

**SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA**

**XI CONGRESO CHILENO**

**SOCAVACION LOCAL CON ACORAZAMIENTO.  
EFECTO DE LA FORMA DE LA SECCION DE LAS PILAS**

Luis Ayala R.  
Francisco Grandón G.<sup>1</sup>

**RESUMEN**

En el presente trabajo se da a conocer los antecedentes experimentales obtenidos en un estudio sobre el comportamiento de la fosa de socavación que se genera alrededor de pilas de sección rectangular alineadas con el escurrimiento, cuando el lecho en que se fundan está constituido por material granular de granulometría gruesa y extendida, lo que da origen a fenómenos de acorazamiento distintos en el lecho y en la fosa.

A partir del análisis de los datos de esta investigación y de otras desarrolladas anteriormente con pilas de sección circular se determina el efecto que tiene sobre la socavación, la forma de la sección tanto en lo relativo a la profundidad y extensión de la fosa como al acorazamiento del material dentro de esta última. Se propone un par de relaciones para predecir la socavación máxima y diámetro medio de acorazamiento de la fosa para pilas de sección rectangular que involucran a las mismas variables adimensionales anteriormente propuestas para pilas de sección circular.

---

1 Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.  
2 Ayudante de Investigación, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

## Introducción

A partir del año 1980 se han venido reportando los resultados de diversas investigaciones llevadas a cabo en el Centro de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile, cuyo objetivo ha sido estudiar y cuantificar el fenómeno de socavación local al pie de pilas fundadas en un lecho fluvial de granulometría gruesa (Ayala y Martín, 1980). En años recientes la investigación ha sido orientada a la obtención de información experimental más específica relacionada con el comportamiento de lechos de granulometría gruesa y extendida, en donde la fosa de socavación que se forma alrededor de una pila queda condicionada también por el acorazamiento del lecho (Ayala y Lillo 1989; Ayala y Balbontin, 1991, 1992 y 1993).

Este tema ha recibido relativamente poca atención en otras partes del mundo, salvo por parte de investigadores aislados debido a que se trata de fenómenos que ocurren en ríos de fuerte pendiente, propios de zonas montañosas, donde usualmente no se construyen con frecuencia obras de infraestructura vial (Raudkivi y Ettema, 1977). En nuestro país, sin embargo, el tema tiene bastante más importancia ya que es habitual tener que proyectar y construir puentes cuyas pilas se fundan en cauces constituidos por material grueso bien graduado, las que si se diseñan usando criterios de socavación de lechos arenosos (finos uniformes), resultan significativamente sobredimensionadas y por lo tanto, innecesariamente costosas.

En el presente trabajo se entrega y analiza antecedentes experimentales que extienden y complementan aquellos presentados en artículos anteriores, y que se refieren en particular a la influencia que tiene la forma de la sección de la pila en la profundidad y extensión de la fosa de socavación, cuando el fenómeno va acompañado de acorazamiento. No existen estudios sistemáticos sobre el efecto que tiene la forma de la sección sobre la socavación local en lechos gruesos, lo que ha obligado hasta ahora a utilizar en aplicaciones de ingeniería, aquellos antecedentes que provienen de estudios realizados en lechos finos como el clásico estudio de Laursen y Toch (1956) o complementaciones posteriores de él (Breusers y Raudkivi, 1991; Ayala y Kerrigan, 1989).

La investigación que se reporta aquí ha permitido relacionar estas variables con el proceso de acorazamiento del lecho y de la fosa, de modo que los resultados presentados permiten disponer de alguna información para un diseño más realista de la fundación de pilas en lechos granulares gruesos bien graduados.

