

Reduction of scour around circular piers

Alix T. Moncada M., Julián Aguirre-Pe, Marbella C. Moncada M.

*Centro de Investigaciones Hidráulicas y Mecánica de Fluidos (CHIDRA), Facultad de
Ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
alix@ula.ve, aguirrej@ula.ve*

Abstract

In this paper new protection methods that allow reducing the local scour around bridge circular piers are proposed. The effect produced by the placing of collars around a circular pier of 7.3 cm diameter on the scour was analyzed. Initially a concentric collar and other eccentric were used. These were placed separately around the pier at the bed level. Experiments, by device, were made, maintaining the flow conditions used in the reference experiments. Then, experiments that consisted in combining two collars, one at the bed level and other to certain distance above the bed were carried out. Moreover, the effect produced by the elevation of the eccentric collar with regard to the bed on the scour depth was studied. Subsequently, it was proposed to diminish the piers local scour using a vertical wall perpendicular to flow, upstream of the pier. For each experiment, the space among the pier and the vertical wall was varied. It was studied the effect produced by the size of the vertical wall, by varying the width. For each experiment, the scoured bed profile was measured. This allowed determining the maximum scour depth. It was found that devices employed reduce reasonably well the local scour depth.

Keywords: scour at bridge circular piers, scour holes, reduction of local scour, collar and vertical wall as devices for scour protection.

Reducción de la socavación alrededor de pilas circulares

Resumen

En este trabajo se proponen nuevos métodos de protección que permiten reducir la socavación local alrededor de pilas circulares de puentes. Se analizó el efecto producido por la colocación de aros alrededor de una pila circular de 7.3 cm de diámetro sobre la socavación. Inicialmente se usó un aro concéntrico y otro excéntrico. Éstos se colocaron por separado alrededor de la pila y a nivel del fondo. Se hicieron experimentos, por dispositivo, manteniendo las condiciones de flujo usadas en los experimentos de referencia. Luego, se realizaron experimentos que consistieron en combinar dos aros, uno a nivel del fondo y otro a cierta distancia por encima del fondo. Además, se estudió el efecto que produce la elevación del aro excéntrico respecto al fondo sobre la profundidad de socavación. Posteriormente, se propone disminuir la socavación local en pilas empleando una pantalla perpendicular al flujo, aguas arriba de la pila. Se varió, para cada experimento, la separación entre la pila y la pantalla. Se estudió el efecto producido por el tamaño de la pantalla variando el ancho. Para cada experimento se midió el perfil del fondo erosionado, que permitió determinar la profundidad de socavación máxima. Se obtuvo que los dispositivos empleados reducen razonablemente bien la profundidad de socavación.

Palabras clave: socavación en pilas circulares de puentes, fosos de socavación, reducción de la socavación local, aro y pantalla como dispositivos de protección contra la socavación.

Introducción

La socavación local es el resultado de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material del lecho y de las márgenes de un cauce, convirtiéndose en una de las causas más comunes de falla de puentes. Actualmente existe poca información respecto a la mejor vía para la protección de pilas de puentes contra la socavación local, por lo que el objetivo de este estudio es proponer nuevos métodos de protección de pilas circulares. Aun cuando las ideas básicas no son totalmente originales, este trabajo pretende ampliar el campo del conocimiento para incorporarlo al de otros investigadores. Inicialmente se emplearán como dispositivos de protección aros o collares. Primero se usará un aro concéntrico y luego uno excéntrico, éstos se colocarán alrededor de la pila a nivel del fondo. Luego se plantea utilizar varias combinaciones de dos aros. Además, se propone disminuir la socavación local en pilas mediante una pantalla que se ubicará perpendicular al flujo, aguas arriba de la pila. Se variará para cada experimento la separación entre la pila y la pantalla.

