

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
Ciudad Universitaria. Paraje "El Pozo". S3000. Santa Fe. Argentina
E-mail: reynares@fich1.unl.edu.ar - Web: <http://fich.unl.edu.ar>

RESUMEN

Las cubiertas flexibles colocadas junto a 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.

Este estudio se enmarca en una investigación de mayor alcance sobre el diseño en planta de protecciones de bloques de concreto adherido a geotextil, en torno a estribos largos de pared vertical emplazados en valles de inundación.

El presente trabajo analiza, de manera experimental, dos aspectos particulares del diseño. 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 (sentido de la corriente principal), sobre las erosiones resultantes.

Los resultados muestran que el desarrollo longitudinal del sector erosionado se incrementó acorde a la longitud dada a la protección en cada caso, sin cambios significativos en el ancho de hoya correspondiente. Esto generó la afectación de zonas del lecho no comprometidas en la situación sin protección. Cuando la protección fue muy corta, la hoya se desarrolló alrededor del estribo y de la protección, generando una obstrucción parcial adicional al escurrimiento, actuando a modo de un estribo sumergido.

ABSTRACT

Flexible revetments are often used in Engineering as countermeasures to reduce local scour at piles and abutments. This paper try to analyze, experimentally, the scour processes around vertical-wall abutments protected with blocks of concrete adhered to a geotextil.

The results show that the maximum scour depths were similar, in spite of the fact that all the protection lengths were different at each experiment. Also, these maximum scour were very close to the one obtained during the reference test. For all cases the maximum scour depths were close to the abutment axis, but shifted to the centre of the section, opposite to the abutment itself.

As the length of the protection was increased, the plant shape of the scour holes changed from a circular shape, when no protection was placed, to an elliptical shape when the revetment was longer. In all cases the erosion area increased its length according to an increase in the revetment length, but the scoured area width was constant for all the experiments.

When the protection length was shorter, the eroded area changed its shape; the scour hole surrounded the abutment and the protection; and the revetment itself became a new obstruction, acting as a submerged abutment.

INTRODUCCIÓN

La colocación de protecciones flexibles junto a pilas y estribos, son herramientas de la ingeniería cuya utilización ha tenido una creciente aceptación en los últimos tiempos, como medida para contrarrestar los procesos erosivos locales que se desarrollan en las inmediaciones de estas estructuras.

En la literatura especializada existen variadas formulaciones que permiten estimar el espesor de los elementos que constituyen el revestimiento. Sin embargo, a la hora de definir las dimensiones en planta a dar a la protección, las referencias son muy limitadas y en general

referidas a protecciones marginales y junto a pilas de puentes. 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 que se presenta analiza, de manera experimental, dos aspectos particulares del diseño en planta de una protección junto a un estribo largo. 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, en segundo lugar, la incidencia que tiene la longitud de la protección en la dirección principal del escurrimiento, sobre las erosiones resultantes.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Los experimentos se llevaron a cabo en un canal ubicado en la Nave I del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), de 18.50 m de largo, 7.65 m de ancho y 0.60 m de profundidad (Fig. 1).

El canal posee un tramo de ingreso a fondo fijo de 3.50 m. de longitud, luego del cual se desarrolla un sector con lecho móvil de 11 m de longitud, todo el ancho del canal y 0.60 m de espesor, constituido por arena uniforme con un d_{50} de 0.001 m. El tramo final está conformado por otro sector rígido de 3.50 m de longitud.

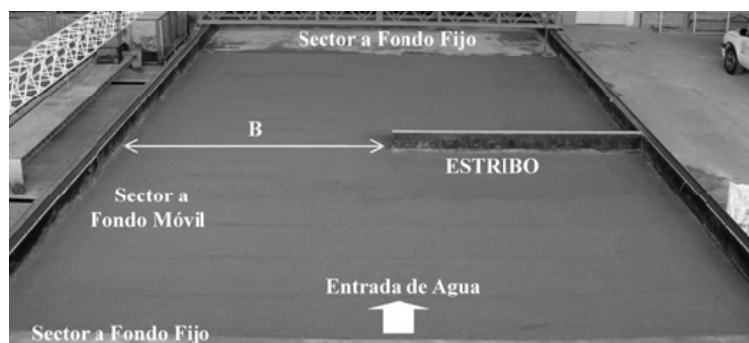


Figura 1.- Dispositivo experimental.