### Análisis Dimensional de la Socavación

Las características del fenómeno que interesan normalmente son la profundidad y extensión en planta de la fosa de socavación, las que son función de los parámetros característicos del escurrimiento, del sedimento y de la pila:

$$S = F(\rho_s - \rho, \rho, \mu, D, \sigma_G, h, v, g, b, l) \quad (1)$$

donde  $S$  representa una variable de socavación específica (profundidad o extensión de la fosa),  $\rho_s - \rho$  y  $\rho$  son la densidad sumergida de los sólidos y del agua respectivamente,  $\mu$  la viscosidad dinámica,  $D$  el diámetro representativo del sedimento,  $\sigma_G$  la desviación estándar de la distribución granulométrica del sedimento,  $h$  y  $v$  la altura y velocidad del escurrimiento no perturbado por la pila, respectivamente,  $g$  la aceleración de gravedad,  $b$  y  $l$  el ancho y el largo de la sección de la pila (rectangular), respectivamente. La versión adimensional de esta ecuación para el caso en que los efectos viscosos se suponen despreciables es:

$$\frac{S}{b} = \varphi\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}, \sigma_G, \frac{h}{b}, \frac{v}{\sqrt{gD}}, \frac{b}{D}, \frac{l}{b}\right) \quad (2)$$

Esta ecuación puede expresarse en función del diámetro medio de la coraza de la fosa  $D_m$ , y si además el análisis se circunscribe al caso de un sedimento natural ( $\rho_s = \text{cte}$ ) y a una dispersión granulométrica dado ( $\sigma_G = \text{cte}$ ), la profundidad de socavación queda dada por:

$$\frac{S}{b} = \varphi\left(\frac{h}{b}, \frac{v}{\sqrt{gD_m}}, \frac{b}{D_m}, \frac{l}{b}\right) \quad (3)$$

la que es análoga a la planteada por Ayala y Balbontin (1992) para pilas de sección circular, sólo que ahora interviene un parámetro de forma de la sección ( $l/b$ ). En base a las experiencias realizadas con pilas de sección circular, estos autores obtuvieron la

siguiente ecuación que describe la socavación máxima en condiciones de "aguas limpias":

$$\frac{S}{b} = \left(\frac{h}{b}\right)^{0.1} \cdot \text{Ln}\left(3,3\left(\frac{b}{D_m}\right)^{-0.4}\right) \quad (4)$$

Dado que el tamaño medio de la coraza de la fosa  $D_m$  depende de las condiciones del escurrimiento y de las dimensiones de la pila, en la expresión anterior queda implícitamente incluido el efecto del número de Froude que aparece en la ec (3). En efecto, se puede demostrar que para una pila de sección rectangular se cumple la relación adimensional:

$$\frac{D_m}{D_{mo}} = \Phi\left(\frac{h}{b}, \frac{v}{\sqrt{gD_{mo}}}, \frac{l}{b}\right) \quad (5)$$

Para pilas de sección circular, los autores antes mencionados encontraron que la regresión que mejor se ajustaba a sus propios datos de acorazamiento de la fosa era:

$$\frac{D_m}{D_{mo}} = \left(\frac{h}{b}\right)^{-0.5} \cdot \left\{0,6\left(\frac{v}{\sqrt{gD_{mo}}}\right)^{1.52} - 0.4\right\} \quad (6)$$

expresión en la cual no interviene la razón  $l/b$ , característica de secciones rectangulares.

### Antecedentes sobre el Estudio Experimental

El estudio experimental se desarrolló en el canal de sedimento del Laboratorio de Hidráulica del Centro de Recursos Hidráulicos, que consiste en un canal de fondo móvil de 17.5 m de largo y 1.7 m de ancho, cuya pendiente puede variarse en el rango de 0 a 1 % alisando el lecho mediante un carro provisto de una placa alisadora la cual se hace deslizar sobre unos rieles con inclinación preestablecida. Los detalles de la instalación experimental están descritos en Ayala y Lillo (1989), y en Ayala y Balbontín (1991, 1992 y 1993).

