

2. METODOLOGIA

Para conocer la profundidad de socavación es necesario analizar las características granulométricas del fondo del cauce, ya que las condiciones para socavar dependen del material, si es cohesivo o no, de la distribución en cada estrato, la topografía aguas arriba y abajo, y la colocación del puente que depende del conocimiento del comportamiento hidráulico del cauce.

Cuando el escurrimiento proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca, esto es llamado escurrimiento superficial y afecta a los río produciendo alteraciones, en el fondo y en las orillas de la corriente, alterando la morfología del cauce que son ocasionados por, la capacidad de arrastre de la corriente, que remueve partículas en suspensión que son tomadas del fondo del río y son depositados en zonas donde los sedimentos puedan descender y asentarse.

Este fenómeno de arrastre de sedimentos se nota en aquellos lugares donde se hayan reducciones de área, como sucede en muchas ocasiones en los cauces donde se haya estructuras que reducen la capacidad hidráulica del río, por ejemplo cuando se colocan pilas que son necesarias para puentes que soportan grandes cantidades de carga.

Para el análisis de socavación se considera conceptos hidráulicos como son el Gasto, ecuación de Manning, numero de Froude.

2.1. Ecuaciones fundamentales

Las siguientes ecuaciones son las que se consideran más apropiadas para conocer la profundidad de socavación. Se compararán los criterios de diferentes autores especializados en el campo de estudio. Se debe aclarar que los métodos a plantear consideran variables y graficas creados en laboratorio. Algunos datos del problema son incompletos lo cual se resolverá por medio de artificios matemáticos.

2.2. Concepto de gasto

$$Q=VA \quad (2.1)$$

Donde:

V = Velocidad media del cauce, donde se supone que la velocidad se distribuye uniformemente sobre toda la superficie, con un valor constante y en dirección perpendicular a la sección transversal

A = Área de la sección transversal.

2.3. Ecuación de Manning

Es una ecuación empírica que resulta de varias aportaciones como, (chezy, Strickler, Gaukler), y que considera aspectos geométricos, topográficos y el tipo de suelo.

$$Q_d = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.2)$$

n = Representa la rugosidad

R = Radio hidráulico

S = Pendiente del cauce

2.4. Número de Froude

El número de Froude se denota como F_r , y se define como la relación entre la raíz cuadrada de las fuerzas de inercia y las gravitacionales

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (2.3)$$

Donde h es el tirante hidráulico, y g la aceleración de la gravedad, Este parámetro sirve para saber si un flujo está en régimen subcrítico, crítico o supercrítico, como sigue

Sí $Fr < 1$ el flujo está en régimen subcrítico

Sí $Fr = 1$ el flujo está en régimen crítico

Sí $Fr > 1$ el flujo está en régimen supercrítico

2.5. Método de Maza Sánchez

Este método es aplicable para lechos cubiertos de arena y grava, el método se basa en gráficas experimentales elaboradas a partir de modelos hidráulicos en laboratorio. Este método incluye parámetros como son el ángulo de ataque o incidencia que sufren las pilas, causadas por las líneas de flujo de corriente, y considera el tipo de régimen del flujo con el concepto de número de Froude.

Los procedimientos son los siguientes:

