

1. INTRODUCCION
 - 1.1 Consideraciones generales
 - 1.2 Desarrollo del manual

2. HIDRAULICA FLUVIAL
 - 2.1 Resistencia al flujo
 - 2.1.1 Sin arrastre
 - 2.1.2 Con arrastre
 - 2.2 Transporte de sedimentos
 - 2.3 Diseño de cauces con arrastre
 - 2.3.1 Gasto formativo
 - 2.3.2 Cauces estables
 - 2.3.2.1 Método de Altunin para material granular
 - 2.3.2.2 Método de Maza-Cruickshank para cauces arenosos
 - 2.3.2.3 Teoría de régimen. Método de Blench para cauces arenosos con material cohesivo
 - 2.4 Referencias

3. CONTROL DE CARCAVAS
 - 3.1 Etapas de control
 - 3.2 Presas de gaviones
 - 3.2.1 Funciones y tipos
 - 3.2.2 Criterios de diseño
 - 3.2.2.1 Geometría
 - 3.2.2.1.1 Altura efectiva
 - 3.2.2.1.2 Espaciamiento
 - 3.2.2.1.3 Empotramiento de la presa
 - 3.2.2.2 Hidráulico
 - 3.2.2.2.1 Vertedor alojado en la presa
 - 3.2.2.2.2 Tanque amortiguador
 - 3.2.2.3 Estabilidad de la presa

- 3.3 Recomendaciones de diseño
- 3.4 Aplicación
- 3.5 Referencias

4. ESTABILIZACION DE CAUCES

- 4.1 Introducción
- 4.2 Espigones
 - 4.2.1 Datos para su diseño
 - 4.2.2 Recomendaciones de diseño
 - 4.2.3 Estabilidad de la estructura de gaviones
 - 4.2.4 Observaciones
- 4.3 Recubrimientos o muros marginales
 - 4.3.1 Datos necesarios
 - 4.3.2 Recomendaciones de diseño
 - 4.3.3 Estabilidad de la estructura de gaviones
- 4.4 Canalización
 - 4.4.1 Consideraciones de diseño
 - 4.4.2 Recomendaciones de diseño
- 4.5 Referencias

5. MUROS DE RETENCION

- 5.1 Introducción
- 5.2 Diseño de los muros
 - 5.2.1 Cálculo del empuje
 - 5.2.2 Estabilidad de los muros
 - 5.2.2.1 Deslizamiento
 - 5.2.2.2 Volteamiento
 - 5.2.2.3 Carga sobre el terreno
 - 5.2.2.4 Verificación en secciones intermedias
 - 5.2.2.5 Seguridad de falla global
 - 5.2.3 Recomendaciones de diseño
- 5.3 Aplicación

5.4 Referencias

1. INTRODUCCION

1.1 Consideraciones generales

En el transcurso del tiempo, la erosión transforma lentamente, pero en forma continua, la corteza terrestre. Este proceso es el resultado de la acción combinada de diversos factores, principalmente, el agua, el viento y la temperatura. La rapidez con que se efectúa este fenómeno depende de las características geológicas y climáticas de cada región y en casos particulares de la alteración del medio causada por el hombre.

La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de erosión, ya que, por lo general, éstas se inician después de que una gran parte del suelo superficial ha sido arrastrado a causa de una fuerte erosión laminar.

Al iniciarse el proceso de la formación de cárcavas, se presenta el estado de zanjado incipiente, o sea aquel en que la cárcava empieza a notarse sobre el terreno, debido a que el agua que escurre tiende a concentrarse para formar pequeñas corrientes que poco a poco convergen entre sí para dar origen a otras de mayor anchura y profundidad

El control de las cárcavas, en su etapa incipiente es sencillo, pues, generalmente, basta pasar el arado o la rastra a través de las pequeñas corrientes o canalillas para que ellas desaparezcan e impedir así su crecimiento posterior y, por lo tanto, la dificultad de su control. En su etapa desarrollada, para disminuir la velocidad del escurrimiento y por tanto reducir al máximo su poder erosivo y evitar en esta forma su crecimiento en profundidad y anchura, el control de cárcavas mediante la construcción de presas como son, por ejemplo, las hechas con gaviones, es solo una parte del control integral de cuencas, ya que este problema para ser resuelto en forma completa, exige un tratamiento adecuado del área total drenada, debido a que si se atiende exclusivamente a las cárcavas existentes, se omite atacar las causas que lo originan.

