

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

XVII CONGRESO CHILENO DE HIDRÁULICA

SOCAVACIÓN LATERAL EN CAUCES NATURALES NO COHESIVOS

GONZALO DONOSO QUIROGA¹
LUDWIG STOWHAS BORGHETTI²

RESUMEN

Se realiza un estudio que lleve a determinar de alguna forma la extensión de la socavación que se produce hacia los costados del cauce de un río cuyo lecho está compuesto por material granular, bajo ciertas condiciones dadas durante una determinada crecida. Para esto se revisan las metodologías existentes basadas principalmente en los conceptos de Estabilidad de Cauces, correspondiente a la Teoría de Régimen, y Equilibrio Dinámico.

Se revisan algunas metodologías que permiten determinar la forma que toma la sección transversal de un río.

A partir de estas metodologías se propone un método que lleve a determinar la socavación lateral que provoca un río de las características señaladas, bajo una crecida determinada.

Se realiza una aplicación de los diferentes métodos estudiados y del método propuesto a los ríos Aconcagua, estero Marga Marga, estero Rabuco y estero Reñaca.

¹ Ingeniero Civil, Universidad Santa María – mail: gozub@yahoo.com

² Profesor Titular, Departamento de Obras Civiles, Universidad Santa María - mail: ludwig.stowhas@usm.cl

1. INTRODUCCIÓN

El cálculo de la socavación general o local provocada en el fondo de un río es un tema bastante estudiado, en aquellos casos en que es posible postular que el cauce se encuentra lateralmente confinado. En la práctica, sin embargo, es frecuente la ocurrencia de problemas de socavación de las riberas de los cauces, situación que afecta a estructuras tales como atravesos de ductos o tuberías que no confinan lateralmente el cauce e incide también en la definición de la potencialidad de uso de terrenos ribereños. En estos casos el estudio del fenómeno se torna más complejo pues existe un grado de libertad adicional, cual es la geometría de equilibrio que logra el cauce, lo que hace que esta situación haya sido menos estudiada, existiendo procedimientos propuestos con diferentes criterios, algunos que incluyen apreciaciones subjetivas, lo que se traduce en una gran dispersión e incertidumbre en los resultados.

En este trabajo se revisan los principales criterios que han sido propuestos para estos propósitos y se propone una metodología de cálculo alternativa, que se compara favorablemente con datos de terreno.

2. MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS DE EQUILIBRIO ESTABLE EN UN RÍO

2.1 Teoría de Cauces en Régimen

Esta teoría es puramente empírica, ya que en base a datos experimentales recopilados se realizaron regresiones para determinar las ecuaciones que relacionan las distintas variables hidráulicas y morfológicas del cauce, bajo condiciones de equilibrio en régimen. En este trabajo se revisan los métodos de Lacey, Blench, Simons y Albertson, y Kondap; el primero por estar basado en una recopilación de los métodos anteriores a él, el segundo por ser uno de los más difundidos, el tercero por señalar variaciones en la resistencia de márgenes, y el último, por utilizar elementos adimensionales de la teoría de esfuerzos críticos de Shields.

2.1.1 Método de Lacey (Maza y García, 1996)

Como parámetros geométricos de la sección transversal utiliza el radio hidráulico y el perímetro mojado en lugar de la profundidad y el ancho de la superficie libre que normalmente se usaba. Aunque esto representa un mayor trabajo, ya que las dimensiones buscadas (ancho y profundidad) dependen de la forma de la sección, Lacey consideró que era más preciso.

2.1.2 Método de Blench (Maza y García, 1996)

Blench tomó en cuenta las observaciones de varios autores. Su método toma en cuenta dos parámetros introducidos por él, que son el Factor de fondo (F_b) y el Factor de orilla (F_s).

Esos parámetros son función de la concentración del material transportado en suspensión, del diámetro de las partículas del fondo y de la resistencia de las orillas a ser erosionadas.

2.1.3 Método de Simons y Albertson (Maza y García, 1996)

Estos autores utilizaron principalmente datos obtenidos en la India y Estados Unidos y presentaron sus ecuaciones en 1963. Este método tiene la ventaja de ser aplicable a un rango mayor de materiales. Las ecuaciones propuestas son aplicables a cauces en que el transporte del material de fondo es menor que 500 ppm, excepto cuando se especifica.

2.1.4 Método de Kondap (Maza y García, 1996)

Dentro de la teoría de régimen también se encuentran las ecuaciones de Kondap, desarrolladas en 1977. Aunque también tienen un carácter completamente empírico, fueron obtenidas de relaciones entre parámetros adimensionales. Para llegar a estas ecuaciones, Kondap realizó una serie de observaciones a algunos canales aluviales.

