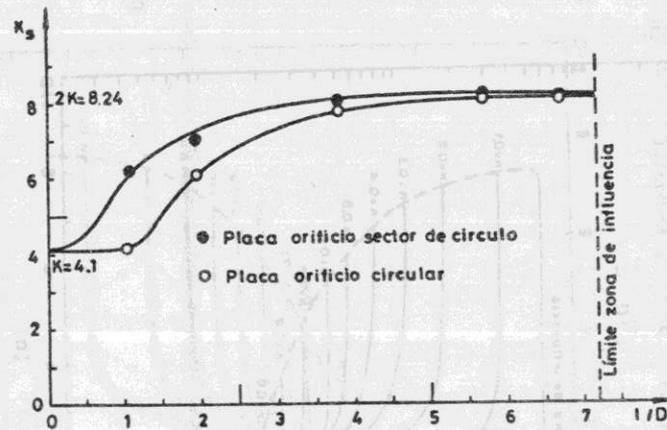


(a)



(b)

FIG. 10

VARIACION DEL COEFICIENTE K_s CON LA SEPARACION RELATIVA (l/D).

- a) Placas Circulares $A_0/A = 0.7$
b) Placas Circulares y de Sector de Circulo para $A_0/A = 0.5$

REMANSO PRODUCIDO POR UNA BARRERA TRIANGULAR DE ARISTA REDONDEADA EN UN CANAL RECTANGULAR

Francisco J. Domínguez S. (1)

Alfonso Ugarte S. (2)

RESUMEN

El presente trabajo analiza el problema de la determinación del remanso producido por una barrera triangular de arista redondeada en un canal rectangular. Sobre la base de una revisión bibliográfica de experiencias nacionales y extranjeras se hace un estudio de los parámetros adimensionales que definen el problema.

Se entregan ábacos y fórmulas para el cálculo y diseño de estas estructuras, ya sea, como aforadores o partidores.

- (1) Ingeniero Civil, Profesor de Hidráulica U. de Chile
(2) Ingeniero Civil, Comisión Nacional de Riego. Profesor Auxiliar de Hidráulica U. de Chile

1.- INTRODUCCION

El presente trabajo consiste en una revisión de algunas experiencias sobre barreras triangulares en canales de sección rectangular con taludes suaves 1:5 y con umbral redondeado para evitar el despegue de la vena líquida en el umbral.

Este tipo de estructuras se usa frecuentemente en partidores y como aforadores, ya que presentan grandes ventajas con respecto a las barreras rectangulares. En efecto, las gradas triangulares producen una gran aceleración sobre el umbral, asegurando anchos de partición proporcionales a los derechos; además por las condiciones del escurrimiento sobre la barrera, asegura que la sección del umbral quede aislada de variaciones que se produzcan aguas abajo de ella, a distancias superiores a $2h_c$ según se ve en la fig. 1.b, pues se asegura con el talud suave de aguas abajo la producción de un torrente con ley hidrostática de presiones, del cual se genera un resalto para convertirlo en el régimen tranquilo correspondiente a la altura final h_1 .

En esta oportunidad se ha estudiado el funcionamiento de estas gradas como aforador, es decir, se ha abordado la determinación del remanso o de la altura de aguas que reproduce aguas arriba de la barrera para un caudal determinado.

2.- ANALISIS DIMENSIONAL

El fenómeno en estudio se puede definir por la siguiente ecuación que relaciona las variables físicas del problema (fig. 2).