En los ríos que drenan los escurrimientos de la cuenca, en sus curvas se produce el fenómeno de erosión y depósito, por la fuerza centrífuga que se genera en ellas. Por ello, en las curvas, las secciones transversales tienen mayores profundidades cerca de la orilla exterior-, las que disminuyen hacia el interior. Durante el proceso erosivo, el flujo remueve y arrastra principalmente las partículas del pie y de la zona baja de talud de la orilla, con lo que esta tiende a hacerse vertical. Cuando la margen está formada principalmente por material no cohesivo como son, por ejemplo las arenas y gravas, el talud falla al tender a hacerse vertical. Dicha falla se produce ya sea por deslizamiento o por fracturamiento, hasta que un bloque cae dentro de la corriente. Sí la margen esta construida por material cohesivo se pueden llegar a formar cavidades al pie del talud antes de que se produzca el colapso y falla de un tramo de la orilla. Después de la falla, la pendiente del talud disminuye y se mantiene así mientras la corriente arrastra todo el material fallado y el ciclo erosivo vuelve a repetirse.

Entre las medidas más comunes para proteger las márgenes de los ríos, sobre todo los exteriores de las curvas, están los espigones, los recubrimientos o protecciones marginales y los diques, cuyo propósito principal consiste en evitar el contacto directo entre el flujo con alta velocidad y el material que forma la orilla; esas estructuras pueden ser construidas con una gran variedad de materiales, por solo citar algunos, están los enrocamientos o los gaviones.

La erosión que se produce en la cuenca o en los ríos como resultado de un fenómeno natural, es a menudo acelerada cuando el hombre cambia las condiciones naturales del suelo, como son, por ejemplo, las debidas a la desmedida práctica comercial de la tala de bosques, los incendios no sofocados en los bosques, el pastoreo exagerado, la construcción de vías de comunicación, etc. Para el caso particular de las vías de comunicación para proteger los taludes del terraplén, es común en nuestro medio utilizar muros de retención formados con gaviones.

1.2 Desarrollo del manual

El trabajo se ha dividido en cinco capítulos. El capítulo uno, del cual forma parte esta sección, ha tenido la finalidad de formular el problema de la erosión en cuencas y la forma de controlarla.

En el capítulo dos, se presentan algunos aspectos técnicos de la Hidráulica Fluvial, para estudiar los problemas que se presentan al tratar con corrientes naturales y canales artificiales cuyas paredes y fondo están formados con materiales susceptibles de ser arrastrados por la corriente.

En el capítulo tres, se presenta lo relativo a la estabilización de cárcavas, con el uso de las presas de gaviones para controlar la erosión, estas estructuras reducen la velocidad del agua y el deterioro en los taludes de la cárcava tratada. La estabilización solo sería total, cuando se desarrolle vegetación permanente que retenga el suelo en su sitio.

En el capítulo cuatro, se presentan las recomendaciones de diseño para la estabilidad y rectificación de cauces, utilizando espigones, recubrimientos marginales y los diques, así como la estabilidad de dichas obras cuando éstas se construyen con gaviones

En el capítulo cinco, se presenta el diseño de los muros de retención o sostenimiento que se emplean en vías de comunicación (carreteras y ferrocarriles) para resolver entre otros fines, la estabilización de taludes, la erosión de las márgenes, etc.

2. HIDRAULICA FLUVIAL

2.1 Resistencia al flujo

2.1.1 Sin arrastre

Entre las fórmulas de resistencia al flujo más usuales en la práctica está la de Manning, dada por

$$V = 1 / n R_H^{1/2} S^{1/2} \quad (2.1)$$

donde

V velocidad media, en m/s
n coeficiente de Manning, ver tabla 2.1
R_H magnitud característica, para flujo en canales se utiliza el

S radio hidráulico, en m
 S gradiente ó pendiente hidráulica, adimensional



Fig 2.1

Sí se usan gaviones el valor de n también se puede obtener con ayuda de la fig 2.1 en función del diámetro medio de las partículas con que se llena el gavión. Sí el radio hidráulico es mayor de 1.5 m se puede usar un valor de n = 0.025 con la restricción de que el diámetro medio de las partículas tenga un tamaño que varíe entre 5 y 25 cms.