1. Conocer los siguientes parámetros

$$F_r^2 = \frac{V^2}{gh} \quad (2.4)$$

Donde

h = la profundidad antes de la erosión

g = la aceleración de la gravedad 9.8 m/s^2

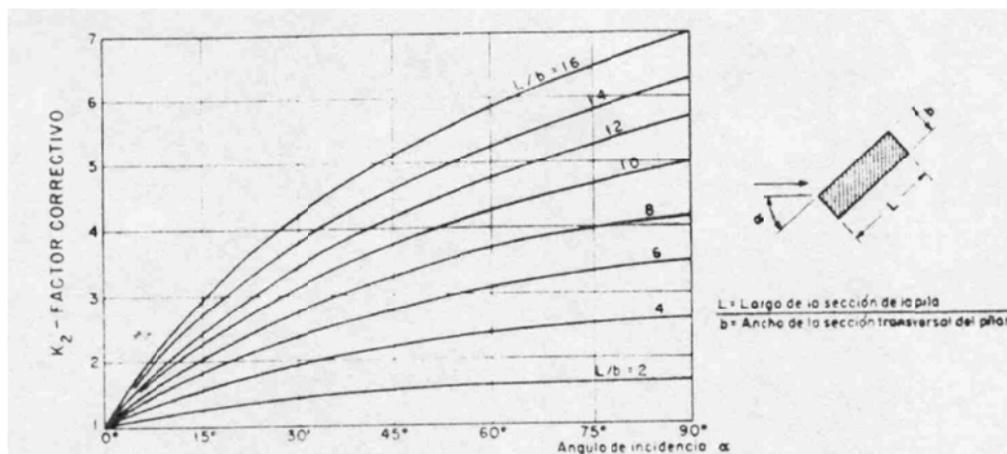
V = velocidad media de la corriente

2. Si la pila es muy esviada y $F_r^2 < 0.06$ entonces $K_2 = 1.0$

3. Si $F_r^2 \geq 0.06$ entonces se utilizará la siguiente expresión:

$$F_r^2 = K_2 \frac{V^2}{gh} \quad (2.5)$$

K_2 = factor correctivo dada en la (Grafica 1)



Grafica 1 Coeficiente de corrección cuando existe un ángulo de incidencia entre el eje de la pila y la corriente.

4. Calcular la relación $\frac{h}{a}$, y con la ecuación (2.4) se puede entrar en la (Grafica 2) para obtener la profundidad de socavación

a = ancho de la pila, en este caso $d = a$ y $ds = s$ como lo muestra la (Figura 3)

H_T = Profundidad de socavación media desde la superficie del flujo

$$ds = H_T - h \quad (2.6)$$

ds = Profundidad de socavación media

En la (Figura 3) se representa el comportamiento del flujo sobre la pila, para ubicar de forma grafica las variables necesarias para el calculo de la socavación.

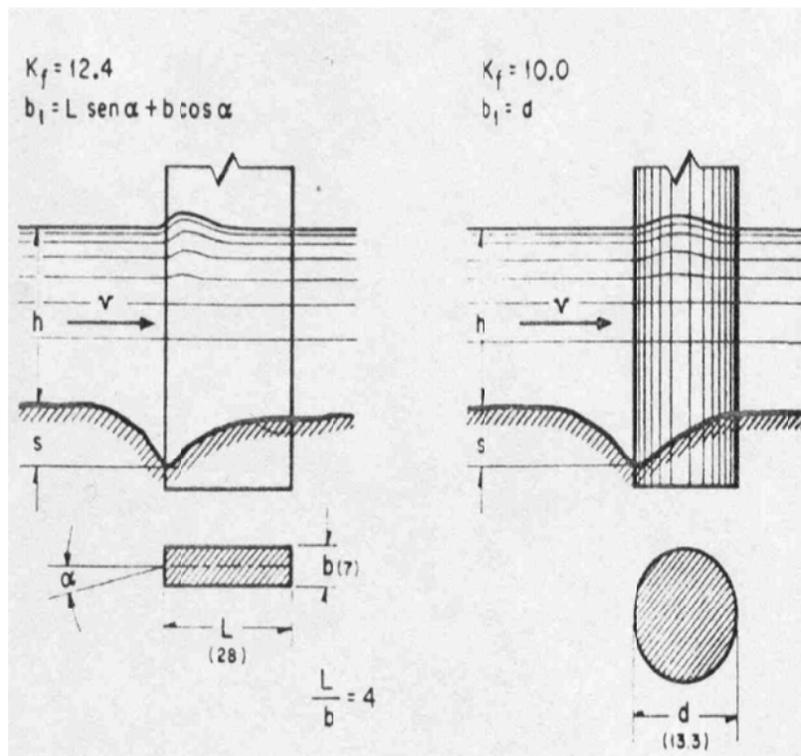
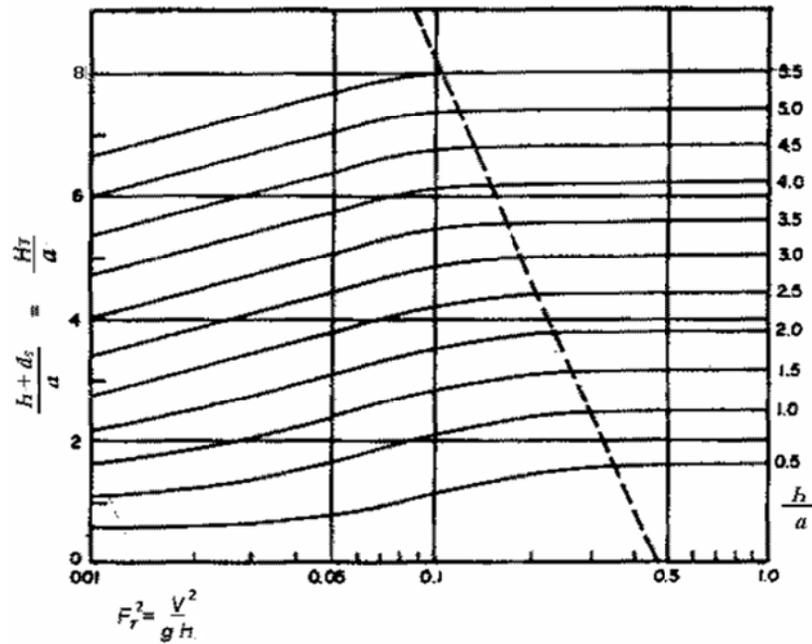


