COMPARACIÓN DE FORMULAS PARA CALCULAR LA SOCAVACIÓN GENERAL EN CAUCES ALUVIALES

Javier Aldana(1), Jaime Iván Ordóñez(2)

(1) Estudiante de Postgrado Ingeniería Civil, (2) Profesor de postgrado de Ingeniería Civil

Universidad Nacional de Colombia - Bogotá

Introducción

Se hace una comparación entre los resultados del método de Maza Álvarez y el método de Del Campo-Ordóñez para calcular la socavación general en cauces aluviales. Se muestra como el primero produce resultados más conservadores debido a sus suposiciones iniciales sobre el proceso de socavación. Sin embargo, los métodos son comparables cuando se usa Maza para sedimentos finos y Del Campo-Ordóñez para Números de Froude bajos.

Objetivos

Se desea investigar la fundamentación de los dos métodos para calcular la socavación general con el fín de determinar si los dos procedimientos son comparables, y en tal caso, si es posible obtener resultados similares con estos dos procedimientos, o si debe existir siempre una diferencia entre los resultados de los dos procedimientos, la tendencia, y el orden de magnitud de esas diferencias.

Materiales y Métodos

El método de Maza Álvarez para calcular la socavación general requiere igualar la velocidad real del flujo con la velocidad crítica para iniciación del movimiento.

$$U_E = U_R \qquad (1)$$

donde : U_E = *Vel.* crítica para iniciación del movimiento, m/s
U_R = Vel. real del flujo en una franja vertical , m/s

Esta suposición es extremadamente conservadora dado que el proceso de socavación general no responde realmente a condiciones de desequilibrio morfológico en el sector de interés sino más bien a fluctuaciones de la carga sólida y desfases entre los hidrogramas de caudal líquido y sólido, por lo cual no se puede suponer que el proceso siempre progresa hasta extinguir la capacidad de flujo para transportar sedimentos.

El método de Del Campo-Ordóñez parte de la observación directa de las fluctuaciones del fondo de los cauces en más de 3000 aforos de ríos mayores, en estaciones hidrométricas de primer orden, y por lo tanto incluye la verdadera relación entre carga líquida y sólida en los cauces, que genera los cambios del nivel del lecho.

Las ecuaciones del Método de Maza son :

Para 0.00005 < D_{84} < 0.0028 m :

$$d_S = \left(\frac{\alpha \cdot d_o^{5/3}}{4.7 \cdot \beta \cdot D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{D_{84}^{0.03}}{0.322 + D_{84}^{0.03}}} \qquad (2)$$

Si 0.0028 < D_{84} < 0.182 m :

$$d_S = \left(\frac{\alpha \cdot d_o^{5/3}}{4.7 \cdot \beta \cdot D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{D_{84}^{0.092}}{0.223 + D_{84}^{0.092}}} \qquad (3)$$

Si 0.182 < D_{84} < 1.0 m :

$$d_S = \left(\frac{\alpha \cdot d_o^{5/3}}{4.7 \cdot \beta \cdot D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{D_{84}^{0.187}}{0.191 + D_{84}^{0.187}}} \qquad (4)$$

En estas ecuaciones, el cálculo de la socavación se presenta con referencia al nivel de agua conocido para el caudal de diseño, el cual se conoce como un valor constante, esto implica que la sección es estable en el sentido de que tiene una curva de calibración fija, dado que el caudal de diseño Q_D tiene siempre un nivel de lámina de agua fijo y conocido; es válido entonces preguntar si hay o no equilibrio morfológico en la sección; y, si lo hay, porque se habla de "socavación" ?

Para evitar esta confusión, las ecuaciones de Maza se pueden expresar también en función del caudal por unidad de ancho, dado que la expresión del numerador de esas ecuaciones no es otra cosa que el caudal por unidad de ancho para el caudal de diseño por ejemplo :

Para 0.00005 < D_{84} < 0.0028 m :

$$d_S = \left(\frac{q_{máx}}{4.7 \cdot \beta \cdot D_{84}^{0.28}} \right)^{\frac{D_{84}^{0.03}}{0.322 + D_{84}^{0.03}}} \qquad (5)$$

y en la misma forma las otras dos.

