

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

CÁTEDRA DE CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS



NUEVAS TENDENCIAS EN EL ANALISIS DE EROSION EN PUENTES

Ing. Adolfo GUITELMAN

NUEVAS TENDENCIAS EN EL ANALISIS DE EROSION EN PUENTES

El objetivo de este trabajo , es presentar los últimos criterios para el analisis de las erosiones en Puentes y para el calculo de las propecciones tanto en pilas como en estribos , cumpliendo las normativas vigentes del HEC . A los efectos de no modificar los criterios de la norma , hemos conservado las unidades inglesas .

1. Proteccion de Pilas

La ecuación que rige el cálculo del tamaño de la escollera para la protección de pilas de puente es

$$d_{50} = \frac{0.692(V_{des})^2}{(S_g - 1)2g} \quad (\text{See HEC-23, Eqn. 11.1})$$

Se requieren los siguientes parámetros de entrada únicos para el diseño de escollera de pilas de puente

- Tipo de entrada de velocidad (Velocidad media del canal en el puente o Velocidad local en la pila)
- Velocidad media del canal en el puente o Velocidad local en la pila, pies/seg.
- Forma de la pila (Nariz redonda o Cara cuadrada)
- Ancho de la pila (normal al flujo), pies.
- Profundidad de socavación por contracción, si aplica, pies.
- Profundidad de la forma del lecho, si aplica, pies.
- Gravedad específica de la roca (típicamente 2.65)

Los siguientes resultados únicos se generan para el diseño de escollera de pilas de puente:

- Velocidad de diseño, pies/seg.
- Tamaño de roca D50 - Fracciones, pulgadas.
- Gradación de escollera
- Profundidad de la escollera debajo del lecho del río, pies.
- Extensión mínima de la escollera, pies.
- Extensión de colocación del filtro, pies.

2. Proteccion de Estribos

Estribos de Puente o Diques Guía

La ecuación general para calcular el tamaño de la escollera para la protección de estribos de puente o diques guía es

$$\frac{D_{50}}{y} = \frac{K}{(S_s - 1)} \left[\frac{V^2}{gy} \right] \quad (\text{See HEC-23, Eqn. 14.1})$$

Se requieren los siguientes parámetros de entrada únicos para el diseño de escollera de estribos de puente o diques guía

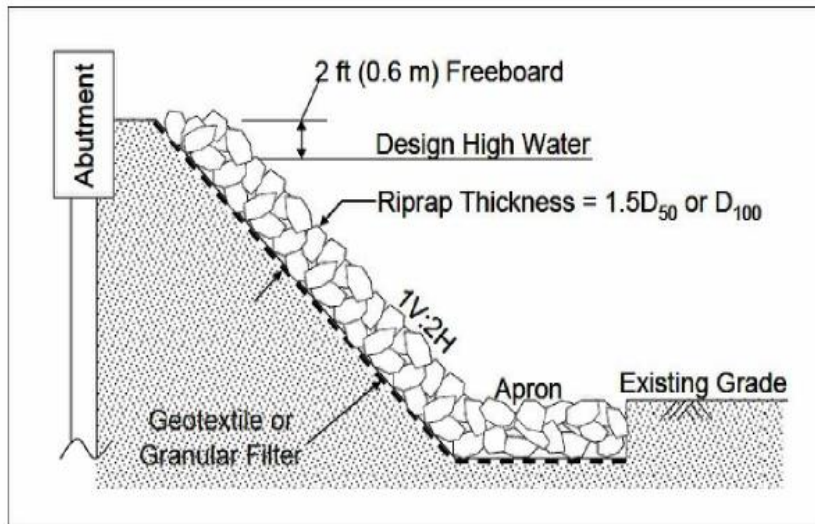
- Tipo de estructura (Estribo o Dique Guía)
- Tipo de estribo (Transición gradual o Muro vertical)
- Longitud de retroceso desde el canal principal, pies.
- Profundidad media del flujo del canal principal, pies.
- Profundidad del flujo en el pie, pies.
- Descarga total, pies³/seg.
- Descarga de desborde, pies³/seg.
- Área total de flujo del puente, ft²
- Área de flujo de retroceso, ft²
- Velocidad máxima del canal, pies/seg.
- Gravedad específica de la roca (típicamente 2.65)