Figura 3 Relación de variables



Gráfica 2 Socavación para pila circular

2.6. Método de Melville

El método considera variables como el tamaño medio del fondo del cauce D_{50} , ancho del cauce de inundación, los parámetros y factores de corrección para el cálculo de la socavación son:

- b = Ancho de la pila
- b^* = Ancho del apoyo
- l = Longitud de la pila
- W_{1f} = Ancho del cauce de inundación
- D_{50} = Tamaño medio
- Q_f = Gasto en el canal de inundación
- y_f = Tirante en el canal de inundación
- t = Duración de la inundación
- θ = Ángulo de ataque que sufre las pilas

- b_e = Altura de los apoyos de la pila con respecto al lecho del cauce
 Y = Nivel de la parte superior del cajón o dado
 ds = Profundidad de socavación

Para esta metodología se presenta la siguiente ecuación, que permite calcular la socavación

$$ds = K_{yb} K_I K_d K_s K_\theta \quad (2.7)$$

donde

- K_{yb} = Factor para tamaño de profundidad en pilas
 K_I = Factor de intensidad del flujo este caso es 2.5 por ser lecho móvil
 K_d = Factor del tamaño del sedimento
 K_θ = Factor de ángulo de ataque
 K_s = Ajuste de un factor de forma en este caso circular y el valor es 1

$$K_\theta = \left(\frac{l}{b_e} \text{seno } \theta + \text{coseno } \theta \right)^{0.65} \quad (2.8)$$

$$K_{yb} = 2.4 b \quad (2.9)$$

$$D_{50} = \frac{d_{\max}}{1.8} \quad (2.10)$$

$$b_e = b \left(\frac{y_f + Y}{y_f + b^*} \right) + b^* \left(\frac{b^* - Y}{b^* + y_f} \right) \quad (2.11)$$

$\frac{b_e}{d_{50}}$ es una relación para obtener el parámetro K_d (2.12)

$$K_d = 0.57 \log(2.24 * \frac{b_e}{d_{50}}) \text{ si } \frac{b_e}{d_{50}} < 25 \quad (2.13)$$

$$K_d = 1 \quad \text{si} \quad \frac{b_e}{d_{50}} > 25 \quad (2.14)$$

2.7. Teoría de socavación en pilas

La socavación es el resultado de la acción erosiva de flujo de agua que acarrea y arranca material del fondo y en las márgenes del río. La socavación del fondo de un cauce es dependiente de la velocidad media del agua y de la velocidad requerida para arrastrar sedimentos.

