

201  
72



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PERFILES DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
EN CIMACIOS TIPO CREAGER

DELVA GUICHARD ROMERO

TESIS PROFESIONAL

FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1989



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	4
III. EXPERIMENTACION EN MODELO	15
3.1) Conceptos de análisis dimensional	15
3.2) Definición del problema	17
3.3) Descripción de los modelos físicos	20
3.4) Procedimiento experimental	23
3.5) Resultados experimentales	24
IV. PRESENTACION DE RESULTADOS	43
4.1) Tirante correspondiente a la cresta vertedora	44
4.2) Perfil de la superficie libre del agua al centro del cimacio sin pilas	47
4.3) Perfil de la superficie libre del agua en cimacios con pilas	53
V. CONCLUSIONES	77
APENDICE A	80
APENDICE B	83
APENDICE C	90
REFERENCIAS	97

## D INTRODUCCION.

La importancia que tiene la obra de excedencias en cualquier tipo de aprovechamiento hidráulico no puede ponerse en duda; podría decirse que la seguridad de la presa depende en buena medida de la obra de excedencias. El objetivo de esta obra en las presas de almacenamiento es desalojar los volúmenes de agua que no pueden retenerse en el vaso y en las presas derivadoras su función es dejar escapar los volúmenes de agua que no se enviarán al sistema de derivación.

Las partes que componen una obra de excedencias son: el canal de llamada, la estructura de control, el canal de descarga, la estructura disipadora y en algunos casos el canal de desfogue.

La estructura de control es una componente muy importante ya que regula los volúmenes del vaso. Esta estructura es, a menudo, un vertedor en cimacio.

El presente trabajo tiene como objetivo obtener, a través de mediciones experimentales en el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, resultados que permitan calcular el perfil de

Facultad de Ingeniería, resultados que permitan calcular el perfil de la superficie libre del agua en vertedores de cimacio tipo Creager. Dichos resultados se pretenden obtener para distintas condiciones, esto es, sin pilas al centro del cimacio, al centro del claro entre pilas y a lo largo de las pilas.

Conocer el perfil de la superficie libre del agua es de importancia en el diseño de las paredes laterales, así como de la altura de las pilas y la posición del centro de giro de las compuertas radiales en vertedores controlados.

Otra aplicación puede ser para el análisis de flujo con potencial ya que permite conocer la frontera superior, que generalmente se desconoce al inicio del cálculo.

Para cumplir con dicho objetivo el trabajo se ha dividido en cinco capítulos, incluyendo esta introducción. En el segundo capítulo referente a los antecedentes del tema tratado, se describen los tipos de vertedores en cimacio más utilizados. Se hace también una clasificación de los tipos de flujo a superficie libre para ubicar al flujo que se tiene en un cimacio dentro del rápidamente variado y, finalmente, se presentan los resultados propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

El tercer capítulo contiene la descripción de los modelos físicos utilizados, así como la presentación de los resultados experimentales obtenidos en los mismos.

El capítulo cuarto se refiere al procesamiento de los resultados experimentales. Se presentan las ecuaciones de ajustes de datos obtenidos para los casos al centro del cimacio sin pilas y al centro del claro entre pilas, así como una serie de gráficas que permiten

comparar los resultados obtenidos en este trabajo con los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

Y, por último, en el quinto capítulo se dan los comentarios finales derivados de los resultados obtenidos en el presente trabajo.

## II) ANTECEDENTES.

Varias han sido las personas e instituciones que han puesto su atención en la forma que deben tener los vertedores en cimacio para que su funcionamiento sea adecuado.

Estos estudios han demostrado que la mejor sección para un cimacio es la que se ajusta al perfil de la lámina inferior provocada por la descarga de un vertedor de pared delgada. Esta descarga debe encontrarse totalmente aireada en la zona inferior, como lo muestra la figura 2.1.

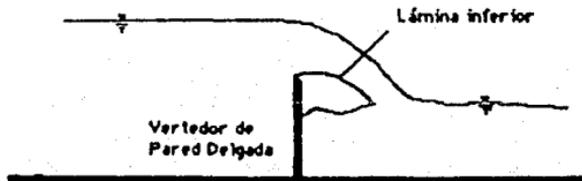


Fig. 2.1 Perfil provocado por un vertedor de pared delgada

Con esta idea, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos propone los perfiles que se muestran en la figura. 2.2

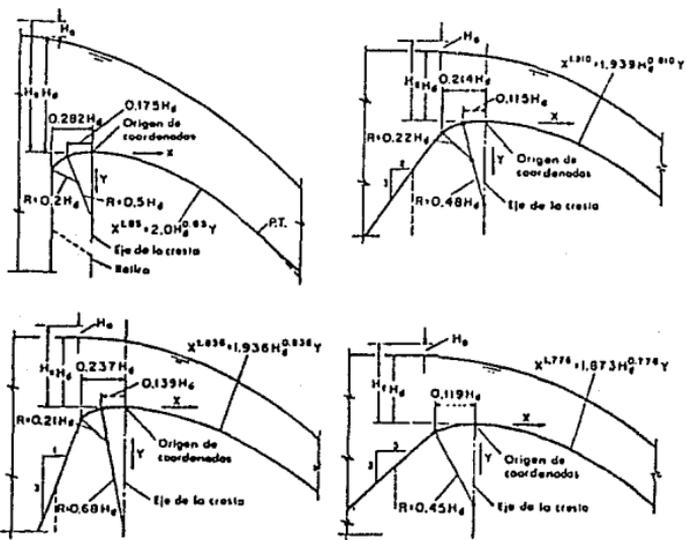


Fig 2.2 Formas WES - estándar de vertedores (Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E. U.).

Otro perfil utilizado para el diseño de los vertedores en cimacio es el propuesto por el USBR ó perfil tipo Creager. Este perfil es usado frecuentemente ya que, además de provocar descargas eficientes su aplicación es muy sencilla. Otra ventaja, es que los resultados propuestos por el USBR son más generales por lo que se pueden usar para distintas condiciones.

El diseño de este perfil depende básicamente de la carga, de la inclinación del paramento de aguas arriba y de la carga de velocidad a la llegada.

Para diseñarlo se parte de un sistema coordenado cuyo origen coincide con la cresta vertedora, como se muestra en la figura 2.3.

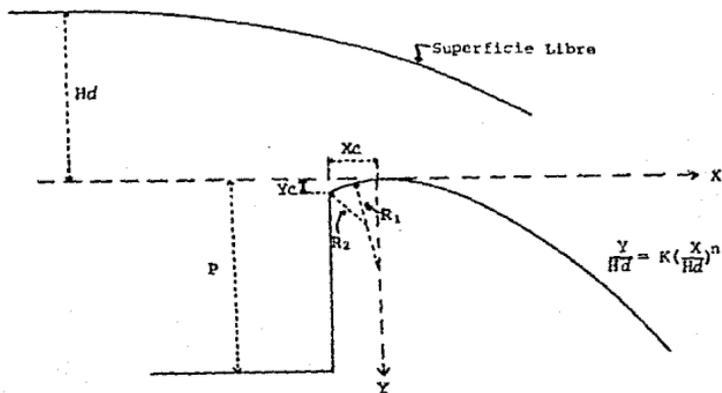


Fig 2.3 Diseño de un cimacio tipo Creager

La porción aguas abajo de la cresta está definida por la ecuación:

$$\frac{Y}{Hd} = K \left( \frac{X}{Hd} \right)^n$$

donde K y n son constantes que dependen de la inclinación del paramento de aguas arriba y de la velocidad de llegada y pueden obtenerse de la figura 2.4.

El remate de la cresta aguas arriba queda definido al localizar el punto de coordenadas  $(X_c, Y_c)$  y los radios  $R_1$  y  $R_2$ . Estas constantes también dependen de la inclinación del paramento de aguas arriba y de la velocidad de llegada y se presentan en la figura 2.5.

Como puede observarse, los perfiles propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos y el del USBR ó Creager no difieren en forma significativa, e incluso, podría decirse que los primeros son casos particulares del perfil tipo Creager.

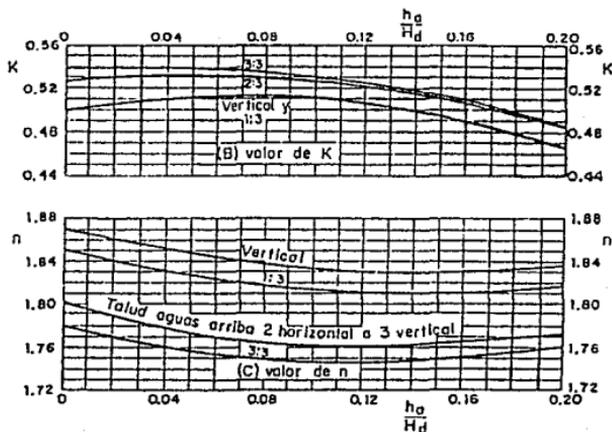


Fig. 2.4 Valores de  $K$  y  $n$  para cimacios tipo Creager (fig I.33 ref. 2)

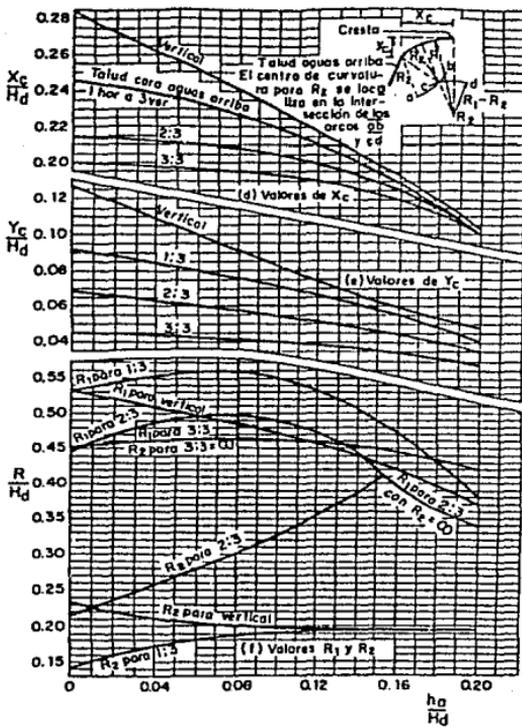


Fig. 2.5 Valores de  $X_c, Y_c, R_1$  y  $R_2$  para cimacios tipo Creager

(fig. I.34 ref. 2)

Los criterios más importantes para clasificar el flujo a superficie libre son el tiempo y el espacio.

Así, si se toma como criterio el tiempo, se tiene que el escurrimiento puede ser permanente y no permanente. Será permanente cuando las características hidráulicas en una sección permanezcan constantes durante el intervalo de tiempo considerado. Por el contrario será no permanente si las características hidráulicas varían en el tiempo.

Cuando se toma el espacio como criterio, el flujo puede ser uniforme o variado. Si las características hidráulicas no varían de una sección a otra el escurrimiento es uniforme. De lo contrario se habla de escurrimiento variado.

El flujo variado se puede clasificar a su vez en :

**Espacialmente variado.**- Si se tienen cambios en el gasto a lo largo del escurrimiento.

**Gradualmente variado.**- Si las características del flujo varían en forma gradual a lo largo del canal.

**Rápidamente variado.**- Si las características del flujo varían bruscamente en una distancia corta.

Debido a que se tienen cambios importantes de energía en el flujo **espacialmente variado**, se utiliza la ecuación de Impulso y cantidad de Movimiento para su solución.

El estudio del flujo **gradualmente variado** se fundamenta en la ecuación de la Conservación de la Energía.

El flujo **rápidamente variado** no puede resolverse de igual forma que el **gradualmente variado** debido a que no cumple con las hipótesis básicas que se aplican a la solución del último.

Aunque el flujo *rápidamente variado* ha sido estudiado, en algunos casos no se encuentra todavía una solución general satisfactoria al problema. Así a cada fenómeno específico se trata de dar una solución particular.

El flujo que se produce en un cimacio *Crager* es precisamente de tipo *rápidamente variado* y aunque en modelos matemáticos que aplican la Conservación de la Cantidad de Movimiento se han obtenido resultados bastante buenos, en este trabajo se busca una representación y solución práctica al problema a través de la experimentación en modelos hidráulicos.

Así, en la *figura 1.38* de la ref. 2 se presentan los resultados obtenidos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. En esta figura se muestran las coordenadas del perfil superior de flujo, considerando como origen la cresta vertedora. Dichos resultados fueron obtenidos para paramento vertical y carga de velocidad a la llegada despreciable, y se reproducen en las *tablas 3.1, 3.2 y 3.3*. En la *figura 2.6* se muestra la representación gráfica de estos perfiles. Para efectos de comparación, en las gráficas en que se presenten los resultados obtenidos en este trabajo se mostrarán también los propuestos por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de E.U, se denotará a estos resultados como CFE, por ser ésta la referencia de donde se obtuvieron.

Como puede observarse, los resultados mostrados son muy limitados ya que sólo se refieren a tres condiciones de carga y para el caso de cimacios con pila sólo se presentan resultados para las del tipo 2.

Como ya se mencionó, lo que se pretende en este trabajo es hacer un estudio más exhaustivo que nos permita conocer el perfil de la

superficie libre del agua para cualquier condición de carga y distintos tipos de pila.

H/Hd=0.50		H/Hd=1.0		H/Hd=1.33	
X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd
-1.0	-0.49	-1.0	-0.933	-1.0	-1.210
-0.8	-0.48	-0.8	-0.915	-0.8	-1.185
-0.6	-0.47	-0.6	-0.893	-0.6	-1.151
-0.4	-0.46	-0.4	-0.865	-0.4	-1.110
-0.2	-0.42	-0.2	-0.821	-0.2	-1.060
0.0	-0.37	0.0	-0.755	0.0	-1.000
0.2	-0.30	0.2	-0.681	0.2	-0.919
0.4	-0.20	0.4	-0.586	0.4	-0.821
0.6	-0.07	0.6	-0.465	0.6	-0.706
0.8	0.07	0.8	-0.320	0.8	-0.569
1.0	0.25	1.0	-0.145	1.0	-0.411
1.2	0.47	1.2	0.055	1.2	-0.220
1.4	0.70	1.4	0.294	1.4	-0.002
1.6	0.97	1.6	0.563	1.6	0.243
1.8	1.28	1.8	0.857	1.8	0.531

Tabla 3.1 Perfil del agua sin pilas

H/Hd=0.50		H/Hd=1.0		H/Hd=1.33	
X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd
-1.0	-0.482	-1.0	-0.941	-1.0	-1.230
-0.8	-0.480	-0.8	-0.932	-0.8	-1.215
-0.6	-0.472	-0.6	-0.913	-0.6	-1.194
-0.4	-0.457	-0.4	-0.890	-0.4	-1.165
-0.2	-0.431	-0.2	-0.855	-0.2	-1.122
0.0	-0.384	0.0	-0.805	0.0	-1.071
0.2	-0.313	0.2	-0.735	0.2	-1.015
0.4	-0.220	0.4	-0.647	0.4	-0.944
0.6	-0.088	0.6	-0.530	0.6	-0.847
0.8	0.075	0.8	-0.389	0.8	-0.725
1.0	0.257	1.0	-0.202	1.0	-0.584
1.2	0.462	1.2	0.015	1.2	-0.358
1.4	0.705	1.4	0.268	1.4	-0.102
1.6	0.977	1.6	0.521	1.6	0.172
1.8	1.278	1.8	0.860	1.8	0.465

Tabla 3.2 Perfil del agua al centro del claro  
(Pilas tipo 2)

H/Hd=0.50		H/Hd=1.0		H/Hd=1.33	
X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd	X/Hd	Y/Hd
-1.0	-0.495	-1.0	-0.950	-1.0	-1.235
-0.8	-0.492	-0.8	-0.940	-0.8	-1.221
-0.6	-0.490	-0.6	-0.929	-0.6	-1.209
-0.4	-0.482	-0.4	-0.930	-0.4	-1.218
-0.2	-0.440	-0.2	-0.925	-0.2	-1.244
0.0	-0.383	0.0	-0.779	0.0	-1.103
0.2	-0.255	0.2	-0.651	0.2	-0.950
0.4	-0.185	0.4	-0.545	0.4	-0.821
0.6	-0.076	0.6	-0.425	0.6	-0.689
0.8	0.060	0.8	-0.285	0.8	-0.549
1.0	0.240	1.0	-0.121	1.0	-0.389
1.2	0.455	1.2	0.067	1.2	-0.215
1.4	0.675	1.4	0.286	1.4	-0.011
1.6	0.925	1.6	0.521	1.6	0.208
1.8	1.177	1.8	0.779	1.8	0.438

Tabla 3.3 Perfil del agua a lo largo de la pila (Pilas tipo 2)

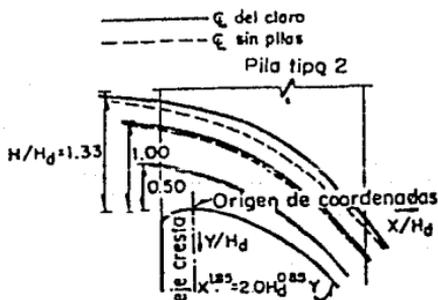
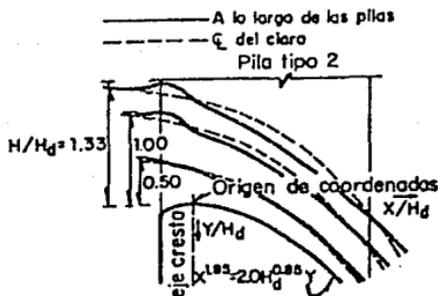
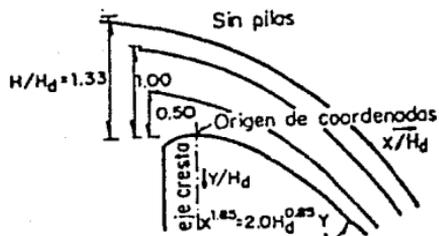


Fig 2.0. Representación gráfica de los perfiles propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E.U.

### III) EXPERIMENTACION EN MODELO.

#### 3.1) CONCEPTOS DE ANALISIS DIMENSIONAL.

El análisis dimensional es una técnica que permite relacionar las variables que intervienen en cualquier fenómeno.

El análisis dimensional es una herramienta matemática útil para :

- a) Verificación de ecuaciones.
- b) Determinar las dimensiones de los coeficientes empíricos.
- c) Transformación de unidades de un sistema a otro.
- d) Reducir el número de variables que intervienen en un fenómeno, formando parámetros adimensionales, lo cual lo hace universal.

##### 3.1.1) TEOREMA DE BUCKINGHAM - VASHY.

Matriz de exponentes.- Si se colocan en un renglón las variables que

intervienen en un problema y en una columna sus dimensiones, se podrá formar la matriz de exponentes escribiendo en el cruce respectivo el exponente de la unidad correspondiente, dependiendo del sistema de unidades en que se esté trabajando.

El teorema fundamental en el que se basa el análisis dimensional es el de Buckingham-Vashy o teorema  $\Pi$  : "Toda relación dimensionalmente homogénea en donde intervengan "m" variables y cuyo rango de la matriz sea "r", podrá expresarse como una combinación de m-r productos adimensionales".

Se define a "r" como el orden de la mayor matriz cuadrada posible en la matriz de exponentes con determinante distinto de cero.

Generalmente el valor de "r" es el número de dimensiones fundamentales que intervienen en el problema estudiado y que son masa (M), longitud (L) y tiempo (T) si se trabaja en el sistema absoluto ó fuerza (F), longitud (L) y tiempo (T) si se trata del sistema gravitacional. Lo anterior no siempre se cumple, por lo que en forma estricta será conveniente revisar el rango "r" como indica su definición.

Como puede observarse el valor máximo que podrá tomar "r" será igual a tres en cualquier sistema de unidades en que se esté trabajando.

El teorema enunciado anteriormente puede expresarse, también mediante la siguiente relación funcional:

$$f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_m) \dots \quad (1)$$

Si "r" es el rango de la matriz de exponentes de la función f(X), entonces, existirá otra función análoga de la forma:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{m-r}) \dots \quad (2)$$

Donde las  $\Pi$  serán productos adimensionales.

Para pasar de (1) a (2) se procede como sigue:

1) Se genera la matriz de exponentes y se determina su rango.

2) Se forma un sistema de ecuaciones utilizando como coeficientes los elementos de la matriz de exponentes.

3) Se encuentran las  $(m-r)$  soluciones al sistema planteado, cada solución mostrará los exponentes a los que hay que elevar las variables originales para obtener un producto adimensional.

La mayoría de las veces el sistema anterior es indeterminado por lo que es necesario asignar valores a algunas de las incógnitas, para lo que se recomiendan los siguientes criterios:

a) Hacer que la variable dependiente aparezca en el numerador de un solo producto adimensional y de ser posible elevada a la primera potencia.

b) Formar, preferentemente, productos adimensionales conocidos (No. de Froude, No. de Reynolds, etc).

c) Formar productos adimensionales como el cociente de variables de iguales dimensiones  $\left[ \frac{X}{H}, \frac{T_1}{T_2}, \text{ etc.} \right]$ .

### 3.2) DEFINICION DEL PROBLEMA.

En la figura 3.1 se muestran las variables que intervienen en la descarga libre de un cimacio tipo Creager. En esta figura:

$H_d$  - carga de diseño del cimacio (L)

$H$  - carga de operación del cimacio (L)

$X$  - coordenada horizontal (L)

Y - coordenada vertical (L)

(L) - indica unidades de longitud

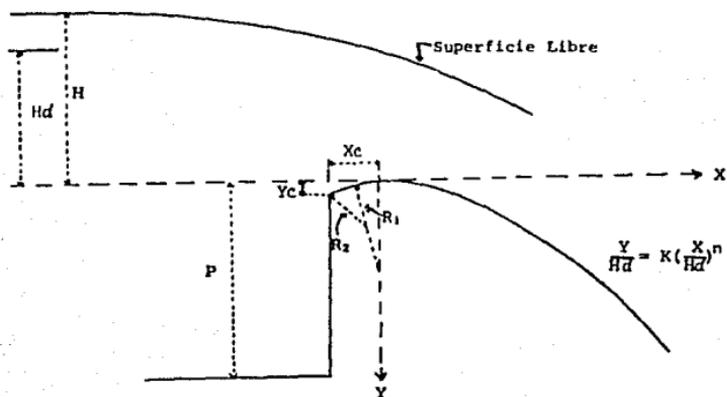


Fig 3.1 Definición de variables.

Aplicando la técnica de análisis dimensional al problema descrito se puede plantear la siguiente relación funcional:

$$Y = f(CH, Hd, X) \dots (3.a)$$

Y cuya matriz de exponentes es:

	Y	H	Hd	X
M	0	0	0	0
L	1	1	1	1
T	0	0	0	0

Donde:

M - unidades de masa  
L - " de longitud  
T - " de tiempo.

De la matriz anterior  $r=1$  y  $m=4$ , por lo tanto podrán formarse  $m-r=3$  productos adimensionales que relacionen las variables del problema tratado.

Al plantear el sistema de ecuaciones, se tiene una sola ecuación con cuatro incógnitas:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 0$$

Para formar los productos requeridos, se aplicarán los criterios 1 y 3 antes descritos, en base al razonamiento siguiente:

Para cada carga de operación del cimacio Creager diferente que la de diseño se tiene un perfil de la superficie libre distinto, por lo que un producto adimensional debe ser la relación de cargas  $\left[ \frac{H}{H_d} \right]$ .

Como puede verse en la ecuación 3.a la variable dependiente es Y y es función de H,  $H_d$  y X, por lo tanto en los dos productos restantes deberán aparecer X y Y.

Para evitar que la misma variable aparezca en todos los productos adimensionales provocando relación espuria, se escogen los productos  $\frac{X}{H_d}$  y  $\frac{Y}{H}$  en vez de  $\frac{X}{H_d}$  y  $\frac{Y}{H_d}$  como el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

De la figura 3.1 puede observarse que, de usar el sistema coordenado (X,Y) se tendrían parejas de datos de signo negativo, lo que dificultaría el procesamiento posterior de los resultados experimentales. Con el fin de evitar lo anterior y de manejar los

resultados en forma adimensionada y positiva se proponen los siguientes productos:  $\frac{Y}{H} + 1$  y  $\frac{X}{Hd} + 1$ .

