

## EL USO DE GEOTUBOS COMO MEDIDA DE PROTECCIÓN DE ESTRIBOS DE PUENTES

Agustina Spais, Marcela Reynares, Graciela Scacchi, María Luisa Possi y Mario Schreider

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral – Santa Fe - 3000 – Argentina.

E-mail: agus\_01\_12@hotmail.com, reynares@fich.unl.edu.ar

### Introducción

En las últimas décadas, gracias a los desarrollos y avances logrados en el campo de los geotextiles, los geocontenedores surgen como una alternativa a considerar en diversas obras de ingeniería fluvial y marítima, constituyéndose en una solución económica, duradera, de fácil instalación y altamente flexibles. Ha sido probada e instalada en numerosos proyectos para la construcción de núcleos de estructuras como escolleras, diques, espigones y estructuras sumergidas.

En el presente trabajo se muestran los primeros resultados obtenidos en una serie de experimentos de laboratorio realizados con el fin de analizar el uso de grandes geocontenedores como medida de protección contra la erosión local junto a estribos de puentes. En esta instancia del estudio estos dispositivos se disponen de modo tal que actúen como muros guías. En los ensayos se representaron muros de diferentes alturas, logrados a partir de la superposición vertical de diversos geotubos. Se ha evaluado el comportamiento de las erosiones y el campo superficial del flujo en las inmediaciones de la obra en su conjunto, esto es estribo más muro guía.

### Diseño experimental

Los experimentos fueron realizados en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina. El canal de experimentación es de sección rectangular, de 60 m de largo, 1.48 m de ancho y 1 m de profundidad. En su tramo central posee un sector a fondo móvil, con un espesor de 40 cm y 20 m de longitud, con arena uniforme de 0.1 cm de diámetro medio. El estribo representado es de pared vertical y posee un desarrollo en el sentido transversal a la corriente de 30 cm y un espesor de 12 cm.

Los geotubos utilizados para la representación de los muros guía fueron construidos con bolsas de tela rellenas con la misma arena que posee el resto del canal. De este modo se conformaron geotubos con un ancho promedio de 10 cm y una altura aproximada de 4 cm. Los resultados que aquí se presentan refieren a muros guía cuya geometría siguieron una traza preestablecida, definida por un cuarto de elipse, considerando su semieje menor coincidente con la longitud del estribo, tal como se observa en la Figura 1.

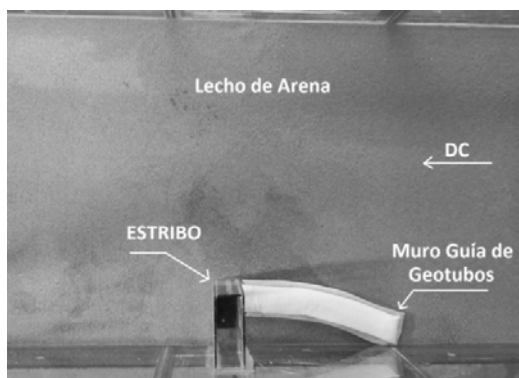


Figura 1.- Estribo y muro guía conformado por geotubos sobre la margen izquierda del canal.

La secuencia de experimentos realizados contempló un ensayo de referencia (ER, estribo sin protección) y una serie de experimentos en los que se representaron muros de diferentes alturas, constituidos por 1, 2, 3, 4 o 5 geotubos superpuestos, uno encima del otro, de modo tal de poder analizar la influencia que tiene la sumergencia del muro sobre las erosiones locales resultantes. En la Figura 2 se muestran, a modo de ejemplo, la configuración inicial (previo al desarrollo de erosiones) correspondiente a los ensayos G2 y G4, para los que los muros fueron logrados al apilar 2 y 4 geotubos respectivamente.

Las condiciones hidráulicas se mantuvieron constantes en toda la secuencia experimental, esto es, 83 litros/seg. y una profundidad del flujo de aproximación de 19 cm. Las erosiones se desarrollaron bajo condiciones de agua clara. Todos los ensayos tuvieron una duración de 48hs.

