

2^{da} ed. 2^{da} ed.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



DISEÑO HIDRAULICO DE CUBETAS DE LANZAMIENTO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N:
MARCO ANTONIO NUÑEZ DE LOS COBOS
OSCAR JAVIER LOZANO OLEA

MEXICO, D. F.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señores

OSCAR JAVIER LOZANO OLEA
MARCO ANTONIO NUÑEZ DE LOS COBOS
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-160/93

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. JESUS GALLEGOS SILVA que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

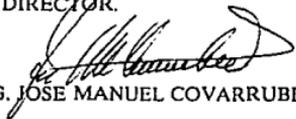
"DISEÑO HIDRAULICO DE CUBETAS DE LANZAMIENTO"

- I. INTRODUCCION
- II. ASPECTOS GENERALES
- III. FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO HIDRAULICO
- IV. APLICACIONES
- V. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitario, a 14 de octubre de 1993.
EL DIRECTOR.


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*mccm

A mi padre , El Moño, porque gracias a su amor, sus consejos, y sobre todo a su ejemplo, soy lo que ahora soy. Siempre estarás conmigo.

A mi madre, Mami, que con su valor, su impulso y su amor he podido seguir adelante.

A Angélica, por su cariño y su apoyo.

Gracias.

Marco Antonio.

A Bertha, mi madre

Por el gran cariño y apoyo incondicional recibido siempre.

A Ernesto, mi padre

A tu memoria, que se mantiene viva desde el momento en que dejamos de estar juntos.

A mis hermanos

Alma, Ernesto, Patricia, Arturo, Bertha, Gabriela y Adriana.

Por la amistad y la comprensión que me han brindado a lo largo de todos estos años.

Oscar.

A los COLEGAS...

INDICE

CAPITULO I. Introducción.....	1
CAPITULO II. Aspectos Generales.....	4
1. Estructuras componentes de la obra de excedencias.- 2. Disipadores de energía.- 3. Curva tirantes en el río vs. gastos.- 4. Niveles de agua en la descarga.- 5. Determinación de los tirantes en la rápida de descarga.	
CAPITULO III. Funcionamiento y diseño hidráulico.....	17
1. Geometría y nomenclatura de la cubeta de lanzamiento.- 2. Funcionamiento hidráulico.- 2.1. Determinación del gasto mínimo de despegue teórico.- 3. Diseño hidráulico.- 3.1. Determinación de la geometría.- 3.2. Determinación de la distribución de presiones.- 3.3. Determinación de la longitud de lanzamiento del chorro.- 3.4. Determinación del cono de socavación al pie de la estructura.- 3.5. Ancho máximo de lanzamiento del chorro.- 3.6. Riesgos de erosión por cavitación.	
CAPITULO IV. Aplicaciones.....	32
1. Comentarios generales acerca de la teoría de los modelos.- 2. Descripción de los modelos.- 3. Mediciones en modelo.- 4. Resultados.	
CAPITULO V. Conclusiones.....	88
BIBLIOGRAFIA.....	92
REFERENCIAS.....	93
AGRADECIMIENTOS.....	94

I. INTRODUCCION

CAPITULO I. INTRODUCCION.

A lo largo de su historia, el hombre ha tenido la necesidad de aprovechar más eficientemente los recursos naturales, principalmente los de carácter hidráulico, debido a la gran importancia que tienen para el desarrollo de la sociedad en todos sus aspectos.

Como resultado de esta necesidad, el hombre ideó diversas formas de almacenar y encauzar el agua, con fines de subsistencia y protección, surgiendo así las llamadas obras hidráulicas.

Las obras hidráulicas constituyen un conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa.

Las presas constituyen una de las obras hidráulicas más importantes debido a los grandes volúmenes de agua que manejan, en función del beneficio que pueden generar. Estos volúmenes provienen de la afluencia de ríos que llegan a ella y de la lluvia que se precipita directamente sobre la misma.

La obra de excedencias está constituida por un conjunto de estructuras cuya función, en las presas de almacenamiento y en las reguladoras, es la de dejar escapar el agua excedente o de avenidas que no cabe en el espacio destinado para almacenamiento, y en las presas de derivación dejar pasar los excedentes que no se envían al sistema de derivación, de manera que al ser desalojados no provoquen daños a las zonas cercanas a la misma, en las cuales podrían encontrarse poblaciones, áreas de cultivo, vías de comunicación, etc., o incluso a la estructura misma de la presa.

Una cubeta de lanzamiento es una estructura que se coloca en el extremo de una obra de excedencias con la intención de que el agua que descarga el vertedor y que al pasar por ella, sea lanzada libremente, aguas abajo de la misma para que disipe su energía por impacto, y así evitar posibles daños al pie de la misma.

El presente trabajo tiene como fin el describir algunos de los aspectos más importantes sobre el funcionamiento y diseño hidráulico de cubetas de lanzamiento, que pueden ser útiles al proyectista cuando se empleen este tipo de estructuras.

II. ASPECTOS GENERALES

CAPITULO II. ASPECTOS GENERALES.

II.1. Estructuras componentes de la obra de excedencias.

Como resultado de los estudios del tránsito de la avenida de diseño a través del vaso, se obtiene la carga máxima (H_{max}) y el gasto máximo (Q_{max}) para el cual deben dimensionarse las diferentes estructuras que forman la obra de excedencias, aunque deben revisarse también para todo el rango de gastos. Estas estructuras generalmente son: canal de acceso o de llamada, estructura de control, conducto o rápida de descarga, estructura terminal y canal de desfogue.

1) Canal de acceso o de llamada.

Sirve para captar el agua del vaso y conducirla a la estructura de control. Dependiendo del tipo de obra de excedencias, esta estructura puede o no ser requerida; por ejemplo, en una cortina vertedora no es necesaria, mientras que en vertedores alojados en las laderas de la boquilla casi siempre son necesarios.

2) Estructura de control.

La estructura de control tiene como función regular y gobernar las descargas del vaso. Este control limita o evita las descargas cuando el nivel del vaso llega a niveles predeterminados, y también regula las descargas cuando el

vaso alcanza niveles mayores a los ya fijados. La estructura de control puede ser de varias formas y estar libre o controlada; su selección depende en gran medida del factor económico.

3) Conducto o rápida de descarga.

Los volúmenes descargados por la estructura de control generalmente se conducen al cauce, abajo de la presa, por un canal de descarga. Cuando la descarga se realiza libremente por encima de la cortina de la presa, o bien, por encima de la cresta de un vertedor de excedencias, no se requiere de un canal de descarga.

Los canales de descarga deben construirse en material resistente o bien revestirse con uno que lo sea al efecto erosivo provocado por las grandes velocidades, y a la vez debe ser estructuralmente adecuado para soportar las fuerzas producidas por rellenos, subpresión, cargas producidas por el peso del agua, etc.

4) Estructura terminal.

Tiene por función disipar en gran porcentaje la energía que posee el agua al llegar a ella, de forma que la que le quede no provoque daños, o bien lanzar el agua hacia adelante para lograr el mismo fin. En el primer caso se emplean los tanques amortiguadores o las cubetas disipadoras, y en el segundo, las cubetas de lanzamiento. En todos los casos conviene revisar la posibilidad de emplear cubetas de lanzamiento ya que en la gran mayoría de los casos resulta más económico su empleo que el de las otras estructuras.

5) Canal de desfogue.

Capta el agua que sale de la estructura terminal y la conduce hasta un lugar donde escurra en forma natural, pudiendo ser el lecho de un río. No siempre se requiere construir esta estructura, y dependerá de las condiciones topográficas, de la calidad de la roca, etc.

II.2. Disipadores de energía.

Al elevarse el tirante del agua en un río y hacer que la corriente se derrame sobre el muro vertedor el agua adquiere una energía de posición que se transforma en energía cinética, cuya magnitud depende de la altura de la caída y consecuentemente de la altura de la cortina.

Los perjuicios que ocasiona el escurrimiento debido a una alta velocidad, son fundamentalmente los efectos debidos a la socavación y erosión del agua al pie de las estructuras, que obviamente ponen en peligro su estabilidad o la dañan parcialmente.

En la fig. 2.1 se muestra la socavación debida a la alta velocidad con que descarga el agua al pie de una estructura cimentada en terreno poco resistente. Si la caída es pequeña o si en el lecho del cauce existe material resistente, el golpe del agua puede no afectarle al muro vertedor y probablemente serán mínimas las precauciones que se tomen para amortiguar o resistir la velocidad del agua, por ejemplo con zampeados o revestimientos de corta longitud después del muro vertedor (fig. 2.2).

Se han ideado varios tipos de disipadores, cuyo diseño se basa en los principios de la hidráulica, así como en los experimentos que se han hecho en el laboratorio con modelos hidráulicos.

En general, estos dispositivos, con muchas variantes, se pueden agrupar en tres grupos:

- a) Tanques amortiguadores
- b) Estructuras deflectoras o cubetas deflectoras
- c) Estructuras de impacto o tanques del tipo de impacto

II.2.a. Tanques amortiguadores.

Están formados por un tanque al pie de la obra de excedencias, con una profundidad "P", para amortiguar el golpe del chorro (fig. 2.3). El diseño de este tanque se basa en el principio del salto hidráulico.

II.2.b Cubetas deflectoras.

El objeto de estas estructuras es evitar socavaciones al pie de una caída, lanzando el chorro de agua lejos de los lugares en los que puede ser peligrosa una socavación (fig. 2.4), o produciendo un remolino bajo la corriente principal que evite que el material suelto que constituye el fondo del cauce sea arrastrado aguas abajo (fig. 2.5).

En el primer caso, el agua es lanzada lejos del vertedor, aprovechando su energía cinética. El chorro es completamente libre, y sigue aproximadamente una trayectoria parabólica.

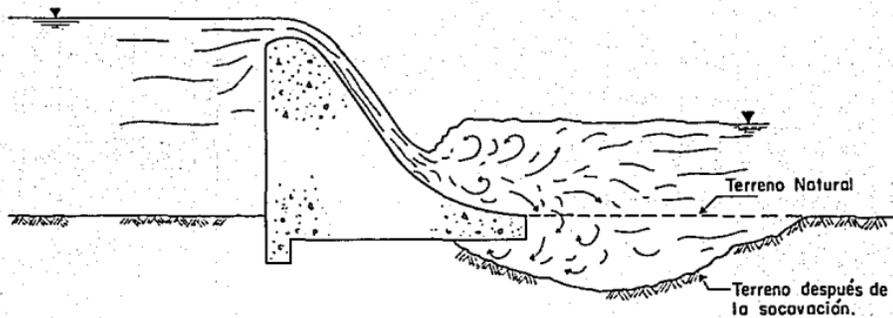


Fig. 2.1="Socavación al pie de la estructura"

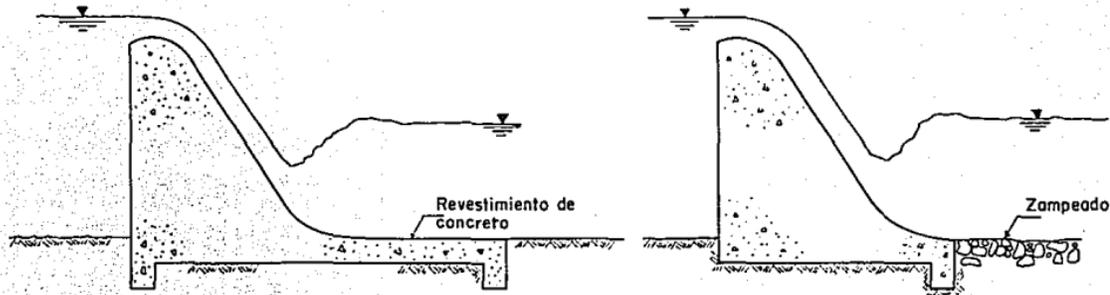


Fig. 2.2="Ejemplos de protección al pie de muros vertedores"

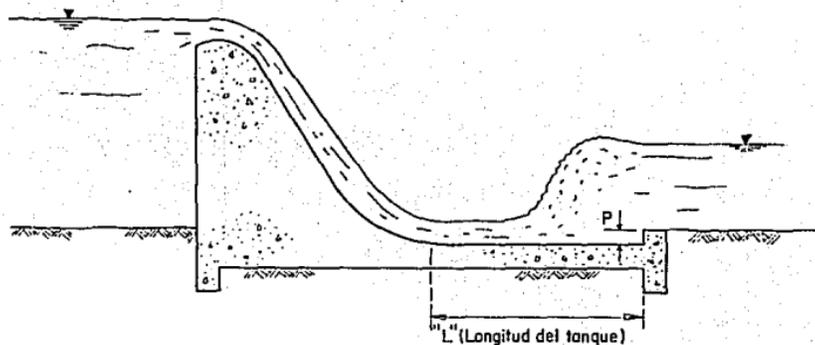


Fig. 2.3= "Ejemplo de un tanque amortiguador "

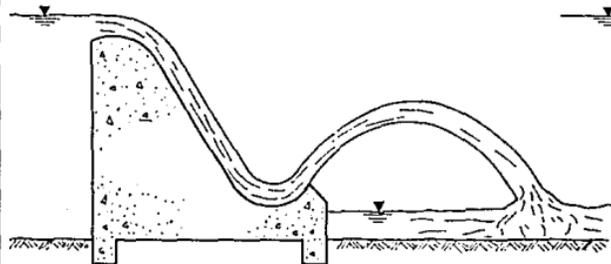


Fig. 2.4= "Cubeta de lanzamiento "

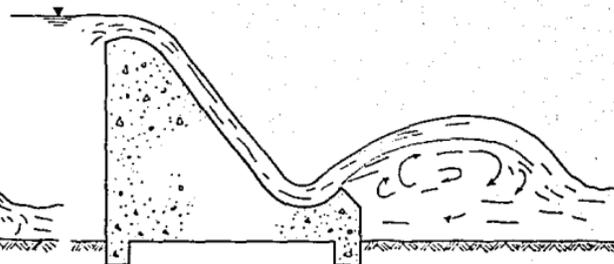


Fig. 2.5= "Cubeta de lanzamiento con remolino inferior "

Para el caso de la cubeta de lanzamiento con remolino inferior, el chorro está en contacto en su parte inferior con el agua del cauce, haciéndolo girar y formando un remolino de eje horizontal. La parte superior del chorro es libre. Por lo anterior se puede ver que su funcionamiento es del tipo mixto, pues al mismo tiempo que la corriente principal se lanza lejos del pie de la caída, se produce un remolino inferior que disipa energía, y evita que el material suelto avance hacia aguas abajo.

Además de los anteriores existen una gran variedad de tipos de deflectores cuya forma y efectividad han sido estudiados por varios investigadores, permitiendo obtener ciertas relaciones geométricas para aplicarlas en el diseño de otros casos, basándose en las leyes de similitud. Algunos de los tipos empleados con más frecuencia se muestran en las figs. 2.6 y 2.7.

En la figura 2.6, se observa el caso de una cubeta ahogada, con remolinos inferior y superficial. En este caso, la corriente principal está en contacto por arriba y por abajo con agua muerta, formando con ella dos remolinos: el inferior bajo el chorro, saliendo de la cubeta, y el superior, sobre la cubeta.

En el caso de la cubeta "dentada" (fig. 2.7), el chorro de alta velocidad sale del borde del extremo de la cubeta con un ángulo menor que en el caso anterior, y solamente una parte de él llega a la superficie. De esta forma, ahí se produce menor turbulencia y se facilita la dispersión de la corriente en la región situada arriba del remolino del fondo.

11.2.c. Tanques de Impacto.

Este tipo de disipador de energía es muy efectivo incluso para tirantes relativamente pequeños en la descarga y si la velocidad de llegada al estanque no excede de 9 m/s.

La disipación se obtiene haciendo chocar el chorro de llegada sobre un deflector vertical suspendido, y por los remolinos que se forman por el cambio de dirección de la corriente después de haber chocado con el amortiguador.

11.3. Curva tirantes en el río vs. gastos.

El trazo de esta curva se hace a partir del estudio hidrológico del aprovechamiento; en un sistema de ejes cartesianos se anotan, como ordenadas los tirantes en el río, en el sitio del aprovechamiento, y como abscisas el gasto correspondiente.

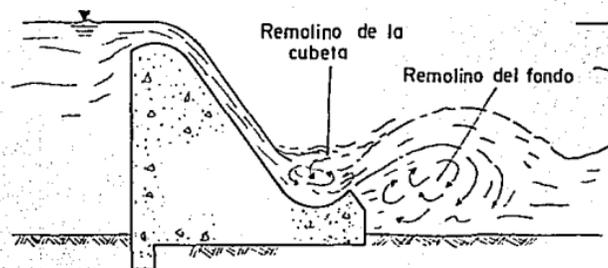


Fig.2.6="Cubeta Ahogada"(Tipo Liso)

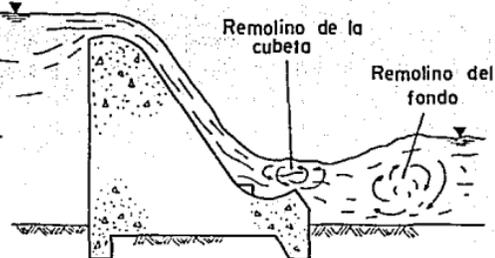


Fig.2.7="Cubeta Ahogada"(Tipo Dentada o Estriada)



Fig.2.8=Tanque amortiguador con escalón terminal vertical y sección de control sobre el escalón.

Cuando no se tienen datos de aforo, que es lo más común en pequeños proyectos, esta curva se puede construir en forma aproximada con el método de sección-pendiente. (ref. 5)

Mediante esta curva se puede conocer rápidamente el gasto para un valor dado de tirante, lo cual es útil para el desarrollo del cálculo hidráulico de la presa.

II.4. Niveles de agua en la descarga.

Dentro del problema de la disipación de energía al pie de estructuras vertedoras hay cuatro casos fundamentales que son determinantes en la elección de la estructura terminal. Estos casos están definidos por la relación entre la curva de tirantes-gastos, aguas abajo de la caída, y la curva de tirantes conjugados-gastos que se necesitaría para formar un resalto claro al pie de la estructura para cualquier condición de escurrimiento. Pueden suceder los casos que se ilustran en la fig. 2.9.

a) La curva de tirantes del río queda siempre sobre la de los conjugados mayores.

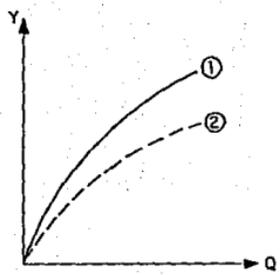
b) La curva de los conjugados mayores queda por arriba de la de tirantes del río.

c) Las curvas se cruzan y la curva de tirantes del río tiene mayor curvatura que la de conjugados.

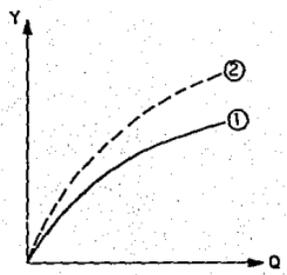
d) Las curvas se cruzan y la curva de tirantes del río tiene menor curvatura que la de conjugados.

Cuando para un gasto dado el nivel del río es superior al nivel del conjugado, el salto hidráulico se ahoga; si los niveles coinciden, se forma un salto claro, y si el nivel del río es inferior al nivel del conjugado, el salto se barre.

Si se tiene una curva tipo "a", usual en ríos caudalosos de planicies, la disipación de energía se hace normalmente con cubetas deflectoras. Otra alternativa sería, en caso de tener condiciones propicias, elevar el tanque amortiguador y diseñar según los casos "c" o "d". Para una selección final debe hacerse un estudio económico de los dos tipos de estructuras.

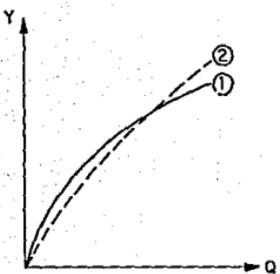


a)

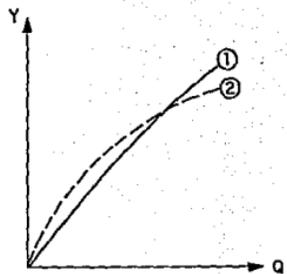


b)

- ① Tirantes en el río
- ② Tirantes conjugados mayores



c)



d)

Fig.2.9: "Curvas de tirantes del río y de los conjugados mayores"

Si se tiene una curva tipo "b" o tipo "c", usuales en ríos de alta pendiente, y si es necesario un tanque amortiguador, éste deberá profundizarse con excavación bajo el cauce, o bien colocarle un umbral terminal (fig. 2.8), con el fin de asegurar el salto hidráulico para todas las descargas.

Cuando es posible en estos casos, la solución más adecuada es la de una cubeta de lanzamiento, que no debe ser ahogada por los tirantes del río para ningún gasto.

Si se tiene una curva tipo "d", se recomienda construir un tanque amortiguador.

El presente estudio tratará la solución del caso correspondiente a la curva tipo "b", mediante el empleo de cubetas de lanzamiento.

Tanto para el diseño de las cubetas como para tanques amortiguadores, se requiere la determinación de los tirantes en la rápida que les precede.

II.5. Determinación de los tirantes en la rápida de descarga.

Para la determinación del perfil de la superficie libre del agua, tanto en la rápida de descarga como en la cubeta, se empleará el método de incrementos finitos, el cual es aplicable tanto en canales prismáticos como no prismáticos.

Suponiendo que se tiene el tramo de un canal prismático limitado por dos secciones, 1 (aguas arriba) y 2 (aguas abajo), separadas por una distancia Δx , y si se sabe que la variación de energía en una cierta distancia está definida por:

$$\frac{dE}{dx} = S_0 - S_f'$$

donde:

S_0 = pendiente normal del canal

S_f' = pendiente media de fricción

Entonces, la variación de energía entre las secciones 1 y 2, quedaría definida por (ec. 2.1):

$$E_2 - E_1 = (S_0 - S'_r) \Delta x \quad (2.1)$$

donde:

$$E_1 = y_1 + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$E_2 = y_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$S'_r = \frac{1}{2}(S_{r1} + S_{r2}) \Delta x$$

Para canales que tengan un ángulo de inclinación de plantilla $\theta > 10^\circ$, el término "y", correspondiente a la carga de presión, deberá sustituirse por la expresión: "d cos θ ", donde d = y cos θ .

Las pendientes de fricción S_{r1} y S_{r2} se pueden calcular, con la fórmula de Manning, como sigue (ecs. 2.2 y 2.3):

$$S_{r1} = \left(\frac{v_1 n_1}{Rh_1^{2/3}} \right)^2 \quad (2.2)$$

$$S_{r2} = \left(\frac{v_2 n_2}{Rh_2^{2/3}} \right)^2 \quad (2.3)$$

donde:

v = velocidad media del flujo en la sección considerada

n = coeficiente de rugosidad de Manning

Rh = radio hidráulico

El método consiste en proponer un valor tentativo de tirante en la sección desconocida, a partir de una sección de control, y ajustar dicho valor mediante la verificación a través de las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3, evitando que las características que se especifiquen para la sección desconocida produzcan longitudes Δx muy grandes que induzcan a errores serios, dado que se trata de un procedimiento de incrementos finitos.