Con todo lo anterior la relación funcional que describe el problema de descarga libre de un cimacio tipo Creager, se puede escribir como:

$$\frac{Y}{H} + 1 = f\left(\frac{H}{Hd}, \frac{X}{Hd} + 1\right)$$

### 3.3) DESCRIPCION DE LOS MODELOS FISICOS.

Las mediciones se llevaron a cabo en dos cimacios tipo Creager, uno para carga de diseño de 4.5 cm y otro de Hd=10 cm. Ambos de paramento vertical y diseñados para carga de velocidad a la llegada despreciable.

En la figura 3.2 y tabla 3.1 se muestran, respectivamente, las dimensiones y características de estos cimacios.

Hd	P	Xc	Yc	R1	R2	Xt	Yt	b
4.5	30.0	-1.27	0.56	2.39	1.08	11.25	12.48	20.0
10.0	35.0	-2.83	1.25	5.30	2.35	23.0	23.74	30.0

Tabla 3.1 Características de los cimacios en que se efectuaron las mediciones (cm).

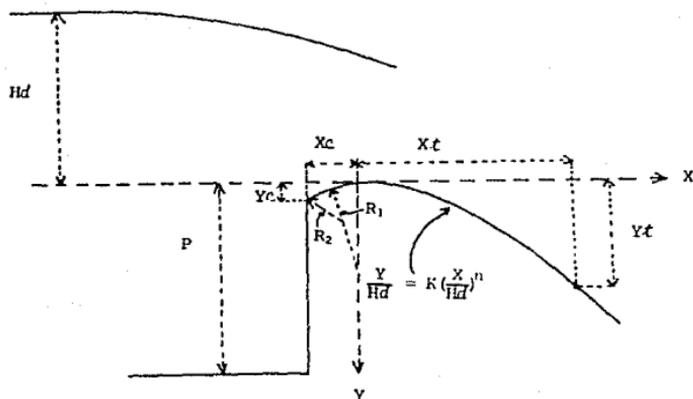


Fig. 3.2 Dimensiones de los cimacios tipo Creager

En los dos cimacios antes descritos se probaron los cuatro tipos de pila más comunes y cuyo diseño se explica a continuación:

Forma y espesor ( $e$ ) de pilas.

En la figura 3.3 se muestra el perfil en planta de los tipos de pila probadas.

Altura de las pilas ( $h$ ).

Se determinó en función de la máxima relación de cargas  $\left(\frac{H}{Hd}\right)$  por medir, siendo ésta de 1.5

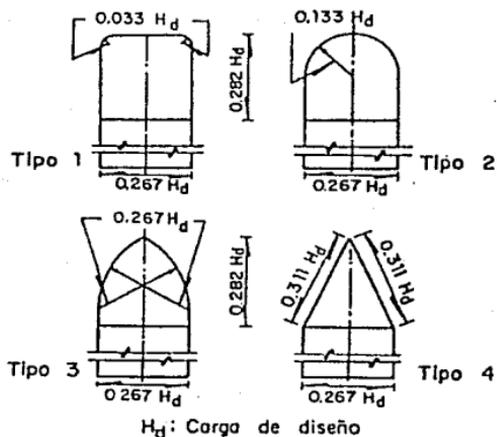


Fig 3.3 Tipos de pila probadas

#### Longitud de las pilas (L).

Las pilas son estructuras cuyo fin es servir como apoyo a las compuertas, por lo que la longitud de las pilas se obtuvo localizando la posición del perno de una compuerta de tipo radial. Para lo anterior se usó el criterio gráfico descrito en el *apéndice A*.

En la *figura 3.4* y *tabla 3.2* se presentan, respectivamente, las dimensiones y características para cada caso.

$H_d$	L	h	•
4.5	9.0	7.0	1.2
10.0	11.0	17.0	2.57

Tabla 3.2 Características de las pilas probadas (cm)

### 3.4) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Como se mencionó anteriormente en los dos cimacios ( $H_d=4.5$  cm y 10 cm) se probaron los cuatro tipos de pila antes descritos, para cada tipo de pila se midió el perfil de la superficie libre del agua al centro del claro entre pilas y a lo largo de las mismas. En todos los casos se trabajó con las siguientes relaciones de carga  $\left[\frac{H}{H_d}\right]$ : 0.25.0.37,0.5,0.62,0.75,0.9,1.0,1.1,1.25,1.33,1.5.

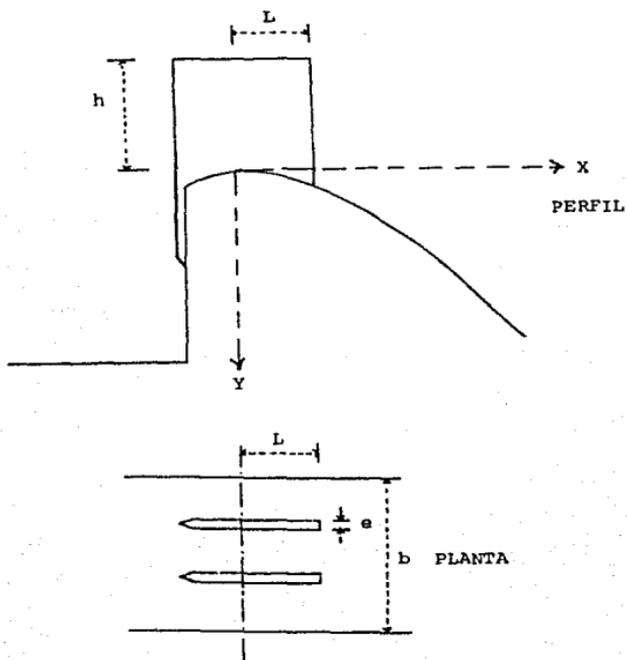


Fig. 3.4 Dimensiones de las pilas probadas.

Para cada relación  $\left(\frac{H}{H_d}\right)$  se midieron los valores (X,Y) del perfil de la superficie libre del agua, considerando como origen la cresta vertedora.

Cabe mencionar que las mediciones experimentales se efectuaron en el rango comprendido entre la cresta vertedora  $\left(\frac{X}{H_d} + 1 = 1\right)$  y el punto de tangencia del cimacio Creager con la rápida de descarga que equivale a  $\frac{X}{H_d} + 1 = 3.5$  para el cimacio de  $H_d = 4.5$  cm y a  $\frac{X}{H_d} + 1 = 3.3$  para el de carga de diseño de 10 cm. Lo anterior puede apreciarse en la *figura 3.5*.

Asimismo anteriormente (ref.4) se obtuvieron resultados para el perfil de la superficie libre al centro del cimacio sin pilas, en aquella ocasión sólo se trabajó con el cimacio de carga de diseño de 4.5 cm., es por ello que para esta condición no se tienen resultados para  $H_d = 10$  cm.

### 3.5) RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Las *tablas 3.3 a 3.8* muestran los resultados experimentales obtenidos para el perfil al centro del claro entre pilas y a lo largo de las pilas. En la *tabla 3.9* se presentan los resultados para el perfil al centro del cimacio sin pilas.

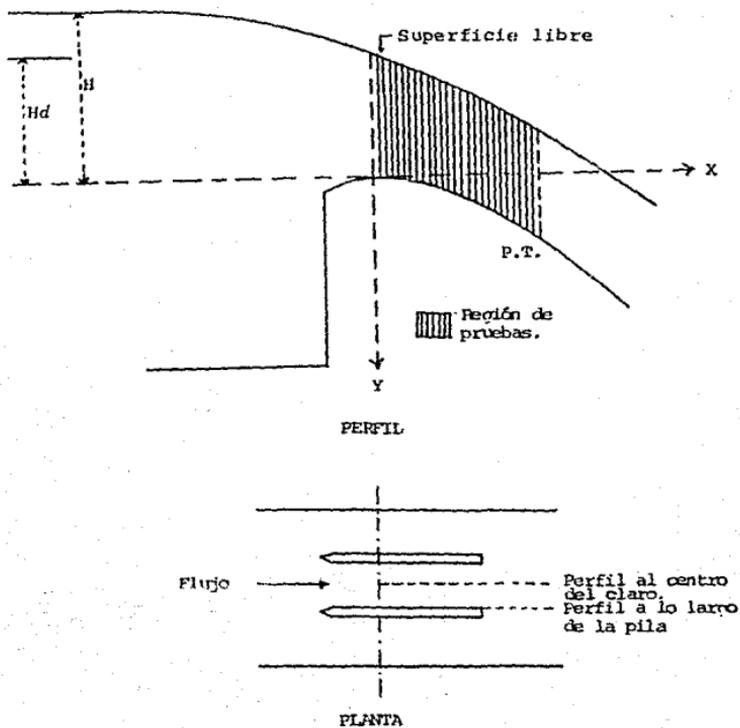


Fig. 3.5 Región de mediciones experimentales.

H/Ho + 1	valores de $\gamma/H + 1$											
	H/Ho	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1	0.363	0.275	0.240	0.247	0.254	0.232	0.242	0.248	0.254	0.249	0.232	0.232
1.2	0.478	0.359	0.329	0.301	0.295	0.281	0.271	0.271	0.286	0.282	0.281	0.281
1.3	0.637	0.473	0.391	0.362	0.355	0.328	0.313	0.313	0.308	0.314	0.289	0.289
1.4	0.814	0.611	0.507	0.459	0.433	0.370	0.360	0.354	0.350	0.349	0.318	0.318
1.5	1.000	0.754	0.596	0.534	0.497	0.432	0.422	0.402	0.396	0.382	0.363	0.363
1.6	1.248	0.922	0.724	0.642	0.586	0.506	0.487	0.455	0.433	0.419	0.393	0.393
1.7	1.487	1.114	0.871	0.767	0.675	0.580	0.552	0.517	0.488	0.467	0.434	0.434
1.8	1.779	1.299	1.040	0.892	0.784	0.657	0.622	0.573	0.540	0.512	0.477	0.477
1.9	2.062	1.488	1.178	1.004	0.876	0.753	0.691	0.638	0.592	0.568	0.514	0.514
2.0	2.416	1.731	1.369	1.143	1.000	0.849	0.778	0.717	0.663	0.633	0.570	0.570
2.1	2.770	2.006	1.573	1.294	1.118	0.951	0.869	0.800	0.734	0.699	0.615	0.615
2.2	3.195	2.281	1.760	1.470	1.260	1.059	0.971	0.897	0.805	0.766	0.666	0.666
2.3	3.602	2.563	2.000	1.645	1.408	1.175	1.071	0.984	0.892	0.833	0.746	0.746
2.4	4.106	2.916	2.240	1.846	1.562	1.299	1.200	1.081	0.979	0.917	0.807	0.807
2.5	4.628	3.257	2.507	2.036	1.734	1.449	1.311	1.192	1.067	1.002	0.890	0.890
2.6	5.150	3.617	2.769	2.254	1.908	1.593	1.444	1.303	1.160	1.093	0.956	0.956
2.7	5.761	4.000	3.067	2.509	2.095	1.753	1.593	1.440	1.270	1.200	1.044	1.044
2.8	6.364	4.443	3.378	2.755	2.305	1.916	1.739	1.576	1.382	1.291	1.130	1.130
2.9	7.065	4.874	3.671	3.014	2.512	2.099	1.885	1.707	1.497	1.398	1.222	1.222
3.0	7.837	5.317	4.022	3.287	2.746	2.284	2.056	1.865	1.622	1.534	1.324	1.324
3.1	8.372	5.790	4.391	3.581	2.985	2.481	2.244	2.030	1.775	1.652	1.443	1.443
3.2	9.071	6.240	4.742	3.867	3.231	2.654	2.427	2.190	1.904	1.776	1.548	1.548
3.3	9.867	6.766	5.129	4.172	3.470	2.904	2.626	2.356	2.066	1.918	1.657	1.657
3.4	10.637	7.293	5.533	4.509	3.751	3.099	2.811	2.554	2.233	2.059	1.785	1.785
3.5	11.442	7.856	5.889	4.810	4.015	3.341	3.022	2.717	2.385	2.205	1.919	1.919

Tabla 3.3 Resultados experimentales para la slla tipo 1 al centro del disco ( $h_0=4.5$  cm)

X/Hd + 1	valores de Y/H + 1											
	n/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1		0.436	0.343	0.298	0.311	0.265	0.276	0.256	0.255	0.243	0.217	0.126
1.2		0.549	0.432	0.374	0.369	0.335	0.341	0.308	0.307	0.287	0.255	0.244
1.3		0.708	0.541	0.460	0.456	0.409	0.377	0.378	0.354	0.322	0.307	0.278
1.4		0.911	0.700	0.576	0.531	0.476	0.453	0.428	0.409	0.369	0.344	0.326
1.5		1.112	0.835	0.690	0.626	0.545	0.500	0.489	0.452	0.411	0.363	0.353
1.6		1.369	1.019	0.816	0.752	0.663	0.636	0.557	0.525	0.474	0.456	0.397
1.7		1.636	1.208	0.978	0.871	0.756	0.674	0.642	0.565	0.534	0.488	0.460
1.8		1.948	1.416	1.138	1.006	0.879	0.776	0.718	0.672	0.590	0.564	0.505
1.9		2.252	1.646	1.314	1.147	1.013	0.897	0.817	0.758	0.667	0.631	0.573
2.0		2.628	1.989	1.586	1.329	1.145	0.999	0.939	0.832	0.755	0.706	0.633
2.1		2.989	2.154	1.678	1.479	1.275	1.108	1.009	0.935	0.815	0.760	0.699
2.2		3.352	2.386	1.874	1.644	1.400	1.240	1.131	1.030	0.894	0.877	0.817
2.3		3.748	2.659	2.076	1.818	1.573	1.366	1.254	1.144	1.016	0.944	0.847
2.4		4.156	2.946	2.280	2.006	1.705	1.467	1.359	1.252	1.111	1.014	0.927
2.5		4.636	3.268	2.518	2.200	1.875	1.621	1.477	1.376	1.191	1.105	0.995
2.6		5.143	3.619	2.752	2.332	2.063	1.827	1.617	1.501	1.287	1.223	1.094
2.7		5.716	3.968	3.038	2.566	2.225	1.960	1.744	1.625	1.454	1.344	1.167
2.8		6.304	4.435	3.374	2.839	2.413	2.024	1.909	1.706	1.566	1.436	1.286
2.9		6.948	4.841	3.696	3.095	2.615	2.262	2.073	1.857	1.678	1.544	1.375
3.0		7.672	5.270	4.196	3.434	2.867	2.452	2.237	2.022	1.782	1.654	1.473
3.1		8.496	5.857	4.592	3.708	3.139	2.766	2.397	2.199	1.944	1.827	1.579
3.2		9.426	6.589	4.818	4.079	3.425	3.121	2.634	2.369	2.046	1.973	1.676
3.3		10.256	7.105	5.402	4.474	3.787	3.303	2.857	2.635	2.267	2.089	1.831

Tabla 3.4 Resultados experimentales para la pila tipo I al centro del claro (Hd=10 cm)

H/Hd + 1	valores de $i/H + 1$											
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1	0.283	0.285	0.249	0.244	0.252	0.237	0.224	0.242	0.237	0.233	0.243	
1.2	0.389	0.399	0.333	0.290	0.304	0.284	0.267	0.275	0.269	0.265	0.270	
1.3	0.549	0.520	0.422	0.360	0.354	0.335	0.311	0.313	0.305	0.298	0.295	
1.4	0.735	0.649	0.516	0.462	0.431	0.385	0.355	0.354	0.348	0.338	0.329	
1.5	0.929	0.772	0.640	0.530	0.496	0.457	0.404	0.408	0.370	0.367	0.356	
1.6	1.168	0.940	0.756	0.642	0.579	0.509	0.454	0.457	0.424	0.412	0.394	
1.7	1.442	1.114	0.907	0.756	0.674	0.590	0.532	0.513	0.479	0.452	0.437	
1.8	1.769	1.306	1.044	0.864	0.778	0.677	0.604	0.580	0.522	0.514	0.476	
1.9	1.982	1.529	1.200	1.000	0.876	0.753	0.687	0.640	0.589	0.566	0.513	
2.0	2.327	1.775	1.384	1.143	0.985	0.854	0.767	0.699	0.644	0.616	0.557	
2.1	2.699	2.021	1.573	1.294	1.116	0.951	0.849	0.800	0.714	0.683	0.622	
2.2	3.115	2.267	1.791	1.466	1.267	1.069	0.953	0.895	0.790	0.749	0.686	
2.3	3.549	2.622	1.982	1.645	1.412	1.185	1.064	0.984	0.876	0.818	0.745	
2.4	4.062	2.928	2.244	1.832	1.563	1.319	1.167	1.087	0.963	0.903	0.819	
2.5	4.549	3.282	2.489	2.047	1.717	1.452	1.300	1.196	1.050	0.983	0.891	
2.6	5.071	3.643	2.764	2.254	1.895	1.595	1.422	1.305	1.144	1.067	0.956	
2.7	5.699	4.051	3.049	2.505	2.093	1.760	1.567	1.442	1.249	1.180	1.044	
2.8	6.310	4.483	3.364	2.749	2.307	1.916	1.713	1.568	1.361	1.284	1.133	
2.9	6.929	4.896	3.707	3.018	2.523	2.109	1.860	1.703	1.484	1.384	1.222	
3.0	7.434	5.373	4.044	3.265	2.745	2.284	2.042	1.859	1.624	1.515	1.326	
3.1	8.345	5.859	4.382	3.564	2.985	2.484	2.204	2.012	1.763	1.633	1.431	
3.2	9.053	6.333	4.751	3.867	3.222	2.684	2.400	2.174	1.887	1.754	1.548	
3.3	9.796	6.832	5.142	4.186	3.489	2.906	2.560	2.354	2.033	1.887	1.668	
3.4	10.566	7.384	5.533	4.509	3.758	3.123	2.789	2.537	2.193	2.038	1.789	
3.5	11.354	7.877	5.929	4.817	4.016	3.346	2.989	2.701	2.365	2.200	1.907	

Tabla 3.5 Resultados experimentales para la pila tipo 2 al centro del claro (H=4.5 cm)

R/Hd + 1	valores de Y/H + 1											
	H/Hd	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5
1.1		0.312	0.327	0.316	0.281	0.267	0.230	0.240	0.225	0.206	0.186	0.201
1.2		0.420	0.430	0.396	0.350	0.230	0.284	0.297	0.261	0.247	0.225	0.237
1.3		0.592	0.549	0.494	0.432	0.307	0.354	0.344	0.317	0.278	0.268	0.279
1.4		0.728	0.676	0.592	0.515	0.333	0.408	0.397	0.359	0.331	0.314	0.305
1.5		1.016	0.849	0.714	0.610	0.556	0.468	0.459	0.428	0.375	0.358	0.334
1.6		1.272	1.019	0.854	0.721	0.652	0.554	0.528	0.481	0.442	0.405	0.339
1.7		1.568	1.216	1.012	0.842	0.745	0.628	0.597	0.554	0.494	0.452	0.412
1.8		1.872	1.430	1.158	0.985	0.852	0.733	0.692	0.626	0.558	0.514	0.490
1.9		2.200	1.672	1.358	1.142	0.979	0.821	0.778	0.707	0.626	0.582	0.553
2.0		2.564	1.919	1.520	1.269	1.107	0.942	0.870	0.806	0.727	0.651	0.599
2.1		2.940	2.186	1.736	1.447	1.264	1.049	0.959	0.885	0.782	0.735	0.668
2.2		3.316	2.451	1.918	1.610	1.395	1.166	1.067	0.991	0.870	0.805	0.727
2.3		3.716	2.708	2.140	1.787	1.505	1.300	1.209	1.091	0.959	0.884	0.813
2.4		4.156	3.011	2.338	1.965	1.665	1.399	1.307	1.194	1.054	0.996	0.894
2.5		4.632	3.322	2.606	2.160	1.845	1.556	1.469	1.309	1.259	1.080	0.979
2.6		5.120	3.646	2.338	2.350	2.023	1.699	1.574	1.450	1.286	1.177	1.063
2.7		5.604	3.997	3.106	2.548	2.186	1.878	1.699	1.552	1.390	1.267	1.139
2.8		6.232	4.427	3.408	2.835	2.412	2.021	1.859	1.695	1.458	1.403	1.273
2.9		6.876	4.838	3.706	3.032	2.629	2.197	2.008	1.829	1.675	1.510	1.345
3.0		7.396	5.327	4.062	3.373	2.864	2.362	2.190	1.963	1.758	1.617	1.459
3.1		8.381	5.911	4.498	3.676	3.119	2.596	2.359	2.117	1.894	1.760	1.585
3.2		9.216	6.478	4.976	4.023	3.423	2.873	2.576	2.326	2.046	1.892	1.689
3.3		10.188	7.065	5.348	4.385	3.730	3.141	2.769	2.605	2.282	2.087	1.812

Tabla 3.5 Resultados experimentales para la pila tipo A al centro del disco (Hd=10 cm)

H/d = 1	valores de T/H + 1											
	H/Hd	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,90	1,00	1,10	1,25	1,33	1,50
1.1		0.177	0.207	0.196	0.208	0.200	0.210	0.218	0.230	0.214	0.216	0.230
1.2		0.310	0.285	0.252	0.269	0.250	0.254	0.260	0.267	0.236	0.248	0.253
1.3		0.466	0.399	0.338	0.344	0.301	0.304	0.289	0.303	0.269	0.280	0.285
1.4		0.637	0.520	0.453	0.416	0.366	0.346	0.335	0.347	0.307	0.315	0.305
1.5		0.832	0.676	0.556	0.498	0.457	0.405	0.396	0.392	0.353	0.348	0.345
1.6		1.038	0.844	0.684	0.595	0.523	0.474	0.444	0.442	0.393	0.395	0.381
1.7		1.306	1.024	0.813	0.710	0.612	0.551	0.511	0.495	0.444	0.432	0.419
1.8		1.602	1.222	0.956	0.824	0.707	0.625	0.580	0.556	0.499	0.480	0.455
1.9		1.920	1.414	1.124	0.957	0.816	0.706	0.660	0.630	0.550	0.541	0.505
2.0		2.230	1.649	1.271	1.097	0.914	0.802	0.736	0.695	0.609	0.597	0.553
2.1		2.593	1.889	1.462	1.240	1.053	0.901	0.806	0.776	0.678	0.649	0.600
2.2		3.009	2.177	1.671	1.423	1.175	1.017	0.929	0.871	0.753	0.731	0.671
2.3		3.451	2.477	1.893	1.577	1.323	1.121	1.038	0.960	0.836	0.796	0.730
2.4		3.912	2.796	2.138	1.778	1.477	1.247	1.147	1.059	0.909	0.880	0.790
2.5		4.404	3.150	2.373	1.989	1.649	1.392	1.262	1.162	0.998	0.962	0.853
2.6		4.947	3.505	2.640	2.194	1.827	1.519	1.393	1.275	1.101	1.038	0.929
2.7		5.551	3.899	2.951	2.427	2.007	1.686	1.522	1.402	1.206	1.132	1.007
2.8		6.193	4.303	3.249	2.674	2.212	1.862	1.667	1.541	1.313	1.232	1.101
2.9		6.752	4.718	3.569	2.925	2.443	2.030	1.831	1.681	1.427	1.346	1.193
3.0		7.434	5.150	3.889	3.186	2.653	2.210	1.980	1.806	1.511	1.468	1.295
3.1		8.177	5.667	4.253	3.460	2.893	2.405	2.153	1.972	1.690	1.593	1.415
3.2		8.967	6.153	4.640	3.774	3.124	2.602	2.331	2.131	1.816	1.713	1.499
3.3		9.584	6.660	5.018	4.052	3.376	2.820	2.521	2.299	1.940	1.852	1.621
3.4		10.416	7.180	5.391	4.398	3.634	3.025	2.711	2.471	2.122	2.003	1.739
3.5		11.126	7.757	5.787	4.706	3.904	3.269	2.911	2.657	2.285	2.123	1.864

Tabla 3.7 Resultados experimentales para la pila tipo 3 al centro del claro (Hd=4.5 cm)