Del Campo y Ordóñez observaron las series de datos para cada vertical de aforo en más de 3000 aforos, y encontraron que, sistemáticamente cada aforo presenta la máxima profundidad, y por lo tanto el mínimo nivel del lecho, (máxima "socavación general"), en la franja de máximo caudal unitario $q_{i\ max}$ o q_{max}; haciendo un nuevo conjunto con las parejas $q_{máx}$, P_{max}, observaron que estas siguen una relación biunívoca, independiente del valor de Q, en ríos con una gama amplia de tamaño de sedimento, siempre y cuando los números de Froude del flujo sean similares; de hecho encontraron relaciones diferentes para ríos de llanura, (F<0.4) y ríos de característica torrencial, (F>0.4).

Las ecuaciones obtenidas permiten calcular la máxima profundidad de flujo $P_{máx}$ para un cierto valor de $q_{máx}$, de acuerdo con la ecuación general de número de Froude, llamado por simplicidad F_m aún cuando obviamente no es el máximo valor del número de Froude en la sección sino el correspondiente a la franja de $q_{máx}$ y $P_{máx}$:

$$F_m^2 = \frac{q_{\max}^2}{g \cdot P_{\max}^3} \qquad (6)$$

que también se puede expresar como :

$$P_{\max} = \left(\frac{1}{g \cdot F_m^2} \right)^{1/3} \cdot q_{\max}^{2/3} = k \cdot q_{\max}^{2/3} \qquad (7)$$

Analizando estadísticamente los aforos, se encontraron las siguientes relaciones entre $F_{máx}$ y el valor promedio de F para toda la sección F_{prom} :

$F_{max} = 0.85\ F_{prom} + 0.01$ para $(0.10 < F < 0.4)$ (8)

$F_{max} = 0.71\ F_{prom} + 0.10$ para $(F > 0.4)$ (9)

Y, una relación para q_{max} en función de $q_{prom}=Q/T$:

$q_{max} = 1.551\ (Q/T)^{0.984}$ para $(F < 0.4)$ (10)

$q_{max} = 1.271\ (Q/T)^{1.271}$ para $(F > 0.4)$ (11)

mientras que la mejor correlación obtenida para P_{max} es :

$$P_{máx} = 0.473 q_{max}^{0.706} F_{max}^{-0.512} \quad (12)$$

Con base en los resultados obtenidos los autores plantearon la metodología para la estimación de la profundidad máxima de socavación como sigue :

1. Determinar el rango de caudales para calcular.
2. Definir la sección transversal del cauce en el sitio.
3. Obtener el tirante para cada caudal, de la curva de calibración, medida o calculada.
4. Medir el ancho *T*, y la relación Q/T para cada Q.
5. Determinar el valor de $q_{máx}$ en la curva *Q/T* vs $q_{máx}$.
6. Calcular F para el sector de máxima profundidad conociendo las características hidráulicas promedio de la sección : $F_{max}=0.85\ F_{prom}+ 0.01$, flujo subcrítico o $F_{max} = 0.71\ F_{prom} + 0.1$ para flujo casi crítico.
7. Obtener la profundidad de socavación, del grafico $q_{máx}$ vs P_{max}, o de : $P_{max}=0.472 q_{max}^{0.71}.\ F_{Pmax}^{-0.51}$

Evaluación de Resultados

Las relaciones empíricas entre q_{max} y q_{prom} y entre F_{max} y F_{prom} han sido obtenidas con más de 3.000 datos reales de aforos en 25 estaciones hidrométricas de primer orden en ríos con valores del número de Froude entre 0.10 y 0.5.

Para la comparación se supone que los ríos cuyo régimen presenta números de Froude menores a 0.4 tienen lechos de arena y gravas con predominio de arenas, mientras que los de régimen de Número de Froude mayor a 0.4, tienen un porcentaje mayor de gravas y cantos, con predominio de arenas gruesas y gravas finas en el lecho.

Se compara el método de Del Campo-Ordóñez, para número de Froude de 0.1, con el de Maza para diámetro de 0.00025m; se usan 3 criterios de velocidad crítica de iniciación del movimiento alternativos al de Lischtvan Lebediev : Shields, Einstein y Meyer Peter Muller. Para números de Froude mayores a 0.4, se utiliza Maza con diámetro de 0.01m. Los resultados se presentan en forma gráfica en las figuras 2a y 2b.