Estribos de Puente o Diques Guía

Los siguientes resultados únicos se generan para la escollera de estribos de puente o diques guía:

- Relación de retroceso
- Velocidad característica, pies/seg
- Número de Froude en el pie
- Coeficiente de estribo
- Tamaño de roca D₅₀ - Fracciones, pulgadas.
- Gradación de escollera
- Espesor de la escollera, pulgadas.
- Extensión horizontal mínima desde el pie, pies.
- Estribo
- Geotextil o
- Filtro granular
- 2 pies (0.6 m) de borde libre
- Nivel de agua de diseño alto
- Espesor de escollera = 1.5 D₅₀ o D₁₀₀
- 1V:2H
- Delantal de nivel existente

HEC-23 Figura 14.8. Sección transversal típica para escollera de estribo



HEC-23 Figure 14.8. Typical Cross-Section for Abutment Riprap

3. Analisis de procesos Erosivos en Puentes

Análisis de Socavación de Puentes – Hydraulic Toolbox

La Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes proporciona métodos de análisis para evaluar 5 componentes de socavación que son comúnmente aplicables al diseño de cimentaciones de puentes.

Los 5 componentes de socavación son:

- Socavación de Estribos
- Socavación por Contracción
- Degradación a Largo Plazo
- Socavación de Pilas
- Condiciones Especiales

Como se describirá a continuación, hay múltiples métodos disponibles para evaluar cada uno de los componentes de socavación anteriores. Se deja al usuario la decisión de qué metodología es la más apropiada para una aplicación dada. Las descripciones detalladas de todos los métodos utilizados para evaluar los 5 componentes de socavación anteriores se encuentran en las publicaciones de la FHWA HEC 18 y 20.

Al seleccionar un componente de socavación específico y una metodología de las dos ventanas desplegadas en la parte superior del diálogo de apertura, aparecerá la pantalla de datos asociada a continuación. El usuario debe rellenar todos los campos de datos requeridos. Una vez que se ingresan todos los datos, el programa emitirá inmediatamente la profundidad de socavación, junto con otros datos útiles, para la metodología seleccionada.

Para comparación y cuando sea apropiado, la Caja de Herramientas (Toolbox) ofrece una opción para ver los resultados de todas las metodologías simultáneamente para un componente de socavación particular. Cuando está disponible, esta opción se proporciona en la ventana desplegable 'Método de cálculo'.

La ecuación que rige, los parámetros de entrada únicos y los resultados para cada metodología de

socavación se describirán a continuación por categoría de componente de socavación.

4. Estribos

Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes - Socavación de Estribos

Las metodologías disponibles para la socavación de estribos son **Froehlich**, **HIRE** y el enfoque **NCHRP**. Las primeras 2 mencionadas, son las que utiliza el código **HEC RAS**.

Método de Froehlich

La ecuación para calcular la socavación de estribos mediante el método de Froehlich es

$$\frac{y_s}{y_a} = 2.27 K_1 K_2 \left(\frac{L'}{y_a} \right)^{0.43} Fr^{0.61} + 1 \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 8.1})$$

Los siguientes parámetros de entrada son requeridos para el método de **Froehlich**

- Tipo de estribo (Transición gradual, Muro vertical o Muro vertical con muros de ala)
- Ángulo de la aproximación del terraplén al flujo, grados
- Longitud de la línea central del terraplén, pies.
- Flujo obstruido por el terraplén, pies³/seg.
- Área de flujo obstruido, ft²
- Longitud de flujo 'activa', pies.

Los siguientes resultados se generan para el método de **Froehlich**

- Longitud del terraplén normal al flujo, pies.
- Profundidad media del flujo, pies.
- Relación longitud del terraplén a profundidad del flujo
- Velocidad media, pies/seg.
- Número de Froude
- Profundidad de socavación, pies.

