

ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS PARA PREDECIR LA SOCACACIÓN LOCAL EN PILAS COMPLEJAS

María Teresita Pilán, Jimena Trejo Chazarreta, Francisco Jose Pece Azar,
Mónica Teresa Mattar, Luis Alejandro Olmos

Instituto de Recursos Hídricos, FCEyT-UNSE. Av. Belgrano (S) 1912, (G4200ABT) Santiago del Estero, Argentina.
Telefax: (54-385) 450 9563. E-mail: tpilan@unse.edu.ar

Introducción

La mayoría de las pilas de los grandes puentes poseen formas complejas, lo cual dificulta la predicción de la profundidad de socavación. En el marco de este trabajo se entenderá por pila compleja a la estructura formada por tres componentes: (1) columna; (2) pila cabezal; (3) pilotes. Se sigue la definición de Sheppard (2003) y las convenciones de fundación sobre pilotes en caso IV (Melville y Coleman 2000).

La cuantificación de la socavación asociada a tales estructuras requiere de metodologías que en su concepción contemplen el efecto sobre el flujo y por lo tanto sobre el fondo que las mismas producen.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es analizar dos metodologías para predecir la socavación producida por pilas complejas en condición de agua clara, compararlas y contrastarlas con datos recopilados de la bibliografía.

Metodologías

A partir de los resultados de las experiencias desarrolladas en la Universidad de Florida y en la FHWA, Sheppard (2003) desarrollo una metodología para predecir la socavación producida por pilas complejas con el formato general que se esquematiza en la Figura 1.

Bajo la hipótesis que la socavación local total en el equilibrio se puede estimar como la suma de la socavación producida por cada componente de la estructura y que a los fines de los cálculos, cada componente puede ser reemplazada por una pila simple de sección circular con un diámetro efectivo a_* el que dependerá de la forma, del tamaño, de la ubicación y de la orientación de cada componente con respecto al flujo, Sheppard propone la siguiente metodología:

1. Dividir la pila en sus componentes: se hace notar que h_0 es la profundidad inicial del agua antes de la socavación general y de la socavación por contracción.
2. Suma de las profundidades de socavación por contracción y de socavación general: $h_1 = h_0 + (\text{socavación general} + \text{socavación por contracción})$.
3. Cálculo de la Velocidad Crítica a una profundidad promedio V_c .

$$V_c = 2.5 \cdot u_{*c} \cdot \ln\left(\frac{h_0}{2.7 \cdot z_0}\right) \quad [1]$$

4. Cálculo de la profundidad de socavación local debido a la columna: $d_{s(\text{col})}$

$$h_{1(\text{máx})} = \begin{cases} h_1 & \text{Para } h_1 \leq 2.5 \cdot a_{\text{col}} \\ 2.5 \cdot a_{\text{col}} & \text{Para } h_1 > 2.5 \cdot a_{\text{col}} \end{cases} \quad [2]$$

$$K_\alpha = \left[\frac{a_{\text{col}} \cdot \cos(\alpha) + L_{\text{col}} \cdot \sin(\alpha)}{a_{\text{col}}} \right]^{0.65} \quad [3]$$

$$a_{* \text{ col}} = K_\alpha \cdot a_{\text{col}} \cdot \exp \left\{ \begin{aligned} & -0.71 - 0.59 \cdot \left(\frac{f}{a_{\text{col}}} \right)^2 + 0.265 \cdot \left(\frac{f}{a_{\text{col}}} \right)^{2.5} \\ & -0.29 \cdot \left(\frac{f}{a_{\text{col}}} \right)^{0.5} - 1.73 \cdot \left(\frac{H_{\text{col}}}{h_{1(\text{máx})}} \right) - 2.8 \cdot \left(\frac{H_{\text{col}}}{h_{1(\text{máx})}} \right)^2 \end{aligned} \right. \quad [4]$$

$$\frac{d_{s(\text{col})}}{a_{* \text{ col}}} = 2.5 K_s f_1 \left(\frac{h_0}{a_*} \right) f_2 \left(\frac{V}{V_c} \right) f_3 \left(\frac{a_*}{d} \right) \quad [5]$$

$$f_1 \left(\frac{h_0}{a_*} \right) = \tanh \left[\left(\frac{h_0}{a_*} \right)^{0.4} \right]$$

$$f_2 \left(\frac{V}{V_c} \right) = 1 - 1.75 \left[\ln \left(\frac{V}{V_c} \right) \right]^2 \quad [6]$$

$$f_3 \left(\frac{a_*}{d} \right) = \left[\frac{a_* / d}{0.4 \cdot (a_* / d)^{1.2} + 10.6 \cdot (a_* / d)^{-0.13}} \right]$$