A 8.50 m aguas abajo de la sección de entrada, en el sector a fondo móvil, se encuentra materializado un cierre parcial de 3.65 metros de extensión, con origen en la margen derecha del cuenco, configurando así un estribo prismático, de pared vertical y 0.12 m de espesor.

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

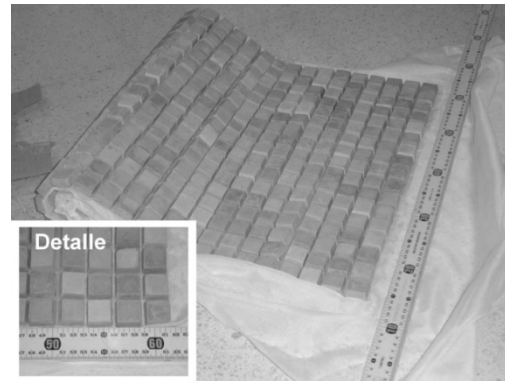


Figura 2.- Protección de Bloques de Concreto Adherido a Geotextil.

El diseño en planta de la protección utilizada se caracterizó por las siguientes dimensiones (Fig. 3):

- W : distancia medida desde el extremo del estribo en sentido transversal a la corriente. La misma se mantuvo constante en todas las series de experimentos.
- W_1 : longitud de la protección en dirección hacia aguas arriba, medida desde el eje del estribo.
- W_2 : longitud de la protección en dirección hacia aguas abajo, medida desde el eje del estribo.
- W_R : extensión de protección medida desde el extremo del estribo en dirección hacia la margen opuesta.

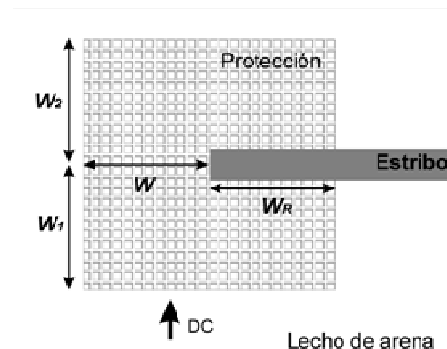


Figura 3.- Esquema de las dimensiones de la protección.

En esta etapa se realizaron un (1) ensayo de referencia y dos (2) series de experimentos, con objetivos específicos cada una de ellas.

Todos los ensayos llevados a cabo tuvieron un caudal total constante de $0.144 \text{ m}^3/\text{s}$ y un tirante del flujo de aproximación de 0.12 m ; fueron ejecutados en condiciones de agua clara. La duración de todos los experimentos fue de 24 hs. Este tiempo ha sido considerado suficiente para alcanzar un desarrollo de la máxima profundidad de erosión local próximo al 80 %, respecto del valor final de equilibrio (Schneider et al, 1998).

Ensayo de Referencia

En primer lugar se llevó a cabo un ensayo patrón (E_R), en el cual se dejó desarrollar libremente la hoya de erosión al pie del estribo, con el objetivo de contrastar los resultados

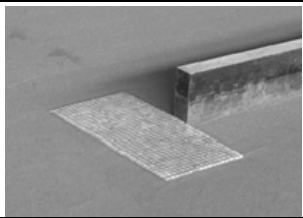
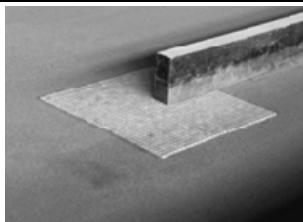
obtenidos en el mismo, con los de las Series 1 y 2, en las que el estribo estuvo protegido. Las condiciones hidráulicas de este ensayo fueron las señaladas con anterioridad.

Serie 1

En esta serie se desarrollaron cuatro (4) experimentos con el propósito de analizar las consecuencias que sobre las erosiones y la estabilidad de la manta tiene el modo en que se fija el extremo de la misma próximo a la margen.

En todos los ensayos las dimensiones de la manta ($W = W_1 = W_2 = 0.50$ m) se mantuvieron constante. Las características de cada uno de ellos en cuanto a la extensión W_R de la protección y el modo de anclaje de la misma, se describen en tabla 1.