2. 1. 2 Con arrastre

Entre los métodos que permiten obtener directamente la resistencia total se recomienda el propuesto por Cruickshank-Maza, que toma en cuenta la rugosidad relativa de los granos e implícitamente la variación de la forma de la configuración del fondo al variar el flujo. Proponen dos ecuaciones, una para régimen inferior con fondo de rizos y dunas, y otra para régimen superior con ondas estacionarias y antidunas.

Para régimen inferior

$$V = 7.58 C_{50} (d / D_{84})^{0.634} (S / \Delta)^{0.456} \quad (2.2)$$

que se cumple sí

$$1 / S \geq 83.5 (d / \Delta D_{84})^{0.352} \quad (2.2a)$$

Para régimen superior

$$V = 6.25 C_{50} (d / D_{84})^{0.644} (S / \Delta)^{0.352} \quad (2.3)$$

que se cumple sí

$$1 / S \leq 83.5 (d / \Delta D_{84})^{0.352} \quad (2.3a)$$

V velocidad media del flujo, en m/s

ω_{50} velocidad de caída de las partículas con diámetro D so' en m/s, se obtiene con ayuda de la fig 2.2

d tirante medio, en m

D_n diámetro de la partícula, donde el subíndice n indica el porcentaje en peso de la muestra, que contiene partículas que son menores o iguales que D_n . Por ejemplo, si $D_{84} = 0.524$ mm, significa que el 84%, en peso, del sedimento está formado por partículas cuyos tamaños son menores o iguales a 0.524 mm

S pendiente del cauce, adimensional

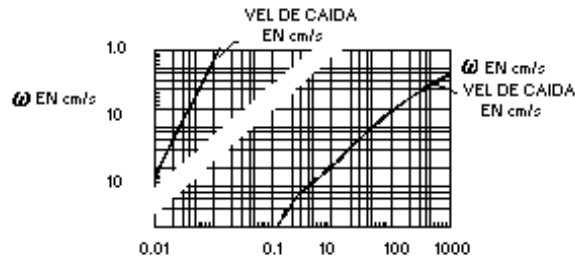


Fig 2.2

$$\Delta = \gamma_s - \gamma / \gamma$$

γ_s peso específico de una partícula, en kgf/m³

γ peso específico del agua, en kgf/m³

2.2 Transporte de sedimentos

Los sedimentos que pueden ser transportados son los que forman el fondo y las orillas del cauce, además de las partículas muy finas procedentes de los terrenos de la cuenca.

Para cuantificar el transporte total de fondo, es decir, la totalidad, de partículas que pasan por una sección, en suspensión ó en la capa de fondo, y que proceden del fondo o del lavado de la cuenca, se recomienda utilizar los métodos de Meyer-Peter y Müller y el de Engelund.

a. Método de Meyer-Peter y Müller

La expresión propuesta establece que

$$g_{BT} = 8 \gamma_s g^{1/2} \Delta^{1/2} D_m^{3/2} [(n' / n)^{3/2} \tau_* - 0.047]^{3/2} \quad (2.4)$$

donde

g_{BT} transporte total de fondo, en kgf/s/m

D_m diámetro medio de las partículas, en m

n rugosidad total del cauce, se obtiene de la fórmula de Manning

n' rugosidad debida a las partículas e igual a

$$n' = D_{90}^{1/6} / 21 = D_{50}^{1/6} / 26 \quad (2.4a)$$

g aceleración de la gravedad, en m/s

τ^* parámetro adimensional de Shields

$$\tau^* = R_H S / \Delta D_{50} \quad (2.4b)$$

D_{50} , D_{90} están expresados en m. Meyer-Peter y Müller probaron materiales con pesos específicos comprendidos entre 1250 y 4200 kgf/m³ y los diámetros medios de las muestras variaron de 0.4 mm a 30 mm.

