

COMITÉ NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

PRESIDENTE: **Horacio Pérez M.**
 DIRECTORES: **Francisco Díaz B.**, **Antonio S. B.**, **Benito Espinoza C.**
Patricio Ferrer A.
Edardo Vares C.

SECRETARIO GENERAL: **Francisco Díaz B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Antonio S. B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Benito Espinoza C.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Patricio Ferrer A.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Edardo Vares C.**

SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Francisco Díaz B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Antonio S. B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Benito Espinoza C.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Patricio Ferrer A.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Edardo Vares C.**

SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Francisco Díaz B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Antonio S. B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Benito Espinoza C.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Patricio Ferrer A.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Edardo Vares C.**

SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Francisco Díaz B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Antonio S. B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Benito Espinoza C.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Patricio Ferrer A.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Edardo Vares C.**

SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Francisco Díaz B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Antonio S. B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Benito Espinoza C.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Patricio Ferrer A.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Edardo Vares C.**

SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Francisco Díaz B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Antonio S. B.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Benito Espinoza C.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Patricio Ferrer A.**
 SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: **Edardo Vares C.**

SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: FRANCISCO DÍAZ B.

SECRETARIO GENERAL ADJUNTO: ANTONIO S. B.

1. HIDRAULICA FUNDAMENTAL

COEFICIENTES DE GASTO DE COMPUERTAS
PLANAS SEGUIDAS DE TORRENTE

POR

ALBERTO SEPULVEDA V.

RESUMEN

El presente estudio tiene por objeto analizar las diversas teorías desarrolladas para calcular coeficientes de gasto para compuertas planas y confrontarlas con las experiencias realizadas. Todos los autores coinciden en que para valores altos de la relación h/a el coeficiente de contracción tiende al valor clásico de Kirchoff:

$$C_c = \frac{2}{\pi+2} = 0.611$$

Para relaciones de h/a cercanos a 1, existe una notable discrepancia, ya que algunos autores consideran que C_c decrece y otros opinan que aumenta.

Se encontró que la vena contracta se produce a una distancia de la compuerta igual a 2 aberturas de compuertas y que el coeficiente de contracción es creciente cuando h/a tiende a la unidad.

Ingeniero de la División de Estudios Hidráulicos
de ENDESA.

El coeficiente de gasto de una compuerta plana se define de varias formas, las que se detallan a continuación, de acuerdo con la Figura 1 :

$$m = \frac{q}{h \sqrt{2gh}} \quad (1)$$

$$m' = \frac{q}{a \sqrt{2gh}} = m \frac{h}{a} \quad (2)$$

$$m'' = \frac{q}{a \sqrt{2gB}} = m' \sqrt{\frac{h}{B}} \quad (3)$$

$$m_1 = \frac{q}{a \sqrt{2g(B - ca)}} = c \quad (4)$$

$$m_2 = \frac{q}{B \sqrt{2gB}} \quad (5)$$

Las expresiones más conocidas son la (2) y la (4).

Para los canales rectangulares se define :

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \quad (6)$$

$$B = h + \frac{q^2}{2gh^2} \quad (7)$$

$$B' = ca + \frac{q^2}{2ga^2ca} \quad (8)$$

donde B es el Bernoulli de aguas arriba de la compuerta y B' es el Bernoulli de aguas abajo.

$$F = \frac{q}{h \sqrt{gh}} = \left(\frac{h_c}{h}\right)^{3/2} \quad (9)$$

F = N° de Froude del escurrimiento de aguas arriba.

De las relaciones anteriores se pueden deducir las

ecuaciones siguientes : 1.5

$$\frac{B}{a} = \frac{h}{a} (1 + m^2) \quad (10)$$

$$\frac{B}{a} = \frac{h}{a} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{h_c}{h}\right)^3 \right] \quad (11)$$

$$\frac{B}{a} = \frac{h}{a} \left[1 + (m' \frac{a}{h})^2 \right] \quad (12)$$

$$\frac{B}{a} = \frac{h/a}{1 - (m' a/h)^2} \quad (13)$$

Si llamamos $\Delta L = B - B'$ se obtiene :

$$m = \frac{a}{h} c \sqrt{\frac{1 - ca/h - \Delta L/h}{1 - (ca/h)^2}} \quad (14)$$

En el caso en que $B = B'$ se pueden obtener las siguientes relaciones :

$$m_0 = \frac{ca/h}{\sqrt{1 + ca/h}} = m'_0 \frac{a}{h} \quad (15)$$

$$\frac{B}{a} = \frac{\frac{h}{a} - c(ca/h)^2}{1 - (ca/h)^2} \quad (16)$$

$$m''_0 = c \sqrt{1 - ca/B} \quad (17)$$

2. ANALISIS DIMENSIONAL

El fenómeno en estudio queda definido por la siguiente ecuación, que relaciona las diversas magnitudes físicas involucradas:

$$f(\rho, q, a, h, g, \mu, b) = 0$$

Por tratarse de un problema hidráulico, la trifada generatriz de productos adimensionales Π , es de la forma (ρ, V, L) , donde V es una velocidad característica y L es una longitud característica.

1.6 Como velocidad característica se puede elegir q/a o q/h y como longitud característica "a" o "h". También en vez de V se puede emplear directamente q.

