizadas en la misma instalación experimental para el caso del estribo sin protección.

Metodología

Dispositivos experimentales

Los experimentos se realizaron en un canal de sección rectangular del Laboratorio de Hidráulica de la FICH, de 60 m de largo, 1.46 m de ancho y 1.0 m de profundidad (Fig. 1a). Este canal posee un lecho erosionable de 20 m de longitud y 0.40 m de espesor, constituido por arena uniforme de diámetro medio 0.001 m. A los 12 m de iniciado el tramo con fondo móvil se materializó, junto a la margen izquierda, un estribo prismático con paredes de vidrio, de 0.30 m de longitud. Como sistema de protección se utilizaron mantas flexibles constituidas por bloques de concreto adheridos a geotextil. Cada bloque tiene forma prismática de sección cuadrada de 0.026 m de lado y 0.012 m de espesor (Fig. 1a).

Técnicas experimentales

Para medir velocidades se utilizó un velocímetro acústico Doppler (ADV), Vectrino-Nortek de 10 MHz de frecuencia acústica, el cual fue montado sobre un carro porta instrumental que permite movimientos en las tres direcciones principales. Las mediciones del nivel del agua se hicieron mediante el empleo de un limnómetro. La evolución de los niveles del lecho junto al estribo, para la situación ensayada sin protección alguna, se llevó a cabo mediante una escala graduada, fija al vértice de la cara aguas arriba del mismo. Para las restantes localizaciones, alejadas del estribo, se utilizaron los datos de profundidad proporcionados por el Vectrino.

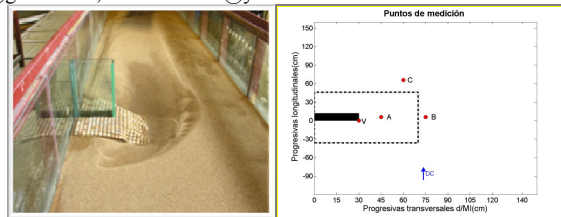


Figura 1.- a) Instalación experimental – b) Puntos de medición

Diseño experimental

Las tareas experimentales se realizaron en tres etapas manteniendo constantes las características hidráulicas en el flujo de aproximación: la velocidad media en la vertical fue 0.32 m/s, el tirante = 0.19 m y la velocidad de corte = 0.018 m/s. Las condiciones erosivas fueron de agua clara ya que la velocidad de corte del escurrimiento fue menor que la crítica de iniciación del movimiento ($u_* / u_{*c} = 0.8$).

Etapa I, (EI): Se registró la evolución de la máxima erosión local junto al estribo (localización V en figura 1b), sin la presencia de la protección. Estos resultados sirven de contraste de los obtenidos en etapas siguientes.

Etapa II, (EII): En esta etapa se midieron velocidades de flujo y posiciones del lecho durante el desarrollo de erosiones locales junto al estribo protegido. Con esta finalidad se repitió tres veces el mismo experimento. En cada uno de ellos se posicionó el velocímetro en una de tres localizaciones diferentes, definidas como A, B y C en fig. 1.b. El punto A se ubicó por encima de la protección, el B corresponde al sitio de la sección transversal de emplazamiento del estribo que experimentó las mayores erosiones, mientras que en las proximidades de la localización C tuvieron lugar las profundidades de erosión más importantes de todo el lecho. En cada localización, se registraron series de velocidades en una posición ubicada 1 cm por encima del nivel del lecho original. En B y C se midió también la evolución del lecho durante el proceso erosivo. La duración de cada uno de estos experimentos fue de aproximadamente 5.5 días (8000 minutos).

Etapa III, (EIII): En esta etapa se midieron velocidades de flujo en los puntos seleccionados (A, B, C), en la situación existente previa al desarrollo de las erosiones. Para ello se rigidizó el lecho en las inmediaciones del estribo con la protección, manteniéndolo horizontal durante la totalidad de las mediciones correspondientes a esta etapa.

Análisis de Resultados

En la figura 2 se presenta la evolución de la profundidad de erosión en los puntos B y C (EII), en contraste con lo ocurrido para el punto V (EI). Las etapas detectadas en el crecimiento de las profundidades para los puntos de la EII se correlacionan con la evolución general del lecho identificada visualmente. En efecto, el proceso en la etapa II tiene su inicio en las inmediaciones de C. Al poco tiempo (30 a 50 minutos aproximadamente) se forma en el extremo aguas abajo de la protección un canal lateral, dando lugar en este sector a dos franjas de flujo de algún modo diferenciables. Con el paso del tiempo las erosiones “viajan” hacia aguas arriba, junto al costado de la protección. En figura 2 se observa cómo las profundizaciones comenzaron más violentamente en V

(EI) que en C (EII), situación que se mantiene al menos durante los 10 minutos iniciales del proceso. Al cabo de dicho lapso la profundidad de erosión alcanzó en V un 20% de desarrollo respecto de la final relevada en dicho punto, mientras que en C sólo un 5%. A partir de dicho momento, y mientras las erosiones no tienen lugar al costado de la protección, las tasas de evolución del lecho en ambos sitios resultaron semejantes. Esta situación se ve alterada, por momentos, en función del aporte de sedimentos que proviene desde aguas arriba, cuando el lecho se erosiona en torno a la protección (Fig. 1a). En la figura 2 se observa además que, una vez iniciado el proceso en B su tasa de cambio es más rápida que las correspondientes a V (EI) y C (EII). De este modo, transcurridos 500 minutos (6 % del tiempo total ensayado) tanto en V como en B el desarrollo de las erosiones, respecto del valor final medido, fue del 65% aproximadamente, mientras que en C sólo del 45%. Cuando la evolución del lecho al costado de la protección se atenúa, ésta se torna más intensa en el sector de máxima erosión para la situación de estribo protegido.