b. Método de Engelund

La fórmula propuesta para cauces arenosos es

$$g_{BT} = 0.04 \gamma_S (R_H S)^{3/2} V^2 / g^{1/2} \Delta^2 D_{35} \quad (2.4)$$

donde V es la velocidad media del flujo, en m/s. La ecuación se aplica siempre y cuando $0.15 < D_{50} < 2$ mm y el número de Reynolds de la partícula asociado a la velocidad al cortante sea igual o mayor que 12, es decir

$$Re = V^* D_{50} / \nu \geq 12 \quad (2.6)$$

donde

Re número de Reynolds, adimensional

ν viscosidad cinemática, en m²/s, ver tabla 2.2

V^* velocidad al cortante, en m/s

$$V^* = (g R_H S)^{1/2} \quad (2.6a)$$

2.3 Diseño de cauces con arrastre

2.3.1 Gasto formativo

Para el estudio de la estabilidad de un cauce, es indispensable fijar un gasto que represente el hidrograma anual, al respecto existen varios criterios para determinarlo, ellos se describen a continuación

a) Gasto dominante. El gasto formativo que recibe este nombre es aquel que de permanecer constante a lo largo del año, transportará la misma cantidad de material del fondo que el hidrograma anual, por tanto, para encontrar el valor del gasto dominante se calcula para cada día del año el transporte de fondo en función del gasto medio diario aforado; sumando todos los resultados se obtiene el transporte anual del fondo y se divide entre 365 días del año, logrando el transporte medio diario, con lo cual resulta fácil obtener el gasto líquido diario que tiene esa capacidad de transporte. El gasto líquido, en m^3/s , asociado a ese gasto diario, recibe el nombre de dominante.

b) Para algunos autores (entre ellos Leopold y Madok) el gasto formativo es el que tiene un periodo de retorno de 1.4 años. Si hay una estación de aforos cercana, se puede obtener analizando los gastos máximos con los criterios de Nash o Gumbel.

c) Por último, algunos consideran como gasto formativo, principalmente en ríos de planicie, al gasto máximo que es capaz de pasar por el cauce principal sin que desborde hacia la planicie. En la mayoría de los problemas estudiados este criterio ha conducido a resultados más congruentes.

Sin embargo, se recomienda utilizar los tres y probar los tres gastos obtenidos. Casi siempre se puede contar con algún dato adicional que permita conocer cual de ellos conduce a un resultado más acertado.

2.3.2 Cauces estables

Generalmente, conocidos el gasto formativo Q , el transporte de sólidos que entre al tramo en estudio g_{BT} , y un diámetro representativo, D , del material del fondo, se puede obtener la pendiente, el ancho B y el tirante d , es decir, se tiene un cauce con tres grados de libertad. Entre los métodos para analizar la estabilidad del cauce están, por ejemplo, los propuestos por Altunin, Maza-Cruickshank y Blench. El primero se desarrolló para cauces formados con material grueso como gravas y boleos; el segundo se aplica a cauces arenosos, y el tercero es aplicable a cauces con márgenes formadas de material cohesivo.

2.3.2.1 Método de Altunin para material granular

Para conocer la estabilidad de un cauce, Altunin tomó en cuenta además de las variables ya indicadas, la mayor o menor resistencia de las orillas a la erosión, y la zona del río donde se encuentra el tramo en estudio.

Con ello supuso que una sección es de tipo "a", si las orillas son difícilmente erosionables y "b" si son fácilmente erosionadas.

Las tres ecuaciones que propone para obtener los tres grados de libertad son:

La primera permite conocer la velocidad media de la corriente que no produce erosión, tomando en cuenta el diámetro medio del material del fondo y el tirante

$$V = a V_{\phi} d^{\alpha} \quad (2.7)$$

La segunda define la velocidad media de la corriente en función de la resistencia flujo

$$V = k d^z S^x \quad (2.8)$$

La tercera resultó de la observación de secciones naturales estables y fue propuesta por Glushkov

$$B^m = Kd \quad (2.9)$$

La ec 2.9 se puede transformar y se ha propuesto utilizarla también como

$$B = A Q^{0.5} / S^{0.2} \quad (2.10)$$

donde

a constante igual a 1 en la planicie y 1.1 en la zona intermedia

V_{ϕ} velocidad media máxima que soportan las partículas del fondo sin que se produzca erosión cuando el tirante es de 1 m. Se obtiene con ayuda de la tabla 2.3 en función del diámetro medio de las partículas, en m/s

d tirante medio en la sección, igual al área entre el ancho de la superficie libre, en m