La aplicación del Teorema II (o Vaschy-Buckingham) conduce al siguiente conjunto completo de parámetros adimensionales:

$$\Pi_1 = h/a \text{ o } a/h$$

$$\Pi_2 = \frac{q}{h\sqrt{2g}h} = m \quad \text{coeficiente de gasto}$$

$$\Pi_3 = \frac{q}{\nu} = R_e \quad \text{N}^\circ \text{ de Reynolds}$$

$$\Pi_4 = b/h \text{ o } b/a \quad \text{factor de forma de la compuerta}$$

3. ANTECEDENTES TEORICOS

3.1—KIRCHHOFF (Ref.7) calculó en 1869 el coeficiente límite de contracción de un orificio:

$$C = \frac{\Pi}{\Pi + 2} = 0.611$$

3.2—CISOTTI (Ref.1) calculó en 1908 el coeficiente de contracción para la disposición de la Figura 2, para varios valores de h/a y del ángulo θ (15°, 30°, 45°, 60°, 75° y 90°).

3.3—R.VON MISES (Ref.5) realizó en 1971 cálculos de los coeficientes de contracción, estudiando los chorros sin influencia de la gravedad (para $\theta = 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ y 180°).

3.4—T.BENJAMIN (Ref.4) expuso en 1956 una teoría para calcular C, basada en una modificación del estudio de von Mises. También realizó algunas experiencias.

3.5—H.MERY, a partir de los coeficientes de contracción incompleta imperfecta dados por F.J. Domínguez (Ref.8) calculó coeficientes de contracción para la compuerta frontal de fondo.

3.6—A. BETZ Y E. PETERSON derivaron en 1931, del estudio de flujo potencial a través de placas planas colocadas normales al flujo, la siguiente ecuación para el coeficiente de contracción, coincidiendo con los de Von Mises y Cisotti:

$$\text{tg} \left[\frac{\Pi}{2} \frac{1-C}{1-(Cq/h)^2} \frac{a}{h} \right] = C \frac{a}{h} \quad (18)$$

dada por H.O. ANWAR (Ref.9). En esta referencia se expone la influencia del espesor del filo de la compuerta en el coeficiente de contracción.

3.7—D.FANGMEIER Y T.STRELKOFF (Ref.11) dieron una relación deducida por B. Perry en 1957 usando series infinitas para incluir la gravedad:

$$C = 0.6110 - \frac{0.0170}{\frac{h}{a} - 1} \quad (19)$$

Usando esta ecuación y la relación (16) se calcularon los coeficientes C

$$1 = \frac{0.6110 - C}{0.0170} \left[\frac{h}{a} \frac{1 - (Cq/h)^3}{1 - (Cq/h)^2} - 1 \right] \quad (20)$$

Además estos dos autores expusieron un nuevo método para considerar la gravedad en el escurrimiento bajo una compuerta, empleando una ecuación integral.

3.8—G.ROUVE Y M.ABDUL KHADER (Ref.12) en 1964 expusieron un nuevo método para calcular coeficientes de contracción para el caso de la Figura 2, tomando en cuenta el número de Froude del flujo en la vena contraída. Las curvas experimentales convergen con las curvas teóricas para valores pequeños de $1/F^2$. Se emplearon variables complejas y se tomó en cuenta la gravedad.

3.9—B.LAROCK (Ref.13) resolvió mediante representación conforme y la solución Riemann-Hilbert, el flujo bajo una compuerta tomando en cuenta la gravedad.

3.10—G.HIRIART (Ref.15) expuso una nueva ecuación para calcular el coeficiente de contracción para el caso de la Figura 2:

$$\lg \left[\pi \frac{1-c}{\frac{h}{a}-c} \frac{h}{a} \right] = 2 \frac{c}{\frac{h}{a}-c} \frac{h}{a} \quad (21)$$

Los valores teóricos de " c " se han tabulado en las tablas A1, A2 y A3.

Los casos 3.6, 3.7 y 3.9 están deducidos para el caso específico de la compuerta. Los demás casos corresponden a contracciones al extremo del escurrimiento entre 2 placas planas paralelas (Figura 2).

Algunas de las curvas teóricas se han llevado a las Figuras 3,4, 5 y 6.

4. ANTECEDENTES EXPERIMENTALES

En el análisis del escurrimiento bajo una compuerta hay dos aspectos que se estudian :

- Características de la vena contraída: coeficiente de contracción y distancia desde la compuerta a la sección de la vena contraída.
- Coefficientes de gasto de la singularidad.

Las discrepancias entre los coeficientes de contracción experimentales provienen en gran medida del desconocimiento que se tenía de la ubicación de la vena contraída. J. Smetana (Ref.2) realizó mediciones del perfil del escurrimiento aguas abajo de la compuerta, encontrando que la mayor contracción se produce entre " $0.55 a$ ", para $\frac{h}{a} = 1.2$, y " $1.80 a$ ", para $\frac{h}{a} > 4.00$. Posteriormente muchos autores dieron para esta distancia valores comprendidos entre " $\frac{2}{3} a$ " y " a ". Autores más modernos, como G.Rouve y M.H.Khader (Ref. 12) dan para esta distancia 1.0 aberturas de compuerta.

Exploraciones del campo de presiones y de velocidades, aguas abajo de la compuerta, han demostrado que la influencia de esta singularidad en el escurrimiento llega hasta una distancia igual a " $2a$ " (Ref. 16, 17 y 18).

4.1—B.GENTILINI (Ref.1) : de los gráficos de este artículo se obtuvieron los valores teóricos del coeficiente de contracción de Cisotti y

los valores experimentales para el coeficiente de gasto m' . Los coeficientes de gasto teóricos de Cisotti se calcularon con la relación (15), que supone constancia del Bernoulli y se han llevado a las Tablas A1 y A2.