$$f(h_0, q, a, b, r, v, g, \rho) = 0 \quad (1)$$

Al aplicar el teorema π de Buckingham se llega al siguiente conjunto de parámetros adimensionales:

$$\pi_1 = \frac{h_0}{h_c} = X_0$$

$$\pi_2 = \frac{a}{h_c} = K$$

$$\pi_3 = \frac{a}{b}$$

$$\pi_4 = \frac{q}{v} = N^\circ \text{ de Reynolds}$$

$$\pi_5 = \frac{a}{r}$$

Dado que se quiere determinar la altura h_0 producida por la barrera, lo anterior se puede expresar simbólicamente por la siguiente relación:

$$X_0 = \phi\left(K, \frac{a}{b}, R_e, \frac{a}{r}\right) \quad (2)$$

3.- ANTECEDENTES EXPERIMENTALES

El estudio de estas barreras ha sido fundamentalmente experimental y principalmente efectuado en nuestro país. En este sentido se tienen los estudios de Jara y Lemaître, 1942 (7); Benavente y Vicuña, 1958 (3); Pistelli, 1959 (4) y Porzio y Covarrubias, 1965 (2), en los cuales se han tratado diversos aspectos del comportamiento de estas estructuras.

De acuerdo con los fines planteados en el presente estudio, se ha utilizado los resultados de la ref.2, que son los más adecuados para lograr los objetivos propuestos, es decir, de analizar las barreras triangulares como estructuras de aforo. Estas experiencias se realizaron en un canal de 1,20 m de ancho y con alturas de barrera de 0,274 m; 0,138 m y 0,072 m que tenían un radio de curvatura $r = 0,90$ m. Los caudales utilizados en el modelo estuvieron comprendidos entre 8 y 350 lt/s, para un total de 32 experiencias realizadas en diferentes épocas del año. Por esto último, y dado que no se efectuaron medidas de temperatura, para los efectos de este trabajo se adoptó un valor medio de la temperatura igual a 12°C, lo que da un valor para la viscosidad cinemática de $\frac{1}{v} = 800.000 \text{ m}^2/\text{s}$. Los resultados de estas experiencias se encuentran en la tabla 1, utilizando los parámetros definidos en el capítulo anterior y en la nomenclatura.

En el extranjero, Bazin y el U.S. Deep Waterways Board (King y Brater, ref 6) han realizado experiencias similares para barreras triangulares y trapeziales para taludes más verticales, de tipo 1:2 y 1:1 y con redondeos diferentes a los utilizados en las experiencias nacionales. Estos resultados se pueden ver en la tabla 2, en la cual se los ha expresado utilizando la nomenclatura definida para este trabajo.

4.- ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXPERIMENTAL

Sobre la base de los resultados de las experiencias de Porzio y Covarrubias (ref. 2), se analizó la influencia de cada uno de los parámetros adimensionales que intervienen en la ecuación (2), aceptando un modelo del tipo.

$$X_0 = A K^B \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^C \cdot R_e^D \left(\frac{a}{r}\right)^E \quad (3)$$

Para este efecto se utilizó el método de los mínimos cuadrados, realizando numerosas regresiones considerando el total o parte de los variables que definen X_0 en la ecuación (3), para determinar la influencia de cada uno de ellos en la estimación de dicha variable.

De este análisis se determinó que el parámetro fundamental es K , lo que ya se suponía de acuerdo con lo expresado por F.J. Domínguez (ref. 1). En relación al resto de los variables adimensionales, se determinó que estos influyen bastante menos que K y sus coeficientes de regresión quedan poco determinados, lo que quiere decir que al no considerar uno de ellos, la correlación no se ve mayormente afectada.

Con el propósito de estudiar con más profundidad la influencia de a/b , R_e y a/r , se limitó el análisis a las experiencias con $K \leq 3,6$; las que constituyen aproximadamente el 85% de las realizadas. De esta manera se logró determinar que R_e y a/r no tienen ninguna importancia en la estimación de X_0 y que por otra parte a/b la tiene, aun cuando en bastante menor medida que K .

