

### REVISION Y ANALISIS DEL CALCULO DE LA SOCAVACION

#### AL PIE DE ESTRIBOS DE PUENTES

Luis Ayala Riquelme (1)

Patricio de Jourdan Rosati (2)

Juan Pablo Duran Miranda (3)

#### RESUMEN

En este trabajo se presentan, describen y analizan algunos métodos para el cálculo de la socavación al pie de estribos fundados en lechos aluviales finos con presencia de transporte sólido generalizado.

Se incluye una descripción de los aspectos más relevantes del fenómeno y una revisión bibliográfica breve que permite reunir los principales estudios relacionados con el tema.

A continuación se presentan algunos métodos propuestos por diversos autores (Laursen, Liu, Artamonov y Veiga da Cunha) y un método recientemente desarrollado en el Centro de Recursos Hidráulicos (U. de Chile). La descripción de los métodos, cuya finalidad básica es dar a conocer la aplicabilidad, limitaciones y modo de uso de los mismos, en conjunto con un análisis crítico de tipo comparativo, permite en definitiva formular recomendaciones para su selección y uso racional en problemas prácticos de diseño. Se incluyen diversas posibilidades como por ejemplo, estribos inclinados con respecto a la dirección de la corriente, estribos con taludes y dominio de diversos modos de transporte sólido (fondo, suspensión, etc.).

(1) Profesor e Investigador del Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Obras Civiles, U. de Chile.

(2) Ingeniero Civil, U. de Chile.

(3) Profesor e Investigador, Departamento de Ingeniería Civil, U. de Concepción.

Uno de los aspectos más importantes del diseño hidráulico de puentes dice relación con el cálculo de la profundidad de socavación de las pilas y estribos cuando las fundaciones de estas estructuras no se apoyan sobre la roca.

Por la complejidad que reviste el fenómeno y el gran número de variables involucradas, los estudios relacionados con la socavación en estribos han sido básicamente de carácter experimental. Sin embargo, dadas las limitaciones que presenta este tipo de investigación, los resultados de los estudios individuales son difíciles de generalizar.

Ahora bien, la mayoría de los estudios realizados han dado origen a métodos de cálculo, que en teoría estarían disponibles para su uso en problemas de diseño. Sin embargo, por lo explicado anteriormente y dada la diversidad de condiciones que se presentan en la práctica, se hace deseable conocer claramente los alcances y limitaciones de los métodos y evitar así comparaciones de los mismos solamente en base a resultados numéricos.

El presente trabajo tiene por objeto reunir los principales estudios de socavación en estribos y hacer una breve descripción de algunos de los métodos de cálculo disponibles en la actualidad. Lo anterior se complementa con un análisis de tipo comparativo, que en definitiva permite formular recomendaciones para el uso racional de los métodos, para distintas situaciones prácticas.

## 2.- CARACTERISTICAS DEL FENOMENO

Se define socavación o más propiamente profundidad de socavación, el descenso local del lecho debido generalmente a partir del nivel medio del lecho no perturbado.

La socavación al pie de estribos se debe a la superposición de dos componentes: la socavación localizada debido a vórtices generados por la presencia de la estructura y la socavación generalizada de la sección transversal debido a la contracción del flujo.

Los vórtices que se generan en las vecindades del estribo se deben primordialmente a la separación de la capa límite tanto de la pared como de fondo. La separación de la capa límite de fondo ocurre con la presencia de una superficie de separación que se enrolla como una ola rompiente (ver fig. 2.1), la cual tiene en su fase inicial gran poder erosivo.

La socavación generalizada de la sección de emplazamiento de los estribos se debe al aumento local de la capacidad de transporte sólido del escurrimiento causada por la aceleración de los filetes por efecto del estrechamiento local.

Dependiendo de la importancia relativa de una u otra componente es posible distinguir dos situaciones: socavación interferida y socavación no-interferida. En la primera domina fundamentalmente la componente de socavación generalizada y en ella se observa que los bulbos de socavación de dos estribos opuestos se traslapan. La socavación no-interferida ocurre cuando los bulbos de socavación son de pequeña extensión en relación al ancho útil del escurrimiento; aquí la socavación máxima al pie del estribo depende básicamente de la componente localizada.

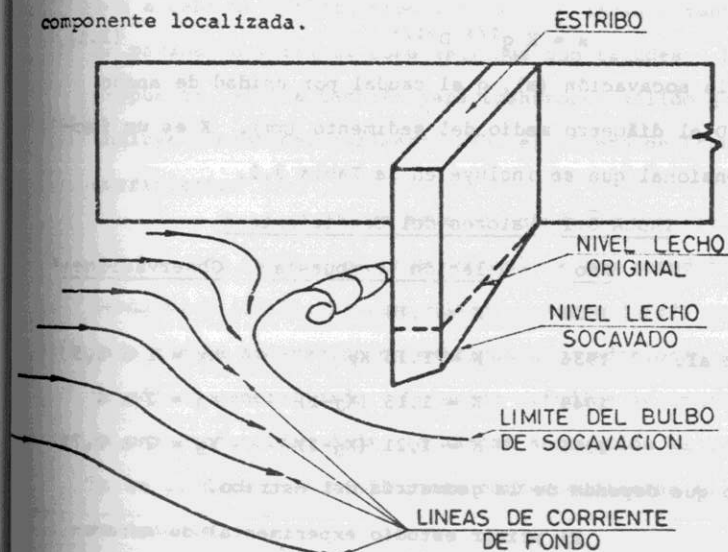


FIG. 2.1

ESQUEMA DEL SISTEMA DE VORTICES

De lo expuesto anteriormente se desprende que en el cálculo de la socavación en estribos es de fundamental importancia cuantificar la extensión transversal del bulbo de socavación, ya que a través de esta variable es posible distinguir los dos tipos de socavación.