En el cálculo de m y m' de los valores experimentales de Gentilini se empleó la relación (2). El canal de experimentación tenía 16 cm de ancho.

4.2—J.SMETANA (Ref.2) : desgraciadamente la información entregada en este artículo es referente sólo a la vena contraída en función de la relación h/a y no se indican los caudales. Los ensayos se llevaron a cabo en un canal de 35 cm de ancho.

4.3—H.HENRY (Ref.3) : este autor da una curva experimental para m' la que resulta ser inferior a la teórica. Como no se han logrado obtener los valores experimentales no se realizó un análisis de estos ensayos. Los ensayos abarcaron el rango $1.5 < h/a < 7.0$.

4.4—T.BENJAMIN (Ref.4) : los valores del coeficiente de contracción se han obtenido de un gráfico de la Ref.11, ignorándose como se obtuvieron, así como otras medidas experimentales.

4.5—R.BUCHHEISTER Y A.COFRE (Ref.6) : se analizó directamente los valores experimentales incluidos en esta tesis de grado, encontrándose que algunos valores del coeficiente de contracción fueron medidos hasta distancias de " $10 a$ ", lo cual nos indica que de esta experimentación sólo se deben considerar las mediciones de h , q y a . Los ensayos se llevaron a cabo en un canal de 100 cm de ancho.

4.6—H. ANWAR (Ref.9) : este autor y el anterior indican que la influencia del N° de Reynolds alcanza hasta :

$$Re < 50.000$$

Se comparan valores medidos de c (de J.Weisbach-1885) con los teóricos de Betz y Petersohn, que muestran una buena

1.10 concordancia : C tiende a la unidad cuando a/h tiende a 1, y C tiende a 0.611 cuando a/h tiende a cero.

También se incluyen coeficientes de contracción para compuertas con filos reales (U.S. Army Engineer Experiment Station - Vicksburg), para los cuales el coeficiente C varía entre 0.73 y 0.86.

4.7—N. RAJARATNAM Y K. SUBRAMANYA (Ref. 10): estos autores midieron la vena contraída a una distancia "1.15 a" de la compuerta. La experimentación se efectuó en un canal de 45.7 cm de ancho.

4.8—N. RAJARATNAM (Ref. 16): esta experimentación la realizó, en un canal de 31.1 cm de ancho, J. Bater (1967).

Se midió también el campo de velocidades, lo que permitió deducir dos interesantes efectos:

- a) La vena contraída se produce a una distancia igual a "2a".
- b) Las correcciones por efecto del desarrollo de la capa límite son bajas y no permiten atribuirle a ella las grandes diferencias observadas entre los valores teóricos y experimentales, siendo estos últimos mayores.

4.9—R. RIEDEL calculó los coeficientes de gasto para una compuerta de 3.60 m de ancho de la Bocatoma Teno, del canal Teno-Chimbarongo, encontrando los resultados siguientes:

a m	q m ² /s	h m	h/a	m	m'
0.40	1.250	1.470	3.68	0.158	0.582
0.60	1.805	1.335	2.22	0.265	0.588
0.80	2.604	1.145	1.43	0.481	0.687

El caudal se obtuvo mediante aforos con molinetes.

Estas experiencias se han incluido en las Figuras 4,

5 y 6.

4.10—A. SEPULVEDA, en mediciones realizadas en un canal vidrioado de 29.5 cm de ancho, del Laboratorio de Hidráulica de la U. de Chile, obtuvo:

a m	q m ² /s	h m	C	h/a	m	m'
0.08	0.1109	0.3115	0.625	3.894	0.144	0.561

Se midieron con precisión ejes hidráulicos y piezométricos, confirmándose también el valor "2a" para la sección de la vena contraída.

5. ANALISIS TEORICO-EXPERIMENTAL

5.1 Análisis de límites. En el capítulo 3 se vio que existe una gran diversidad de estudios teóricos relativos al coeficiente de contracción.

J. MIQUEL Y R. FUENTES (Ref. 14) realizaron un análisis del coeficiente de gasto "m", llegando a la siguiente relación:

$$m' = 0.611 - 0.15 \frac{a}{h} \left(1 + \frac{a}{h}\right) \quad (22)$$

esta ecuación implica un descenso de m' cuando $\frac{a}{h}$ tiende a 1; en el límite:

$$m' = 0.311 = m$$

Comparemos algunas teorías en los límites, para $m' : \frac{a}{h} = 1$ y $\frac{a}{h} = 0$

	$\frac{a}{h} = 1$	$\frac{a}{h} = 0$
CISOTTI-VON MISES	0.707	0.611
HIRIART	0.707	0.611
FANGMEIER-STRELKOFF	0.470	0.611
MERY - DOMINGUEZ	0.707	0.611
BETZ - PETERSOHN	0.707	0.611
MIQUEL - FUENTES	0.311	0.611

El valor 0.707 corresponde a:

$$m' = \frac{c}{\sqrt{1 + ca/h}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{si } c=1 \text{ para } \frac{a}{h}=1$$

$$m' = \frac{1}{\sqrt{1+2}} = 0.611 \quad \text{para } \frac{a}{h}=0$$

1.12 Luego existe unanimidad cuando $\frac{a}{h}$ tiende a cero. Cuando $\frac{a}{h}$ tiende a 1 existe una discrepancia fuerte, variando m' entre 0.311 y 0.707.