H/Hd + 1	valores de $V/H + 1$										
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33
1.1	0.332	0.314	0.298	0.290	0.263	0.249	0.252	0.236	0.232	0.233	0.226
1.2	0.464	0.405	0.378	0.365	0.325	0.296	0.290	0.374	0.247	0.277	0.251
1.3	0.612	0.535	0.468	0.424	0.394	0.398	0.346	0.308	0.310	0.306	0.264
1.4	0.796	0.668	0.573	0.515	0.453	0.411	0.398	0.377	0.350	0.350	0.330
1.5	1.024	0.822	0.699	0.626	0.545	0.479	0.469	0.436	0.404	0.397	0.373
1.6	1.283	1.000	0.833	0.748	0.640	0.554	0.540	0.492	0.446	0.448	0.424
1.7	1.572	1.208	1.002	0.853	0.745	0.641	0.600	0.554	0.498	0.502	0.460
1.8	1.900	1.419	1.160	0.990	0.867	0.740	0.689	0.633	0.559	0.544	0.506
1.9	2.226	1.659	1.318	1.127	0.971	0.827	0.786	0.726	0.639	0.594	0.567
2.0	2.624	1.919	1.514	1.284	1.116	0.933	0.886	0.819	0.719	0.681	0.610
2.1	2.948	2.151	1.698	1.450	1.252	1.057	0.990	0.889	0.813	0.759	0.677
2.2	3.356	2.430	1.912	1.581	1.376	1.173	1.067	0.974	0.879	0.838	0.740
2.3	3.724	2.695	2.112	1.787	1.520	1.311	1.170	1.092	0.963	0.932	0.818
2.4	4.152	3.070	2.333	1.963	1.680	1.434	1.357	1.197	1.077	1.012	0.893
2.5	4.600	3.316	2.540	2.169	1.836	1.578	1.450	1.325	1.227	1.125	0.971
2.6	5.108	3.709	2.834	2.366	2.130	1.711	1.588	1.441	1.311	1.226	1.047
2.7	5.664	3.995	3.080	2.597	2.196	1.842	1.726	1.561	1.405	1.323	1.166
2.8	6.200	4.392	3.238	2.790	2.383	2.054	1.873	1.717	1.553	1.448	1.271
2.9	6.896	4.808	3.698	3.048	2.583	2.212	2.029	1.819	1.673	1.539	1.367
3.0	7.624	5.349	4.098	3.385	2.840	2.396	2.295	2.026	1.735	1.687	1.444
3.1	8.488	5.889	4.498	3.692	3.095	2.596	2.401	2.162	1.939	1.797	1.587
3.2	9.324	6.508	4.958	4.063	3.423	2.908	2.621	2.363	2.107	1.954	1.669
3.3	10.152	7.043	5.374	4.327	3.689	3.094	2.907	2.564	2.293	2.140	1.840

Tabla 3.8 Resultados experimentales para la pila tipo 3 al centro del claro (Hd=10 cm)

h/Hd + 1	valores de $\gamma/H + 1$											
	n-Hd	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,90	1,00	1,10	1,25	1,33	1,50
1.1		0,296	0,305	0,274	0,265	0,249	0,231	0,227	0,222	0,212	0,207	0,201
1.2		0,416	0,400	0,342	0,411	0,316	0,279	0,264	0,254	0,237	0,233	0,225
1.3		0,550	0,516	0,424	0,410	0,366	0,327	0,311	0,294	0,271	0,270	0,252
1.4		0,704	0,659	0,536	0,495	0,436	0,373	0,344	0,327	0,305	0,299	0,281
1.5		1,004	0,914	0,682	0,582	0,516	0,442	0,428	0,390	0,350	0,329	0,310
1.6		1,264	0,992	0,798	0,689	0,615	0,540	0,477	0,436	0,391	0,352	0,347
1.7		1,556	1,190	0,952	0,802	0,719	0,641	0,537	0,514	0,457	0,423	0,382
1.8		1,872	1,427	1,095	0,952	0,825	0,704	0,636	0,581	0,500	0,462	0,434
1.9		2,196	1,651	1,282	1,115	0,947	0,800	0,708	0,651	0,561	0,529	0,485
2.0		2,560	1,892	1,474	1,242	1,076	0,931	0,797	0,727	0,631	0,587	0,527
2.1		2,920	2,159	1,656	1,405	1,199	1,028	0,900	0,827	0,703	0,654	0,586
2.2		3,316	2,422	1,860	1,565	1,341	1,154	1,014	0,909	0,804	0,720	0,639
2.3		3,700	2,684	2,021	1,747	1,508	1,281	1,109	1,017	0,885	0,807	0,709
2.4		4,144	2,992	2,202	1,952	1,639	1,419	1,209	1,145	0,979	0,888	0,773
2.5		4,592	3,319	2,512	2,144	1,805	1,538	1,375	1,246	1,075	0,987	0,853
2.6		5,084	3,641	2,798	2,395	1,969	1,671	1,466	1,330	1,172	1,073	0,931
2.7		5,636	4,000	3,040	2,576	2,133	1,838	1,604	1,486	1,279	1,160	1,022
2.8		6,196	4,378	3,348	2,770	2,332	1,978	1,779	1,522	1,404	1,291	1,133
2.9		6,840	4,805	3,668	3,085	2,600	2,171	1,919	1,754	1,520	1,420	1,243
3.0		7,428	5,316	4,016	3,311	2,839	2,381	2,069	1,943	1,653	1,520	1,303
3.1		8,064	5,814	4,450	3,716	3,072	2,566	2,162	2,077	1,803	1,651	1,413
3.2		8,748	6,505	4,900	4,031	3,423	2,843	2,473	2,354	1,917	1,811	1,544
3.3		10,152	7,061	5,298	4,382	3,668	3,032	2,706	2,415	2,117	1,934	1,642

Tabla 3.9 Resultados experimentales para la fila  
tipo A al centro del claro (n=310 cm)

H/Hd - 1	valores de f/H - 1											
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1	0.124	0.213	0.227	0.226	0.227	0.210	0.220	0.218	0.223	0.211	0.227	
1.2	0.283	0.295	0.294	0.297	0.280	0.257	0.253	0.248	0.266	0.248	0.230	
1.3	0.442	0.399	0.373	0.355	0.333	0.306	0.296	0.289	0.287	0.279	0.279	
1.4	0.619	0.538	0.467	0.427	0.401	0.356	0.349	0.333	0.321	0.313	0.302	
1.5	0.814	0.682	0.578	0.530	0.467	0.407	0.396	0.372	0.359	0.351	0.344	
1.6	1.044	0.862	0.720	0.631	0.553	0.479	0.453	0.428	0.404	0.388	0.376	
1.7	1.283	1.018	0.848	0.742	0.615	0.556	0.524	0.491	0.449	0.442	0.413	
1.8	1.566	1.222	0.991	0.853	0.754	0.630	0.593	0.537	0.508	0.480	0.452	
1.9	1.867	1.414	1.129	0.989	0.843	0.721	0.664	0.614	0.563	0.534	0.507	
2.0	2.159	1.655	1.302	1.111	0.953	0.802	0.740	0.681	0.625	0.597	0.553	
2.1	2.575	1.889	1.484	1.265	1.083	0.911	0.838	0.760	0.692	0.651	0.597	
2.2	3.009	2.183	1.702	1.427	1.207	1.022	0.931	0.851	0.767	0.729	0.656	
2.3	3.451	2.435	1.920	1.606	1.353	1.123	1.022	0.937	0.840	0.796	0.720	
2.4	3.885	2.795	2.151	1.789	1.516	1.249	1.133	1.040	0.927	0.880	0.779	
2.5	4.363	3.144	2.418	2.000	1.676	1.405	1.260	1.141	1.018	0.962	0.849	
2.6	4.985	3.493	2.662	2.208	1.856	1.536	1.389	1.246	1.115	1.052	0.921	
2.7	5.469	3.871	2.951	2.434	2.061	1.691	1.522	1.376	1.220	1.145	1.013	
2.8	6.106	4.291	3.267	2.710	2.244	1.857	1.667	1.509	1.325	1.247	1.099	
2.9	6.699	4.716	3.578	2.946	2.449	2.035	1.820	1.642	1.440	1.349	1.191	
3.0	7.372	5.198	3.924	3.186	2.671	2.207	1.978	1.804	1.571	1.459	1.280	
3.1	8.132	5.667	4.284	3.505	2.926	2.402	2.178	1.943	1.690	1.575	1.396	
3.2	8.788	6.105	4.644	3.796	3.163	2.632	2.333	2.109	1.834	1.712	1.499	
3.3	9.584	6.676	5.027	4.104	3.400	2.825	2.533	2.287	1.995	1.850	1.616	
3.4	10.381	7.136	5.431	4.437	3.690	3.025	2.722	2.471	2.140	1.981	1.753	
3.5	11.177	7.727	5.813	4.756	3.954	3.269	2.913	2.630	2.278	2.129	1.855	

Tabla 3.10 Resultados experimentales para la pila  
tipo 4 al centro del claró (Hd=4.5 cm)

X/Hd+1	valores de Y/H + 1											
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1		0.115	0.261	0.227	0.269	0.310	0.309	0.311	0.291	0.287	0.280	0.258
1.2		0.265	0.303	0.284	0.308	0.339	0.356	0.353	0.333	0.324	0.322	0.299
1.3		0.361	0.447	0.389	0.353	0.390	0.380	0.393	0.372	0.358	0.353	0.332
1.4		0.593	0.574	0.498	0.427	0.437	0.430	0.438	0.412	0.396	0.393	0.437
1.5		0.796	0.730	0.542	0.520	0.496	0.491	0.487	0.455	0.444	0.432	0.399
1.6		1.035	0.874	0.662	0.599	0.579	0.553	0.531	0.507	0.484	0.477	0.437
1.7		1.265	1.042	0.796	0.706	0.647	0.602	0.598	0.556	0.536	0.527	0.479
1.8		1.575	1.234	0.942	0.814	0.748	0.679	0.664	0.620	0.577	0.579	0.523
1.9		1.858	1.444	1.048	0.928	0.834	0.751	0.729	0.673	0.627	0.616	0.581
2.0		2.150	1.655	1.253	1.068	0.938	0.844	0.800	0.735	0.696	0.683	0.625
2.1		2.496	1.895	1.440	1.211	1.056	0.926	0.882	0.816	0.764	0.744	0.681
2.2		2.920	2.189	1.644	1.384	1.175	1.025	0.973	0.907	0.851	0.803	0.733
2.3		3.354	2.435	1.840	1.534	1.323	1.136	1.067	0.978	0.908	0.881	0.803
2.4		3.814	2.784	2.098	1.706	1.465	1.247	1.156	1.067	0.980	0.952	0.867
2.5		4.434	3.222	2.413	1.931	1.643	1.395	1.298	1.176	1.068	1.043	0.935
2.6		5.044	3.631	2.751	2.211	1.841	1.560	1.440	1.297	1.176	1.129	1.007
2.7		5.655	4.057	3.124	2.502	2.090	1.738	1.609	1.442	1.300	1.246	1.102
2.8		6.312	4.483	3.499	2.799	2.330	1.936	1.776	1.600	1.439	1.366	1.201
2.9		6.867	4.910	3.822	3.111	2.591	2.133	1.942	1.745	1.564	1.498	1.307
3.0		7.593	5.384	4.151	3.459	2.834	2.358	2.149	1.933	1.711	1.602	1.430
3.1		8.319	5.859	4.502	3.810	3.104	2.578	2.353	2.093	1.852	1.752	1.545
3.2		9.018	6.333	4.827	4.108	3.370	2.810	2.549	2.291	2.012	1.892	1.658
3.3		9.726	6.850	5.209	4.398	3.687	3.059	2.771	2.489	2.173	2.051	1.799
3.4		10.487	7.390	5.599	4.692	4.070	3.289	3.016	2.675	2.349	2.220	1.917
3.5		11.407	7.901	5.978	5.014	4.301	3.516	3.184	2.883	2.511	2.355	2.067

Tabla 3.11 Resultados experimentales para la pila tipo 1 a lo largo de la misma (Hd=4.5 cm)

H/Hd+1	valores de Y/H + 1											
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1	0.476	0.349	0.300	0.337	0.369	0.374	0.390	0.382	0.359	0.251	0.315	
1.2	0.612	0.451	0.354	0.376	0.407	0.392	0.419	0.407	0.389	0.379	0.277	
1.3	0.776	0.565	0.454	0.450	0.449	0.441	0.457	0.436	0.406	0.405	0.395	
1.4	0.976	0.722	0.554	0.519	0.505	0.493	0.506	0.473	0.470	0.443	0.436	
1.5	1.228	0.899	0.678	0.595	0.588	0.556	0.567	0.520	0.502	0.474	0.469	
1.6	1.512	1.078	0.823	0.721	0.699	0.604	0.591	0.561	0.536	0.513	0.499	
1.7	1.788	1.268	0.970	0.834	0.769	0.689	0.666	0.625	0.590	0.578	0.537	
1.8	2.272	1.476	1.154	0.984	0.865	0.774	0.747	0.682	0.631	0.613	0.578	
1.9	2.356	1.705	1.201	1.009	0.908	0.832	0.809	0.755	0.710	0.661	0.639	
2.0	2.744	1.930	1.498	1.237	1.112	0.949	0.899	0.835	0.773	0.741	0.693	
2.1	3.052	2.191	1.680	1.384	1.237	1.048	0.989	0.917	0.846	0.804	0.728	
2.2	3.456	2.454	1.882	1.539	1.365	1.166	1.090	1.009	0.905	0.877	0.811	
2.3	3.852	2.722	2.078	1.711	1.503	1.253	1.178	1.099	0.990	0.954	0.881	
2.4	4.316	3.011	2.342	1.910	1.671	1.392	1.349	1.181	1.078	1.035	0.951	
2.5	4.752	3.335	2.578	2.052	1.796	1.486	1.418	1.315	1.165	1.066	1.013	
2.6	5.268	3.692	2.898	2.305	2.009	1.632	1.553	1.445	1.282	1.187	1.133	
2.7	5.828	4.092	3.110	2.518	2.169	1.816	1.691	1.565	1.350	1.293	1.167	
2.8	6.356	4.430	3.392	2.775	2.365	1.999	1.856	1.699	1.438	1.398	1.260	
2.9	6.948	4.827	3.696	3.070	2.557	2.110	1.954	1.824	1.563	1.450	1.303	
3.0	7.656	5.295	3.999	3.391	2.792	2.293	2.171	1.943	1.641	1.501	1.439	
3.1	8.556	5.914	4.478	3.644	3.023	2.454	2.333	2.083	1.835	1.668	1.531	
3.2	9.560	6.389	4.736	3.910	3.297	2.673	2.550	2.255	1.938	1.795	1.645	
3.3	10.256	7.105	5.354	4.394	3.556	2.863	2.687	2.399	2.094	1.947	1.779	

Tabla 3.2 Resultados experimentales para la pila tipo 1 a lo largo de la misma (Hd=10 cm)

X/Hd + 1	valores de T/H + 1											
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1	0.204	0.201	0.258	0.260	0.289	0.323	0.298	0.271	0.257	0.255	0.225	
1.2	0.372	0.279	0.307	0.348	0.345	0.353	0.347	0.325	0.305	0.298	0.270	
1.3	0.504	0.399	0.404	0.409	0.396	0.400	0.391	0.368	0.340	0.343	0.310	
1.4	0.699	0.514	0.484	0.437	0.449	0.449	0.429	0.408	0.390	0.382	0.350	
1.5	0.885	0.664	0.596	0.563	0.520	0.506	0.487	0.455	0.428	0.422	0.391	
1.6	1.124	0.820	0.720	0.642	0.606	0.575	0.549	0.509	0.470	0.467	0.433	
1.7	1.345	1.000	0.849	0.774	0.671	0.647	0.609	0.564	0.529	0.514	0.477	
1.8	1.619	1.186	0.987	0.885	0.775	0.714	0.634	0.634	0.588	0.566	0.521	
1.9	1.947	1.360	1.133	0.993	0.873	0.800	0.751	0.693	0.652	0.627	0.570	
2.0	2.230	1.613	1.307	1.122	0.991	0.896	0.827	0.762	0.714	0.693	0.639	
2.1	2.628	1.877	1.489	1.276	1.092	0.993	0.920	0.851	0.780	0.748	0.679	
2.2	3.009	2.135	1.698	1.430	1.231	1.089	1.016	0.935	0.852	0.816	0.754	
2.3	3.434	2.429	1.920	1.602	1.367	1.207	1.109	1.020	0.925	0.898	0.813	
2.4	3.894	2.736	2.142	1.778	1.504	1.326	1.220	1.119	1.013	0.967	0.890	
2.5	4.442	3.078	2.378	1.964	1.664	1.454	1.333	1.204	1.103	1.058	1.016	
2.6	5.000	3.486	2.662	2.204	1.853	1.590	1.460	1.337	1.194	1.147	1.028	
2.7	5.602	3.985	3.000	2.491	2.064	1.765	1.620	1.479	1.318	1.252	1.117	
2.8	6.212	4.417	3.373	2.760	2.295	1.963	1.776	1.624	1.441	1.364	1.218	
2.9	6.814	4.438	3.751	3.068	2.538	2.150	1.949	1.778	1.578	1.490	1.321	
3.0	7.469	5.306	4.129	3.355	2.804	2.363	2.131	1.923	1.704	1.615	1.443	
3.1	8.204	5.769	4.467	3.749	3.044	2.578	2.320	2.109	1.852	1.764	1.529	
3.2	8.947	6.213	4.822	4.043	3.332	2.805	2.522	2.275	2.015	1.899	1.679	
3.3	9.673	6.700	5.222	4.366	3.619	3.025	2.738	2.453	2.163	2.033	1.797	
3.4	10.451	7.210	5.618	4.685	3.957	3.257	2.951	2.640	2.328	2.200	1.944	
3.5	11.186	7.769	5.978	5.041	4.241	3.543	3.127	2.855	2.490	2.335	2.049	

Tabla 3.13 Resultados experimentales para la pila tipo 2 a lo largo de la misma (Hd=4.5 cm)

H/Hd + 1	valores de $\gamma/H + 1$										
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33
1.1	0.312	0.349	0.339	0.337	0.347	0.332	0.338	0.334	0.318	0.306	0.282
1.0	0.440	0.457	0.412	0.377	0.384	0.367	0.379	0.368	0.350	0.351	0.325
1.3	0.628	0.562	0.496	0.435	0.440	0.411	0.417	0.405	0.383	0.377	0.361
1.4	0.812	0.697	0.598	0.516	0.519	0.453	0.467	0.445	0.423	0.413	0.397
1.5	1.068	0.865	0.754	0.624	0.587	0.499	0.507	0.450	0.470	0.442	0.433
1.6	1.352	1.065	0.896	0.716	0.668	0.573	0.574	0.527	0.502	0.488	0.471
1.7	1.636	1.259	0.994	0.823	0.760	0.652	0.638	0.594	0.543	0.518	0.512
1.8	1.976	1.505	1.132	0.958	0.859	0.716	0.680	0.663	0.607	0.584	0.545
1.9	2.296	1.760	1.348	1.108	0.961	0.811	0.790	0.725	0.670	0.631	0.591
2.0	2.620	1.962	1.520	1.252	1.091	0.898	0.847	0.800	0.727	0.680	0.633
2.1	2.968	2.211	1.718	1.415	1.193	0.998	0.949	0.872	0.813	0.762	0.702
2.2	3.356	2.454	1.914	1.561	1.341	1.109	1.007	0.958	0.901	0.817	0.740
2.3	3.772	2.746	2.120	1.755	1.489	1.241	1.139	1.079	0.952	0.892	0.835
2.4	4.176	3.038	2.376	1.950	1.651	1.344	1.274	1.155	1.021	0.962	0.907
2.5	4.704	3.376	2.618	2.152	1.796	1.486	1.389	1.244	1.134	1.065	0.965
2.6	5.136	3.727	2.838	2.355	1.972	1.621	1.504	1.346	1.222	1.142	1.025
2.7	5.732	4.092	3.098	2.569	2.145	1.777	1.597	1.469	1.331	1.224	1.099
2.8	6.316	4.451	3.422	2.808	2.339	1.949	1.767	1.626	1.432	1.324	1.166
2.9	6.956	4.868	3.720	3.047	2.565	2.082	1.914	1.772	1.511	1.426	1.245
3.0	7.268	5.349	4.058	3.205	2.795	2.283	2.088	1.854	1.621	1.555	1.385
3.1	8.464	5.876	4.436	3.598	3.019	2.453	2.241	2.024	1.791	1.657	1.457
3.2	9.232	6.416	4.856	3.961	3.343	2.703	2.412	2.178	1.933	1.740	1.573
3.3	10.188	7.022	5.272	4.337	3.595	2.887	2.599	2.369	2.062	1.886	1.673

Tabla 3.14 Resultados experimentales para la pila tipo 2 a lo largo de la misma (30x10 cm.)