### 3.- RECUENTO DE ESTUDIOS DE SOCAVACION EN ESTRIBOS

Los primeros estudios realizados corresponden a la Teoría del Régimen, basada en datos obtenidos directamente de ríos y canales considerados en equilibrio o en régimen. El postulado básico de la Teoría del Régimen es que las dimensiones medias y la pendiente en un cauce estable están determinadas por el caudal, la cantidad y características del sedimento transportado y en cierto modo por el material de las riberas.

En general los seguidores de esta teoría parten del supuesto que la socavación local en estribos es proporcional a la profundidad media o de régimen del escurrimiento.

Para el cálculo de la socavación local existen diversas relaciones todas las cuales pueden ponerse bajo la forma (Veiga da Dunha, 1971; Neill, 1965) :

$$s = K q^{2/3} D^{-1/6} \quad (3.1)$$

siendo  $s$  la socavación (m),  $q$  el caudal por unidad de ancho ( $m^2/s$ ) y  $D$  el diámetro medio del sedimento (mm).  $K$  es un factor adimensional que se incluye en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1 Valores del Coeficiente  $K$

Autor	Año	Relación Propuesta	Observaciones*
Lacey	1929	$K = 1.15$	-
Khosla et al.	1936	$K = 1.15 K_K$	$K_K = 1$ a $3,5$
Inglis	1949	$K = 1.15 (K_J - 1)$	$K_J = 2$ a $4$
Blench	1966	$K = 1,21 (K_B - 1)$	$K_B = 2$ a $2,75$

(\*) Rango que depende de la geometría del estribo.

El primer estudio experimental de socavación en estribos que se conoce lo constituye el estudio de

Ahmad (1953), donde se propone una relación similar a la ec. 3.25 (3.1), pero que no incluye el término  $D^{-1/6}$ . Además, en esta relación el caudal por unidad de ancho se calcula en el estrechamiento.

En estudios experimentales posteriores, efectuados por Izzard y Bradley (1958) y Garde et al. (1961), se proponen relaciones parecidas a la de Ahmad pero con términos que incluyen la influencia del diámetro del sedimento.

Un estudio experimental que dio lugar a uno de los métodos de cálculo formalmente más completos fue el de Laursen (1958). Las experiencias de Laursen se realizaron en un canal rectangular de 3 m de ancho con estribos rectangulares de 15 cm de ancho. Se obtuvieron datos de socavación local al pie de estribos en lechos de arena para un rango de profundidades de 7.5 a 15 cm y ángulos de ataque comprendidos entre  $45^\circ$  y  $135^\circ$ . Laursen propuso una relación para el cálculo de la socavación en estribos de paramento vertical en presencia de transporte generalizado de fondo del tipo :

$$\frac{s}{H} = f_L \left( \frac{b}{H} \right)$$

Posteriormente en 1961, Liu et al. llevaron a cabo un estudio experimental que incluyó tanto estribos de paramento vertical como estribos con taludes. La relación propuesta, válida también para transporte sólido generalizado, incluye además del parámetro  $b/h$ , el número de Froude del escurrimiento.

Otro aspecto estudiado por estos autores, que ha sido también el tema central de los estudios de Chang y Yevdjevich (1962), Laursen (1963) y Awazu (1967) es el relacionado con la socavación en estribos en condiciones sin transporte sólido generalizado. De estos estudios se concluye que para una profundidad dada, la máxima socavación al pie de estribo se produce para condiciones correspondientes al transporte incipiente.

En 1967, Maza Alvarez en un artículo sobre socavación en estructuras de puentes, dio a conocer en nuestro

3.26 medio la fórmula de Artamonov. Esta relación, supuestamente válida para transporte generalizado (pues se desconocen sus límites de aplicación y limitaciones), permite tomar en cuenta el ángulo de ataque del estribo con la corriente y el talud del estribo. Uno de los estudios más recientes que es de conocimiento de los autores es el efectuado por Veiga da Cunha (1971) con estribos y espigones sumergidos. El gran número de variables estudiadas como asimismo las numerosas experiencias realizadas, constituyen un aporte valioso en el análisis del fenómeno de socavación en estribos.

Finalmente, cabe mencionar el estudio experimental efectuado en el CRH (Ayala, de Jourdan y Durán, 1979), en el cual se realizaron experiencias con transporte generalizado de arena ( $D = 0.5 \text{ mm}$ ), estribos rectangulares y una gran variedad de condiciones hidráulicas. Las principales conclusiones de este estudio indican que es necesario hacer una diferenciación clara entre socavación interferida y socavación no-interferida, aspecto que ningún estudio anterior ha analizado.

#### 4.- PRINCIPALES METODOS DE CALCULO DE LA SOCAVACION NO-INTERFERIDA

En el punto precedente se han dado a conocer los principales estudios relacionados con la socavación en estribos. A continuación se incluye una descripción más detallada de los principales métodos disponibles, cuya finalidad principal es poner de relieve el origen, hipótesis, aplicabilidad y limitaciones de estos métodos con miras a facilitar su posible uso en problemas de diseño.

##### 4.1 Método de Laursen (1958)

El método de Laursen constituye un método teórico-empírico que parte de la hipótesis que la socavación al pie de un estribo es  $r$  veces la socavación producida en un estrechamiento "infinitamente" largo, con una razón de contracción igual a la introducida por los dos estribos.

