

# EVOLUCIÓN TEMPORAL DE PARÁMETROS TURBULENTOS ASOCIADA CON LA EVOLUCIÓN DE EROSIONES JUNTO A ESTRIBOS PROTEGIDOS

Graciela B. Scacchi<sup>1</sup>, Carlos M. García<sup>2,4</sup> y Mario I. Amsler<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) - Universidad Nacional del Litoral (UNL).

<sup>2</sup> Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) - Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Limnología - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

<sup>4</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

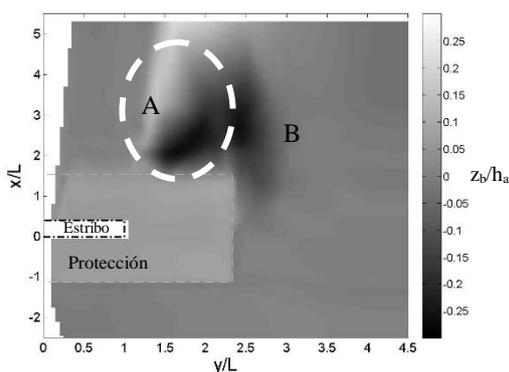
E-mail: gracielasacchi@gmail.com, cgarcia2mjc@gmail.com, mamsler2003@yahoo.com.ar

## Introducción

Una práctica habitual en la ingeniería de puentes es recubrir el lecho en las inmediaciones de los estribos con el fin de mitigar el problema derivado del desarrollo de procesos erosivos que ponen en riesgo a la estabilidad de la estructura.

En trabajos experimentales anteriores, (Scacchi et al. 2014; Scacchi et al. 2016), en los que se representó un estribo prismático de sección rectangular protegido mediante mantas flexibles, se mostró que las profundizaciones del lecho comenzaron en las inmediaciones del borde de aguas abajo de la protección, específicamente en la región del lecho no protegida que toma contacto con la capa de corte generada por la presencia del estribo, caracterizada por importantes fluctuaciones de velocidad del flujo. Con el paso del tiempo las erosiones se extendieron hacia aguas arriba, junto al borde longitudinal de la protección, llegando a “envolverla” casi totalmente. En la figura 1 se muestra la configuración del lecho al cabo de 100 minutos de ensayos y se han indicado el sector inicialmente socavado (A), y al costado, el incipiente progreso de las erosiones hacia aguas arriba (B).

Basado en la consideración que un entendimiento acabado de la mecánica de estos procesos se traducirá en nuevas contribuciones al diseño de sistemas de protección de este tipo, es que surge el interés de analizar la interacción entre el proceso de erosión mencionado y el flujo determinante de los mismos. En particular este trabajo se focaliza en la evolución de los parámetros descriptivos de la turbulencia del flujo, acorde se desarrollan las erosiones, valiéndose para ello de datos experimentales obtenidos con los mismos dispositivos previamente utilizados.



**Figura 1.-** Configuración del lecho erosionado al cabo de 100 minutos de ensayo (Scacchi et al., 2016). ( $x, y$  son las progresivas longitudinales y transversales respectivamente;  $L$  la longitud del estribo;  $z_b$  la cota del lecho y  $h_a$  el tirante del flujo de aproximación).

## Metodología

Las tareas experimentales se realizaron en un canal de sección rectangular de 1.48 m de ancho y 60 m de largo, con un lecho erosionable, inicialmente horizontal, conformado por arena uniforme de 1 mm de diámetro medio. El estribo estudiado es prismático de 0.3 m de longitud y el lecho junto al mismo se