Método HIRE

La ecuación para calcular la socavación de estribos mediante el método **HIRE** es

$$\frac{y_s}{y_1} = 4 Fr^{0.33} \frac{K_1}{0.55} K_2 \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 8.2})$$

Los siguientes parámetros de entrada son requeridos para el método **HIRE**

- Tipo de estribo (Transición gradual, Muro vertical o Muro vertical con muros de ala)
- Ángulo de la aproximación del terraplén al flujo, grados
- Longitud de la línea central del terraplén, pies.
- Velocidad en el pie del estribo, pies/seg.
- Profundidad en el pie del estribo, pies.

Los siguientes resultados se generan para el método HIRE

- Longitud del terraplén normal al flujo, pies.
- Relación longitud del terraplén a profundidad del flujo
- Número de Froude
- Profundidad de socavación, pies.

Método NCHRP

Las ecuaciones para calcular la profundidad del flujo, incluyendo la socavación máxima del estribo

$$y_{\max} = \alpha_A y_c \text{ or } y_{\max} = \alpha_B y_c \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 8.3})$$

La ecuación NCHRP para calcular la profundidad del flujo, incluyendo la socavación por contracción para condiciones de lecho vivo, es

$$y_c = y_1 \left(\frac{q_{2c}}{q_1} \right)^{6/7} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 8.5})$$

La ecuación NCHRP para calcular la profundidad del flujo, incluyendo la socavación por contracción usando D50 para condiciones de agua clara, es

$$y_c = \left(\frac{q_{2f}}{K_u D_{50}^{1/3}} \right)^{6/7} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 8.6})$$

- Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes - Socavación de Estribos
 - Además de la entrada requerida para determinar si prevalecen las condiciones de transporte de lecho vivo o de agua clara (ver la sección de Socavación por Contracción a continuación), se requieren los siguientes Parámetros de Entrada para el Método NCHRP:
 - Tipo de estribo (Desbordamiento, Muro Vertical o Muro Vertical con Muros de Ala)
 - Ángulo de aproximación del terraplén al Flujo, grados
 - Longitud del eje del terraplén, pies.
 - Ancho del eje de la llanura de inundación, pies.
 - Descarga unitaria en la sección aguas arriba, pies³/seg /pies.
 - Descarga unitaria en la sección contraída, pies³/seg /pies. Profundidad del flujo en la sección contraída antes de la socavación, pies.
 - Se generan los siguientes Resultados para el método NCHRP
-
- Longitud del terraplén normal al flujo, pies.
 - Ancho de la llanura de inundación normal al flujo, pies.
 - Relación longitud del terraplén/ancho de la llanura de inundación

- Profundidad del flujo, incluyendo la socavación por contracción, pies.
- Relación de descarga unitaria
- Factor de amplificación
- Profundidad máxima del flujo, incluyendo la socavación del estribo, pies.
- Profundidad de socavación, pies.

Tenga en cuenta que el potencial de armadura se verifica para cualquier condición de lecho vivo comparando la estimación de socavación por contracción para condiciones de lecho vivo con la estimación de socavación por contracción para condiciones de agua clara.

Se utiliza la menor de estas dos estimaciones para calcular la estimación de socavación del estribo NCHRP para condiciones de lecho vivo.

5. *Erosión por Contracción*

Las metodologías disponibles para estimar la socavación por contracción de puentes son los enfoques de lecho vivo y agua clara de Laursen. Al ingresar la profundidad y velocidad medias del flujo en la sección transversal de aproximación, y el D50 del material del lecho, la calculadora indicará si prevalecen las condiciones de lecho vivo o agua clara comparando la velocidad crítica de Laursen con la velocidad media de aproximación. La ecuación de Laursen para la velocidad crítica es la siguiente:

$$V_c = K_u y^{1/6} D^{1/3}$$

(See HEC-18, Eqn. 6.1)

Posteriormente a esta determinación, se le solicitará al usuario una entrada adicional dependiendo de la condición de transporte.