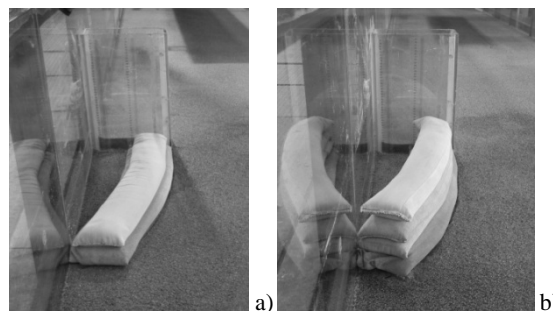


Figura 2.- Muros guía constituidos por: a) 2 geotubos; b) 4 geotubos.

En cada experimento se realizó la medición del campo superficial de velocidades, al inicio y al cabo de las 48 hs de desarrollo del proceso erosivo, mediante la técnica de seguimiento de partículas (PTV), (Patalano et al, 2015). Finalizado cada ensayo se drenó el canal lentamente y se efectuaron relevamientos de detalle del lecho resultante y exhaustivos registros fotográficos.

### Resultados alcanzados

En la Tabla N° 1 se presenta un resumen de los principales resultados alcanzados para cada configuración de muro considerada. En la misma se pueden ver: la altura media del muro guía, la cantidad de geotubos con el que fue construido; la máxima profundidad de erosión alcanzada y el volumen de la hoyo de erosión desarrollada.

Tabla 1.- Resumen de resultados alcanzados.

Ensayo	Cantidad Geotubos (Nº)	Altura del Muro (HG) (cm)	Máx. Prof. Erosión ye (cm)	Volumen Erosionado Vol. (cm <sup>3</sup> )
ER	0	0.0	24.2	57794
G1	1	4.4	21.2	44069
G2	2	8.0	19.5	30816
G3	3	12.9	15.8	27457
G4	4	16.6	7.7	14585
G5	5	20.9	6.1	11796

Para evaluar la reducción de la erosión y del volumen removido en cada experimento se consideró:

$$\% \text{ Reducción Erosión} = \frac{(y_{eRef} - y_e)}{y_{eRef}} * 100 \quad [1]$$

$$\% \text{ Reducción Volumen} = \frac{(Vol_{Ref} - Vol)}{Vol_{Ref}} * 100 \quad [2]$$

Donde “ $y_{eRef}$ ” y “ $Vol_{Ref}$ ” es la máxima profundidad de erosión y el volumen del ensayo de referencia respectivamente; “ $y_e$ ” y “ $Vol$ ” es la máxima profundidad de erosión y el volumen en cada ensayo respectivamente. En la Figura 3 se representó el comportamiento de estas variables como una función del porcentaje de obstrucción del tirante, el cual fue estimado como la relación entre la altura del muro constituido con geotubos (HG) y la profundidad del escurrimiento (h). Se demuestra que en la medida que se incrementó la obstrucción del tirante, el muro se comportó de un modo más eficiente en la reducción de las erosiones. Tanto la máxima profundidad de erosión como el volumen removido alcanzaron valores próximos al 80 % cuando el muro guía emergió por sobre la superficie del escurrimiento. La Figura 3 permite, además, concluir que reducciones importantes, tanto en la máxima profundidad de erosión como en el volumen erosionado se pueden lograr aun cuando el muro guía tiene un cierto grado de sumergencia. En la figura 3 se observa también, un comportamiento diferenciado de la tasa de crecimiento en la reducción de las erosiones y los volúmenes respecto de la altura del muro. En efecto, las tendencias muestran que el volumen se reduciría con mayor rapidez que la máxima profundidad de socavación, tal como lo muestran las tendencias de variación de cada variable.

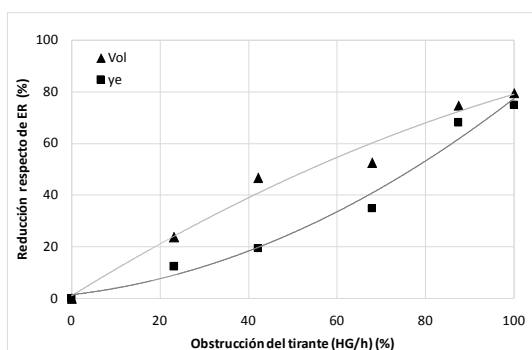


Figura 3.-Variación de la máxima profundidad de erosión y volumen erosionado respecto de la obstrucción del tirante.