El estudio experimental de Laursen permitió a este autor estudiar 3 situaciones, a saber:

- estribos que comprometen sólo la ribera de inundación
- estribos que alcanzan hasta el borde del cauce principal
- estribos introducidos en el cauce principal

Las relaciones teóricas obtenidas de un análisis de socavación en estrechamientos "infinitamente" largos para los casos a), b) y c) son respectivamente:

$$\frac{Q_0 e}{Q_e h_e} = 2.75 \frac{s}{h_e} \left| \left( \frac{1}{r} \frac{s}{h_e} + 1 \right)^{7/6} - 1 \right| \quad (4.1)$$

con  $r = 4.1$ , obtenido de datos experimentales

$$\frac{Q_0 e}{Q_e h_e} = \frac{2.75s - \epsilon}{h_e} \left| \left( \frac{1}{r} \frac{s}{h_e} + 1 \right)^{7/6} - \frac{\frac{2.75s - \epsilon}{h_e} - \frac{1}{2} \frac{\epsilon s}{h_e^2}}{\frac{2.75s - \epsilon}{h_e}} \right| \quad (4.2)$$

con  $r = 4.1$ . Esta relación es válida para  $\epsilon \leq 2s$

$$\frac{b}{h_e} = \frac{Q_b e}{Q_e h_e} = 2.75 \frac{s}{h_e} \left| \left( \frac{1}{r} \frac{s}{h_e} + 1 \right)^{7/6} \left( \frac{3+a}{2+a} \right) - 1 \right| \quad (4.3)$$

con  $r = 11.5$  (ajustado por los autores del presente trabajo en base a datos experimentales de Laursen).

En este último caso, la constante  $a$  depende del modo dominante de transporte sólido:

- Modo dominante : fondo  $V_* / V_g < 1/2$   $a = 1/4$   
 suspensión  $V_* / V_g > 2$   $a = 9/4$   
 intermedio  $V_* / V_g = 1$   $a = 1$

En las relaciones anteriores,  $Q_0$  es el caudal del cauce de inundación,  $Q_e$  es el caudal del cauce principal en el ancho  $e$ ,  $h_e$  es la profundidad media en la sección de ancho  $e$ ,  $s$  es la socavación máxima al pie del estribo,  $\epsilon$  es la distancia desde el estribo al borde del cauce principal (ver Fig. 4.1 b),  $b$  es la penetración del estribo,  $V_*$  es la velocidad de frotamiento y  $V_g$  es la velocidad de sedimentación del material socavado.

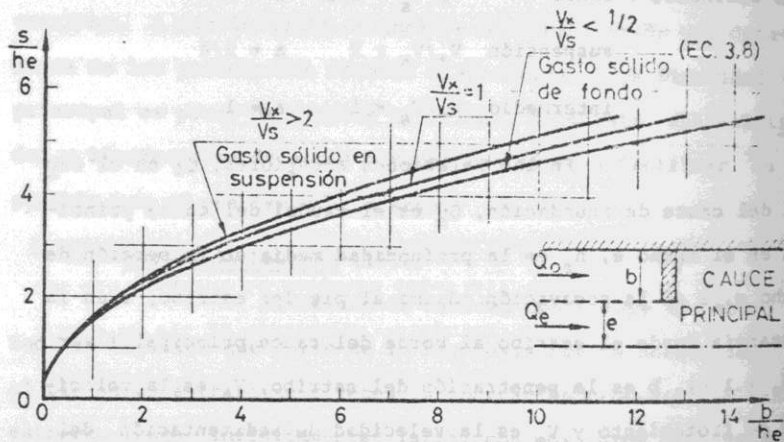
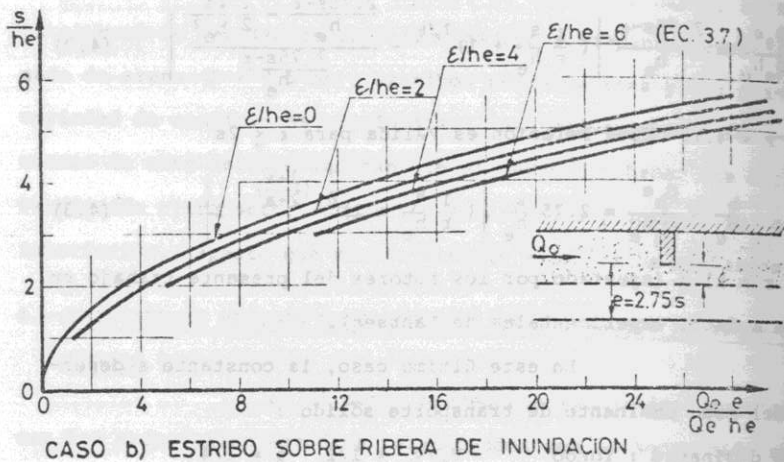
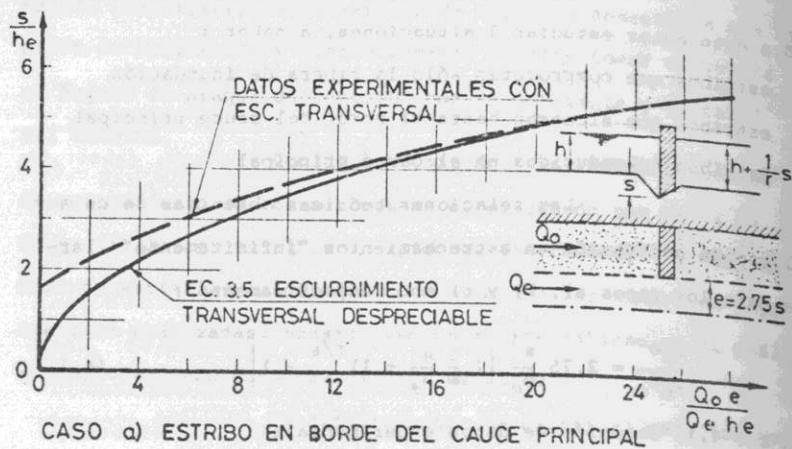