5.2—Análisis experimental.—El análisis dimensional del capítulo 2 nos indica que

$$m = f\left(\frac{h}{a}, Re, \frac{b}{h}\right)$$

- a) Parámetro h/a : es el más determinante de todos.
 b) Parámetro Re : por la información disponible parece que este parámetro no influye cuando es mayor que 50 000.
 c) Parámetro b/h : más bien correspondería a un factor de forma tipo b/a ; la insuficiencia de datos no permite analizar su influencia, pero en todo caso debe ser importante sólo cuando $b \leq a$ ó b poco mayor que a . En la práctica este factor no influye, pues b es mucho mayor que a .

Con el objeto de aclarar la influencia del parámetro h/a (ó a/h) se dibujaron las Figuras 3 (C versus h/a), 4 (m' versus h/a), 5 (m versus h/a) y 6 (m versus a/h).

- FIGURA 3: se observa una gran dispersión del coeficiente de contracción, del orden de $\pm 7\%$. El origen de las fuertes discrepancias fue analizado ya en el comienzo del capítulo 4.

- FIGURA 4: ahora la dispersión ha disminuído, observándose que para valores altos de h/a parece que m' tiende al valor 0.60; pero para valores de h/a que tienden a la unidad la tendencia es contradictoria.

- FIGURA 5: la dispersión es del mismo orden que en la figura anterior pero la tendencia es clara, tanto para valores altos y bajos de h/a . En este gráfico se nota que los puntos experimentales quedan ubicados entre las curvas teóricas de Cisotti-Von Mises y Fangmeier-Strelkoff.

ERRORES PORCENTUALES

h/a	ϵ_m	$\epsilon_{m'}$	ϵ_c
2	± 3.7	± 3.6	± 7.2
3	2.8	2.8	4.8
4	3.0	3.0	6.3
6	2.3	2.6	4.9
8	2.0	2.5	3.8
10	2.2	4.2	3.1

- FIGURA 6: este gráfico muestra que para $a/h < 0.2$ los coeficientes de gasto m se pueden calcular como

$$m = \frac{0.611 a/h}{\sqrt{1 + 0.611 a/h}}$$

Para valores de $h/a > 0.5$ los puntos experimentales se aproximan más a la teoría de Fangmeier y Strelkoff. En el tramo $0.70 < a/h < 1.00$ se observa la fuerte desviación de esta última teoría de la de Cisotti - von Mises así como la carencia de datos en este rango.

6.—CONCLUSIONES

En base al análisis del capítulo anterior se proponen los siguientes valores de los coeficientes de gastos:

a/h	m	m'	h/a	c
0.05	0.0301	0.602	20.00	0.611
0.10	0.0593	0.593	10.00	0.611
0.15	0.0877	0.585	6.67	0.611
0.20	0.116	0.577	5.00	0.611
0.25	0.142	0.568	4.00	0.610
0.30	0.168	0.560	3.33	0.609
0.35	0.193	0.552	2.86	0.608
0.40	0.217	0.543	2.50	0.605
0.45	0.240	0.533	2.22	0.601
0.50	0.264	0.528	2.00	0.602
0.55	0.287	0.522	1.82	0.603
0.60	0.311	0.518	1.67	0.605
0.65	0.334	0.514	1.54	0.607
0.70	0.358	0.511	1.43	0.611
0.75	0.390	0.520	1.33	0.632
0.80	0.416	0.520	1.25	0.640
0.85	0.442	0.520	1.18	0.648
0.90	0.468	0.520	1.11	0.656
0.95	0.503	0.529	1.05	0.679
1.00	0.707	0.707	1.00	1.000

En base a la relación (14) se calculó la pérdida de

$$\text{carga relativa: } \frac{\Delta}{h} = \frac{B-B'}{h}$$

En la experimentación de Rajaratnam-Subramanya y

Bater se encontró que ella existe y varía entre 0.02 y 0.247. En la experimentación de Buchheister - Cofré la relación Δ/h varía entre - 0.160 y 0.108. Se requeriría realizar una experimentación más profunda acerca de las características de la vena contraída, campo de velocidades especialmente, para poder sacar conclusiones.

- a = abertura de la compuerta
- b = ancho de la compuerta
- B = Bernoulli aguas arriba de la compuerta
- B = " aguas abajo de la compuerta
- C = coeficiente de contracción
- d = distancia desde la compuerta a la vena contraída.
- e = espesor del filo de la compuerta
- F = N° de Froude del escurrimiento aguas arriba
- F' = N° de Froude del escurrimiento aguas abajo
- g = aceleración de gravedad
- h = altura de aguas, aguas arriba de la compuerta
- h' = espesor de la vena contraída
- h_c = altura crítica
- H = B - h'
- m = coeficiente de gasto
- m₀ = " " "
- m' = " " "
- m'' = " " "
- R_e = N° de Reynolds del escurrimiento bajo la compuerta
- U = velocidad media de aguas arriba
- V = " " en la vena contraída
- α = coeficiente de Coriolis
- δ = peso específico de agua
- Δ = B - B'
- ρ = densidad del agua
- μ = viscosidad
- ν = μ/ρ
- ε = error porcentual
- θ = ángulo