La investigación se realizó utilizando el mismo tipo de material granular graduado empleado en las investigaciones anteriores cuyas características son:

$$D_{15} = 1.6 \text{ mm}; \quad D_{30} = 2.6 \text{ mm}; \quad D_{50} = 4.6 \text{ mm}; \quad D_{90} = 21.4 \text{ mm}; \quad D_m = 5.7 \text{ mm}$$

$$\sigma_G = \sqrt{D_{84}/D_{16}} = \sqrt{14.49/1.66} = 2.95$$

$$D_G = \sqrt{D_{16} \cdot D_{84}} = \sqrt{1.66 \cdot 14.49} = 4.9 \text{ mm}$$

Las pilas ensayadas fueron dos: una de sección cuadrada de 21 x 21 cm (razón l/b = 1) y otra de sección rectangular de 21 x 84 cm (razón l/b = 4). El ancho de sección (b = 21 cm) se eligió de modo de permitir una comparación directa con una de las pilas de sección circular ensayada por Ayala y Balbontin (1992), la que a su vez había sido comparada en dicho estudio con otra también circular y además con una serie de pilas de distintos diámetros estudiadas anteriormente por Ayala y Lillo (1989).

La mediciones de la profundidad de socavación se realizaron al pie de las pilas en cuatro puntos característicos tal como se definen en la Fig 1: dos frontales cerca de cada esquina (FD y FI) y dos laterales (D e I). Además se midió la extensión en planta de la fosa, refiriendo las distancias a las paredes de la pila de modo de tener una caracterización en la dirección frontal ( $e_f$ ) y en las direcciones transversales derecha e izquierda ( $e_o$  y  $e_i$ ), así como longitudes de la fosa paralelas a la pila por su lado derecho ( $L_D$ ) e izquierdo ( $L_I$ ).

Con el fin de facilitar la comparación entre pilas de sección transversal rectangular y circular, las experiencias se realizaron imponiendo condiciones hidráulicas similares a las empleadas en las investigaciones anteriores: pendiente del lecho única igual a 0.5% y un rango de caudales comprendido entre 20 y 140 lt/s, lo que se traduce en las condiciones de escurrimiento medias que se resumen en la Tabla 1. En dicha tabla las variables se definen como sigue Q: caudal; h: altura media de escurrimiento; v: velocidad media de la corriente; F: número de Froude; h/b: altura relativa al ancho de la pila;  $v/v_c$ : velocidad relativa a velocidad sin acorazamiento del lecho no perturbado ( $v_c$ ), tomada esta última como velocidad crítica o de umbral de arrastre.

Para cada una de las experiencias se determinó además la granulometría de la coraza o capa superficial del lecho, para lo cual se muestreó la superficie utilizando el

muestreador de émbolo detallado en Ayala y Balbontin (1991, 1992 y 1993). El muestreo se realizó en cinco puntos del canal, incluyendo en ellos la sección donde posteriormente se colocó la pila a ensayar. Las condiciones hidráulicas y granulometría de la coraza del lecho se determinaron en una serie de experiencias previas, sin incorporar en ellas la pila, con el fin de hacer más expedita y confiable la toma de estos datos al evitar interferencias con la pila.

**Tabla 1 Resumen de Condiciones Hidráulicas**

Q lt/s	h m	v m/s	F	h/b	v/vc
0	0	0		0	0
20	3.42	0.34	0.59	0.16	1.70
30	4.18	0.42	0.66	0.20	2.10
40	4.87	0.48	0.69	0.23	2.40
50	5.32	0.55	0.76	0.25	2.75
60	6.09	0.58	0.75	0.29	2.90
70	6.77	0.61	0.75	0.32	3.05
80	7.50	0.63	0.73	0.36	3.15
90	8.13	0.65	0.73	0.39	3.25
100	8.51	0.69	0.76	0.41	3.45
110	9.09	0.71	0.75	0.43	3.55
120	9.46	0.75	0.78	0.45	3.75
130	10.13	0.75	0.75	0.48	3.75
140	10.64	0.77	0.75	0.51	3.85

Durante los ensayos con pila, se hizo la medición de las variables de socavación y acorazamiento de la fosa únicamente, pero se tuvo el cuidado de verificar las condiciones hidráulicas de modo de hacerlas coincidir con las de las experiencias previas.