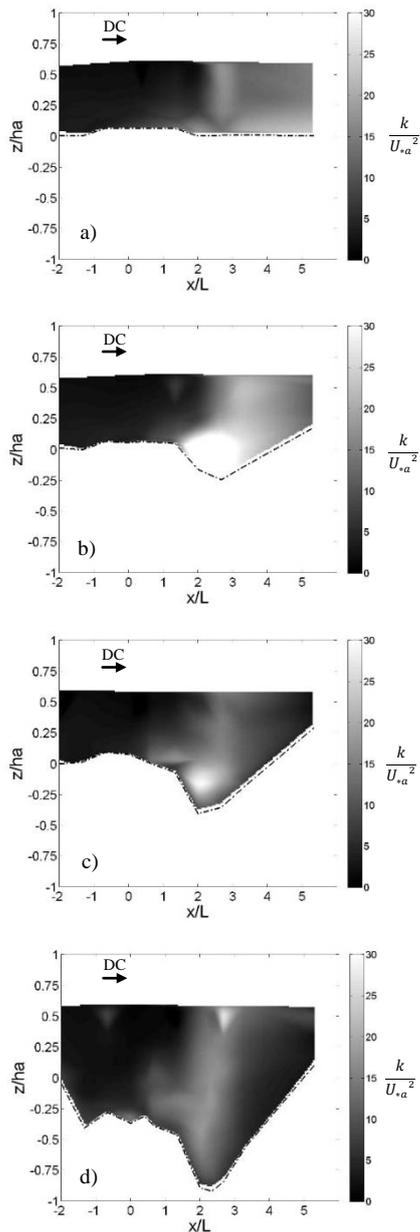
protegió mediante mantas flexibles constituidas por bloques de hormigón adheridos a geotextil.

Para el análisis de la evolución del flujo se utilizaron mediciones de velocidades obtenidas con un velocímetro acústico Doppler, ADV (frecuencia de registro = 50 Hz, volumen de medición de 6 mm de diámetro y 7 de altura), para cuatro condiciones del lecho correspondientes a diferentes estados de evolución del proceso erosivo, representadas rigidizando el lecho en los ensayos: **EI**: con el lecho horizontal, representativo del estado inicial previo al desarrollo de las erosiones; **EII**: en el que la configuración del lecho fue la resultante luego de 120 minutos de progreso de las erosiones; **EIII**: en este ensayo la conformación del lecho fue la obtenida a los 400 minutos y **EIV**: con una morfología del lecho conseguida luego de 48 hs de desarrollo de las erosiones. El caudal fue de 83 l/s y el tirante del flujo de aproximación de 19.1 cm. Las erosiones representadas se corresponden con una condición de agua clara.

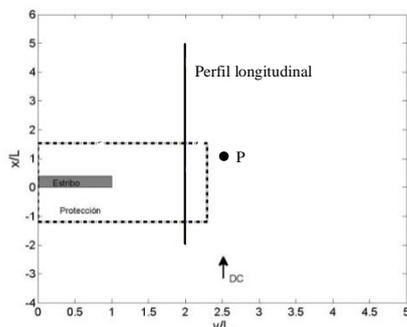
A partir de las velocidades medidas en las diversas localizaciones (3049 puntos en total) se evaluaron energía asociada a las fluctuaciones de velocidad,  $k=0.5[u'^2+v'^2+w'^2]$ , ( $u'^2$ ,  $v'^2$ , y  $w'^2$  son las varianzas de las señales de las componentes del vector velocidad en las tres direcciones principales) y tensiones de Reynolds  $-\langle u'w' \rangle$  y  $-\langle u'v' \rangle$ .

## Principales resultados encontrados

Los resultados encontrados demuestran un comportamiento diferenciado en la evolución de la estructura de la turbulencia en función del sector erosionado que se considere. Por ejemplo, en la figura 2 se muestra la variación con el tiempo encontrada en la distribución de la energía  $k$ , cuando se la analiza en el perfil longitudinal que se muestra en figura 3. Parte de dicho perfil se localiza sobre la protección. En el sector del lecho que se encuentra superada la protección comenzaron las profundizaciones y finalmente tuvieron lugar las máximas erosiones. Los datos derivados del ensayo **EI** indican que allí se dan los más altos niveles de energía, en correspondencia con la localización de la capa de corte desprendida desde el estribo. Durante los primeros momentos del proceso erosivo la energía se incrementa, pudiendo observarse, dentro de la hoya de erosión incipiente, un núcleo de flujo caracterizado por tener niveles de  $k$  muy superiores a los existentes en el momento inicial. Luego, con el progreso de las erosiones en el tiempo, los niveles de energía disminuyen. Este comportamiento, posiblemente, está asociado con la discontinuidad que se genera en los niveles del lecho en el sentido longitudinal, producto de la presencia de la protección, la cual durante las primeras instancias del proceso erosivo mantiene sus niveles originales, mientras que el lecho aguas abajo descende debido al desarrollo de las erosiones. Esta evolución temporal no monótona de  $k$  en el tiempo (crece y luego decrece), también encontrada para las tensiones  $-\langle u'w' \rangle$ , confirman que a la hora de analizar la interacción que existe entre el flujo y los procesos de erosión local no alcanza con considerar solo sus estados inicial y final, sino que también deben ser contemplados estados intermedios.



