

SOCAVACION DE UNA PILA CIRCULAR POR FLUJO DE AGUAS CLARAS

CIRCULAR PILE SCOUR BY CLEAR WATERS FLUXES

Maria E. Noya, M.Sc¹ y Marco Falcón, Ph.D^{1,2}

RESUMEN

El clásico problema de determinar la magnitud final de socavación al pie de una pila circular se plantea igualando una fracción, f_c , del flujo de energía cinética hacia la pila, a la potencia requerida para evitar el deslizamiento de las partículas de tamaño $D_{84,13}$ que se encuentran acorazando a la superficie del socavón. El ajuste con un número limitado de experimentos conlleva a un coeficiente casi constante $f_c = 0.20$. La socavación resultante es solución de una ecuación algebraica de segundo grado y depende de algunas variables adimensionales, geométricas constantes y de un parámetro adimensional que refleja toda la física del fenómeno, por lo que es ideal para modelar el fenómeno y predecirlo en tamaño natural.

ABSTRACT

The classical problem of final scour of a circular pile is formulated equating a fraction, f_c , of the kinetic energy flux of the approaching flow, to the power required to maintain particles of size $D_{84,13}$ stably armored upon the surface of the scour hole. Adjustment with a limited number of experiments yields a nearly constant value of $f_c = 0.20$. The resulting scour magnitude is a solution of a second degree algebraic equation and it depends on a few non dimensional, constant geometric variables and on a dimensionless parameter which reflects the pertinent physics involved, and is thus ideal for prototype predictions with physical model studies.

Palabras clave: socavación de pilas, flujo de energía cinética, acorazamiento.

Keywords: pile scour, kinetic energy flux, armoring

INTRODUCCION

Los puentes viales se apoyan en sus extremos sobre estructuras denominadas estribos, los cuales pueden ubicarse dentro o fuera del cauce activo, pero cerca de las márgenes. Si la distancia entre estribos supera los 50 m. de longitud es probable que sea soportado por columnas intermedias, enterradas en el cauce y denominadas pilas. Las pilas pueden apoyarse sobre fundaciones directas, colocadas bajo el nivel del lecho del cauce, o se apoyan sobre un cabezal de pilotes, que como su nombre lo indica,

a su vez se apoya sobre un número de columnas de menor diámetro que la pila, denominadas pilotes. Estos transmiten la carga soportada proveniente del puente, al suelo, por fricción de su periferia enterrada y por carga de punta. Al pasar el flujo de una creciente alrededor de la pila se generan vórtices que comienzan a extraer el material del lecho de su inmediata vecindad, formándose una depresión en el lecho en forma de cono invertido y truncado donde se intersecta con la pila. Existen numerosos resultados experimentales para estimar la profundidad máxima que alcanza el socavón y su geometría variable. Debido a lo complejo que es el flujo dentro del socavón es difícil resolver las ecuaciones gobernantes que controlan el desarrollo temporal y magnitud máxima del socavón, lo cual influye en

1. Instituto Mecánica de Fluidos, Fac. Ingeniería, UCV.
2. Individuo de Número, Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales.

la estabilidad estructural del puente (Mia y Nago, 2003). Si los modelos de flujo turbulento son de por sí bastante complicados, lo serán más aún con flujos transportando sedimentos. En el presente trabajo, en lugar de intentar calcular la evolución del socavón aplicando la segunda ley de Newton, es decir a base de fuerzas erosivas actuantes sobre la superficie interna del socavón, se enfoca el problema mediante un balance de energías: de aproximación a la pila (flujo de energía cinética) y potencia consumida para evitar el deslizamiento de las partículas de sedimento hacia la base del socavón. El caso a tratar, de aguas claras, implica que el flujo de aproximación a la pila no es capaz de transportar sedimento sobre el lecho y es de interés porque se ha comprobado que en igualdad de geometrías conlleva a socavaciones más grandes que cuando hay transporte continuo de sedimento.

TEORÍA

Se tiene un flujo uniforme y permanente, con velocidad media U y profundidad d , que se aproxima hacia una pila vertical de sección circular con diámetro D_p . Por tratarse de flujo de aguas claras se supone que no hay arrastre sólido y por lo tanto el factor de fricción del flujo se calcula por la fórmula de Karim y Kennedy (1990) para fondo plano:

$$f_o = \frac{8}{\left[5.75 \log \frac{12y_o}{2.5D_{50}} \right]^2} \quad \text{y} \quad n = \frac{1}{\sqrt{f_o}}$$

es el correspondiente coeficiente de Nunner. La ley de la potencia para la distribución de velocidad de aproximación a la pila es:

$$u(\eta) = U \left(\frac{n+1}{n} \right) \eta^{\frac{1}{n}}$$

donde η es una altura adimensional igual a z/d , donde z (η) es la coordenada vertical, igual a

cero (cero) sobre el lecho e igual a d (1) sobre la superficie libre.

Antes de proseguir es necesario establecer la geometría del socavón. A partir de los experimentos de Richardson y Abed (1999) se determinan la pendiente de las paredes del socavón, m , igual a $2.069 H: 1 V$ y el sobreancho de la base horizontal del socavón, tal que dicha base tiene un ancho total igual a $D_p + 2(0.297 d_s)$, donde d_s es la magnitud de la profundidad del socavón.

