

Investigación exhaustiva del aliviadero de abanico

INTRODUCCIÓN

Tomando como base las investigaciones sobre aliviaderos de abanico, realizadas en diferentes etapas en el Laboratorio del Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) de la Facultad de Ingeniería Civil del Instituto Politécnico Superior José Antonio Echeverría se elaboró este trabajo donde se presentan las coordenadas adimensionales del cimacio a partir de la cota superior de la cresta en dependencia de la altura relativa del cimacio, las dimensiones en planta del aliviadero, la altura del cimacio aguas abajo y los tirantes del flujo a lo largo de la transición.

INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

En las fotos del Apéndice I se muestra la instalación experimental utilizada, en ellas se muestra el vertimiento sobre un vertedor de pared delgada de 1,0 mm de espesor que sigue la configuración en planta del paramento superior de un vertedor de abanico. También se puede observar el instrumento de medición colocado debajo de la vena líquida chorro con el que se ejecutaron las mediciones de las coordenadas x e y , las que fueron divididas entre la carga total sobre el vertedor H_0 y relacionadas con la altura del paramento superior dividida entre la carga total. Las alturas del paramento investigadas fueron de: 2,0; 4,0; 10,0; 20,0; 30,0cm. Las cargas H variaron de 5,0 cm. hasta 14.75 cm. y los gastos de 0.0557 m³/s hasta 0.2735 m³/s

Las mediciones de las cargas y de las coordenadas de la lámina vertiente se hicieron con miras hidráulicas con una precisión de 0,1 mm. El número de Reynolds varió desde 19000 hasta 128000 lo que garantiza que los efectos de escala se minimicen. En la figura 1 se muestra un esquema de las dimensiones en planta y elevación de la

Resumen / Abstract

Se presenta el resultado de investigaciones de laboratorio para la determinación de las coordenadas adimensionales de la cresta del vertedor de abanico. La instalación experimental consistió en un vertedor de pared delgada como paramento superior del vertedor. Se ensayaron diferentes alturas, cargas y gastos. El número de Reynolds empleado garantiza efectos de escala mínimos. Las coordenadas adimensionales de la trayectoria de la lámina vertiente fueron obtenidas y comparadas con las de investigadores anteriores. Posteriormente se trabajó para estudiar que la capacidad de servicio no sea afectada por ahogo. En años recientes se investigó el comportamiento en la transición curva en planta obteniendo ecuaciones para el diseño de la altura de las paredes.

Palabras clave: cresta, vertedor, lámina vertiente, coordenadas adimensionales

Laboratory research results are presented for the determination of nondimensional coordinates of the fan spillway crest cross section. A sharp-crested weir was used as experimental installation with a curved plan shape according to the original fan spillway. Different weir heights, weir upstream heads and discharge flows were tested. Reynolds number was found to ensure minimum scale effects. Nondimensional coordinates of the nappe were obtained and compared with those of previous researchers. As a follow-up research was conducted to prevent submergence phenomena. More recently, depth variation through the curved-in-plan transition structure was studied leading to design equations to find side walls height.

Keywords: crest, spillway, nappe, nondimensional coordinates

Dr. Evio Alegret Breña, Dr. Yoel Martínez González

Centro de Investigaciones Hidráulicas, CIH, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Email(s): evio@cih.cujae.edu.cu, ymarq@cih.cujae.edu.cu Tel(s) (537) 260-3636, 260- 1416, Fax(s) (537) 267-2964, 267- 2013

instalación experimental y en la figura 2 las dimensiones relativas en planta normadas con respecto a la longitud del vertedor de pared delgada que es de 263.00 cm. y que coincide con el ancho del canal de aproximación.

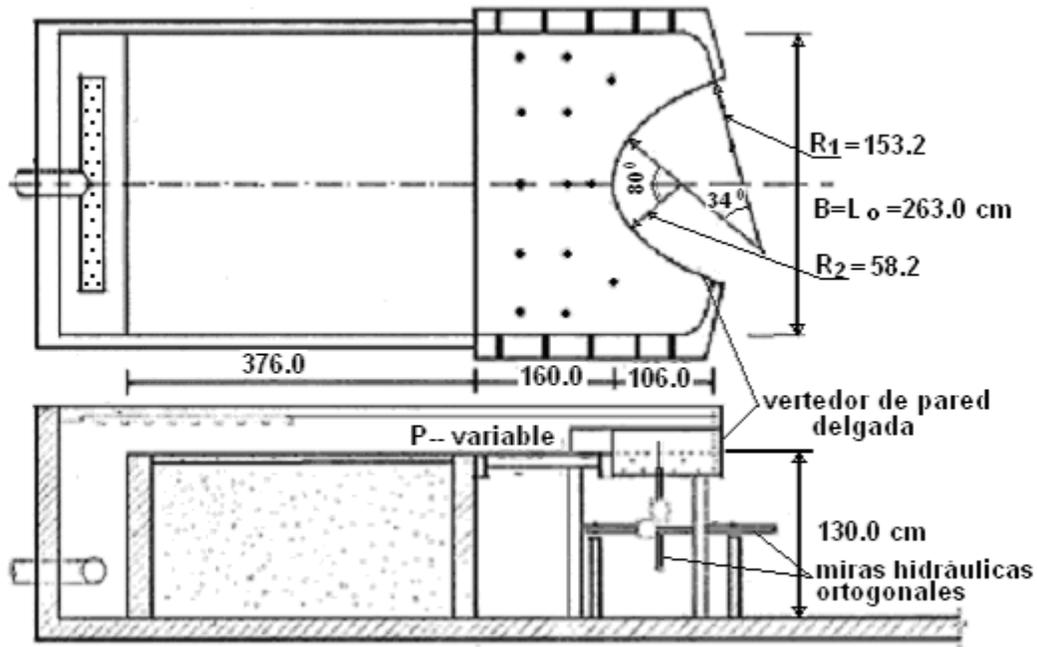


Figura 1. Dimensiones de la instalación experimental

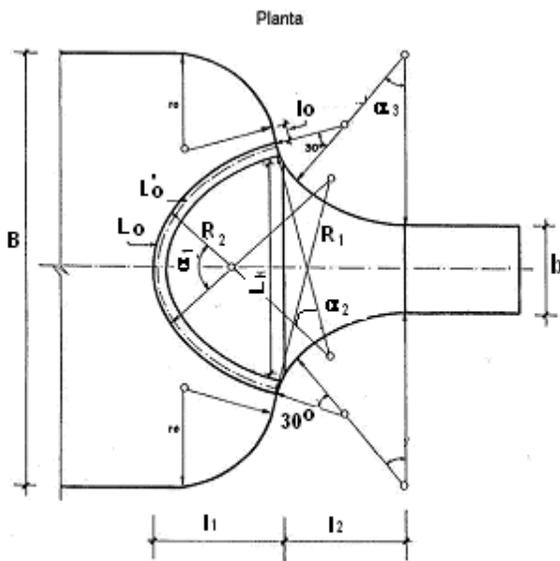


Figura 2. Dimensiones en planta, relativas a la longitud del vertedor de pared delgada

B/L_0	1.0
R_1/L_0	0.2213
R_2/L_0	0.5825
L_k/L_0	0.5460
R_0/L_0	0.0133
l_0/L_0	0.0076
l_1/L_0	0.3612
l_2/L_0	0.3209
b/L_0	0.2281
r_1/L_0	0.2167
r_2/L_0	0.4106
α_1	80°
α_2	34°
α_3	42.5°

MEDICIONES DE LAS TRAYECTORIAS DE LA LÁMINA

En la figura 3 se muestran las trayectorias de la superficie interior de la lámina vertiente por sobre el vertedor de pared delgada, representadas por sus coordenadas naturales, para cada relación P/H_0 investigada. los tiran-

tes en las estaciones 0+010 y 0+050 respectivamente.

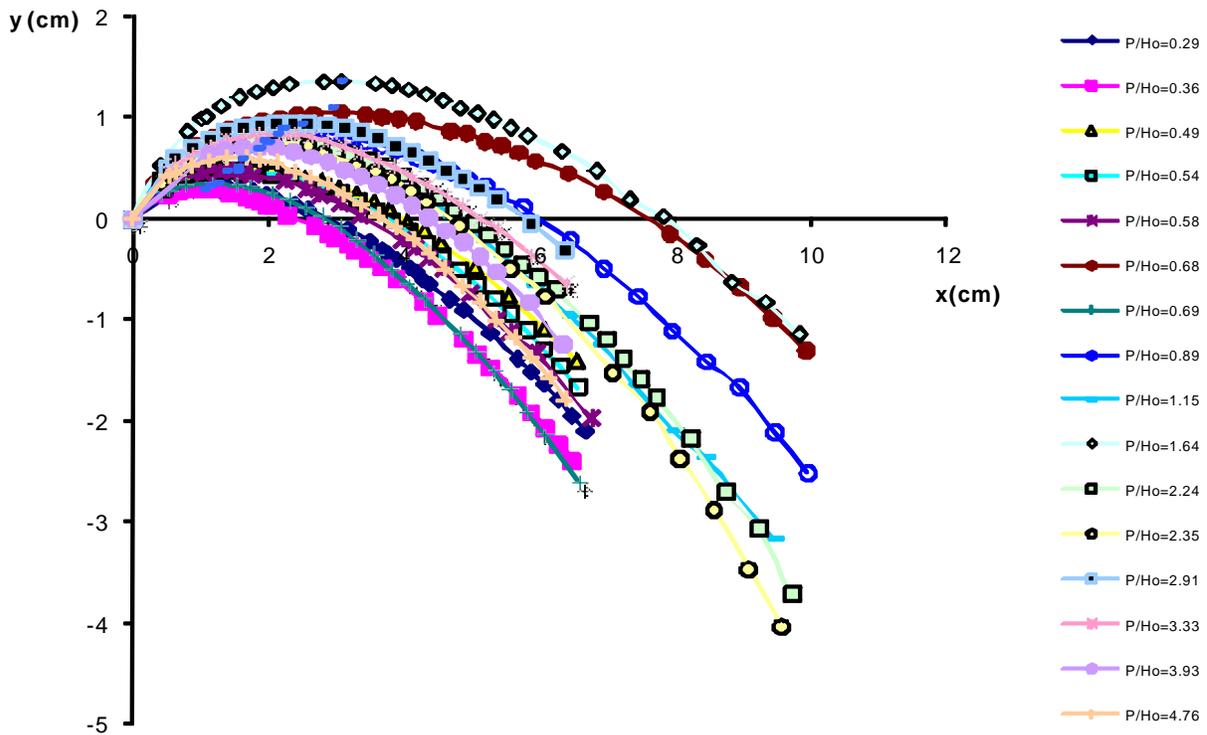


Figura 3. Trayectorias naturales de la lámina vertiente para cada relación P/Ho

Esta información fue reelaborada trasladando el centro de los ejes de coordenadas de la cresta del vertedor de pared delgada al punto de inflexión máxima de la superficie inferior de la lámina vertiente, tal y como se muestra en la figura 4.