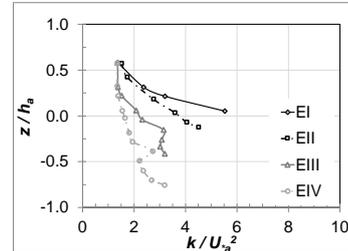
**Figura 2.-** Evolución de la distribución de la energía asociada a las fluctuaciones de velocidad,  $\frac{k}{U_a^2}$ , en el perfil longitudinal correspondiente a  $y/L=2.0$ . Ensayos a) EI; b) EII; c) EIII; d) EIV.



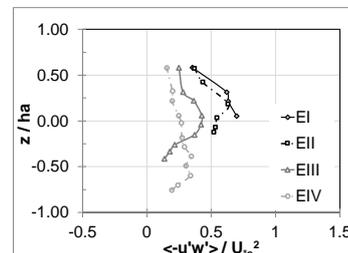
**Figura 3.-** Perfil longitudinal de figura 2 y punto representativo de las máximas erosiones junto al borde lateral de la protección.

Cuando se analiza la evolución de los parámetros de la turbulencia en el sector de mayores profundizaciones junto al

borde lateral de la protección (por ejemplo, en la localización “P” de figura 3) las tendencias resultan algo diferentes de acuerdo al parámetro particular que se trate. La energía asociada a las fluctuaciones de velocidad,  $k$ , experimentan una disminución progresiva, en toda la vertical, con el progreso de las erosiones (Fig. 4); mientras que las tensiones de Reynolds disminuyen por fuera de la hoya de erosión, pero demuestran un comportamiento no monótono en las cercanías del fondo (Fig.5).



**Figura 4.-** Evolución de perfiles de energía asociada a las fluctuaciones de velocidad adimensional  $\frac{k}{U_a^2}$ . Punto P (Fig. 3).



**Figura 5.-** Evolución de perfiles de tensiones de Reynolds adimensionales,  $\frac{-\langle u'w' \rangle}{U_a^2}$ . Punto P (Fig. 3).

## Conclusiones

En este trabajo se analizó la evolución de la estructura de la turbulencia del flujo asociado con el desarrollo de erosiones junto a un estribo protegido con mantas flexibles. Para ello se utilizaron un set detallado de datos de velocidades 3-D recolectadas con un ADV en cuatro instancias del proceso de erosión. Los resultados demuestran que el comportamiento de la energía asociada a las fluctuaciones de velocidad y las tensiones de Reynolds depende del sector de la erosión que se considere.

Las erosiones se desencadenan en el sitio en que la capa de corte desprendida desde el estribo toma contacto con el lecho desprotegido. Allí se verificó una evolución no monótona de los parámetros de la turbulencia analizados, con un incremento durante los primeros momentos del desarrollo de las erosiones, para luego disminuir.

En el sector de máximas profundizaciones al costado del borde lateral de la protección se observó una disminución progresiva de los valores de la energía asociada a las fluctuaciones de velocidad, en toda la vertical, en la medida que las erosiones se incrementaron; las tensiones de Reynolds disminuyeron por fuera de la hoya de erosión, pero demuestran un comportamiento no monótono en las cercanías del fondo.

## Referencias bibliográficas

Scacchi, G.B.; García, C.M. y Amsler, M.L. (2014). “Configuración del flujo en el sector donde se inicia la erosión para un estribo de Puente con y sin protección del lecho”. *XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Santiago, Chile, agosto de 2014.

Scacchi, G.B.; García, C.M. y Amsler, M.L. (2016). “Evolución del campo del flujo medio durante el desarrollo de erosiones junto a un estribo de puente protegido”. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Lima, Perú, septiembre de 2016.