2.2 Método Basado en el Concepto de Equilibrio Dinámico

Este método propuesto en 1973 por José Antonio Maza Álvarez (Maza y García, 1996), se basa en el concepto de grados de libertad de la forma del cauce de un río. Básicamente, la idea de ese autor fue conseguir tres ecuaciones para obtener el ancho, la profundidad de la sección y la pendiente hidráulica de un cauce estable dinámicamente. Cuando se habla de estabilidad se refiere a que los caudales que escurren por él, los materiales de fondo y de orillas, y los sedimentos transportados han formado un único cauce con una sección y pendiente que no cambian apreciablemente de año en año.

2.2.1 Fórmulas fundamentales

Los tres tipos de fórmulas escogidos por Maza Álvarez (Maza y García, 1996) para estudiar la estabilidad de cauces, son:

- De resistencia al flujo o de fricción, en material aluvial. Estas fórmulas asocian la rugosidad del material del cauce con los parámetros hidráulicos. La más usual es la fórmula de Manning.
- De transporte del material del fondo, que utilizan los conceptos de arrastre de sedimentos.
- De resistencia de las orillas. Estas están basadas en la teoría de régimen. Toma este nombre debido a que estas ecuaciones relacionan la profundidad con el ancho de la sección, dependiendo de las características que tengan las riberas o bordes. Son del tipo empíricas, ya que fueron obtenidas en base a observaciones directas.

2.2.2 Ecuaciones para encontrar dimensiones del cauce

El siguiente paso es seleccionar un grupo de tres ecuaciones. Cada una correspondiente a cada tema descrito anteriormente. Con estas tres ecuaciones es posible encontrar las tres incógnitas buscadas, el ancho, la profundidad y la pendiente; y por consiguiente, la socavación.

Maza Álvarez (Maza y García, 1996) determinó la siguiente combinación de ecuaciones.

Tabla 1 Grupo de Ecuaciones

Grupo	Tipo de Fórmula		
	Transporte	Fricción	Resistencia de Márgenes
1-A	Meyer Peter y Müller	Manning	Gluschkov
1-B	Meyer Peter y Müller	Cruickshank-Maza	Gluschkov
2-A	Engelund	Manning	Gluschkov
2-B	Engelund	Cruickshank-Maza	Gluschkov
3-A	Shields	Manning	Gluschkov
3-B	Shields	Cruickshank-Maza	Gluschkov

A partir de las ecuaciones descritas anteriormente, se pueden determinar los datos buscados, es decir, ancho, profundidad hidráulica y pendiente del cauce. Para esto se trabajan algebraicamente las fórmulas hasta conseguir una ecuación para cada valor buscado.

3. ESTIMACIÓN DE LA FORMA GEOMÉTRICA DE LA SECCIÓN DE UN RÍO

3.1 Forma de la sección transversal según Héctor Daniel Farías (Farías, 1993)

Farías es uno de los investigadores que más ha profundizado en la materia de la forma geométrica y la estabilidad de las secciones transversales de ríos y canales. Farías deduce que un criterio aceptable para estudiar la forma de secciones aluviales estables es considerar un perfil con una porción de su perímetro horizontal (en su mayor parte) y una región de márgenes curvilíneas, tal como se indica en la Figura 1. De esta manera, las características geométricas de la sección propuesta por Farías se representan según el siguiente esquema:

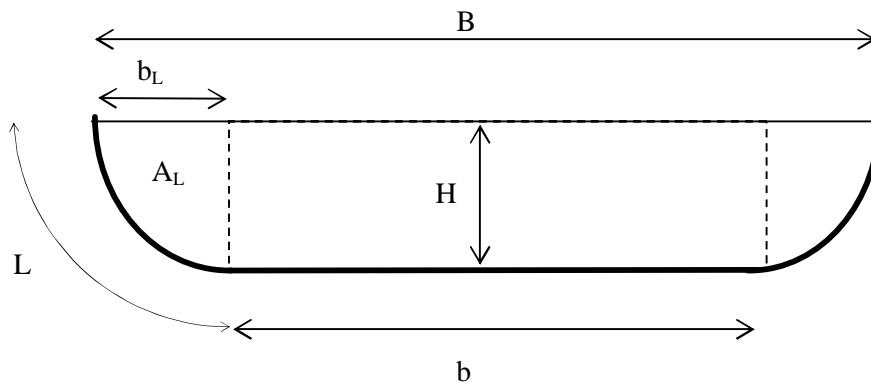


Figura 1 Forma de secciones aluviales estables

3.2 Forma de la Sección Transversal según Maza Álvarez (Maza y García, 1987)

Uno de los autores que más estudios ha realizado con respecto al tema de la forma que toma la sección transversal de un río o canal es José Antonio Maza Álvarez. El criterio propuesto por Maza (Maza, 1987), se basa en un análisis teórico realizado para conocer las características de una sección cuando todas las partículas están a punto de moverse, es decir todas han alcanzado su

condición crítica de movimiento. Desarrollando este análisis, Maza obtiene las ecuaciones que se presentan más adelante y que le dan la siguiente forma al cauce:

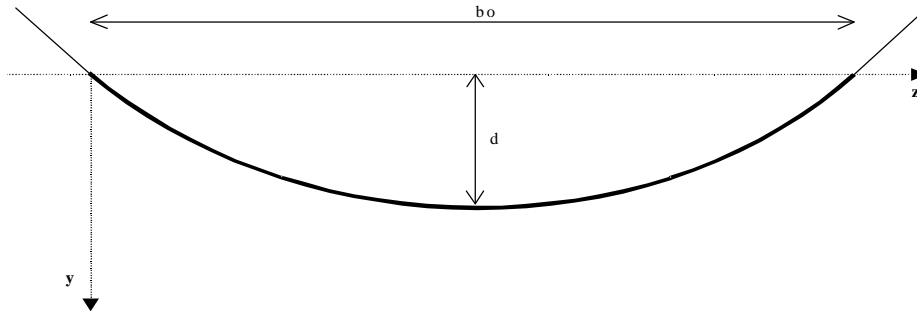


Figura 2 Forma del cauce

4. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA DETERMINAR LA SOCAVACIÓN LATERAL DE UN RÍO

La mayoría de las metodologías mencionadas anteriormente se basan en conceptos empíricos, dejando parámetros abiertos al criterio de quién utilice el método, lo que los hace engorrosos e inciertos. Combinando los criterios de Maza y Farías, se propone un método alternativo, de aplicación relativamente fácil y objetiva.

4.1 Base conceptual del método

Al igual que los métodos anteriores, el concepto principal de esta metodología es considerar que existe un equilibrio entre el caudal, las dimensiones de la sección y las partículas que forman el cauce. Podríamos decir que el equilibrio se alcanza de la siguiente forma. Al aumentar el caudal de un río, aumentará la velocidad de éste. Como consecuencia de esto, los esfuerzos tangenciales crecerán, produciendo que las partículas que componen el lecho del río se muevan de su lugar, generando que las dimensiones del cauce crezcan. Por continuidad del flujo, el aumento del área de la sección provocara que la velocidad de éste se reduzca. Entonces, la velocidad se reducirá hasta el punto en que el flujo no sea capaz de seguir moviendo las partículas, o bien, la velocidad sea igual a la velocidad umbral o velocidad crítica de movimiento, que es el punto límite en donde los esfuerzos tangenciales alcanzan a mover las partículas que componen el lecho.

Aplicando los conceptos básicos de equilibrio de fuerzas actuando sobre una partícula de un lecho de fondo móvil no cohesivo, es posible formar la relación de Shields, según la cual existe una relación adimensional entre los esfuerzos tangenciales críticos que inician el movimiento de la partícula, y el Número de Reynolds, expresado en términos de velocidad de fricción v^* .

Funcionalmente, esta relación es del tipo

$$\frac{t_{cr}}{D^*(g_s - g)} = f \frac{v^*}{v} \frac{D}{\delta} \quad (1)$$

Donde

τ_{cr} = Esfuerzo tangencial crítico
 D = diámetro de la partícula
 γ_s = peso específico del sólido
 γ = peso específico del agua
 v^* = velocidad de fricción
 ν = viscosidad cinemática del agua.

Para lecho rugoso o turbulencia desarrollada ($Re > 100$), la función se independiza del número de Reynolds, tendiendo a ser una constante, para una granulometría y geometría dada. Aceptando la fórmula propuesta por Meyer-Peters (Graf, 1971), que es una de las que ha arrojado mejores resultados en Chile, para materiales no cohesivos de granulometría gruesa y extendida, se adopta el valor $f=0,048$.