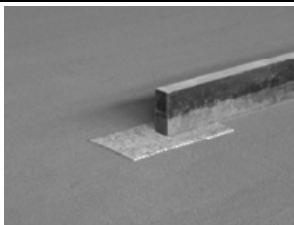
Tabla 1.- Descripción de los ensayos realizados en la primer serie

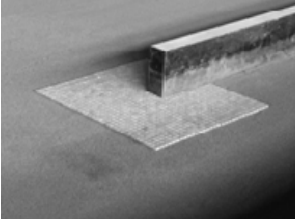


Ensayo N°	Descripción del Ensayo	Esquema
E _{S1-1}	$W = W_1 = W_2 = 0.50$ m $W_R = 0$ Protección simplemente apoyada.	
E _{S1-2}	$W = W_1 = W_2 = 0.50$ m $W_R = 0$ Protección anclada con zunchos de alambres.	
E _{S1-3}	$W = W_1 = W_2 = 0.50$ m $W_R = 0.40$ m. Protección extendida hacia la margen con solape de geotextil sólo apoyado.	
E _{S1-4}	$W = W_1 = W_2 = 0.50$ m $W_R = 0.40$ m Protección extendida hacia la margen con solape de geotextil cocido.	

Serie 2

En esta serie se llevaron a cabo cuatro (4) ensayos, con el propósito de evaluar la incidencia del largo de la protección ($W_1 + W_2$) sobre la máxima profundidad de erosión, esto es su ubicación, el área erosionada y su volumen. En todos los ensayos W_1 fue igual a W_2 de modo de establecer una protección simétrica respecto del eje del estribo. El ancho W se mantuvo constante e igual a 0.50 m, al igual que la extensión W_R la cual fue de 0.40 m. Las longitudes adoptadas para cada ensayo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.- Descripción de los ensayos realizados en la segunda serie

Ensayo N°	Descripción del Ensayo	Esquema
E _{S2-1}	$W = 0.50$ m $W_R = 0.50$ m $W_1 = W_2 = 0.20$ m	

E _{S2-2}	$W = 0.50 \text{ m}$ $W_R = 0.50 \text{ m}$ $W_1 = W_2 = 0.50 \text{ m}$	
E _{S2-3}	$W = 0.50 \text{ m}$ $W_R = 0.50 \text{ m}$ $W_1 = W_2 = 0.72 \text{ m}$	
E _{S2-4}	$W = 0.50 \text{ m}$ $W_R = 0.50 \text{ m}$ $W_1 = W_2 = 0.95 \text{ m}$	

En la totalidad de los experimentos de esta Etapa se midió el pelo de agua mediante limnómetro provisto de punta y vernier, y nivel óptico de precisión. Al cabo de 24 horas de ensayo se realizó una medición detallada de las tres componentes de la velocidad con un velocímetro acústico doppler (ADV), en la sección transversal donde se ubicó la máxima profundidad.

Una vez finalizado el ensayo y drenado el canal se efectuó un relevamiento de detalle del sector erosionado en las inmediaciones de la protección.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados alcanzados se analizan en el contexto determinado por los objetivos propuestos en este trabajo.

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

En primer lugar se presentan los parámetros característicos más sobresalientes que se observaron en el ensayo de referencia, E_R:

- Profundidad Máxima $y_e = 0.293 \text{ m}$
- Área superficial erosionada $A_e = 1.798 \text{ m}^2$
- Volumen de sedimento erosionado $V_e = 0.108 \text{ m}^3$

La hoya de erosión desarrollada junto al estribo se caracterizó por tener forma cónica, coincidente con la típica que se reporta en la mayoría de los estudios de erosión local junto a estribos de puentes sin protección. La máxima profundidad del lecho se localizó junto al vértice del estribo perteneciente a su cara de aguas arriba (Fig. 4).



Figura 4.- Hoya de erosión resultante en el ensayo E_R .

El primer experimento realizado para la situación de estribo protegido correspondió a la situación $W_R = 0$, en el que la protección fue simplemente apoyada sobre el lecho, sin ningún tipo de anclaje (E_{S1-1}). Como resultado se obtuvo un corrimiento de la protección (Fig. 5a). Esto dio lugar a dos procesos erosivos superpuestos. En respuesta a ello se puede identificar dos sectores de erosión bien diferenciados. Uno de pequeñas dimensiones, junto al estribo, y otro, con profundizaciones más importantes localizado junto al lado externo de la protección. La profundidad máxima de la hoya aquí conformada fue de 0.16 m, sustancialmente menor a la medida en el ensayo de referencia (E_R).

El corrimiento de la protección con la consecuente formación de una hoya de erosión local junto al estribo puede ser el factor determinante de la erosión relativamente pequeña desarrollada en la hoya de mayor profundidad (Tabla 3).

Con el objeto de 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. 5a).