Al aplicar este método para la obtención de perfiles de flujo en curvas verticales (cubetas de lanzamiento) el término correspondiente a la carga de presión, se debe afectar por la expresión:

$$\pm \frac{v^2 d}{gR}$$

donde:

v = velocidad media del flujo en la sección considerada

$d = y \cos \theta$

g = aceleración de la gravedad

R = radio de curvatura de la cubeta

la cual corrige el efecto de la curvatura de las líneas de corriente sobre la carga de presión, y se utiliza el signo positivo cuando el flujo es cóncavo y el negativo cuando es convexo.

De esta forma, la energía total del flujo en la sección considerada quedaría expresada como (ec. 2.4):

$$H_T = z + d \cos \theta \pm \frac{v^2 d}{gR} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.4)$$

III. FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO HIDRAULICO

CAPITULO III. FUNCIONAMIENTO Y DISEÑO HIDRAULICO.

III.1. Geometría y nomenclatura de la cubeta de lanzamiento.

En las figuras 3.1 y 3.2 se presenta la nomenclatura empleada en el desarrollo de este trabajo, donde:

T_1 : Distancia entre el nivel del agua y el fondo del cauce en el embalse.

T : Distancia entre el nivel del agua en el embalse y el labio de la cubeta de lanzamiento.

H_0 : Carga hidráulica sobre la cresta vertedora.

d : Tirante del flujo medido perpendicularmente a la plantilla del canal.

H_f : Carga total real en cada sección (diferencia de nivel entre la plantilla de la cubeta en cada sección y el gradiente hidráulico correspondiente).

θ : Angulo de lanzamiento del chorro en grados (ángulo de salida de la cubeta).

z' : Distancia vertical medida desde el labio de la cubeta hasta el remanso que se produce en el cauce.

z_0 : Distancia entre el nivel del agua antes del vertedor y el nivel del remanso al pie de la estructura.

d_L : Altura del labio de la cubeta en relación con el lecho del cauce.

α : Angulo de llegada del flujo en grados (ángulo de inclinación de la plantilla del canal de descarga con respecto a la horizontal).

β : Angulo de deflexión de la cubeta en grados.

β_1 : Angulo comprendido entre la normal a la plantilla del canal, al inicio de la cubeta, y la normal a la plantilla, en la sección considerada propia de la cubeta, en grados.

ϕ : Angulo de desarrollo de la cubeta en grados.

R: Radio de la cubeta de lanzamiento.

S: Distancia medida a lo largo de la cubeta.

X, Y: Sistema de ejes coordenados con origen en el labio de la cubeta.

b_L : Ancho del labio de la cubeta.

L_V : Longitud de vuelo del chorro.

h_{max} : Altura máxima que alcanza el chorro, respecto al nivel del labio de la cubeta.

V_{ent} : Velocidad de entrada del chorro en la superficie libre del agua.

t_1 : Profundidad del cono de socavación.

t_2 : Profundidad del flujo en el remanso aguas abajo de la cubeta.

z: Carga de posición.

L_C : Distancia entre el labio de la cubeta y el punto de máxima profundidad del cono de socavación.

b: Ancho de la cubeta de lanzamiento.

ϵ : Angulo de divergencia del chorro en grados.

B_{vuelo} : Ancho máximo de vuelo del chorro.

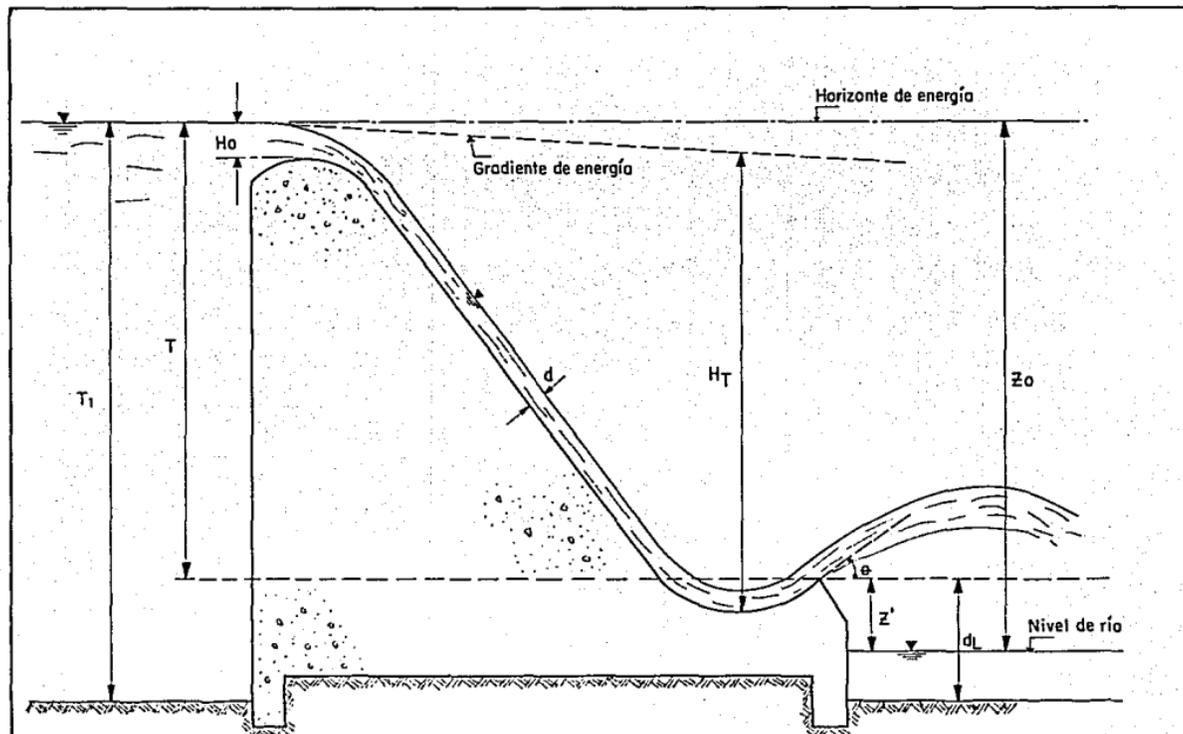


Fig.3.1: "Geometría y nomenclatura de la cubeta de lanzamiento"

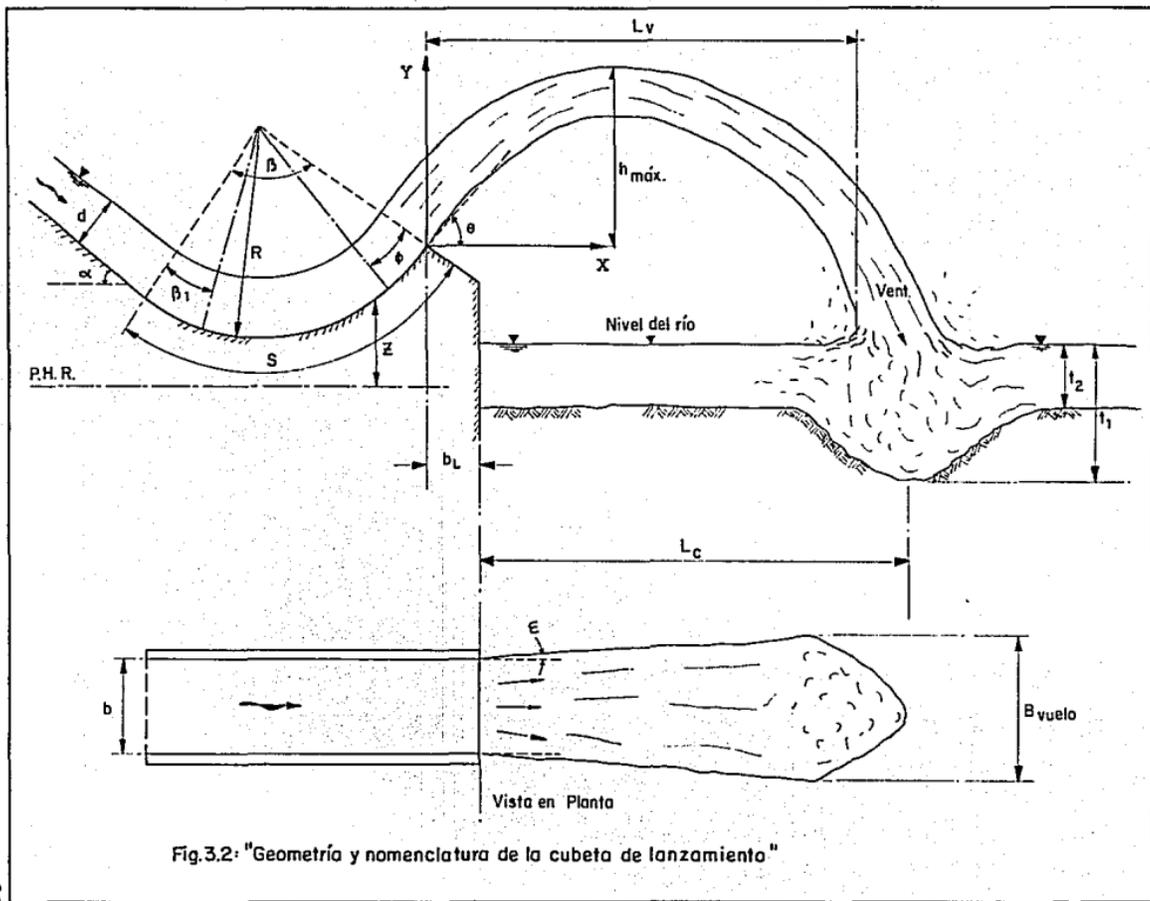


Fig.3.2: "Geometría y nomenclatura de la cubeta de lanzamiento"

III.2. Funcionamiento hidráulico.

En las cubetas de lanzamiento, el agua sale como un chorro libre y cae en el cauce a cierta distancia del extremo de la misma. La trayectoria del chorro, aproximadamente parabólica, depende de la energía del flujo en el extremo y del ángulo con el que el chorro sale de la cubeta (fig. 3.3a).

Una de las condiciones que se deben cumplir para que la cubeta de lanzamiento funcione correctamente es que, el nivel del agua correspondiente al tirante del río para máxima descarga debe ser inferior a la elevación del labio de la cubeta, para que de esta forma, no haya posibilidad de ahogamiento y deje de funcionar como tal.

Por otra parte, colocar el labio de la cubeta lo más bajo posible, siempre y cuando cumpla con el requisito señalado anteriormente, es muy ventajoso, pues se alcanza un mayor lanzamiento del chorro.

Una cubeta de lanzamiento deberá proyectarse siempre tomando en cuenta todo el rango de gastos de descarga, ya que para cada gasto, la zona en donde el chorro cae en el cauce cambia.

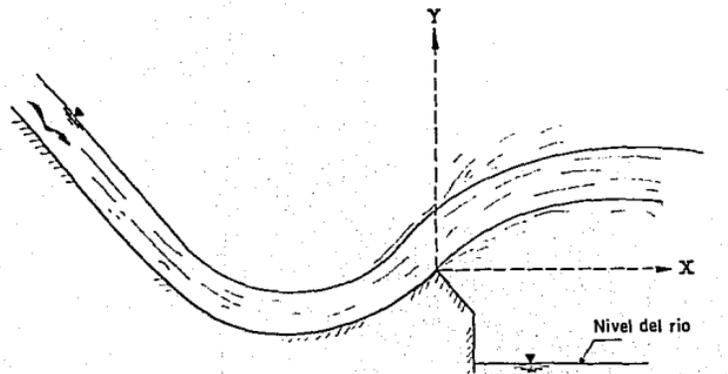
Toda cubeta en que el labio deflector forme un ángulo positivo en relación con la horizontal, se ahogará; lo anterior quiere decir que no descargará libremente para alguno de los gastos, si existe la posibilidad de que se descargue por el vertedor desde prácticamente un gasto cero, hasta el máximo. (fig. 3.3b).

