

EL RÉGIMEN DE LOS RÍOS ALUVIALES Y SUS IMPLICACIONES SOBRE LA SOCAVACIÓN GENERAL

Jaime Iván Ordóñez

Profesor de postgrado de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Colombia – Bogotá
E-mail : jjordone@colomsat.net.co

Introducción

Se deriva la ecuación para la variación del régimen hidráulico de un canal aluvial, bajo flujo uniforme, escribiendo la ecuación de Manning en función del número de Froude y el caudal por unidad de ancho; se observa que la variación probable de este parámetro en el rango de caudal de un sector dado del canal, es muy baja, y que el número de Froude siempre aumenta con un aumento del caudal por unidad de ancho.

Objetivos

Los anteriores resultados se utilizan para examinar la validez de la respuesta de las ecuaciones normalmente utilizadas para el cálculo de la socavación general en cauces aluviales, con lo cual se observa que la mayoría de estas ecuaciones conducen a valores errados del régimen de los ríos a medida que crece el caudal por unidad de ancho. Con base en lo anterior, y en el exámen de ecuaciones que si tienen en cuenta las limitaciones del cambio de régimen del río, se concluye que la socavación general es un proceso puramente hidráulico, controlado por el régimen del río y no por parámetros de los sedimentos, como la granulometría del lecho aluvial.

Materiales y Métodos

Las ecuaciones existentes para calcular la socavación general en cauces aluviales han sido recientemente resumidas por Farías y otros, (1), y también por Aldana y Ordóñez, (2). La expresión general es :

$$h_s = \frac{C_o \cdot q^{C_1}}{D^{C_2}} \quad (1)$$

donde los diferentes coeficientes y exponentes según los diferentes autores son los que se presentan en la tabla 1 :

Tabla 1. Parámetros de ecuaciones de Socavación General

AUTOR	C ₀	C ₁	C ₂	Según
Lischtvan-Levediev	0.333	0.710	0.199	Farías, (1)
Laursen	0.205	0.860	0.284	Farías, (1)
Blench	0.380	0.667	0.167	Farías (1)
Maza-García	0.209	0.870	0.305	Farías (1)
Maza-Echavarría	0.365	0.784	0.157	Farías (1)
Kellerhals	0.470	0.800	0.120	Farías (1)
Shields	0.098	0.857	0.404	Aldana (2)
Einstein	0.222	0.857	0.286	Aldana (2)
Meyer-Peter	0.192	0.857	0.286	Aldana (2)

Del Campo y Ordóñez, han propuesto una ecuación totalmente diferente a partir del número de Froude :

$$h_s = \sqrt{\frac{q_{max}^3}{gF_m^2}}$$

Donde q_{max} es el caudal máximo por unidad de ancho en la sección transversal del río, y F_m es el número de Froude del sector con máximo caudal por unidad de ancho. Tanto q_{max} como F_m se definen de acuerdo con los parámetros promedio de la sección : F y q, como :

$$q_{max} = a \cdot q^n \quad (3)$$

$$F_m = b_1 F + b_2 \quad (4)$$

Con los coeficientes que se anotan en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros para definir q_{max} y F_m Ordóñez y otros

FROUDE	a ₁	n	b ₁	b ₂
F < 0.40	1.551	0.984	0.85	0.01
F ≥ 0.40	1.271	1.271	0.71	0.10

El Método de Del Campo y Ordóñez, no supone que la condición limite para el calculo de la socavación sea que el lecho se degrade hasta llegar a una velocidad tan baja que sea incapaz de mover los sedimentos, (condición de iniciación del movimiento), dado que el fenómeno de socavación general ocurre bajo condiciones de alto caudal líquido, bajo las cuales existe también alto caudal sólido, no uno nulo. Este método tampoco supone que la socavación máxima ocurre para el máximo caudal líquido; de hecho puede ocurrir para un caudal bajo, para el cual exista un déficit marcado de carga sólida vs. carga líquida.