Antecedentes

Muchos investigadores han presentado diferentes métodos para la reducción de la socavación local que pueden agruparse en: dispositivos de acorazamiento y dispositivos de alteración del flujo. Maza y Sánchez [1] propusieron un método de protección que consiste en sustituir las partículas del lecho por material de un diámetro mayor, el cual es más resistente a la erosión. Breusers *et al.* [2] recomendaron el uso de cantos rodados con una velocidad de arrastre crítica V_c de dos veces la velocidad de la crecida extrema alrededor de la pila. Chiew [3] estudió los efectos de un collar, una ranura, o de una combinación de ambos, como dispositivos para controlar la profundidad de socavación. Kumar *et al.* [4] examinaron el uso de ranuras y collares en pilas para reducir la socavación. Estudiaron la eficiencia de ranuras, de diferentes longitudes y diferentes ángulos de ataque. Investigaron la reducción de la socavación debida a la colocación de collares circulares, de diferentes tamaños y a diferentes alturas. Lauchlan y Melville [5] consideraron, experimentalmente, los mecanismos de falla, los efectos de estabilidad y

nivel de colocación para el riprap en las pilas de puente. Bajo condiciones de agua clara, el riprap está sujeto al esfuerzo cortante, zarandeo, y falla de borde o de contorno. Bajo las condiciones de fondo vivo, Lauchlan y Melville [5] consideraron un cuarto mecanismo de falla. Se trata de la desestabilización de las capas de riprap que protegen las pilas por el avance de las formas de fondo cuando pasan la pila. Concluyeron que éste es el modo de falla dominante bajo condiciones de fondo vivo. Zarrati y Mashahir [6] probaron la eficiencia de collares en pilas rectangulares, en las cuales la socavación máxima se incrementa cuando el ángulo entre el flujo de aproximación y el eje de la pila aumenta. Estudiaron la eficiencia de collares en pilas rectangulares alineadas y esviadas con el flujo. Según Garde y Kothiyari [7], Levi y Luna en 1961 colocaron una pantalla en frente y aguas arriba de la pila. Con la pantalla se impide que las líneas de corriente sean alteradas por la pila, por el contrario, la alteración la produce la pantalla, provocando una deposición de material frente a la pila. Levi y Luna en 1961 concluyeron que la pantalla más eficiente es la rectangular. Moncada *et al.* [8] analizaron el efecto producido por un aro alrededor de la pila y la perforación de una ranura como dispositivos para controlar la profundidad de socavación.

Instalación y procedimiento experimental

Se empleó un canal horizontal de 8 m de largo, 0,50 m de ancho y 0,50 m de alto. Se usó arena uniforme con $d_{50} = 1,4$ mm. Se utilizó una pila circular de diámetro $D = 7,3$ cm. En la etapa inicial, la pila sin protección se colocaba en la parte central de la sección de estudio, la cual se rellenaba con el material no cohesivo. Luego se enrasaba y se compactaba hasta obtener una superficie uniforme. Seguidamente, se abría lentamente la llave hasta alcanzar la profundidad del flujo Y_n deseada, la cual se controlaba con el limnómetro y la compuerta de aguas abajo. El tiempo de duración de cada uno de los experimentos fue de 5 horas. Finalizado el tiempo indicado, se cerraba la llave. Se esperaba hasta que escurriera el agua y se procedía a medir el foso de socavación aguas arriba de la pila, obteniéndose, para cada distancia horizontal $x = 1$ cm, una profundidad

de socavación. En la Figura 1 se muestra el foso de socavación al pie de la pila.

El procedimiento indicado se repitió con diferentes profundidades del flujo empleando la pila sin protección, con el fin de obtener datos de referencia que permitieran comparar los resultados con los obtenidos mediante varios métodos propuestos para disminuir la profundidad de socavación.

Protección de la pila contra la socavación local empleando aros

Aro concéntrico a nivel del fondo. Se empleó, como dispositivo de protección, un aro concéntrico, de 1 mm de espesor, con diámetro $2D$. El aro se colocaba alrededor de la pila, a nivel del fondo, para disminuir la profundidad de socavación. Se realizaron cuatro experimentos.