III.2.1. Determinación del gasto mínimo de despegue teórico.

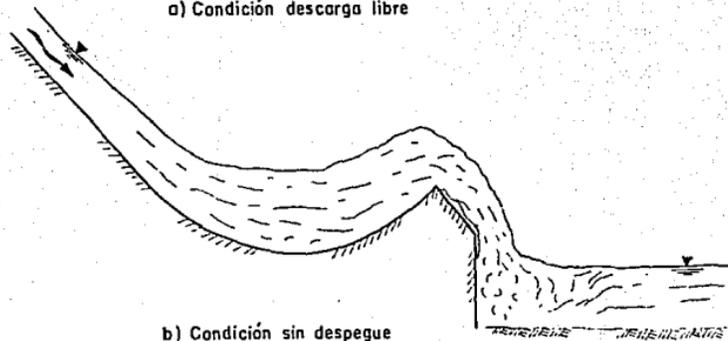
El llamado "gasto mínimo de despegue teórico" es el gasto mínimo con el cual, teóricamente, una cubeta de lanzamiento funciona como tal.

Para estimarlo, se recomienda el siguiente procedimiento:

Se supone un cierto gasto para el cual, si se presenta salto hidráulico dentro de la cubeta, en su extremo se presenta régimen crítico; aguas arriba del extremo de la cubeta habrá régimen subcrítico y en el canal aguas arriba de ella se tendrá régimen supercrítico.



a) Condición descarga libre



b) Condición sin despegue

Fig. 3.3.- "Funcionamiento hidráulico de cubetas de lanzamiento"

En régimen supercrítico se calcula en cada sección la energía que se tendría si se presentara el salto hidráulico; así mismo, al régimen subcrítico se le calcula del extremo de la cubeta hacia aguas arriba y en cada sección, su energía, de suerte que en forma gráfica se dibujan los dos gradientes.

Si las dos líneas de gradiente se cortan habrá salto hidráulico efectivamente para el gasto supuesto. Se procede entonces a aumentar el gasto y repetir el procedimiento. Si lo anterior se repite hasta llegar a un gasto con el cual no se presenta salto hidráulico, querrá decir que el gasto de despegue quedará comprendido entre éste último y el anterior.

Si por el contrario, se inició el procedimiento con un gasto para el cual no se cruzaron las líneas de gradiente, deberá repetirse el procedimiento suponiendo un nuevo gasto menor, hasta que con alguno se encuentre condición de salto hidráulico.

Para la determinación de los tirantes conjugados mayores en el canal o rápida de descarga, se utiliza la gráfica que se muestra en la figura 3.4, válida para canales de sección rectangular con pendiente.

III.3. Diseño hidráulico.

El diseño geométrico de las cubetas de lanzamiento consiste fundamentalmente en la determinación del radio de la cubeta y del ángulo de salida que se le debe dar al chorro lanzado.

III.3.1. Determinación de la geometría.

Cuando al pie de una cubeta la topografía es mas o menos plana, pero el material es muy erosionable, puede recomendarse el empleo de una cubeta sin ángulo de salida en relación con la horizontal. En este caso, se producirá un gran agujero que iniciará desde muy cerca del deflector, formando un estanque.

El tirante de agua que se tenga al pie del deflector ayudará a amortiguar la energía del agua cuando los gastos sean tan pequeños que traten de socavar en esta zona, y la erosión no llegará mas allá de valores pequeños.

La frecuencia de gastos y la magnitud de los mismos serán factores que deben tomarse en cuenta cuando se pretenda utilizar una cubeta de

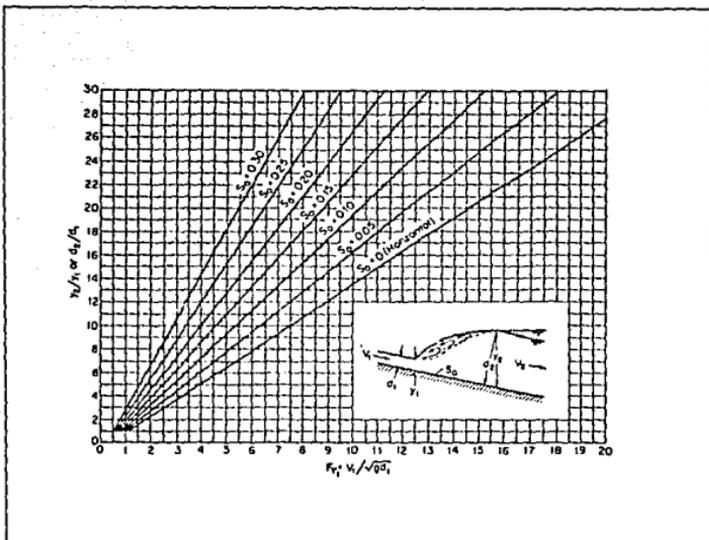


Fig. 3.4: "Relaciones experimentales para salto hidráulico en canales con pendiente" (ref. 4).

lanzamiento, ya que además de las características topográficas y geológicas, las hidrológicas son definitivas para poder conocer la intensidad y forma de las erosiones para cada geometría de cubeta.

III.3.2. Determinación de la distribución de presiones.

En el diseño de una cubeta de lanzamiento, debido a su geometría, la fuerza centrífuga incrementa la presión en el fondo y sobre las paredes laterales del canal, por lo cual es importante evaluar ese incremento de presión para el análisis de estabilidad de la cubeta en sí, y de las estructuras en que está apoyada.

Se tienen varios criterios para evaluar las presiones en la cubeta, desde el más simple que para llegar a la fórmula de la presión en función de la velocidad del agua y el tirante, parte de la idea que la presión es fuerza entre área, hasta los métodos teóricos más elaborados, como el propuesto por el U.S. Corps of Engineers.

En este trabajo se utilizarán dos métodos:

El método denominado "analítico", el cual considera que la carga de presión total que se tiene en cualquier sección de la cubeta se puede evaluar mediante la expresión (ec. 3.1):

$$H_p = d \cos \theta \pm \frac{v^2 d}{gR} \quad (3.1)$$

donde:

- d = Tirante medido perpendicular a la plantilla del canal en m.
- θ = ángulo de inclinación del canal en la sección considerada en grados.
- v = velocidad media del flujo en la sección considerada en m/s.
- g = aceleración de la gravedad en m/s².
- R = radio de curvatura de la cubeta en m.

El otro método a utilizar será el método "gráfico", propuesto por el U.S. Corps of Engineers (ref. 1), válido para cubetas de sección rectangular, el cual es muy recomendado debido a su sencillez y por estar basado en observaciones experimentales de laboratorio y de prototipos.

El parámetro básico es la presión que produce la fuerza centrífuga (ec. 3.2):

$$p_c = \frac{gv^2}{gR} \tag{3.2}$$

donde:

- p_c : Presión centrífuga en cada sección de la cubeta, en kg/m^2 .
- d : Tirante medido perpendicularmente a la plantilla del canal en m.
- v : Velocidad media del flujo en cada sección, en m/s.
- g : Aceleración de la gravedad, en m/s^2 .
- γ : Peso volumétrico del agua, en kg/m^3
- R : Radio de la cubeta de lanzamiento, en m.

La presión sobre cualquier punto de la cubeta puede expresarse en función de otras magnitudes físicas, de manera que la carga de presión resultaría:

$$\frac{h_p}{H_T} = f \left[\frac{q}{R\sqrt{2gH_T}}, \frac{\beta}{\beta_T} \right]$$

donde:

- h_p : Carga de presión en cualquier punto de la cubeta, en m.
- H_T : Carga total real en cada sección, o bien, diferencia de nivel entre la plantilla de la cubeta en cada sección y el gradiente hidráulico correspondiente, en m.
- q : Gasto unitario, en $m^3/s/m$.
- β : Angulo comprendido entre la normal a la plantilla del canal al inicio de la cubeta y la normal a la plantilla en la sección considerada de la propia cubeta, en grados.
- β_T : Angulo de deflexión total de la cubeta, en grados.

La gráfica de la figura 3.5 muestra tres curvas, dos de ellas corresponden a valores fijos de β/β_T y la otra a un rango de valores β/β_T ; esto último se debe a que en ese rango de valores la variación de la carga de presión h_p es muy pequeña y se puede considerar como constante.

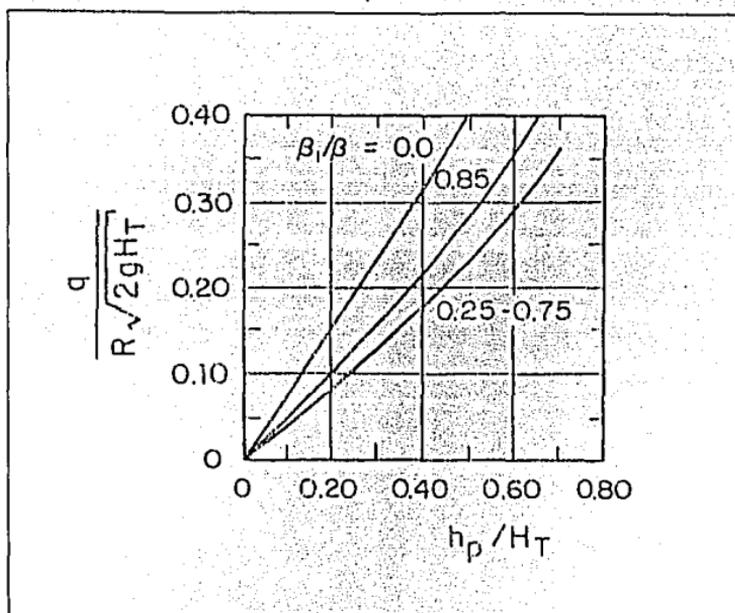


Fig3.5 : "Cálculo de presiones en la cubeta" (ref. 1).

Para determinar la presión p_C en cualquier punto de la cubeta se valúa

$\frac{q}{R\sqrt{2gH_T}}$, se refiere a la curva de valor β/β_T correspondiente y se obtiene $\frac{h_p}{H_T}$; de ese valor se determina h_p y finalmente ese h_p multiplicado por el peso volumétrico del agua (γ) permite determinar la p_C buscada.

III.3.3. Determinación de la longitud de lanzamiento del chorro.

Tomando como origen de las coordenadas a la salida de la cubeta (fig. 3.3a), la trayectoria del chorro se obtiene por medio de la ecuación 3.3:

$$Y = X \tan \theta \pm \frac{X^2}{K[4(d+h_v) \cos^2 \theta]} \quad (3.3)$$

de donde:

d: tirante medido perpendicularmente a la plantilla del canal, a la salida de la cubeta, en m.

h_v : carga de velocidad del flujo a la salida de la cubeta, en m.

X, Y: coordenadas referidas a un sistema de ejes cartesianos.

K: factor para compensar la pérdida de energía y la reducción de velocidad debidas a la resistencia del aire, turbulencias internas y desintegración del chorro (expansión); se supone un valor aproximado de 0.9.

En la ecuación anterior, se utiliza el signo negativo cuando el ángulo de salida de la cubeta es por arriba de la horizontal, y el positivo en caso contrario.