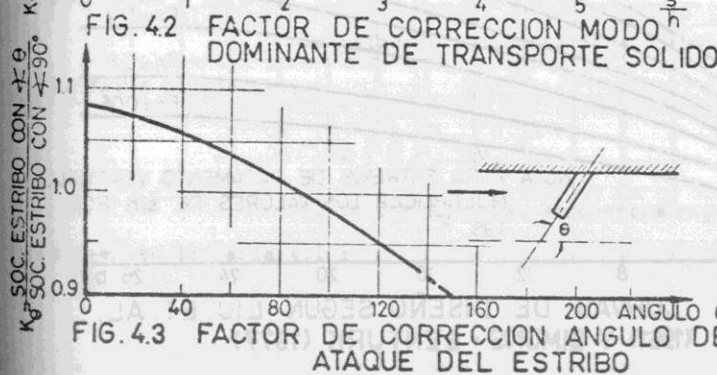
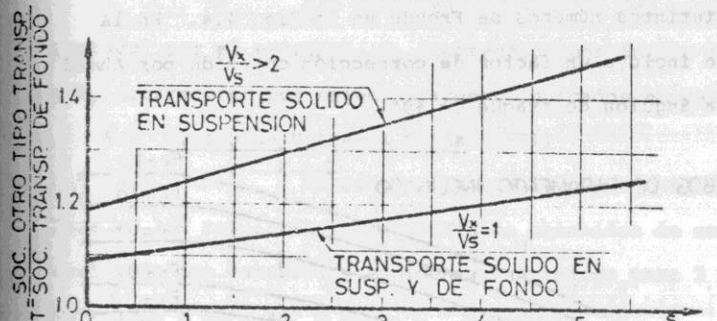
FIG. 4.1 CURVAS DE DISEÑO SEGUN METODO DE LAURSEN

de influencia del estribo o extensión lateral del bulbo de socavación medida desde el extremo del estribo se calcula de la relación:

En la relación 4.3 el parámetro  $Q_b/Q_e h_e$  puede reemplazarse por la relación  $b/h_e$  que se obtiene de suponer igualdad de caudales por unidad de ancho:  $Q_b/b = Q_e/e$ .

Al utilizar las relaciones (4.1) a (4.3) o las curvas de la Fig. 4.1, es preciso operar por tanteos suponiendo inicialmente un valor  $e$ , verificándolo posteriormente de la relación 4.4. Cabe consignar que el uso de estas relaciones está limitado a bulbos de socavación no interferidos.

Las relaciones anteriores son válidas para estribos normales al escurrimiento. Laursen propone utilizar el factor  $K_\theta$  (Fig. 4.3) cuando los estribos se presentan inclinados y el factor  $K_T$  (Fig. 4.2) cuando se trata de transporte sólido generalizado con  $V_x/V_s = 1$  o  $V_x/V_s > 2$ .



El estudio experimental de Liu et. al. lle-  
vó a estos autores a proponer las siguientes relaciones empíri-  
cas para estribos normales al escurrimiento bajo condiciones  
de transporte sólido generalizado:

$$\frac{s}{h} = 1.1 \left( \frac{b}{h} \right)^{2/5} Fr^{1/3} \quad (4.5)$$

para estribos de paramento inclinado, y

$$\frac{s}{h} = 2.15 \left( \frac{b}{h} \right)^{2/5} Fr^{1/3} \quad (4.6)$$

para estribos de paramento vertical.

En estas relaciones, h es la profundidad  
media y Fr el número de Froude del escurrimiento no perturbado.

Simons y Senturk (1977) proponen utilizar  
las relaciones 4.5 y 4.6 para  $b/h \leq 25$  y la relación

$$\frac{s}{h} = 4 Fr^{1/3} \quad (4.7)$$

para  $b/h > 25$ . Cabe indicar que esta última relación fue obte-  
nida de datos de terreno de espigones de roca en el río Missi-  
ssippi (EEUU).

Las relaciones 4.5 y 4.7 han sido grafica-  
das para distintos números de Froude en la Fig. 4.4. En la  
Fig. 4.5 se incluye un factor de corrección obtenido por Ahmad  
(1953) para ángulos de ataque de 90°.

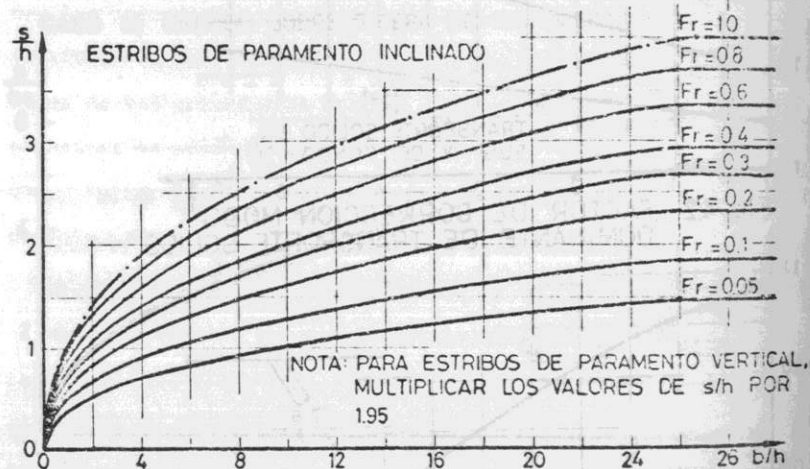


FIG. 4.4 CURVAS DE DISEÑO SEGUN LIU ET AL.  
(1961) Y SIMONS - SENTURK (1977)

