

# ASPECTOS EN EL DISEÑO DE PROTECCIONES FLEXIBLES EN TORNO A UN ESTRIBO LARGO

Marcela L. Reynares, Graciela B. Scacchi y Mario I. Schreider

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del litoral

E-mail: [reynares@fich1.unl.edu.ar](mailto:reynares@fich1.unl.edu.ar) - Web: <http://fich.unl.edu.ar>

## Introducción

Las cubiertas flexibles colocadas al pie de pilas y estribos, son medidas de protección frecuentemente utilizadas en ingeniería para contrarrestar procesos erosivos locales que se desarrollan en las inmediaciones de estas estructuras.

El presente estudio se enmarca en una investigación de mayor alcance sobre el diseño en planta de protecciones en torno a estribos largos en valles de inundación, aspecto aún no resuelto por completo en la bibliografía especializada.

El trabajo tuvo por objeto estudiar, de manera experimental, dos aspectos particulares del diseño en planta, estos son, la incidencia que sobre las erosiones resultantes tiene el modo en que se fija el extremo de la protección más próxima a la margen y la incidencia que tiene la longitud de la protección en la dirección principal del escurrimiento, sobre las erosiones resultantes.

## Diseño Experimental

El dispositivo utilizado para realización de los experimentos se encuentra ubicado en la Nave I del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.

El canal posee 18.50 m de largo, 7.65 m de ancho y 0.80 m de profundidad (Fig. 1). Su porción central está conformada por un lecho de arena uniforme de diámetro medio de 1 mm. Un estribo prismático de pared vertical se encuentra emplazado en el sector a fondo móvil, el mismo posee 3.65 m de largo y 0.12 m de espesor.

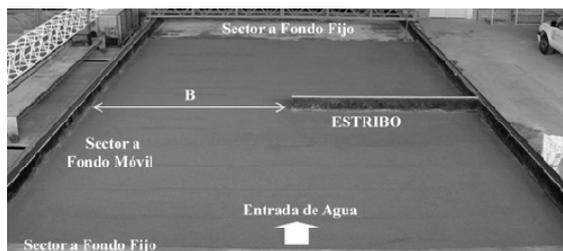


Figura 1.- Dispositivo de Ensayo

Junto al pie del estribo se colocó una protección del tipo de bloques de concreto adheridos a geotextil. Los mismos tienen una sección cuadrada de 0.027 metros de lado y 0.012 m de espesor, separados entre sí una distancia de 0.002 m. (Fig. 2).

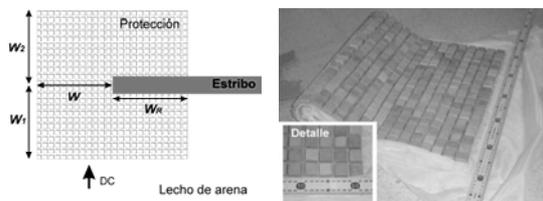


Figura 2.- Esquema de las dimensiones de la protección y detalle de la misma.

Se realizó un test de referencia ( $E_R$ ) donde se dejó desarrollar la hoya de erosión libremente y dos series de ensayos. En la primera serie se mantuvo constante tanto la longitud de la protección ( $W_1$  y  $W_2$  en Fig. 2) como el ancho de la misma ( $W$ ) y se alternaron distintos modos de fijación de la manta en la cara de aguas arriba del estribo ( $W_R$ ). En la Serie 2, se trabajó con distintas longitudes y se mantuvieron constantes  $W$  y  $W_R$ .

Se ensayó con un caudal total constante de 0.144 m<sup>3</sup>/s y un tirante del flujo de aproximación de 0.12 m. Los ensayos fueron ejecutados en condiciones de agua clara. La duración de todos los mismos fue de 24 hs, tiempo suficiente para alcanzar el 80 % de la máxima profundidad de erosión local de equilibrio.

## Análisis de Resultados

*Incidencia que tiene el modo en que se fija el extremo de la protección próximo a la margen, sobre las erosiones resultantes.*

En el ensayo de referencia  $E_R$ , la hoya de erosión desarrollada junto al estribo adquirió forma cónica, geometría típica de los procesos de erosión local junto a estribos sin protección. La máxima profundidad ( $y_e$ ) se localizó junto al vértice de aguas arriba del estribo y alcanzó un valor de 0.293 m.