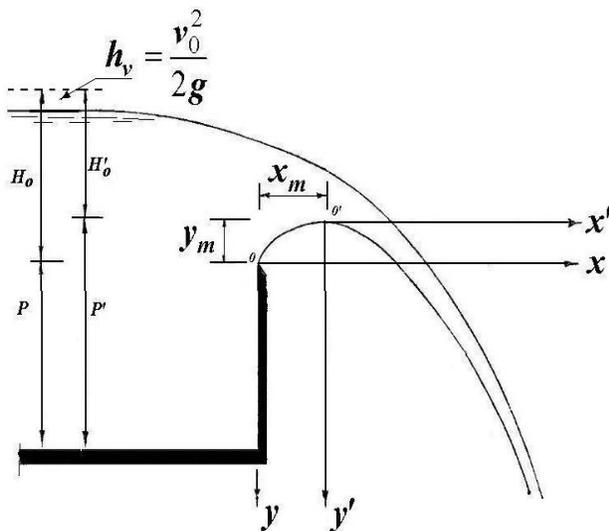


Figura 4. Traslación del eje de coordenadas a la superficie inferior de la cima de la lámina vertiente

Como se aprecia, dicha traslación implica considerar que el espacio bajo de esta superficie ha sido ocupado por el hormigón y por lo tanto la altura del futuro cimacio P' será igual a la altura del vertedor de pared delgada P más la coordenada máxima y_m, la cual se alcanza con la carga total H'_o, que será igual a Ho menos la coordenada máxima y_m, como se ilustra claramente en la figura 4. El punto de máxima inflexión de la superficie inferior de la lámina se localiza a una distancia de la cresta x_m. Las coordenadas mencionadas anteriormente pueden ser presentadas de forma adimensional, relacionándolas con la carga H'_o, lo cual origina los dos parámetros siguientes (x_m/H'_o; y_m/H'_o), guardando una relación funcional tipo racional con la altura relativa del cimacio expresada formalmente como P'/H'_o, como se muestra en los gráficos de las figuras 5 y 6.

$$\frac{x_m}{H'_o} = \frac{1}{3.3655 + \frac{0.8806}{\frac{P'}{H'_o}}} \quad (1)$$

$$\frac{y_m}{H'_o} = \frac{1}{8.8706 + \frac{2.9922}{\frac{P'}{H'_o}}} \quad (2)$$

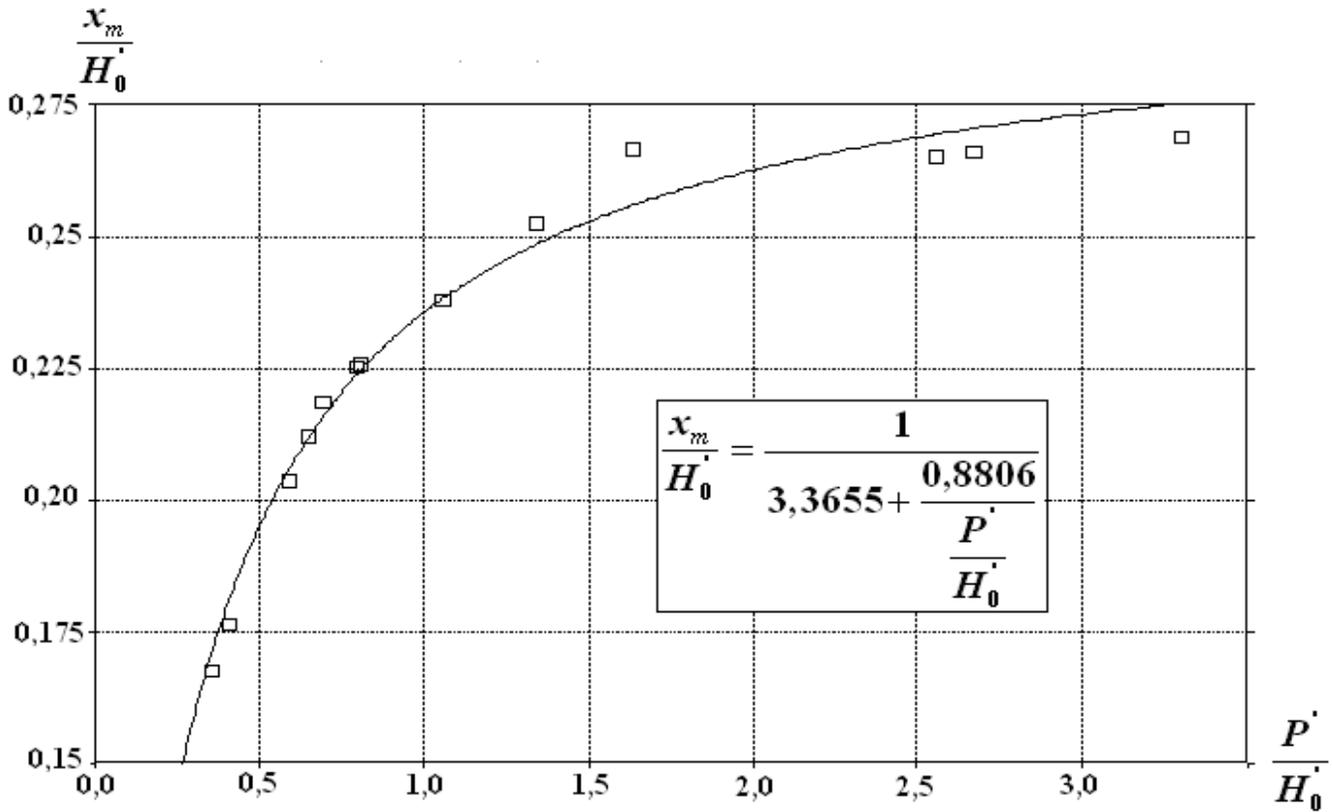


Figura 5. x_m/H'_0 vs P'/H'_0 , con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9816$

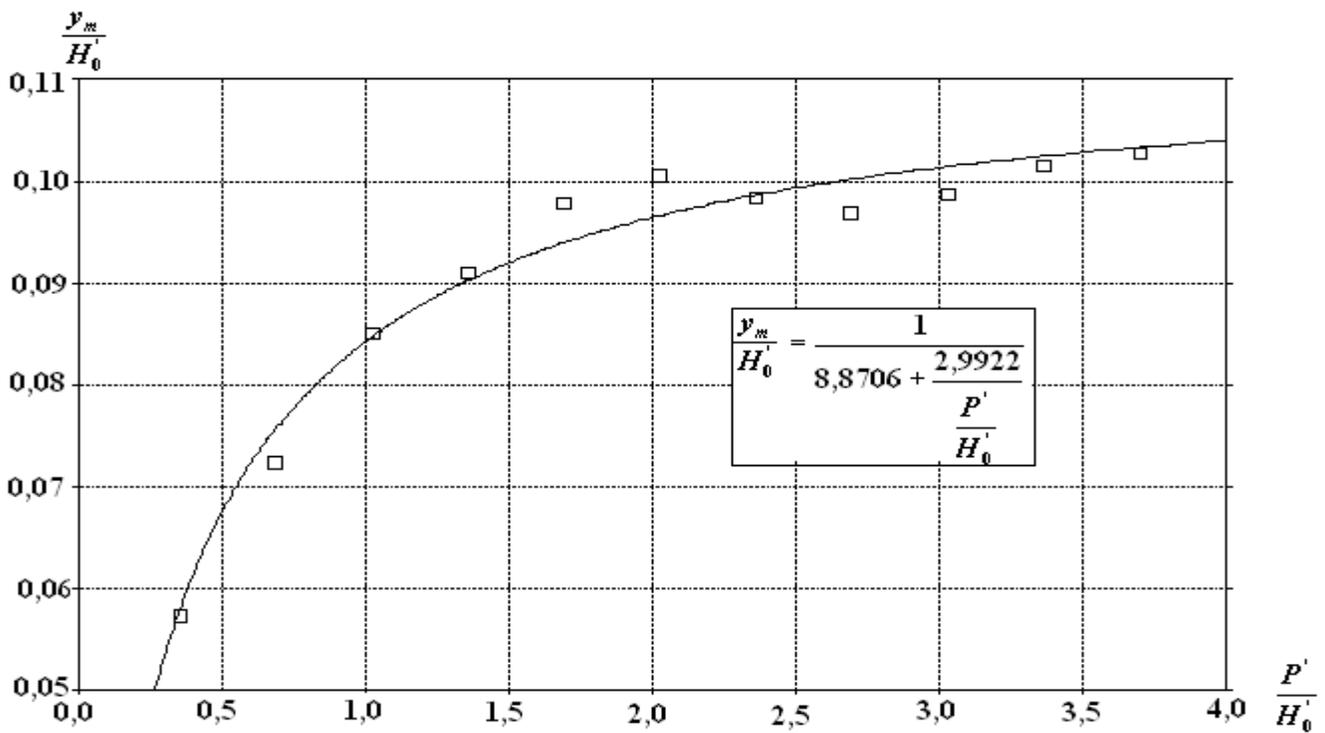


Figura 6. y_m/H'_0 vs P'/H'_0 , con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9704$

COORDENADAS DE LA CRESTA DEL

VERTEDOR

El resultado de esta transformación de los ejes, antes señalada por los autores, se puede ver en la figura del Apéndice II, en el cual se resumen las coordenadas adimensionales de la cresta del vertedor de abanico y su comparación con las coordenadas de los vertedores rectos en planta tipo Creager y WES. La superficie de hormigón del cimacio se encuentra dividida en dos tramos por el centro de los ejes de coordenadas adimensionales que se muestran en la figura del Apéndice IV. El primer tramo es identificado como *rama ascendente*, el cual abarca desde el paramento superior hasta el centro del eje de coordenadas. El segundo tramo es la *rama descendente* que abarca desde el centro de coordenadas hacia aguas abajo. Ambas ramas pueden ser descritas por una ecuación monómica en la forma:

$$\frac{y}{H_o'} = k \left(\frac{x}{H_o'} \right)^n \tag{3}$$

En la rama ascendente $k = k_a$, $n = n_a$ y en la descendente $k = k_d$, $n = n_d$. Dichos parámetros en ambas ramas, guardan una estrecha relación funcional con la altura relativa P'/H_o' del vertedor según las expresiones siguientes:

Rama ascendente

$$k_a = \sqrt{18.9153 + \frac{5.6621}{\left(\frac{P'}{H_o'}\right)^{0.5}}} \tag{4}$$

$$n_a = \sqrt{10.4102 - \frac{2.1667}{\left(\frac{P'}{H_o'}\right)^{0.5}}} \tag{5}$$

Rama descendente

$$k_d = \frac{0.053 + 5.0349 \sqrt{\frac{P'}{H_o'}} - 4.7763 \frac{P'}{H_o'} + 1.607 \left(\frac{P'}{H_o'}\right)^{1.5}}{1 + 8.6137 \sqrt{\frac{P'}{H_o'}} - 9.8985 \frac{P'}{H_o'} + 3.5813 \left(\frac{P'}{H_o'}\right)^{1.5}} \tag{6}$$

$$n_d = \frac{1.7435 + 1.9965 \sqrt{\frac{P'}{H_o'}} - 4.2538 \frac{P'}{H_o'} + 1.6562 \left(\frac{P'}{H_o'}\right)^{1.5}}{1 + 1.2249 \sqrt{\frac{P'}{H_o'}} - 2.6311 \frac{P'}{H_o'} + 1.0414 \left(\frac{P'}{H_o'}\right)^{1.5}} \tag{7}$$

En los Apéndices II y III de la presente contribución se encuentran graficadas estas ecuaciones a partir de las experimentaciones de Alegret (1984)¹⁰, con elevadas correlaciones. En el Apéndice IV, se muestra la variación de los perfiles del vertedor de abanico para un amplio rango alturas relativas a la carga dinámica, de forma análoga a como fueron investigados los vertedores rectos en planta, por el Water Experimental Station (WES) en 1948, Alegret (1984)¹⁰. Es válido destacar que esta comparación es representativa para la rama descendente del WES, ya que la rama ascendente esta representada por dos radios relativos a la carga H_o' , que se ajustan a dicho perfil, lo que incorpora cierto grado de complejidad el traslado de las coordenadas a la forma que se expone en esta contribución.

También tiene su representación el perfil dado por las coordenadas de Creager (1945) en su totalidad, el cual como está bien definido en la literatura referente al tema, el mismo se ajusta a la lámina vertiente cuando la velocidad de aproximación es despreciable, o sea para vertedores muy altos. El perfil dado por Hager (1991)¹³, citado por Chanson (1998)¹¹; además se incorpora a la familia de curvas anteriormente representadas. El mismo se caracteriza por un radio de curvatura continuo en el intervalo $-0.498 < x/H_o' < 0.484$. Los autores advierten que resulta dudoso que en algún instante la coordenada relativa en la rama ascendente llegue a alcanzar el valor que se plantea de -0.498 , ya que tomando como comparación las coordenadas de Creager (1945), el valor límite en la rama ascendente es de -0.30 , constituyendo aproximadamente el 60% del valor planteado por Hager (1991)¹³.

Un simple análisis del gráfico que se muestra en dicho apéndice, arroja dos cuestionamientos de suma importancia:

1. ¿Qué sucede si se diseña la cresta del vertedor de abanico sin tener en cuenta la velocidad de aproximación, o sea por las coordenadas de Creager(1945) o Hager (1991)¹³?
2. De tomarse en cuenta la velocidad de aproximación, como se aplica según el método del W.E.S de 1948 citado por Alegret (1984), pero sin considerar la curvatura en planta, ¿qué sucedería con el perfil del vertedor en estudio?

Ambas interrogantes tienen una respuesta común. En ambos casos, desde el punto de vista económico, resultan volúmenes de hormigón elevados por ser mucho más grueso el perfil de la cresta. Esto conlleva una disminución considerable del coeficiente de descarga m_0 , debido a que la superficie de hormigón no conforma la trayectoria de la lámina para una carga determinada, manteniéndose en este caso *apoyada* sobre la superficie de la cresta.

La superficie de hormigón no se adapta a la trayectoria de la lámina vertiente que como se conoce produce un perfil más eficiente. Este hecho hace que la longitud del vertedor se incremente para poder garantizar la carga necesaria con un caudal establecido. De esta manera el incremento de los volúmenes de hormigón ocurre no sólo por el perfil más grueso de la cresta sino también por el aumento de la longitud del vertedor. Investigaciones ejecutadas por Alegret y Rivero(1969)⁴, Alegret y Santos (1974)⁵ así como por Alegret y Porto (1974)⁶, con modelos hidráulicos de vertedores de abanico diseñados utilizando las coordenadas de Creager (1945), o sea sin considerar el efecto de la velocidad de aproximación ni la curvatura en planta, dieron como resultado coeficientes de descarga muy bajos, variando en un rango de 0.436 a 0.479, mientras en los modelos hidráulicos de vertedores de abanico con la cresta perfilada siguiendo el método basado en las trayectorias obtenidas por el autor, los coeficientes de descarga alcanzaron valores desde 0.475 a 0.49 en igualdad de condiciones, es decir para el mismo valor de altura relativa P'/H'_0 del cimacio. En total se investigaron cuatro vertedores con la cresta diseñada por este método. En la tercera foto del apéndice I aparece uno de los vertedores de abanico investigados.

A continuación se analizan dos variantes donde se muestran los cimacios calculados por las coordenadas de Alegret y las de Creager para un gasto transformado $Q = 3117.7 \text{ m}^3/\text{s}$ y una carga total $H_0 = 3.0 \text{ m}$ y dos alturas diferentes del paramento aguas arriba P (1.5 y 4.0 m) y paramento aguas abajo P_1 (4.0 y 3.0 m) respectivamente. Es válido destacar que la altura P_1 es producto de un cálculo que será posteriormente expuesto en esta contribución. Como se observa en ambas variantes, el perfil del cimacio obtenido utilizando las coordenadas adimensionales de Creager, como habitualmente se diseñaba, es mayor que el perfil obtenido por las coordenadas de Alegret. En la Tabla 1 se muestran los resultados del cálculo de los cimacios diseñados con los respectivos volúmenes de hormigón calculados a partir del área de la sección transversal del cimacio y su longitud vertedora L_0 .

El apéndice IV muestra como los cimacios de los vertedores abanico expresados en coordenadas adimensionales poseen un perfil más esbelto que el obtenido utilizando las coordenadas adimensionales del WES

y por supuesto, las de Creager. Obsérvese cómo el paramento superior del cimacio diseñado según las coordenadas WES se separa más del eje "y" que en el caso del diseño según las coordenadas Alegret. En el paramento de aguas abajo ocurre de forma análoga, la superficie se aleja más del eje "y" si se diseña utilizando la metodología WES. Esto significa que al diseñar un cimacio de un vertedor de abanico utilizando coordenadas WES, también se incrementarán los volúmenes de concreto del vertedor, aunque no en el grado de un cimacio diseñado por las coordenadas de Creager.

Investigaciones ejecutadas por Alegret y Rivero(1969)⁴, Alegret y Santos (1974)⁵ así como por Alegret y Porto (1974)⁶, con modelos hidráulicos de vertedores de abanico diseñados utilizando las coordenadas de Creager (1945), o sea sin considerar el efecto de la velocidad de aproximación ni la curvatura en planta, dieron como resultado coeficientes de descarga muy bajos, variando en un rango de 0.436 a 0.479 en dependencia de la altura que tuviera el paramento superior correspondiendo el valor menor a alturas de paramento bajas, mientras en los modelos hidráulicos de vertedores de abanico con la cresta perfilada siguiendo el método basado en las trayectorias obtenidas por el autor, los coeficientes de descarga alcanzaron valores desde 0.475 a 0.49 en igualdad de condiciones, es decir para el mismo valor de altura relativa P'/H'_0 del cimacio. En total se investigaron cuatro vertedores con la cresta diseñada por este método. En la tercera foto del Apéndice I aparece uno de los vertedores de abanico investigados.

COEFICIENTE DE GASTO NOMINAL

El coeficiente de gasto nominal es aquel que corresponde a la carga perfilante o de diseño H_0 . La elaboración de los datos experimentales de la capacidad de servicio de este aliviadero dio como resultado la siguiente expresión, obtenida por Alegret (1984):

$$m_0 = 0.385 + 0.09085 \left(\frac{P}{H_0} \right)^{0.2434} \tag{8}$$

Donde: $\frac{P}{H_0}$ sustituye en lo adelante a $\frac{P'}{H'_0}$

Al considerar que la relación $\frac{P}{H_0} = 0$ en la ecuación

anterior se obtiene que el coeficiente de gasto es $m_0 = 0.385$. Como se conoce este coeficiente de gasto corresponde con el caso de un canal cuyo final termina en una caída recta en planta donde ocurre aproximadamente el tirante crítico.