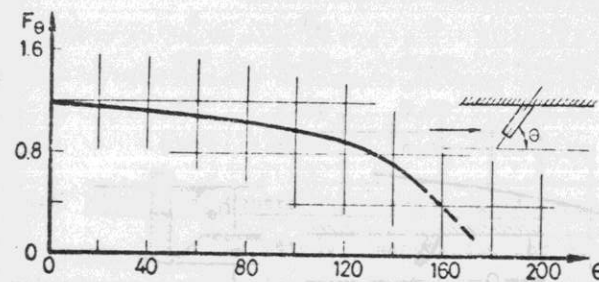


FIG. 4.5 FACTOR DE CORRECCION SEGUN  
ANGULO DE ATAQUE

4.3 Método de Artamonov (Maza Alvarez, 1967)

La socavación al pie del estribo según es-  
te método puede calcularse de la relación siguiente :

$$\frac{s}{h_0} = (K_Q K_\theta K_K - 1) \quad (4.8)$$

donde  $h_0$  es la profundidad media del escurrimiento en las ve-  
cindades del estribo. Maza Alvarez señala que esta profundi-  
dad debe evaluarse una vez producida la socavación generaliza-  
da de la sección transversal y en caso de existir, la socava-  
ción por efecto de curvas.

Los factores  $K_Q$  (depende del caudal "inter-  
ceptado" por el estribo),  $K_\theta$  (corrección por ángulo de ataque)  
y  $K_K$  (corrección por talud) aparecen indicados en las Fig. 4.6.

4.4 Método de Veiga da Cunha (1971)

El método desarrollado por este autor se  
basa en los resultados experimentales obtenidos de un estudio  
realizado con estribos y espigones sumergidos para 3 ángulos  
de ataque : 60°, 90° y 120°.

La relación propuesta para estribos es de  
la forma siguiente :

$$\frac{s}{h} = K_V \left( \frac{b}{h} \right)^m \left( \frac{V_*}{V_s} \right)^n \quad (4.9)$$

El factor  $K_V$  y los exponentes m y n se in-  
cluyen en la Tabla 4.1 :

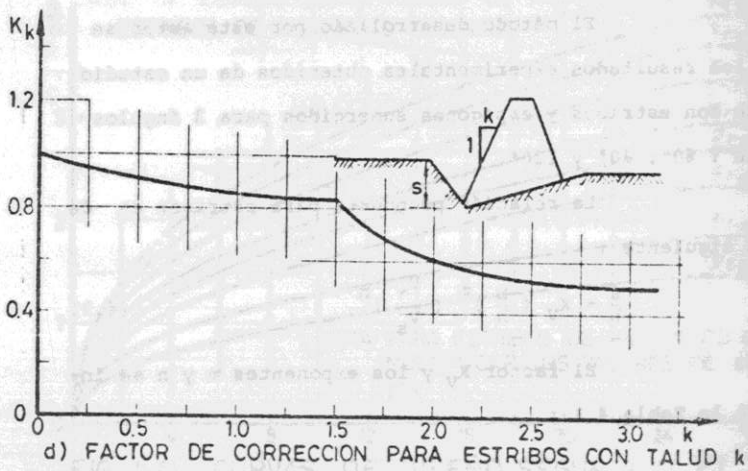
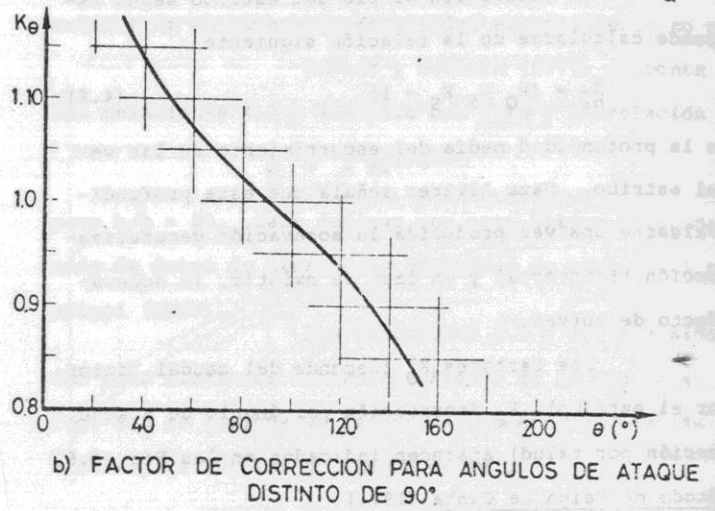
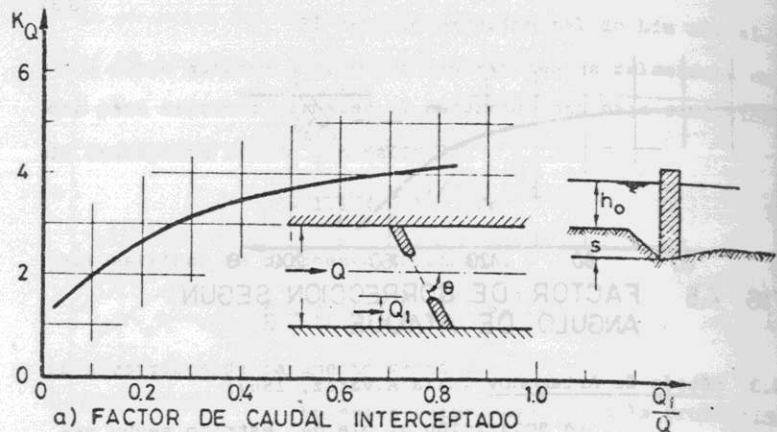


FIG. 4.6 VALORES DE LOS COEFICIENTES  $K_Q, K_\theta, K_k$  DEL METODO DE ARTAMONOV

TABLA 4.1 Valores de  $K_V, m$  y  $n$  en función del ángulo de ataque  $\theta$

$\theta$	$K_V$	$m$	$n$
60°	2,20	0,16	- 0.14
90°	1,65	0,30	- 0.15
120°	1,80	0,26	- 0.14

4.5 Método del Centro de Recursos Hidráulicos

El método desarrollado por el CRH se basa en relaciones empíricas definidas de datos obtenidos de numerosas experiencias que abarcaron un rango de pendientes (J) comprendidas entre 0.8‰ y 2.8‰ y relaciones b/h entre 0.5 y 10.