Método de Lecho Vivo

La ecuación para calcular la profundidad en la sección contraída después de la socavación para condiciones de lecho vivo es

$$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{6/7} \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}$$

(See HEC-18, Eqn. 6.2)

Los siguientes parámetros de entrada adicionales son requeridos para calcular la socavación por contracción de lecho vivo:

- Temperatura del agua, grados Fahrenheit
- Peso unitario del agua, lbs/ft³
- Peso unitario del sedimentos, lbs/ft³
- Gradiente de energía en la sección de aproximación, pies/pie.
- Descarga aguas arriba que transporta sedimentos, pies³/seg.
- Ancho inferior aguas arriba que transporta sedimentos, pies.
- Descarga que transporta sedimentos en la sección contraída, ft³/sec
- Ancho inferior que transporta sedimentos en la sección contraída (menos anchos de pilas), pies.
- Profundidad en la sección contraída antes de la socavación, pies.

Los siguientes resultados se informan para la socavación por contracción de lecho vivo

- Velocidad de cizallamiento, pies/seg.
- Velocidad de caída, pies/seg.
- Cizallamiento en el lecho a la profundidad de socavación de lecho vivo, lbs./ft.²
- Cizallamiento requerido para mover el sedimento D50, lbs/ft.²
- Profundidad media del flujo en la sección contraída después de la socavación, pies.
- Profundidad de socavación, pies.

Tenga en cuenta que el potencial de acorazamiento se verifica para cualquier condición de lecho vivo comparando la estimación de socavación por contracción para condiciones de lecho vivo con la estimación de socavación por contracción para condiciones de agua clara. La menor de estas dos estimaciones se utiliza para calcular la estimación final de socavación por contracción para condiciones de lecho vivo.

Método de Agua Clara

La ecuación para calcular la profundidad en la sección contraída después de la socavación para condiciones de agua clara es

$$y_2 = \left[\frac{K_u Q^2}{D_m^{2/3} W^2} \right]^{3/7} \quad \text{(See HEC-18, Eqn. 6.4)}$$

Los siguientes parámetros de entrada adicionales son requeridos para calcular la socavación por contracción de agua clara:

- Descarga en la sección contraída, ft.³/sec
- Ancho inferior en la sección contraída (menos anchos de pilas), pies.
- Profundidad en la sección contraída antes de la socavación, pies.

Los siguientes resultados se informan para la socavación por contracción de agua clara:

- Tamaño del sedimento no transportable más pequeño, pies.
- Profundidad media del flujo en la sección contraída después de la socavación, pies.
- Profundidad de socavación, pies.

Degradación a Largo Plazo

El límite de la degradación a largo plazo en una ubicación de canal dada es típicamente el menor entre la profundidad de acorazamiento y la profundidad de la pendiente de equilibrio para la descarga dominante. Si esta descarga es desconocida, la descarga a pleno cauce se usa comúnmente como una estimación razonable.

Acorazamiento

La Caja de Herramientas (Toolbox) utiliza el criterio de Shields para el movimiento incipiente para identificar el tamaño del sedimento que no será transportado (tamaño crítico del sedimento), y la ecuación de acorazamiento de la Oficina de Reclamación de EE.UU., USBR para estimar la profundidad de acorazamiento para ese tamaño crítico de sedimento. El criterio de Shields para el movimiento incipiente se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$D_c = \frac{\tau_o}{K_s(\gamma_s - \gamma)} \quad (\text{See HEC-20, Eqn. 6.13})$$

La ecuación de la USBR para estimar la profundidad de acorazamiento es la siguiente

$$Y_s = y_a \left(\frac{1}{P_c} - 1 \right) \quad (\text{See HEC-20, Eqn. 6.16})$$

Estas ecuaciones representan condiciones de agua clara, es decir, sin sedimento suministrado desde aguas arriba.