1 1.16 8.- BIBLIOGRAFIA

1. B. Gentilini : "Ecoulement sous les vannes de fond inclinées où à secteur "
La Houille Blanche : Mars - Avril 1947
2. J. Smetana : "Ecoulement de l'eau au-dessous d'une vanne et forme rationnelle de la surface d'appui de la vanne".
La Houille Blanche : Janvier - Février y Mars - Avril 1948
3. H. Henry : Discussion to "Diffusion of submerged jets" by M. Albertson, Y. Dai, R. Jensen and H. Rouse.
Transactions ASCE : VOL. 115 - 1950
4. T.B. Benjamin : "On the flow in channels when rigid obstacles are placed in the stream "
Journal of Fluid Mechanics (Cambridge) : VOL. 1 - 1956.
5. P. Forchheimer : "Hidráulica ". Editorial Labor - 1939 (Argentina)
6. R. Buchheister y A. Cofré : "Estudio experimental de coeficientes de gasto de compuertas".
Tesis de grado de ingeniero civil : U. Católica de Chile - 1957
7. H. Rouse and S. Ince : "History of Hydraulics".
Dover (New York) - 1957.
8. F.J. Domínguez : "Hidráulica".
Editorial Universitaria - 1959 (Chile).
9. H.O. Anwar : "Discharge coefficients for control gates ".
Water Power (London) : April 1964
10. N. Rajaratman and K. Subramanya : "Flow equation for the sluice gate"
ASCE - Journal of the Irrigation and Drainage Division : September 1967.
11. D. Fangmeier and T. Strelkoff : "Solution for gravity flow under a sluice gate".
ASCE - Journal of the Engineering Mechanics Division: February 1968.

12. G. Rouvé and M. Abdul Khader : " Transition from a conduit to free surface flow ".
AIRH - Journal of Hydraulic Research VOL. 7 - 1969 - NO. 3.
13. B. Larock : "Gravity - affected flow from planar sluice gates".
ASCE - Journal of the Hydraulics Division. July 1969.
14. J. Miquel y R. Fuentes : "Notas sobre el coeficiente de gasto de una compuerta frontal de fondo con resal to rechazado ".
Soc. Chilena de Ingenieria Hidráulica. I Coloquio Nacional: Junio-Julio 1971. Santiago - Chile.
15. G. Hiriart : "Flujo a través de cinco tipos diferentes de aberturas, analizadas mediante teoría de líneas de corrientes libres ".
S.Ch.I.H. - I. Coloquio Nacional.
16. N. Rajaratnam : "Free flow immediately below sluice gates ".
ASCE - Journal of the Hydraulics Division. April 1977.
17. A. Velásquez : "Diseño, construcción y calibración de tres tipos de tubos de Pitot".
Memoria de título de Técnico Mecánico-Universidad Técnica del Estado (Santiago) - 1965.
18. P. Franke and F. Valentín : "The determination of discharge below gates in case of variable tailwater conditions ".
AIRH - Journal of Hydraulic Research : VOL. 7 - 1969 - NO.4.

TABLA A1

h/a	CISOTTI VON MISES	HIRIART	FRANGMEIER STRELKOFF	PERRY	PAJER	BENJAMIN	LAROCK
1.00	1.000	1.000	0.593				
1.10	0.788	0.850	0.593				
1.20	0.739	0.815	0.593				
1.40	0.691	0.780	0.593				
1.60	0.668	0.762	0.593	0.589		0.604	
1.80	0.653	0.750	0.593	0.593		0.599	
2.00	0.644	0.743	0.593	0.596	0.609	0.598	0.603
2.50	0.631	0.730	0.594	0.601	0.607	0.598	0.603
3.00	0.625	0.723	0.595	0.603	0.605	0.600	0.603
3.50	0.620	0.719	0.597	0.604	0.605	0.601	0.604
4.00	0.619	0.716	0.598	0.605	0.605	0.602	0.604
5.00	0.616	0.712	0.600	0.607	0.605	0.603	0.604
6.00	0.615	0.709	0.602	0.608	0.605	0.604	0.607
8.00	0.613	0.706	0.603	0.609	0.605	0.605	0.607
10.00	0.612	0.704	0.605	0.609	0.606	0.606	0.608
20.00	0.612	0.701	0.607	0.610	0.608	0.608	0.610
50.00	0.611	0.699	0.609	0.611	0.609	0.610	0.611
100.00	0.611	0.698	0.611	0.611	0.611	0.611	0.611
∞	0.611	0.611	0.611	0.611	0.611	0.611	0.611

Coefficientes "C" de contracción teóricos

T A B L A A 2

h/a	m ⁰						
	CISOTTI VON MISES	HIRIART	FRANGMEIER STRELKOFF	BENJAMIN	CISOTTI VON MISES	HIRIART	FANGMEIER STRELKOFF
1.00	0.707	0.707	0.470	-	0.707	0.707	0.470
1.10	0.547	0.560	0.435	-	0.602	0.638	0.480
1.20	0.484	0.524	0.404	-	0.581	0.629	0.485
1.40	0.404	0.446	0.355	-	0.565	0.624	0.497
1.60	0.351	0.392	0.317	0.322	0.562	0.627	0.507
1.80	0.311	0.350	0.286	0.288	0.560	0.630	0.514
2.00	0.280	0.317	0.260	0.262	0.560	0.634	0.521
2.50	0.226	0.257	0.214	0.215	0.565	0.642	0.534
3.00	0.190	0.216	0.182	0.183	0.570	0.648	0.543
3.50	0.163	0.187	0.158	0.159	0.571	0.654	0.552
4.00	0.144	0.165	0.139	0.140	0.575	0.660	0.558
5.00	0.116	0.133	0.113	0.114	0.580	0.665	0.567
6.00	0.0976	0.112	0.0956	0.0960	0.585	0.672	0.574
8.00	0.0738	0.0846	0.0727	0.0729	0.590	0.676	0.581
10.00	0.0594	0.0680	0.0587	0.0588	0.594	0.680	0.587
20.00	0.0301	0.0344	0.0299	0.0299	0.606	0.688	0.598
50.00	0.0121	0.0139	0.0121	0.0121	0.607	0.695	0.605
100.00	0.0061	0.0070	0.0061	0.0061	0.609	0.696	0.609
∞	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.611	0.611	0.611