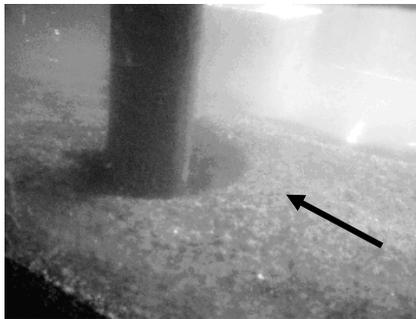
Aro excéntrico a nivel del fondo. Se realizaron cuatro ensayos empleando un aro excéntrico, de 1 mm de espesor, con diámetro $2D$. El aro se colocaba alrededor de la pila, a nivel del fondo,

ubicado excéntricamente de forma tal que la zona deflectora quedara en la parte anterior de la pila, para reducir la profundidad de socavación local. En la Figura 2 se ilustra la ubicación de los aros alrededor de la pila. En ambos casos, se varió la profundidad del flujo Y_n y el caudal Q .

Combinación de dos aros. En esta fase experimental, los ensayos se realizaron con una profundidad del flujo constante. Se procedió a realizar combinaciones entre dos aros, de diámetro $2D$, colocados alrededor de la pila y a diferente elevación respecto al fondo, para establecer cuál combinación era la más favorable en la reducción de la socavación. Se realizaron tres ensayos:

Combinación de dos aros concéntricos. Se realizó un ensayo ubicando un aro en el fondo y otro separado del fondo. La Figura 3 muestra la colocación de los aros alrededor de la pila.

Combinación de dos aros, uno concéntrico y otro excéntrico. Primero se ubicó un aro concéntrico a nivel del fondo y otro excéntrico separado del fondo. Luego se realizó un ensayo que



(a)

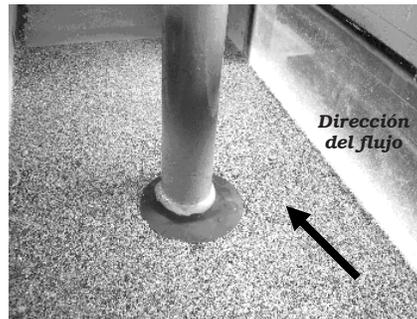


(b)

Figura 1. (a) Desarrollo del fenómeno de socavación al pie de la pila y (b) Foso de socavación.



(a)



(b)

Figura 2. (a) Pila con aro concéntrico a nivel del fondo y (b) Pila con aro excéntrico en el fondo.

consistió en colocar un aro excéntrico a nivel del fondo y otro concéntrico separado del fondo. En la Figura 4 se muestra la ubicación de los aros alrededor de la pila.

Posteriormente, se estudió el efecto producido por la ubicación del aro excéntrico sobre la profundidad de socavación. Se realizaron 5 experimentos. En cada caso, se varió la elevación del aro excéntrico respecto al fondo Y_d . Se mantuvo una profundidad Y_n constante. En la Figura 5 se presenta la ubicación del aro excéntrico respecto al fondo y el foso de socavación típico.

Protección de la pila contra la socavación local empleando una pantalla

Inicialmente, se utilizó como dispositivo de protección una pantalla (placa vertical) de 1 mm de espesor, 1,0 D de ancho, y $1/3 Y_n$ de alto,

respecto al fondo. La pantalla se ubicó de forma perpendicular al flujo, colocada aguas arriba de la pila, y variando para cada experimento la separación entre la pila y la pantalla. Se mantuvo una profundidad del flujo constante. Se realizaron 7 ensayos. La posición de la pantalla aguas arriba de la pila se ilustra en la Figura 6.

Posteriormente, para estudiar el efecto originado por el ancho de la pantalla A_p sobre el desarrollo del foso de socavación, se realizaron 5 experimentos, usando pantallas de diferente ancho, manteniendo, para cada experimento, una separación constante entre la pila y la pantalla.

Presentación y análisis de resultados

Inicialmente se llevaron a cabo 4 experimentos de referencia (pila sin protección) con profun-



(a)



(b)

Figura 3. (a) Colocación de los aros alrededor de la pila y (b) Inicio del fenómeno de socavación.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Ubicación de un aro concéntrico a nivel del fondo y otro excéntrico separado del fondo y (b) Un aro excéntrico a nivel del fondo y otro concéntrico separado del fondo.