Cuando la estructura (puente), se ubica en una sección de un cauce cuyo fondo está formado por materiales no cohesivos, que alcanzan profundidades tales que hacen impráctica la cimentación sobre un manto de roca firme, provocan un cambio morfológico en el lecho de un cauce ocasionados por pilas, estribos, diques y terraplenes de acceso de los puentes.

Para pilas circulares la socavación se presenta cuando la velocidad media del flujo es igual a la mitad de la velocidad media crítica en la vertical frente a la pila, La separación del flujo a los lados de la pila crean vórtices, llamados de vórtice de estela, que se trasladan al fondo del cauce e interactúan con los vórtices de herradura que se forman en la base de la pila y remueve el material del lecho. La influencia de estos vórtices cesa rápidamente a medida que se alejan de la pila aguas abajo, y se presenta sedimentación lo cual confirma la presencia de vórtices de estela. (ver Figura 4)

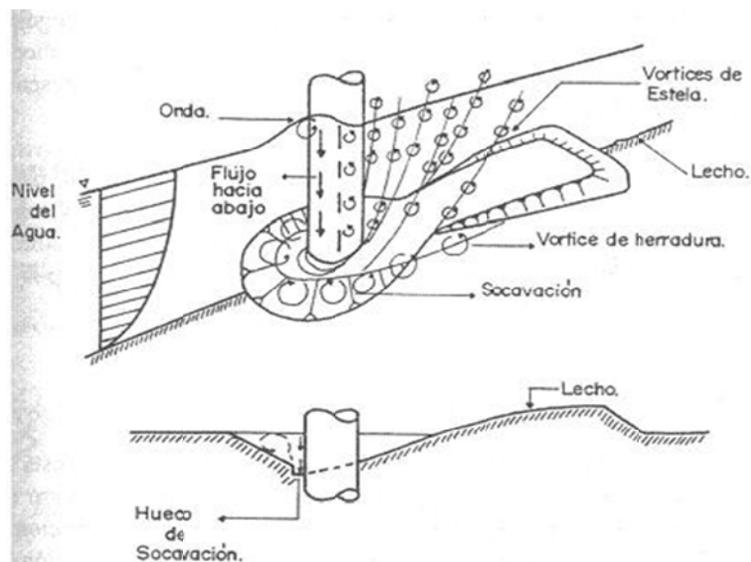


Figura 4 descripciones de los vórtices en las pilas

2.8. Velocidad del flujo en el río

La velocidad del flujo del río para suelos no cohesivos, es aquella velocidad capaz de levantar y poner en suspensión las partículas del fondo del cauce. La velocidad está dada en función de las características hidráulicas del río: pendiente, rugosidad y tirante. El aumento de velocidad provoca una degradación del fondo del río y como consecuencia se reduce el valor medio de la velocidad de la corriente y por ende la capacidad de arrastre, (hasta alcanzar un equilibrio entre la capacidad de arrastre del flujo y las condiciones morfológicas del río).

2.9. Ángulo de incidencia entre el eje de la pila y el cauce.

El efecto del ángulo de ataque es importante en la socavación local, en el caso de pilas diferentes a las circulares. A medida que aumenta el ángulo de ataque, la socavación se mueve a lo largo del lado expuesto desde aguas arriba hasta aguas abajo. El ángulo de ataque debe analizarse para flujos bajos y altos, posteriormente se deben revisar la socavación para ambas condiciones. La influencia del ángulo (Figura 5) de ataque generalmente disminuye para flujos altos, y puede darse el caso que la profundidad de socavación sea mayor para flujos bajos y ángulo de ataque mayor, que para flujos altos y ángulo de ataque menor.