Recordando que los esfuerzos tangenciales se evalúan por la relación,

$$t = g R J \quad (2)$$

Donde

R = Radio hidráulico
 J = Pendiente Hidráulica
 y asignando el valor 2650 kg/m^3 para γ_s y 1000 kg/m^3 para γ se obtiene

$$Dc = 12.6 J R \quad (3)$$

Es decir, que si sobre el lecho existe un escurrimiento de aguas claras con valores J_0 y R_0 , tales que el valor Dc dado por la ecuación 3, supera el diámetro de las partículas del lecho, se producirá arrastre y socavación. Lo anterior, para el valor umbral del parámetro de Shields adoptado de $f=0.048$

Bajo estos mismos conceptos, es posible definir la velocidad crítica o velocidad de inicio de movimiento, que es la velocidad del flujo en la que las partículas del tamaño definido según la ecuación anterior, comenzarían a moverse. Varios han sido los autores que han propuesto ecuaciones para determinar la velocidad umbral. Para este estudio se ha considerado la ecuación definida por Hincu, recomendada en algunos textos y de cuyos resultados se tiene buena experiencia.

$$V_{crit} = (1.44 g D \Delta)^{0.5} (d / D)^{0.2} \quad (4)$$

Con

g aceleración de gravedad (m/s^2)
 D diámetro representativo de las partículas (m)
 Δ Densidad relativa (1.65)

d Profundidad hidráulica (m)

Entonces, podemos decir que el río estará en equilibrio con la sección cuando, para una crecida determinada, se cumpla que

$$Q = V_{crit} \cdot A \quad (5)$$

Donde A es el área final que tomará la sección, es decir, el área de equilibrio.

4.2 Determinación de las dimensiones y forma de la sección

4.2.1 Forma de la sección

Considerando los fundamentos basados en el equilibrio de fuerzas, presentados por Maza (Maza y García, 1987), que son consecuentes con la teoría de esfuerzos, se estima aceptable tomar en principio tal sección para modelar la forma del cauce.

Las ecuaciones presentadas por Maza son las siguientes:

$$y = d_0 \operatorname{sen} \frac{p z}{b} \quad (6)$$

$$z = \frac{b}{p} d_0 \operatorname{sen}^{-1} \frac{y}{d_0} \quad (7)$$

$$d_0 = \frac{b}{p} \tan \phi \quad (8)$$

y utilizando éstas, se consigue el área de la sección transversal

$$A_0 = \frac{2bd_0}{p} \quad (9)$$

y de la misma forma, el perímetro mojado de la sección

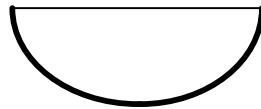
$$P_0 = \frac{b_0^2 + \frac{p d_0^2}{2}}{b_0} \quad (10)$$

La ecuación de Maza es aceptable para secciones pequeñas, pero al aplicarla a secciones mayores, ésta se aparta de las formas reales que se observan en la práctica. Por ejemplo, si consideramos los siguientes datos: $b_0 = 80$ m y $\tan \phi = 0.7$, datos bastante comunes en los ríos chilenos, se obtiene, según las ecuaciones anteriores, una profundidad $d_0 = 17.8$ m. Esta profundidad es demasiado grande en relación a lo normalmente observado en la realidad, teniendo los cauces una forma más de acuerdo con la propuesta por Farías.

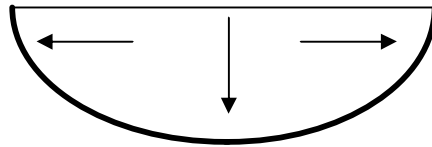
Bajo este criterio, es aceptable señalar que la ecuación propuesta por Maza es adecuada hasta una cierta profundidad. Luego de alcanzar dicha profundidad, al crecer un río, la socavación de fondo se estanca, creciendo así la sección hacia los lados, de acuerdo con las secciones presentadas por Farías y Diplas (Farías, 1993). Esto es algo que pasa normalmente en las crecidas de los ríos chilenos. El problema de las secciones propuestas por estos autores, es su origen puramente empírico.

Gráficamente, suponiendo una crecida, el comportamiento sería de la siguiente forma:

- En un principio la sección tiene la forma propuesta por Maza



- Al crecer el río, la sección crece manteniendo la forma anterior



- Pero al aumentar la crecida, y siguiendo los estudios de socavación de fondo, la profundidad se estanca, creciendo así la sección hacia los lados



Entonces, según lo anterior, podemos caracterizar la sección en dos subsecciones.