Degradación a Largo Plazo

Los siguientes parámetros de entrada son requeridos para calcular la profundidad de acorazamiento:

- Peso unitario del agua, lbs/ft³
- Peso unitario del sedimento, lbs/ft³
- Parámetro de Shields
- Profundidad del flujo o radio hidráulico
- Velocidad del canal
- Para lecho de arena 'n' de Manning
- Para lecho grueso - D₈₄
- Factor de espesor de acorazamiento
- Porcentaje de gradación más gruesa que el tamaño crítico

Los siguientes resultados se informan para la profundidad de acorazamiento

- Tamaño crítico del sedimento, pies.
- Profundidad de acorazamiento, pies.
- Espesor de acorazamiento, pies.
- Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes - Degradación a Largo Plazo
- Pendiente de Equilibrio

La Caja de Herramientas (Toolbox) contiene 4 métodos para estimar la pendiente de equilibrio. Dos de ellos son para ausencia de suministro de sedimentos aguas arriba (criterio de Shields para el movimiento incipiente y ecuación de Meyer-Peter, Muller para el inicio del transporte); uno es para capacidad de transporte igual al suministro de sedimentos, y uno es para una reducción en el suministro de sedimentos. Los dos últimos métodos se basan en una función de potencia ajustada a la ecuación de transporte de Yang, para arroyos con lecho de arena. La ecuación para el criterio de Shields y sin suministro de sedimentos se proporciona a continuación:

$$S_{eq} = \left[K_s D_c \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \right]^{(10/7)} \left(\frac{K_u}{qn} \right)^{(6/7)}$$

HEC 20, ver Ecuación 6.17

- Tenga en cuenta que se debe usar
- D₉₀ para D_c en la ecuación anterior. Consulte HEC 20 para obtener información más detallada sobre estos métodos.

- Una vez calculada la pendiente de equilibrio, la siguiente ecuación se utiliza para determinar la degradación en una ubicación dada en relación con un punto de control aguas abajo (es decir, la ubicación de material resistente a la erosión o un tramo en equilibrio)

$$Y_s = L(S_{ex} - S_{eq})$$

Ver HEC 20 , Ecuacion 6.25

Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes - Degradación a Largo Plazo

Como ejemplo, los siguientes parámetros de entrada son requeridos para calcular la degradación a largo plazo utilizando el criterio de Shields para la pendiente de equilibrio:

- Parámetro de Shields
- Tamaño de partícula de sedimento D_{90} , pies.
- Valor de n de Manning
- Descarga unitaria, ft.³/sec/ft.
- Pendiente actual, ft./ft.
- Distancia desde el control de nivel base hasta el punto de interés, pies.

Los siguientes son ejemplos de resultados informados para el cálculo de la degradación a largo plazo utilizando el criterio de Shields para la pendiente de equilibrio:

- Pendiente de equilibrio, ft./ft
- Cantidad de degradación en el punto de interés, pies.

6. Pilas

Socavación de Pilas

Las metodologías disponibles para la socavación de pilas son HEC-18, Florida DOT y el Método de Pilas Complejas.

Método HEC-18

El método HEC-18 es apropiado para estimar la socavación de pilas para configuraciones de pilas simples. La ecuación para calcular la socavación de pilas mediante el método **HEC-18** es

$$\frac{y_s}{y_1} = 2.0 K_1 K_2 K_3 \left(\frac{a}{y_1} \right)^{0.65} FV_1^{0.43}$$

ver HEC 18 , Ecuacion 7.1

Los siguientes parámetros de entrada son requeridos para el método **HEC-18**

- Forma de la pila
- Ancho y longitud de la pila
- Ángulo de ataque, grados
- Condición del lecho del canal (tipo de transporte, forma del lecho)
- Profundidad del flujo aguas arriba de la pila, pies.
- Velocidad del flujo aguas arriba de la pila, pies/seg.

Los siguientes resultados se generan para el método HEC-18:

- Número de Froude
- Factores de corrección K1, K2 y K3
- Profundidad de socavación, pies.

Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes - Socavación de Pilas

Método Florida DOT

El método FDOT es apropiado para usar en todo el rango de geometrías comunes de pilas, particularmente para pilas anchas con profundidades de flujo poco profundas. Las ecuaciones para calcular la socavación de pilas mediante el método Florida DOT son:

$$\frac{y_s}{a^*} = 2.5 f_1 f_2 f_3 \quad \text{for} \quad 0.4 \leq \frac{V_1}{V_c} < 1.0 \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.5})$$

$$\frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[2.2 \left(\frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{lp}}{V_c} - 1} \right) + 2.5 f_3 \left(\frac{\frac{V_{lp}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{lp}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{for} \quad 1.0 \leq \frac{V_1}{V_c} \leq \frac{V_{lp}}{V_c} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.6})$$

$$\frac{y_s}{a^*} = 2.2 f_1 \quad \text{for} \quad \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{lp}}{V_c} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.7})$$

Socavación de Pilas

Método Florida DOT

Los siguientes parámetros de entrada son requeridos para el método Florida DOT:

- Forma de la pila
- Ancho y longitud de la pila, pies.
- Ángulo de ataque, grados
- D50 del material del lecho, pies.
- Profundidad del flujo aguas arriba de la pila, pies.
- Velocidad del flujo aguas arriba de la pila, pies/seg.