α exponente variable que depende del tirante y que puede tomar los valores siguientes

$$\alpha = 1 / 3 \text{ sí } d < 1.50 \text{ m} \quad (2.11a)$$

$$\alpha = 1 / 4 \text{ sí } 1.50 < d < 2.50 \text{ m} \quad (2.11b)$$

$$\alpha = 1 / 5 \text{ sí } d > 2.50 \text{ m} \quad (2.11c)$$

k coeficiente de rugosidad que para cauces con gravas o diámetros mayores Altunin lo supone igual a 11

z exponente que para las condiciones indicadas se recomienda igual a 1/2

x exponente que para las condiciones indicadas se recomienda igual a 1/3

B ancho de la superficie libre del agua, en m

m exponente que es igual a 0.5 para ríos de montaña y 1.0 para cauces aluviales cerca de la desembocadura; se acepta 0.7 para cauces arenosos. Este exponente también se puede valuar mediante la ecuación

$$m = 0.72 \left[\Delta D / R_H S \right]^{0.1} \quad (2.12)$$

A coeficiente dado por la expresión

$$A = [n K^{5/3} S^{3/(3+5m)}] \quad (2.13)$$

Los valores de A y m se pueden obtener con ayuda de la tabla 2.4.

En la ecuación propuesta para valuar A, n es el coeficiente de rugosidad según Manning, y K un coeficiente que depende de la resistencia de las orillas, ver ec 2.9, cuyos valores son 3 a 4 si el material que forma el cauce es muy resistente (tipo a), 16 a 20 para material fácilmente erosionable (tipo b) y para material aluvial entre 8 y 12. En los problemas de ingeniería se acepta usar K = 10.

A partir de las ecs 2.7, 2.8 y 2.10 se obtienen las ecuaciones generales de diseño mostradas en la tabla 2. 5, donde se ha considerado que z y x tienen los valores indicados anteriormente. Las ecuaciones se presentan para los tres valores de a mencionados.

Dado que la Información disponible para el diseño puede variar y, con ello, las tres incógnitas que deben despejarse de las tres ecuaciones originales, en la tabla 2.6 se indican tres posibles combinaciones de parámetros por obtener. En ella aparecen cinco incógnitas para cada grupo, pero ello se debe a que se han añadido dos ecuaciones adicionales

de continuidad

$$V = q / d \quad (2.14)$$

$$Q = V B d \quad (2.15)$$

donde

q gasto unitario, en m³/s/m

2.3.2.2 Método de Maza-Cruickshank para cauces arenosos

El método propuesto toma en cuenta tres ecuaciones: una de fricción (la de Cruickshank-Maza para arenas), una de arrastre y otra que relacione anchos y pendientes, esta última obtenida en forma empírica de observaciones reales (la de Gluschkov)

o Q, tría 1 dinámica. Las ecuaciones que

Conocidos algunos de los parámetros que intervienen en las ecuaciones de partida, se puede obtener el valor de tres que no sean conocidos. Sí, por ejemplo, se conoce el gasto formativo Q, el transporte de sedimentos que entra al tramo Q_{BT} , la granulometría del material del fondo y orillas, y se supone que el exponente m, de la ec 2. 9, es igual a 0. 70 (valor promedio para cauces arenosos), se se obtienen el ancho, tirante y pendiente del cauce con estabilidad dinámica. Las ecuaciones que permiten encontrar esas variables son

Para régimen inferior

$$B = 0.368 D_{84}^{0.247} K^{0.7} Q^{0.63} / \omega_{50}^{0.39} \Delta^{0.238} g^{0.06} D_{35}^{0.118} Q_{BT}^{0.119} \quad (2.16)$$

$$d = 0.468 D_{84}^{0.173} Q^{0.44} / \omega_{50}^{0.274} \Delta^{0.166} g^{0.041} K^{0.51} D_{35}^{0.083} Q_{BT}^{0.083} \quad (2.17)$$

$$S = 3.215 \Delta^{1.12} g^{0.28} D_{35}^{0.56} D_{84}^{0.223} K^{0.294} Q_{BT}^{0.56} / \omega_{50}^{0.352} Q^{0.768} \quad (2.18)$$

Para régimen superior

$$B = 0.037 D_{84}^{0.261} K^{0.714} Q^{0.596} / \omega_{50}^{0.406} \Delta^{0.19} g^{0.048} D_{35}^{0.095} Q_{BT}^{0.095} \quad (2.19)$$

$$d = 0.5 D_{84}^{0.183} Q^{0.417} / \omega_{50}^{0.283} \Delta^{0.133} g^{0.033} K^{0.5} D_{35}^{0.067} Q_{BT}^{0.067} \quad (2.20)$$

$$S = 3.5 \Delta^{1.16} g^{0.261} D_{35}^{0.581} D_{84}^{0.235} K^{0.309} Q_{BT}^{0.581} / \omega_{50}^{0.365} Q^{0.797} \quad (2.21)$$

La ventaja principal de este método consiste en que permite tomar en cuenta el gasto sólido y por tanto conocer las variaciones que sufre la sección cuando es incrementado o reducido debido a alteraciones en la cuenca y obras en los cauces.