Mediante análisis dimensional y los resultados experimentales se definieron las siguientes funciones, válidas para socavación no interferida :

$$\frac{s}{h} = f_s \left( \frac{b}{h}, J \right) \quad (4.10)$$

$$\frac{e}{h} = f_e \left( \frac{s}{h}, J \right) \quad (4.11)$$

Estas relaciones aparecen indicadas en las Fig. 4.7 y 4.8.

5.- ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS METODOS Y RECOMENDACIONES PARA SU USO

Teniendo presente que la mayoría de los métodos expresan la socavación en términos de una función adimensional del tipo :

$$\frac{s}{h} = f \left( \frac{b}{h}, \alpha \right) \quad (5.1)$$

en que  $\alpha$  es un parámetro hidráulico adimensional, se ha optado por uniformar la presentación de los métodos reduciendo las diversas relaciones propuestas a la forma de la ec. (5.1). Además, la comparación se ha hecho para las siguientes condiciones :

- Estribos de paramento vertical, emplazados en el cauce principal.
- Estribos normales al escurrimiento (ángulo de ataque = 90°).
- Transporte sólido de fondo (transporte generalizado)
- Lechos finos (arenas) y escurrimiento subcrítico.

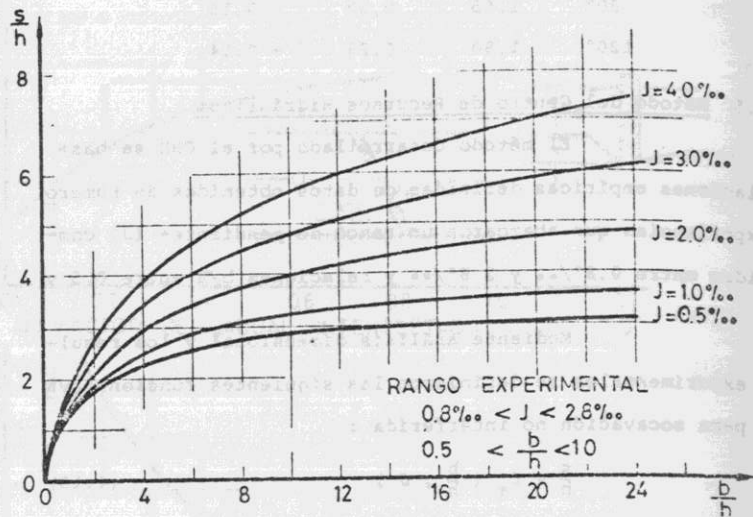


FIG. 4.7 CURVAS DE SOCAVACION MAXIMA (CRH-U. DE CHILE)

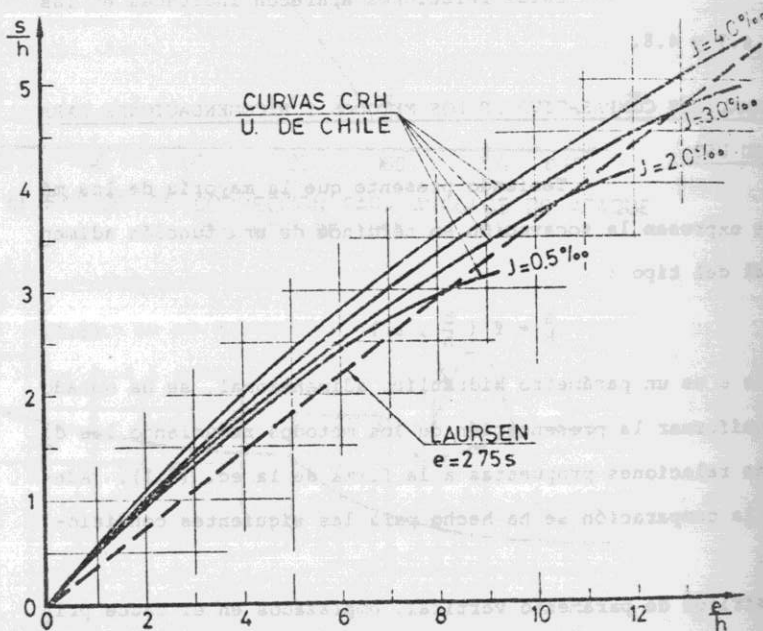


FIG. 4.8 CURVAS DE EXTENSION DEL BULBO DE SOCAVACION (CRH-U. DE CHILE)

relaciones se incluye en la Fig. 5.1. La relación de Artamonov se ha obtenido del siguiente análisis simplificado :

$$\frac{s}{h} = K_Q - 1 \tag{5.2}$$

$$K_Q = f\left(\frac{Q_1}{Q}\right) = f\left(\frac{b}{b+e}\right) \tag{5.3}$$

$b+e$  corresponde al ancho efectivo de escurrimiento que interviene en el cálculo

$$\therefore \frac{Q-Q_1}{Q_1} = \frac{Q}{Q_1} - 1 = \frac{e}{b} \tag{5.4}$$

llamando  $Q_e = Q - Q_1$  al caudal no interceptado para el estribo y dividiendo por  $h_e$ , la profundidad media en el ancho  $e$ , resulta :

$$\frac{b}{h_e} = \frac{Q_1 e}{Q_e h_e} \tag{5.5}$$

Con cada valor de  $K_Q$  se puede asociar un valor de  $b/h_e$  a través de la relación (5.3) suponiendo que se cumple que  $e \approx 2.75s$ . En efecto, con cada  $K_Q$  se obtiene un valor de  $Q_1/Q$ ; este valor permite obtener de la relación (5.4) la razón  $e/b$ . Además, asociado con cada  $K_Q$  existe un  $s/h$  obtenido de la relación (5.2), por lo cual se tiene en definitiva el producto  $\frac{e}{s} \frac{h}{b}$ . Finalmente, de este producto se obtiene la relación  $\frac{h}{b}$ , dividiéndolo por 2.75.