Figura 5. Ubicación del aro excéntrico a una cierta distancia del fondo y foso de socavación.

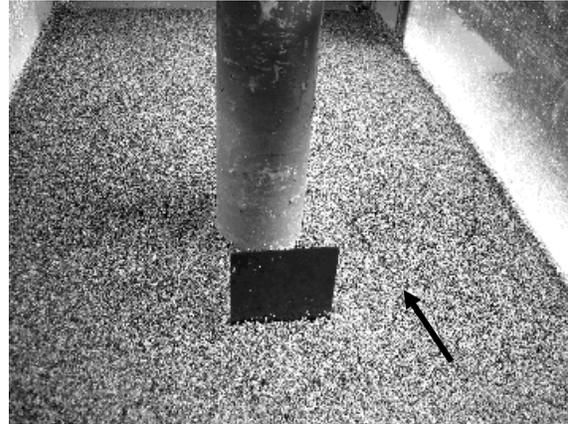
didad del flujo Y_n variable entre 12,0 y 18,4 cm, y caudal Q entre 0,01884 y 0,03605 m³/seg. Los perfiles de socavación aguas arriba de la pila, sin protección, muestran que cuando la profundidad del flujo Y_n aumenta, la profundidad de socavación y_s también se incrementa, como se muestra en la Figura 7. El número de Froude F varió entre 0,29 y 0,32.

Estudio experimental usando aros de diámetro 2D

Con la finalidad de estudiar el efecto producido por un aro concéntrico alrededor de la pila, ubicado en el fondo ($Y_d = 0$ cm), se realizaron 4 experimentos con profundidad Y_n variable entre 12,0 y 18,4 cm y caudal Q entre 0,01884 y 0,03605 m³/seg. En la Figura 8 se observa que los perfiles de socavación desarrollados son de menor tamaño. La profundidad de socavación se reduce en un 50% en comparación con la que se produce cuando la pila no se protege con el aro. Para analizar el efecto producido por la colocación de un aro excéntrico, ubicado en $Y_d = 0$ cm, se realizaron 4 experimentos con Y_n entre 12,0 y 18,4 cm y Q entre 0,01884 y 0,03605 m³/seg.

En la Figura 9 se muestra que los perfiles de socavación son menores que los que se generan con un aro concéntrico a nivel del fondo. La profundidad de socavación se reduce casi totalmente, en comparación con la que se produce en la pila sin protección.

A manera de comparación, en la Figura 10 se muestran los perfiles de socavación desarro-



(a)



(b)

Figura 6. (a) Pantalla ubicada aguas arriba de la pila y (b) Foso de socavación característico.

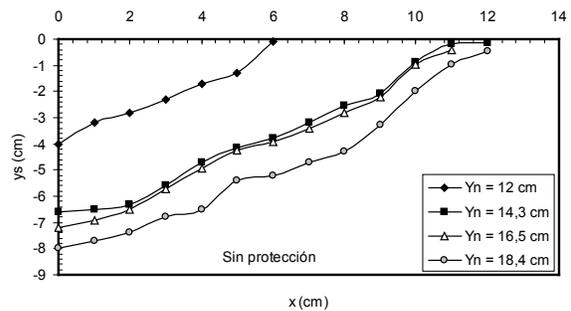


Figura 7. Perfiles de socavación, para diferentes profundidades Y_n , en pila sin protección.

llados utilizando aros a nivel del fondo, para $Y_n = 18,4$ cm. Se observa que al utilizar un aro concéntrico la socavación en la pila se reduce casi a la mitad, mientras que, con el aro excéntrico la socavación tiende a disminuir completamente.

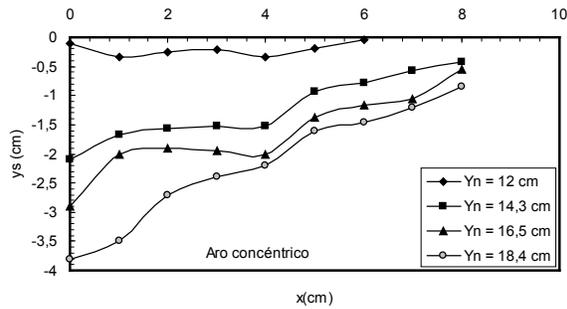


Figura 8. Perfiles de socavación desarrollados con un aro concéntrico en el fondo.