El valor del coeficiente F para las dos hoyas formadas en el ensayo E_{S1-1} fue:

- F hoya menor = 1.02
- F hoya mayor = 2.18

Como era de esperar, a la hoya desarrollada junto al estribo le corresponde un valor próximo a uno (1), debido a su forma cónica, típica de este tipo de procesos. La forma en planta de la hoya de erosión junto al extremo de la protección, determinó que el valor de F fuera un 100% superior al anterior. Esto se debe a un mayor desarrollo longitudinal de la misma hecho que proporciona un primer indicio de la influencia que la presencia de la protección tiene sobre las características de los procesos de erosión intervinientes.

En el ensayo E_{S1-2} (Fig. 5b) la protección fue anclada al lecho, evitándose así el corrimiento de la misma. En esta situación las erosiones finales resultaron sustancialmente mayores que las del ensayo E_{S1-1} , similares a las de E_R (Tabla 3). La ubicación de la máxima erosión se desplazó hacia aguas arriba. La forma en planta de la hoya de erosión fue más alargada respecto del ensayo de referencia, lo cual se tradujo en un valor de F un 42% mayor al obtenido para E_{S1-1} (Tabla 3).

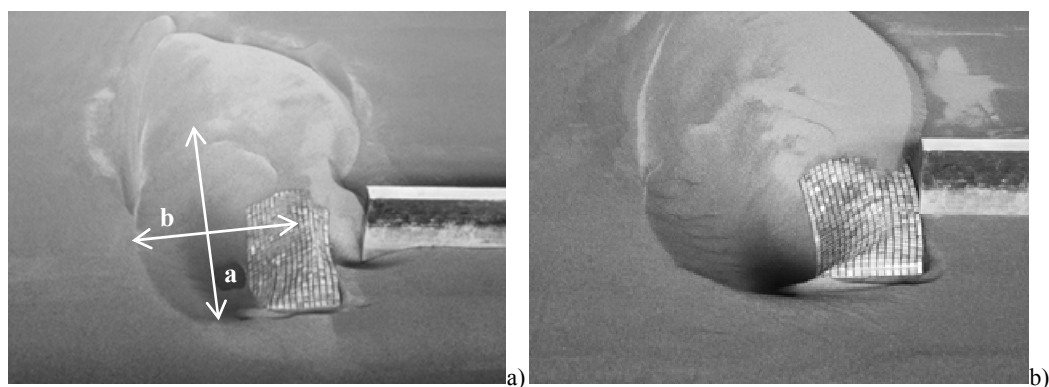


Figura 5.- Fondo resultante en los ensayos E_{S1-1} y E_{S1-2} .

En los ensayos E_{S1-3} y E_{S1-4} se incorporó un tramo de protección hacia la margen, con una extensión $W_R = 0.40$ m. En el primer caso (E_{S1-3}) (Fig. 6a) la manta fue simplemente apoyada sobre un solape del geotextil, con el objetivo de que el peso actúe como anclaje del conjunto. Si bien la protección se desplazó de su posición original, la presencia del geotextil evitó la fuga de material en ese sector (Fig. 6a). En el transcurso del experimento 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} (Tabla 3), aunque la misma fue ligeramente más elongada.

En el ensayo E_{S1-4} se unieron las mantas con el fin de evitar la separación de las mismas. La configuración final del lecho erosionado y la protección se presentan en la figura 6b. 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.

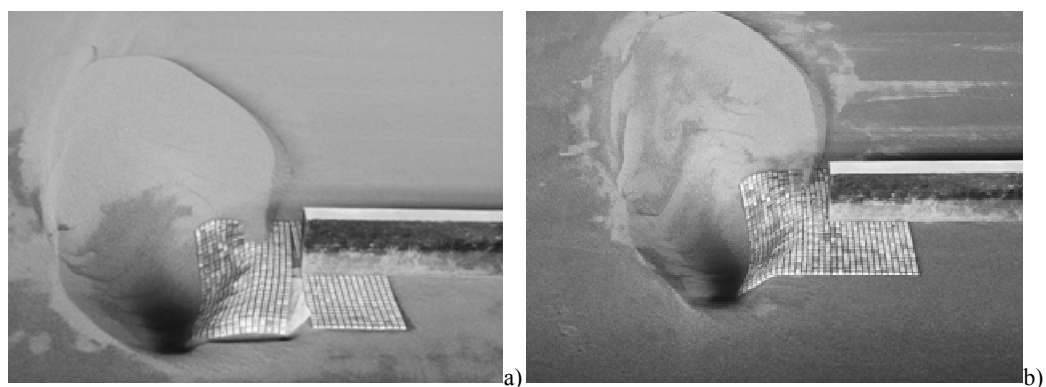


Figura 6.- Fondo resultante en los ensayos E_{S1-3} y E_{S1-4} .