El precio de suponer que la socavación progresa hasta el nivel de cero movimiento de partículas, es el de obtener siempre ecuaciones que dependen del tamaño de los granos, lo cual lleva a conclusiones que son de hecho incorrectas. En el presente artículo se examinan las implicaciones erradas, de aceptar los métodos que hacen depender la socavación del diámetro de los granos.

Régimen Hidráulico de un Río

El régimen hidráulico de un río se define por el estado energético del mismo dentro de su curva de energía específica. En general se reconocen tres estados :

Subcrítico F < 1.0 ; Crítico F = 1.0 ; Supercrítico F ≥ 1.0

El autor, (2), ha propuesto una distribución diferente, con base en sus observaciones del régimen de ríos aluviales :

Subcrítico F ≤ 0.55 ; Casi-Crítico 0.55 ≤ F ≤ 1.60
Flujo Supercrítico F ≥ 1.60

El autor propone, (5), que los flujos de máxima velocidad en la naturaleza ocurren bajo condiciones de flujo Casi-critico, resultando imposible diferenciarlos en el rango 0.55 ≤ F ≤ 1.60, como sub o súper críticos, dado que su energía difiere de la critica por menos del 15%, y ni la velocidad V del flujo ni la profundidad Y del mismo, se pueden estimar con una aproximación mejor que el 15%, en condiciones de alta dinámica del flujo y del transporte. El autor propone también que la Energía específica relativa del flujo en un canal abierto de cualquier forma es una función única de numero de Froude :

$$\frac{E}{E_c} = 1.5F^{-2/3} + \frac{1}{3}F^{4/3} \quad (5)$$

Al igual que la fuerza especifica relativa :

$$\frac{F_e}{F_{ec}} = \frac{2}{3}F^{2/3} + \frac{1}{3}F^{-4/3} \quad (6)$$

Estas ecuaciones se desprenden del hecho de que :

$$\frac{y}{y_c} = F^{-2/3} \quad (9)$$

Concentración del Flujo en una Sección

El autor ha encontrado que el régimen de los ríos aluviales depende fuertemente de la rugosidad del cauce, dado que de ella depende la concentración del flujo en la sección transversal; esto resulta claro cuando se expresa por la ecuación de Manning en términos del numero de Froude :

$$q = \frac{g^{0.5} \cdot F^{10}}{\alpha^9} \tag{7}$$

donde α es el parámetro definido por Maza-Álvarez :

$$\alpha = \frac{s^{0.5}}{n} \tag{8}$$

de la ecuación (7), se obtiene :

$$\frac{dF}{dq} = 0.1 \cdot \frac{\alpha^{0.9}}{g^5} \cdot q^{-0.9} \tag{9}$$

La variación del número de Froude con el caudal en un canal es monotonamente ascendente con este, si la ec. De Manning se cumple; por consiguiente, si en un proceso de socavación general se mantiene la relación implícita de Manning, (Maza-Álvarez), entonces es imposible que el numero de Froude disminuya a medida que el proceso progresa por aumento paulatino del valor de q , dado que :

$$F = F_0 + \Delta q \cdot \frac{dF}{dq} \tag{10}$$

La ecuación 7 también indica que a medida que Q crece, la variación de F es cada vez mas pequeña por lo cual el numero de Froude no debe sufrir grandes variaciones, aún cuando q varíe considerablemente, situación que ha sido observada antes por el autor, en los datos de aforo, (²).

La ecuación 9 indica que dF/dq no cambia por más de un 15% para variaciones de q hasta del 300%; para flujos netamente subcríticos y netamente supercríticos; también, que F no disminuye al aumentar q , sino que aumenta, ligeramente. Los ríos tienden a no cambiar su régimen en una sección dada al influjo de un aumento de caudal, sino a mantenerlo dentro de rangos característicos.