El primer experimento con protección realizado correspondió a la situación  $W_R = 0$ , la protección fue simplemente apoyada sobre el lecho, sin ningún tipo de anclaje ( $E_{SI-1}$  en Fig. 3). Como resultado se obtuvo un corrimiento de la misma, dando lugar a la formación de dos hoyas de erosión. Junto al estribo se desarrolló una hoya de pequeñas dimensiones y junto al lado externo de la protección otra con profundizaciones más importantes. En ambos casos la erosión fue sustancialmente menor a la medida en el  $E_R$ .

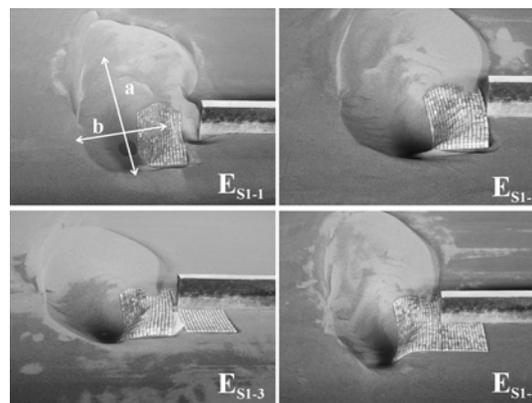


Figura 3.- Lecho resultante en los ensayos de la Serie 1.

Para analizar la forma en planta del sector erosionado se definió el coeficiente de forma "F", el cual se obtiene mediante la relación de sus ejes longitudinal (a) y transversal (b) a la dirección del flujo de aproximación, esto es  $F = a/b$  (Fig. 3). Es así, que a la hoya desarrollada junto al estribo le corresponde un valor próximo a uno (1), debido a su forma cónica, mientras que la forma en planta

de la hoya desarrollada junto al extremo de la protección, determinó que el valor de  $F$  fuera un 100% superior al anterior. Este hecho proporciona un primer indicio de la influencia que la presencia de la protección tiene sobre las características de los procesos de erosión intervinientes.

En  $E_{S1-2}$  la protección fue anclada al lecho, evitando así el corrimiento de la misma. Las erosiones finales resultaron sustancialmente mayores que las del ensayo  $E_{S1-1}$  y similares a las de  $E_R$ . La ubicación de la máxima erosión se desplazó hacia aguas arriba y la forma en planta de la hoya de erosión fue más alargada respecto del  $E_R$ .

En  $E_{S1-3}$  y  $E_{S1-4}$  se incorporó un tramo de protección hacia la margen, con una extensión  $W_R = 0.40$  m (Fig. 3). En el primer caso la manta fue simplemente apoyada sobre un solape del geotextil. Si bien la protección se desplazó de su posición original, la presencia del geotextil evitó la fuga de material en ese sector. Se desarrolló una profundidad máxima de erosión semejante a la del ensayo  $E_R$ . El ancho, el área superficial y el volumen de la hoya resultaron similares a los observados en el ensayo  $E_{S1-2}$ , aunque la misma fue ligeramente más alargada.

En el ensayo  $E_{S1-4}$  se unieron las mantas para evitar la separación de las mismas. La configuración final del lecho erosionado y la protección se observan en la figura 3. Los valores característicos de profundidad, ancho, área superficial, volumen y factor de forma, resultaron semejantes a los de los ensayos precedentes  $E_{S1-2}$  y  $E_{S1-3}$ , no observándose corrimientos de la protección.

El modo en que se fija el extremo de la protección próxima a la margen no modifica de manera significativa la profundidad de erosión resultante, siempre y cuando no se verifiquen corrimientos de la manta que promueva nuevos procesos erosivos en la adyacencia del estribo. En función de esto se consideró conveniente la incorporación de un tramo adicional de longitud  $W_R$  que evite la aparición de posibles puntos fisibles que podrían interferir con los objetivos de los ensayos planificados en la Serie 2.

#### ***Incidencia del desarrollo de la protección en sentido longitudinal de la corriente sobre la profundidad, forma en planta y volumen de la hoya de erosión.***

En este apartado se presentan los resultados obtenidos para la Serie 2 de experimentos donde se trabajó con distintas longitudes de protección ( $W_1$  y  $W_2$ ).