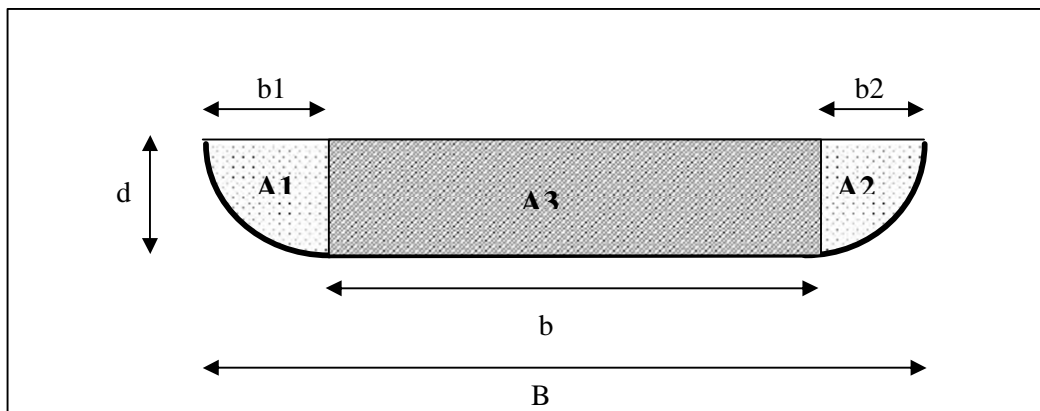


Figura 3 Comportamiento de la sección de bajo una crecida

La suma de las secciones A1 y A2 corresponden a la sección propuesta por Maza, es decir

$$A_o = A1 + A2 \quad (11)$$

$$b_o = b1+b2 \quad (12)$$

La sección A3 corresponde al área que se extiende al estancarse el crecimiento de la profundidad, es decir

$$A3 = b \cdot d \quad (13)$$

Entonces, una vez alcanzada la profundidad d, crecerá sólo el ancho B, es decir se mantendrá A1 y A2 constantes (y consecuentemente b1 y b2), aumentando sólo A3 y b.

4.2.2 Determinación del área final y dimensiones de la sección

Siguiendo la base conceptual descrita anteriormente, la sección crecerá hasta que la velocidad del flujo, la cual se reducirá, no logre mover las partículas, es decir, hasta alcanzar la velocidad crítica de movimiento.

En una crecida, el caudal alcanzará un valor máximo. Conjuntamente con este evento, crecerá la sección en la forma descrita anteriormente.

$$Q_{max} = V_{crit} * A \quad (14)$$

y según la figura anterior

$$A = A_o + b \cdot d \quad (15)$$

Entonces, el ancho central de la sección, b, puede determinarse de la siguiente forma

$$b = \frac{A - A_o}{d} \quad (16)$$

reemplazando en (14)

$$b = \frac{\frac{Q_{max}}{V_{crit}} - A_o}{d} \quad (17)$$

Además, considerando que las condiciones hidráulicas son válidas, podemos utilizar la ecuación de Manning para determinar la pendiente hidráulica.

$$J = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}} \quad (18)$$

4.3 Forma de Aplicación

Con las ecuaciones planteadas hasta acá, es posible determinar las dimensiones y a la vez la forma que tomaría la sección para un caudal y una granulometría de material no cohesivo determinada.

Si bien un desarrollo algebraico, de manera de encontrar una ecuación para cada incógnita, en este caso el ancho B , la profundidad hidráulica d y la pendiente hidráulica, no resulta directo, es posible, de una manera sencilla, determinar tales valores siguiendo el siguiente proceso iterativo:

- Darse un valor para d .
- Con las ecuaciones 8 y 9, propuestas por Maza, determinar A_0 y b_0 .
- Determinar la velocidad crítica con la ecuación 4.
- Determinar el ancho central con la ecuación 17.
- Con la ecuación 10 de Maza determinar el perímetro de la parte lateral P_0 .
- El perímetro mojado total de la sección $P = P_0 + b$.
- El radio Hidráulico será $R = A/P$.
- Con la ecuación de Manning evaluar la pendiente hidráulica.
- Comprobar que se cumpla la ecuación 3, $D = 12.6 J R$, con lo que se estaría cumpliendo la base conceptual descrita anteriormente. Si no se cumple, volver a darse un valor para d .

De esta forma se puede determinar B , d , J y la forma de la sección transversal, con una metodología totalmente objetiva y basada en los conceptos teórico-empíricos de velocidades umbrales y los criterios de Shields, sin necesitar el uso de ninguna constante arbitraria o consideración empírica adicional.

Aunque una de ellas se utiliza sólo para determinar la geometría, cabe señalar que al estar utilizando dos ecuaciones basadas en un mismo concepto, como son las ecuaciones 3 y 4, ambas relacionadas con la teoría de esfuerzos críticos, se están usando dos relaciones fundadas sobre la misma base, con lo cual el sistema quedaría conceptualmente con un grado de libertad. Sin embargo, los resultados son coherentes, siendo matemáticamente válido usarlas, ya que estas relaciones llevan implícitas alguna otra ecuación independiente para relacionar velocidades críticas con esfuerzos tangenciales críticos, como la ley de la pared de Von Karman- Prandtl u otra.

5. APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS A ALGUNOS RÍOS

En esta sección se entrega una aplicación de los métodos analizados anteriormente, incluyendo el método propuesto en el capítulo anterior, de manera de hacer una comparación. Estas aplicaciones son a los siguientes ríos de la V Región:

- Estero Marga Marga, Viña del Mar.
- Estero Rabuco, sector desembocadura.
- Río Aconcagua , sector La Cruz.
- Estero Reñaca, sector Puente Viejo.

Par realizar esta aplicación, se cuenta con

- Caudal del Río
- Granulometría del material del Río.
- Dimensiones del lecho (profundidad hidráulica, ancho superficial, pendiente hidráulica), para los caudales de diseño correspondientes y topografía actual de terreno, recopilada de una serie de estudios existentes (Stowhas, 1998; 4C Ingenieros, 1998),

Considerando los caudales de diseño y granulometrías presentados en tales estudios, se han estimado las dimensiones de equilibrio correspondientes a cada río.

5.1 Datos utilizados

Tabla 2 Datos utilizados

Río	Q (m³/s)	T años	Ancho B m	Profundidad Hidráulica d	Pendiente Hidráulica S
Estero MargaMarga	1033	1000	90	5,0	0,0018
Estero Rabuco	340	500	200	5,0	0,0016
Río Aconcagua	4260	500	372	4,5	0,0010
Estero Reñaca	85	100	30	1,6	0,0013
Diámetro mm	Estero Marga Marga	Estero Rabuco	Río Aconcagua	Estero Reñaca	
Dm	4,59	42,75	21,10	1,50	
D50	0,25	13,50	19,00	0,20	
D90	17,26	154,50	48,00	3,34	
D85	12,79	139,00	36,00	1,60	
D80	8,33	73,50	32,00	0,93	
D35	0,21	1,80	8,65	0,15	

Granulometrías en mm.

Cabe agregar que los datos geométricos de terreno, son sólo referenciales, ya que los anchos pueden obedecer a crecidas históricas mayores a las consideradas y las pendientes a equilibrios logrados en períodos de estiaje. Es decir, tales perfiles corresponden a la sección del cauce del río, que se ha generado en el momento de su medición, y no implican una forma de evaluación o verificación de los métodos, debiendo considerárseles como una manera de tener una referencia. Las dimensiones anteriormente mostradas, corresponden a un valor representativo promedio de una serie de perfiles de cada río.

5.2 Resultados

Con los datos anteriores se utilizan los métodos analizados en este trabajo. Conjuntamente se utiliza el método propuesto de manera de comparar los métodos.

Al igual que antes, se utiliza la ecuación de Strickler, para evaluar el factor n de Manning.

Como diámetro representativo, para la aplicación de la Teoría de Régimen y del Método Propuesto, se utiliza el diámetro D_{90} . Esto debido a que las granulometrías de los ríos analizados

son extendidas, y por tal motivo, el considerar como diámetro representativo D_m , es un error, sobre todo para el cálculo, según Strickler, del factor n de Manning. Para la Aplicación del Método de Estabilidad Dinámica se considera la granulometría de cada río, ya que este método no utiliza sólo un diámetro como representativo. Para este método, se utiliza la siguiente notación en las tablas.

SCG Grupo de Ecuaciones de Shield, Cruickshank-Maza y Glushkov.

SMG Grupo de Ecuaciones de Shield, Manning y Glushkov

MCG Grupo de Ecuaciones de Meyer-Peters y Müller, Maza- Cruickshank y Glushkov

MMG Grupo de Ecuaciones de Meyer-Peters y Müller, Manning y Glushkov

Para todas las tablas

B Ancho superficial del Río en m.

d Profundidad Hidráulica en m.

S Pendiente Hidráulica.