5. Cálculo de la Profundidad de socavación local debido al Cabezal del pilote: $d_{s(\text{pc})}$

$$h_2 = h_1 + \frac{d_{s(\text{col})}}{2} \quad [7]$$

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{h_1}{h_2} \quad [8]$$

$$a_{* \text{ pc}} = K_\alpha \cdot a_{\text{pc}} \cdot \exp \left[-2.7 + 0.5 \ln \left(\frac{E_{\text{sp}}}{h_{2(\text{máx})}} \right) - 2.8 \left(\frac{H_{\text{pc}}}{h_{2(\text{máx})}} \right)^3 + 1.76 \exp \left(-\frac{H_{\text{pc}}}{h_{2(\text{máx})}} \right) \right] \quad [9]$$

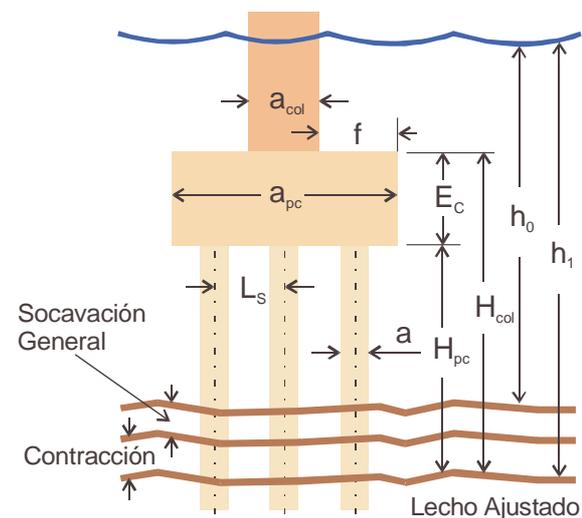


Figura 1.- Esquema de definición de Pila Compleja

La socavación producida por el elemento pila cabezal, se calculará con las ecuaciones 5 y 6. El ajuste del lecho para esta componente (h_2) se realiza sumando al tirante de partida anterior (h_1) la mitad de la socavación producida por el elemento columna ($d_{s(\text{col})}$).

6. Cálculo de la profundidad de socavación local debido al Grupo de Pilotes: $d_{s(\text{pg})}$

Se determina el coeficiente que tiene en cuenta el número de pilotes en la dirección del flujo K_m , el ancho

proyectado del las pilas y el coeficiente que tiene en cuenta el espacio entre pilotes K_{sp} . Se calcula un diámetro equivalente aproximado a_{Ap*} . Con a_{Ap*} se calcula $y_{3(max)}$ según ecuación [2], con $y_{3(max)}$ y la altura H_{pg} se calcula el coeficiente que tiene en cuenta la altura del grupo de pilotes en relación al lecho: K_h . Se calcula el diámetro equivalente final, a_* . La diferencia entre los diámetros no debe ser mayor al 10%, si esto ocurre se realiza un proceso iterativo partiendo del valor de a_* .

$$K_m \equiv \begin{cases} f_1(m) \cdot f_2 \cdot \left(\frac{L_s}{a}\right) & \text{para un ángulo de inclinación } \alpha \leq 3^\circ \\ 1 & \text{para } \alpha > 3^\circ. \end{cases} \quad [10]$$

$$f_1 \equiv \begin{cases} 0.875 + 0.125 \cdot m & 1 \leq m \leq 5 \\ 1.5 & 5 < m \end{cases} \quad [11]$$

En función de la relación (L_s/a) , se calcula f_2 . Si (L_s/a) varía entre 1 y 3, $f_2 = a_0 + a_1 (L_s/a)$, si (L_s/a) varía entre 3 y 10, $f_2 = a_2 + a_3 (L_s/a)$. Lo valores de a_0, a_1, a_3 se calculan en función de f_1 . (Sheppard, 2003)

$$K_{sp} = 1 - \frac{4}{3} \cdot \left(1 - \frac{w_{pi}}{W_p}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{(L_s/a)^{0.6}}\right) \quad [12]$$

$$a_{pg}^* \approx \sqrt{\frac{W_p \cdot K_m \cdot H_{pg}}{5}} \quad [13]$$

$$K_h \equiv 3.08 \cdot \left(\frac{H_{pg}}{h_{3(máx)}}\right) - 5.23 \cdot \left(\frac{H_{pg}}{h_{3(máx)}}\right)^2 + 5.25 \cdot \left(\frac{H_{pg}}{h_{3(máx)}}\right)^3 - 2.10 \cdot \left(\frac{H_{pg}}{h_{3(máx)}}\right)^4 \quad [14]$$

$$a_{pg}^* = K_m \cdot K_{sp} \cdot K_h \cdot W_p \quad [15]$$

7. Cálculo de la profundidad de Socavación total en pilas complejas: $d_s = d_{s(col)} + d_{s(pc)} + d_{s(pg)}$

Para aplicar esta metodología se debe conocer las profundidades de socavación general, y por contracción; dimensiones externas de todos los componentes de la pila incluyendo sus posiciones relativas con respecto al lecho del cauce no socavado; propiedades físicas de los sedimentos y del agua; nivel del agua y velocidad del flujo a una profundidad media en una sección inmediatamente aguas arriba de la estructura. Para todas las componentes el factor de forma $K_s = 1$, si el elemento es circular o $K_s = 0.9 + 0.66x(\alpha - \pi/4)^4$.