H/Hd + 1	valores de r/H + 1											
	h/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
1.1	0.269	0.291	0.253	0.272	0.289	0.279	0.260	0.214	0.212	0.210	0.166	
1.2	0.378	0.393	0.333	0.351	0.345	3.331	0.322	0.277	0.268	0.248	0.213	
1.3	0.529	0.514	0.418	0.412	0.404	0.378	0.367	0.327	0.323	0.310	0.255	
1.4	0.707	0.622	0.507	0.487	0.467	0.435	0.418	0.386	0.364	0.348	0.304	
1.5	0.902	0.796	0.622	0.566	0.547	0.501	0.473	0.438	0.413	0.395	0.347	
1.6	1.151	0.928	0.729	0.663	0.633	0.578	0.533	0.495	0.470	0.452	0.391	
1.7	1.400	1.114	0.853	0.771	0.716	0.647	0.609	0.554	0.522	0.507	0.437	
1.8	1.702	1.294	0.996	0.875	0.813	0.721	0.667	0.614	0.573	0.556	0.457	
1.9	1.978	1.486	1.133	0.989	0.902	0.793	0.731	0.691	0.639	0.607	0.509	
2.0	2.316	1.721	1.302	1.108	0.994	0.874	0.809	0.754	0.703	0.676	0.532	
2.1	2.680	1.991	1.484	1.251	1.110	0.963	0.906	0.832	0.767	0.731	0.634	
2.2	3.124	2.249	1.684	1.419	1.234	1.077	0.993	0.911	0.852	0.799	0.698	
2.3	3.542	2.550	1.884	1.584	1.382	1.190	1.048	1.014	0.925	0.878	0.750	
2.4	4.013	2.856	2.107	1.749	1.530	1.294	1.180	1.095	1.016	0.948	0.803	
2.5	4.618	3.312	2.418	2.000	1.708	1.440	1.305	1.206	1.105	1.027	0.877	
2.6	5.142	3.703	2.769	2.258	1.889	1.635	1.464	1.341	1.208	1.124	0.935	
2.7	5.702	4.123	3.124	2.552	2.123	1.812	1.622	1.481	1.332	1.252	1.024	
2.8	6.369	4.538	3.520	2.849	2.393	2.010	1.800	1.634	1.460	1.364	1.111	
2.9	7.018	5.264	3.862	3.143	2.621	2.220	1.971	1.790	1.596	1.485	1.197	
3.0	7.725	5.402	4.200	3.505	2.923	2.432	2.173	1.976	1.729	1.632	1.298	
3.1	8.458	5.859	4.573	3.810	3.216	2.649	2.380	2.139	1.878	1.749	1.399	
3.2	9.124	6.369	4.942	4.122	3.504	2.901	2.582	2.331	2.047	1.901	1.514	
3.3	9.889	6.880	5.262	4.430	3.806	3.163	2.809	2.507	2.209	2.053	1.603	
3.4	10.600	7.402	5.667	4.417	4.046	3.467	3.040	2.699	2.367	2.216	1.719	
3.5	11.436	7.907	6.062	5.054	4.327	3.711	3.331	2.927	2.543	2.380	1.825	

Tabla 3.15 Resultados experimentales para la pila tipo 3 a lo largo de la misma (H=4.5 cm)

H/Ho + 1	valores de $\beta/H + 1$											
	H/Hd	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,90	1,00	1,10	1,25	1,33	1,50
1,1	0,344	0,322	0,340	0,353	0,358	0,358	1,348	1,336	0,323	0,320	0,310	0,310
1,2	0,480	0,411	0,398	0,375	0,405	0,397	0,390	0,391	0,359	0,356	0,347	0,347
1,3	0,636	0,532	0,474	0,444	0,441	0,430	0,420	0,417	0,391	0,391	0,381	0,381
1,4	0,840	0,673	0,560	0,511	0,505	0,479	0,455	0,450	0,432	0,429	0,409	0,409
1,5	1,104	0,825	0,681	0,610	0,587	0,546	0,505	0,501	0,474	0,461	0,421	0,421
1,6	1,388	1,040	0,792	0,704	0,652	0,597	0,558	0,554	0,526	0,498	0,443	0,443
1,7	1,676	1,243	0,978	0,829	0,765	0,675	0,632	0,631	0,567	0,556	0,506	0,506
1,8	1,995	1,470	1,150	0,961	0,852	0,778	0,711	0,679	0,615	0,599	0,559	0,559
1,9	2,268	1,692	1,303	1,105	0,929	0,841	0,778	0,740	0,676	0,647	0,591	0,591
2,0	2,676	1,943	1,493	1,224	1,089	0,956	0,887	0,817	0,747	0,692	0,625	0,625
2,1	3,036	2,073	1,680	1,412	1,165	1,052	0,975	0,901	0,822	0,744	0,703	0,703
2,2	3,368	2,443	1,833	1,565	1,342	1,160	1,059	0,951	0,894	0,804	0,771	0,771
2,3	3,777	2,773	2,098	1,735	1,476	1,231	1,136	1,071	0,970	0,923	0,823	0,823
2,4	4,248	3,024	2,312	1,923	1,629	1,395	1,238	1,169	1,079	1,011	0,909	0,909
2,5	4,828	3,349	2,568	2,102	1,784	1,520	1,401	1,323	1,151	1,078	0,946	0,946
2,6	5,272	3,631	2,834	2,334	1,964	1,677	1,495	1,364	1,236	1,158	1,021	1,021
2,7	5,724	4,035	3,070	2,598	2,145	1,823	1,620	1,524	1,340	1,232	1,110	1,110
2,8	6,264	4,368	3,362	2,730	2,325	1,990	1,795	1,643	1,454	1,311	1,201	1,201
2,9	6,904	4,608	3,678	3,032	2,542	2,129	1,936	1,746	1,527	1,420	1,265	1,265
3,0	7,536	5,295	3,988	3,321	2,775	2,288	2,097	1,891	1,665	1,541	1,337	1,337
3,1	8,428	5,641	4,422	3,608	3,001	2,522	2,318	2,097	1,806	1,577	1,455	1,455
3,2	9,299	6,422	4,791	3,979	3,239	2,732	2,468	2,192	1,903	1,731	1,447	1,447
3,3	10,120	6,970	5,234	4,289	3,515	2,934	2,590	2,311	2,062	1,850	1,644	1,644

Tabla 3.16 Resultados experimentales para la pila tipo 3 a lo largo de la misma  $\rightarrow d=10$  cm

H/H <sub>0</sub> + 1	valores de $\eta/H + 1$											
	H/H <sub>0</sub>	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,90	1,10	1,19	1,25	1,33	1,50
1.1	0.173	0.219	0.258	0.262	0.271	0.252	0.244	0.230	0.212	0.208	0.185	
1.2	0.316	0.321	0.329	0.351	0.342	0.306	0.304	0.297	0.289	0.256	0.241	
1.3	0.458	0.441	0.427	0.419	0.404	0.375	0.364	0.348	0.321	0.313	0.287	
1.4	0.627	0.568	0.529	0.498	0.479	0.432	0.420	0.408	0.376	0.358	0.332	
1.5	0.858	0.760	0.740	0.595	0.559	0.506	0.497	0.469	0.426	0.414	0.382	
1.6	1.062	0.868	0.764	0.692	0.641	0.573	0.551	0.527	0.486	0.462	0.423	
1.7	1.311	1.054	0.967	0.806	0.730	0.654	0.624	0.592	0.536	0.519	0.481	
1.8	1.604	1.228	1.044	0.928	0.837	0.721	0.707	0.663	0.604	0.581	0.525	
1.9	1.869	1.420	1.196	1.065	0.941	0.825	0.771	0.725	0.664	0.644	0.582	
2.0	2.218	1.655	1.355	1.179	1.056	0.919	0.869	0.812	0.739	0.708	0.640	
2.1	2.591	1.865	1.538	1.344	1.175	1.022	0.974	0.937	0.817	0.779	0.702	
2.2	3.027	2.189	1.751	1.516	1.321	1.141	1.078	0.993	0.893	0.860	0.775	
2.3	3.480	2.489	1.978	1.681	1.456	1.262	1.170	1.099	0.960	0.931	0.843	
2.4	3.960	2.832	2.231	1.875	1.613	1.393	1.304	1.192	1.034	1.002	0.905	
2.5	4.465	3.180	2.462	2.037	1.794	1.533	1.442	1.320	1.157	1.115	1.009	
2.6	4.991	3.523	2.729	2.290	1.975	1.689	1.551	1.417	1.304	1.229	1.102	
2.7	5.542	3.865	2.991	2.527	2.153	1.832	1.704	1.566	1.400	1.329	1.191	
2.8	6.129	4.243	3.302	2.735	2.345	1.985	1.753	1.707	1.512	1.424	1.281	
2.9	6.685	4.706	3.604	3.004	2.561	2.153	1.998	1.846	1.636	1.535	1.370	
3.0	7.364	5.192	3.920	3.272	2.769	2.341	2.173	1.984	1.777	1.665	1.490	
3.1	8.058	5.679	4.320	3.577	3.009	2.551	2.338	2.145	1.905	1.793	1.613	
3.2	8.742	6.153	4.694	3.864	3.261	2.751	2.540	2.331	2.065	1.931	1.708	
3.3	9.516	6.640	5.084	4.179	3.539	2.975	2.731	2.513	2.236	2.084	1.846	
3.4	10.244	7.174	5.507	4.516	3.809	3.193	2.933	2.683	2.391	2.231	1.990	
3.5	11.044	7.691	5.920	4.860	4.049	3.435	3.149	2.875	2.559	2.387	2.120	

Tabla 3.17 Resultados experimentales para la pila tipo 4 a lo largo de la misma ( $H_0=4.5$  cm)

M/Hd + 1	valores de 1/H + 1											
	H/Hd	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,90	1,00	1,10	1,25	1,30	1,50
1,1	0,348	0,368	0,354	0,352	0,345	0,324	0,311	0,298	0,296	0,275	0,254	
1,2	0,464	0,459	0,432	0,418	0,399	0,377	0,353	0,349	0,333	0,321	0,299	
1,3	0,649	0,570	0,498	0,474	0,425	0,420	0,400	0,385	0,370	0,340	0,293	
1,4	0,838	0,703	0,596	0,547	0,520	0,486	0,449	0,434	0,413	0,330	0,267	
1,5	1,111	0,662	0,474	0,627	0,589	0,541	0,493	0,480	0,446	0,433	0,406	
1,6	1,336	1,043	0,814	0,734	0,671	0,601	0,553	0,525	0,495	0,478	0,447	
1,7	1,704	1,262	0,941	0,839	0,759	0,669	0,618	0,570	0,543	0,512	0,484	
1,8	1,954	1,459	1,152	0,999	0,835	0,751	0,674	0,625	0,599	0,559	0,527	
1,9	2,276	1,673	1,282	1,127	0,953	0,821	0,757	0,716	0,654	0,625	0,586	
2,0	2,689	1,911	1,454	1,242	1,053	0,931	0,847	0,787	0,719	0,681	0,631	
2,1	2,966	2,154	1,614	1,392	1,168	1,017	0,927	0,852	0,786	0,736	0,675	
2,2	3,364	2,446	1,831	1,531	1,298	1,111	1,014	0,948	0,869	0,810	0,751	
2,3	3,796	2,713	2,050	1,632	1,427	1,210	1,110	1,036	0,936	0,886	0,826	
2,4	4,244	3,022	2,274	1,837	1,552	1,341	1,217	1,132	1,023	0,968	0,904	
2,5	4,692	3,324	2,558	1,952	1,754	1,451	1,279	1,217	1,124	1,053	0,989	
2,6	5,188	3,668	2,794	2,322	1,901	1,693	1,439	1,326	1,134	1,136	1,010	
2,7	5,708	4,030	2,962	2,527	2,091	1,773	1,575	1,442	1,220	1,251	1,055	
2,8	6,236	4,397	3,292	2,792	2,259	1,908	1,644	1,568	1,410	1,345	1,130	
2,9	6,836	4,835	3,670	3,031	2,517	2,097	1,771	1,659	1,517	1,431	1,155	
3,0	7,536	5,295	4,052	3,319	2,785	2,340	1,944	1,841	1,664	1,527	1,251	
3,1	8,414	5,827	4,518	3,647	3,061	2,430	2,055	1,931	1,741	1,657	1,406	
3,2	9,224	6,349	4,896	3,948	3,266	2,661	2,199	2,049	1,819	1,739	1,480	
3,3	10,104	6,941	5,282	4,269	3,499	2,878	2,327	2,141	1,824	1,741	1,481	

Tabla 3.11: Resultados experimentales para la cilla tipo 4 a lo largo de la línea (Hd=10 cm)

X/Hd + 1	valores de $v/H + 1$										
	H/Hd	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33
1.1	0.422	0.387	0.333	0.303	0.288	0.264	0.277	0.262	0.280	0.256	0.274
1.2	0.555	0.489	0.400	0.374	0.345	0.316	0.317	0.303	0.315	0.289	0.303
1.3	0.706	0.609	0.488	0.446	0.404	0.367	0.362	0.343	0.351	0.323	0.333
1.4	0.929	0.711	0.600	0.535	0.481	0.419	0.411	0.383	0.386	0.365	0.368
1.5	1.124	0.903	0.715	0.624	0.555	0.493	0.466	0.444	0.422	0.406	0.400
1.6	1.373	1.071	0.844	0.749	0.650	0.567	0.533	0.505	0.475	0.440	0.437
1.7	1.666	1.258	0.977	0.839	0.748	0.642	0.604	0.565	0.528	0.490	0.481
1.8	1.933	1.456	1.155	0.982	0.837	0.728	0.677	0.626	0.582	0.540	0.525
1.9	2.271	1.684	1.328	1.125	0.955	0.814	0.766	0.697	0.644	0.599	0.577
2.0	2.635	1.906	1.506	1.268	1.074	0.913	0.855	0.777	0.706	0.657	0.629
2.1	3.000	2.183	1.688	1.410	1.222	1.037	0.944	0.867	0.786	0.741	0.688
2.2	3.444	2.471	1.911	1.589	1.340	1.135	1.055	0.959	0.875	0.824	0.755
2.3	3.933	2.801	2.133	1.768	1.518	1.271	1.166	1.060	0.955	0.899	0.814
2.4	4.422	3.138	2.400	1.982	1.681	1.407	1.288	1.171	1.053	0.974	0.888
2.5	4.955	3.522	2.666	2.196	1.859	1.543	1.422	1.292	1.151	1.058	0.963
2.6	5.497	3.906	2.977	2.429	2.051	1.703	1.555	1.414	1.257	1.158	1.051
2.7	6.182	4.333	3.280	2.693	2.259	1.876	1.700	1.545	1.373	1.275	1.140
2.8	6.822	4.783	3.600	2.965	2.466	2.046	1.866	1.686	1.497	1.392	1.237
2.9	7.480	5.228	3.946	3.232	2.703	2.246	2.033	1.838	1.631	1.509	1.348
3.0	8.244	5.714	4.311	3.511	2.937	2.444	2.211	1.989	1.753	1.626	1.457
3.1	8.946	6.213	4.666	3.804	3.204	2.654	2.411	2.181	1.906	1.776	1.570
3.2	9.684	6.723	5.066	4.126	3.444	2.864	2.611	2.343	2.057	1.910	1.703
3.3	10.475	7.276	5.444	4.436	3.711	3.086	2.811	2.525	2.217	2.061	1.829
3.4	11.337	7.816	5.866	4.769	3.992	3.308	3.033	2.717	2.460	2.219	1.963
3.5	12.012	8.321	6.204	5.002	4.102	3.657	3.300	2.987	2.756	2.438	2.049

Tabla 3.19 Resultados experimentales para el perfil de la superficie libre sin pilas (Hd=4.5 cm)

#### IV) PRESENTACION DE RESULTADOS.

En este capítulo se presenta el procesamiento de los datos experimentales.

Para los casos al centro del cimacio sin pilas y al centro del claro entre pilas se observó que los resultados experimentales siguen una tendencia muy definida por lo que se ajustaron a las ecuaciones que se mostrarán en el presente capítulo. Estos ajustes se efectuaron por medio del método de los mínimos cuadrados como se explica en el *apéndice B*.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se llevaron a cabo pruebas al centro del claro entre pilas y a lo largo de las pilas; asimismo anteriormente se obtuvieron resultados al centro del cimacio sin pilas (ref.4). En aquella ocasión solo se trabajó con el cimacio de carga de diseño de 4.5 cm. es por ello que para este caso no se presentan resultados experimentales para  $H_d=10$  cm. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada caso.

#### 4.1) TIRANTE CORRESPONDIENTE A LA CRESTA VERTEDORA.

Se observó que las relaciones  $\frac{Y_{cresta}}{H_d}$  y  $\frac{H}{H_d}$  guardan una relación lineal entre sí. En las tablas 4.1 y 4.2 se presentan los resultados experimentales obtenidos. El signo (-) se debe al sistema coordenado utilizado (Gráfica 4.1)

Se observó que no existe una dispersión considerable para el tirante medido en la cresta para los distintos tipos de pila y sin pilas, al centro del claro. Por ello, se decidió procesar estos resultados en forma conjunta; así, con los 99 pares de datos mostrados en las tablas 4.1 y 4.2 se procedió a efectuar un ajuste lineal general para  $\frac{H}{H_d}$  vs  $\frac{Y_{cresta}}{H_d}$ , obteniéndose la siguiente ecuación, con coeficiente de correlación de 0.998 :

$$Y_{cresta} = - 0.8 H \dots (4.0)$$

Donde :

$Y_{cresta}$  - Tirante correspondiente a la cresta vertedora.

H - Carga de operación.

En la tabla 4.3 se presenta la tabulación de esta ecuación. La gráfica 4.1 muestra su representación gráfica, los puntos experimentales y los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (CFED). En esta figura puede apreciarse la dispersión existente.

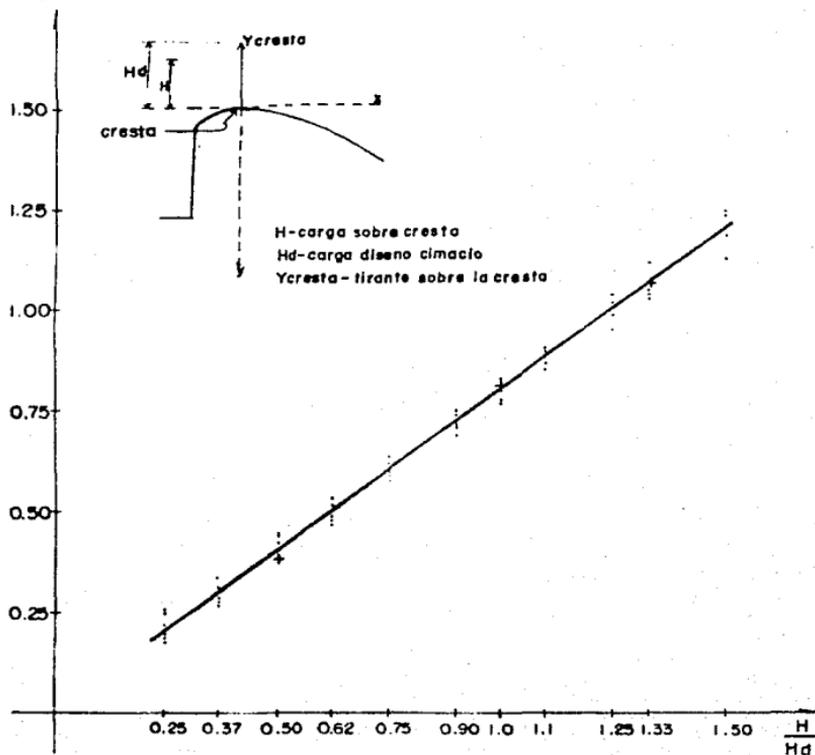
$\frac{H}{H_d}$	$-\left(\frac{Y_{cresta}}{H_d}\right)$				
	Pila 1	Pila 2	Pila 3	Pila 4	Sin pila
0.25	0.193	0.205	0.243	0.246	0.175
0.37	0.306	0.291	0.329	0.329	0.258
0.50	0.415	0.400	0.436	0.425	0.365
0.62	0.509	0.510	0.525	0.511	0.455
0.75	0.597	0.598	0.627	0.609	0.567
0.90	0.718	0.711	0.739	0.735	0.700
1.00	0.798	0.802	0.820	0.820	0.767
1.10	0.867	0.885	0.873	0.893	0.845
1.25	0.975	0.990	1.025	1.003	0.945
1.33	1.032	1.044	1.067	1.067	1.023
1.50	1.173	1.176	1.195	1.199	1.124

Tabla 4.1 Resultados experimentales para  $H_d=4.5$  cm.

$\frac{H}{H_d}$	$-\left(\frac{Y_{cresta}}{H_d}\right)$			
	Pila 1	Pila 2	Pila 3	Pila 4
0.25	0.166	0.201	0.191	0.200
0.37	0.270	0.276	0.294	0.283
0.50	0.380	0.373	0.381	0.394
0.62	0.460	0.473	0.476	0.474
0.75	0.579	0.563	0.501	0.593
0.90	0.690	0.734	0.713	0.728
1.00	0.755	0.800	0.795	0.801
1.10	0.851	0.894	0.891	0.897
1.25	0.994	1.031	1.000	1.011
1.33	1.061	1.114	1.064	1.083
1.50	1.211	1.238	1.208	1.230

Tabla 4.2 Resultados experimentales para  $H_d=10$  cm.

$-\left(\frac{Y_{\text{cresta}}}{H_d}\right)$



$H$ -carga sobre cresta  
 $H_d$ -carga diseño cimacio  
 $Y_{\text{cresta}}$ -tirante sobre la cresta

• Puntos experimentales  
+ C.F.E.  
— Ajuste

$$Y_{\text{cresta}} = -0.8H$$

GRAFICA 4.1

$\frac{H}{H_d}$	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00	1.10	1.25	1.33	1.50
$-\frac{Y_{cresta}}{H_d}$	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.72	0.80	0.88	1.00	1.06	1.20

Tabla 4.3 Tabulación de la ecuación para tirante en la cresta.

#### 4.2) PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE AL CENTRO DEL CIMACIO SIN PILAS.

Se observó que los resultados experimentales para este caso presentan una tendencia muy definida como lo muestra la gráfica 4.2. por lo que se efectuaron ajustes de datos. obteniéndose lo siguiente:

Para relaciones  $\frac{H}{H_d} \leq 1$  se logró un ajuste de tipo potencial de la forma:

$$\frac{Y}{H} + 1 = K_1 \left[ \frac{X}{H_d} + 1 \right]^{N_1} \dots \dots (4.b)$$

donde  $K_1$  y  $N_1$  varían también en forma potencial con relación a  $\frac{H}{H_d}$ , de la siguiente manera:

$$K_1 = A \left[ \frac{H}{H_d} \right]^B ; \quad N_1 = C \left[ \frac{H}{H_d} \right]^D \dots \dots (4.b.r)$$

De los ajustes efectuados, se obtuvo:

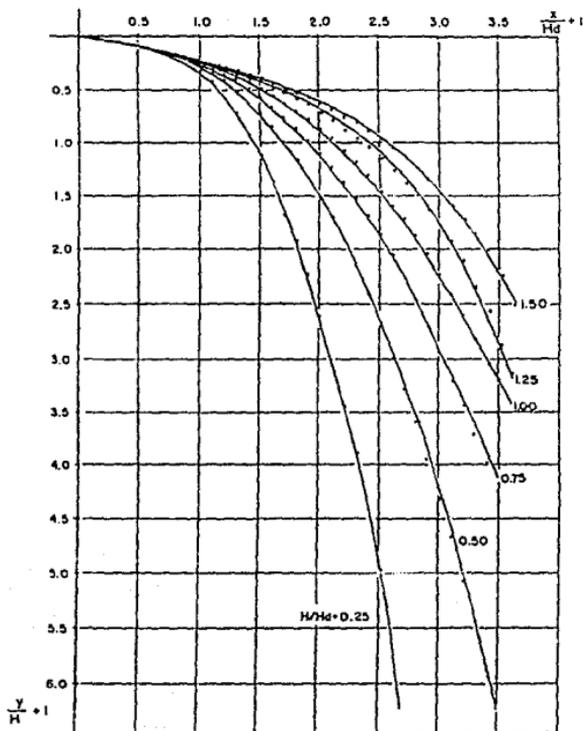
$$A = 0.197176; \quad B = -0.39224; \quad C = 2.19883; \quad D = -0.20651$$

Para relaciones  $\frac{H}{H_d} > 1$  se llegó a un ajuste de tipo exponencial de la forma:

$$\frac{Y}{H} + 1 = K_2 e^{N_2 \left[ \frac{X}{H_d} + 1 \right]} \dots \dots (4.c)$$

donde  $K_2$  y  $N_2$  varían también en forma exponencial en relación de  $\frac{H}{H_d}$  de la siguiente manera:

GRAFICA 4.2



TENDENCIA DE LOS VALORES EXPERIMENTALES  
PARA DISTINTAS RELACIONES  $H/Hd$ .

$$K_2 = a e^{b \left( \frac{H}{H_d} \right)}; N_2 = c e^{d \left( \frac{H}{H_d} \right)} \dots \dots (4.c.r)$$

De los ajustes se obtuvo:

$$a = 0.061804; \quad b = 0.383805; \quad c = 1.59751; \quad d = -0.408022$$

Las tablas C.1 y C.2 del *apéndice C* muestran las tabulaciones de las ecuaciones 4.b y 4.c respectivamente, y en las *gráficas 4.3 y 4.4* se presentan las curvas obtenidas por medio de los ajustes anteriores, los puntos experimentales y los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (CFE) con objeto de observar la dispersión existente.

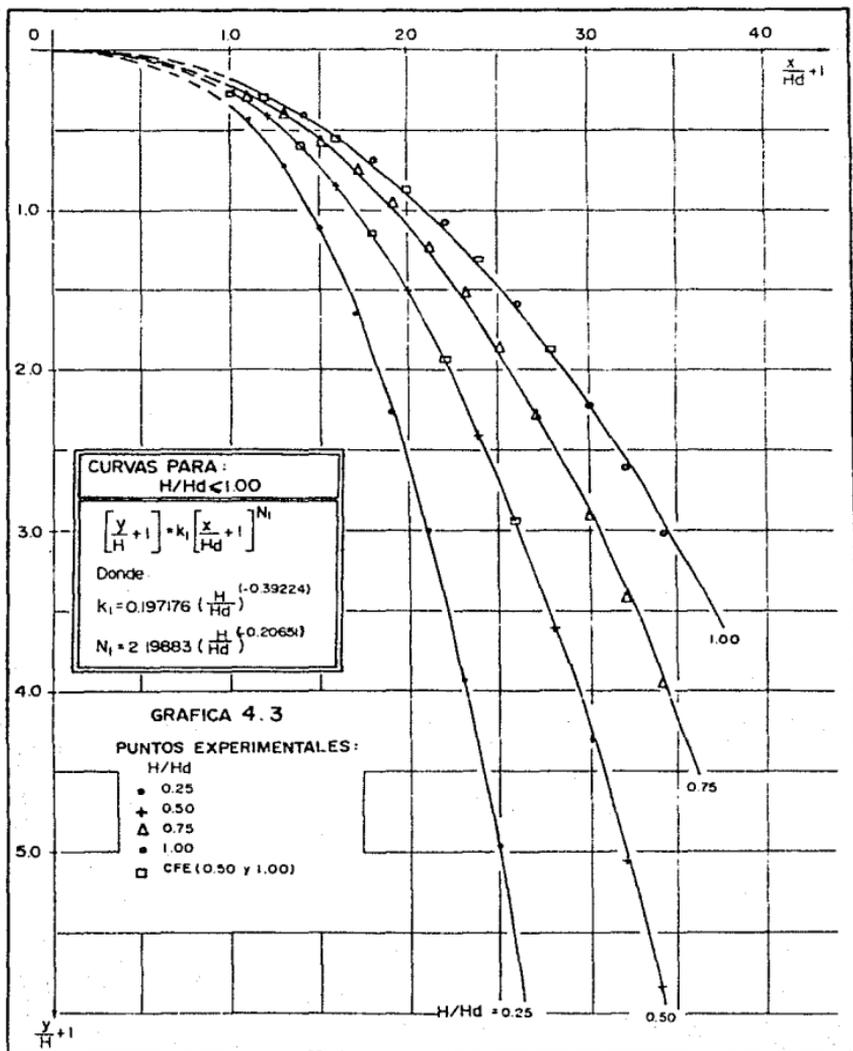
En resumen, para calcular el perfil de la superficie libre del agua al centro de un cimacio tipo Creager con cualquier condición de carga, se procede de la siguiente manera:

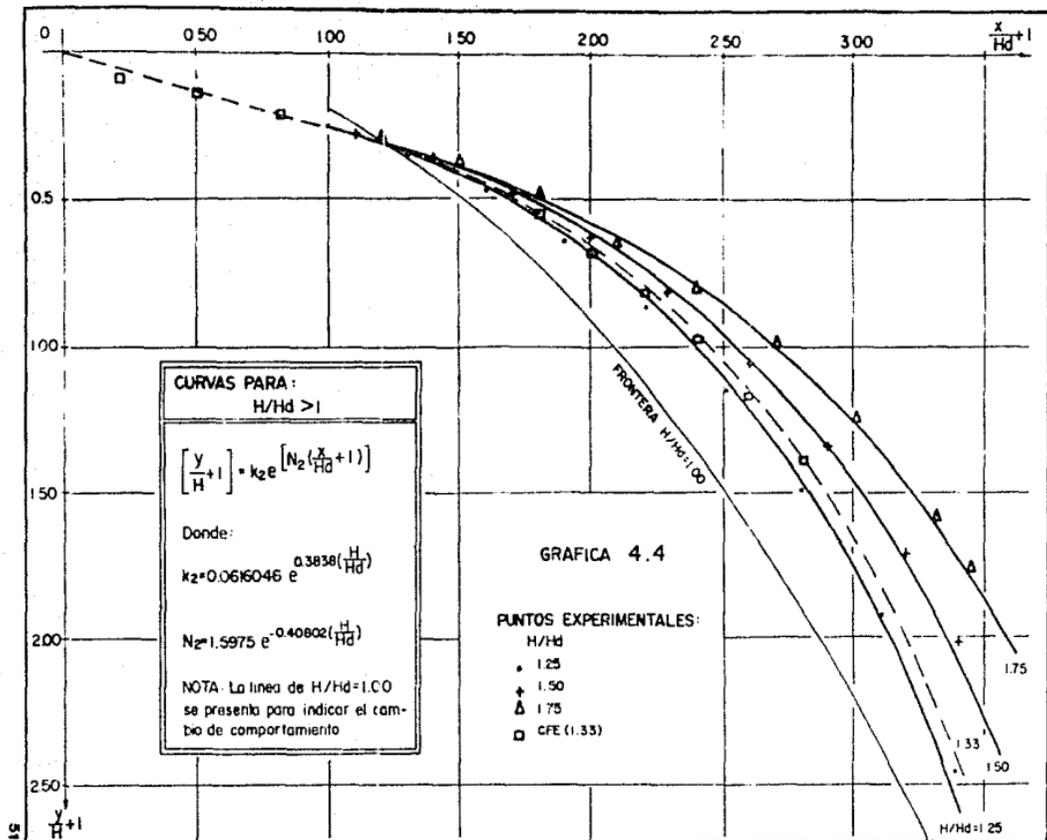
- 1.- Conocida  $H_d$  y la carga  $H$  sobre el cimacio, se calcula  $\frac{H}{H_d}$
- 2.- Si  $\frac{H}{H_d} \leq 1$  se utilizan las *ecuaciones (4.b.r)* para calcular los valores de  $K_1$  y  $N_1$ . Se proponen valores de  $(x)$  y con la *ecuación (4.b)* se calculan los valores de  $(y)$ , obteniendo así las coordenadas del perfil de la superficie libre.

Si  $\frac{H}{H_d} > 1$  se utilizan las *ecuaciones (4.c)* y *(4.c.r)* y se procede análogamente.

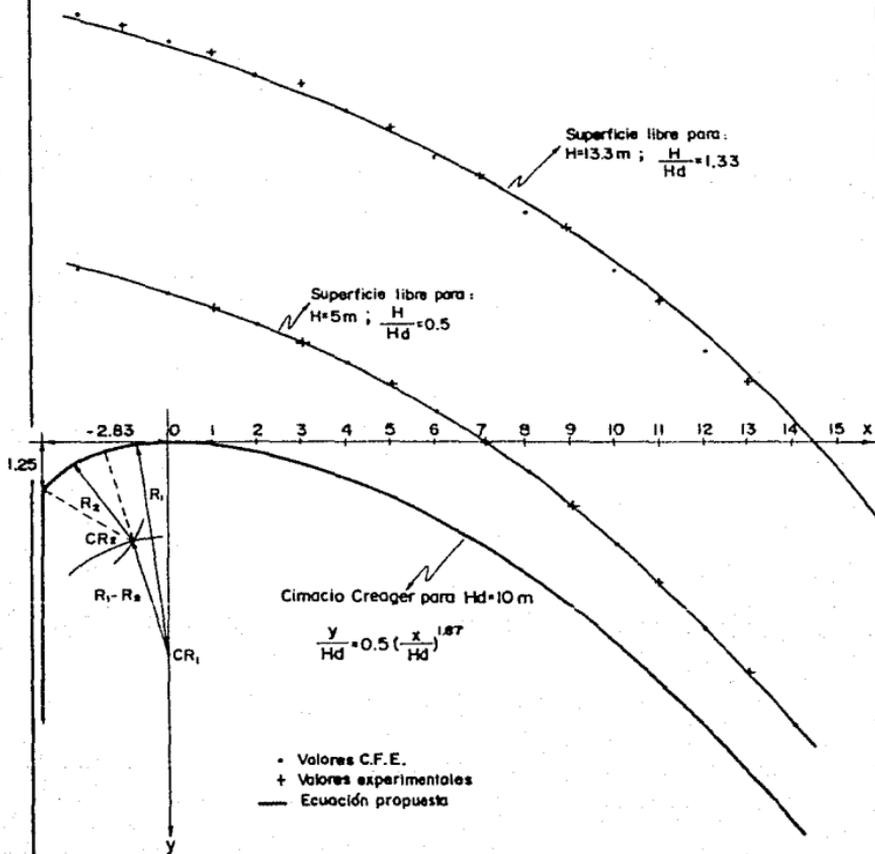
Como ejemplo de aplicación se calcularán los perfiles sobre un cimacio de 10 m de carga de diseño, la primera con  $H=5$  m y la segunda para  $H=13.3$  m. En la *gráfica 4.5* se muestran los resultados obtenidos y se comparan con los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos.

Para el primer caso:  $H_d=10$  m y  $H=5$  m por lo que  $\frac{H}{H_d}=0.5$  que es





GRAFICA 4.5



menor a uno, por lo tanto aplicando las ecuaciones (4.b.1) se tiene:

$$K_1 = 0.197176 (0.5)^{-0.30224} = 0.258779$$

$$K_2 = 2.198830 (0.5)^{-0.20091} = 2.537210$$

y tabulando la ecuacion (4.b) para cada (x) :  $Y=H \left[ K_1 \left( \frac{X}{Hd} + 1 \right)^{N_1} - 1 \right]$

X (m)	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Y (m)	-3.70	-3.35	-2.94	-1.96	-1.38	-0.74	-0.03	0.75	1.59	2.51

En el segundo caso : Hd=10 m y H=13.3 m por lo que  $\frac{H}{Hd} = 1.33$  que es mayor a uno; por lo tanto, aplicando las ecuaciones (4.c.1) se tiene:

$$K_2 = 0.081004 e^{0.388005(1.33)} = 0.102636$$

$$N = 1.597510 e^{-0.40802(1.33)} = 0.928464$$

y tabulando la ecuacion (4.c) para cada (x) :  $Y=H \left[ K_2 e^{N_2 \left( \frac{X}{Hd} + 1 \right)} - 1 \right]$

X (m)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10.0	14.0	18.0
Y (m)	-9.84	-9.51	-9.14	-8.74	-8.29	-7.27	-8.04	-4.56	-0.63	5.07

#### 4.3) PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN CIMACIOS CON PILAS.

##### 4.3.1) PERFIL AL CENTRO DEL CLARO ENTRE PILAS.

Al igual que al centro del cimacio sin pilas, en este caso los

resultados experimentales también presentan una tendencia muy definida, por lo que se efectuaron ajustes de datos similares. Así, con 46 parejas de datos (provenientes de las pruebas efectuadas en los dos cimacios) para cada relación  $\frac{H}{H_d}$ , se logró un ajuste de tipo potencial, como el siguiente:

$$\frac{Y}{H} + 1 = K_1 \left( \frac{X}{H_d} + 1 \right)^{N_1} \dots\dots (4.d)$$

En las tablas 4.4 a 4.7 se presentan los valores de  $K_1$  y  $N_1$  obtenidos para cada tipo de pila por medio de los ajustes mencionados.

$\frac{H}{H_d}$	$K_1$	$N_1$
0.25	0.323	2.899
0.37	0.252	2.789
0.50	0.218	2.669
0.62	0.214	2.502
0.75	0.202	2.393
0.90	0.194	2.275
1.00	0.174	2.252
1.10	0.179	2.132
1.25	0.181	2.022
1.33	0.174	1.999
1.50	0.168	1.904

Tabla 4.4 valores de  $K_1$  y  $N_1$  para la pila tipo 1

$\frac{H}{H_d}$	$K_1$	$N_1$
0.25	0.266	3.085
0.37	0.259	2.771
0.50	0.231	2.618
0.62	0.207	2.531
0.75	0.188	2.464
0.90	0.182	2.318
1.00	0.177	2.244
1.10	0.174	2.172
1.25	0.168	2.094
1.33	0.159	2.064
1.50	0.164	1.916

Tabla 4.5 valores de  $K_1$  y  $N_1$  para la pila tipo 2

$\frac{H}{H_d}$	$K_1$	$N_1$
0.25	0.240	3.181
0.37	0.222	2.908
0.50	0.202	2.728
0.62	0.198	2.561
0.75	0.181	2.475
0.90	0.174	2.342
1.00	0.174	2.252
1.10	0.179	2.132
1.25	0.161	2.107
1.33	0.168	2.009
1.50	0.169	1.880

Tabla 4.6 valores de  $K_1$  y  $N_1$  para la pila tipo 3.

$\frac{H}{H_d}$	$K_1$	$N_1$
0.25	0.217	3.277
0.37	0.221	2.911
0.50	0.202	2.725
0.62	0.200	2.545
0.75	0.184	2.456
0.90	0.169	2.363
1.00	0.165	2.275
1.10	0.159	2.214
1.25	0.156	2.098
1.33	0.153	2.045
1.50	0.152	1.926

Tabla 4.7 valores de  $K_1$  y  $N_1$  para la pila tipo 4.

Se encontró que  $K_1$  y  $N_1$  varían también en forma potencial con la relación  $\frac{H}{H_d}$  (Figura 4.1), de la siguiente manera:

$$K_1 = A \left( \frac{H}{H_d} \right)^B \quad ; \quad N_1 = C \left( \frac{H}{H_d} \right)^D \quad \dots (4.d.1)$$

Por lo que se procedió a efectuar ajustes de este tipo para

$K_1$  vs  $\frac{H}{H_d}$  y  $N_1$  vs  $\frac{H}{H_d}$  para cada tipo de pila. En estos ajustes se lograron coeficientes de correlación entre 0.985 y 0.990. En la tabla 4.8 se presentan los valores de A,B,C y D obtenidos en cada caso.

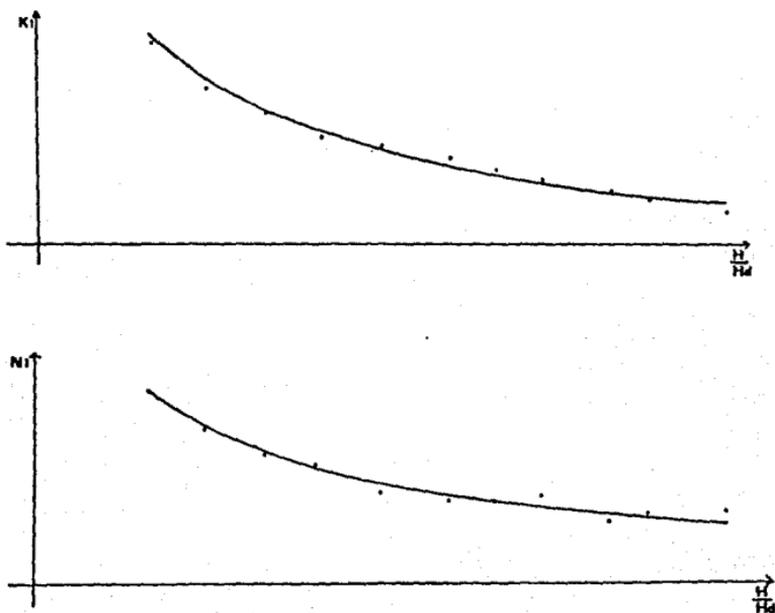


Fig. 4.2 Tendencia de  $K_1$  y  $N_1$  con respecto a  $\frac{H}{H_d}$

En resumen, se obtuvo una ecuación general para cada tipo de pila con la que se puede obtener el perfil de la superficie libre del agua para cualquier condición de carga. Con el fin de poder comparar los resultados experimentales con las ecuaciones propuestas, se presentan.

Pila	A	B	C	D
Tipo 1	0.1889	-0.3220	2.1731	-0.2455
Tipo 2	0.1788	-0.3168	2.2163	-0.2480
Tipo 3	0.1761	-0.2155	2.2131	-0.2828
Tipo 4	0.1670	-0.2428	2.2375	-0.2795

Tabla 4.8 valores de A,B,C y D para los distintos tipos de pila.

las gráficas 4.6 a 4.13. Para la pila tipo 2 se indican también los puntos propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (CFE).

En estas ecuaciones las parejas (X,Y) son las coordenadas del perfil de la superficie libre, considerando como origen la cresta vertedera y son válidas de  $-\frac{X}{H_d} + 1 = 1.1$  hasta el punto de tangencia del cimacio Creager con la rápida de descarga. La tabulación de estas ecuaciones se presenta en las tablas C.3 a C.6 del apéndice C.

Así, conocida la relación  $\frac{H}{H_d}$  y el tipo de pila, se procede a dar valores de X a la ecuación correspondiente, para obtener valores de Y.

A continuación, se presenta un ejemplo de aplicación para un cimacio de  $H_d = 10$  m, para tres condiciones de carga  $H=5, 10$  y  $13.3$  m con pilas tipo 2. En la gráfica 4.14, se muestran los resultados obtenidos, se indican en la misma los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (CFE) con el fin de poder compararlos.

El tirante correspondiente a la cresta (X=0) se obtiene con la ecuación (4.2) :  $Y_{cresta} = -0.8 H$

Como se trata de pilas tipo 2, de la tabla 4.8 y ecuaciones

C4.d.1), se tiene:

$$K_s = 0.1785 \left( \frac{H}{H_d} \right)^{-0.2108}$$

$$N_s = 2.2163 \left( \frac{H}{H_d} \right)^{0.2460}$$

Tabulando la ecuación C4.d) para todas las  $X > 0$  :

$$Y = H \left[ K_s \left[ \frac{X}{H_d} + 1 \right]^{N_s} - 1 \right]$$

Se tiene para  $\frac{H}{H_d} = 0.5$

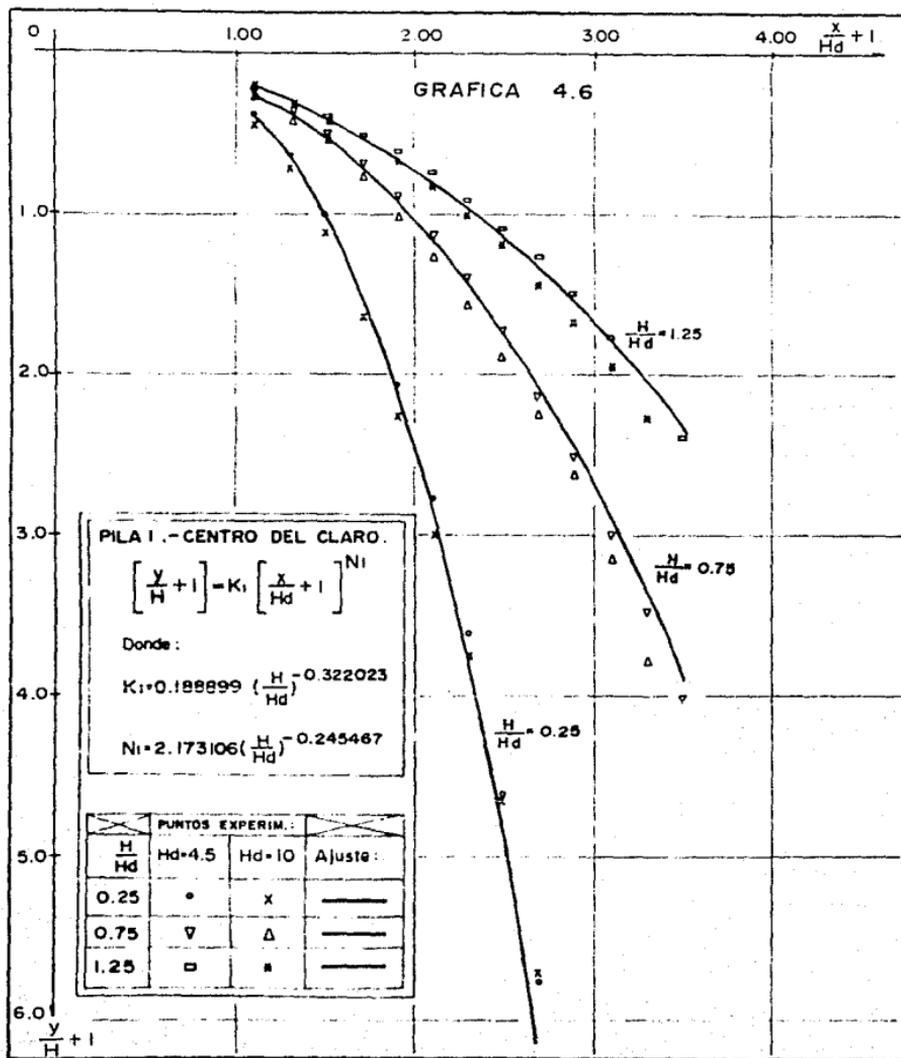
X (cm)	0.0	1.0	2.0	3.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Y (cm)	-4.0	-3.57	-3.20	-2.78	-1.77	-1.18	-0.51	0.21	1.01	1.88

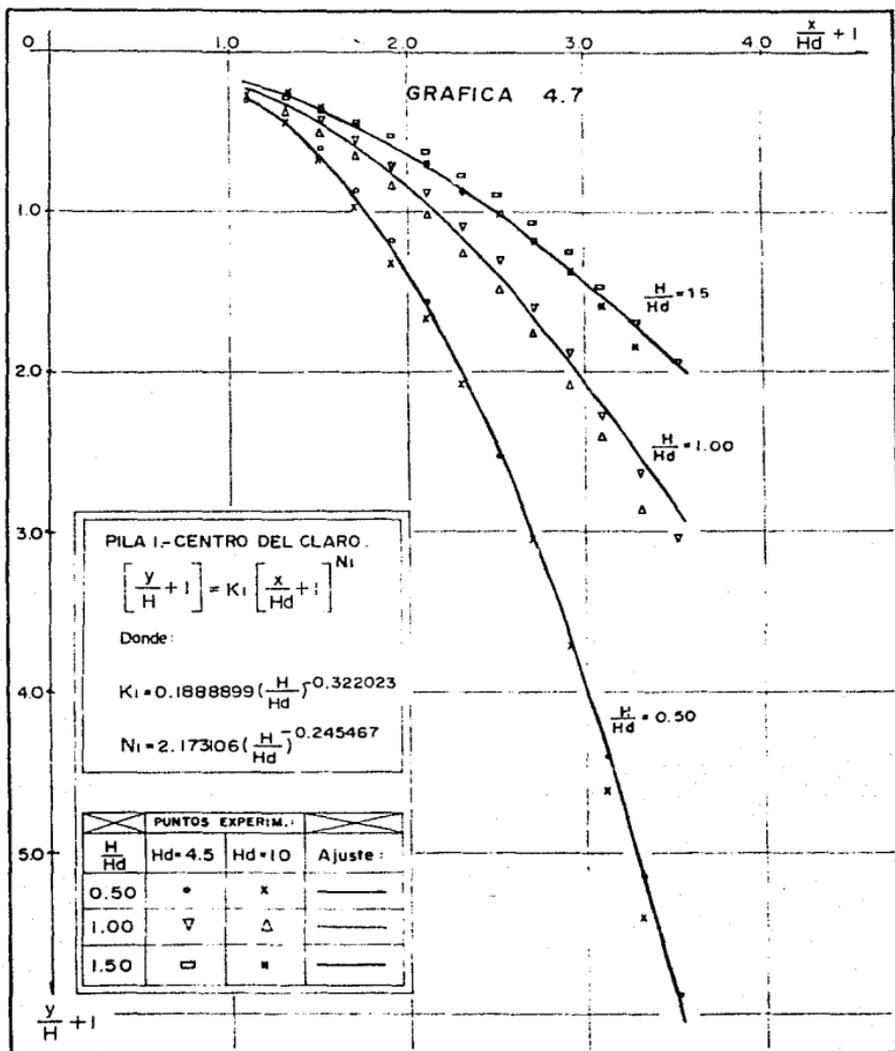
Para  $\frac{H}{H_d} = 1.0$

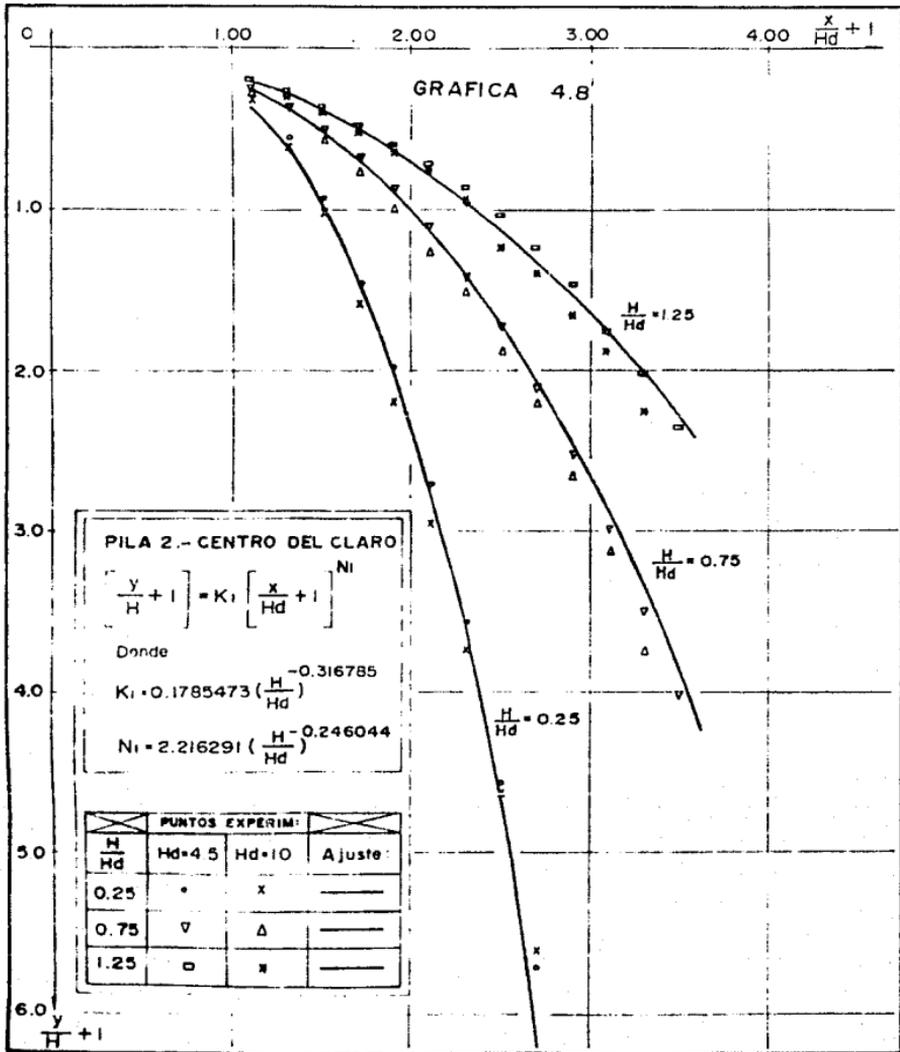
X (cm)	0.0	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	11.0	13.0	14.0
Y (cm)	-0.80	-7.79	-7.33	-6.24	-4.94	-3.43	-1.70	-0.75	1.31	2.43