Tabla 3.- Resultados obtenidos en los ensayos realizados en la Serie 1.

Ensayo Nº	$W_1=W_2$ [m]	W_R [m]	y_e [m]	ancho [m]	Área superficial [m ²]	volumen [m ³]	a [m]	b [m]	F = a/b	Detalle
E_R	0.00	0.00	0.293	1.027	1.798	0.108	1.52	1.27	1.21	sin manta
E_{S1-1}	0.50	0.00	0.160	0.530	-	-	0.54	0.53	1.02	colapsada
			0.090	0.750	-	-	1.64	0.75	2.18	
E_{S1-2}	0.50	0.00	0.306	1.010	1.936	0.163	1.84	1.07	1.71	anclada
E_{S1-3}	0.50	0.40	0.287	1.130	1.901	0.142	2.11	1.06	2.00	solapada
E_{S1-4}	0.50	0.40	0.319	1.050	1.715	0.165	2.16	1.04	2.08	cocida

En síntesis, se puede apreciar que 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 (Fig. 7a y 7b) que podrían interferir con los objetivos de los ensayos planificados en la Serie 2. En consecuencia se adoptó un valor de $W_R = 0.50$ m. y mantas cocidas entre sí, característica que se mantuvo para todos los experimentos de la Serie 2.

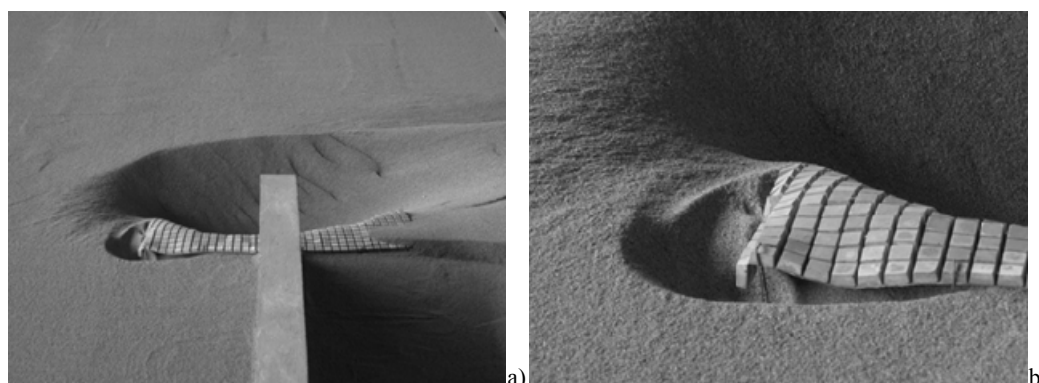


Figura 7.- Anclaje expuesto en la zona del remate de aguas arriba del E_{S1-2} .

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 esta instancia del estudio se ejecutaron cuatro experimentos de laboratorio, identificando cada uno de ellos con el valor de W_1 y W_2 (Fig. 3) que se le dio a la protección colocada junto al estribo. Estas dimensiones, como así también los principales parámetros que definieron al sector erosionado resultante se presentan en la Tabla 4.

En lo que sigue se hará un análisis de resultados encontrados en los cuatro experimentos mencionados, atendiendo a los objetivos enunciados en segundo lugar. Esto es, evaluando la respuesta de la máxima profundidad de erosión, volumen y área erosionada en cada una de los ensayos, de acuerdo a la longitud que tuvo la protección (W_1 , W_2).

La configuración del lecho en las inmediaciones de la protección que resultó del ensayo E_{S2-1} se presenta en la figura 8. Tal como se puede observar en dicha figura 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 (Fig. 8b). La profundidad de erosión máxima fue semejante a la del ensayo E_R (Tabla 4), pero localizada en un perfil transversal distante 0.10 m del eje del estribo, en dirección hacia aguas abajo, y desplazada 0.60 m hacia el centro del canal.

Tabla 4.- Resultados obtenidos en los ensayos realizados en la Serie 2.