La forma de evaluar la socavación producida por una fundación sobre pilotes clasificada como caso IV es a partir de la fórmula de Melville (Melville & Coleman, 2000). La expresión es la siguiente:

$$d_{se} = K_I K_d K_{ha} K_\alpha K_F \quad [16]$$

donde: K_I : Factor que depende de la intensidad del flujo; K_d : Factor dependiente del tamaño del sedimento; K_{ha} : Factor que depende de la relación entre la profundidad del flujo y el ancho de la pila K_α : Factor dependiente del ángulo de ataque de la corriente o esviaje; K_F : factor que depende de la forma de la pila.

En esta metodología se asume que el diámetro equivalente (a_*) es igual al ancho de la pila cabezal. Melville y Raudkivi (1996) (Bridge Scour, 2000), propusieron para a_* una expresión en función de h_0, Y, a_{pc}, a_{col} . Coleman (2005) propone una forma diferente de calcular el diámetro equivalente. El procedimiento es el siguiente:

$$a_* = a_{col} \quad \text{para } Y \geq a_{col} \quad [17]$$

$$a_* = a_{col} \cdot \left(\frac{a_{col}}{a_{pc}}\right)^{\left\{ \left(\frac{a_{col}}{a_{pc}}\right)^{\beta} + 0.1 - \left[0.47 \cdot (0.75 - Y/a_{col})^{0.5}\right] \right\}} \quad [18]$$

para : $0 > Y \geq Y_T$

$$a_* = \left[\frac{0.52 \cdot E_c \cdot a_{pc} + (h_0 - 0.52 \cdot E_c) \cdot a_{pg}}{h_0} \right] \quad [19]$$

Para $Y = (-h_0)$

$$a_* = a_{pg} \quad \text{para } Y \leq (-h_0 - E_c) \quad [20]$$

En donde Y es la distancia entre la parte superior de la pila cabezal y el lecho y Y_T es la distancia a partir de la cual los pilotes se encuentran expuestos al flujo. Se considera Y positiva cuando el cabezal se encuentra por debajo del lecho. Coleman (2005) demostró experimentalmente que entre los rangos de sus expresiones, el diámetro equivalente disminuye en forma lineal con el aumento de la exposición de la pila cabezal.

Análisis Comparativo

Los resultados de la aplicación de estas metodologías a 5 pilas complejas se muestran en la Tabla 1.

Orden	Sheppard	M&C	M&R	Coleman
1	0.14	0.70	0.63	0.47
2	0.12	0.38	0.29	0.25
3	4.E-04	0.25	0.11	0.15
4	1.03	3.00	2.18	4.08
5	1.06	0.70	0.68	0.54

Tabla 1: Profundida de Socavación calculada

En base a la bondad de predicción de la ecuación de Sheppard para una pila simple (Farias et al, 2005) se toma como valor de comparación los de esta metodología. La pila 3 es una experiencia a escala realizada por Coleman (2005) de un caso de estudio presentado por Melville y Coleman (2000). La aplicación del método de Coleman al caso real predice una profundidad un 30 % superior, mientras que en el modelo, la predicción coincide con lo medido. Se hace notar que la socavación calculada por el procedimiento de Sheppard es del orden de los milímetros. Esto se debe aparentemente al hecho que las dimensiones son muy pequeñas, y esta ecuación estaría fuera de rango en cuanto a sus parámetros de calibración.

Conclusiones Preliminares

La asimilación de una pila compleja a un único diámetro equivalente parecería inducir a predicciones de profundidades de socavación mayores a las que se obtienen separando la pila compleja en sus componentes. Las experiencias de Sheppard avalan esta última metodología. Se considera necesario realizar experiencias en laboratorio en el sentido de Coleman para aumentar los puntos experimentales y contribuir a una mejor estimación de a_* en función de la profundidad Y .

Referencias Bibliográficas

Melville, B. W., Coleman, S.E. (2000): *Bridge Scour. Water Resources Publications, LLC, Colorado, U.S.A*
 Sheppard, M. (2003): "Scour at Complex Piers", *Report FDOT: BC354 RPWO 35, UF: 4910 45-04-799.*
 Coleman, S.E. (2005): "Clearwater Local Scour at Complex Piers", *Journal Hydr. Eng, ASCE, Vol. 131, No. 4, pp 330-334.*
 Farias, H.D., Pilán, M.T., Olmos, L.A., Pece, F.J., Trejo, J.S. (2005): "Análisis Comparativo y verificación Experimental de Métodos para la Predicción de la Socavación Local en Pilas de Puentes", *Memorias XX Congreso Nac. Agua, Vol. I, pp 447.*