Los siguientes resultados se generan para el método Florida DOT:

- Velocidad crítica para el movimiento del D50
- Velocidad en el pico de socavación de lecho vivo, pies/seg.
- Ancho proyectado de la pila, pies.
- Ancho efectivo de la pila, pies.
- Profundidad de socavación, pies.

Socavación de Pilas Método de Pilas Complejas

El método de Pilas Complejas es un 'enfoque por componentes' que estima la socavación atribuible a las siguientes configuraciones de subestructura en el flujo: 1) grupos de pilotes (múltiples filas de pilotes), 2) grupos de pilotes y una tapa de pilote, 3) grupos de pilotes, una tapa de pilote y un vástago de pila, y 4) una gran tapa de pilote o cimiento y un vástago de pila. Las ecuaciones para calcular la socavación de pilas mediante el método de Pilas Complejas son:

$$\frac{Y_{spg}}{y_3} = K_{hpg} \left[2.0K_1K_3 \left(\frac{a_{pg}^*}{y_3} \right)^{0.65} \left(\frac{V_3}{\sqrt{gy_3}} \right)^{0.43} \right] \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.31})$$

$$\frac{y_{spc}}{y_f} = 2.0K_1K_2K_3K_w \left(\frac{a_{pc}}{y_f} \right)^{0.65} \left(\frac{V_f}{\sqrt{gy_f}} \right)^{0.43} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.26})$$

$$\frac{y_{spc}}{y_2} = 2.0K_1K_2K_3K_w \left(\frac{a_{pc}^*}{y_2} \right)^{0.65} \left(\frac{V_2}{\sqrt{gy_2}} \right)^{0.43} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.24})$$

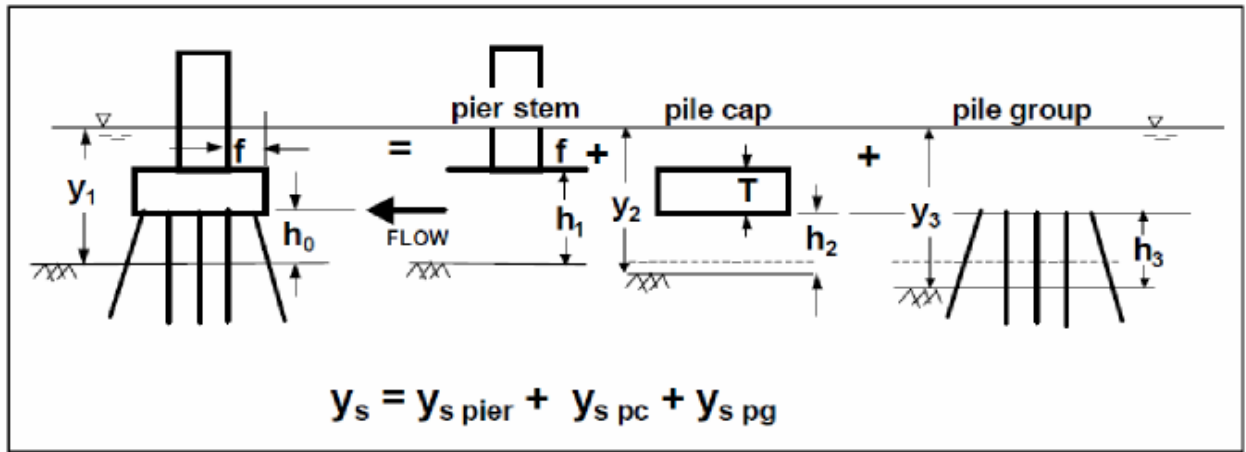
$$\frac{y_{spier}}{y_1} = K_{hpier} \left[2.0K_1K_2K_3 \left(\frac{a_{pier}}{y_1} \right)^{0.65} \left(\frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \right)^{0.43} \right] \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.23})$$