Ensayo	$W = W_R$	$W_1 = W_2$	ye	ancho	Área superficial	volumen	a	b	$F = a/b$
N°	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ³]	[m]	[m]	
E_R	0.00	0.00	0.293	1.027	1.798	0.108	1.52	1.27	1.21

E_{S2-1}	0.50	0.20	0.298	1.000	2.456	0.189	2.40	1.30	1.85
E_{S2-2}	0.50	0.50	0.306	1.063	1.715	0.165	2.16	1.04	2.08
E_{S2-3}	0.50	0.72	0.292	1.100	1.796	0.153	2.13	1.05	2.04
E_{S2-4}	0.50	0.95	0.279	1.030	2.043	0.168	2.73	1.07	2.55

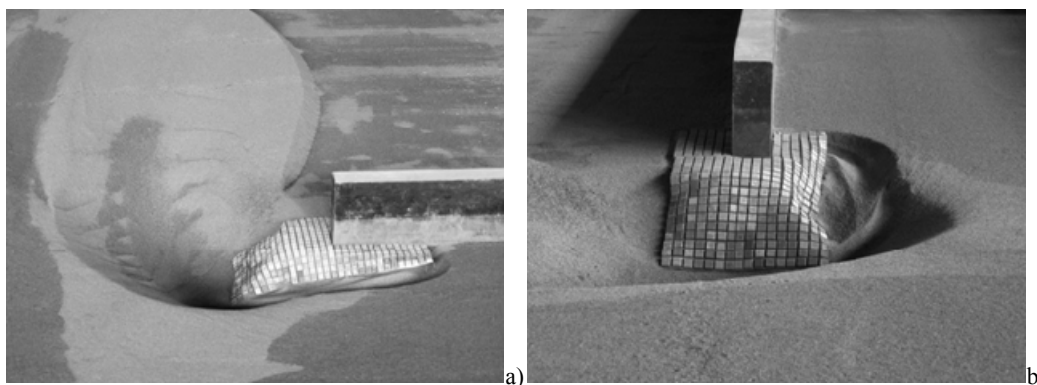


Figura 8.- Fondo resultante en el ensayo E_{S2-1} .

En las figuras 9a, 9b y 9c se muestran las configuraciones finales del lecho correspondiente a los ensayos E_{S2-2} , E_{S2-3} y E_{S2-4} respectivamente. Los aspectos más importantes que surgieron de tales experiencias se resumen a continuación:

- Deformación de la protección:

A diferencia de lo ocurrido en el ensayo E_{S2-1} (protección de menor longitud) no se observaron deformaciones sobre el extremo de aguas arriba de la protección (Fig. 9). 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.

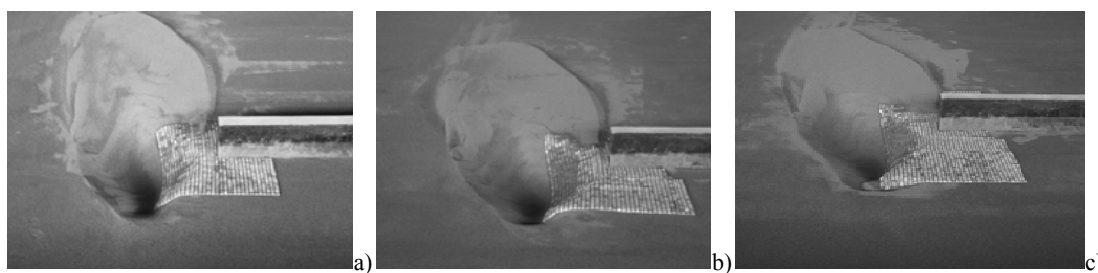


Figura 9.- Fondo resultante en los ensayos E_{S2-2} , E_{S2-3} y E_{S2-4} .

- Profundidad máxima de erosión:

Los cuatro ensayos referidos presentaron profundidades máximas de erosión semejantes y muy próximas al valor testigo del ensayo E_R (Tabla 4).

- Ubicación de la máxima profundidad de erosión:

En todos los experimentos 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.

- Forma en planta de la hoya de erosión:

El desarrollo longitudinal del sector erosionado acompañó a la longitud dada a la protección en cada caso (Fig. 9) sin cambios significativos en el ancho de la hoya correspondiente (Tabla 4). Esta situación se presenta en la figura 10, en la que se han superpuesto el contorno superficial de la hoya de erosión local relevada al final del ensayo de referencia (E_R) y los correspondientes a los ensayos E_{S2-2} y E_{S2-4} , a modo de ejemplo.