Coefficientes de gasto teóricos calculados con "C" suponiendo B = B'

TABLA A3

h/a	MERY-DOMINGUEZ			PETERSOHN-BETZ			a/h
	ζ	m_0	m'	ζ	m_0	m'	
1.00	1.000	0.707	0.707	1.000	0.707	0.707	1.000
1.10	0.925	0.620	0.682	0.789	0.547	0.601	0.909
1.20	0.860	0.547	0.656	0.738	0.484	0.581	0.833
1.40	0.775	0.444	0.622	0.691	0.404	0.565	0.714
1.60	0.725	0.376	0.601	0.668	0.350	0.561	0.625
1.80	0.685	0.324	0.583	0.654	0.311	0.560	0.556
2.00	0.667	0.289	0.578	0.644	0.280	0.560	0.500
2.50	0.651	0.232	0.580	0.631	0.226	0.564	0.400
3.00	0.641	0.194	0.581	0.625	0.189	0.569	0.333
3.50	0.635	0.167	0.584	0.621	0.163	0.572	0.286
4.00	0.630	0.146	0.586	0.619	0.144	0.576	0.250
5.00	0.624	0.118	0.588	0.616	0.116	0.581	0.200
6.00	0.620	0.0984	0.590	0.614	0.0975	0.585	0.167
8.00	0.612	0.0737	0.590	0.613	0.0738	0.591	0.125
10.00	0.611	0.0589	0.590	0.612	0.0594	0.594	0.100
20.00	-	-	-	0.611	0.0301	0.602	0.050
50.00	-	-	-	0.611	0.0121	0.607	0.020
100.00	-	-	-	0.611	0.0061	0.609	0.010
∞	0.611	0.0000	0.611	0.611	0.0000	0.611	0.000