Para analizar el efecto producido por la colocación de dos aros alrededor de la pila, se realizaron 3 ensayos. El primero consistió en colocar dos aros concéntricos, uno a nivel del fondo y otro en $Y_d = 9$ cm. En el segundo ensayo se ubicó un aro concéntrico a nivel del fondo y otro excéntrico en $Y_d = 9$ cm, y en el tercero se combinó un aro excéntrico en el fondo y otro concéntrico en $Y_d = 9$ cm. En la Figura 11 se muestran los perfiles de socavación, para $Y_n = 18,4$ cm.

Se observa que la combinación de un aro excéntrico a nivel del fondo y otro concéntrico en $Y_d = 9$ cm es la que alcanza mayor efectividad. Para este caso, la profundidad de socavación disminuye en gran medida, resultando ser la combinación más favorable en la disminución de la socavación. Así, usando aros como dispositivos de protección, se concluye que éste es el método que reduce la profundidad de socavación máxima Y_{smax} , casi en su totalidad. Además, se obtiene que el empleo de un aro excéntrico a nivel del fondo resulta más efectivo que utilizar un aro centrado, o aún que combinando dos aros concéntricos respecto al eje de la pila.

Se estudió el efecto producido por la elevación del aro excéntrico respecto al fondo Y_d . Se realizaron 5 experimentos, para $Y_d = 0, 4, 8, 2$ y 16 cm e $Y_n = 18,4$ cm. La Figura 12 presenta los perfiles de socavación variando la posición del aro excéntrico respecto al fondo.

La Figura 13 muestra que, para $Y_n = 18,4$ cm, la profundidad de socavación se reduce considerablemente cuando el aro se ubica en $Y_d = 0$ cm. Esta posición resulta ser la óptima. Se observa que la reducción en la profundidad de socavación es también considerable cuando el aro se ubica en $Y_d = 4$ cm, en comparación con los valores obteni-

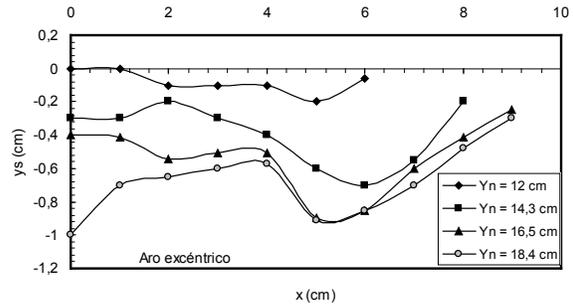


Figura 9. Perfiles de socavación desarrollados con un aro excéntrico en el fondo.

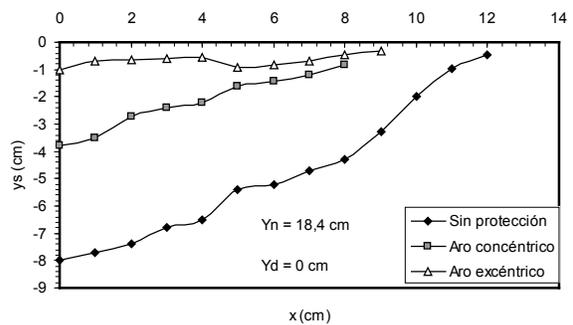


Figura 10. Perfiles de socavación desarrollados usando aros como dispositivos de protección.

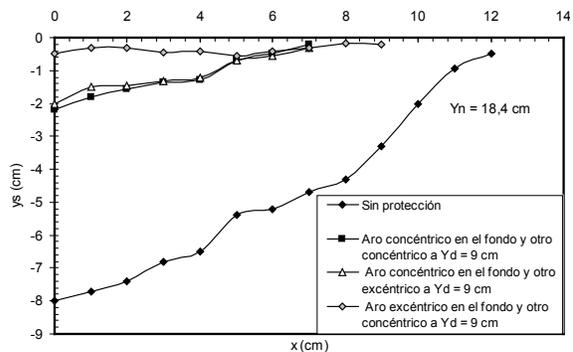


Figura 11. Perfiles de socavación desarrollados con las diferentes combinaciones de collares.