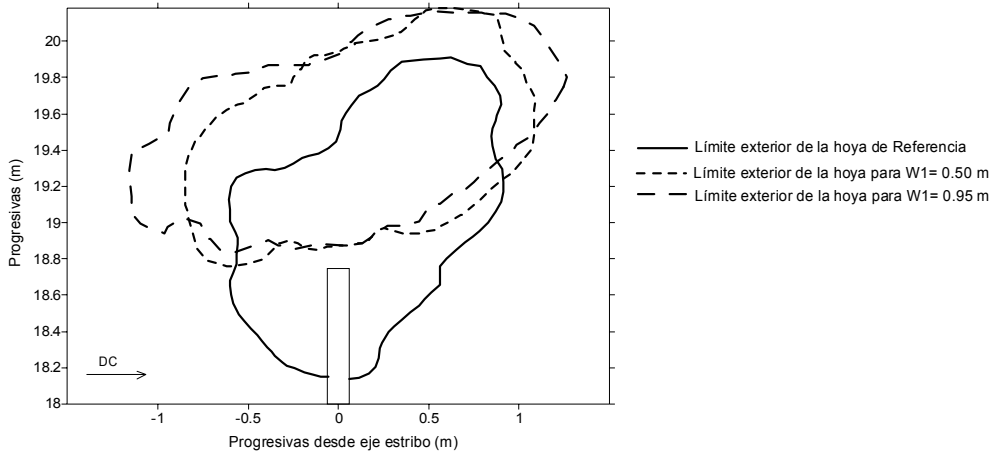


Figura 10.- Contorno de las hoyas de erosión con $W_1 = 0$ m, $W_1 = 0.50$ m y $W_1 = 0.95$ m.

De manera de cuantificar la situación expuesta se han calculado los coeficientes de forma “F”, definido con anterioridad, para la totalidad de los experimentos realizados en esta instancia (Tabla 4). El valor creciente de F con el incremento de la longitud de la protección demuestra la mayor elongación del área erosionada.

Con el fin de evidenciar la influencia que la longitud de la protección tiene sobre las erosiones resultantes se han comparado perfiles transversales relevados en cada uno de los experimentos, correspondiente a tres ubicaciones diferentes.

En la figura 11 se presentan los datos medidos en la sección transversal ubicada 0.50 m aguas arriba del eje del estribo. La información que de la misma surge confirma el hecho que, en la medida que la protección se torna más larga, la zona erosionada avanza hacia aguas arriba, afectando zonas no comprometidas en el ensayo de referencia.

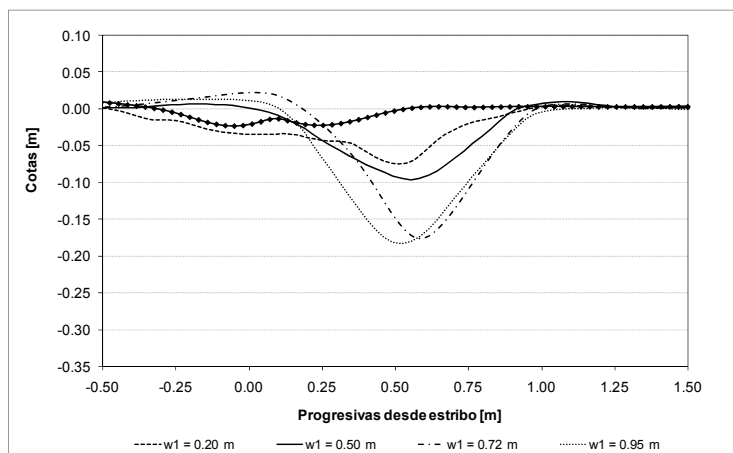


Figura 11.- Perfil transversal ubicado 0,50 m aguas arriba del eje del Estribo.

En la figura 12 se muestran las erosiones resultantes en los ensayos de referencia, E_{S2-1} a E_{S2-4} , para la sección transversal ubicada en el eje del estribo. En la misma se observa que la geometría del sector erosionado para todos los experimentos analizados que contaron con protección del lecho fue semejante, no demostrando una influencia significativa de la protección en dicho sector; geometría que a su vez resultó similar a la que se midió en el E_R , aunque desplazada en sentido opuesto al estribo (Fig. 12).