Los resultados de algunas de las regresiones calculadas son las siguientes:

$$X_0 = 1 + 0,134 K^{1,22} \left(\frac{a}{b}\right)^{4,330} R_e^{0,241} \cdot \left(\frac{a}{r}\right)^{4,730} \quad (4)$$

$$X_0 = 1 + 0,017 K^{1,290} \left(\frac{a}{b}\right)^{0,467} \cdot R_e^{0,289} \quad (5)$$

$$X_0 = 1 + 8,166 K^{0,864} \left(\frac{a}{b}\right)^{6,420} \left(\frac{a}{r}\right)^{6,460} \quad (6)$$

$$X_0 = 1 + 1,278 K^{0,862} \left(\frac{a}{b}\right)^{0,035} \quad (7)$$

$$X_0 = 1 + 1,383 K^{0,855} \quad (8)$$

En la figura 3 se ha graficado los valores experimentales con el ajuste dado por la ecuación (7), ya que de acuerdo a las comparaciones efectuadas en la tabla 3, se ve claramente que dicha ecuación es lo suficientemente buena para estimar la variable X_0 en estudio.

5.- COEFICIENTE DE GASTO DE LAS BARRERAS TRIANGULARES

A partir del valor de X_0 se puede determinar el valor del coeficiente de gasto, el que queda definido por la ecuación:

$$Q = mbh \sqrt{2gh} \quad (9)$$

$$\text{con } h = h_0 - a$$

o bien

$$m = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{X^{1,5}} \quad (10)$$

$$\text{con } X = X_0 - K$$

De acuerdo con esta última relación se ha confeccionado la figura 4, en la que se ha graficado los valores experimentales de m obtenidos por Porzio y Covarrubias (ref. 2) utilizando el ajuste dado por la ecuación (7) al igual que la figura 3.

6.- CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados anteriormente expuestos se puede decir lo siguiente:

- En la determinación del remanso producido por una barrera triangular en un canal de lecho rectangular, la variable más importante es la altura relativa de barrera K , que queda determinada por el nivel del eje hidráulico aguas abajo de la barrera (X_1), de acuerdo a lo expresado en las páginas 578 y 579 de la ref. 1.
- Sobre la base de las experiencias existentes, los resultados son confiables sólo para valores de $K \leq 3,6$.

- Para el rango de valores $1 \leq K \leq 3,6$; la otra variable que es necesario considerar es el factor de forma a/b . Para valores de K mayores a $3,6$ el número de Re y a/r influirían y sería necesario considerarlos de acuerdo a la ecuación (4), pero teniendo presente los posibles errores que se podrían cometer.

Por lo tanto, en el diseño de este tipo de estructuras se propone utilizar los ábacos de las figuras 3 y 4 o las ecuaciones (7) y (10) para el cálculo de h_0 , altura que se produce prácticamente en la sección donde comienza la barrera triangular (ver figura 2), de acuerdo a lo expresado en la bibliografía consultada.

Finalmente se puede recomendar la realización de una experimentación sistemática, que permita obtener resultados definitivos, especialmente en lo que respecta al comportamiento del fenómeno para barreras altas ($K \leq 3,6$) y determinar la influencia del N° de Re y de a/r ; en esta nueva experimentación se podría estudiar además diseños alternativos de redondeo para el umbral de la barrera y analizar la posibilidad de utilizar taludes más fuertes, atendiendo a los resultados parciales obtenidos por Bazin y el U.S. Deep Waterways Board, que se encuentran en la tabla 2 y en la figura 5, los cuales son similares a los resultados de las experiencias nacionales.

NOMENCLATURA

- a : altura de la barrera
- b : ancho del canal
- g : aceleración de gravedad
- h : carga de la barrera = $h_0 - a$
- h_c : altura crítica = $(1/\sqrt[3]{g}) q^{2/3}$
- h_0 : altura de aguas antes de la barrera
- h_1 : altura de aguas del eje hidráulico aguas abajo de la barrera
- K : altura de barrera relativa a la crisis = a/h_c
- Q : caudal
- q : caudal unitario = Q/b
- r : radio de curvatura del umbral de la barrera
- p/γ : altura de presión

- Re : N° de Reynolds = q/v
- X : carga relativa a la crisis = h/h_c
- X_0 : altura h_0 relativa a la crisis = h_0/h_c
- AaE : coeficientes de regresión
- v : viscosidad cinemática del agua
- ρ : densidad del agua