Tabla 3 Valores de B, d y S

Estero Marga Marga

Método		B	d	S
Valores Reales		90	5	1,80E-03
Régimen	Lacey	155	2,57	1,62E-03
	Blench	463	1,09	5,92E-05
	Simons y Albertson	216	5,28	3,99E-05
	Kondap	157	2,85	8,19E-04
Estabilidad dinámica	MMG	176,7	9,1	7,53E-05
	MCG	654,3	33,5	1,42E-05
	SMG	259,6	13,3	1,42E-05
	SCG	927,7	14,9	5,83E-06
Método propuesto		117,4	4,8	3,10E-04

Río Aconcagua

Método		B	d	S
Valores Reales		372	4,50	1,00E-03
Régimen	Lacey	315	3,47	2,74E-03
	Blench	1213	1,24	7,16E-05
	Simons y Albertson	445	8,40	2,46E-05
	Kondap	334	3,90	1,49E-03
Estabilidad dinámica	MMG	132,0	14,5	1,48E-04
	MCG	150,5	16,5	1,54E-04
	SMG	132,3	14,4	1,54E-04
	SCG	144,2	14,3	1,31E-04
Método propuesto		153,5	10,1	4,40E-04

Estero Rabuco

Método		B	d	S
Valores Reales		200	5,00	1,60E-03
Régimen	Lacey	89	1,23	1,01E-02
	Blench	459	0,36	1,78E-04
	Simons y Albertson	123	3,74	5,82E-05
	Kondap	81	1,58	4,97E-03
Estabilidad dinámica	MMG	40,6	3,9	9,89E-04
	MCG	44,7	4,3	4,46E-04
	SMG	41,2	4,6	4,46E-04
	SCG	43,8	4,6	4,09E-04
Método propuesto		37,1	4,5	1,00E-04

Estero Reñaca

Método		B	d	S
Valores Reales		30	1,60	1,30E-03
Régimen	Lacey	45	1,48	7,33E-04
	Blench	88	0,82	4,53E-05
	Simons y Albertson	61	2,47	9,34E-05
	Kondap	42	1,61	3,27E-04
Estabilidad dinámica	MMG	52,9	2,7	6,52E-05
	MCG	119,5	6,1	2,94E-05
	SMG	63,6	3,3	2,94E-05
	SCG	141,2	4,0	1,68E-05
Método propuesto		78,5	1,2	2,20E-04

5.3 Secciones según la metodología propuesta

Como se dijo anteriormente, el método propuesto, a diferencia de los otros métodos vistos, entrega directamente la forma de la sección transversal de cada río analizado.

A modo de ejemplo, a continuación se entrega el perfil para uno de los ríos anteriormente analizados.

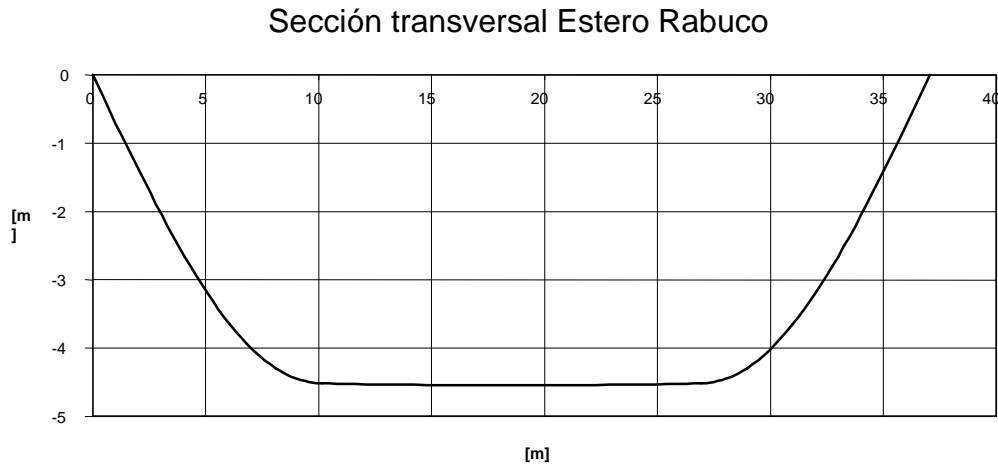


Figura 4 Perfil del río

5.4 Comentarios

De los resultados obtenidos con las distintas fórmulas y metodologías, queda en evidencia la tremenda incertidumbre que existe en la determinación del ancho de equilibrio que alcanzará un cauce y por ende la socavación lateral que ocurrirá. En algunos casos resultan más verosímiles los resultados basados en la teoría del régimen y en otros los basados en equilibrio dinámico. Salvo el caso del Estero Rabuco, el método propuesto entrega resultados dentro del rango de soluciones obtenidas y siempre en magnitudes razonables, compatibles además con la capacidad hidráulica requerida para el cauce, condición que no siempre cumplen los otros métodos analizados.