En el caso de un aliviadero de abanico cuando no existe el paramento aguas arriba el final del canal ya no es

Tabla 1. Comparación de las variantes analizadas

Tipode perfil	(m)	P ₁ (m)	m _o	L _o (m)	Área sección transversal del cimacio (m ²)	Volumen total de hormigón (m ³)	Diferencia de volúmenes (m ³)
Alegret 1	4.0	4.0	0.482	281.1	15.68	4407.65	854.70
Creager 1			0.475	295.2	17.83	5262.35	
Alegret 2	1.5	3.0	0.462	293.3	10.48	3073.78	629.17
Creager 2			0.436	310.7	11.92	3702.95	

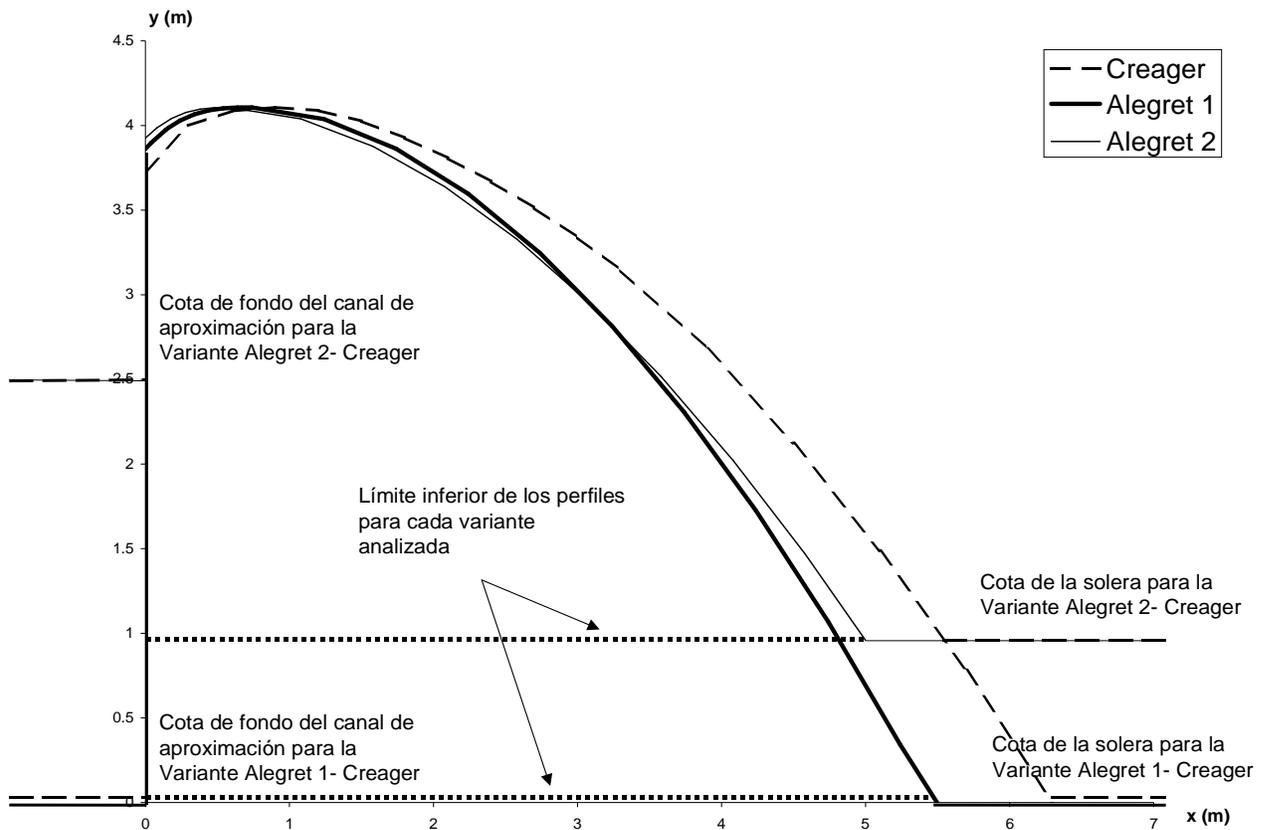


Figura 7. Comparación de perfiles

recto en planta, lo que debe dar como resultado otro coeficiente de gasto debido a la convergencia de las líneas de corriente, introduciendo pérdidas complementarias. Las investigaciones realizadas recientemente por Alegret y Rolón (2007)19 arrojaron que el coeficiente de gasto permanece constante y alcanza el valor de 0,31.

Por lo tanto, se debe introducir en la ecuación de coeficiente de gasto este valor, lo que significa ejecutar una nueva corrida de los valores de coeficiente de gasto que definieron la expresión anterior. De esa manera, la ecuación (8) se modifica a la expresión:

$$m_0 = 0.310 + 0.1664 \left(\frac{P}{H_0} \right)^{0.1248} \quad (9)$$

Esta permite determinar el coeficiente de gasto nominal del aliviadero para cimacios de cualquier altura.

ALTURA DEL CIMACIO AGUAS ABAJO

Un aspecto de gran importancia que debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar el aliviadero de abanico es el ahogo o sumersión del cimacio que puede disminuir considerablemente la capacidad de servicio. Para evitar esto, es necesario establecer correctamente la altura del cimacio aguas abajo P1 debido al carácter espacial que tiene el movimiento del flujo en la solera aguas abajo del cimacio, limitada por la sección de control que esta fijada de antemano. La elaboración de los resultados experimentales dio como resultado la expresión:

$$\begin{aligned} \frac{P_1}{H_0} = & 2,3565 + \sum_{n=1}^3 k_n \left(\frac{P}{H_0} \right)^n + \sum_{n=1}^3 q_n \left(\frac{Q}{\sqrt{2g}H_0^{2,5}} \right)^n \\ & + \sum_{n=1}^2 t_n \frac{P}{H_0} \left(\frac{Q}{\sqrt{2g}H_0^{2,5}} \right)^n - 9,1756 \cdot 10^{-4} \\ & \left(\frac{P}{H_0} \right)^{8,8589} \left(\frac{Q}{\sqrt{2g}H_0^{2,5}} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

siendo k1= 0,1498; k2=-2,7865.10⁻³; k3= 6,2453.10⁻³; q1=-5,0393.10⁻²; q2=7,0065.10⁻⁴; q3=-7,7301.10⁻⁶; t1=3,9566.10⁻³ y t2=1,4588.10⁻⁴.

La ecuación (10) es válida para valores de P/H0 ∈

[0,5; 2.0] y $\frac{Q}{\sqrt{2g}H_0^{2,5}} \in [13,546; 55,086]$ con un coeficiente de determinación R² = 0,9995 y un error estándar de ajuste = 0,00762.

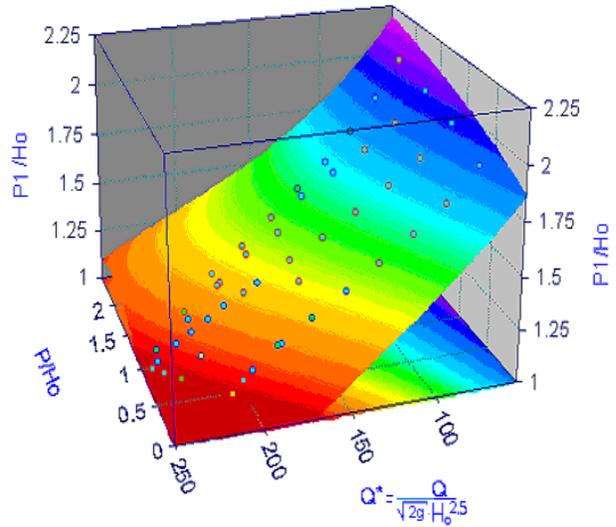


Figura 7. Representación tridimensional de la variación de la altura relativa de la cresta aguas abajo del cimacio vertedor, a partir de la ecuación (10)

TIRANTES DE CIRCULACIÓN EN LA TRANSICIÓN

La elaboración de los resultados de la medición de los tirantes a lo largo de la transición del modelo reducido a escala para pendientes del fondo entre un 6% y un 12% y caudales limitados en el prototipo hasta 3000.0 m³/s para evitar los efectos de escala, realizada por Alegret y Gueerra (2004)20 permitió obtener la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{h_i}{h_{cr}} = & 1,9105 + \sum_{n=1}^3 a_n \left(\frac{x_i}{L_2} \right)^n + \sum_{n=1}^3 b_n S^n + \sum_{n=1}^2 c_n \frac{x_i}{L_2} S^n \\ & - 0,3182 \left(\frac{x_i}{L_2} \right)^{2,5} \end{aligned} \quad (11)$$

donde hi = tirante del flujo en el muro en la sección i-ésima ubicada a la distancia xi de la sección de control; hcr = tirante crítico en la sección de control; L2 = longitud total de la transición; S0= pendiente del fondo; a1 = 0,5803; a2 = 2,7820; a3 = 0,4614; b1=11,999; b2 = 275,5085; b3 = 1123, 6747; c1 = 26,3135 y c2 = 109, 0859. La ecuación (11) es válida para valores de xi/ L2 [0;1] y S0 ∈ [0,06;0,117] con un coeficiente de determinación R² = 0,9961 y un error estándar de ajuste = 0,017.

FLUJO EN LA TRANSICIÓN PARA CAUDALES DIFERENTES AL DE DISEÑO

Con ayuda de la ecuación (11) como ya se mencionó es posible determinar los tirantes a lo largo de los muros, para el gasto de diseño. Cuando son introducidos cauda-

les de comprobación, mayores que el de diseño y por tanto con una probabilidad de ocurrencia menor, tendrá lugar un desbordamiento en la transición y además un ahogo de la cresta del vertedor, ya establecida en los cálculos anteriores para el caudal de diseño.

Esta dificultad se puede erradicar, reduciendo los niveles del fondo de la solera y de la transición en una magnitud tal, que los tirantes de circulación se mantengan con el bordo libre requerido, evitándose de esta manera los fenómenos no deseados descritos con anterioridad.

A través de una correlación multivariada, se pudo determinar la magnitud de la disminución de los niveles en la solera en función de la pendiente de la transición S_0 y de la relación adimensional entre los caudales de comprobación y de diseño en la forma:

$$\frac{\Delta z}{h_{cr}} = (3.3344 - 8.5706S) \left[1 - \left(\frac{Q}{Q_d} \right)^{-0.5} \right] \quad (12)$$

donde z = diferencia de niveles máximos que ocurren aproximadamente a una distancia a partir de la sección

de control de $(0.2-0.3) L_2'$ (m), h_{cr} = tirante crítico en la sección de control (m), S = pendiente de fondo de la transición, Q = caudal de comprobación (m^3/s) y Q_d = caudal de diseño (m^3/s).

En la figura 9 se muestra un perfil de la transición del aliviadero en estudio, donde está representada la cota de la pared del muro, la curva superficial y la cota de fondo de la conducción. Por la misma circula un caudal de $3000 m^3/s$, con una pendiente de fondo $S = 0.07$.

En la transición se hace circular un caudal de comprobación $Q = 3500 m^3/s$, y en la figura 10 se puede apreciar cuánto es necesario bajar el fondo de la transición, y cuál sería el perfil de flujo bajo esas condiciones, con un $\Delta z = 1.04 m$ que garantizaría el buen funcionamiento hidráulico de la cresta del cimacio y de la transición.

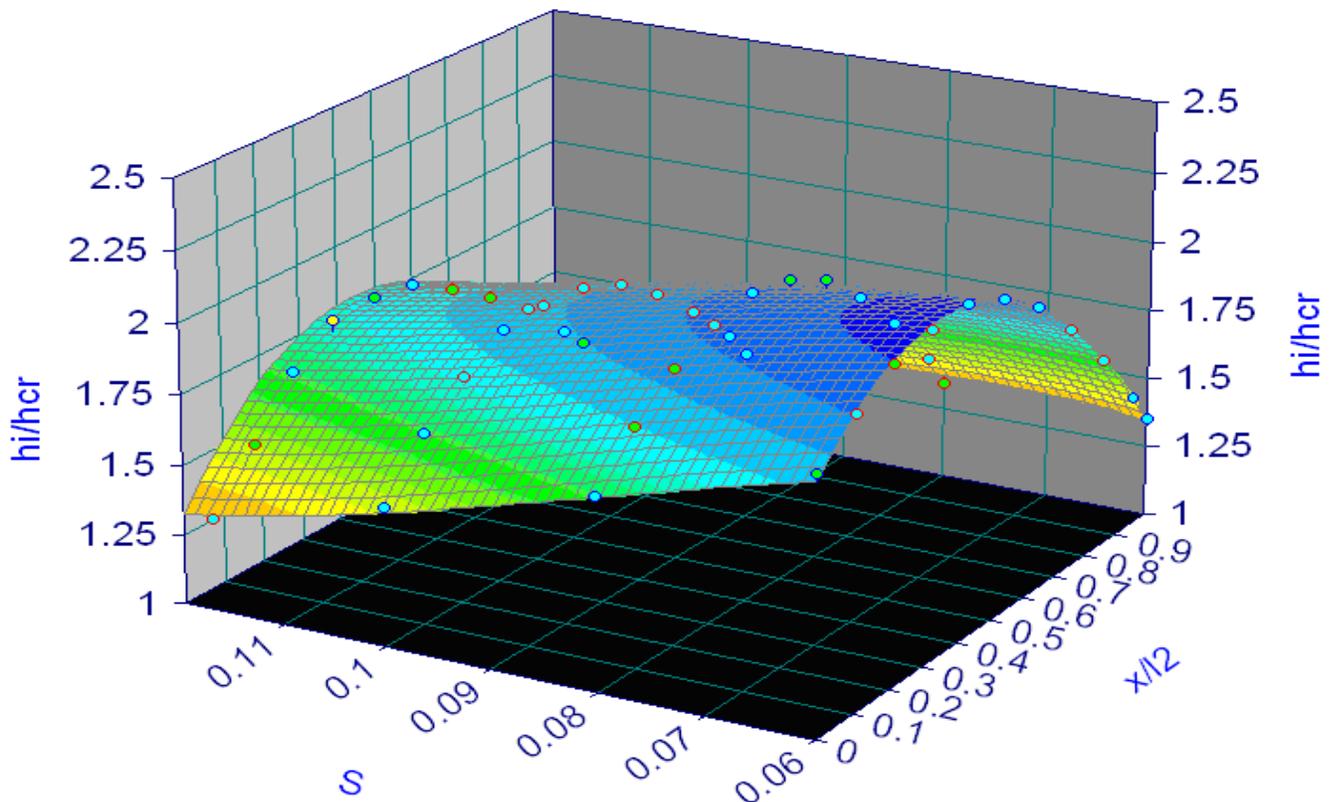


Figura 8. Representación tridimensional de los tirantes a lo largo de las paredes de la transición, a partir de la ecuación (11)

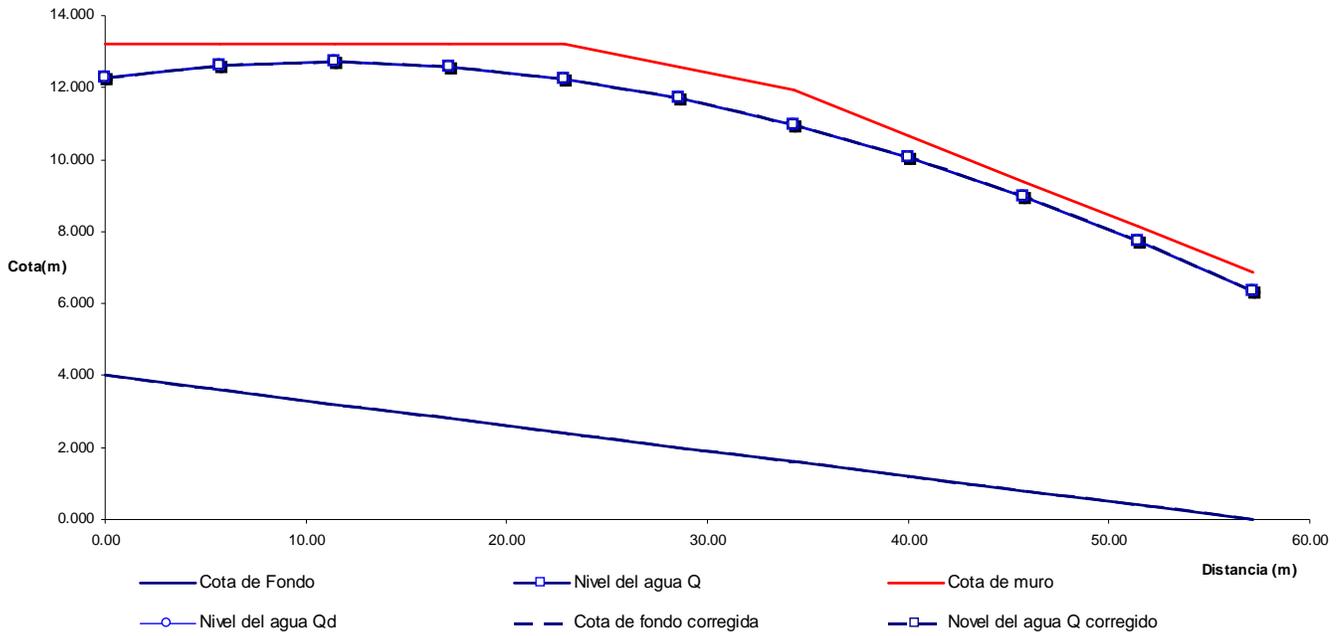


Figura 9. Distribución de los tirantes por la pared de la transición para un caudal de diseño $Q_d = 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ y $S = 0.07$