En las ecs 2. 16 a 2. 21 B, d, D_{35} y D_{84} en m; Q y Q_{BT} en m^3/s ; g en m/s^2 ; ω_{50} en m/s y Δ no tiene unidades.

2.3.2.3 Teoría de régimen. Método de Blench para cauces arenosos o con material cohesivo

Según Blench, las tres ecuaciones de diseño para obtener las características geométricas y la pendiente de un canal estable son:

$$B = 1.81 [Q F_b / F_s]^{1/2} \quad (2.22)$$

$$d = 1.02 [Q F_s / F_b^2]^{1/3} \quad (2.23)$$

$$S = 0.56 (1 + 0.012 C_s) F_b^{5/6} F_s^{1/12} / [1 + C_s / 2330] K Q^{1/6} \quad (2.24)$$

donde

F_b factor de fondo, cuyos valores promedio son 0.8 para material fino y 1.2 para material grueso.

F_s factor de orilla, cuyos valores son 0.1 para materiales sueltos, 0.2 para materiales ligeramente cohesivos y 0.3 para materiales cohesivos.

C_s concentración del sedimento arrastrado del fondo, en partes por millón en peso

K coeficiente igual a:

$$K = 6.03 g / v^{1/4} \quad (2.25)$$

Los coeficientes de las ecuaciones anteriores obligan a utilizar el sistema métrico.

El factor de fondo F_b , puede ser valuado mediante las expresiones siguientes:

+ Sí el canal arrastra poco sedimento y el fondo es arenoso

$$F_b = 1.9 \sqrt{D} \quad (2.26)$$

donde D diámetro medio de las partículas, en mm.

+ Sí existe arrastre de sedimentos y el fondo es arenoso

$$F_b = 1.9 \sqrt{D (1 + 0.012 C_s)} \quad (2.27)$$

El método de Blench conviene utilizarlo en el diseño de canales de riego y en tramos de ríos con material fino y con cierta cohesión. Debe tenerse cuidado cuando su aplicación se extrapola a cauces naturales o canales con material grueso.

2.4 Referencias

1. Blench T, "Regimen behavior of channels and rivers", Butterworths Scientific Publications, London, 1957, pp 53-113.
2. Engelund, F, "Hydraulic resistance of alluvial streams", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol 93, No HY4, paper 4739, mar 1966, pp 315-327.
3. Manual de Diseño de Obras Civiles, "Cap A.2.9 Escurrimiento a superficie libre", Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.
4. Manual de Diseño de Obras Civiles, "Cap A. 1. 10 Avenidas de Disefío" Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.
5. Manual de Diseño de Obras Civiles, "Cap A.2.11 Hidráulica Fluvial", Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.
6. Maza, J. and Cruickshank, C, "Stable channels in alluvion", Proceedings International Symposium on River Mechanics, Bangkok, Tailandia, jan 1973, pp 715-722.
7. Meyer Peter, E and Müller, R, "Formula for bed-load transport", Report on Second Meeting of International Association for Hydraulic Research, Estocolmo, Suecia, 1948, pp 39-64.
8. Secretaría de Obras Públicas, "Gaviones metálicos", Departamento de Antioquía, Colombia.

TABLA 2.1 Valores de la "n" de Manning para diferentes acabados [3]

1. Concreto, en conductos cerrados, funcionando parcialmente llenos	
a) cimbra de acero, sin acabado	0.013
b) cimbra de madera, sin acabado	0.014
2. Concreto, en canales excavados a cielo abierto	
a) acabado con llana metálica	0.013
b) ababado con llana de madera	0.015
c) sin acaba	0.017
3. Fondo de concreto, acabado con llana de madera y taludes	
a) mampostería juntada y aplanada con mortero	0.20
b) mampostería seca o a volteo	0.030
4. Fondo y taludes de mampostería	
a) juntada con mortero	0.025
b) sin juntear	0.032
5. Canales revestidos con gaviones tipo colchoneta rellenos con material bien seleccionado y puestos en obra con mucho cuidado	0.0222