Al hacer una comparación con los datos estimados como “reales”, se puede notar lo siguiente:

En el estero Marga Marga el método más certero fue el propuesto en este trabajo, para los valores de B y d . Sin embargo, el valor de S fue más cercano para el método Lacey. Para el Río Aconcagua, los métodos de Lacey y Kondap, mostraron valores bastante cercanos, y la metodología propuesta muestra valores relativamente menores. En el estero Rabuco, todos los métodos muestran valores menores a los considerados “reales”. Finalmente en el Estero Reñaca los métodos de Lacey y Kondap muestran un mayor acercamiento a los valores estimados “reales”, aún cuando éstos, bastantes bajos, pueden estar distorsionados por influencia humana.

Es necesario volver a recordar que los datos considerados reales no son más que una aproximación estimada. Para realizar una verdadera evaluación de los métodos es necesario realizar un catastro a los ríos en el momento en que se generan las crecidas consideradas.

6. CONCLUSIONES

Han sido estudiados en este trabajo diferentes métodos para obtener las dimensiones que tomará un determinado río en una crecida, e implícitamente, para encontrar la socavación lateral que tendrá.

Tales metodologías contienen relaciones empíricas, que dejan parámetros abiertos al criterio del usuario de cada método, lo que hace que tales métodos no den una confianza considerable. De esta forma se ha propuesto una metodología más objetiva, válida para materiales del lecho granulares no cohesivos, basada en velocidades umbrales y el criterio de Shields, que no utiliza constantes arbitrarias, para la determinación de los resultados y que además presenta la forma que tomará tal sección. Tal metodología considera conceptos básicos de la hidráulica de canales y de la teoría de esfuerzos tangenciales.

Al aplicar todos los métodos vistos a diversos ríos, los resultados obtenidos pueden resultar similares o llegar a ser bastante diferentes dependiendo de la granulometría y el caudal del río, lo que confirma la gran incertidumbre de este tipo de estimaciones. De la misma forma, al comparar con una estimación de la realidad, los resultados mostrados por el método propuesto, son medianamente cercanos y de valores verosímiles.

Un inconveniente que presentan todos los métodos, incluido el propuesto, es el valor de la pendiente hidráulica evaluada, que resulta en general bastante menor que la que presentan normalmente los ríos chilenos, incluidos los analizados. Este factor tal vez no sea un error de los métodos mismos, sino una particularidad representada por la geografía y orografía de Chile, que provoque que en el corto plazo, la pendiente hidráulica no se ajuste al equilibrio que predicen los métodos, materia que requerirá de mayor investigación futura..

En todo caso, el método propuesto sirve como una alternativa válida y verosímil para la estimación de una sección transversal, y en forma especial, para la determinación de la socavación lateral de un río. Teóricamente, el método propuesto parece ser el más válido y simple de los aquí vistos, ya que no utiliza relaciones empíricas adicionales a las de la sedimentología clásica, ni tampoco constantes relativamente subjetivas y arbitrarias como las de algunos de los otros métodos, lo que además lo hace bastante más fácil de utilizar del resto de ellos.

Es importante, en el futuro, realizar evaluaciones del método propuesto, comparando los datos entregados al utilizarlo, con los valores reales que toma un determinado río al ocurrir crecidas como las acá analizadas. Esta es la única manera de verificar que el método propuesto realmente sirve para evaluar la socavación lateral que tendrá un río, y de esta forma, evitar las tragedias que normalmente ocurren a los costados de los ríos ante la ocurrencia de estos eventos.

REFERENCIAS

- 4C Ingenieros, “Determinación de Caudales de Diseño y Socavaciones, Cruce Gasoducto Energas, sobre Río Aconcagua, Sector La Cruz, Quillota” ENERGAS S.A. 1998.
- 4C Ingenieros, “Determinación de Caudales de Diseño y Socavaciones, Cruce Gasoducto Energas, bajo Estero Rabuco, Sector Desembocadura, Quillota” ENERGAS S.A. 1998.
- Farías, Hector, “Forma de la sección transversal en canales aluviales estables”, Revista Latinoamericana de Hidráulica, N° 7, año 1993.
- Graf, Hans, “Hydraulics of Sediment Transport”, McGraw-Hill, 1971.
- Maza A., José.; García Manuel, “Estabilidad de Cauces”, Capítulos 8 y 12 del Manual de Ingeniería de Ríos, Instituto de Ingeniería UNAM, México, 1996.
- Maza A., José, “Cambios que Sufre un Río Aguas Debajo de Grandes Presas”, Revista Latinoamericana de Hidráulica, N°1, 1987.
- Simons, Daniel; Sentürk, Suat, “Sediment Transport Technology”, 1977.
- Stowhas, L.; Karmann, P.; Soto, C., “Socavación General con Acorazamiento”, XIV Congreso Chileno de Hidráulica, 1998