### **Evidencia Experimental Básica**

Los datos obtenidos en el estudio experimental aportan información original sobre algunos aspectos específicos de la socavación de pilas de sección rectangular que puede ser confrontada con aquella de sección circular proveniente de estudios anteriores, cuando por efecto de la graduación del sedimento el lecho y la fosa se acorazan. Por razones de limitación de espacio, en este trabajo se seleccionó sólo un grupo de datos del conjunto total disponible, para ser presentado y analizado como evidencia experimental básica referente a la influencia que tiene la forma de la sección sobre las dimensiones y forma de la fosa de socavación.

Dado que los ensayos se realizaron en condiciones de "aguas limpias", es decir, sin sobrepasar el umbral de arrastre en el lecho no perturbado, tanto las variables de socavación como las de acorazamiento resultan función de la velocidad media del escurrimiento, tal como lo ha demostrado el análisis dimensional del fenómeno presentado en un punto anterior. Por tal motivo, se consideró más ilustrativo presentar la información básica en función de esta variable de modo de visualizar en qué medida es posible alcanzar en un lecho graduado, una condición de escurrimiento para la cual la socavación ya no depende más de la velocidad. Hay que recordar que para lechos arenosos (finos), la máxima socavación se alcanza aproximadamente cuando comienza el transporte generalizado en el lecho; sin embargo, tal condición está vinculada al tamaño del sedimento constitutivo del lecho (uniforme) y en consecuencia puede establecerse sin gran incertidumbre ya que la uniformidad de la granulometría así lo permite. En un lecho de material graduado, en cambio, el umbral de movimiento depende de la fracción granulométrica que se considere y además, del grado de acorazamiento producido en el lecho a medida que la velocidad aumenta.

Como una forma de dar más generalidad a la información básica obtenida, se estimó conveniente presentar los datos en forma adimensional, refiriendo cada variable de interés a la razón entre la velocidad media y la velocidad crítica ( $v/v_c$ ). Esta última corresponde a la velocidad para la cual no se produjo movimiento alguno de ninguna fracción granulométrica en el lecho no perturbado, lo que ocurre cuando  $v_c = 0,2$  m/s

#### **a) Socavación máxima**

La socavación máxima corresponde a la mayor profundidad de socavación medida en los distintos puntos situados alrededor de la cara frontal y caras laterales de la pila. Este valor máximo se obtuvo después de promediar los dos valores frontales y los dos laterales, de modo que corresponde al máximo entre ambos promedios. En general se constató que la máxima socavación corresponde a la cara frontal y que sólo para velocidades muy bajas, el máximo ocurre en las caras laterales.

En la Fig 2 se muestra los resultados de la socavación máxima adimensionalizada tomando como referencia el ancho de sección de la pila, en función

de la razón de velocidades  $v/v_c$ . Se ha diferenciado en ella los datos de la sección cuadrada ( $l/b = 1$ ) de aquellos de la sección rectangular ( $l/b = 4$ ), y se ha agregado como referencia los resultados obtenidos anteriormente para pilas de sección circular. Se aprecia en todos los casos una tendencia creciente de la socavación con la velocidad. Para valores de  $v/v_c > 3.5$  el crecimiento parece ir reduciéndose lo que da la idea, que superado un cierto límite de velocidad, se alcanzaría un valor máximo de la razón  $s_{\max}/b$  como en lechos finos. También se advierte que la sección rectangular de  $l/b = 4$  es la de mayor socavación relativa, si se compara con la de sección cuadrada de  $l/b = 1$  y con la de sección circular, aunque con la segunda la diferencia es menos importante.