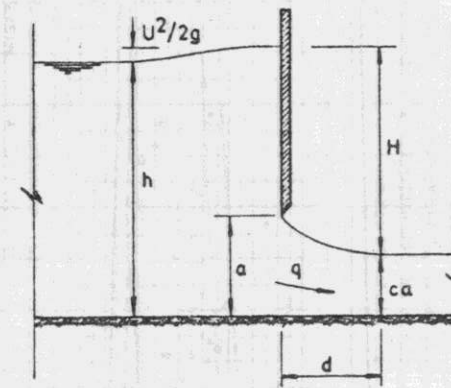


FIGURA N° 1

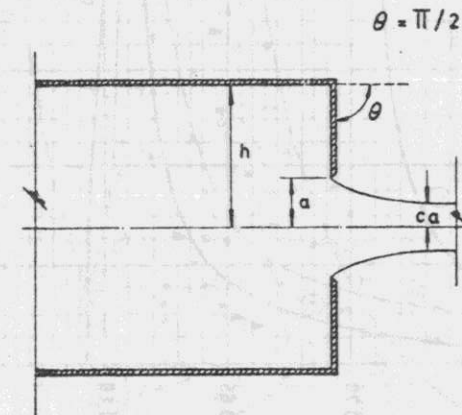
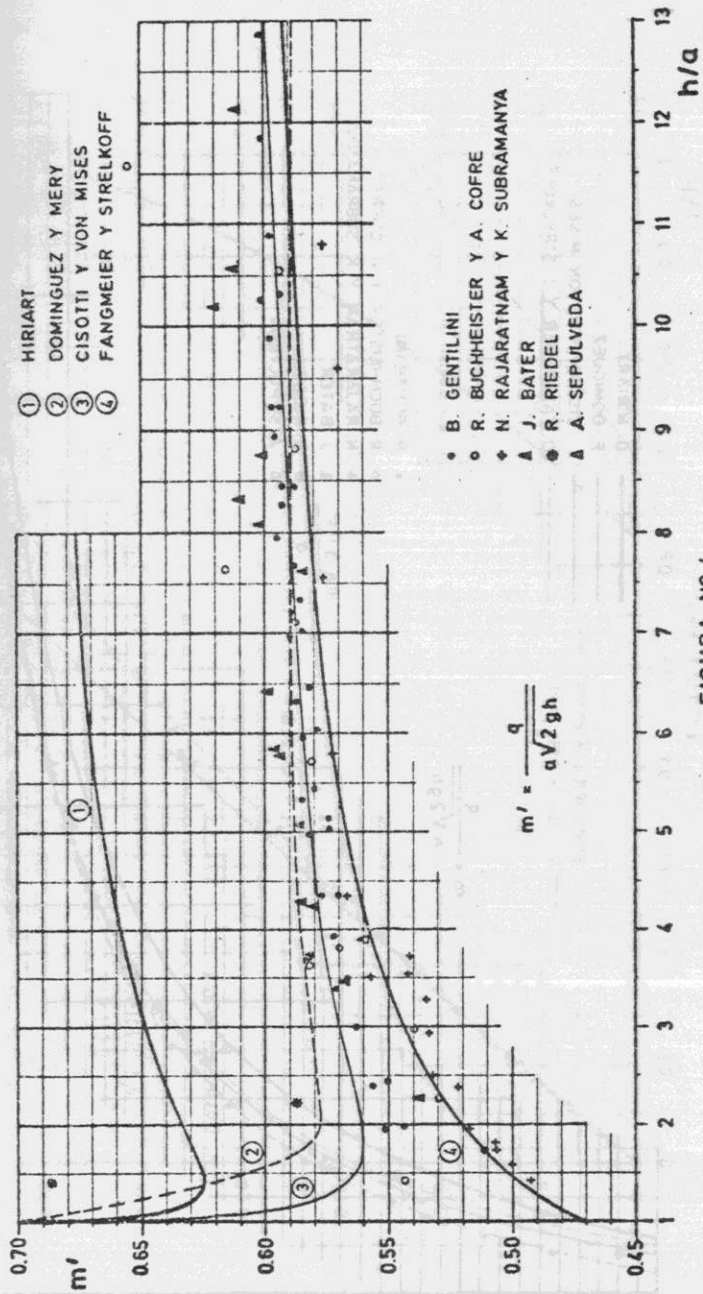
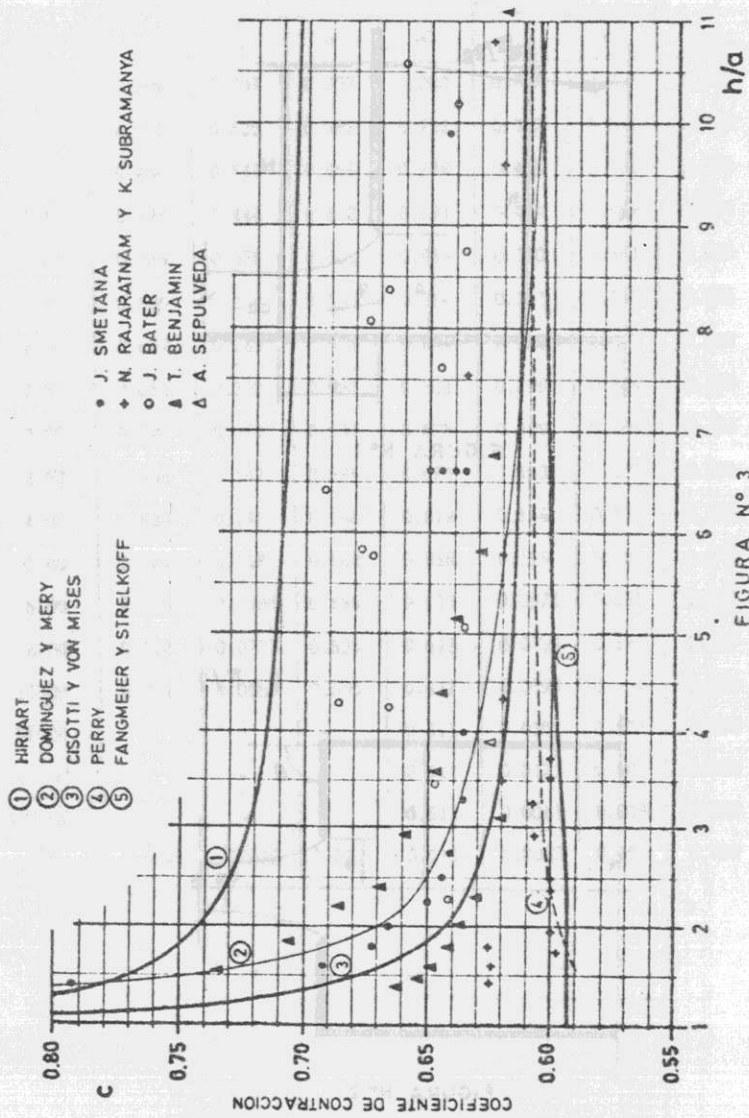
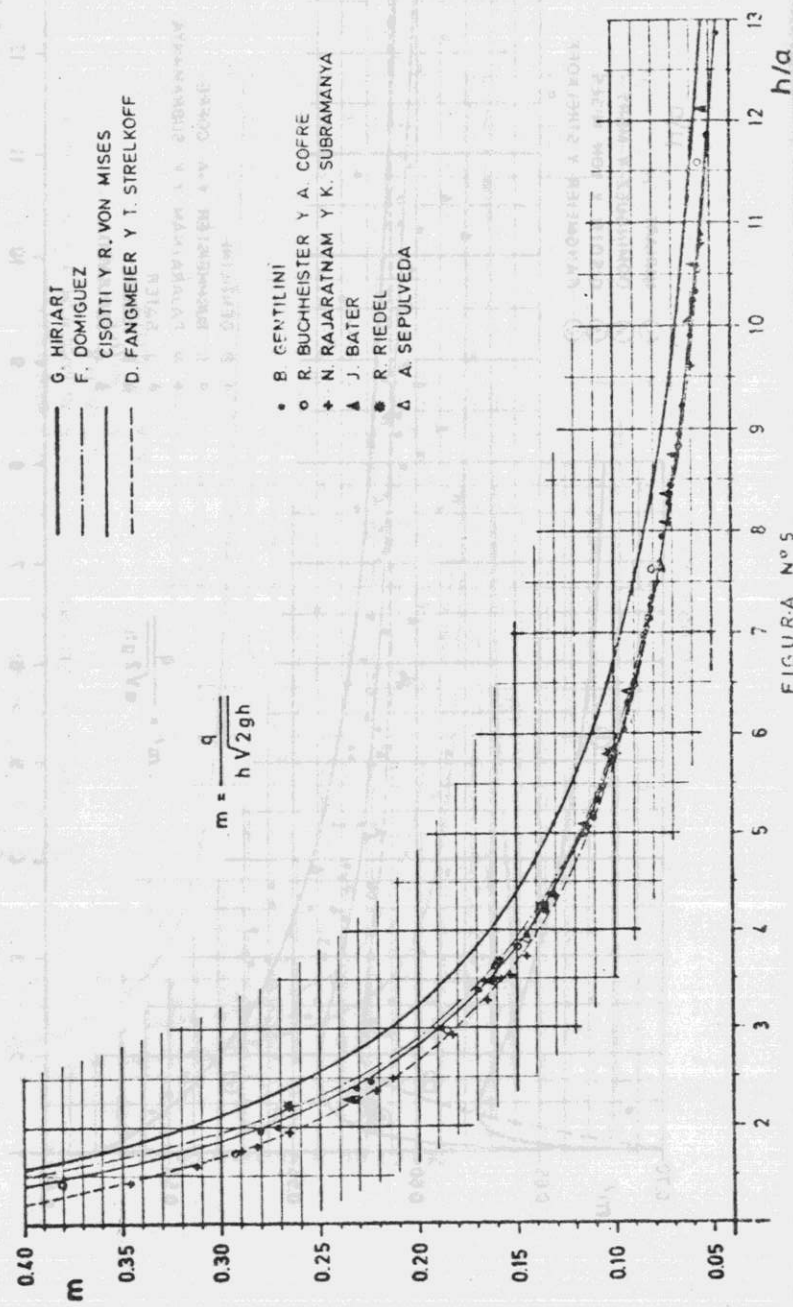