BIBLIOGRAFIA

- 1.- DOMINGUEZ, F. JAVIER. Hidráulica, V Edición, 1978.
- 2.- PORZIO, O. Y COVARRUBIAS, R. Estudio Experimental de Barreras Triangulares con Taludes 1:5, Redondeo en la Cresta. Memoria de Título, Univ. de Chile, 1965.
- 3.- BENAVENTE G., VICUNA, G. Ejes Hidráulicos y Presiones en Barreras Triangulares. Memoria de Título. Universidad de Chile, 1958.
- 4.- PISTELLI, J. Velocidades en Barreras Triangulares. Memoria de Título. Univ. de Chile, 1959.
- 5.- MERY, H. Mecánica de Fluidos. Univ. de Chile, Depto. O. Civiles. 1972.
- 6.- KING Y BRATER. Handbook of Hydraulics. Mc Graw-Hill. V Edición, 1963.
- 7.- JARA F. Y LEMAITRE E. Barreras Triangulares. Memoria de Título. Univ. Católica de Chile, 1942.

T A B L A 1

RESULTADOS EXPERIMENTALES (REF 2)

X0	K	$\frac{a}{b}$	Re . 10 ⁵	a/r
2,599	1,245	0,228	2,57	0,304
2,727	1,353	0,228	2,29	0,304
2,854	1,470	0,228	2,02	0,304
3,244	1,840	0,228	1,42	0,304
4,110	2,670	0,228	0,82	0,304
4,643	3,180	0,228	0,63	0,304
5,156	3,680	0,228	0,51	0,304
5,541	4,060	0,228	0,44	0,304
7,011	5,540	0,228	0,27	0,304
2,003	0,660	0,065	1,02	0,087
2,161	0,783	0,065	0,77	0,087
2,385	0,968	0,065	0,58	0,087
2,666	1,220	0,065	0,41	0,087
2,891	1,420	0,065	0,32	0,087
3,210	1,720	0,065	0,24	0,087
3,553	2,020	0,065	0,19	0,087
3,990	2,440	0,065	0,14	0,087
4,361	2,800	0,065	0,12	0,087
4,823	3,260	0,065	0,09	0,087
1,898	0,597	0,115	2,78	0,153
1,947	0,650	0,115	2,32	0,153
2,067	0,730	0,115	2,05	0,153
2,118	0,775	0,115	1,88	0,153
2,220	0,865	0,115	1,60	0,153
2,348	0,973	0,115	1,34	0,153
2,437	1,056	0,115	1,18	0,153
2,543	1,139	0,115	1,06	0,153
2,646	1,228	0,115	0,94	0,153
2,771	1,340	0,115	0,81	0,153
4,189	2,675	0,115	0,29	0,153
6,363	4,760	0,115	0,13	0,153
8,891	7,270	0,115	0,07	0,153

T A B L A 2

VALORES DE BAZIN Y U.S. DEEP WATERWAYS BOARD

a) Barreras Triangulares.

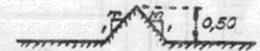
B A Z I N

m = 1

m	K	X0
0,531	6,616	7,826
0,524	5,009	6,231
0,516	4,046	5,279
0,513	3,388	4,627
0,513	2,904	4,143
0,513	2,541	3,780
0,511	2,262	3,504
0,509	2,043	3,288
0,490	1,745	3,022
0,468	1,441	2,758

m = 2

m	K	X0
0,480	7,078	8,372
0,478	5,327	6,626
0,475	4,276	5,580
0,475	3,564	4,267
0,478	3,044	4,343
0,481	2,650	3,942
0,483	2,351	3,641
0,483	2,116	3,406
0,483	1,763	3,053
0,483	1,411	2,701



b) Barreras Trapeciales

B A Z I N

a=0,80

m	K	X0
0,367	13,56	15,104
0,379	9,942	11,457
0,390	7,800	9,286
0,399	6,405	7,869
0,407	5,423	6,869
0,414	4,687	6,116
0,421	4,117	5,529
0,428	3,669	5,067
0,438	3,011	4,388
0,450	2,364	3,715