Régimen Fluvial Bajo Socavación General

El régimen de un río bajo socavación general se puede deducir también de la ecuación (1), reemplazando la variable h_s por la variable F_s :

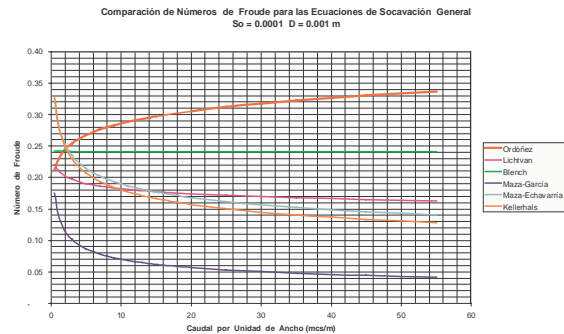
$$F_s = \frac{q^{1-1.5C_1} \cdot D^{1.5C_2}}{\sqrt{g} \cdot C_o^{1.5}} \tag{11}$$

Donde F_s es el número de Froude para la condición final de equilibrio. Las ecuaciones como (1) suponen que la relación de Manning se cumple durante el proceso de socavación, y también que se cumple para la sección total de flujo, y para cualquier subsector de la sección, con q variable. Mientras que la primera suposición, (α constante para la sección), puede probarse cierta comparando la ecuación (10), para una sección típica de aforo en un canal aluvial, el análisis de cualquier sección de aforo probará también, que el segundo postulado no se cumple.

La Figura 1, muestra valores de F_s para diferentes valores de q en un canal rectangular muy ancho, para condiciones dadas de pendiente y tamaño de los granos del lecho, con los valores de C_0 , C_1 , y C_2 , de la tabla 1, y los resultantes de la aplicación de la ecuación de Del Campo y Ordóñez. Como se puede apreciar, todas las ecuaciones basadas en la velocidad crítica de iniciación de movimiento, predicen condiciones imposibles de régimen hidráulico en los cauces. Una excepción notable es la ecuación atribuida a

Blench, que mantiene F_s constante, dado que el exponente de q , en la ec. 11 es cero; lo cual genera también los menores valores de socavación general.

Fig. 1. Valores de F_s contra q para Canal Rectangular muy Ancho



Conclusiones

Con base en conceptos simples de flujo uniforme, se ha obtenido una ecuación que muestra la variación del régimen hidráulico de un canal, ante un aumento de caudal, con base en la ecuación de Manning, escrita en términos del número de Froude, comprobando así algunas observaciones realizadas por el autor, en los registros de aforo de estaciones de primer orden en Colombia :

1. El número de Froude, aumenta monotonamente con el caudal por unidad de ancho, en flujo uniforme.
2. La variación del número de Froude en un sector de un canal, es muy baja, en relación el cambio de caudal.
3. Las ecuaciones de socavación, basadas en el concepto de velocidad crítica de movimiento de los granos conducen a valores errados del régimen de los ríos y de la profundidad, a medida que crece el caudal.
4. La fluctuación del fondo de un río, en equilibrio, no es realmente un proceso de socavación, sino un fenómeno hidráulico, controlado por el régimen del río y no por la granulometría del lecho aluvial.
5. A pesar de que la anterior proposición pueda parecer extraña, más extraña resulta la proposición contraria, en el sentido de que el régimen de un cauce aluvial en equilibrio, pueda ser de alguna forma controlado por el tamaño de las partículas del lecho.

Referencias Bibliográficas

Farias, H. D., Pilan, M.T. (2003). "Erosión General en ríos con Lechos Arenosos" Primer Simposio Regional de Hidráulica de Ríos. Buenos Aires, Argentina, Noviembre

Aldana, J., Ordóñez, J.I. (2003). Comparación de Formulas para calcular la Socavación General en Cauces Aluviales" Primer Simposio Regional de Hidráulica de Ríos. Buenos Aires, Argentina.

Vargas Rey, J. (1996). Metodología para el Cálculo de la Socavación General en Cauces Aluviales, Ríos Saldaña, Guatiquía y Upía", Tesis Univ. Nacional, Colombia.

Gutiérrez, M. R. (1997). Metodología para el Cálculo de la Socavación General en Cauces Aluviales, Ríos Negro y Guayuriba", Tesis Univ. Nacional, Colombia.

Ordóñez, J.I., (1992). Un Concepto sobre el Flujo Casi-Crítico en Cauces Aluviales". Memorias del XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia.