

TABLA N° 2
COEFICIENTES DE CONTRACCION DE LA COMPUERTA

a/D	C _e					Fr	REF.
	0.73	0.74	0.741	0.743	0.744		
0.10	0.727	0.740	0.743	0.743	0.743	-	-
0.20	0.731	-	-	-	-	0.890	0.970
0.30	0.736	0.737	0.741	0.741	0.741	0.852	0.910
0.40	0.744	-	-	-	-	0.833	0.877
0.50	0.754	0.740	0.741	0.741	0.741	0.820	0.860
0.60	0.769	-	-	-	-	0.817	0.848
0.70	0.788	0.764	0.771	0.771	0.771	0.818	0.838
0.80	0.816	-	-	-	-	0.830	0.830
0.90	0.959	0.838	0.841	0.841	0.841	0.857	0.856
θ°	45	45	45	45	45	0.00	0.00
r/d	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
e/d	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.60
D/d	-	5.39	-	-	-	5.39	5.39
Fr	-	3.00	5.0	5.0	5.0	-	-
REF.	3	7	7	7	7	3	3

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

VIII CONGRESO NACIONAL

FUERZA HIDRODINAMICA DE CIERRE DE UNA COMPUERTA UBICADA

EN UN TUNEL A PRESION

SEGUNDA PARTE : COMPARACION CON RESULTADOS DE MODELOS

ALBERTO A. SEPULVEDA VERA

RESUMEN

En la Primera Parte de este estudio se analizó el método teórico de F.H.KNAPP y los métodos empíricos de NAUDASCHER y del BUREC. En esta Segunda Parte se han aplicado los métodos anteriores a las compuertas de emergencia de las centrales "El Toro", "Sobradinho", "Canutillar" y "Marimbondo"; a las compuertas de emergencia de los desagües de fondo de la presa "Colbún" y de "Sobradinho". Los resultados se compararon con las medidas en modelos de "El Toro", "Sobradinho" y "Marimbondo", obteniéndose resultados muy cercanos a los calculados por el método de KNAPP. Los resultados de NAUDASCHER para las compuertas estudiadas son mayores, en un factor que es del orden de $(1/C_e)^2$.

Ingeniero Civil - División Estudios Hidráulicos (ENDESA) - Profesor de Memorias de Título (Universidad de Chile).

1.- INTRODUCCION

Las compuertas de carrera vertical se emplean para regular flujo en muchas obras hidráulicas de cargas medias, tales como desagües de fondo o túneles de aducción. También se emplean para el cierre de emergencia de túneles a presión asociados a presas de cargas altas.

En la Figura 1 se muestra un esquema típico de un pique de compuertas de emergencia. En la Figura 2 se muestra un esquema de las compuertas de regulación del desagüe de fondo del embalse Colbún.

Al estar operando la compuerta, ya sea en operación de regulación o de emergencia, ella se encuentra sometida a un desequilibrio de las presiones que actúan sobre y bajo la compuerta, generándose una fuerza resultante que puede ser de magnitud considerable. Esta fuerza, generalmente actúa hacia abajo, favoreciendo el cierre de la compuerta. La fuerza hidrodinámica F ("DOWN-PULL" en inglés) depende fundamentalmente de la forma del labio inferior de la compuerta.

En la Primera Parte de este estudio (A. Sepúlveda, 1987) se analizaron los métodos existentes a la fecha para determinar F .

T.C. Paul y G.S. Dhillon (1986), opinan que en el presente no hay disponible una técnica teórica o fórmulas empíricas o curvas de diseño confiables para evaluar la fuerza F . Por consiguiente siempre ella debe ser determinada usando modelos físicos de cada nueva instalación de compuertas.

Lo anterior es efectivo en el caso en que la fuerza hidrodinámica F es determinante en la fijación de la capacidad del equipo servomotor que accionará la compuerta. Dicha capacidad, C.S., viene dada por:

$$\text{C.S.1} = K_C (-W - F + Fr) \quad (23 a)$$

$$\text{y } \text{C.S.2} = K_C (W + F + Fr) \quad (23 b)$$

C.S.1 corresponde a la operación de cierre contra escurrimiento y C.S.2 a la operación de levante.

$K_C = 1/0,95$ coeficiente que considera las pérdidas por roce en el cilindro del servomotor.

W = peso de la compuerta y sus partes móviles.

F_R = fuerza de roce en las ruedas principales, laterales y en los sellos laterales.

Se dimensiona C.S.2 para F_R máximo.

2.- TIPOS DE COMPUERTAS Y FORMAS DEL LABIO INFERIOR

2.1 Compuertas con sello frontal por aguas abajo (Tipo A)

De este tipo existen dos variaciones, las compuertas con placa de forro por aguas abajo (TIPO A1) y las con la placa de forro por aguas arriba (TIPO A2).

En la Figura 2 se muestra una compuerta tipo A1 y en la Figura 1 una compuerta tipo A2.

2.2 Compuertas con sello frontal por aguas arriba (Tipo B)

En este estudio no se analizará este tipo de compuertas.

2.3 Formas del labio inferior de las compuertas

En la Figura 3 se muestran algunas formas de la parte inferior de compuertas planas; la que se muestra en 3b es la más usual de ellas.

3.- ECUACIONES DEL FLUJO ALREDEDOR DE LA COMPUERTA

Utilizaremos las ecuaciones planteadas en el punto 4.2 de la Primera Parte de este estudio en el que se muestra la nomenclatura empleada aquí.

3.1 ZONA A. En el caso en que $Q_2 \neq 0$ se puede demostrar que:

$$Q_1 = \frac{Q}{1 + 1/\left[C_c a \sqrt{1/(m_1 a_1)^2 + 1/(m_2 a_2)^2}\right]} \quad (24)$$

y las demás variables se calculan con:

$$Q_2 = Q - Q_1 \quad (16)$$

$$H_3 = B_1 - \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_1}{abC_c} \right)^2 \quad (17)$$

$$H_2 = B_1 - \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_1}{ba_1 m_1} \right)^2 \quad (18)$$

$$B_1 = Z_e - Z_f - k Q^2 \quad (22)$$

3.2 ZONA B. Nuevamente en el caso en que $Q_2 \neq 0$ se puede demostrar que:

$$Q = abC_c \sqrt{2g(B_1 - C_c \cdot a)} + b \sqrt{\frac{2g(B_1 - D)}{1/(m_1 a_1)^2 + 1/(m_2 a_2)^2}} \quad (25)$$

y las otras variables se determinan con:

$$Q_1 = abC_c \sqrt{2g(B_1 - C_c a)} \quad (20)$$

con B_1 de (22)

$$Q_2 = Q - Q_1$$

$$y_2 = D + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_2}{b a_2 m_2} \right)^2$$

3.3 ZONA C. En este caso $Q_2 = 0$, con lo cual,

$$Q_1 = Q = a b C_c \sqrt{2g (B_1 - C_c a)} \quad (20)$$

con B_1 de (22)

En algunos casos de piques o cámaras de compuertas, veremos que es necesario recurrir a ecuaciones más complejas para incluir otras pérdidas de carga, tales como friccionales y singulares.

4.- ESTUDIOS EN MODELOS REDUCIDOS

4.1 Compuerta de servicio de la central "El Toro"

Se estudió, mediante un modelo hidráulico a escala 1:25, las fuerzas que actúan sobre la compuerta de servicio al cerrarla contra el escurrimiento (MOSONYI, 1971).

En la Figura 1 se muestra un esquema del pique de compuertas de la referida central, en la que se ha dibujado la compuerta de servicio, la que solo se operaría en un cierre contra escurrimiento en el caso de rotura en las tuberías forzadas de la central.

Se midió la fuerza hidrodinámica de cierre para el caso de rotura de las tuberías forzadas, lo que da un caudal inicial de 241,00 m³/s. Las bases de cálculo son:

$Q = 241,00$ m ³ /s	caudal de la zona A
$Z_e = 1.369,00$ m	nivel de aguas del lago Laja
$Z_f = 1.290,58$ m	cota de fondo del túnel en el pique de compuertas.
$D = 6,50$ m	altura del túnel en el pique
$\Delta B = 0,00025 Q^2$ ($k = 0,00025$)	pérdida de carga entre el lago y el pique
$a_1 = 2,94$ m	espacio entre la comp. y la pared de aguas arriba del pique

$$a_2 = 0,044 \text{ m}$$

$$b = 3,10 \text{ m}$$

$$m_1 = 0,90$$

$$m_2 = 0,60$$

$$\theta = 41,9^\circ$$

$$d_1 = 0,78 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,14 \text{ m}$$

espacio entre la comp. y la pared de aguas abajo del pique.

ancho de la compuerta.

coeficiente de gasto para a_1

coeficiente de gasto para a_2

ángulo inferior de la compuerta

espesor principal de la compuerta

espesor secundario de la compuerta

En la Figura 3a se muestra la forma del labio inferior de la compuerta.

Los cálculos hidráulicos se realizaron según la metodología expuesta en 3. En cuanto a la fuerza hidrodinámica F la separamos en dos partes:

$$F = F_1 + F_2 \quad (26)$$

$$F_{1H} = \frac{\gamma d_1}{2gb} \left(\frac{Q_1}{a C_c} \right)^2 K_d \text{ NAUDASCHER} \quad (6)$$

$$F_{1K} = \frac{\gamma d_1}{2gb} \left(\frac{Q_1}{a} \right)^2 T \text{ KNAPP} \quad (5)$$

K_d se determinó de los gráficos de NAUDASCHER et al (1964) y

T de:

$$T = \int_0^1 \frac{d(x/d_1)}{(y/a)^2} = \left(\frac{a}{D} \cdot \frac{D}{d_1} \right)^2 \int_0^1 \frac{d(x/d_1)}{\left(\frac{a}{d_1} + \frac{x}{d_1} \operatorname{tg} \theta \right)^2} \quad (27)$$

La integral se calculó mediante el método numérico de ROMBERG (SHOUP, 1983) y por integración directa.

Para la fuerza F_2 :

$$\text{- En la zona A : } F_2 = \gamma b d_2 (B_1 - H_3) \quad (28)$$

$$\text{- En la zona B y C: } F_2 = \gamma b d_2 (B_1 - a - e_0) \quad (29)$$

Entonces,

$$F_K = F_{1K} + F_2 \quad (30)$$

$$F_N = F_{1N} + F_2 \quad (31)$$

y F_e que es el valor medido en el modelo.

En la Figura 4 se han dibujado las fuerzas F_e , F_K y F_N . Se observa que F_K es poco mayor que F_e y que $F_N > F_K$.

4.2 Compuerta de Servicio del desagüe de fondo del embalse "Colbún"

4.2.1 Antecedentes y Bases de Cálculo

Mediante un modelo hidráulico a escala 1:18, se analizaron las presiones que se generan durante el cierre de las compuertas del desagüe de fondo del embalse Colbún (SIMMLER, 1985). Se midieron presiones en el cuerpo de las compuertas, en las cámaras de ellas y en el túnel. Además durante las pruebas de puesta en marcha se midieron, en el prototipo, las presiones en la cámara y en el cilindro de los servomotores de accionamiento de las compuertas; estas medidas permiten determinar H_2 , CS_1 y CS_2 .

Las bases de cálculo son las siguientes:

$$Q = \sqrt{\frac{Z_e - Z_f}{k + (1/2g) / (mba)^2}} \quad (32)$$

$Z_e =$	cota del embalse Colbún
$Z_f = 328,00$ m	cota de fondo del túnel en las compuertas
$D = 3,65$ m	altura del túnel en la compuerta
$b = 2,50$ m	ancho del túnel en la compuerta
$\Delta B = k Q^2$ m	pérdida de carga entre el embalse y las compuertas
($k = 3,756 \times 10^{-6}$)	
$\theta = 45^\circ$	ángulo inferior del labio de la compuerta
$r = 0,185$ m	redondeo del labio inferior
$d = 0,607$ m	espesor de la compuerta
$a_1 = 0,015$ m	
$a_2 = 0,010$ m	
$m =$ coeficiente de gasto	
$m_1 = 0,61$	coeficiente de gasto para a_1
$m_2 = 0,61$	coeficiente de gasto para a_2

4.2.2 Cálculos Hidráulicos

En la Figura 2 se presenta un esquema de la cámara de compuertas del desagüe de fondo del embalse Colbún. Se aprecia que se trata de una compuerta tipo A_2 (ver 2.1). En la Figura 3b se muestra la forma del labio inferior de la compuerta indicándose la disposición de los piezómetros instalados en el modelo.

En lo referente a los cálculos hidráulicos para $Z_e = 412,35$ m, se realizaron siguiendo la metodología indicada en 3, pero introduciendo una modificación en la ecuación para Q_2 pues ahora no son despreciables los frotamientos entre la compuerta y la pared de aguas arriba del pique:

$$B_1 = H_2 + \Delta B_e + \sum L_1 \quad (32)$$

$$\Delta B_e = 0,5 \frac{v^2}{2g} \text{ pérdida de carga de entrada}$$

$$\sum L_1 = L_1 \left(\frac{Q_2}{b a_1} \right)^2 \frac{n^2}{R^{4/3}} \text{ pérdida de carga friccional}$$

$$n = 0,012 \text{ coeficiente de rugosidad de Manning}$$

$$R = b a_1 / (2b + 2a_1) \text{ radio hidráulico}$$

Se pueden obtener las siguientes ecuaciones para Q_2 :

$$Q_2 = b a_1 \sqrt{\frac{2g (B_1 - H_2)}{\sum}} \quad (33)$$

$$Q_2 = b a_2 m_2 \sqrt{2g [H_2 - (L_c + a)]} \quad (34)$$

obteniéndose la siguiente relación para H_2 :

$$H_2 = \frac{(L_c + a) (a_2 m_2 / a_1)^2 + B_1 / \sum}{(a_2 m_2 / a_1)^2 + 1 / \sum} \quad (35)$$

$$\sum = 0,50 + 2gn^2 (L_c - D + a) \left[\frac{2(b + a_1)}{b a_1} \right]^{4/3} \quad (36)$$

donde $L_c = 3,796$ m

partes : En cuanto a la fuerza hidrodinámica F , ésta se divide en dos partes :

$$F = F_1 - F_2 \quad (+ \downarrow) \quad (26)$$

Para la fuerza F_2 :

$$F_2 = \gamma (B_1 - H_2) b d \quad (37)$$

Para la fuerza F_1 se usaron las mismas ecuaciones (5) y (6) de 4.1. Para T se empleó :

$$T = \left(\frac{a}{D} \cdot \frac{D}{d_1} \right)^2 \int_0^1 \frac{d(x/d)}{(y/d)^2} = \frac{d_1}{d} \int_0^1 \left(\frac{a}{D} \cdot \frac{D}{d_1} \right)^2 \frac{d(x/d_1)}{(y/d_1)^2} + \frac{d_2}{d} \int_0^1 \left(\frac{a}{D} \cdot \frac{D}{d_2} \right)^2 \frac{d(x/d_2)}{(y/d_2)^2} \quad (38)$$

F_K y F_N , las fuerzas finales, son las calculadas según las ecuaciones (30) y (31) de 4.1. Las integrales se calcularon en la forma indicada en 4.1; nótese que la segunda integral vale 1.00 pues $y=a$.

4.2.3 Medidas en el Prototipo

Las mediciones se realizaron durante las pruebas de la puesta en servicio de las compuertas del desagüe de fondo de la presa Colbún, estando el embalse en la cota 412,35 m.

Se midieron las presiones en el piezómetro N° 20, ubicado en la clave de la cámara de la compuerta (ver Figura N° 2). La cota piezométrica H_{2e} calculada con estos datos se muestra en la Tabla N° 1, observándose una buena concordancia con los valores calculados para H_2 . Además se midieron las presiones de aceite en los cilindros de los servomotores, lo que permite determinar las fuerzas totales de cierre y levante de la compuerta contra escurrimiento; estas fuerzas incluyen las fuerzas de roce, que en este caso son muy superiores a la suma de la fuerza hidrodinámica y de peso propio (compuerta + elementos móviles)

4.2.4 Medidas en el Modelo

Los ensayos se efectuaron para el embalse a la cota 436,00 m, midiéndose el caudal total Q , presiones en las cámaras de las compuertas (piezó-

metros N° 20), presiones en el labio inferior de la compuerta (piezómetros N°s 1 a 5, Figura 3 b) y presiones en el túnel (paredes, techo y radier).

Igual que en 4.2.2 se calcularon teóricamente las variables hidráulicas, para el caso en que $Z_e = 436,00$ m.

En la Tabla N° 2 se muestran las cotas piezométricas en los piezómetros N°s 1, 2, 3, 4, 5 y 20. Se comparan las medidas en modelos y las calculadas siguiendo las hipótesis de Knapp :

- En el rango $a/D = 0,10$ a $0,50$ se aprecia una buena concordancia en el caso de los piezómetros 3 y 4.
- Para $a/D > 0,75$ el piezómetro N° 2 es el que mejor concuerda con las medidas en el modelo.

Las mayores diferencias que se observan para el caso de las aberturas sobre 3,0 m se debe fundamentalmente a tres razones :

- a) La forma especial del techo aguas abajo de la compuerta (ver Figura 2).
- b) A que en el cálculo no se ha considerado la disminución de la presión aguas abajo de la compuerta debido al arrastre de aire.
- c) Los efectos macroturbulentos que se producen para los caudales unitarios sobre 60 m³/s/m.

4.3 Compuerta de emergencia de la Central "Sobradinho"

Se estudió, mediante un modelo hidráulico a escala 1:25, las fuerzas F que actúan sobre la compuerta de servicio al cerrarla contra el escurrimiento (A. Luiz y R. Bertolozzi, 1981). Las fuerzas se determinaron, por dos métodos diferentes:

- Mediante dinamómetro acoplado en la parte superior del modelo.
- Mediante piezómetros instalados en varios puntos del modelo.

Se calcularon teóricamente las fuerzas F mediante el método de Knapp.

En la Figura 3c se muestra la forma de la compuerta de Sobradinho.

En el cuadro siguiente se comparan los resultados en modelo y los calculados mediante el método de Knapp para tres modelos diferentes, según los autores ya citados.

CUADRO N° 2

N°	MODELO	Q (m ³ /s)	Laboratorio	F (ton)	
				KNAPP	MODELO
1	SOBRADINHO : Aducción	360 675	Univ. Padova (Italia)	404,4 480,3	374,2 a 423,7 409,3 a 439,4
2	SOBRADINHO : Desagüe	675	BNS (Francia)	163,0	169,0
3	MARIMBONDO : Aducción	360	SOREFAME (Portugal)	142,9	137,7

4.4 Compuerta de emergencia de la Central "Canutillar"

Como información adicional se proporcionan los resultados del cálculo de la fuerza hidrodinámica de cierre, F, de la compuerta de emergencia del pique de compuerta de la central Canutillar, cuya forma inferior se muestra en la Figura 3c.

En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos por el método de KNAPP y de NAUDASCHER; para este último caso se dan dos curvas, debido a que al no haber coeficientes K_d para ese tipo específico de forma de compuerta, se debieron hacer interpolaciones para obtener factores de corrección, pudiéndose realizarse los cálculos de dos maneras diferentes.

5.- CONCLUSIONES

En el cuadro siguiente se resumen los resultados de los casos presentados:

CUADRO N° 3

N°	COMPUERTAS DE EMERGENCIA DE LA CENTRAL	Q (m ³ /s)	F (ton)		
			KNAPP	NAUDASCHER	MODELO
1	El Toro (aducción)	241	100,1	152	95
2	Colbún (desagüe fondo)	331 369	29,5 37,0	36 46	-
3	Sobradinho (aducción)	360 675	404,4 480,3	-	374,2 a 423,7 409,3 a 439,4
4	Canutillar (aducción)	46	34,0	39 a 50	-
5	Sobradinho (desagüe)	675	163,0	-	169,0
6	Marimbondo (aducción)	360	142,9	-	137,7

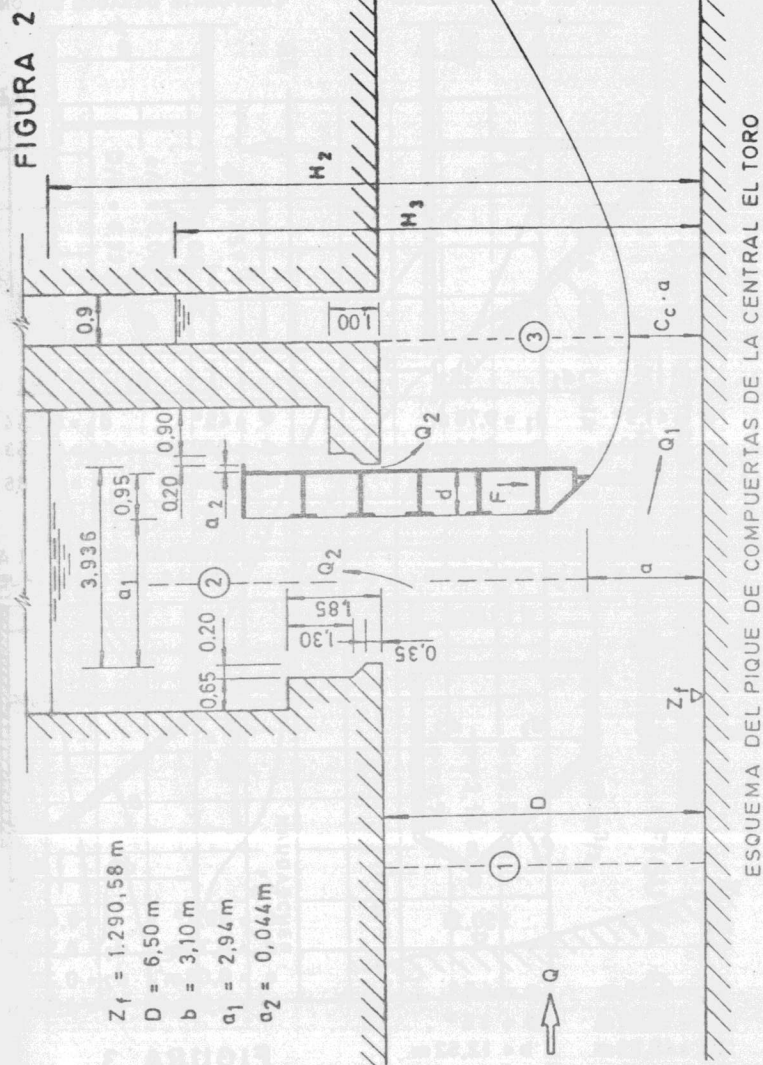
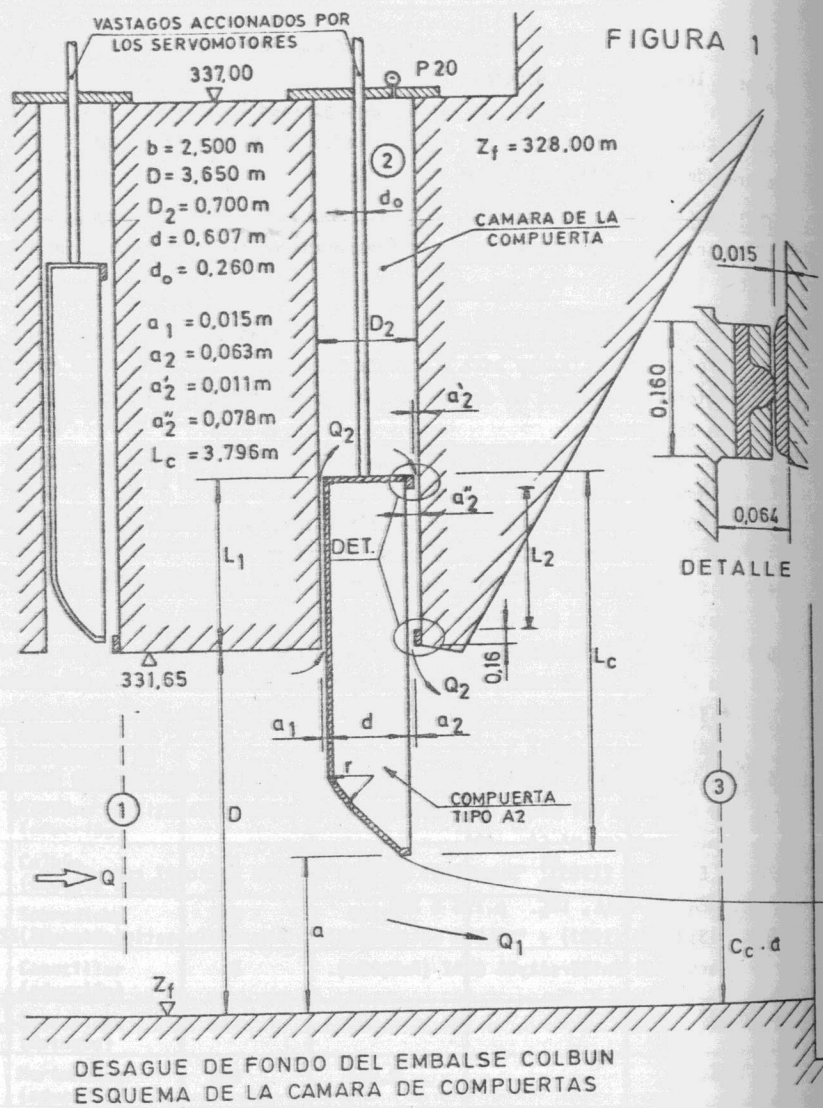
En forma no esperada el método de Knapp da resultados muy cercanos a los medidos en modelo.

Si se toma un factor de seguridad igual a $(1/C_c)^2$ los resultados de Knapp y de Naudascher son muy similares. El método de Naudascher daría valores de F por el lado seguro.

BIBLIOGRAFIA.

(La numeración es continuación de la presentada en la Parte Primera de este estudio).

- 12.- A. LJIZ F. y R. BERTOZZI (1981): "Utilização do método analítico do professor E.H. Knapp para a correta determinação da capacidade dos servomotores do sistema de acionamento das comportas de emergência da usina de Sobradinho".
VI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Balneário Camboriú - SC - Brasil.
- 13.- E. MOSONY (1971): "Compuerta de la bocatoma de la central hidroeléctrica El Toro - Chile". Technische Univ. KARLSRUHE.
- 14.- T.C. PAUL y G.S. DHILLON (1986): "Dimensioning vertical lift gates".
Water Power and Dam Construction - November - p. 45 a 47.
- 15.- A. SEPULVEDA V. (1987): "Fuerza hidrodinámica de cierre de una compuerta ubicada en un túnel a presión. Primera Parte: Métodos de cálculo".
VIII Congreso Nacional de Hidráulica - Santiago-S.Ch.I.H.- Universidad de Santiago.
- 16.- A. SEPULVEDA V. (1987): "Fuerza hidrodinámica de cierre de la compuerta de servicio del pique de compuerta de la central Canutillar". ENDESA - Informe OICOH N° CA - 404.
- 17.- T.E. SHOUP (1983): "Numerical methods for the personal computer".
PRENTICE-HALL, INC. p.196 a 200.
- 18.- H.SIMMLER (1983): "COLBUN bottom outlet." Model Investigations N° 226.
Technical University - GRAZ (Austria).



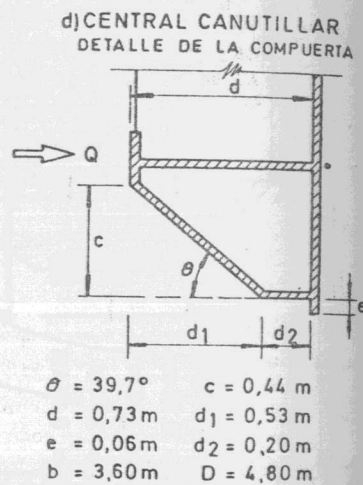
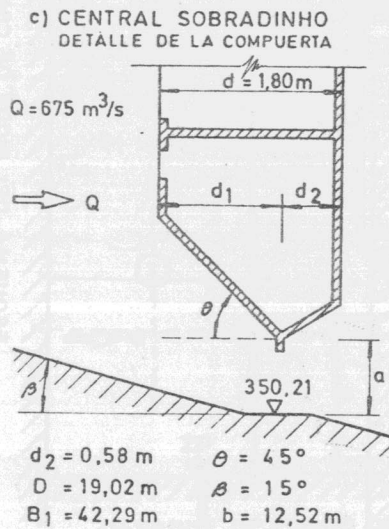
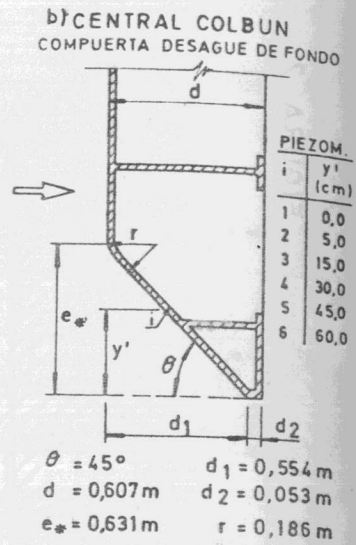
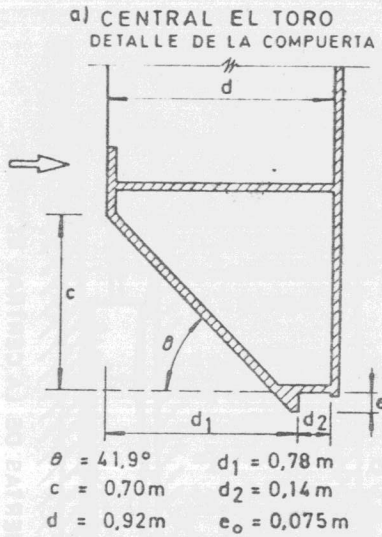
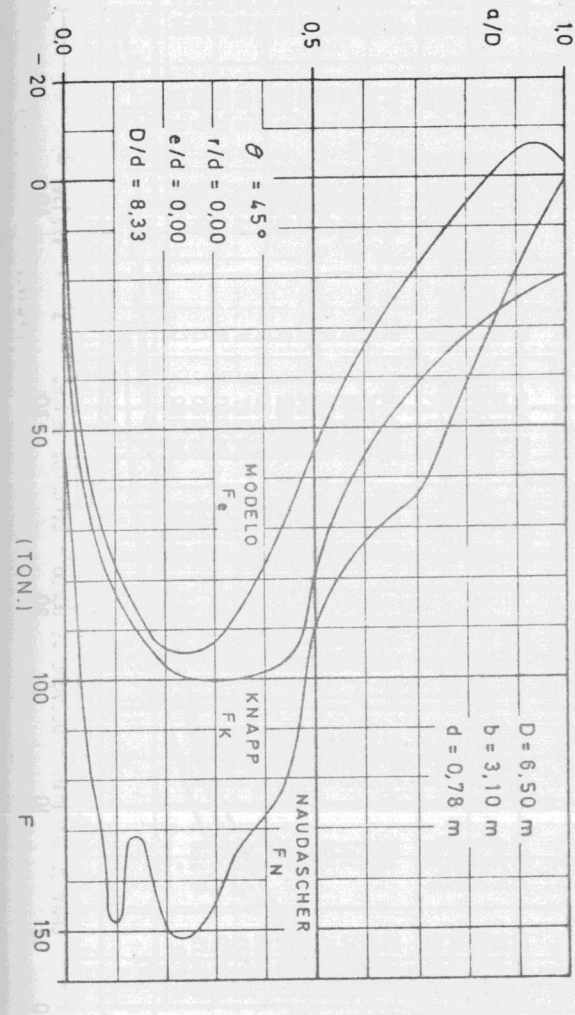


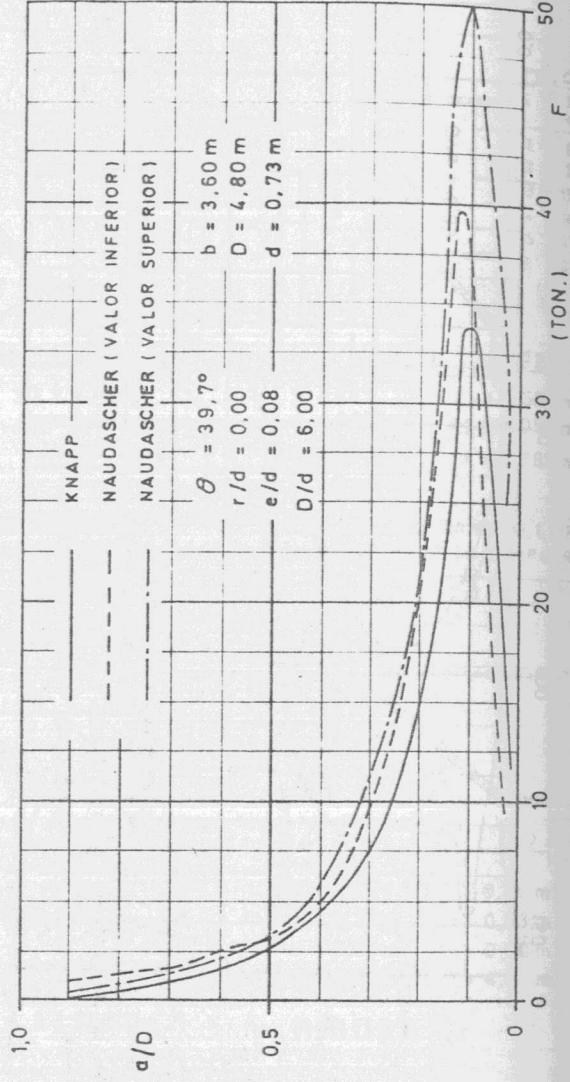
FIGURA 3



CENTRAL EL TORO — PIQUE DE COMPUERTAS
FUERZA HIDRODINAMICA DE CIERRE FIGURA 4

CENTRAL CANUTILLAR PIQUE DE COMPUERTA
FUERZA HIDRODINAMICA DE CIERRE FIGURA 5

COTA LAGO CHAPO = 244,00 m $Q = 46,0 \text{ m}^3/\text{s}$



EMBALSE "COLBUN" - DESAGUE DE FONDO - CALCULOS DE "F" - $Z_e = 412,35 \text{ m}$

a/D	a (m)	C _c	m	Q ₁ (m ³ /s)	B ₁ (m)	H ₁ (m)	ZONA	H ₂ (m)	Q ₂ (m ³ /s)	H _{2e} (m)
0,000	0,000	-	-	0,00	84,350	84,350	C	84,35	0,00	84,37
0,025	0,0912	0,726	0,7265	6,74	84,350	84,350	C	84,35	0,00	84,35
0,050	0,1825	7265	0,7265	13,48	84,350	84,350	B	73,44	0,56	76,0
0,075	0,2737	727	0,7265	20,21	84,350	84,181	B	72,21	0,56	72,0
0,100	0,3650	7275	0,7265	26,95	84,350	83,936	B	71,03	0,55	69,5
0,125	0,4562	728	0,7265	33,69	84,331	83,635	B	69,89	0,55	68,0
0,150	0,5475	729	0,7265	40,43	84,165	83,164	B	68,70	0,54	66,5
0,175	0,6387	730	0,7265	47,16	84,001	82,638	B	67,55	0,53	65,5
0,200	0,7300	731	0,7265	53,91	83,838	82,057	B	66,44	0,53	64,5
0,225	0,8212	732	0,7265	60,65	83,698	81,444	B	65,39	0,53	63,5
0,250	0,9125	733	0,7267	67,40	83,558	80,775	B	64,37	0,52	63,0
0,30	1,0950	0,736	0,7272	80,93	83,127	79,114	B	62,32	0,51	62,0
0,35	1,2775	0,739	0,7278	94,49	82,724	77,253	B	60,42	0,50	61,5
0,40	1,4600	0,744	0,7286	108,10	81,938	74,778	B	58,37	0,49	60,5
0,45	1,6425	0,749	0,7296	121,77	81,214	72,128	B	56,49	0,49	58,5
0,50	1,8250	0,754	0,7310	135,55	80,594	69,335	B	54,78	0,48	56,0
0,60	2,1900	0,769	0,7350	163,52	78,648	62,264	B	51,22	0,45	51,0
0,70	2,5550	0,788	0,7437	192,99	77,021	54,199	B	48,22	0,44	45,0
0,80	2,9200	0,816	0,7626	226,10	75,886	44,563	B	45,81	0,42	-
0,90	3,2850	0,859	0,7982	266,12	75,424	32,031	B	44,01	0,41	-
0,95	3,4675	0,895	0,8300	292,00	75,371	23,127	B	43,28	0,41	-
1,00	3,6500	1,000	0,8950	331,25	70,886	-	B	-	0,00	-

TABLA N° 1

250

250

TABLA N° 2

MEDIDAS Y CALCULOS PARA $Z_e = 436,00$ m.- DESAGUE

DE FONDO DE LA PRESA COLBUN

a/D	a (m)	Piez. N°	y (m)	Hx (m)		OBSERVAC.
				Modelo	Cálculo	
0,10	0,365	1	0,365	1 a 3	0,0	Medidas con piezómetros
		2	0,415	60 61	63,9	
		3	0,515	78 79	79,3	
		4	0,665	90 91	90,8	
		5	0,815	89 89	96,4	