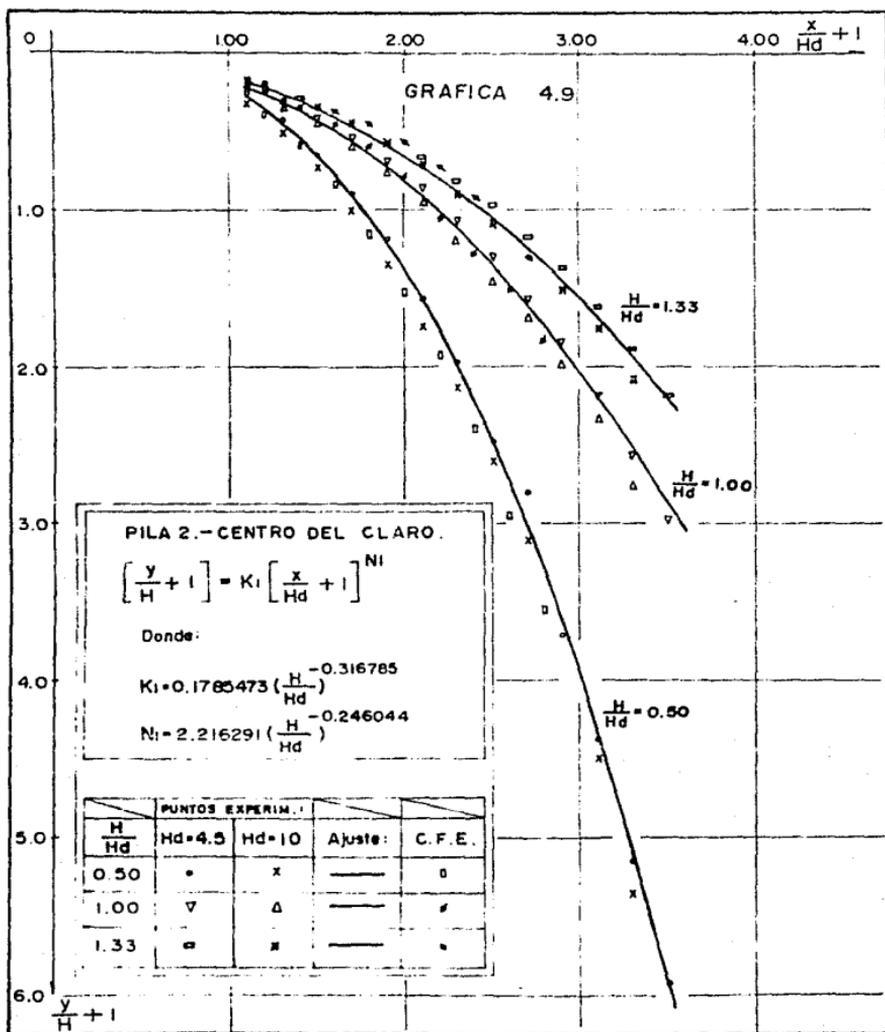
Para  $\frac{H}{H_d} = 1.33$

X (cm)	0.0	2.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	15.0
Y (cm)	-10.7	-10.2	-9.98	-8.31	-7.59	-6.02	-4.24	-2.25	-0.08	1.08

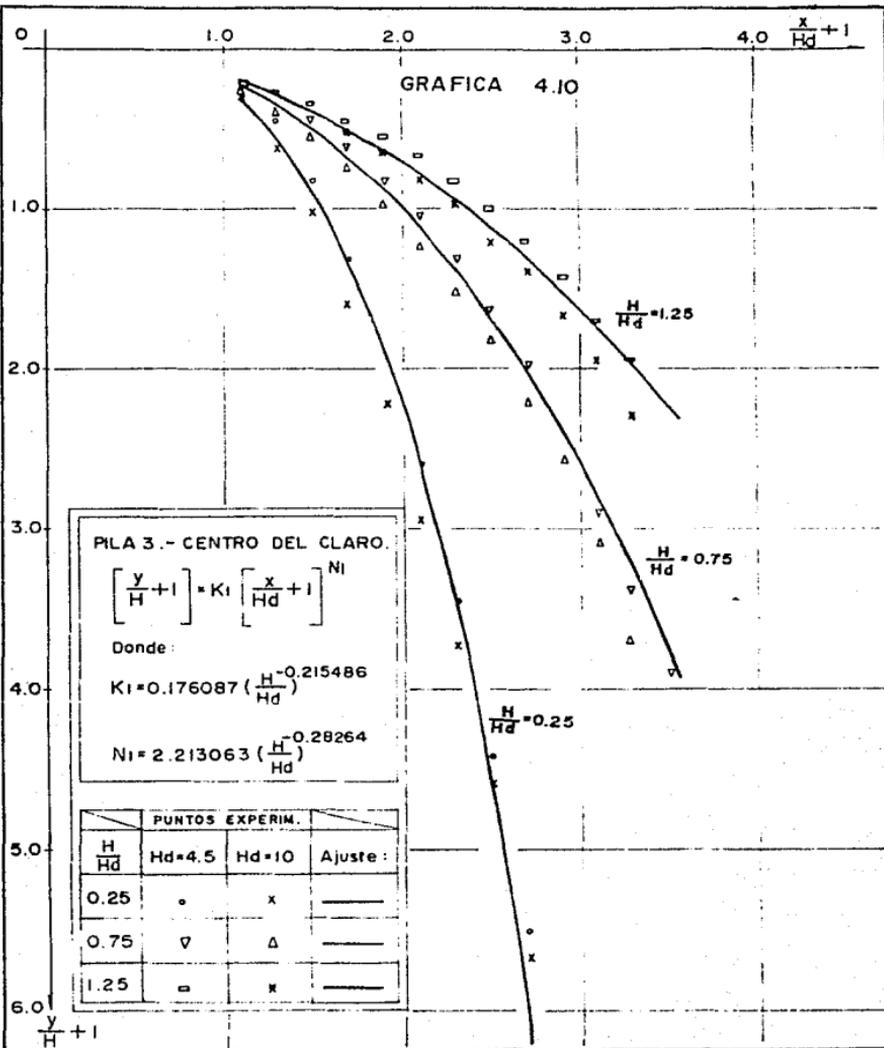


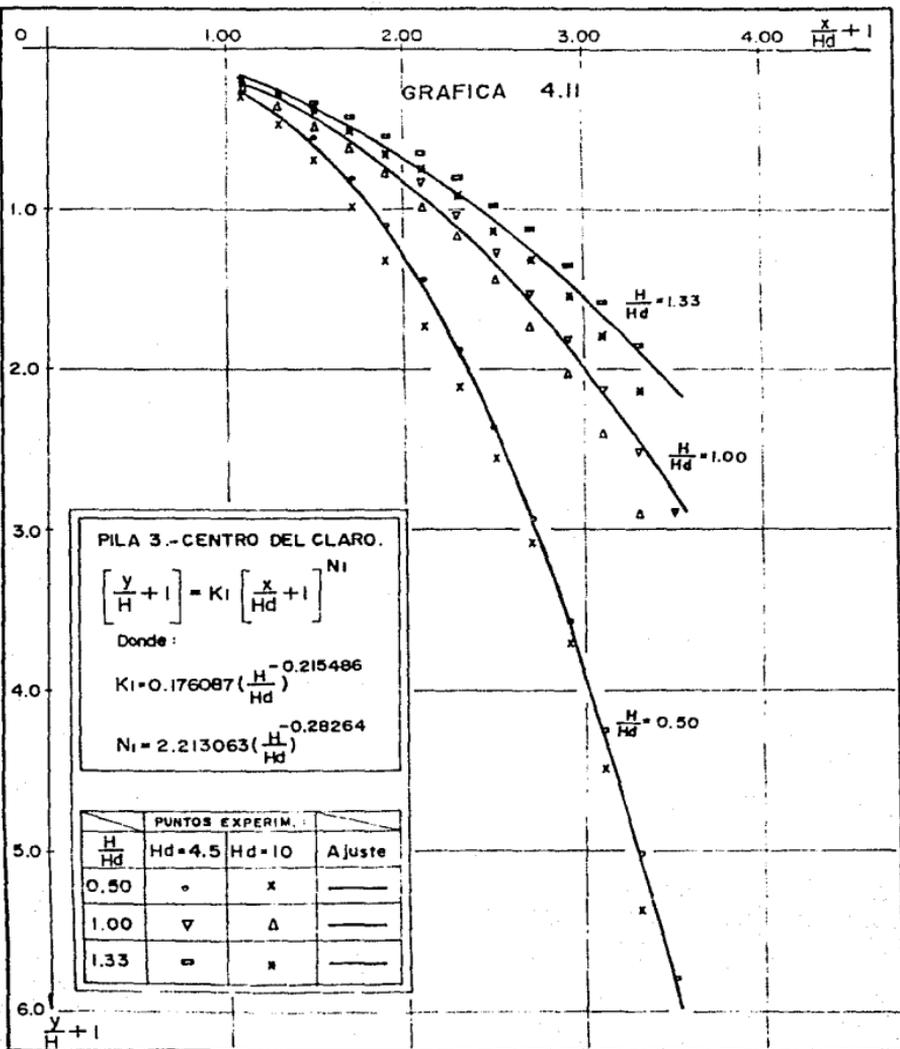


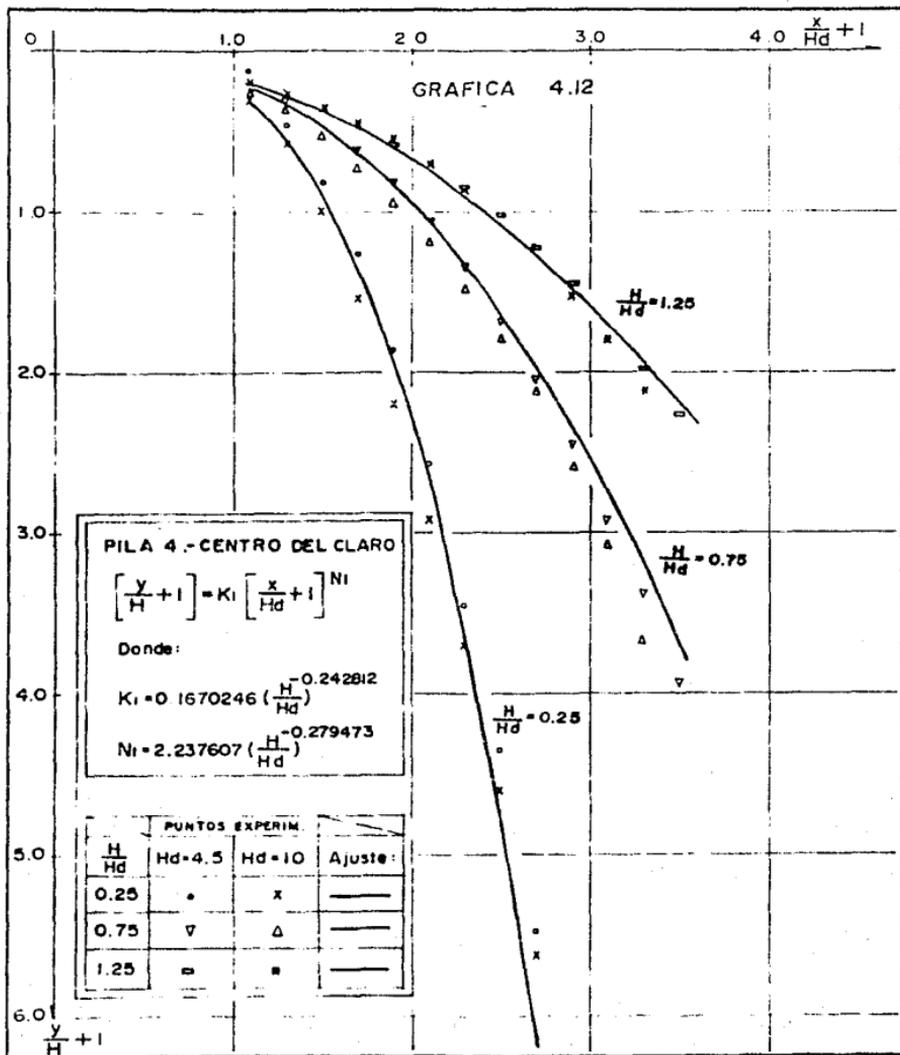


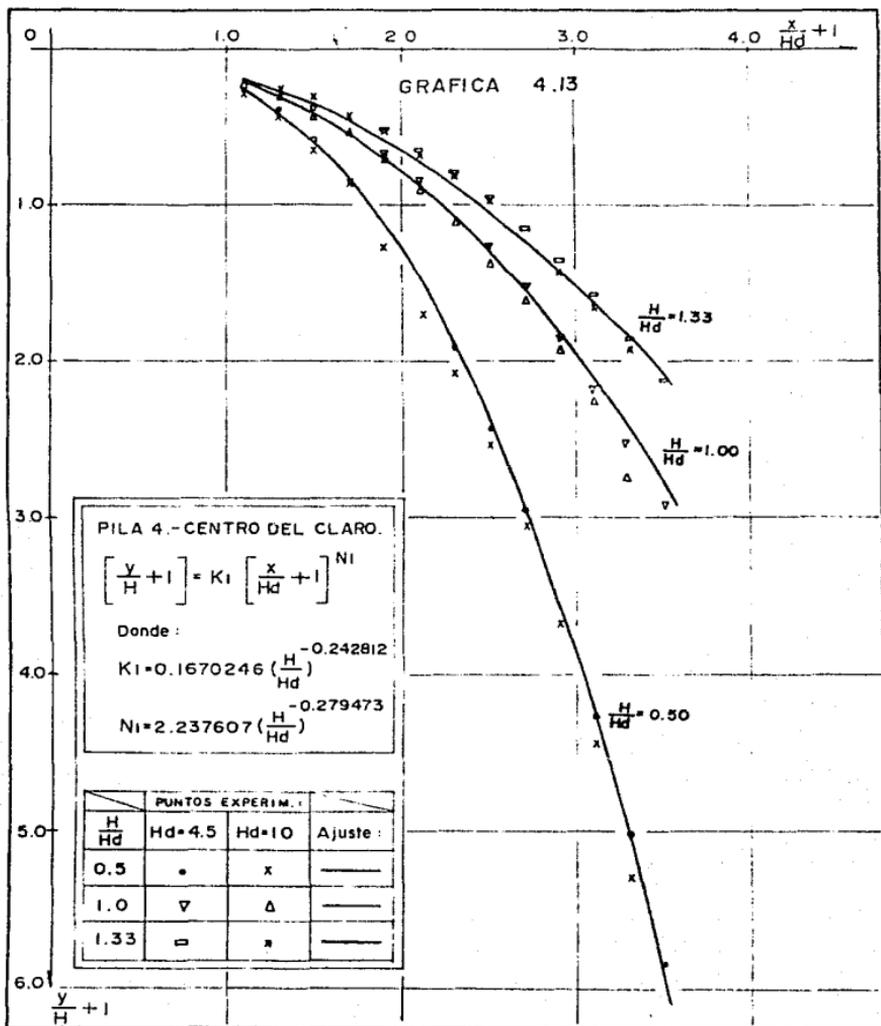


GRAFICA 4.10









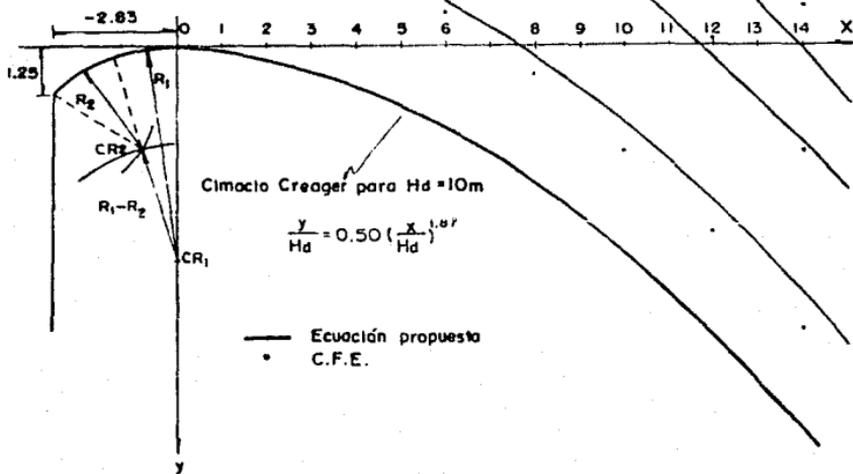
GRAFICA 4.14

SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA PARA:  
(con pilas tipo 2 al centro del claro.)