El alcance horizontal del chorro al nivel de la salida, se obtiene haciendo "Y" igual a cero en la ecuación 3.3 (ec. 3.4):

$$X = 2K(d+h_v) \operatorname{sen} 2\theta \quad (3.4)$$

III.3.4. Determinación del cono de socavación al pie de la estructura.

Cuando no se suministra una protección artificial en la base de la caída, la erosión produce un "colchón" de agua en forma de pozo; para valuar en forma aproximada sus dimensiones, se recomienda aplicar la fórmula de Veronese, basada en datos experimentales (ec. 3.5, ref. 2):

$$d_s = 1.9 H_T^{0.225} q^{0.54} \quad (3.5)$$

donde:

d_s : Profundidad máxima del colchón formado abajo del nivel del agua del remanso, en m, igual al colchón inicial más la socavación final.

H_T : diferencia de nivel entre la superficie libre del agua en el embalse hasta el nivel del agua en el remanso, en m.

q : Gasto unitario, en $m^3/s/m$.

III.3.5 Ancho máximo de lanzamiento del chorro.

El ancho máximo de lanzamiento del chorro, B_{vuelo} , se produce cuando éste penetra en el remanso formado aguas abajo de la estructura terminal (fig. 3.2); Vizgo (ref. 1) lo determina con la siguiente expresión (ec. 3.6):

$$B_{vuelo} = b + 2L_V \tan \varepsilon \quad (3.6)$$

donde:

B_{vuelo} = ancho máximo de vuelo del chorro.

b = ancho de plantilla de la cubeta

L_V = longitud de vuelo del chorro

ε = ángulo de divergencia del chorro

El ángulo de divergencia del chorro, ε , se puede calcular en función del número de Froude en la salida de la geometría de la cubeta de lanzamiento.

III.3.6. Riesgos de erosión por cavitación.

Aunque los alcances del presente trabajo no abarcan el cálculo de los riesgos de erosión por cavitación, es necesario mencionar que éstos representan un grave problema para la operación y mantenimiento de la cubeta de lanzamiento.

Este efecto se presenta aguas abajo de cualquier obstáculo al flujo o por la presencia de presiones próximas a la de vaporización, y en ambos casos, el efecto está asociado a una separación del flujo de la frontera que lo confina.

Las principales causas por las que se presenta este fenómeno son las siguientes:

- a) Por formas irregulares de las superficies, malos acabados, salientes y fisuras.
- b) Elementos estructurales como ranuras, juntas de dilatación, deflectores, bloques, cambios de dirección etc.
- c) Materiales inadecuados.

La experiencia ha demostrado que el fenómeno de cavitación en las obras de excedencias con escurrimientos a superficie libre a altas velocidades, es, generalmente, función del valor de la presión de vaporización donde se produce la cavitación.

Como medidas de protección contra este tipo de fenómeno se pueden mencionar las siguientes: Adoptar especificaciones más rigurosas en los acabados de las superficies, utilizar acabados más resistentes, introducir aire a la vena líquida en toda la superficie reduciendo así los impactos resultantes del colapso por cavitación.

En la ref. 6 se puede ver a detalle el cálculo de estos riesgos.

IV. APLICACIONES

CAPITULO IV. APLICACIONES.

IV.1. Comentarios generales acerca de la teoría de los modelos.

En numerosos problemas relacionados con la hidráulica, el tratamiento meramente matemático, con base en modelos analíticos, no siempre nos permite llegar a la solución, a menos que se planteen hipótesis simplificadoras, las cuales pueden llegar a falsear los resultados, a tal grado que dicha solución no tenga nada que ver con el comportamiento real del fenómeno.

Los "modelos hidráulicos" tienen como finalidad controlar y modificar diseños analíticos de estructuras hidráulicas; mediante el uso de modelos físicos es posible experimentar, a bajo costo y con gran economía de tiempo, hasta obtener condiciones óptimas.

La técnica seguida en la teoría de los modelos se basa en el empleo de parámetros adimensionales formados con las diferentes variables del problema, la cual permite la transposición de los resultados de un modelo hidráulico a la estructura real.

La "teoría de la similitud" satisface las necesidades anteriormente mencionadas y es la base de la teoría de los modelos.

Se definen los siguientes tipos de similitud:

a. Similitud geométrica:

La similitud geométrica implica, de un modo estricto, que la relación de todas las longitudes homólogas es igual en los dos sistemas (prototipo y modelo).

b. Similitud cinemática:

Implica que los movimientos de modelo y prototipo son similares cinemáticamente si partículas homólogas llegan a puntos homólogos en tiempos homólogos.

c. Similitud dinámica:

Se cumple la semejanza dinámica cuando las fuerzas ejercidas por el fluido en puntos homólogos del modelo y prototipo están relacionados entre sí mediante un valor fijo denominado "escala de fuerzas". Las fuerzas que actúan en una partícula de fluido pueden ser debidas a la gravedad, a la presión, a la viscosidad y a la tensión superficial.

Dentro de las leyes de similitud, existen parámetros adimensionales, los cuales rigen el comportamiento de los distintos fenómenos que se puedan presentar; uno de estos parámetros es el llamado "número de Froude" el cual tiene importancia en fenómenos en los que intervienen flujos con velocidades grandes que ocurren por acción exclusiva de la gravedad, como es el caso de las cubetas de lanzamiento.

En general se representa como:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gd}}$$

donde:

v = Velocidad media del flujo en la sección considerada.

g = aceleración de la gravedad.

d = Tirante medido perpendicularmente a la plantilla del canal en la sección considerada.

IV.2. Descripción de los modelos.

La etapa de experimentación se llevó a cabo en dos modelos, ubicados dentro de las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. Cada uno de estos modelos cuenta con una cubeta de lanzamiento como estructura terminal.

Con el propósito de analizar el efecto que produce la variación de la geometría de la cubeta sobre el comportamiento y funcionamiento de la estructura, a cada uno de los dos modelos se adaptaron dos cubetas geoméricamente distintas.

a. Geometría del primer modelo.

El primero corresponde a un modelo cuya obra de excedencias es del tipo "vertedor de canal lateral", que cuenta con un canal colector seguido por una rápida o canal de descarga; la estructura terminal de la obra de excedencias es una cubeta de lanzamiento.

El modelo está diseñado para proporcionar un gasto máximo aproximado de 17 lps.

En la figura 4.1 se muestra la geometría general del modelo, mientras que las figuras 4.2 y 4.3 ilustran las características geométricas de las dos cubetas de lanzamiento con las que se experimentó en el primer modelo.

La figura 4.4 muestra la geometría del vertedor triangular para aforo de gastos con que cuenta este modelo, así como su ley de descarga correspondiente.

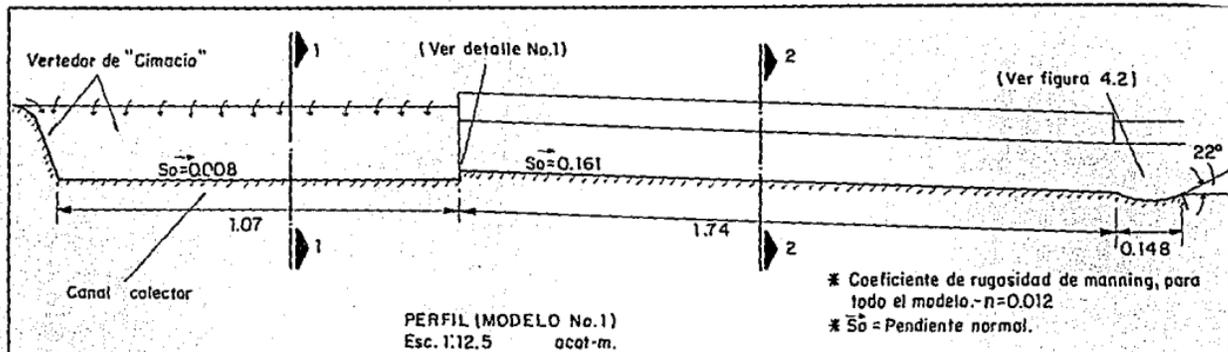
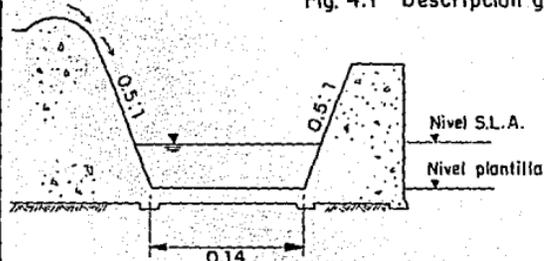
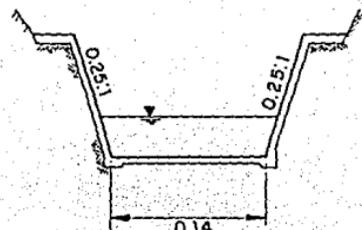


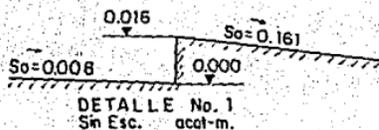
Fig. 4.1 " Descripción general, 1er. modelo



CORTE 1-1-"CANAL COLECTOR"
Sin Escala.
acot-m.



CORTE 2-2 "CANAL DE DESCARGA"
Sin Escala.
acot-m.



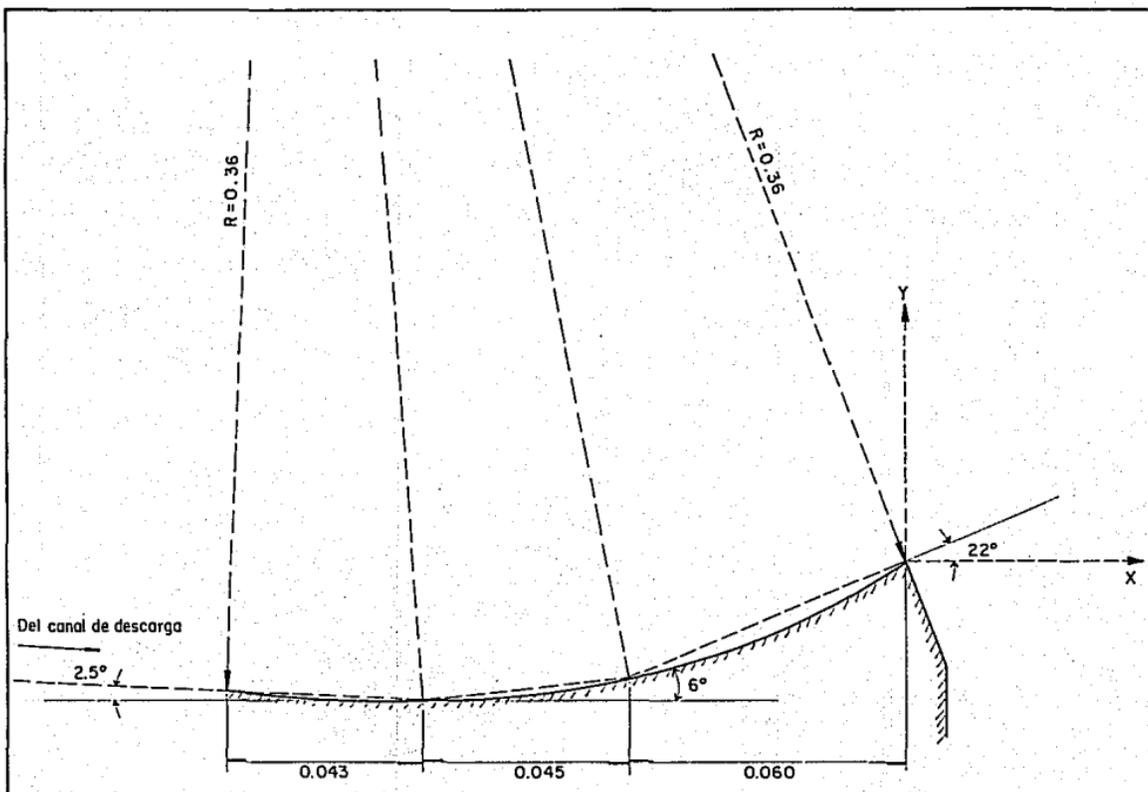


Fig.4.2.- Geometria de la cubeta No.1 (Primer modelo)
Escala:1:1 ACOT-m.