Los siguientes son los parámetros de entrada mínimos requeridos para el método de Pilas Complejas:

- Forma de la pila
- Ancho y longitud de la pila, pies.
- Ángulo de ataque, grados
- Condición del lecho del canal (tipo de transporte, forma del lecho)
- D50 y D84 del material del lecho, pies.
- Espesor de la tapa de pilotes o cimiento, pies.
- Altura de la tapa de pilotes o cimiento sobre el lecho antes de la socavación, pies.
- Distancia desde la parte frontal de la tapa de pilotes o cimiento hasta el vástago de la pila, pies.
- Profundidad del flujo aguas arriba de la pila, pies.
- Velocidad del flujo aguas arriba de la pila, pies/seg.

Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes - Socavación de Pilas Se requiere una entrada más detallada a medida que la socavación estimada expone componentes adicionales de la pila. Los campos de entrada adicionales aparecerán según sea necesario. Consulte HEC-18 para obtener más detalles. Los siguientes resultados se generan para el método de Pilas Complejas según corresponda:

- Profundidad total de socavación, y_s , pies.
- Socavación atribuible al vástago de la pila, y_{spier} , pies.
- Socavación atribuible a la tapa de pilotes o cimiento, y_{spc} , pies.
- Socavación atribuible al grupo de pilotes, y_{spg} , pies.



Calculadora de Análisis de Socavación de Puentes - Condiciones de Socavación Especiales La Caja de Herramientas (Toolbox) contiene métodos para evaluar la socavación para tres condiciones especiales. Estas son:

- **Socavación de Pilas en Materiales de Lecho Gruesos**
- **Socavación de Pilas en Materiales de Lecho Cohesivos**
- **Socavación por Contracción para Condiciones de Flujo a Presión**
-

Socavación en Pilas en Materiales de Lecho Gruesos

Cuando las condiciones de flujo son de agua clara y el material del lecho se caracteriza por sedimentos no cohesivos con un

D50 mayor o igual a 20 mm y un coeficiente de gradación mayor o igual a 1.5, se puede esperar que el revestimiento limite las profundidades de socavación de la pila. Si se cumplen estas condiciones, la siguiente ecuación puede usarse para estimar la socavación de la pila:

$$y_s = 1.1K_1K_2d^{0.62}y_1^{0.38} \tanh\left(\frac{H^2}{1.97\sigma^{1.5}}\right) \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 7.34})$$

Los siguientes Parámetros de Entrada son requeridos para determinar la socavación de pilas en lecho grueso

- Forma de la pila
- Ancho y longitud de la pila, ft.
- Ángulo de ataque, grados
- D50 y D84 del material del lecho, ft. Profundidad del flujo aguas arriba de la pila, ft.
- Velocidad del flujo aguas arriba de la pila, ft./sec.
- Peso unitario del sedimento y del agua.

Condiciones Especiales de Socavación

Los siguientes Resultados se generan para la socavación de pilas en lecho grueso

Factores de corrección

- K1 y K2
- Gravedad específica del sedimento
- Número de Froude de partícula densimétrica
- Profundidad de socavación, ft.

Socavación en Pilas en Materiales de Lecho Cohesivos

Cuando el material del lecho es cohesivo y se conoce la velocidad crítica requerida para iniciar la erosión del material cohesivo, preferiblemente a través de pruebas de materiales, la siguiente ecuación puede usarse para estimar la socavación máxima de la pila (la ecuación asume que la duración del flujo es suficientemente larga)

$$y_s = 2.2K_1K_2a^{0.65} \left(\frac{2.6V_1 - V_c}{\sqrt{g}} \right)^{0.7} \quad \text{(See HEC-18, Eqn. 7.35)}$$

Los siguientes Parámetros de Entrada son requeridos para estimar la socavación de pilas en material cohesivo:

Forma de la pila

Ancho y longitud de la pila, ft.