#### **b) Socavaciones y Angulos Frontales y Laterales de la Fosa**

Para formarse una idea de las características de la fosa de socavación, en las Figs 3, 4 y 5 se muestra respectivamente las razones de socavación frontal a socavación lateral, de socavación frontal a extensión frontal y de socavación lateral a extensión lateral en función de la razón de velocidad  $v/v_c$ . En todas estas figuras se ha identificado los datos experimentales con los mismos símbolos de la Fig 2 según correspondan a pilas de sección cuadrada de  $l/b = 4$ , de sección rectangular de  $l/b = 1$  o bien de sección circular.

La razón entre socavaciones frontal y lateral ( $s_f/s_l$ ) que aparece en la Fig 3 muestra que en general frente a la cara frontal tiende a producirse una profundidad mayor que frente a las caras laterales en las secciones rectangulares, cuando se supera una velocidad del orden de 2.5 veces la velocidad crítica ( $v/v_c > 2.5$ ). La pila de  $l/b = 4$  tiende a mostrar mayores razones que su homóloga de  $l/b = 1$ . La sección circular, por su parte, tiende a alcanzar más gradualmente una condición similar a las pila de sección rectangular, estando en general la razón  $s_f/s_l$  siempre por debajo de ellas y más cercana a la unidad.

Las Figs 4 y 5 muestran cómo cambia el ángulo de inclinación de la fosa en la dirección del flujo y transversal a éste, respectivamente. Mientras el primero de estos ángulos va creciendo gradualmente con la velocidad y más o menos independiente de

la forma de la sección de pila, tendiendo hacia el máximo dado por el ángulo de reposo del material ( $\tan\phi=0.55$  a  $0.6$ ;  $\phi=29^\circ$  a  $31^\circ$ ), el ángulo lateral se aprecia relativamente más constante ubicándose en el entorno de  $\tan\alpha=0.2$  a  $0.35$ , es decir,  $\alpha=11^\circ$  a  $19^\circ$  para las mayores velocidades ensayadas. De acuerdo con todos estos antecedentes, la fosa de socavación en el entorno de pilas de sección rectangular tiende a caracterizarse por una mayor profundidad frente a la cara frontal, comparada con las caras laterales la cual va asociada a una inclinación de la fosa que se va aproximando al ángulo de reposo del material a medida que aumenta la velocidad del flujo. En las pilas de sección circular, las profundidades frontales y laterales de socavación son más parecidas entre si, pero las inclinaciones frontales y laterales de la fosa son similares a las de sección rectangular. Debido a que a igualdad de condiciones las profundidades máximas de socavación son mayores en una pila de sección rectangular que en una de sección circular (Fig 2) se concluye que las extensiones en planta de las fosas respectivas son también mayores en el primer tipo de sección comparadas con las del último tipo.

### c) Acorazamiento de la Fosa

Otro aspecto que se ha considerado de interés describir es el relativo al acorazamiento que experimenta el material del lecho en el entorno de la pila, dentro de la fosa de socavación. En la Fig 6 se ha graficado la razón entre el diámetro medio de la coraza de la fosa (promedio de muestras tomadas en distintos puntos) y el diámetro medio del material original constitutivo del lecho, en función de la razón  $v/v_c$ .

Estos datos muestran que la coraza que se forma en la fosa se va engrosando paulatinamente con la velocidad y que dicho engrosamiento tiende a hacerse más significativo en la pila de sección cuadrada comparado con la rectangular y circular. Además se percibe que se tiende a alcanzar un límite superior pasado un cierto valor de la razón  $v/v_c$ . Ello es concordante, al menos cualitativamente con la evolución de la socavación máxima mostrada en la Fig 2.