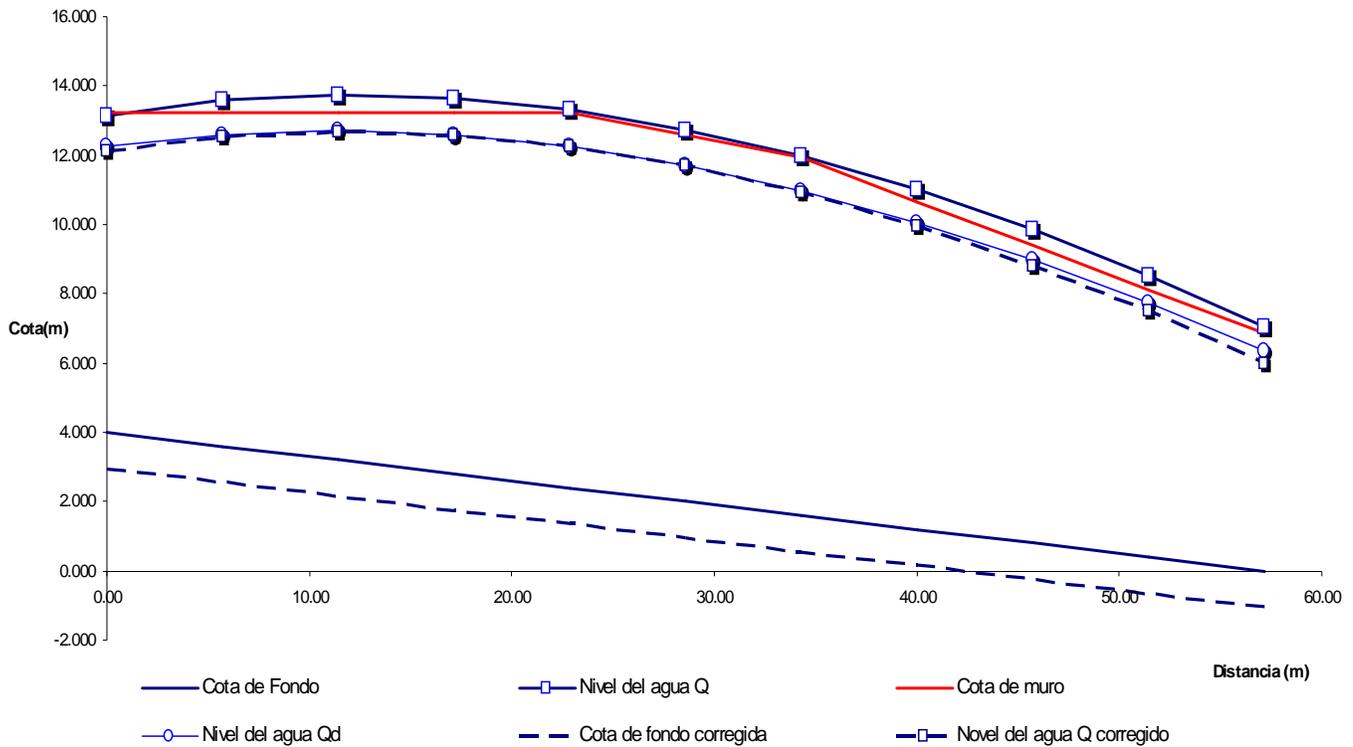


Figura 10. Distribución de los tirantes por la pared de la transición para un caudal de comprobación $Q_d = 3500 \text{ m}^3/\text{s}$ y $S = 0.07$

CONCLUSIONES

En la presente contribución se han presentado las ecuaciones que rigen las coordenadas adimensionales del perfil ascendente y descendente de un vertedor de abanico con elevadas correlaciones entre las variables analizadas. Dichas ecuaciones son válidas dentro del rango en que fueron realizadas las observaciones.

Al comparar los resultados obtenidos con los perfiles de Creager, WES y Hager se demuestra que el perfil resulta más económico en iguales condiciones e investigaciones precedentes que toma en cuenta el efecto de la curvatura en planta y de la velocidad de aproximación, confirman que arroja coeficientes de descarga elevados constituyendo así un perfil más eficiente que los mencionados.

A partir de estos resultados, fueron obtenidas las ecuaciones que permiten efectuar un diseño integral en formato digital del aliviadero de abanico, tanto en planta como en elevación, jugando un papel importante la expresión que permite obtener la altura de cresta aguas abajo necesaria para que no ocurra el ahogo de esta y la que define el comportamiento de los tirantes por las paredes que ocurren en la transición para diferentes caudales y pendientes del fondo.

REFERENCIAS

- Alegret, B. E. Santos, S. M. y Rivero, A. O. (1979).** "Consideraciones sobre el diseño hidráulico de los aliviaderos tipo mexicanos". *Ciencias técnicas Ingeniería Hidráulica*, ISPJAE Habana, Cuba pp. 116-126
- Alegret, B. E. y Porto, V. A. (1975).** "Resultados de las investigaciones sobre aliviaderos mexicanos". *Voluntad Hidráulica No 33*. Habana 1975
- Alegret, B. E. Santos, S. M. y Egorshin, S. (1968).** "Informe del aliviadero de la presa Paso Malo". *Archivo DIH Instituto de Hidroeconomía*. Habana 1968
- Alegret, B. E. y Rivero, A. O (1969).** "Informe del aliviadero de la presa Nipe". *Archivo DIH Instituto de Hidroeconomía*, Habana 1969.
- Alegret, B. E. y Santos, S. M. (1974).** "Informe del aliviadero de la presa Canasta". *Archivo DIH Instituto de Hidroeconomía*, Habana 1974
- Alegret, B. E. y Porto, V. A. (1974).** "Informe del aliviadero de la presa El Punto". *Archivo DIH Instituto de Hidroeconomía*, Habana 1974
- Alegret, B. E. (1972).** "Informe del aliviadero de la presa Jimaguayú". *Archivo DIH Instituto de Hidroeconomía*, Habana 1972
- Alegret, B. E. y Santos, S. M. (1974).** "Informe del aliviadero de la presa Pipián". *Archivo DIH Instituto de Hidroeconomía*, Habana 1974
- Alegret, B. E. (1976).** "Informe del aliviadero de la presa Jaibo". *Archivo DIH Instituto de Hidroeconomía*, Habana 1976
- Alegret, B.E. (1984).** "Generalización de las experiencias en las investigaciones de los aliviaderos tipo abanico". Tesis de doctorado (texto en ruso). Moscú: Instituto de Hidromejoramiento.
- Velasco, D. E y Santos, M. R (1982).** "El diseño Hidráulico, Teórico y Experimental de Aliviaderos con cimacio de planta desarrollada curvilínea en la Republica de Cuba. Su optimización técnico-económica" *Concurso científico-técnico de la construcción*.
- Chanson, H. (1998).** *Hidráulica del flujo en canales abiertos*. University of Queensland, Australia
- Creager, W. P., Justin, J.D., and Hinds, J. (1945).** *Engineering for Dams*. 3 volumes
- Hager, W.H. (1991).** "Experiments on standard spillway flow". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*.
- Lazzari, E. (1954).** "Ricerca sperimentale sullo sfioratore a pianta circolare" *L'Energia Ellettrica, nov 1954*.
- Scimemi, E. (1930).** " Sulla forma della vene tracument". *L'Energia Ellettrica Vol 7 No4 1930*
- Rouse, H. and Reid, L. (1935).** "Model research on spillway crests" *Civil Engineering*, vol. 5 No 1 1935
- Ulloa, O. S. (1956).** "Aliviaderos de abanico" *Construcciones Hidrotécnicas en México oct- nov 1956 México*
- Warnock, J. E. (1939).** "Study for the design of crests for overfall dams" *Univ. of Colorado, Lab work by USBR Denver. USA 1934*.
- Alegret, B. E y Rolón, B. M. (2007).** "Influencia de la velocidad de aproximación sobre la cresta de un aliviadero de abanico". *Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Civil. C.I.H. I.S.P.J.A.E. Cuba*.
- Alegret, B. E y Guerra A. Vanessa. (2004).** "Tirantes en las transiciones de aliviaderos de abanico" *Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería Civil. C.I.H. I.S.P.J.A.E. Cuba*.
- Alegret, B. E, García T. S y Ortiz, C. A (2005).** "Influencia de la variación de la altura del paramento aguas arriba de la sección de control en los parámetros hidráulicos de los aliviaderos de abanico". *Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Civil. C.I.H. I.S.P.J.A.E. Cuba*.

APÉNDICE I. Detalle de la instalación experimental



Figura I.A1.a)
Vista superior
de la lámina
vertiente
por sobre el vertedor
de pared delgada

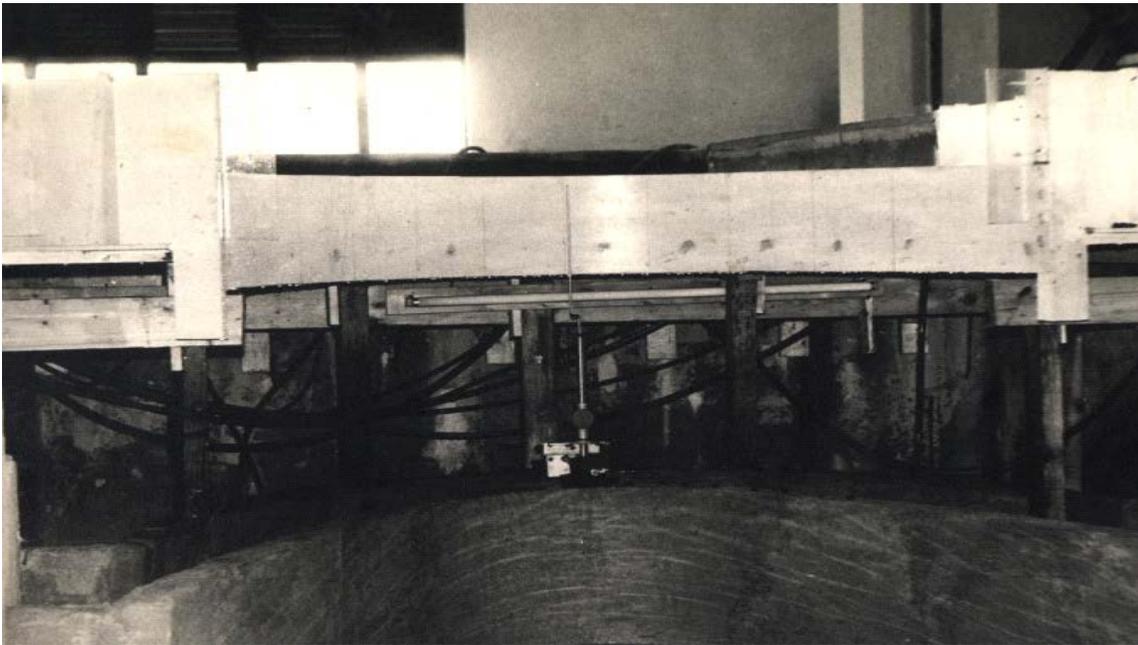


Figura 1.A1.b) Vista frontal del vertedor de pared delgada mostrando las miras hidráulicas, utilizadas para medir la