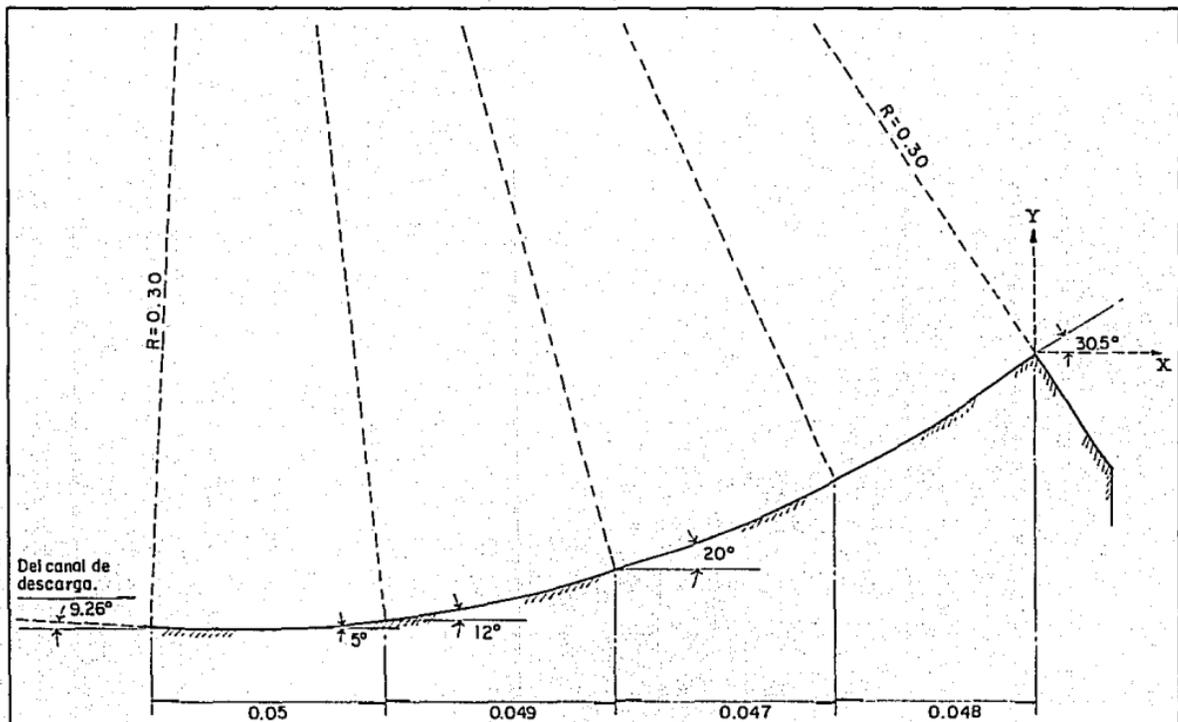
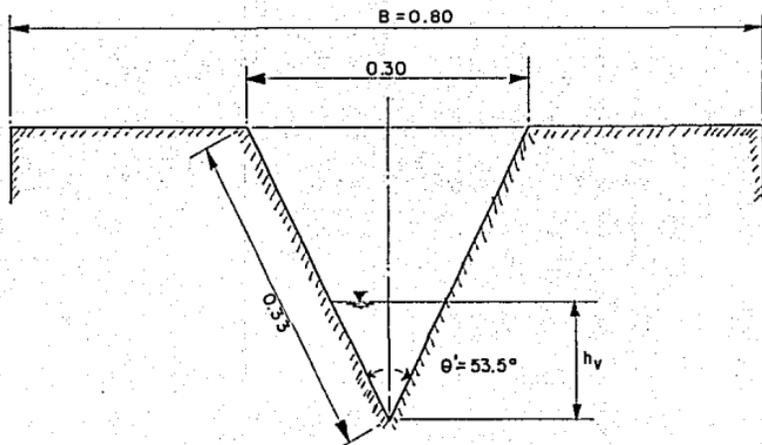


Fig.4.3 "Geometría de la cucteta No.2"(Primer Mod.1o)
 ESCALA:1:1 ACOT-m.



- Ecuación de gasto =
$$Q = \frac{B}{15} (2g)^{1/2} \tan \frac{\theta'}{2} A K (h_v)^{5/2}$$

De donde: $Q =$ Gasto, en m^3/S
 $h_v =$ Carga sobre el vertedor en m.
 $A = f(\theta', h_v)$
 $K = f(G', B/h_v)$

Fig.4.4= "Vertedor para aforo de gastos" (Primer modelo)
 ESCALA 1 : 5 ACOT-mm.

b. Geometría del segundo modelo.

El segundo modelo en el que se experimentó, representa un vertedor de "cimacio", con descarga libre y cuya estructura terminal es una cubeta de lanzamiento.

Los vertedores de "cimacio" son aquéllos cuya forma se aproxima a la de la superficie inferior de una lámina de agua descargando por un vertedor de pared delgada, y es precisamente ésta forma la ideal para obtener una descarga óptima.

Este modelo fue diseñado con una carga de 15.1 cm, y una cresta vertedora de 40.5 cm de longitud.

La figura 4.5 describe las características geométricas del modelo, así como todos los datos necesarios para los cálculos analíticos.

Las figuras 4.6 y 4.7 muestran las características geométricas de las dos cubetas con las que se experimentó en el segundo modelo.

En la figura 4.8 se ilustra el vertedor triangular para aforo de gastos con que cuenta el modelo.

Para realizar los cálculos analíticos correspondientes al segundo modelo, se utilizó la ley de descarga para un vertedor con cresta de cimacio (ec. 4.1):

$$Q = CL_e H_e^{1.5} \quad (4.1)$$

en donde:

Q= Gasto que descarga por el vertedor, en m³/s.

L_e= Longitud efectiva de la cresta vertedora, en m.

H_e= Carga total sobre la cresta, incluyendo la carga correspondiente a la velocidad de llegada, en m.

C= Coeficiente de descarga variable.

La longitud efectiva de la cresta es la equivalente a la longitud geométrica menos las contracciones laterales debidas a la presencia de pilas a la entrada del vertedor; dado que no existen pilas, y que la velocidad de llegada del agua al vertedor es despreciable, se puede decir que L_e=L y H_e=H.

El coeficiente de descarga "C" depende de variables tales como la profundidad de llegada, la relación de la forma real de la cresta a la de la lámina ideal, la pendiente del paramento aguas arriba, el tirante de la corriente aguas abajo, etc., y se obtiene por medio de gráficas obtenidas de manera experimental.

La figura 4.9 muestra la gráfica que se utilizó para la obtención del coeficiente de descarga "C", correspondiente a cimacios de cresta libre.

Para la obtención de los diferentes perfiles del flujo, desde la cresta del vertedor hasta el punto de tangencia P.T.₁ se utilizó la siguiente ecuación (ec. 4.2 ref. 4):

$$\left[\frac{Y'}{H} + 1 \right] = k_1 \left[\frac{X'}{H_d} + 1 \right]^{N_1}$$

$$k_1 = 0.197176 \left(\frac{H}{H_d} \right)^{-0.39224}$$

$$N_1 = 2.19883 \left(\frac{H}{H_d} \right)^{-0.20651}$$

(4.2)

en donde:

X', Y': coordenadas del perfil del flujo en cada sección, tomando como origen la cresta del vertedor.

H: carga total sobre la cresta del vertedor.

H_d: carga de diseño del vertedor.

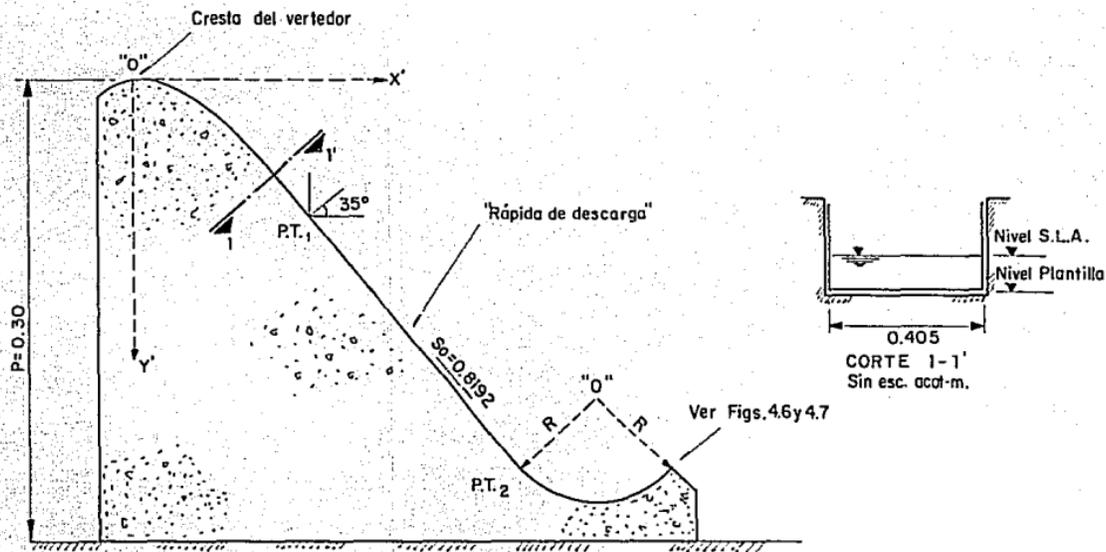
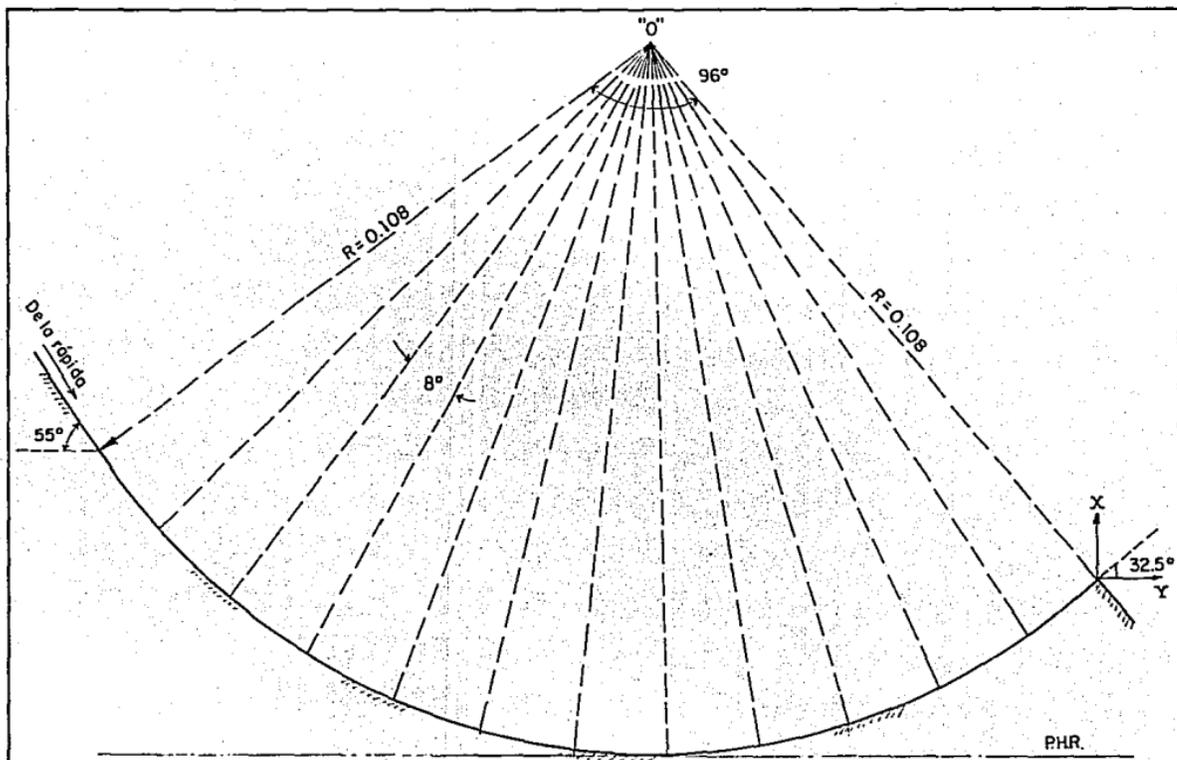


Fig.4.5 Descripción general segundo modelo
Sin escala. acot -m.