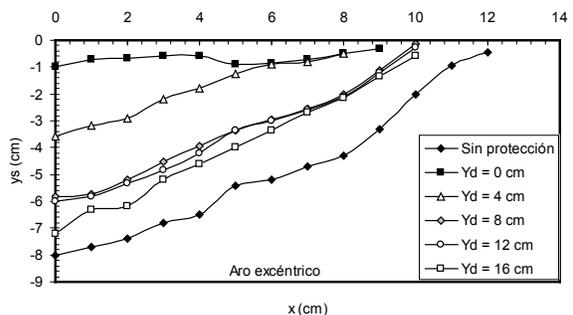


Figura 12. Perfiles de socavación desarrollados, para $Y_n = 18,4$ cm, variando Y_d .

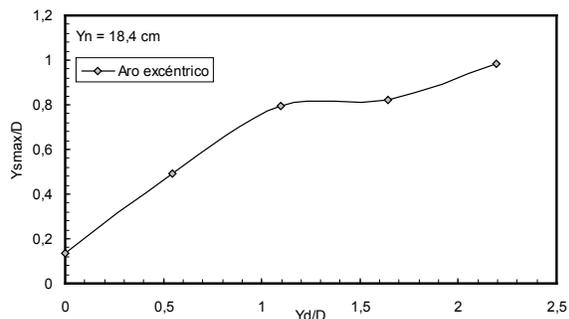


Figura 13. Variación de Y_{smax}/D con Y_d/D .

dos cuando el aro se ubica en $Y_d = 12$ y 16 cm. Se obtiene que la profundidad de socavación máxima alrededor de la pila Y_{smax} se incrementa cuando la elevación del aro Y_d aumenta.

Protección de la pila empleando una pantalla

Se analizó el efecto que produce una pantalla, de ancho 1.0D, la cual se ubicó aguas arriba de la pila y perpendicular al flujo. Se empleó la profundidad del flujo $Y_n = 18,4$ cm. Se realizaron 7 ensayos variando la separación entre la pila y la pantalla L_s , la cual fue de 0,5D, 0,75D, 1,0D, 1,25D, 1,5D, 1,75D y 2D. La Figura 14 presenta los perfiles de socavación obtenidos.

En la Figura 15 se ilustra la variación de Y_{smax} con la separación entre la pila y la pantalla L_s . Se obtiene que a medida que la separación entre la pantalla y la pila L_s aumenta, la socavación máxima Y_{smax} disminuye. Se encontró que la separación óptima entre la pila y la pantalla era 2D.

Adicionalmente, se estudió el efecto producido por el ancho de la pantalla A_p sobre el foso de socavación, manteniendo una separación entre la pantalla y la pila de 2D. Se realizaron 5 experimentos con pantallas de ancho 1.0D, 1,137D, 1,274D, 1,411D y 1,548D. Estas placas se ubicaron perpendiculares al flujo. Se mantuvo la profundidad $Y_n = 18,4$ cm. La Figura 16 presenta los perfiles de socavación que se obtienen al usar pantallas de ancho diferente.

En la Figura 17 se ilustra la relación entre Y_{smax} y el ancho de la pantalla A_p . Se observa que a medida que A_p aumenta la profundidad de socavación máxima Y_{smax} disminuye.

A manera de comparación, en la Figura 18 se presenta la efectividad, según Moncada *et al.*

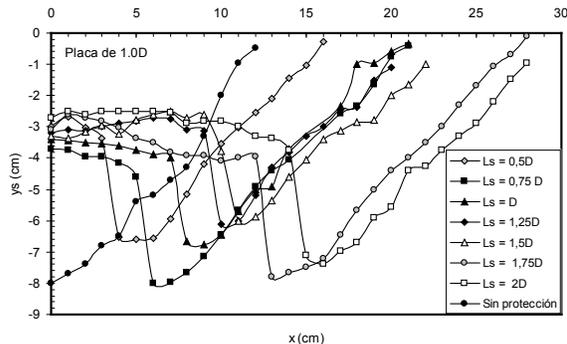


Figura 14. Perfiles de socavación desarrollados variando la separación entre la pila y la pantalla.