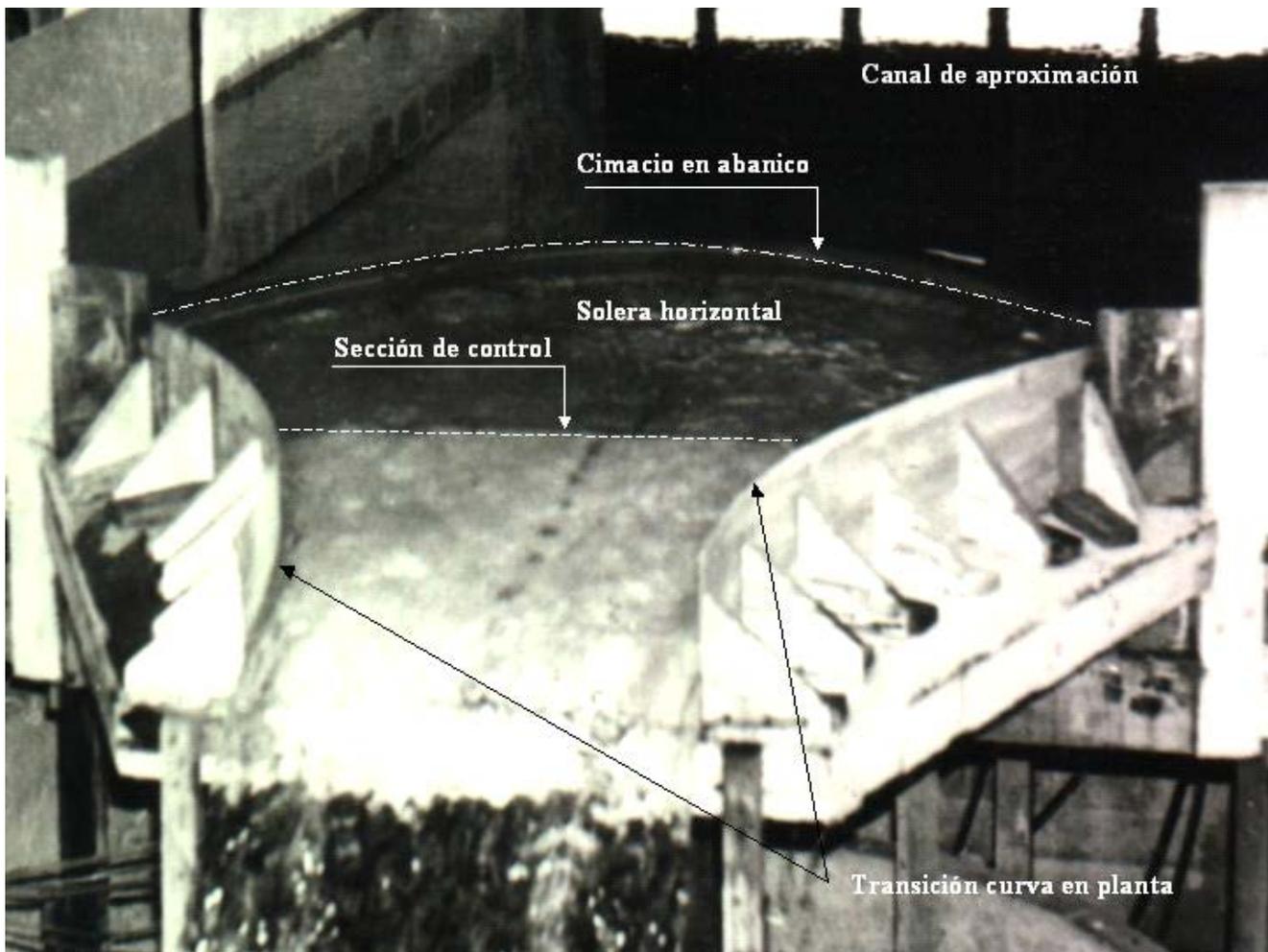


Figura 1.A1.c) Vista frontal de uno de los aliviaderos con el cimacio construido según coordenadas obtenidas.

APÉNDICE II. Variación de los parámetros de la rama ascendente de la cresta del vertedor de abanico, en función de la altura relativa P'/H'_0

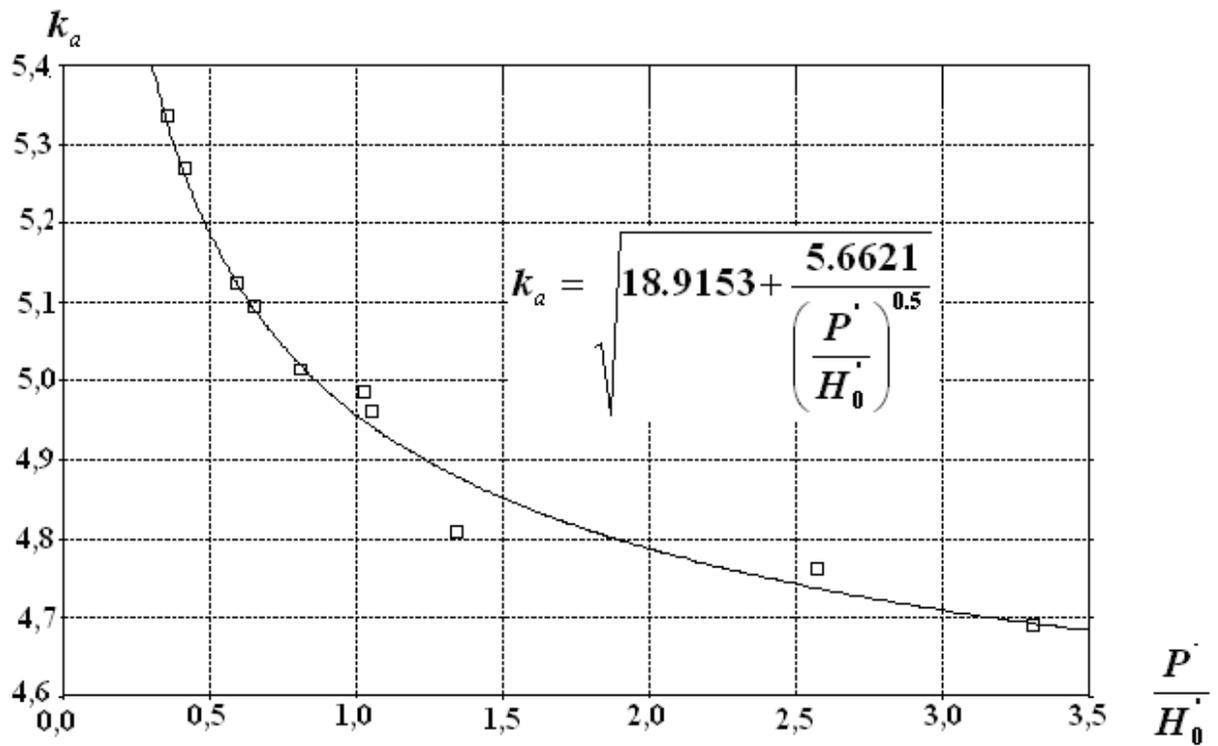


Figura 1.A2.a). k_α vs P'/H'_0 , con un coeficiente de determinación $R^2=0.9822$

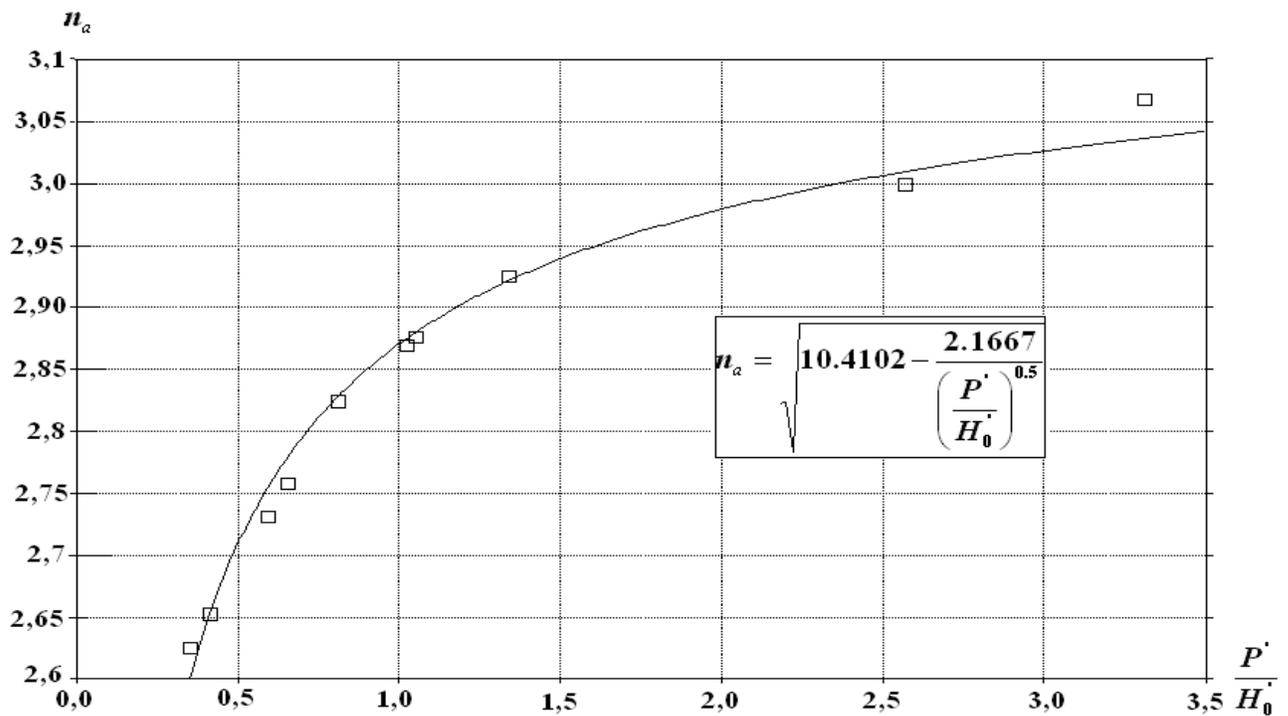


Figura 1.A2.b). n_α vs P'/H'_0 , con un coeficiente de determinación $R^2=0.98413$