NOTAS: * Coeficiente de rugosidad de Manning para todo el Modelo $n=0.012$.

* S_o =Pendiente normal.

* Carga de diseño "Hd"=0.151 m.



- * Longitud de la cubeta 0.18 m.
- * Coeficiente de rugosidad de manning $n=0.012$

Fig.4.6 "Geometría de la Cubeta No.1" (Segundo modelo)
Escala. 1:0.75

- * Longitud de la cubeta: 0.64 m.
- * Coeficiente de rugosidad de manning: 0.012

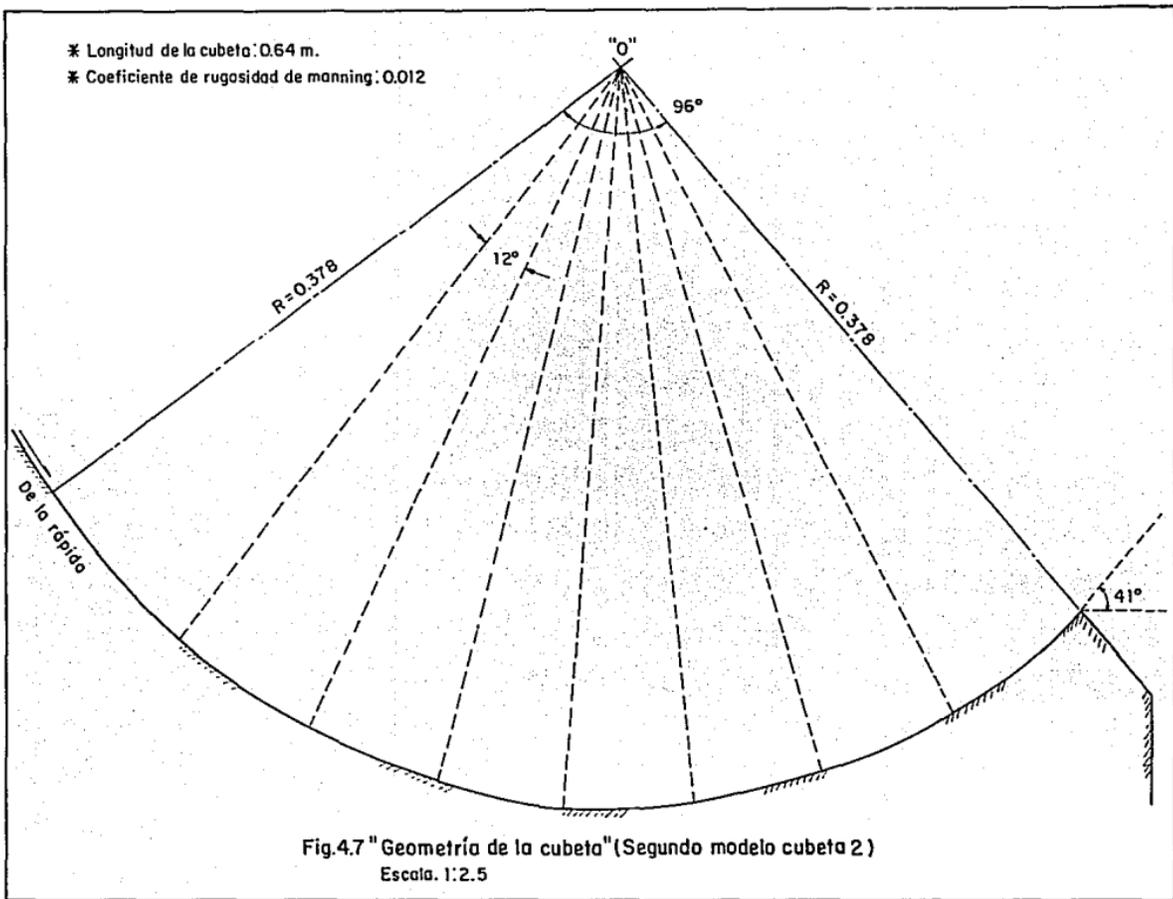
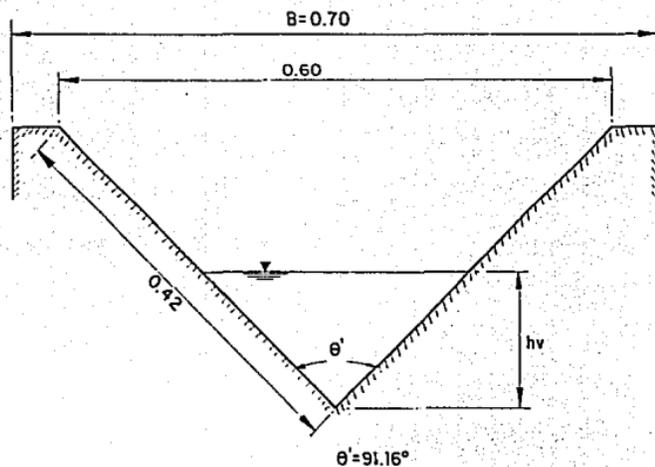


Fig.4.7 "Geometría de la cubeta"(Segundo modelo cubeta 2)
Escala. 1:2.5



Ecuación de gasto.-

$$Q = \frac{8}{15} (2g)^{1/2} \tan \theta'/2 \mathcal{H} K (h_v)^{5/2}$$

De donde.-

Q = Gasto, en m^3/s

h_v = Carga sobre el vertedor, en m

$\mathcal{H} = f(\theta', h_v)$

$K = f(\theta', B/h_v)$

Fig.4.8 "Vertedor para aforo de gastos (Segundo modelo)

Escala. 1:5

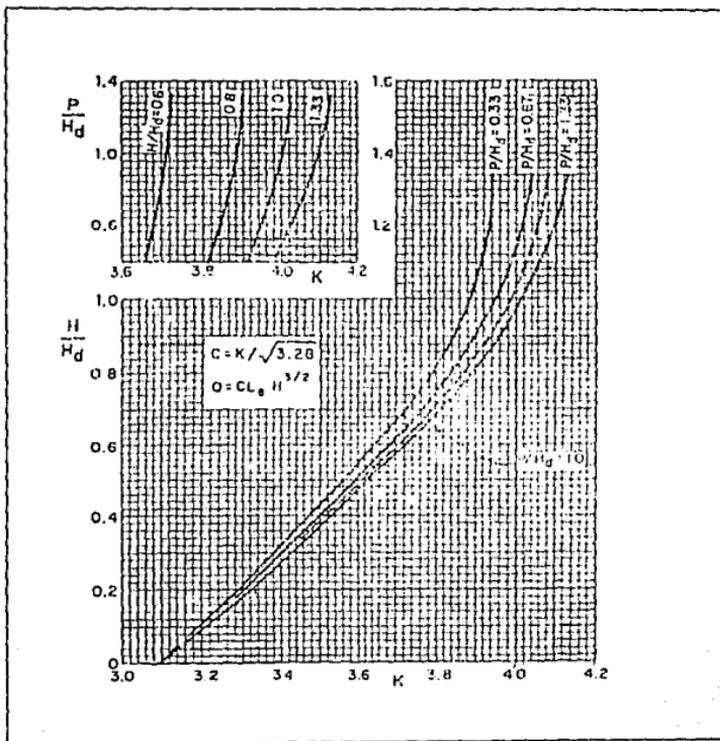


Fig. 4.9: " Coeficientes de descarga para cimacios de cresta libre "
(ref. 2)

IV.3 Mediciones en modelo

En ambos modelos, la etapa de experimentación consistió en la medición de la geometría física del modelo, la medición del "gasto mínimo de despegue experimental". a partir del cual, y para otros dos gastos mayores, se midieron los perfiles de flujo tanto en el canal o rápida de descarga como en la cubeta de lanzamiento, y la medición de la longitud de lanzamiento y el ancho máximo de vuelo del chorro.

Es importante mencionar que para la realización de este trabajo las instalaciones experimentales estuvieron limitadas en cuanto a la instrumentación en el caso de la medición de las presiones en las cubetas, por lo que los resultados que se reportan fueron obtenidos mediante procedimientos teóricos (método analítico y método gráfico).

-Comparación de perfiles medido y calculado para un gasto $Q = 1.74$ Lps.

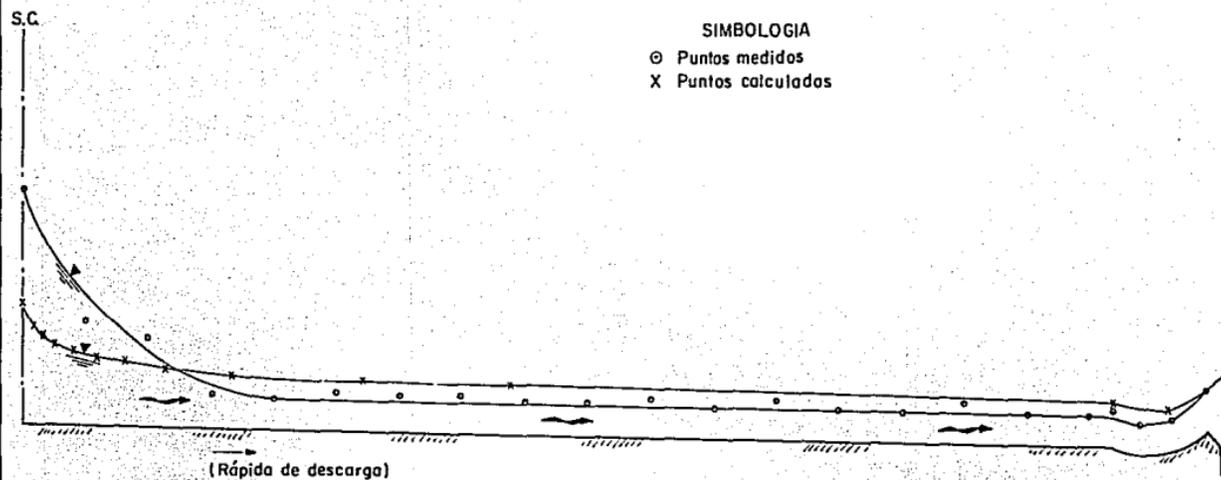


Fig.4.10 "Perfil medido vs. calculado" (Primer modelo, cubeta 1)

$Q = 1.74$ Lps.