Conclusiones

Las profundidades de socavación mayores se presentan aplicando los criterios de Einstein y Meyer Peter Muller, mientras que las menores se obtienen aplicando el criterio de Del Campo-Ordóñez.
Para el primer caso, se observa que los criterios de Meyer Peter Muller y Shields toman valores muy cercanos, mientras que Lischtvan Lebediev toma valores bajos muy cercanos a Del Campo-Ordóñez.

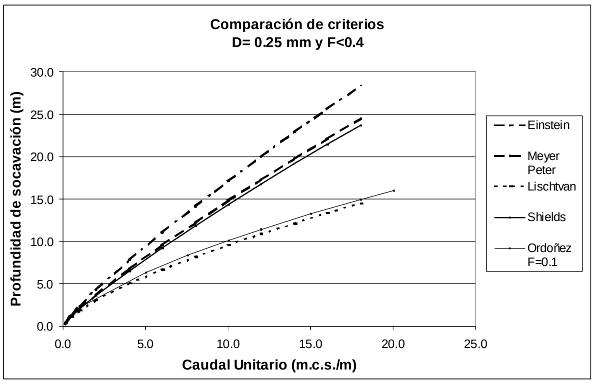

Figura No. 2.a

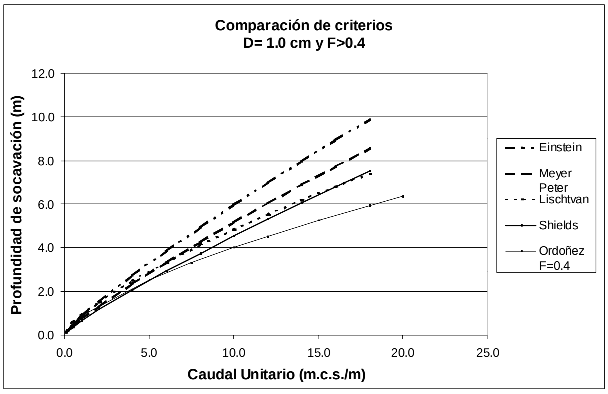

Figura No. 2.b

Para el segundo caso, con gravas de 1.0 cm, se observa nuevamente que los criterios de Meyer Peter- Muller, Lischtvan Lebediev y Shields toman valores muy cercanos entre sí, mientras que Del Campo-Ordóñez toma valores menores respecto a todos los demás.

Referencias

García Flores, M., Maza Álvarez, J.A. (1990), "Manual de Ingeniería de Ríos". UNAM. Cap. 13, Erosión en Ríos y Obras de Protección.- Cap. 8, Inicio de Movimiento y Acorazamiento- Cap. 7, Origen y propiedades de los sedimentos- Cap. 12, Estabilidad de Cauces.

Straitielsvie "Russian Gidrología I, Gidraulica", (1959), Mostovom Doroshnom, Lenningrad.

Del Campo, G. (1995), "Una Metodología de Cálculo de Socavación en Cauces Aluviales a partir de Información de Aforos Líquidos". Univ. Nal. de Colombia. Bogotá.

Vargas Rey, J.A. (1996), "Metodología de Cálculo de Socavación General en Cauces Aluviales, ríos Saldaña, Guatiquía y Upía". Univ. Nal. de Colombia. Bogotá.

Gutiérrez. M. R. (1997), "Metodología de Cálculo de Socavación General en Cauces Aluviales, ríos Negro y Guayuriba". Univ. Nal. de Colombia. Bogotá.

Aldana Bello, J. (2002), "Confrontación de dos Metodologías para la Estimación de la Socavación General en Ríos". Univ. Nal. de Colombia. Bogotá, 2002.

Vanoni, V. Editor. (1970),"Sedimentation Engineering", ASCE Manual 54.Cap 2, Initation of Motion. Pg 91-114.- Sediment Discharge transport Formulas. Pg 191- 213

Graf, W.H. (1971), "Hydraulics of Sediment Transport". Mc. Graw Hill Series in Water Res. and Environ. Eng.