U.S. D.W.B.

a=1,49

m	K	X0
0,445	4,159	5,520
0,444	3,704	5,068
0,444	3,333	4,697
0,445	2,662	4,023
0,446	2,214	3,573
0,449	1,891	3,244
0,451	1,648	2,997
0,455	1,457	2,798
0,459	1,304	2,638
0,461	1,181	2,511

U.S. D.W.B.

a=1,49

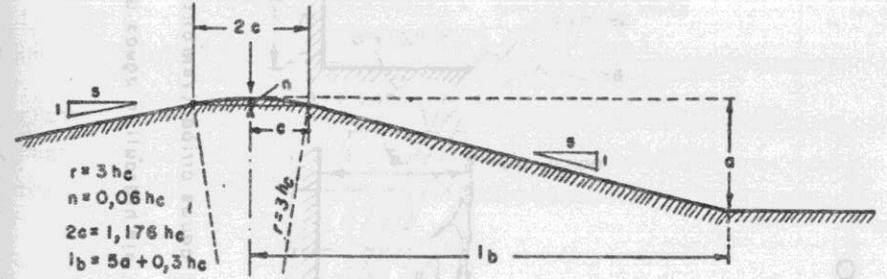
m	K	X0
0,446	4,151	5,510
0,444	3,704	5,068
0,440	3,352	4,724
0,434	2,707	4,092
0,429	2,274	3,669
0,428	1,953	3,351
0,434	1,692	3,077
0,441	1,487	2,856
0,445	1,331	2,692
0,446	1,208	2,566