El flujo de energía cinética hacia la pila, sobre el ancho del socavón es:

$$\frac{1}{2} \frac{U^2}{gd} \frac{(n+1)^3}{n^2(n+3)} d^2 \gamma U \eta_s^{n+1} f_c (D_p + 4.7318 d_s)$$

donde: g es la aceleración de la gravedad, γ es el peso específico del fluido, η_s es:

$$\frac{1.4}{\left(\frac{d}{D_p} \right)}$$

sí $d/D_p \geq 1.4$ y $\eta_s = 1$ sí $d/D_p < 1.4$, y f_c es un factor de calibración. La definición de η_s se debe a Melville (1997) y toma en cuenta el hecho de que para pilas relativamente delgadas los vórtices que se desprenden de ellas, cerca de la superficie libre, no afectan significativamente, la magnitud de la socavación. El factor f_c toma en cuenta la pérdida de potencia del flujo de aproximación, por disipación turbulenta, en el socavón. Para cuando se haya alcanzado la socavación máxima, la potencia arriba indicada se consumirá totalmente impidiendo que las partículas de sedimento se deslicen sobre la superficie del socavón. Se supone que para evitar esto, el flujo debe actuar sobre dichas partículas con su velocidad de caída. Tomando en cuenta las componentes de peso sumergido de las partículas según la pendiente del socavón, y similarmente para la componente de velocidad de caída, la potencia consumida será:

$$\frac{(\gamma_s - \gamma)}{\sqrt{1 + m^2}} w_f D_s (1 - n_v) 2\pi \left[\left(c + \frac{m}{2} \right) d_s^2 + \frac{D_p}{2} d_s \right]$$

donde: D_s es igual a $D_{84.13}$ para tomar en cuenta el acorazamiento dentro del socavón, w_f es la velocidad de caída de dicha partícula, $c = 0.297$ y γ_s es el peso específico del sedimento.

Al igualar las expresiones arriba indicadas resulta la siguiente ecuación de segundo grado en

$$\frac{d_{se}}{D_p}:$$

$$\left(\frac{d_{se}}{D_p} \right)^2 + \left(\frac{1}{2c + m} - 4.7318 \frac{N}{M} \right) \frac{d_{se}}{D_p} - \frac{N}{M} = 0,$$

donde:
$$N = \frac{1}{2} \frac{U^2}{gd} \frac{(n+1)^3}{n^2(n+3)} \left(\frac{d}{D_p} \right)^2 \eta_s^{n+1} f_c$$

y

$$M = \frac{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) w_f D_s (1 - n_v) 2\pi \left(c + \frac{m}{2} \right)}{\sqrt{1 + m^2} U D_p}$$

El factor f_c fue calibrado con 5 experimentos de Miwa y Nago encontrándose que $f_c = 0.2$, con diferencias de diez milésimas para cada caso, lo cual le da credibilidad a las hipótesis de flujos energéticos del modelo. Es de notar que

el resultado obtenido indica que para que haya similitud entre un modelo y un prototipo, basta con que el número adimensional N/M sea igual en ambos casos y también que el parámetro $2c + m$ también lo sea. Este último parecería depender de la forma de las partículas y no debe ofrecer dificultades para el modelaje. El resultado también ilustra la manera como influyen los diversos parámetros adimensionales en la socavación correspondiente.

El modelo se verificó con un experimento de Ettema (1980), para el cual se obtuvo un resultado 12.6% inferior al valor experimental, lo cual es muy aceptable en este tipo de cálculo.

RECOMENDACIONES

Esta investigación continuará para pilas anchas, aquellas en que D_p es mayor que la profundidad del flujo d y en ese caso hay que suponer dos socavones laterales adheridos a la pila. También se investigará el efecto del transporte continuo de sedimento hacia la pila, y finalmente, se indagará sobre la evolución temporal de la socavación, lo cual permitiría calcular la socavación en función del tiempo de evolución del hidrograma de caudales de aproximación. Esto es importante porque no siempre la creciente dura lo suficiente para alcanzar las socavaciones máximas.

LITERATURA CITADA

- ETTEMA, R.
1980. *Scour at Bridge Piers*. Report No. 216, Dept. Civ. Eng., Univ. Auckland, New Zealand, 527 p.
- KARIM, M. F. y J. F. KENNEDY
1990. Menu of coupled velocity and sediment discharge relations for rivers. *Journal Hydraul. Eng.*, ASCE, 116(8): 978-996
- MELVILLE, B.
1997 "Pier and Abutment Scour: Integrated Approach", *Journal Hydraul. Eng.*, ASCE, 123(2): 125-136.
- MIA, M. D. y H. NAGO
2003. Design Method of Time-Dependent Local Scour at Circular Bridge Pier. *Journal Hydraul. Eng.*, ASCE, 129(6): 420-427
- RICHARDSON, E. V. y L. ABED
1999. Top Width of Scour Holes. Stream Stability and Scour at Highway Bridges. ASCE Compendium: 311-318.