$$\frac{H}{H_d} = 1.33$$

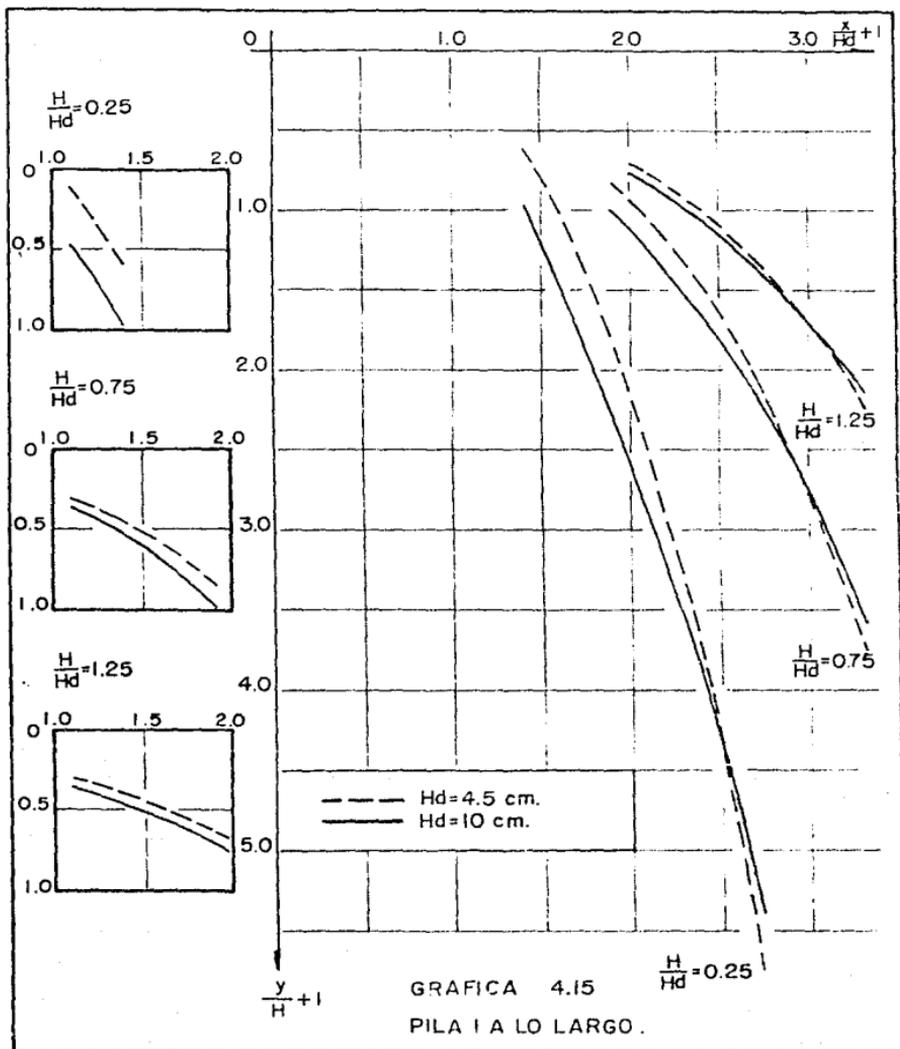
$$\frac{H}{H_d} = 1.00$$

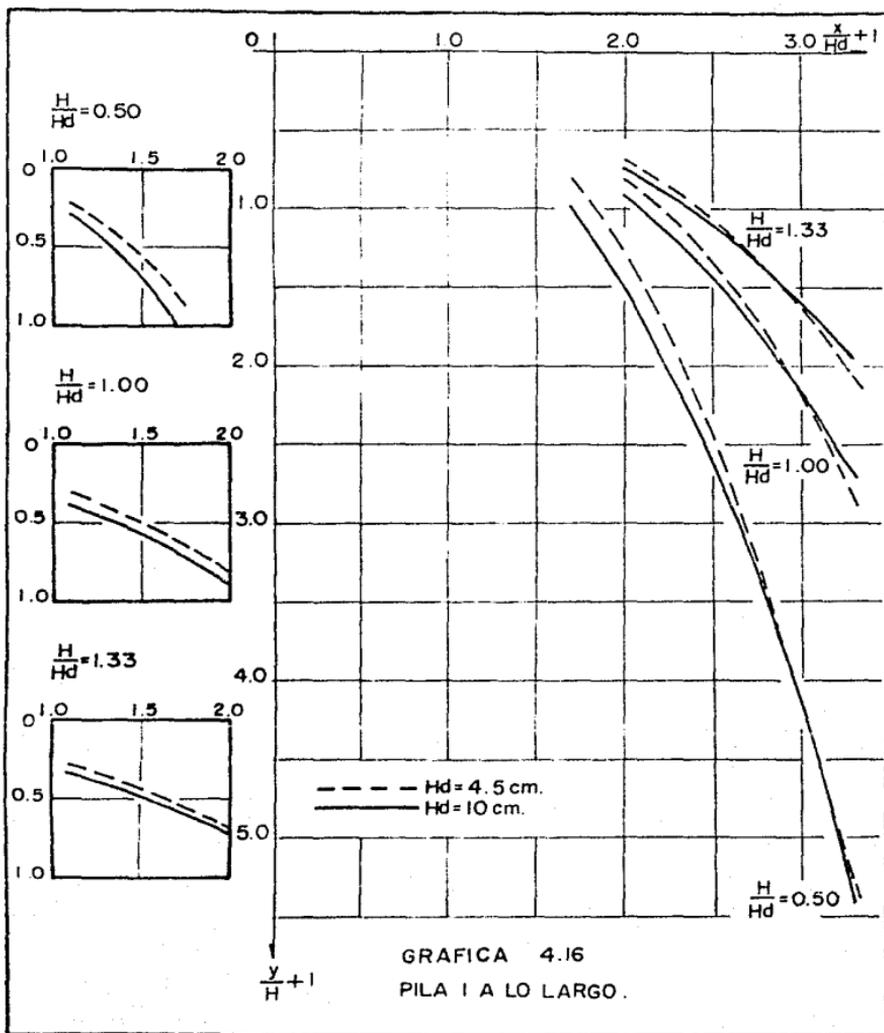
$$\frac{H}{H_d} = 0.50$$

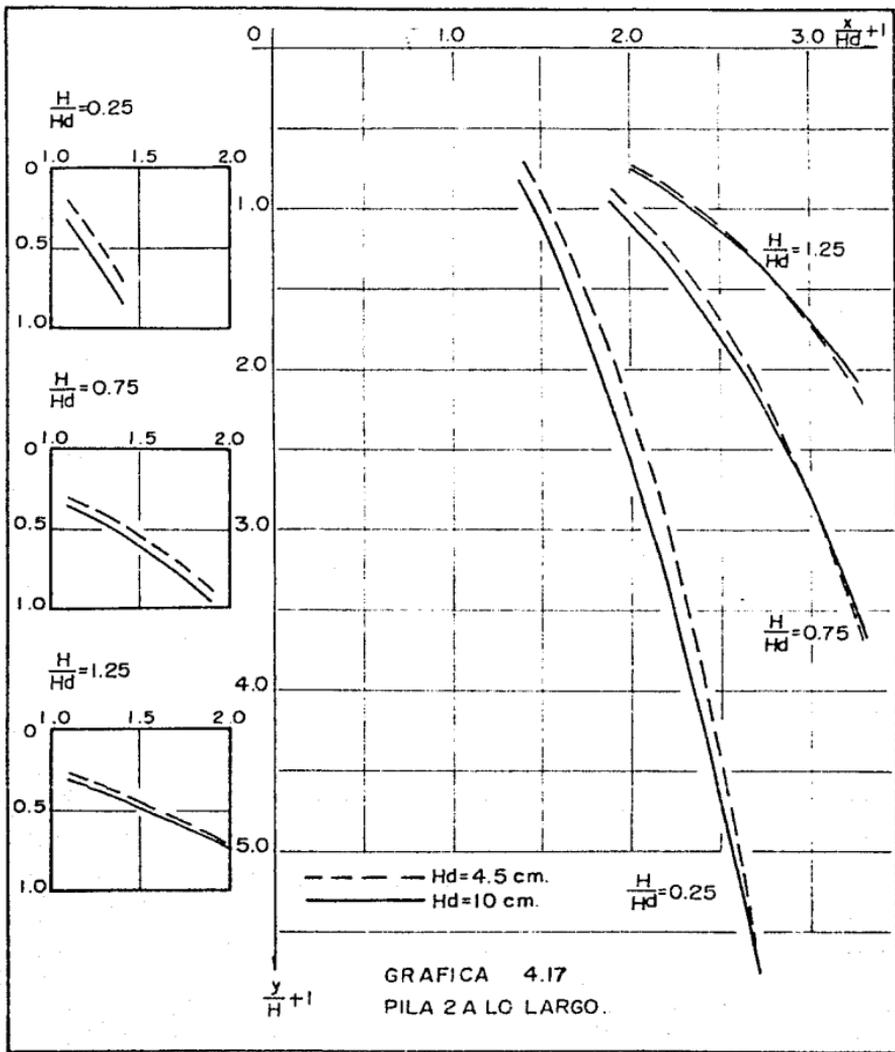


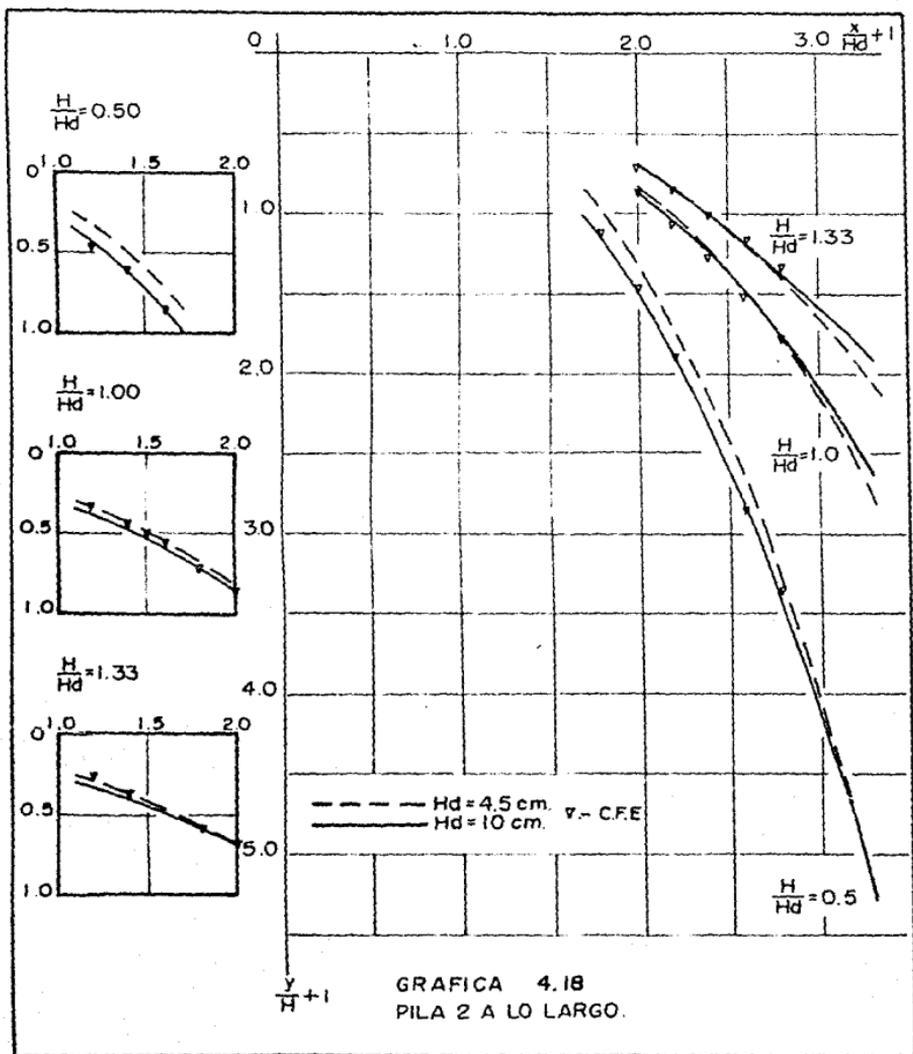
#### 4.3.1) PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE A LO LARGO DE LAS PILAS.

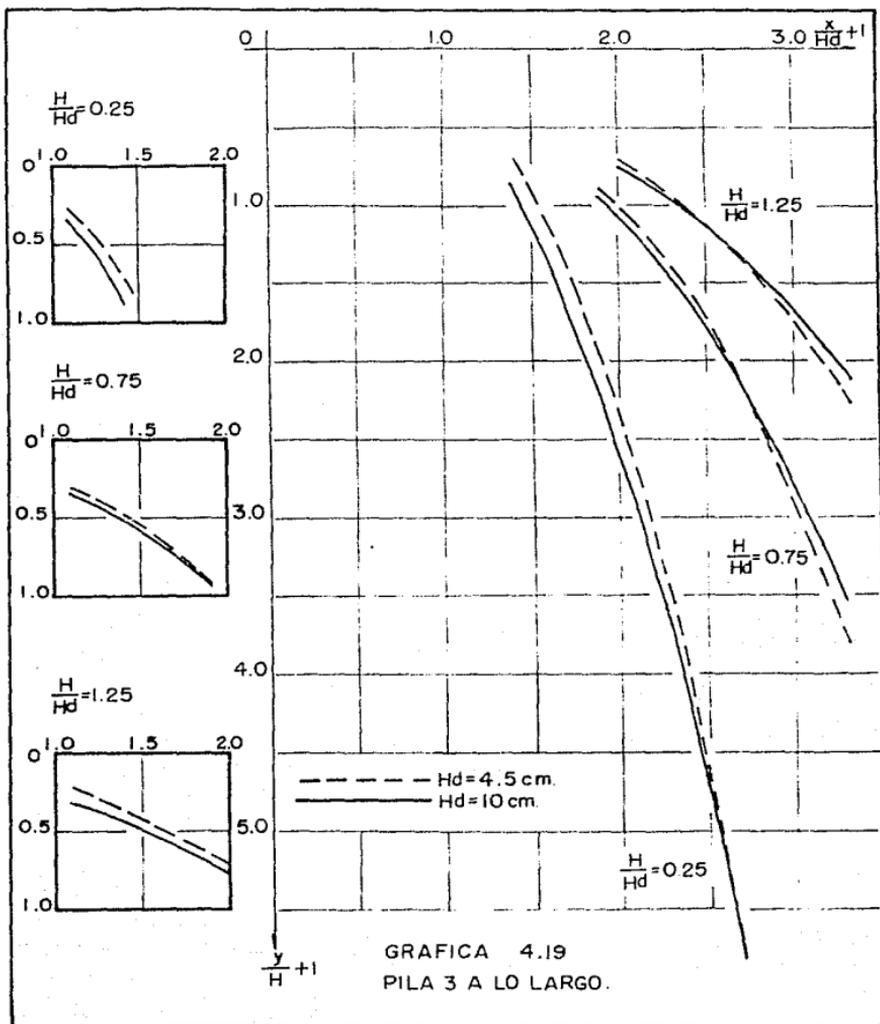
Se observó que el perfil de la superficie libre presenta una sobrelevación cerca de la cresta vertedora. Debido a lo anterior no se logró ningún tipo de ajuste, por lo que la solución para este caso podrá obtenerse por medio de las tablas 3.11 a 3.18 del tercer capítulo o de las gráficas 4.15 a 4.22 que se presentan a continuación. En el capítulo quinto se harán algunos comentarios sobre estos resultados.

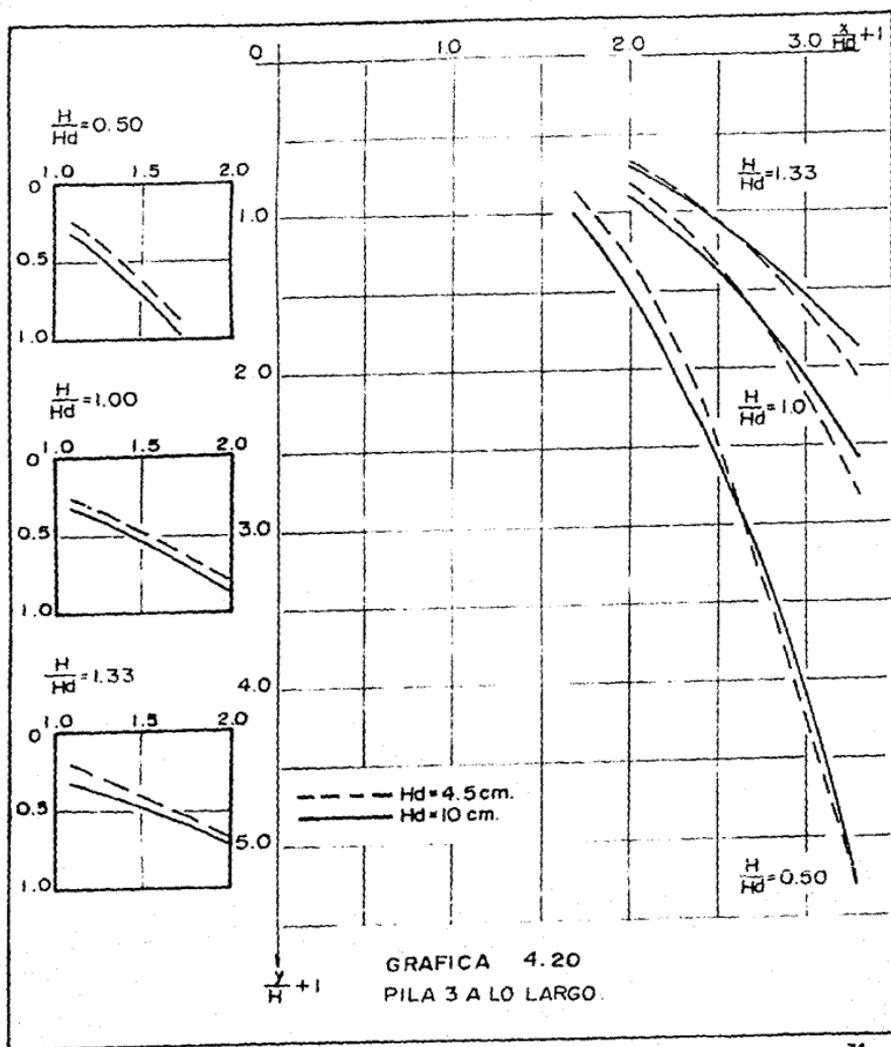


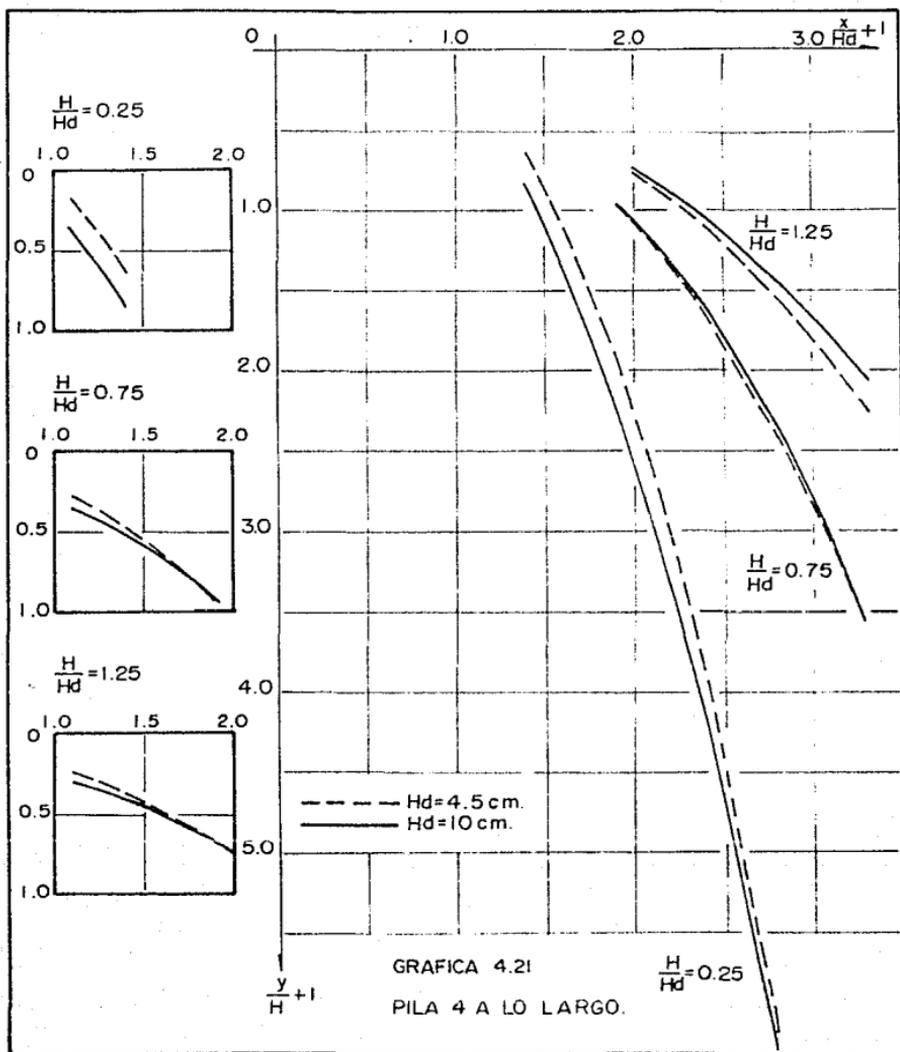


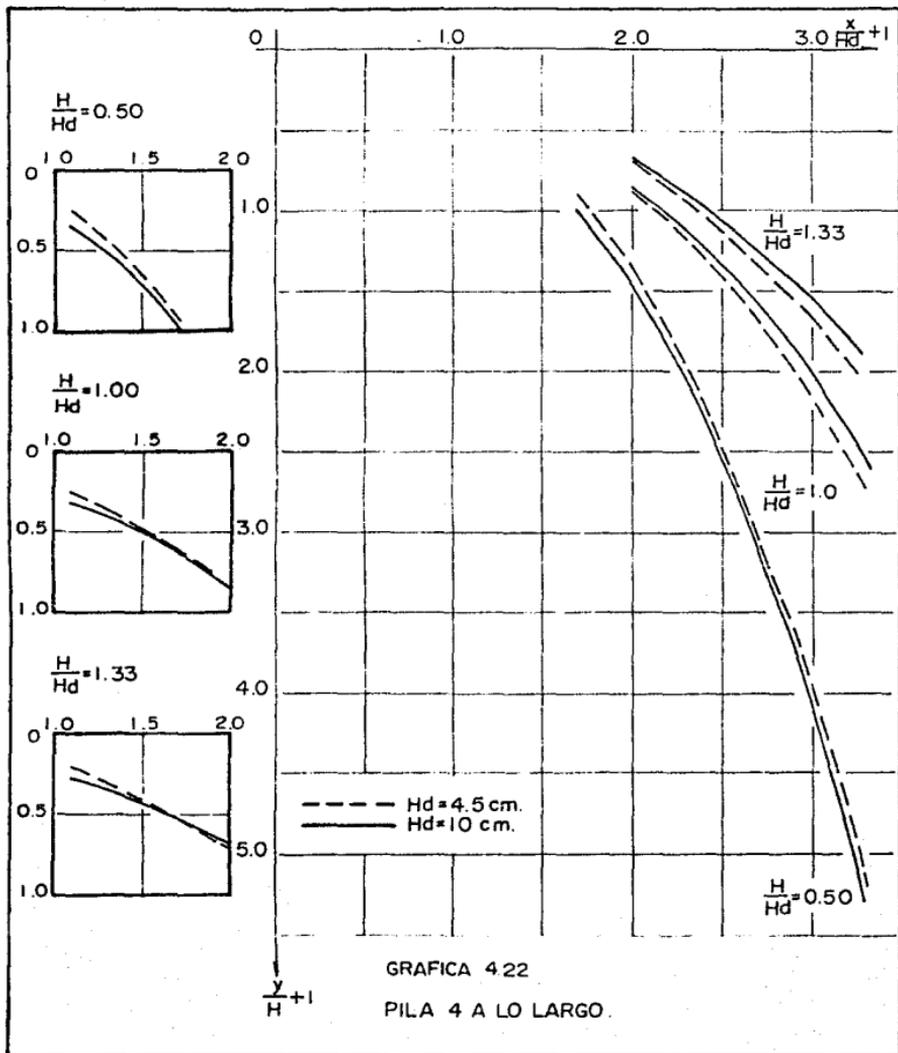












## V) CONCLUSIONES.

En primer lugar es necesario comentar que la bibliografía existente sobre el tema es muy escasa, las referencias consultadas presentan prácticamente lo mismo y en ninguna de ellas se menciona la manera en que fueron obtenidos los resultados del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E.U. Así para el desarrollo experimental de este trabajo tuvieron que proponerse algunos criterios para el diseño de los modelos físicos.

En cuanto a los resultados obtenidos puede comentarse lo siguiente:

Todos los resultados experimentales derivados del desarrollo de este trabajo se presentan en forma adimensional con el fin de que las relaciones obtenidas puedan emplearse para cualquier caso.

Los resultados presentados en este trabajo son válidos desde la cresta vertedora hasta el punto de tangencia del cimacio tipo Creager.

Se observó que el tirante correspondiente a la cresta vertedora

en cimacios sin pilas y al centro del claro entre pilas no difiere significativamente por lo que estos resultados se presentaron en forma conjunta, obteniéndose la ecuación de una línea recta en función del tirante y la carga (H) sobre el cimacio (Fig. 4.17).

Los datos experimentales al centro del claro para cimacios sin pilas mostraron una tendencia muy definida, por lo que para relaciones  $\left[\frac{H}{H_d}\right]$  menores e iguales a uno se obtuvo una ecuación potencial y para relaciones mayores a uno una ecuación de tipo exponencial. En estas ecuaciones el tirante es función de la coordenada x y de  $\left[\frac{H}{H_d}\right]$ . En la grafica 4.5 puede observarse la semejanza de los resultados obtenidos por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E. U (CFE) y las ecuaciones propuestas.

Los resultados obtenidos al centro del claro entre pilas se agruparon de manera semejante al caso anterior, obteniéndose una ecuación potencial para cada tipo de pila. La grafica 4.14 muestra que para relaciones  $\left[\frac{H}{H_d}\right]$  menores o iguales que uno no existe una diferencia importante entre los resultados del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E. U (CFE) y la ecuación propuesta, no así para relaciones mayores a uno en donde se observa una diferencia mayor, por lo que se recomienda tomar estos resultados con cierta reserva.

En lo referente al perfil a lo largo de las pilas se observo que se presenta una sobrelevación del agua cerca de la cresta vertedora por lo que con estos resultados no se logró ningún tipo de ajuste.

Por otro lado, manejando los resultados experimentales en forma adimensionalada, se observa que existe cierta diferencia entre los obtenidos para el cimacio de carga de diseño de 4.5 cm. y el cimacio de  $H_d=10$  cm. Esta diferencia es pequeña en los resultados al centro del claro entre pilas (Gráficas 4.6 - 4.13), en cambio para los

resultados a lo largo de las pilas la discrepancia es más considerable (Gráficas 4.15 - 4.22). Lo anterior puede atribuirse a los siguientes factores:

1) A la carga de diseño. Para comprobar la hipótesis anterior sería necesario obtener resultados por lo menos para otra carga de diseño, lo que escapa a los límites de este trabajo.

2) A que las condiciones de los modelos físicos no son exactamente iguales. básicamente la forma de alimentación, aunque se cumplió con la condición de que la carga de velocidad a la llegada fuera despreciable.

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten calcular el perfil de la superficie libre del agua de manera sencilla en cimacios sin pilas y con pilas.

En los casos en que se obtuvo una ecuación de ajuste de datos, se tiene además la ventaja de poder calcular el perfil de la superficie libre del agua para cualquier carga de operación.

ESTA TIENE QUE SALIR DE LA BIBLIOTECA

## A P E N D I C E   A

### PROCEDIMIENTO GRAFICO PARA DETERMINAR LA POSICION DEL PERNO DE COMPUERTAS RADIALES EN CIMACIOS DEL TIPO WES.

Este procedimiento se basa en resultados experimentales que no han sido publicados.

Como se mencionó en el capítulo dos, los perfiles tipo WES y los tipo Creager son muy similares; por lo anterior, se usará este procedimiento para ubicar la posición del perno y con ello determinar la longitud de las pilas.

- a) Se trazan curvas paralelas al perfil del cimacio a 0.8Hd y 1.1Hd.
- b) A partir de la cresta vertedora se trazan dos líneas que formen un ángulo de 35 y 25°, respectivamente, con la horizontal.
- c) Se definen los puntos de intersección, P y Q, entre las

líneas trazadas y las curvas paralelas al cimacio (*figura A.1*)

d) Por el punto *P* se traza una línea que forme un ángulo de  $45^\circ$  con la horizontal, dicha línea interseca al perfil del cimacio en el punto *A*.

e) Por el punto *Q* se traza otra línea que forme un ángulo de  $35^\circ$  con la horizontal, esta línea también toca al cimacio en el punto *A*.

f) El área sombreada de la figura A.1, representa la región de soluciones recomendables para ubicar el centro de giro de la compuerta.

g) El punto *A* corresponde al punto de asiento de la compuerta.

h) El radio de la compuerta podrá ser cualquier distancia comprendida entre el punto *A* y otro punto cualquiera de la región de soluciones recomendables.

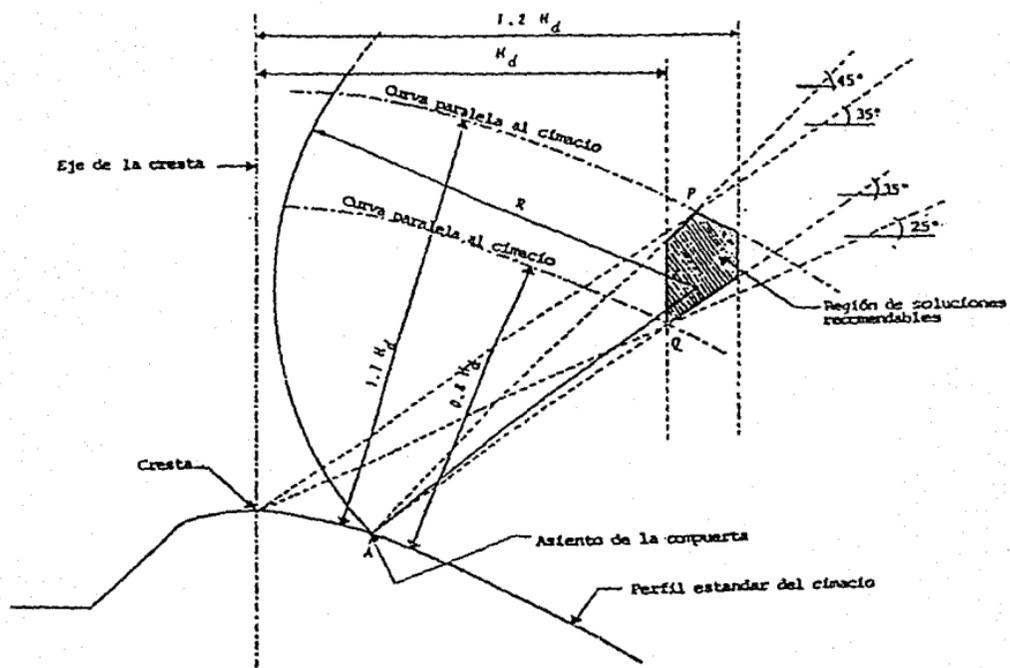


Fig. A.1 Determinación de la posición del perno en compuertas radiales

## APENDICE B.

### B.1) METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS.

Dado el conjunto de datos que se muestra en la tabla B.1

X	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	....	X <sub>n</sub>
Y	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	....	Y <sub>n</sub>

Tabla B.1

Cuya representación gráfica se muestra en la *figura B.1*. Se trata de obtener los coeficientes de la función:.

$$Y = f(X) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m \dots (B.1)$$

cuya gráfica es una curva suave que se acerca a la mayoría de los puntos (curva punteada *fig. B.1*).