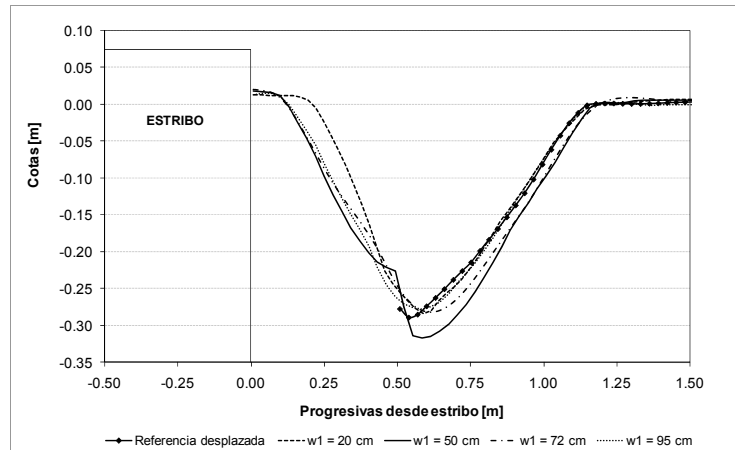


Figura 12.- Perfil transversal ubicado en el eje del Estribo.

Los perfiles transversales relevados a 0,75 m aguas abajo del eje del estribo se volcaron en la figura 13. En esta posición el lecho relevado correspondiente al E_R presentó profundizaciones de escasa significación.

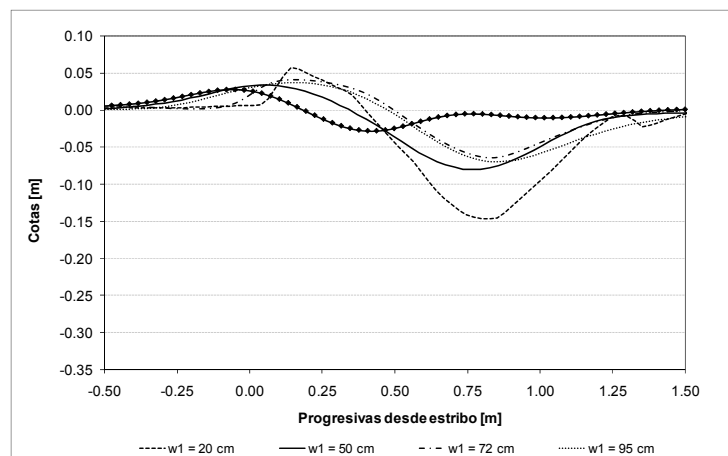


Figura 13.- Perfil transversal ubicado 0,75 m aguas abajo del eje del Estribo.

Cuando se analizan los perfiles erosionados resultantes al cabo de los experimentos E_{S2-1} , E_{S2-2} , E_{S2-3} , y E_{S2-4} se observa que la geometría de los mismos fue diferente, de acuerdo a la longitud de protección ensayada. En efecto, la sección de erosión correspondiente al ensayo E_{S2-1} resultó ser marcadamente más profunda y con taludes más empinados que los correspondientes a los experimentos restantes (E_{S2-2} , E_{S2-3} , y E_{S2-4}).

Esta morfología del lecho que distingue al E_{S2-1} podría estar promovida por la propia protección deformada (Fig. 8) que genera una obstrucción parcial adicional al escurrimiento, actuando a modo de un estribo sumergido y dando lugar a configuraciones del lecho, como las observadas en el E_{S2-1} , típicas de estructuras tridimensionales del flujo.

Con respecto a los perfiles medidos en los ensayos E_{S2-2} , E_{S2-3} , y E_{S2-4} , la figura 13 permite concluir que cuanto más larga es la protección, los taludes del sector erosionado se vuelven más suaves, probablemente como consecuencia de que el flujo en esta posición resulta más ordenado, orientado por la protección, la que actuaría como un muro guía.

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.

El avance hacia aguas arriba del sector erosionado, en la medida que la protección fue más larga, generó la afectación de zonas no comprometidas en la situación sin protección.

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

***Agradecimiento.** 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.*

LISTA DE SÍMBOLOS

- W: distancia medida desde el extremo del estribo en sentido transversal a la corriente.
- W_1 : longitud de la protección en dirección hacia aguas arriba, medida desde el eje del estribo.
- W_2 : longitud de la protección en dirección hacia aguas abajo, medida desde el eje del estribo.
- W_R : extensión de protección medida desde el extremo del estribo en dirección hacia la margen opuesta.
- y_e : profundidad máxima.
- A_e : área superficial erosionada.
- V_e : volumen de sedimento erosionado.
- F: coeficiente de forma.
- a: eje longitudinal de la hoya de erosión.
- b: eje transversal de la hoya de erosión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Schreider, M.; Zanardi, L.; Scacchi, G. y Franco, F. (1998), "Erosión por contracción y por estribo en puentes aliviadores en valle de inundación". *Revista Ingeniería del Agua*, Vol. 5, N° 2, pp. 23-34.