La principal conclusión que se obtiene de la Fig. 5.1 es que los métodos de Laursen, Veiga da Cunha y Artamonov omiten un parámetro hidráulico fundamental en el fenómeno. Esto queda claramente de manifiesto de las curvas de Liu et al. cuyo parámetro hidráulico es el  $Fr$  y del CRH que utiliza la pendiente  $J$ . En consecuencia, para efectos de diseño es recomendable utilizar de preferencia estos dos últimos métodos, aún cuando es preciso señalar que el uso del  $Fr$  conduce en general a relaciones empíricas con mayor dispersión, por los mayores errores involucrados en la medición de este parámetro en lechos móviles. Además, el reemplazo de la pendiente  $J$  por el  $Fr$  implica en cauces naturales (cuya pendiente  $J$  es una



SOCAVACION EN ESTRIBOS DE PARAMENTO VERTICAL, CON ANGULO DE ATAQUE  $\neq 90^\circ$  EN LECHOS FINOS Y CON TRANSPORTE SOLIDO GENERALIZADO DE FONDO

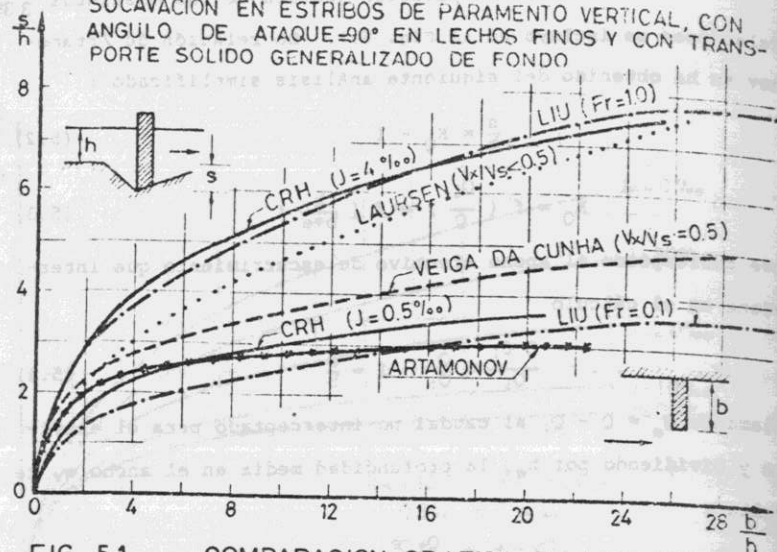


FIG. 5.1 COMPARACION GRAFICA DE LOS METODOS

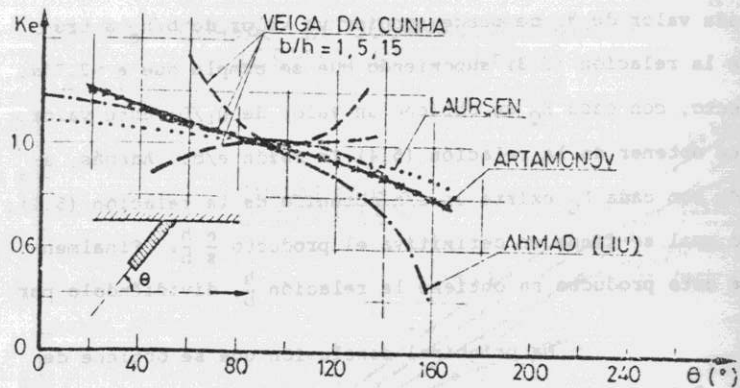


FIG 5.2 EFECTO DEL ANGULO DE ATAQUE

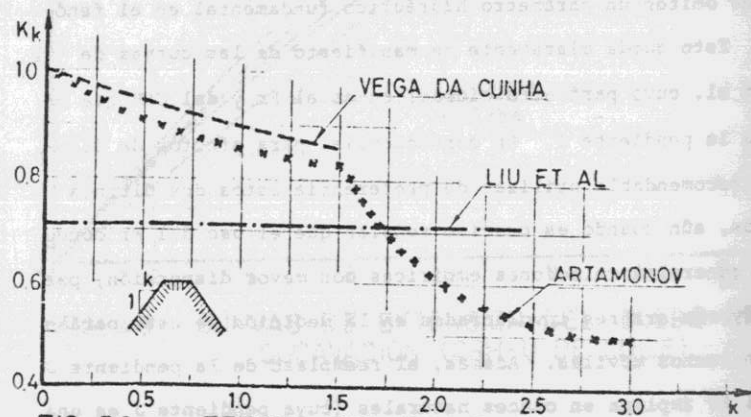


FIG. 5.3 EFECTO DEL TALUD DE ESTRIBO

variable independiente del fenómeno), despreciar el efecto de otros dos parámetros hidráulicos. En efecto, puede demostrarse utilizando por ejemplo, el método predictor de curva de des-carga de Lovera-Kennedy y Alam-Kennedy (Vanoni, 1975) que se cumple :

$$Fr = f \left( J, \frac{uh}{v}, \frac{h}{D} \right) \quad (5.6)$$

Esta relación indica que al reemplazar  $J$  por  $F$  se desprecia el efecto del número de Reynolds  $uh/v$  y de la altura relativa  $h/D$  en el fenómeno de socavación, aspecto que no ha sido debidamente estudiado hasta ahora.