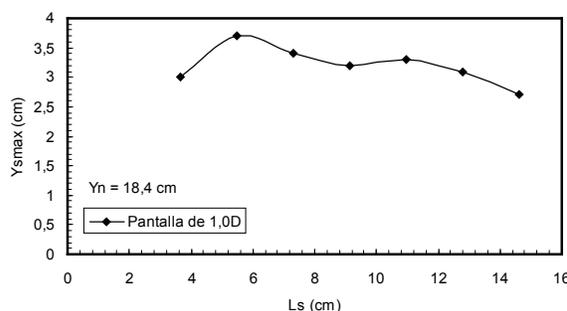


Figura 15. Relación entre Y_{smax} y la ubicación de la pantalla respecto a la pila L_s .

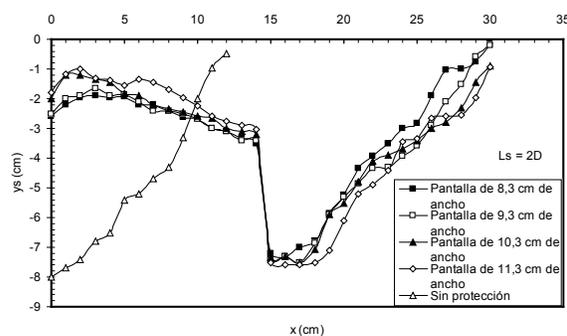


Figura 16. Perfiles de socavación variando el ancho de la pantalla, manteniendo L_s constante.

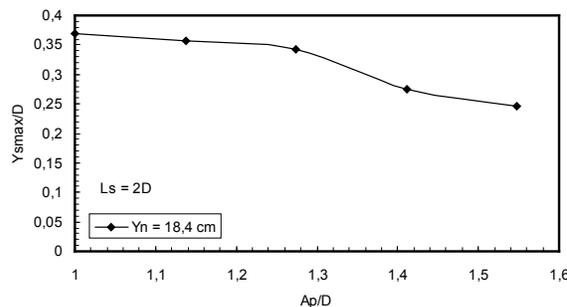


Figura 17. Relación entre Y_{smax} y el ancho de la pantalla A_p , manteniendo L_s constante.

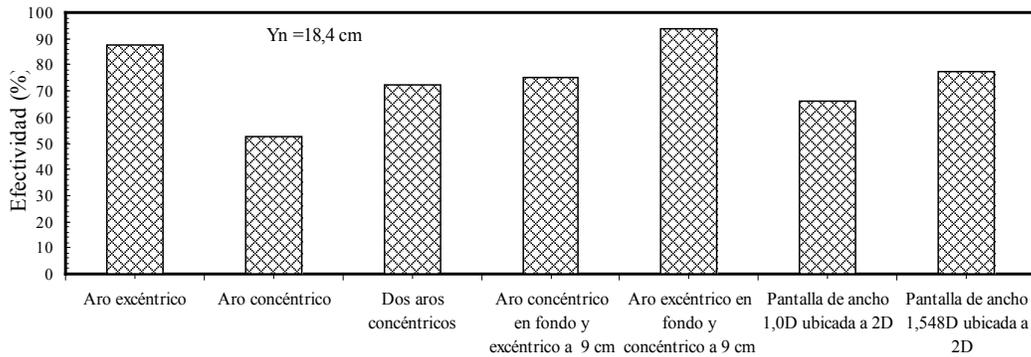


Figura 18. Comparación entre los dispositivos propuestos para reducir la socavación.