APÉNDICE III. Variación de los parámetros de la rama descendente de la cresta del vertedor de abanico, en función de la altura relativa P'/H'_0

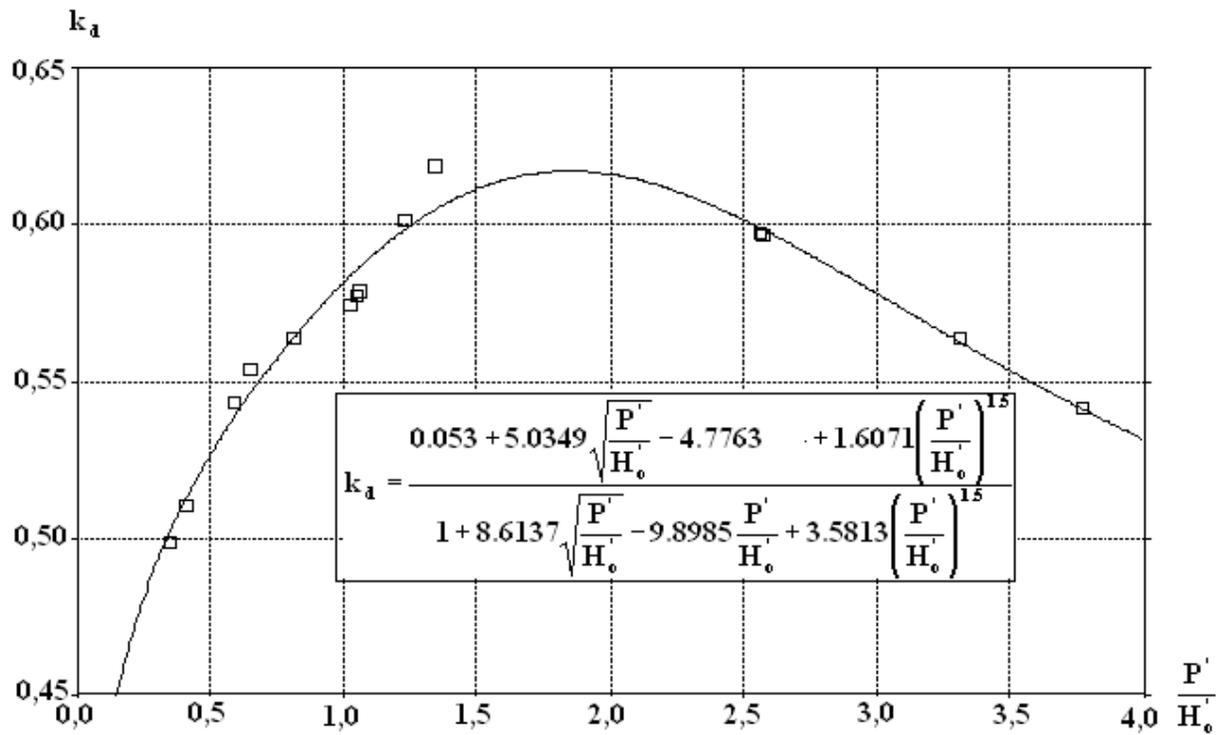


Figura 1.A3.a). k_d vs P'/H'_0 , con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9823$

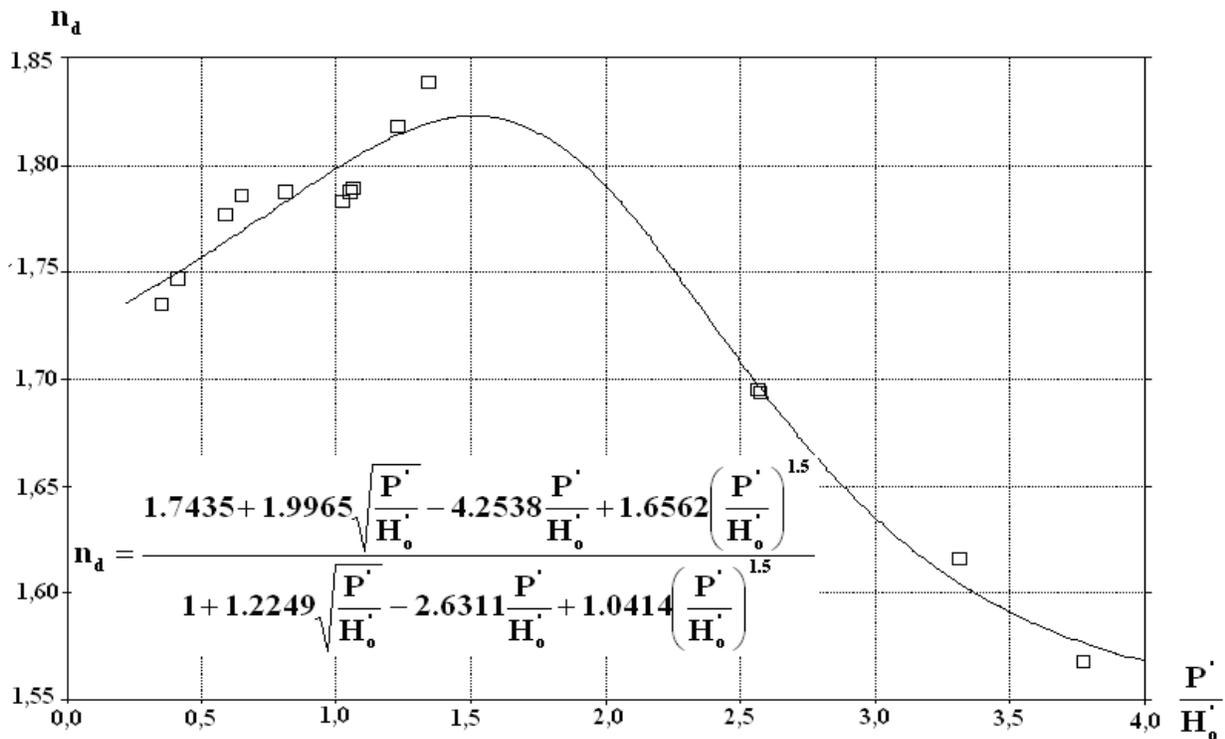
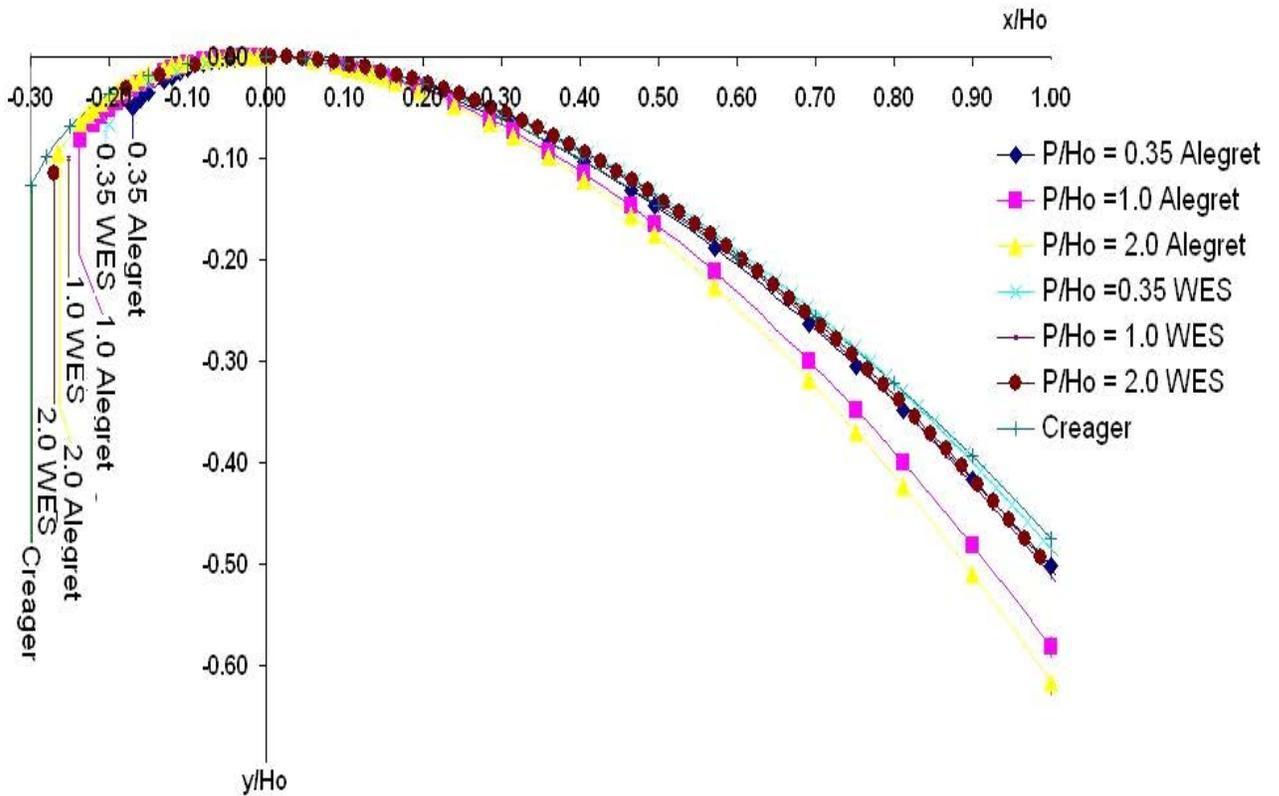


Figura 1.A3. b). n_d vs P'/H'_0 , con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9876$.

APÉNDICE IV. Coordenadas adimensionales de la cresta del vertedor de abanico obtenidas por Alegret y su comparación con las coordenadas adimensionales de la cresta de los vertedores rectos en planta tipo Creager y WES.



Recibido: enero del 2008
Aprobado: febrero del 2008