En las Fig. 5.2 y 5.3 se incluyen comparaciones gráficas de las relaciones  $K_\theta = f(\theta)$  (corrección por ángulo de ataque) y  $K_k = f(k)$  (corrección por talud del estribo). De la primera de estas figuras se visualiza que en general existe una concordancia aceptable entre todas las relaciones para un rango bastante amplio de ángulos de ataque ( $20^\circ - 140^\circ$ ), a excepción de la relación de Veiga da Cunha.

En cuanto a la Fig. 5.3, se observa que las relaciones de Veiga da Cunha y Artamonov coinciden satisfactoriamente bien para el rango de taludes entre 0 y 1. La relación de Liu et al. corresponde a una especie de promedio y en consecuencia no es recomendable su utilización sino en un rango muy estrecho de taludes (posiblemente entre 1.5 y 2.0).

En resumen, para la utilización de los métodos en problemas prácticos de diseño se pueden hacer las siguientes recomendaciones :

- Utilizar como base del diseño las relaciones correspondientes a estribos de paramento vertical, normales al escurrimiento ( $\theta = 90^\circ$ ) con transporte generalizado de fondo (Fig. 5.1). Usar en lo posible las relaciones del CRH y en casos en que se considere conveniente, las relaciones de Liu et al.
- Para estribos con ángulos de ataque distintos de  $90^\circ$  usar un factor de corrección  $K_\theta$  que puede obtenerse como prome-

- dio de las curvas de Laursen, Artamonov y Ahmad (Fig. 5.2).
- c) Para estribos de paramento inclinado usar la curva de Artamonov o el promedio de ésta con la de Veiga da Cunha (Fig. 5.3).
  - d) Para la estimación de la extensión del bulbo de socavación utilizar las curvas de la Fig. 4.8 o bien la relación de Laursen en caso de no exigirse demasiada precisión en el cálculo.
  - e) Para condiciones de transporte sólido generalizado en que no domine el gasto sólido de fondo, utilizar el factor de corrección  $K_T$  de Laursen de la Fig. 4.2.

#### 6.- CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que pueden extraerse del trabajo presentado pueden resumirse como sigue :

- a) La socavación en estribos se debe a la superposición de la socavación localizada por vórtices y de la socavación generalizada de la sección del estrechamiento.
- b) Dependiendo de si existe o no interferencia de bulbos de socavación vecinos, la socavación se define como interferida o no-interferida, respectivamente.
- c) Los diversos estudios experimentales realizados en general expresan la socavación no interferida a través de relaciones adimensionales del tipo de la ec. (5.1).
- d) Los métodos de cálculo que se recomienda utilizar en el caso de socavación no-interferida son los de CRH y Liu et al., que contienen un paramento hidráulico fundamental en el fenómeno. Los restantes métodos omiten este parámetro.
- e) Los métodos del punto precedente son aplicables a estribos rectangulares, normales a la dirección del escurrimiento y con predominio de transporte sólido de fondo. Para estribos de paramento inclinado, con otros ángulos de ataque y predominio de otros modos de transporte, se recomienda usar factores de corrección apropiados que se incluyen en el presente trabajo.

1. AHMAD, M., "Experiments on Design and Behaviour of Spur Dikes", Proc. 5th. Congress IAHR, Minnesota, 1963.
2. AWAZU, S. "On Scour around Spur-Dikes", Proc. 12th. Congress IAHR, Fort Collins, Colorado, 1967.
3. AYALA, L., DE JOURDAN P. y DURAN J.P. "Estudio Experimental de la Socavación en Estribos de Puentes", C.R.H., U. de Chile, 1979.
4. CHANG, F.M. y YEVDJEVICH, V. "Analytical Study of Local Scour", U. de Colorado, Fort Collins, Colorado, 1962.
5. GARDE, R.J. "Local Bed Variation at Bridge Piers in Alluvial Channels", U. de Roorkee, R. Journal 4 (1), 1961.
6. IZZARD, C.F. y BRADLEY, J.N. "Field Verification of Model Test on Flow Through Highway Bridge and Culverts", Proc. 7th. Conf. State U. of Iowa, 1958.
7. LAURSEN, E.M. "Scour at Bridge Crossings", Bulletin N° 8, Iowa Highway Research Board, State Univ. of Iowa, 1958.
8. LAURSEN, E.M. "An Analysis of Relief Bridge Scour", Journal Hyd. Div. Proc. ASCE, N° HY3, 1963.
9. LIU, H.K. et al. "Effect of Bridge Constriction on Scour and Backwater", Colorado State Univ., Res. N° CERGOH KL22, Feb. 1961.
10. MAZA ALVAREZ, J.A., "Erosion del Cauce de un Río en el Cruce de un Puente", Rev. Ing. Hidráulica en México, Vol. XXI, Nos. 1 y 2, 1967.
11. NEILL, C.R. "Measurements of Bridge Scour and Bed Changes in Flooding Sand Bed River", Proc. of Inst. of Civil Eng. Vol. 30, 1975.
12. SIMONS, D.B. y SENTURK, F. "Sediment Transport Technology", W.R.P., Fort Collins, Colorado, 1977.
13. VANONI, V. (Editor), "Sedimentation Engineering", ASCE Manual and Reports on Eng. Practice N° 54, 1975.
14. VEIGA DA CUNHA, L. "Erosões Localizadas Junto de Obstáculos Salientes de Margens", Lab. Nac. Eng. Civil, Lisboa, 1971.