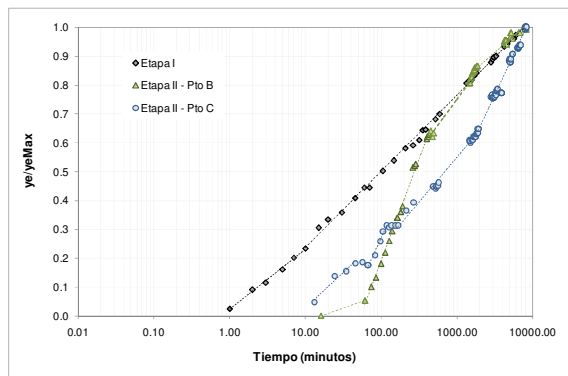


Figura 2.- Evolución erosión en V(en EI), y B y C (en EII)

A partir de las series de velocidades medidas se analizó la evolución de las velocidades (media temporal en 10 minutos) y de la energía cinética turbulenta, TKE, a medida que se desarrollaban las erosiones en las inmediaciones de la protección. A modo de ejemplo se presenta la figura 3 en la que se han representado la evolución temporal de las tres componentes de la velocidad del flujo y de la energía cinética turbulenta - TKE, (adimensionalizados con la velocidad media de aproximación y el cuadrado de la velocidad de corte del flujo de aproximación, respectivamente).

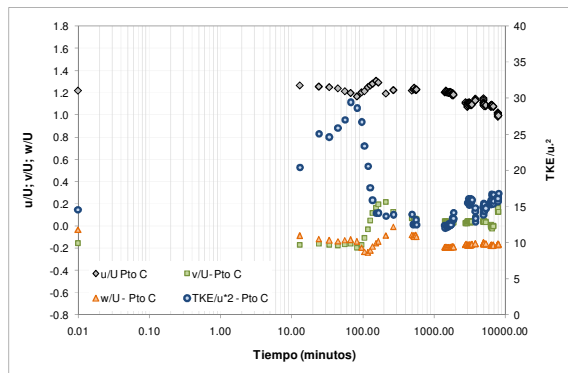


Figura 3.- Evolución de velocidades y TKE en C

Se observan diferentes tendencias en la evolución de las variables, en correspondencia con las etapas de variación del lecho antes descriptas (Fig. 2). Se destaca un suave decrecimiento en la velocidad longitudinal u en los primeros momentos, con variaciones de escasa

significación para las otras componentes v y w . La mayor variabilidad detectada en ese período correspondió a TKE, con incrementos del orden del 100 % respecto del valor inicial (EIII). Con el desarrollo de las erosiones al costado de la protección las tendencias iniciales en este punto se revierten, demostrando graduales disminuciones en las velocidades, y un brusco descenso en el valor del TKE.

Un análisis semejante se realizó a partir de las velocidades obtenidas en B y A (EII). A modo de resumen se señala que cuando las erosiones se hicieron presentes junto al costado de la protección, aún antes de que éstas alcancen a B, las velocidades longitudinales, u , en este punto registraron un incremento del orden del 12 %, sin demostrar cambios las otras componentes (v y w) ni TKE. Con el incremento de las profundidades en B disminuyeron progresivamente tanto las velocidades como TKE. En A los resultados indicaron una tendencia decreciente en todas las variables referidas, siendo las reducciones obtenidas del orden del 25 % para el caso de u , mayores a los que se dieron para igual variable en B (~10%), mientras que TKE experimentó una reducción en promedio del 30 %, inferior al que se tuvo en B (~40%). Se destaca que las variaciones más significativas en A se correspondieron con la etapa de mayor tasa de cambio en el lecho en las inmediaciones del punto C (Fig. 2).

Conclusiones

En este trabajo se han presentado resultados obtenidos a partir de una serie de experimentos de laboratorio, realizados con similares condiciones hidrodinámicas, a fin de analizar la evolución del lecho, y de los parámetros característicos de la turbulencia del flujo (velocidades medias y energía cinética turbulenta TKE), durante el desarrollo de erosiones en torno a un estribo prismático, protegido con mantas flexibles. Las variaciones del lecho en las localizaciones consideradas (puntos B y C de figura 2) fueron contrastadas con la evolución de la máxima profundidad de erosión junto al mismo estribo, pero sin la presencia de la protección (punto V). En función de ello se identificaron similitudes y diferencias entre ambos fenómenos. Las mediciones de velocidad permitieron establecer correlatos entre la evolución del lecho y patrones del flujo en las localizaciones seleccionadas. Salvo incrementos de poca significación, y temporalmente acotados, las velocidades medias en general disminuyen con el avance de las erosiones. Los valores de TKE evaluados demostraron también una tendencia decreciente en los tres puntos considerados. Se destaca el hecho particular evidenciado a partir de las mediciones en C que mostraron un aumento del orden del 100% para el TKE en los primeros momentos del proceso.

Referencias

Cardoso, A. y Fael, C. (2009): "Protecting Vertical-Wall Abutments with Riprap Mattresses" J. Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 135, Issue 6, pp. 457-465.

Morales, R.; Ettema, R. y Barkdoll, B. (2008): "Large-Scale Flume Tests of Riprap-Apron Performance at a Bridge Abutment on Floodplain." J. Hyd.Eng., ASCE Vol. 134. N° 6. ISSN 0733-9429/2008/6-800-809.

Reynares, M. (2010): "Procesos erosivos locales en estribos protegidos de Puentes aliviadores". Tesis de Maestría en Ingeniería de los Recursos. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Argentina.