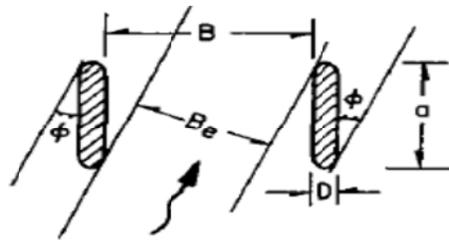


Figura 5 Trayectoria del flujo con respecto al ángulo de ataque que reciben las pilas

B_e = Ancho efectivo de la superficie libre (m)

B = ancho de la superficie libre (m)

a = largo de la pila (m)

ϕ = Ángulo de esviajamiento entre la corriente y el eje de la pila ($^{\circ}$)

D = Diámetro de la pila (m)

2.10. Divagación de cauces.

El cauce de un río nunca es permanente, va sufriendo alteraciones debido a su acción erosiva en las curvas. En zonas donde disminuye su velocidad aumenta el depósito de sedimento, que a su vez disminuye el paso del caudal sobre dicha zona.

Para puentes localizados en la curva del cauce los codos de un río son naturalmente inestables ya que el thalwet (fondo del cauce) se mueve y existe erosión en la parte exterior de la curva.

La sección transversal del cauce (topografía) del cauce en cualquier punto también cambiarán y con ello la localización del canal principal que es donde existen las mayores socavaciones cuando ocurra un escurrimiento superficial extraordinaria.

Cuando el cruce de un puente queda localizado sobre la curva de un río, y ésta sea estable, la profundidad máxima que se obtenga al paso de la avenida máxima dependerá de las condiciones iniciales del perfil.

2.11. Ríos de llanuras con meandros

Son aquellos en los que se observa la formación de curvas pronunciadas y regulares (Figura 6). Teóricamente los ríos que pueden formar meandros son aquellos para los cuales en número de Froude de la corriente alcanzan valores entre 0.20 y 0.02.

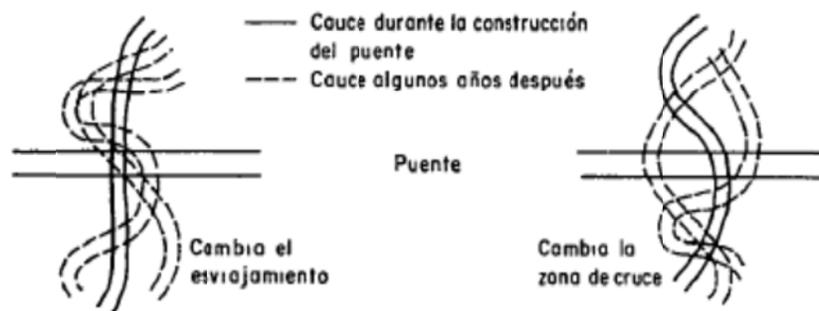


Figura 6 Comportamiento de ríos divagantes

2.12. Río con curvas irregulares.

Son aquellos en que el número de Froude de la corriente se encuentra entre 0.04 y 0.50, la principal diferencia entre ríos sin meandros y los anteriores, es que sus curvas se presenta

en forma irregular y con radio de curvatura muy diversos. Las mayores profundidades se ubican bajo la sección del puente o se presentarán en cualquier parte de la sección ver (Figura 7)

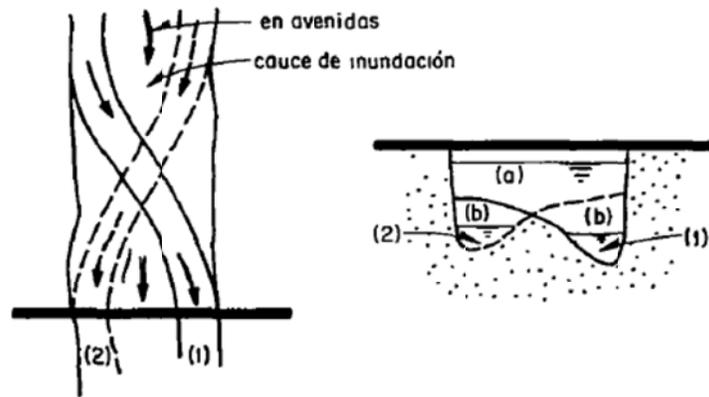


Figura 7 Río con curva irregular.

- 1 Cauce durante la construcción
- 2 Cauce algunos años después
 - a. Nivel de aguas máximas
 - b. Nivel de aguas mínimas