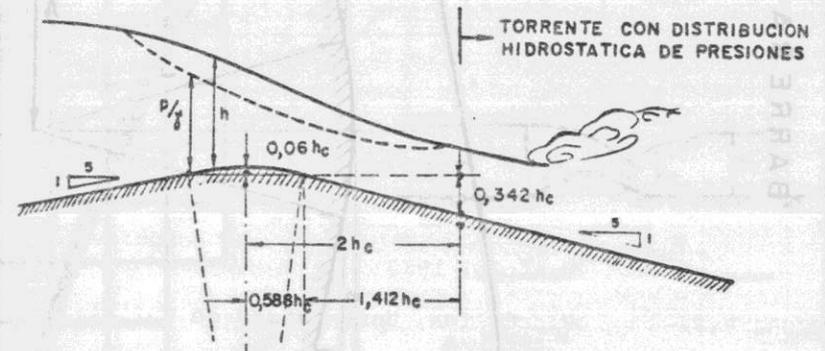
T A B L A 3
COMPARACION DE RESULTADOS PARA DISTINTAS REGRESIONES

X0	VALORES MEDIDOS		Ecuación 4		VALORES ESTIMADOS		Ecuación 6		Ecuación 7	
	m	K	a/b	X0	m	X0	m	X0	m	X0
2.599	0.448	1.245	0.228	2.633	0.433	2.630	0.434	2.632	0.433	2.626
2.727	0.442	1.353		2.757	0.425	2.756	0.426	2.754	0.426	2.747
2.854	0.434	1.470		2.887	0.419	2.885	0.420	2.884	0.420	2.876
3.244	0.424	1.840		3.279	0.410	3.275	0.411	3.288	0.406	3.277
4.110	0.407	2.670		4.144	0.395	4.139	0.397	4.156	0.390	4.138
4.643	0.399	3.180		4.652	0.396	4.646	0.398	4.670	0.389	4.649
5.156	0.396	3.680		5.148	0.398	5.142	0.407	5.164	0.391	5.138
2.002	0.456	0.660	0.065	1.977	0.468	1.989	0.462	1.968	0.473	1.984
2.161	0.438	0.783		2.125	0.455	2.137	0.449	2.122	0.457	2.140
2.385	0.420	0.968		2.361	0.430	2.378	0.423	2.347	0.437	2.368
2.666	0.406	1.220		2.660	0.409	2.680	0.401	2.645	0.416	2.670
2.891	0.399	1.420		2.882	0.400	2.903	0.392	2.876	0.403	2.904
3.210	0.385	1.720		3.219	0.385	3.243	0.376	3.214	0.387	3.246
3.553	0.374	2.020		3.552	0.373	3.580	0.363	3.544	0.376	3.580
3.990	0.370	2.440		3.985	0.368	4.015	0.358	3.994	0.365	4.036
4.361	0.364	2.800		4.402	0.349	4.445	0.335	4.373	0.359	4.418
4.823	0.357	3.260		4.821	0.363	4.858	0.350	4.846	0.354	4.897
1.898	0.476	0.597	0.115	1.902	0.475	1.889	0.482	1.902	0.475	1.884
1.947	0.468	0.650		1.958	0.473	1.942	0.482	1.970	0.466	1.951
2.067	0.457	0.730		2.071	0.455	2.055	0.463	2.073	0.454	2.052
2.118	0.454	0.775		2.128	0.449	2.112	0.457	2.130	0.448	2.107
2.220	0.446	0.865		2.241	0.438	2.223	0.447	2.242	0.438	2.217
2.348	0.438	0.973		2.372	0.427	2.353	0.436	2.375	0.426	2.347
2.437	0.434	1.056		2.471	0.420	2.449	0.430	2.476	0.418	2.445
2.543	0.425	1.139		2.572	0.412	2.550	0.422	2.576	0.411	2.543
2.646	0.419	1.228		2.674	0.407	2.649	0.417	2.681	0.404	2.646
2.771	0.414	1.340		2.796	0.402	2.768	0.414	2.813	0.396	2.775
4.189	0.374	2.675		4.259	0.355	4.209	0.372	4.295	0.343	4.220

**BARRERAS TRIANGULARES
ARISTA REDONDEADA**



a) DIMENSIONES DE LA BARRERA *



b) DETALLE DEL UMBRAL DE LA BARRERA *

* h_c = altura crítica correspondiente al gasto máximo de diseño.