Mediante la técnica de seguimiento de partículas fue posible caracterizar el campo superficial de velocidades al inicio y al final del proceso de erosión. En la Figura 4 se han representado las distribuciones transversales de velocidades superficiales iniciales, en la sección de emplazamiento del estribo, para los experimentos G1, G3 y G5 constituidos por 1, 3 y 5 geotubos respectivamente. Se observa que, en la medida que se incrementó la altura del muro guía, los vectores de velocidad superficial se dispusieron de manera más ordenada en la sección estrechada, mostrando una clara correspondencia con la morfología final del lecho, esto es, en la medida que el muro guía obstruyó una mayor proporción del tirante, las erosiones junto al estribo fueron menos significativas.

Los lechos resultantes muestran que para aquellos muros construidos por 1, 2 y 3 geotubos, las máximas profundidades de erosión se localizaron en la sección del puente, específicamente junto al vértice de aguas arriba del estribo, tal como sucedió cuando el estribo se representó solo (ER). Sin embargo, en los experimentos G4 y G5 las máximas erosiones se desplazaron hacia aguas abajo de la sección del puente, con una forma del sector erosionado que se aparta de la típica hoya de erosión local junto al estribo aislado, como se observa en la

Figura 5, donde se muestra la conformación final del lecho cuando se ensayó el muro guía con la mayor de las alturas consideradas. En la Figura 5 se observa una hoya de erosión principal desplazada hacia aguas abajo y un sector de erosiones de escasa magnitud junto al muro guía.

Cuando el análisis se focaliza en las erosiones relevadas en la sección de emplazamiento del estribo, que es la estructura que se desea proteger, se encontró una reducción máxima de la erosión en dicho sitio de 94% aproximadamente.

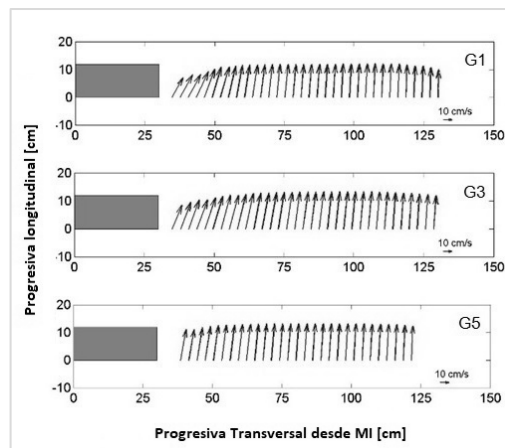


Figura 4.-Distribución transversal inicial de velocidades superficiales en la sección de emplazamiento del estribo.

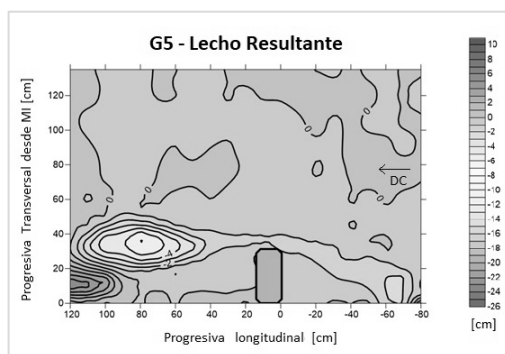


Figura 5.-Lecho resultante para el ensayo G5 donde el muro guía se encuentra conformado por 5 geotubos.

## Conclusiones

En el presente trabajo se ha evaluado el comportamiento de muros guía como medida de protección contra la erosión local junto a estribos de puentes. Los diferentes muros ensayados difieren entre sí sólo en la altura de coronamiento, la cual se logró apilando un número variable de geotubos rellenos con material suelto.

Los resultados mostraron que en la medida que se incrementó la altura del muro, las estructuras de protección resultaron más eficientes, logrando reducciones de la profundidad de erosión del 94% en la sección del puente. Mientras que para dicha configuración el volumen de sedimento removido se redujo en un 80%. Muros de menor altura condujeron a importantes reducciones de la máxima erosión, por ejemplo para una obstrucción del tirante próxima al 70% las erosiones disminuyeron un 40% aproximadamente.

## Referencias bibliográficas

Patalano, A.; García, C.M. y Scacchi, G (2015) “Implementación de la técnica de PTV a gran escala (LSPTV) para caracterizar flujos a superficie libre en modelos físicos”. *IV Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica*. La plata, Argentina.