0,25	0,912	20	9,372	- -	90,7	
		1	0,912	-1 1	0,0	
		2	0,962	40 41	55,5	
		3	1,062	60 61	64,7	
		4	1,212	72 73	74,5	
0,50	1,825	5	1,362	63 64	81,2	
		20	9,372	- -	82,0	
		1	1,825	-2 -1	0,0	
		2	1,875	32 33	48,2	
		3	1,975	48 49	53,6	
0,75	2,737	4	2,125	60 62	60,3	
		5	2,275	52 54	65,7	
		20	9,372	- -	69,4	
		1	2,737	-5 4	0,0	
		2	2,787	34 35	38,7	
0,85	3,102	3	2,887	53 54	42,7	
		4	3,037	67 68	47,9	
		5	3,187	74 74	52,5	
		20	9,372	- -	58,9	
		2	3,152	29 a 41	33,1	Medidas con Transductores de Presión
3	3,252	50 63	36,9			
4	3,402	67 83	42,0			
20	9,372	62 70	56,2			
0,90	3,285	2	3,355	32 48	30,0	
		3	3,455	55 73	33,8	
		4	3,605	68 94	38,8	
0,95	3,467	20	9,372	55 64	55,0	
		2	3,517	31 61	23,6	
		3	3,617	53 95	27,5	
1,00	3,650	4	3,767	37 67	32,8	
		20	9,372	37 48	54,0	
		2	3,700	5 6	-	
		3	3,800	10 17	-	
		4	3,950	12 18	-	
		20	9,372	12 15	-	

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA

VIII CONGRESO NACIONAL

ONDAS DE CRECIDA GENERADAS POR LA FALLA

PROGRESIVA DE UNA PRESA. ANALISIS Y APLICACION

DE MODELOS MATEMATICOS

Luis Ayala Riquelme, Ph. D (1)

Fernando Harambour Palma (2)

RESUMEN

En el presente trabajo se describen y analizan algunos modelos matemáticos que han sido desarrollados para el estudio de la generación y propagación de ondas de crecida causadas por la ruptura gradual de una presa de embalse. Este tipo de falla puede ocurrir en presas de tierra debido a filtraciones descontroladas a través del muro o al vertimiento de agua sobre el coronamiento cuando el nivel del embalse sobrepasa la cota máxima de la presa. La aplicabilidad y limitaciones de los modelos seleccionados se investiga a partir de aplicaciones realizadas en ciertas presas chilenas, las cuales presentan características particulares por la información disponible, por su tamaño y por la configuración y extensión del valle que se desarrolla aguas abajo de ellas.

(1) Ingeniero Civil. Profesor e Investigador del Centro de Recursos Hidráulicos. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile.

(2) Profesor e Investigador. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Magallanes.