FIG. 1

VARIABLES FISICAS DEL FENOMENO
BARRERA DE RESALTO

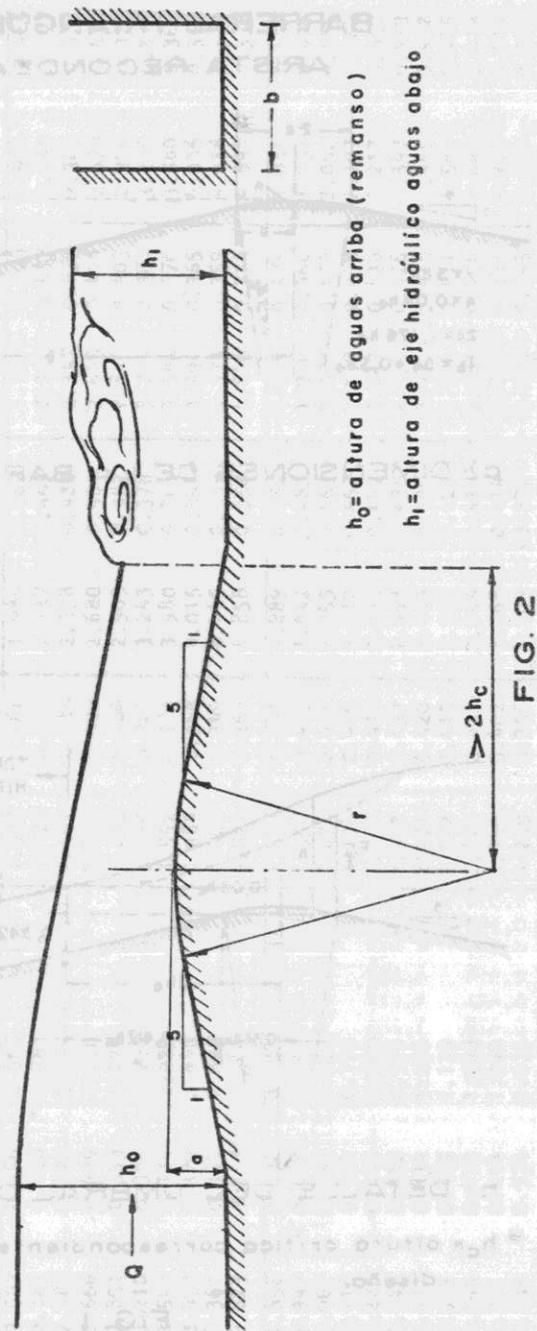


FIG. 2

BARRERAS TRIANGULARES
(ARISTA REDONDEADA)