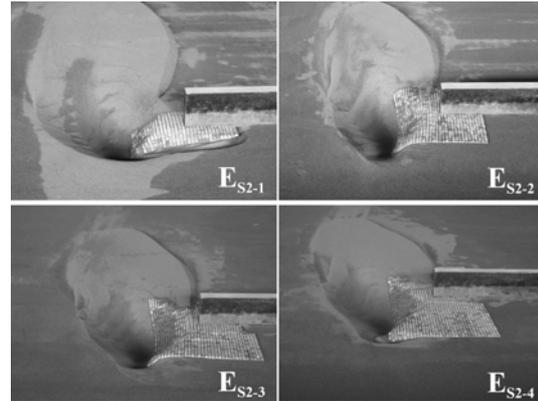
La configuración del lecho que resultó del ensayo  $E_{S2-1}$  se presenta en la figura 4. La protección se ha deformado tanto en el sentido longitudinal como transversal a la corriente principal, encontrándose las mayores alteraciones en el extremo de aguas arriba del estribo. La profundidad de erosión máxima fue semejante a la del ensayo  $E_R$ , pero localizada en un perfil transversal distante 0.10 m aguas abajo del eje del estribo y desplazada 0.60 m. hacia el centro del canal.

En los ensayos  $E_{S2-2}$ ,  $E_{S2-3}$  y  $E_{S2-4}$ , a diferencia de lo ocurrido en  $E_{S2-1}$  no se observaron deformaciones sobre el extremo de aguas arriba de la protección (Fig. 4). Tales deformaciones se concentraron sobre el extremo lateral, opuesto al estribo, paralelo a la dirección longitudinal del flujo, involucrando una parte significativa del talud derecho de la hoya de erosión resultante.

Los cuatro ensayos referidos presentaron profundidades máximas de erosión semejantes y muy próximas al valor testigo del ensayo  $E_R$ . La máxima profundidad se ubicó en las inmediaciones del eje del estribo y desplazada hacia el centro de la sección una distancia aproximada de 0.60 m.

El desarrollo longitudinal del sector erosionado acompañó

a la longitud dada a la protección en cada caso (Fig. 4) sin cambios significativos en el ancho de su respectiva hoya.



**Figura 4.-** Lecho resultante en los ensayos de la Serie 2.

Estas geometrías que adquieren las hoyas de erosión se ven claramente en los valores que adquieren los coeficientes de forma "F". El valor creciente de  $F$  con el incremento de la longitud de la protección demuestra la mayor elongación del área erosionada.

## **Conclusiones**

Los resultados alcanzados muestran que las profundidades máximas de erosión obtenidas para distintas longitudes de protección fueron semejantes y muy próximas al valor testigo del ensayo  $E_R$ . En todos los casos la máxima profundidad se ubicó en las inmediaciones del eje del estribo, desplazada hacia el centro de la sección aproximadamente 0.60 m., próxima al extremo lateral de la protección.

El incremento de la longitud de la protección genera una elongación de las hoyas de erosión desarrolladas en el extremo del revestimiento. En todos los casos, el desarrollo longitudinal del sector erosionado acompañó a la longitud dada a la protección, sin cambios significativos en el ancho de hoya correspondiente.

Cuando la protección fue muy corta, la zona erosionada cambió su geometría. La hoya se desarrolló alrededor del estribo y su protección. La presencia del revestimiento generó una obstrucción parcial adicional al escurrimiento, actuando a modo de un estribo sumergido.

Las evidencias morfológicas recopiladas experimentalmente sugieren que la presencia de protecciones largas junto a un estribo podría inducir que, a los mecanismos 3D habituales en las proximidades del mismo, se les superpongan fenómenos típicos de contracción del flujo, cuya incidencia resulta creciente hacia aguas abajo.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional del Litoral quien financió, por medio de los Cursos de Acción para la Investigación (CAI+D), el Proyecto de Investigación en el marco del cual se desarrolló este trabajo.

A la empresa CORIPA S.A. por el suministro de las mantas de bloques de concreto, confeccionadas especialmente para este dispositivo experimental.

Al Sr. Sebastián Schmith por su apoyo técnico en la puesta a punto de los experimentos.