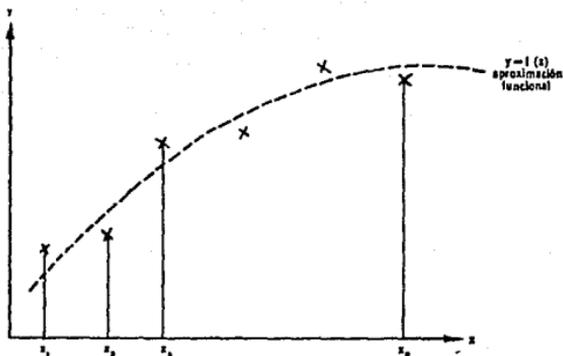


Fig B.1 Representación y aproximación de la función correspondiente a la tabla B.1

Se llama residuo a la diferencia de ordenadas de la curva para  $x=x_i$  menos la del punto  $(x_i, y_i)$ . Representando con  $R_i$  a este residuo, se tiene

$$R_i = f(x_i) - y_i$$

es decir

$$R_i = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i$$

en donde

$$i=1, 2, 3, \dots, n$$

El método de los mínimos cuadrados consiste en determinar los valores de los parámetros

$$a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_m.$$

de manera que hagan mínima la suma de los cuadrados de los residuos. Esta suma vale:

$$\sum_{i=1}^n R_i^2 = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i)^2$$

Se obtiene el mínimo de ésta, igualando a cero sus primeras derivadas parciales con respecto a todos y cada uno de los parámetros.

Derivando con respecto a  $a_j$ , donde  $j = 0, 1, 2, \dots, m$ , se tiene

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a_j} \sum_{i=1}^n R_i^2 &= \frac{\partial}{\partial a_j} \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial a_j} (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i)^2 \\ &= \sum_{i=1}^n 2 (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m - y_i) x_i^j \end{aligned}$$

Igualando con cero esta derivada se llega a

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^j + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{j+1} + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^{j+2} + \dots + a_m \sum_{i=1}^n x_i^{j+m} = \sum_{i=1}^n x_i^j y_i$$

Finalmente, considerando  $j = 0, 1, 2, \dots, m$ , se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones normales. En donde, por simplicidad, se han omitido los índices de  $x$  y de  $y$ , y los límites de las sumatorias, pero debe entenderse que éstas son sobre todos los valores de  $x$  y de  $y$  dados en la tabla B.1.

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x + a_2 \sum x^2 + \dots + a_m \sum x^m = \sum y \\ a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 + a_2 \sum x^3 + \dots + a_m \sum x^{m+1} = \sum xy \\ a_0 \sum x^2 + a_1 \sum x^3 + a_2 \sum x^4 + \dots + a_m \sum x^{m+2} = \sum x^2 y \\ \dots \dots \dots \\ a_0 \sum x^m + a_1 \sum x^{m+1} + a_2 \sum x^{m+2} + \dots + a_m \sum x^{m+m} = \sum x^m y \end{cases}$$

En este trabajo, uno de los ajustes que se desea obtener es una línea recta, para este caso la ecuación (B.L) se escribe:

$$y = a_0 + a_1 x$$

donde los coeficientes  $a_0$  y  $a_1$  quedan definidos por el sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} n a_0 + a_1 \sum x &= \sum y \\ a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 &= \sum xy \end{aligned}$$

aplicando la regla de Cramer

$$a_0 = \frac{\begin{vmatrix} \sum y & \sum x \\ \sum xy & \sum x^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{vmatrix}} = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$a_1 = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum y \\ \sum x & \sum xy \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{vmatrix}} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

por lo tanto

$$a_0 = \frac{(\sum x^2)(\sum y) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (B.2)$$

$$a_1 = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots (B.3)$$

Como se mencionó en el capítulo cuatro, otro de los ajustes que se quiere efectuar es:

$$\frac{Y}{H} + 1 = K \left[ \frac{X}{Hd} + 1 \right]^N$$

donde K y N son a la vez función de  $\frac{H}{Hd}$  de la forma

$$K = A \left[ \frac{H}{Hd} \right]^B ; N = C \left[ \frac{H}{Hd} \right]^D$$

cambiando de notación, para cualquier caso se tiene

$$Y = u X^v \dots (B.4)$$

aplicando logaritmos

$$\log Y = \log u + v \log X \dots (B.5)$$

haciendo  $Y' = \log Y$ ,  $X' = \log X$ ,  $a_0 = \log u$ ,  $a_1 = v$  la ecuación (B.5) se puede escribir como

$$Y' = a_0 + a_1 X'$$

que es la ecuación de una línea recta donde los coeficientes  $a_0$  y  $a_1$  se pueden obtener por medio de las ecuaciones (B.2) y (B.3). Así, quedan definidos el coeficiente u y el exponente v de la ecuación (B.4).

Para el perfil al centro del cimacio sin pilas, el ajuste

deseado es:

$$\frac{y}{Hd} + 1 = K e^{N \left[ \frac{K}{Hd} + 1 \right]}$$

donde K y N son también función de  $\frac{H}{Hd}$ , de la siguiente manera

$$K = a \left[ \frac{H}{Hd} \right]^b \quad ; \quad N = c \left[ \frac{H}{Hd} \right]^d$$

cambiando de notación, se tiene para cualquier caso

$$y = u e^{vx} \quad \dots \quad (B.6)$$

aplicando logaritmos

$$\log y = \log u + v x \log e \quad \dots \quad (B.7)$$

haciendo  $y' = \log y$ ,  $a_0 = \log u$ ,  $a_1 = v \log e$ ,  $x' = x$  la ecuación (B.7) se puede escribir como

$$y' = a_0 + a_1 x'$$

aplicando las relaciones (B.2) y (B.3) se pueden obtener  $a_0$  y  $a_1$  y con esto u y v para llegar a la ecuación (B.6).

## B.2) COEFICIENTE DE CORRELACION

Si se dispone de un conjunto de datos, es importante determinar la correlación existente entre ellos.

Una representación numérica de la tendencia que presente ese conjunto de datos nos la proporciona la covarianza muestral,  $S_{xy}$ , definida por

$$S_{x,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Naturalmente, si para valores de  $x$  mayores (menores) que el promedio, se tienen valores de  $y$  mayores (menores) que el promedio, muchos de los términos serán positivos, mientras que si se tienen valores de comportamiento contrario, los valores de  $S_{xy}$  tenderán a ser negativos.

Es común normalizar la covarianza muestral, dividiendo por las desviaciones estándar denotadas por subíndices:  $S_x$  y  $S_y$ , obteniendo así el coeficiente de correlación muestral  $r_{xy}$

$$r_{x,y} = \frac{S_{x,y}}{S_x S_y} = \frac{1}{n} \sum \left[ \frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right] \left[ \frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right]$$

El valor de  $r_{xy}$  está comprendido en el rango  $-1 \leq r_{xy} \leq 1$  y toma los valores extremos sólo si los puntos de la muestra se encuentran en una recta, es decir:

$$y_i = a_0 + a_1 x_i$$

donde el signo de  $r_{xy}$  sólo depende del signo de  $a_1$ . En este caso, se dice que los datos están *perfectamente correlacionados*. Los  $(x,y)$  pueden encontrarse sobre una curva no lineal, bien definida y por tanto, estar estrechamente relacionados, quizá funcionalmente (por ejemplo  $y_i = bx_i^2$ ), en este caso el valor absoluto de  $r_{xy}$  será menor que 1.

APENDICE C

ECLACION DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
PARA CIMACIOS TIPO CREAGER SIN PILAS

Para  $H/H_d \leq 1$  la ecuacion es:

$$[Y/H + 1] = K1 * [X/H_d + 1]^{N1}$$

$$K1 = 0.197176 * (H/H_d)^{(-0.39224)} ; N1 = 2.198830 * (H/H_d)^{(-0.20251)}$$

X/H <sub>d</sub> + 1	valores de Y/H + 1							
	H/H <sub>d</sub>	0.25	0.37	0.50	0.62	0.75	0.90	1.00
1.1		0.449	0.377	0.330	0.300	0.276	0.255	0.243
1.2		0.579	0.476	0.411	0.370	0.338	0.310	0.294
1.3		0.732	0.591	0.504	0.450	0.407	0.371	0.351
1.4		0.910	0.722	0.608	0.536	0.484	0.438	0.412
1.5		1.113	0.870	0.724	0.636	0.569	0.511	0.481
1.6		1.345	1.036	0.853	0.744	0.661	0.591	0.554
1.7		1.606	1.220	0.995	0.862	0.761	0.677	0.633
1.8		1.898	1.424	1.150	0.990	0.870	0.770	0.718
1.9		2.224	1.648	1.319	1.129	0.997	0.869	0.809
2.0		2.584	1.892	1.502	1.279	1.112	0.976	0.905
2.1		2.981	2.159	1.700	1.440	1.247	1.089	1.008
2.2		3.416	2.448	1.913	1.612	1.390	1.209	1.116
2.3		3.891	2.760	2.142	1.796	1.541	1.336	1.231
2.4		4.407	3.096	2.386	1.991	1.702	1.470	1.352
2.5		4.967	3.457	2.646	2.198	1.873	1.611	1.479
2.6		5.571	3.843	2.923	2.418	2.052	1.759	1.612
2.7		6.222	4.255	3.217	2.650	2.241	1.915	1.751
2.8		6.921	4.694	3.528	2.894	2.439	2.078	1.897
2.9		7.667	5.161	3.856	3.152	2.647	2.249	2.049
3.0		8.470	5.655	4.202	3.422	2.865	2.427	2.209
3.1		9.323	6.179	4.567	3.705	3.093	2.612	2.373
3.2		10.231	6.732	4.950	4.002	3.331	2.805	2.544
3.3		11.196	7.315	5.352	4.312	3.579	3.006	2.723
3.4		12.218	7.929	5.773	4.636	3.837	3.215	2.907
3.5		13.300	8.574	6.214	4.974	4.106	3.431	3.099

Tabla C.1 Tabulacion de la ecuacion (4.b)

ECUACION DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
PARA CANALES TIPO CREAGER SIN PILAS

Para  $H/H_d = 1$  la ecuacion es :

$$[Y/H + 1] = K_2 + \exp^{-N_2} \cdot [N_2 + (X/H_d - 1)]$$

$$K_2 = 0.061e04 + \exp^{-0.380805 \cdot (H/H_d)}$$

$$N_2 = 1.59751 + \exp^{-0.408022 \cdot (H/H_d)}$$

X/Hd + 1	valores de Y/H + 1				
	H/Hd	1.10	1.25	1.35	1.50
1.1		0.289	0.286	0.285	0.284
1.2		0.319	0.315	0.313	0.310
1.3		0.354	0.348	0.343	0.338
1.4		0.392	0.381	0.377	0.368
1.5		0.424	0.420	0.413	0.402
1.6		0.480	0.462	0.453	0.443
1.7		0.532	0.508	0.497	0.478
1.8		0.589	0.560	0.546	0.521
1.9		0.652	0.616	0.599	0.568
2.0		0.722	0.678	0.657	0.620
2.1		0.800	0.746	0.721	0.674
2.2		0.886	0.821	0.791	0.737
2.3		0.981	0.904	0.868	0.803
2.4		1.086	0.995	0.953	0.876
2.5		1.203	1.095	1.046	0.955
2.6		1.332	1.205	1.147	1.042
2.7		1.475	1.327	1.259	1.136
2.8		1.633	1.460	1.381	1.239
2.9		1.809	1.607	1.516	1.351
3.0		2.003	1.769	1.663	1.473
3.1		2.216	1.947	1.825	1.606
3.2		2.456	2.143	2.003	1.752
3.3		2.720	2.359	2.198	1.910
3.4		3.012	2.597	2.411	2.083
3.5		3.335	2.858	2.643	2.272

Tabla C.2 Tabulacion de la ecuacion (4.c)

ECUACION DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
 PARA CIMENTACION TIPO CREAGER CON PILAS TIPO I  
 (Al centro del claro entre pilas)

La ecuacion es:

$$(x/H + 1) = x_1 + (x/H + 1) \cdot N_1$$

$$x_1 = 0.1889 \cdot (H/H_0)^2 - 0.000000 ; N_1 = 2.1731 \cdot (H/H_0) - 0.2455$$

x/H + 1	valores de x/H + 1						
	H/H <sub>0</sub>	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
1.1	0.395	0.302	0.259	0.232	0.214	0.208	0.200
1.2	0.515	0.378	0.317	0.281	0.256	0.249	0.237
1.3	0.658	0.464	0.392	0.354	0.302	0.290	0.278
1.4	0.825	0.562	0.454	0.392	0.351	0.341	0.321
1.5	1.018	0.671	0.532	0.455	0.405	0.392	0.368
1.6	1.240	0.792	0.620	0.523	0.462	0.447	0.418
1.7	1.492	0.927	0.714	0.578	0.514	0.505	0.471
1.8	1.777	1.075	0.816	0.678	0.589	0.567	0.527
1.9	2.096	1.234	0.926	0.762	0.658	0.630	0.586
2.0	2.452	1.408	1.044	0.852	0.732	0.702	0.648
2.1	2.846	1.597	1.168	0.947	0.809	0.775	0.714
2.2	3.280	1.800	1.303	1.048	0.890	0.851	0.782
2.3	3.757	2.019	1.446	1.154	0.975	0.932	0.850
2.4	4.279	2.253	1.596	1.266	1.065	1.015	0.928
2.5	4.847	2.502	1.756	1.384	1.158	1.105	1.005
2.6	5.464	2.768	1.924	1.507	1.255	1.194	1.066
2.7	6.131	3.051	2.101	1.635	1.357	1.289	1.170
2.8	6.851	3.351	2.287	1.770	1.462	1.366	1.257
2.9	7.626	3.668	2.482	1.910	1.571	1.450	1.346
3.0	8.458	4.002	2.686	2.055	1.685	1.535	1.437
3.1	9.349	4.355	2.900	2.208	1.803	1.706	1.532
3.2	10.301	4.727	3.123	2.366	1.924	1.819	1.634
3.3	11.316	5.116	3.355	2.529	2.050	1.936	1.736
3.4	12.396	5.525	3.597	2.699	2.180	2.057	1.841
3.5	13.544	5.954	3.849	2.874	2.314	2.181	1.949

Tabla 0.3 Tabulacion de la ecuacion (4.d) para pilas tipo I

ECUACION DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
 PARA DIMENSIONES TIPO DEAGERER CON PILAS TIPO 2  
 ( A) centro del claro entre pilas )

La ecuacion es:

$$Y/H + 1 = KI * (X/Hd + 1)^{NI}$$

$$KI = 0.1785 * (H/Hd)^{-0.3168} ; NI = 2.2163 * (H/Hd)^{-0.2460}$$

X/Hd + 1	valores de Y/H + 1							
	H/Hd	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.33	1.50
1.1		0.373	0.266	0.245	0.220	0.203	0.199	0.190
1.2		0.489	0.359	0.302	0.267	0.244	0.238	0.226
1.3		0.627	0.443	0.365	0.319	0.288	0.280	0.266
1.4		0.790	0.538	0.435	0.376	0.337	0.327	0.308
1.5		0.980	0.645	0.513	0.438	0.389	0.377	0.354
1.6		1.198	0.765	0.598	0.506	0.446	0.431	0.403
1.7		1.448	0.897	0.691	0.579	0.506	0.486	0.455
1.8		1.730	1.042	0.792	0.657	0.571	0.549	0.510
1.9		2.046	1.201	0.900	0.740	0.639	0.614	0.569
2.0		2.403	1.375	1.017	0.829	0.712	0.683	0.631
2.1		2.797	1.563	1.142	0.924	0.789	0.755	0.695
2.2		3.234	1.766	1.276	1.035	0.870	0.832	0.763
2.3		3.714	1.985	1.418	1.131	0.955	0.912	0.835
2.4		4.241	2.220	1.569	1.243	1.044	0.995	0.909
2.5		4.817	2.471	1.729	1.360	1.137	1.083	0.986
2.6		5.443	2.740	1.898	1.484	1.235	1.174	1.067
2.7		6.122	3.025	2.077	1.613	1.336	1.270	1.151
2.8		6.857	3.329	2.264	1.749	1.442	1.369	1.238
2.9		7.650	3.650	2.461	1.890	1.552	1.472	1.327
3.0		8.503	3.991	2.668	2.037	1.667	1.578	1.422
3.1		9.418	4.350	2.885	2.191	1.786	1.689	1.519
3.2		10.397	4.728	3.111	2.351	1.909	1.803	1.619
3.3		11.444	5.127	3.347	2.517	2.036	1.922	1.722
3.4		12.560	5.545	3.593	2.689	2.167	2.044	1.828
3.5		13.748	5.984	3.850	2.867	2.303	2.170	1.937

Tabla C.4 Tabulacion de la ecuacion (4.d) para pilas tipo 2

ECUACION DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
 PARA ESPACIOS TIPO CREAGER CON PILAS TIPO C  
 ( A) centro del claro entre pilas )

La ecuacion es:

$$[Y/h + 1] = K1 * [X/Hd + 1] + N1$$

$$K1 = 0.1761 * (H/Hd)^{-0.2155} ; N1 = 2.2131 * (H/Hd)^{-0.2856}$$

X/Hd + 1	valores de Y/h + 1							
	H/Hd	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.50
1.1		0.324	0.264	0.236	0.217	0.205	0.201	0.195
1.2		0.431	0.334	0.290	0.264	0.245	0.240	0.231
1.3		0.561	0.414	0.352	0.315	0.289	0.283	0.271
1.4		0.714	0.506	0.420	0.371	0.338	0.329	0.315
1.5		0.896	0.609	0.496	0.432	0.390	0.379	0.359
1.6		1.106	0.725	0.577	0.498	0.446	0.432	0.408
1.7		1.349	0.853	0.670	0.570	0.505	0.487	0.466
1.8		1.627	0.995	0.768	0.647	0.567	0.550	0.515
1.9		1.942	1.151	0.875	0.729	0.637	0.614	0.573
2.0		2.297	1.321	0.989	0.817	0.709	0.682	0.634
2.1		2.695	1.507	1.112	0.910	0.784	0.753	0.696
2.2		3.139	1.706	1.244	1.008	0.864	0.828	0.765
2.3		3.631	1.925	1.384	1.112	0.947	0.907	0.835
2.4		4.173	2.159	1.532	1.222	1.035	0.989	0.908
2.5		4.770	2.409	1.690	1.338	1.127	1.075	0.984
2.6		5.424	2.678	1.857	1.459	1.222	1.165	1.064
2.7		6.138	2.964	2.033	1.586	1.322	1.258	1.146
2.8		6.914	3.269	2.219	1.719	1.426	1.355	1.231
2.9		7.756	3.593	2.414	1.858	1.533	1.456	1.319
3.0		8.666	3.936	2.618	2.003	1.645	1.560	1.411
3.1		9.649	4.299	2.833	2.154	1.761	1.668	1.505
3.2		10.706	4.681	3.057	2.311	1.881	1.780	1.602
3.3		11.841	5.087	3.292	2.473	2.006	1.896	1.703
3.4		13.056	5.513	3.536	2.642	2.134	2.015	1.806
3.5		14.356	5.960	3.791	2.817	2.267	2.136	1.912

Tabla C.5 Tabulacion de la ecuacion (4.4) para pilas tipo C

ECUACION DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA  
 PARA SIMULACIONES TIPO CERRERAS CON PILAS TIPO 4  
 (El centro del diámetro entre pilas)

La ecuacion es:

$$(X/H + 1) = N1 * (X/Hd - 1) \quad N1$$

$$N1 = 0.1870 * (H/Hd) + (-0.2428) \quad ; \quad N1 = 2.2376 * (H/Hd) + (-0.2795)$$

X/Hd + 1	valores de Y/H + 1						
	H/Hd	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
	1.1	0.320	0.256	0.224	0.207	0.193	0.189
1.2	0.427	0.324	0.279	0.251	0.232	0.227	0.218
1.3	0.555	0.403	0.338	0.300	0.275	0.268	0.258
1.4	0.709	0.493	0.405	0.355	0.321	0.312	0.306
1.5	0.890	0.594	0.479	0.414	0.371	0.360	0.349
1.6	1.101	0.708	0.560	0.479	0.425	0.412	0.397
1.7	1.345	0.835	0.648	0.547	0.483	0.466	0.447
1.8	1.623	0.975	0.745	0.622	0.544	0.515	0.490
1.9	1.940	1.129	0.847	0.702	0.610	0.587	0.566
2.0	2.297	1.298	0.962	0.788	0.675	0.651	0.634
2.1	2.698	1.481	1.082	0.878	0.753	0.722	0.696
2.2	3.146	1.682	1.212	0.975	0.830	0.795	0.751
2.3	3.642	1.898	1.350	1.077	0.911	0.871	0.829
2.4	4.191	2.130	1.496	1.184	0.997	0.951	0.900
2.5	4.794	2.380	1.652	1.296	1.086	1.035	0.984
2.6	5.456	2.648	1.817	1.417	1.179	1.122	1.071
2.7	6.179	2.933	1.991	1.541	1.277	1.213	1.161
2.8	6.966	3.238	2.175	1.672	1.378	1.308	1.254
2.9	7.820	3.562	2.368	1.809	1.484	1.406	1.350
3.0	8.745	3.905	2.571	1.951	1.593	1.509	1.451
3.1	9.743	4.269	2.783	2.100	1.707	1.614	1.551
3.2	10.918	4.657	3.006	2.254	1.825	1.723	1.648
3.3	11.973	5.069	3.239	2.415	1.947	1.836	1.744
3.4	13.211	5.486	3.492	2.582	2.073	1.953	1.845
3.5	14.636	5.936	3.726	2.755	2.202	2.074	1.949

Tabla C.6 Tabulacion de la ecuacion (4.6) para pilas tipo 4

## REFERENCIAS

- 1.- United States of the interior, Bureau of Reclamation. *Diseño de presas pequeñas*. CECSA, México, 1982.
- 2.- Comisión Federal de Electricidad. *Manual de diseño de obras civiles. Tomo A.2.10: Obras de excedencias*. México, 1981.
- 3.- Chow, V.T. *Open channel hydraulics*. MC GRAW HILL, Tokyo, 1959.
- 4.- León V., Luis F. y Guichard R., Delva. *Perfil de la superficie libre del agua en cimacios tipo Creager*. IX Congreso nacional de hidráulica, Querétaro, 1985.
- 5.- Sotelo Avila, Gilberto. *Hidráulica General*. LIMUSA, México, 1979.
- 6.- Streeter, Wylie. *Mecánica de los fluidos*. MC GRAW HILL, México, 1979.
- 7.- León V. Luis F. *Notas sobre modelos hidráulicos*. Facultad de Ingeniería, UNAM, 1985.
- 8.- Luthé, Olivera y Schutz. *Métodos numéricos*. LIMUSA, México, 1979.
- 9.- Benjamin, Jack R. *Probabilidad y estadística en ingeniería civil*. MC GRAW HILL, Bogotá, 1970.
- 10.- Ojeda Torres, Fernando. *Vertedores de cresta controlada*, Tesis de maestría, DEPI, UNAM