6. Canales revestidos con gaviones tipo colchoneta rellenos con material bien seleccionado y puestos en obra sin mucho cuidado	0.0250
7. Canales revestidos con gaviones tipo colchoneta rellenos con material de cantera no seleccionado y colocado a volteo	0.0270
8. Canales revestidos con gaviones rellenos con material bien seleccionado y puesto en obra muy cuidadosamente	0.0260
9. Canales revestidos con gaviones rellenos con material no seleccionado y puesto en obra sin mucho cuidado	0.0285
10. Canales en tierra en malas condiciones de mantenimiento: presencia de vegetación en el fondo y en las orillas, o depósitos irregulares de piedras y de grava, o profundas erosiones irregulares. Canales en tierra realizados con excavadoras y sin mantenimiento	0.0303

TABLA 2.2 Coeficiente de viscosidad dinámica y cinemática del agua en función de la temperatura [5]

<i>Temperatura en C</i>	<i>Viscosidad dinámica, μ en 10^{-8} Kgf s/m²</i>	<i>Viscosidad cinemática, ν en 10^{-8} Kgf s/m²</i>	<i>Temperatura en C</i>	<i>Viscosidad dinámica, μ en 10^{-8} Kgf s/m²</i>	<i>Viscosidad cinemática, ν en 10^{-8} Kgf s/m²</i>
5	1.548	1.519	16	1.133	1.112
6	1.500	1.472	17	1.104	1.084
7	1.456	1.428	18	1.076	1.057
8	1.413	1.386	19	1.049	1.031
9	1.372	1.346	20	1.025	1.007
10	1.333	1.308	21	1.000	0.983
11	1.296	1.272	22	0.976	0.960
12	1.260	1.237	23	0.954	0.938
13	1.227	1.204	24	0.932	0.917
14	1.194	1.172	25	0.911	0.896
15	1.162	1.141	26	0.890	0.876

TABLA 2.3 Valores de la velocidad $V\phi$ en función del diámetro medio de las partículas cuando el tirante es de 1 m [5]

<i>Diámetro, en mm</i>	<i>$V\phi$ en m/s</i>	<i>Diámetro, en mm</i>	<i>$V\phi$ en m/s</i>
		46	1.44
		48	1.47
		50	1.50
1.0	0.60	52	1.54
2.5	0.75	54	1.56
5	0.80	56	1.59
10	0.83	58	1.62
15	0.86	60	1.65
20	0.90	65	1.69
25	0.98	70	1.73
30	1.04	75	1.76
32	1.11	80	1.80
34	1.17	85	1.84
36	1.24	90	1.88
38	1.29	95	1.91
40	1.35	100	1.95
42	1.38	150	2.40
44	1.41	200	2.60

TABLA 2.4 Valores de A y m para cauces estables [5]

<i>Zona del Río y condición del cuce</i>	<i>Número de Froude</i>	<i>Parametro A</i>		<i>Valores del exponente m cuando K = 10</i>	
		<i>Tipo de Sección a</i>	<i>b</i>	<i>Tipo de Sección a</i>	<i>b</i>
Zona de alta montaña. Cauce rocoso o cubierta de piedras	10	0.50	0.75	---	1.0
Zona de montaña. Cauce formado con cantos rodados, boleó y guijarros. Rápidas y pendien e cercana a la crítica.	1.0 - 0.5	0.75	0.90	1.00	0.80
Zona en las faldas de la montaña. Llegada del río al valle.Cauce formado por guijarros, grava y arena. Corriente tranquila	0.50 - 0.20	0.90	1.0	0.80	0.75
Zona intermedias. Cauce formado por arena gruesa, media y fina. Corriente tranquila	0.20 - 0.40	1.0	1.1	0.75	0.70
Zona de planicie. Cauce formado de arena fina.					
a) Río caudaloso	0.20 - 0.02	1.1	1.3	0.75	0.70
b) Río poco caudaloso	0.20 - 0.40	1.0	1.1	0.75	0.70

TABLA 2.5 Fórmulas para el cálculo de cauces estables formados en terrenos de arena gruesa a guijarros, partículas con diámetro mayor de 1 mm [5]