### Predicción de la Socavación Máxima y del Acorazamiento de la Fosa

De acuerdo con lo indicado por la ec. (3) y a lo encontrado para secciones

circulares, la profundidad máxima de socavación alrededor de una pila de sección rectangular puede expresarse adimensionalmente sólo en función de la altura relativa  $h/b$  y de la razón  $b/D_m$ , si se acepta que el diámetro medio de la coraza formada dentro de la fosa  $D_m$ , incluye implícitamente el efecto de la velocidad de la corriente. La Fig 2 demuestra que la socavación máxima depende efectivamente de la velocidad, razón por la cual esta variable no puede ser omitida del análisis.

Por otra parte, dado que la evidencia experimental básica presentada señala una clara dependencia de la socavación máxima con la forma de la sección de la pila, cabe esperar que una relación como la propuesta para secciones circulares dada por la ec (4), deba ser modificada para tomar en cuenta este efecto. Con el objeto de determinar el tipo de ecuaciones que sería aplicable a pilas de sección rectangular, se ha graficado en la Fig 7 los datos experimentales disponibles llevando en ordenadas la razón  $s_{max}/b$  y en abscisas el parámetro adimensional  $(h/b)^{0.1} \cdot \text{Ln} (3.3 (b/D_m)^{-0.4})$ , que son los mismos empleados para el análisis de las secciones circulares. Denominando:

$$Y = \frac{s_{max}}{b}; \quad X = \left(\frac{h}{b}\right)^{0.1} \text{Ln} \left(3.3 \left(\frac{b}{D_m}\right)^{-0.4}\right) \quad (9)$$

para pilas de sección circular se cumple:

$$Y = X \quad (10)$$

La información de la Fig 7 permite establecer que para pilas de sección rectangular y cuadrada se cumplirían las siguientes ecuaciones si se considera el rango  $Y \geq 0.2$ :

Pilas de sección cuadrada ( $l/b = 1$ ):

$$Y = X + 0.18 \quad (11)$$

Pilas de sección rectangular ( $l/b = 4$ ):

$$Y = 3.18 \cdot X \quad (12)$$

La razón  $l/b=4$  puede considerarse representativa de cualquier sección rectangular no-cuadrada de  $l/b \geq 2$ , según lo estudiado por Ayala, Niño y Kerrigan (1989). En efecto, estos autores analizaron el comportamiento de pilas de sección rectangular fundadas en un lecho arenoso y orientadas con la dirección del escurrimiento, encontrando que para razones  $l/b \geq 2$  la socavación máxima se hace independiente de esta razón.

En cuanto al acorazamiento que experimenta el lecho dentro de la fosa de socavación, si se emplea un procedimiento similar al descrito anteriormente para la socavación máxima, pero haciendo uso de la relación adimensional dada por la ec (5) y lo propuesto para pilas de sección circular expresado por medio de la ec (6), y definiendo:

$$Z = \left( \frac{D_m}{D_{mo}} \right) \left( \frac{h}{b} \right)^{0.5}; \quad W = 0,6 \cdot \left( \frac{v}{\sqrt{gD_{mo}}} \right)^{1.51} - 0,4 \quad (13)$$

se obtiene de lo graficado en la Fig 8 las siguientes ecuaciones que describen el diámetro medio de acorazamiento de la fosa:

Pilas sección circular:

$$Z = W \quad (14)$$

Pilas de sección cuadrada ( $l/b = 1$ ):

$$Z = W - 2,55 \quad (15)$$

Pilas de sección rectangular ( $l/b = 4$ ):

$$Z = 0,37 \cdot W \quad (16)$$

Estas expresiones permiten predecir el diámetro medio de la coraza de la fosa  $D_m$ , conocido el diámetro medio del sedimento constitutivo del lecho original  $D_{mo}$ , y la altura y velocidad media del escurrimiento  $h$  y  $v$ , respectivamente, para pilas de las formas de sección indicadas cuyas dimensiones  $b$  o  $b$  y  $l$  son también conocidas.