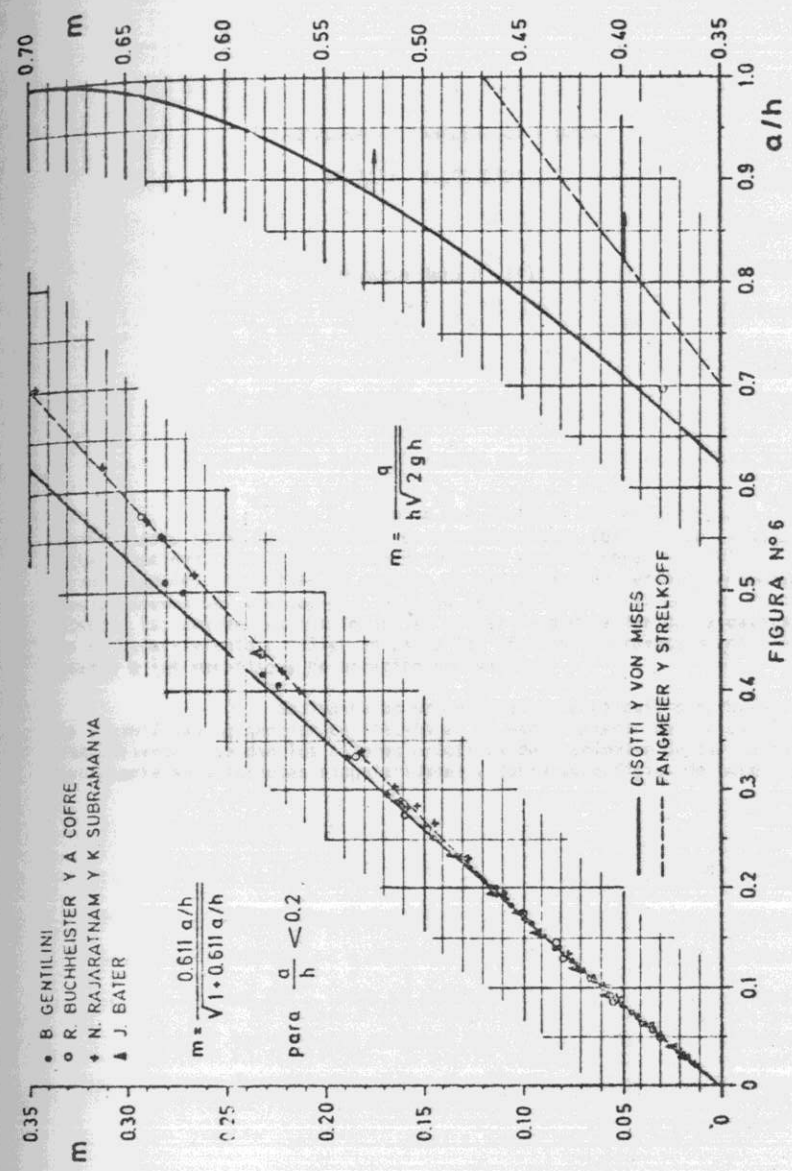
FIGURA N° 2





- G. HIRIART
- - - F. DOMIGUEZ
- CISOTTI Y R. VON MISES
- - - D. FANGMEIER Y T. STRELKOFF

- B. GENTILINI
- R. BUCHHEISTER Y A. COFRE
- + N. RAJARATNAM Y K. SUBRAMANYA
- ▲ J. BATER
- R. RIEDEL
- △ A. SEPULVEDA



- B. GENTILINI
- R. BUCHHEISTER Y A. COFRE
- + N. RAJARATNAM Y K. SUBRAMANYA
- ▲ J. BATER

- CISOTTI Y VON MISES
- - - FANGMEIER Y STRELKOFF