Elemento de cálculo	$\alpha = 1/5$	$\alpha = 1/4$	$\alpha = 1/3$
Profundidad media, d	$0.732 V_{\phi}^{10/3}$ ----- $(1000 S)^{10/9}$	$0.685 V_{\phi}^4$ ----- $(1000 S)^{4/3}$	$0.565 V_{\phi}^6$ ----- $(1000 S)^2$
Velocidad media, V	$0.939 V_{\phi}^{5/3}$ ----- $(1000 S)^{2/9}$	$0.909 V_{\phi}^3$ ----- $(1000 S)^{1/3}$	$0.835 V_{\phi}^3$ ----- $(1000 S)^{2/9}$
Gasto unitario, q	$0.686 V_{\phi}^5$ ----- $(1000 S)^{4/3}$	$0.623 V_{\phi}^6$ ----- $(1000 S)^{5/3}$	$0.471 V_{\phi}^9$ ----- $(1000 S)^{8/3}$
Gasto de agua en brazo estable, Q	$7.46 A^2 V_{\phi}^{10}$ ----- $(1000 S)^{3.07}$	$6.20 A^2 V_{\phi}^{12}$ ----- $(1000 S)^{3.73}$	$3.50 A V_{\phi}^{18}$ ----- $(1000 S)^{5.73}$
Pendiente del cauce estable, S	$0.00192 A^{0.653} V_{\phi}^{3.26}$ ----- $Q^{0.326}$	$0.00163 A^{0.563} V_{\phi}^{3.21}$ ----- $Q^{0.268}$	$0.00123 A^{0.31} V_{\phi}^{3.15}$ ----- $Q^{0.154}$
Velocidad de forma, V_{ϕ}	$6.85 Q^{0.10} S^{0.307}$ ----- $A^{0.2}$	$7.40 Q^{0.083} S^{0.312}$ ----- $A^{0.175}$	$8.45 Q^{0.049} S^{0.317}$ ----- $A^{0.10}$

TABLA 2.6 Fórmula de diseño para cauces estables en grava o boleó¹ [5]

<i>Variable por Calcular</i>	$\alpha = 1/5$	$\alpha = 1/4$	$\alpha = 1/3$
	Primer problema	Datos: Q, Vf, A	
S	$0.00192 A^{0.653} V_{\phi}^{3.26}$ ----- $Q^{0.326}$	$0.00163 A^{0.563} V_{\phi}^{3.21}$ ----- $Q^{0.268}$	$0.00123 A^{0.31} V_{\phi}^{3.15}$ ----- $Q^{0.154}$
B	$AQ^{0.5} / S^{0.2}$	$AQ^{0.5} / S^{0.2}$	$AQ^{0.5} / S^{0.2}$
q	Q / B	Q / B	Q / B
d	$(q / V_{\phi})^{5/6}$	$(q / V_{\phi})^{4/9}$	$(q / V_{\phi})^{3/4}$
	Segundo problema	Datos: S, Vf, A	
d	$0.732 V_{\phi}^{10/3}$ ----- $(1000 S)^{10/9}$	$0.685 V_{\phi}^4$ ----- $(1000 S)^{4/3}$	$0.565 V_{\phi}^6$ ----- $(1000 S)^2$
q	$V_{\phi} d^{6/5}$	$V_{\phi} d^{5/4}$	$V_{\phi} d^{4/3}$
B	$A^2 q / S^{0.4}$	$A^2 q / S^{0.4}$	$A^2 q / S^{0.4}$
Q	q / B	q / B	q / B
	Tercer problema	Datos: Q, S, A	
V ϕ	$0.817 Q^{0.1} (1000 S)^{0.307}$ ----- $A^{0.2}$	$0.855 Q^{0.083} (1000 S)^{0.312}$ ----- $A^{0.176}$	$0.943 Q^{0.049} (1000 S)^{0.317}$ ----- $A^{0.10}$
B	$AQ^{0.5} / S^{0.2}$	$AQ^{0.5} / S^{0.2}$	$AQ^{0.5} / S^{0.2}$
q	Q / B	Q / B	Q / B
d	$(q / V_{\phi})^{5/6}$	$(q / V_{\phi})^{4/9}$	$(q / V_{\phi})^{3/4}$

¹ En algunos casos las formulas tambien son aplicables a cauces arenosos. Los valores de V o se toman de la tabla 2.3 ya que en las formulas que aparecen en esta tabla esta tomado en cuenta si se utilizan tirantes diferentes de 1 m