Ángulo de ataque, grados

Velocidad crítica para el inicio de la erosión, ft./seg.

Tasa de erosión inicial, ft/hr

Duración del flujo, hrs.

Los siguientes Resultados se generan para la socavación de pilas en material cohesivo

Profundidad máxima de socavación (Ec. 7.35), ft.

Profundidad de socavación dependiente del tiempo, ft.

Socavación por Contracción para Condiciones de Flujo a Presión

Cuando la superficie del agua entra en contacto con la superestructura del puente, comienzan a desarrollarse condiciones de flujo a presión y la abertura del puente comenzará a actuar como un orificio.

La contracción resultante puede cambiar drásticamente la profundidad potencial de socavación por contracción, ya que el flujo puede contraerse tanto en dirección horizontal como vertical.

La profundidad en la sección contraída después de la socavación para condiciones de flujo a presión se calcula utilizando las mismas ecuaciones de socavación por contracción de lecho móvil y agua clara presentadas anteriormente y la descarga real que pasa a través del puente.

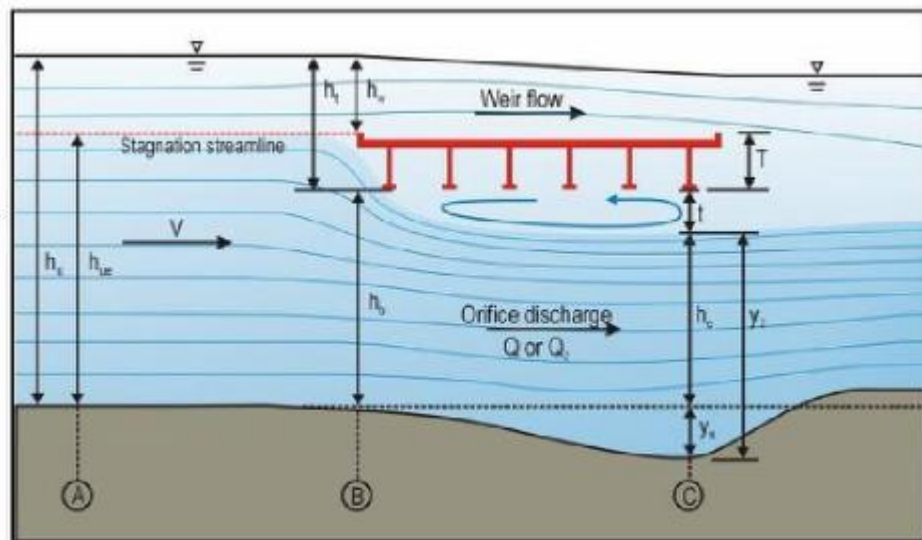
Para calcular la profundidad de socavación, también se requiere el espesor de la zona de separación debajo de la superestructura del puente y se calcula utilizando la siguiente ecuación

$$\frac{t}{h_b} = 0.5 \left(\frac{h_b \cdot h_t}{h_u^2} \right)^{0.2} \left(1 - \frac{h_w}{h_t} \right)^{-0.1} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 6.16})$$

Condiciones Especiales de Socavación

Además, para condiciones de lecho móvil con desbordamiento de puente y/o calzada, la descarga aguas arriba debe modificarse para reflejar la descarga efectiva utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{ue} = Q_1 \left(\frac{h_{ue}}{h_u} \right)^{8/7} \quad (\text{See HEC-18, Eqn. 6.15})$$



Tamaño vertical de la abertura del puente antes de la socavación, ft.

Espesor de la superestructura del puente, ft.

Además de los Resultados reportados para la socavación por contracción sin condiciones de flujo a presión, se proporcionan los siguientes Resultados:

Espesor de separación del flujo, ft.

h_2 h_{ye} (Ver HEC-18, Ecuación 6.15)

h_1 γ_a Flujo de vertedero

Línea de corriente de estancamiento T , h

Descarga de orificio

Q o QY

y_1 (Ver HEC-18, Figura 6.18, Contracción Vertical y Definición de Parámetros Geométricos)