## **Conclusiones**

Los antecedentes presentados posibilitan establecer algunas características de la fosa de socavación producida alrededor de pilas de sección cuadrada ( $l/b = 1$ ) y rectangular ( $l/b = 4$ ), cuando éstas se encuentran fundadas en un lecho granular grueso graduado que experimenta acorazamiento, y al mismo tiempo compararlas con aquellas de sección circular definiendo de este modo la influencia que tiene la forma de la sección sobre el fenómeno.

La evidencia experimental básica indica que tanto la socavación máxima como la extensión y acorazamiento de la fosa crecen paulatinamente con la velocidad, siendo en general las magnitudes de estas variables mayores en las pilas de sección rectangular comparadas con las de sección circular.

La socavación máxima adimensionalizada con el ancho de sección y el diámetro medio del material del lecho original en las pilas de sección rectangular, aparecen correlacionados con los mismos parámetros adimensionales encontrados en estudios anteriores para pilas de sección circular, pero las ecuaciones son distintas según sea la forma de la sección que se trate.

## **Reconocimientos**

Los autores desean expresar sus reconocimientos al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile y al FONDECYT que concurrieron al financiamiento del Proyecto N° 1225/91 del cual forma parte el presente trabajo.

## **Referencias Bibliográficas**

- Ayala, L. y Balbontin, M., 1993, Cuantificación de los Procesos de Acorazamiento y de su Incidencia en la Socavación Local en Torno a Pilas, Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Pub.CRH 92-73-I.
- Ayala, L. y Balbontin, M., 1992, Dimensiones y Acorazamiento de la Fosa de Socavación al Pie de Pilas Insertas en un Lecho Granular Bien Graduado. XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Vol. 3, pp.153-163.
- Ayala, L. y Balbontin, M., 1991, Sobre el Proceso de Acorazamiento de la Fosa de Socavación en Torno a Cilindros. X Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, vol II, pp.603-618.
- Ayala, L. y Lillo, A., 1989, Socavación en Torno a Pilas Fundadas en Lechos que

Experimentan Acorazamiento. IX Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, vol II, pp.111-126.

Ayala, L. y Martín, J.M., 1980, Socavación Local al Pie de Pilas en Lechos de Granulometría Gruesa, Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Pub.CRH 80-21-l.

Ayala, L. y Niño, Y., 1987, Profundidad y Evolución de la Socavación en Torno a Pilas con Bases de Fundación Expuestas. XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, AIHR-IAHR, Sao Paulo, Brasil, vol 4, pp.203-213.

Ayala, L., Niño, Y. y Kerrigan, A., 1989, Influencia de la Forma de Sección y de la Base de Fundación sobre la Socavación Máxima al pie de Pilas. VIII Congreso Nacional de Ingeniería Hidráulica, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, Vol.I, pp.151-166.

Breusers, H.N.C. & Raudkivi, A.J., 1991, Scouring. IAHR-AIHR Hydraulic Structures Design Manual, N°2, 143 pp.

Ettema, R., 1980, Scour at Bridge Piers. School of Engineering Report N°216, Department of Civil Engineering University of Auckland, New Zealand.

Laursen, E.M. & Toch, A., 1956, Scour Around Bridge Piers and Abutments. Iowa Highway Res. Board. Bulletin N°104, 60 pp.

Raudkivi, A.J. & R.Ettema, 1977, Effect of Sediment Gradation on Clear-Water Scour. Proc. ASCE 103 (HY 10); 1209-1213.

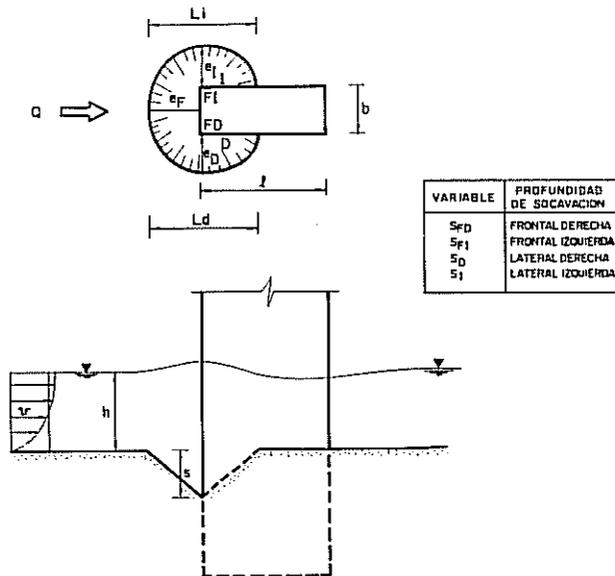


Fig.1 Esquema de Definición de Variables de Socavación

Fig.2 Socavacion Maxima - Velocidad

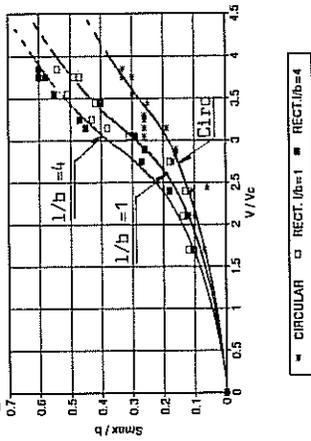


Fig.3 Socavaciones Frontales/Laterales

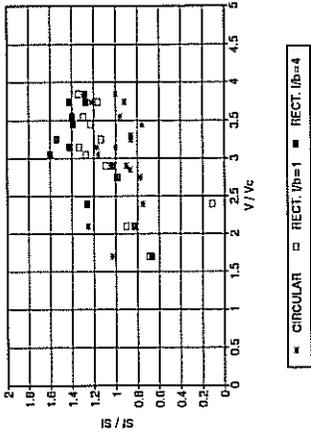


Fig.4 Angulo Frontal Fosa

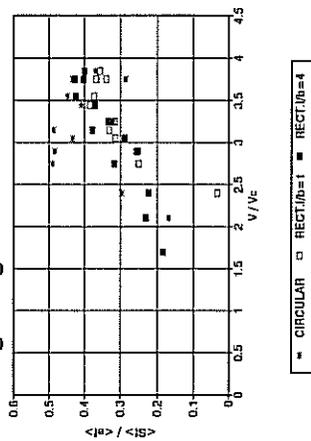


Fig.5 Angulo Lateral Fosa

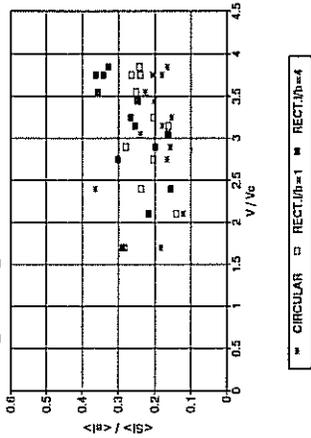


Fig.6 Diametro Coraza Fosa - Velocidad

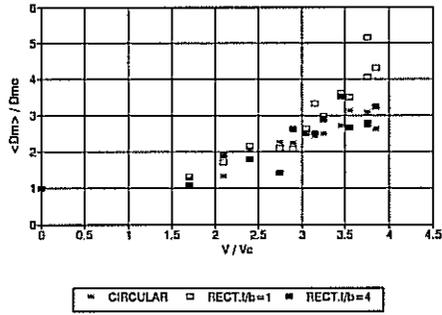


Fig.7 Socavacion Maxima Adimensional

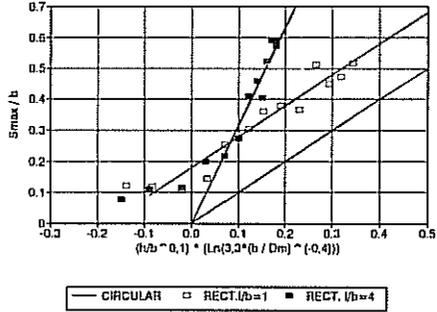


Fig.8 Diametro Adimensional de Coraza