[8], alcanzada por los métodos de protección propuestos para reducir la socavación en pilas, usando aros y pantallas. Se observa que todos los dispositivos brindan una efectividad considerable en la disminución de la socavación, pero el método que logra la mayor efectividad consiste en la colocación de dos aros, uno excéntrico en el fondo y otro concéntrico en $Y_d = 9$ cm, el cual ofrece una efectividad de 93,75%. También se observa que al ubicar una pantalla de ancho 1,548D, a 2D aguas arriba de la pila y perpendicular al flujo, se alcanza una efectividad de 77,5%.

Conclusiones

1. Al emplear un aro concéntrico, de diámetro 2D ubicado en $Y_d = 0$ cm, la profundidad de socavación y_s se reduce en un 50% en comparación con la que se produce cuando no se protege con el aro. Sin embargo, al emplear un aro excéntrico, la profundidad de socavación y_s es menor que la producida con un aro concéntrico. La socavación se reduce casi totalmente, en comparación con la que se produce en una pila sin protección.

2. Empleando dos aros concéntricos, uno en $Y_d = 0$ cm y otro en $Y_d = 9$ cm, se alcanza una efectividad de 72,5%. Con la combinación de un aro excéntrico en el fondo y otro concéntrico en $Y_d = 9$ cm se logra la mayor efectividad de 93,75%. Con esta combinación se reduce la socavación casi en su totalidad. La profundidad de socavación disminuye en gran medida.

3. Al estudiar el efecto producido por la elevación del aro excéntrico respecto al fondo, se encuentra que la profundidad de socavación se reduce considerablemente cuando el aro se ubica en el fondo. Esta posición resulta ser la óptima. Se

obtiene que la profundidad de socavación máxima Y_{smax} se incrementa cuando Y_d aumenta.

4. Se obtiene que a medida que la pantalla se separa de la pila la efectividad se incrementa.

5. Se encuentra que a mayor ancho de la pantalla la efectividad es mayor.

Los resultados reflejan la tendencia del comportamiento del suelo en las cercanías de una pila, pero éstos no pueden ser extrapolados para usarlos en proyectos de diseños de las pilas en todos los casos reales. Por lo tanto, las conclusiones obtenidas aplican exclusivamente para las condiciones de ensayo consideradas en el presente estudio. Estas pueden variar bajo condiciones de ensayo diferentes, ya que la relación entre el diámetro de la pila y el ancho del canal, así como la granulometría y la configuración de los aros concéntricos y excéntricos, pueden tener gran influencia en los resultados de socavación.

Agradecimiento

Se agradece al CDCHT de la Universidad de los Andes por el apoyo financiero brindado a través del programa CVI-ADG-I-07-95-02.

Referencias bibliográficas

1. Maza, A. J. y Sánchez, J. L.: "Socavación y Protección al Pie de Pilas de Puente". II Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Caracas, Venezuela, Vol. 1 (1966), 91-107.
2. Breusers, H. N. C., Nicollet, G. y Shen, H. W.: "Local Scour Cylindrical Piers". Journal of Hydraulic Research, Vol. 15, No. 3 (1977), 211-252.

3. Chiew, Y. M.: "Scour Protection at Bridge Piers". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No. 9 (1992), 1260-1269.
4. Kumar, V., Ranja Raju, K. G. y Vittal, N.: "Reduction of Local Scour Around Bridge Piers Using Slots and Collars". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 125, No. 12 (1999), 302-1305.
5. Lauchlan, C. S. y Melville, B. W.: "Riprap Protection at Bridge Piers". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 127, No. 5 (2001), 412-418.
6. Zarrati, A. y Mashahir, M. B.: "Application of Collar to Control Scouring Around Rectangular Bridge Piers". *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 42, No. 1 (2004), 97-103.
7. Garde, R. J. y Kothiyari, U. C.: "Scour Around Bridge Piers". *PINSA* 64, No. 4 (1998), 569-580. Impreso en India.
8. Moncada, A. T., Aguirre Pe, J., Bolívar, J. y Flores, E.: "Estudio Experimental Sobre Protección Contra la Socavación en Pilas Circulares". *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia*, Vol. 30, No. 2 (2007), 157-169.

Recibido el 7 de Enero de 2014

En forma revisada el 26 de Enero de 2015