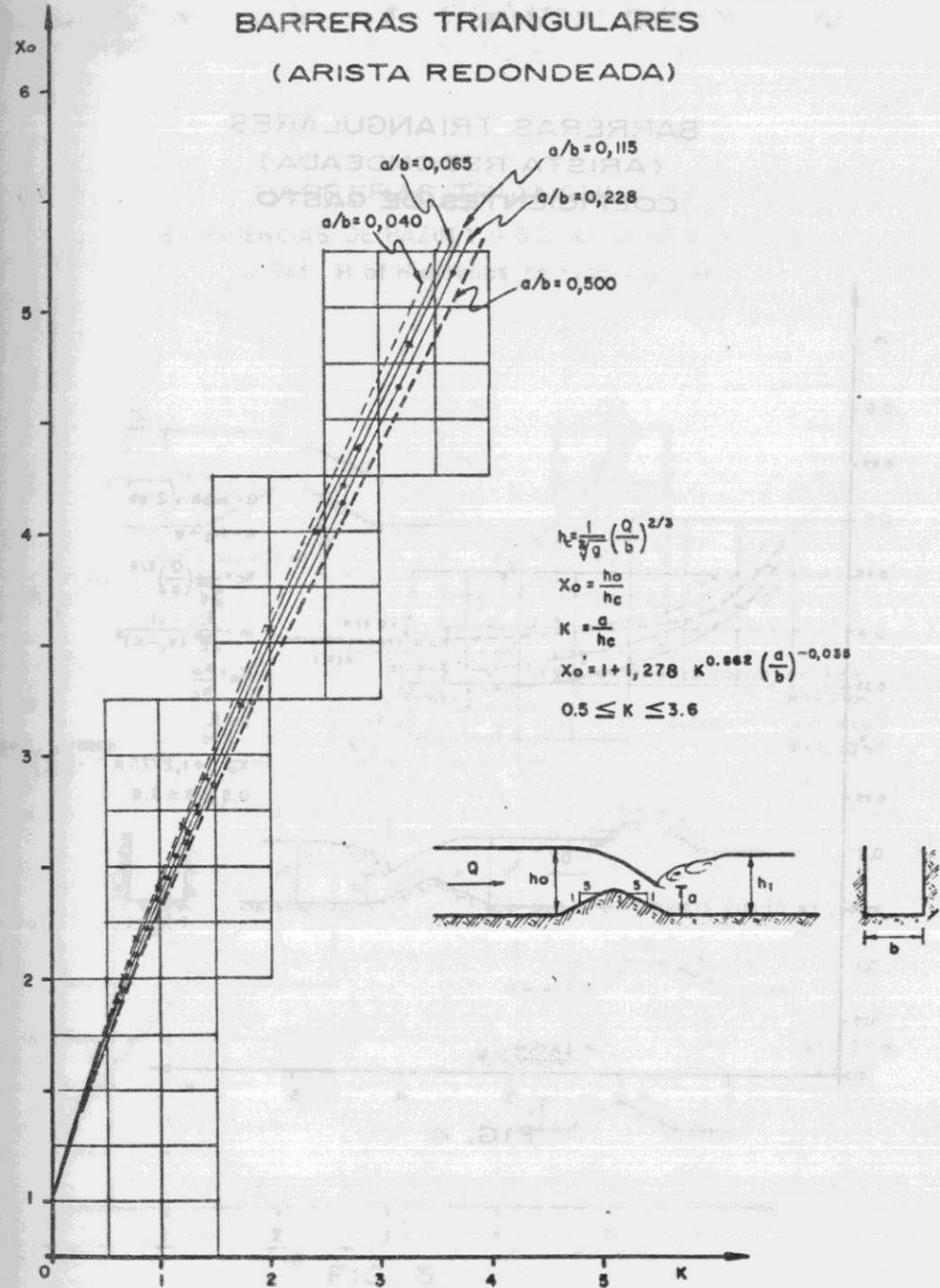
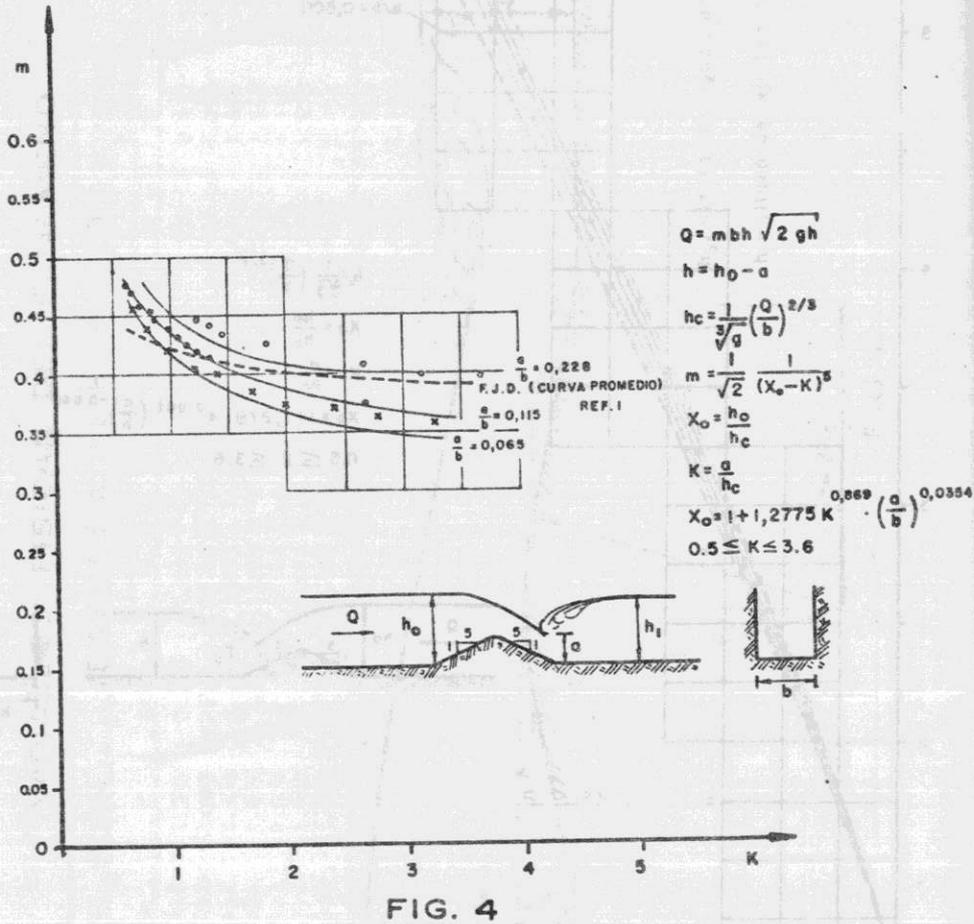


FIG. 3

BARRERAS TRIANGULARES
(ARISTA REDONDEADA)
COEFICIENTES DE GASTO



BARRERAS TRIANGULARES
EXPERIENCIAS DE BAZIN Y U.S.D. WATERWAYS BOARD
(Ref: H. of Hidraulics de King y Brater)