Esc. H = 1 : 7.5
V = 1 : 1.

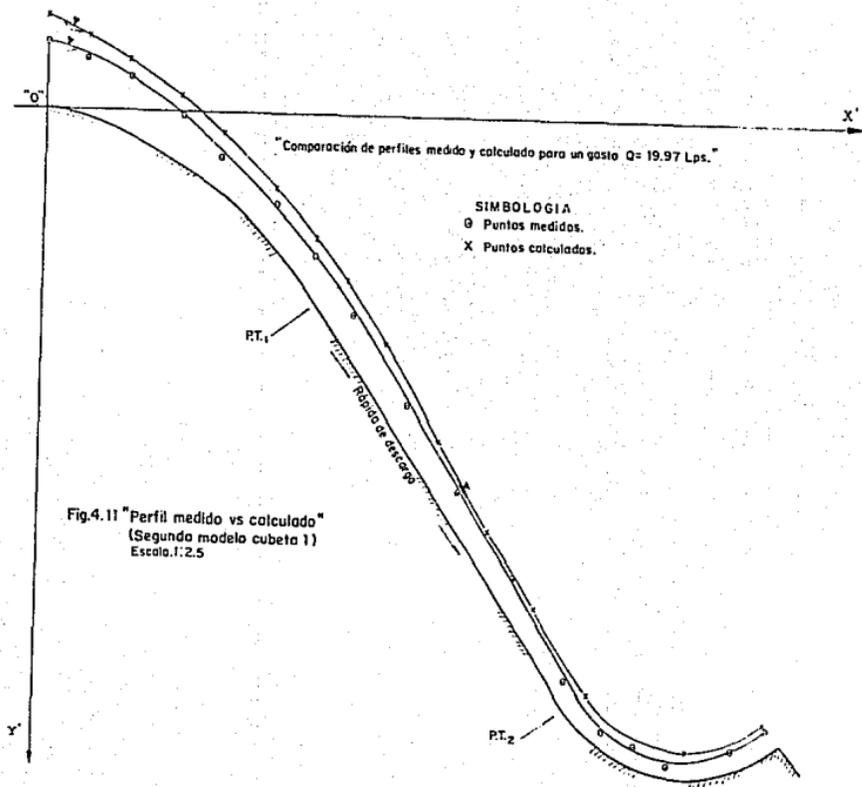


Fig.4.11 "Perfil medido vs calculado"
 (Segunda modelo cubeta 1)
 Escala. 1:2.5

IV.4 Resultados

Los cálculos analíticos que se realizaron para ambos modelos fueron los siguientes:

Para el primer modelo, se calcularon los perfiles de la superficie libre del agua tanto en la rápida de descarga como en la cubeta de lanzamiento para tres gastos teóricos (1, 3 y 5 lps), mediante el método de "incrementos finitos" descrito en la sección II.5.

También se realizó lo anterior para el gasto mínimo de despegue práctico, que en el caso de la primera cubeta resultó de 1.74 lps.

Se calculó de manera analítica el gasto mínimo de despegue teórico conforme al método descrito en la sección III.2.1.

Se calculó también la distribución de presiones en ambas cubetas, mediante el procedimiento analítico que se describe en la sección III.3.2 para los tres gastos prácticos (1.74, 5.14 y 11.06 lps). Se utilizó únicamente el método analítico debido a que en este caso ambas cubetas son de sección trapecial.

Para el segundo modelo, se realizaron los mismos cálculos, con la diferencia que la distribución de presiones en ambas cubetas se calculó mediante los dos métodos (gráfico y analítico) descritos en la sección III.3.2.

**RESULTADOS
(MODELO 1, CUBETAS 1 Y 2)**

TABLA DE MEDICIONES EXPERIMENTALES

PRIMER MODELO, CUBETA 1

SECCION No.	COTA DE PLANTILLA	COTA S.L.A. Q=1.74 L.P.S.	COTA S.L.A. Q=5.14 L.P.S.	COTA S.L.A. Q=11.06 L.P.S.	"y" (Q=1.74) (cm)	"y" (Q=5.14) (cm)	"y" (Q=11.06) (cm)
0	43.300	48.040	48.090	53.830	4.740	4.790	10.530
1	42.950	45.050	45.850	50.010	2.100	2.900	7.060
2	40.980	42.770	43.600	45.880	1.790	2.620	4.900
3	39.300	39.970	41.300	44.140	0.670	2.000	4.640
4	37.840	38.400	39.960	42.500	0.560	2.120	4.660
5	35.210	35.960	37.970	39.600	0.750	2.760	4.390
6	33.730	34.420	35.550	37.780	0.690	1.820	4.050
7	32.120	32.850	33.850	35.870	0.730	1.730	3.750
8	30.470	31.190	32.200	34.150	0.630	1.730	3.680
9	28.910	29.560	30.550	32.600	0.650	1.640	3.690
10	27.320	28.060	29.020	30.920	0.740	1.700	3.600
11	25.650	26.200	27.190	29.980	0.550	1.540	4.330
12	23.810	24.600	25.400	27.150	0.790	1.590	3.340
13	22.160	22.770	23.550	25.280	0.610	1.390	3.120
14	20.340	20.920	21.840	23.530	0.580	1.500	3.190
15	18.560	19.380	20.200	21.710	0.800	1.640	3.150
16	17.280	17.500	18.650	20.220	0.620	1.370	2.940
17	15.320	15.900	16.770	18.290	0.580	1.450	2.910
18	14.410	15.110	15.940	17.520	0.700	1.530	3.110
19	14.230	14.820	15.590	17.330	0.590	1.360	3.100
20	14.680	15.300	16.000	17.880	0.620	1.320	3.200
21	17.060	17.850	18.390	19.880	0.760	1.330	2.820

OBSERVACIONES:

LAS SECCIONES 0-17 CORRESPONDEN A LA RAPIDA DE DESCARGA
DISTANCIA ENTRE CADA SECCION: 10 cm

LAS SECCIONES 18-21 CORRESPONDEN A LA CUBETA DE LANZAMIENTO
(VER FIG. 4.2)

TODAS LAS COTAS EN cm

TABLA DE MEDICIONES EXPERIMENTALES

SEGUNDO MODELO, CUBETAS 1 Y 2

SECCION (1a CUBETA) (Dx cm)	COTA DE PLANTILLA	COTA S.L.A Q= 1.89	COTA S.L.A Q= 19.97	COTA S.L.A Q= 35.98	y (Q=1.89) (cm)	y (Q=19.97) (cm)	y (Q=35.98) (cm)
0.00	51.65	53.60	56.45	61.05	1.95	4.80	9.40
3.00	50.90	52.50	55.30	59.50	1.60	4.40	8.60
6.00	49.75	51.10	53.75	57.75	1.35	4.00	8.00
10.00	47.85	49.00	51.25	54.65	1.15	3.40	7.10
13.00	46.20	47.10	48.90	51.90	0.90	2.70	5.70
17.00	42.30	43.05	45.30	49.20	0.75	3.00	6.90
20.00	38.55	39.30	42.05	45.75	0.75	3.50	7.20
23.00	34.55	35.30	38.15	42.35	0.75	3.60	7.80
27.00	29.60	30.10	32.90	37.20	0.50	3.30	7.60
31.00	24.00	24.25	27.10	31.50	0.25	3.10	7.50
35.00	17.70	18.05	20.70	25.20	0.35	3.00	7.50

SECCION (1a CUBETA) (Dx cm)	COTA DE PLANTILLA	COTA S.L.A Q= 1.89	COTA S.L.A Q= 19.97	COTA S.L.A Q= 35.98	y (Q=1.89) (cm)	y (Q=19.97) (cm)	y (Q=35.98) (cm)	SECCION (2a CUBETA) (Dx cm)	COTA DE PLANTILLA	COTA S.L.A Q= 35.98	y (Q=35.98) (cm)
39.00	11.80	12.10	13.90	19.10	0.30	2.10	7.30	0.00	22.00	24.75	2.75
42.00	8.40	8.70	9.90	13.60	0.30	1.50	5.20	7.00	14.40	17.10	2.70
44.00	7.20	7.50	8.60	11.60	0.30	1.40	4.60	14.00	9.85	12.00	2.15
46.60	6.05	6.60	7.15	10.25	0.55	1.10	4.20	21.00	7.10	9.10	2.00
51.20	6.75	7.10	8.15	11.25	0.35	1.40	4.50	28.00	5.70	7.90	2.20
54.90	9.10	9.80	11.30	14.10	0.70	2.20	5.00	35.00	6.00	8.10	2.10
								42.00	7.60	9.80	2.20
								49.00	10.70	13.30	2.60
								56.00	15.95	19.05	3.10

OBSERVACIONES:

EN LA SEGUNDA CUBETA SOLO HUBO DESPEGUE DEL FLUJO CON 35.98 lps

TABLA 4.2

REPORTE DE MEDICIONES EXPERIMENTALES

PRIMER MODELO, CUBETA 1

Q	LONG. CHORRO	B vuelo
1.74 lps	10.00 cm	14.00 cm
5.14 lps	29.30 cm	16.00 cm
11.06 lps	37.00 cm	25.00 cm

GASTO MINIMO DE DESPEGUE

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q	LONG. CHORRO	B vuelo
1.89 lps	48.00 cm	39.00 cm
19.97 lps	83.00 cm	43.00 cm
35.98 lps	121.00 cm	46.00 cm

GASTO MINIMO DE DESPEGUE

SEGUNDO MODELO, CUBETA 2

Q	LONG. CHORRO	B vuelo
1.89 lps	sin despegue	sin despegue
19.97 lps	sin despegue	sin despegue
35.98 lps	37.00 cm	45.00 cm

TABLA 4.2'

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA RAPIDA DE DESCARGA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

MODELO 1

Q = 1.00 lps

Q (m3/s)	y (m)	A (m2)	P (m)	Rh	v (m/s)	v2/2g (m)	E (m)	Sf	Sf'	So-Sf'	x (m)	x ACUM (m)
0.001000	0.017000	0.002452	0.175046	0.014009	0.407789	0.008476	0.025476	0.007091				
	0.015500	0.002230	0.171954	0.012969	0.448418	0.010249	0.025749	0.009503	0.008297	0.152703	0.001788	0.001788
	0.014500	0.002083	0.169893	0.012258	0.480178	0.011752	0.026252	0.011747	0.010625	0.150375	0.003346	0.005134
	0.013500	0.001936	0.167831	0.011533	0.516646	0.013605	0.027105	0.014751	0.013249	0.147751	0.005772	0.010906
	0.012500	0.001789	0.165769	0.010792	0.558952	0.015924	0.028424	0.018863	0.016807	0.144193	0.009150	0.020056
	0.011500	0.001643	0.163708	0.010037	0.608520	0.018880	0.030390	0.024638	0.021751	0.139249	0.014044	0.034100
	0.010500	0.001498	0.161646	0.009264	0.667752	0.022726	0.033226	0.032999	0.028819	0.132181	0.021537	0.055637
	0.009500	0.001353	0.159585	0.008476	0.739337	0.027860	0.037360	0.045551	0.039275	0.121725	0.033961	0.089598
	0.008700	0.001237	0.157936	0.007832	0.808458	0.033313	0.042013	0.060515	0.053033	0.107967	0.043095	0.132693
	0.008000	0.001136	0.156492	0.007259	0.890282	0.039495	0.047495	0.079389	0.059952	0.091048	0.060210	0.192903
	0.007300	0.001035	0.155049	0.006677	0.965883	0.047550	0.054850	0.106841	0.093115	0.067885	0.108340	0.301243
	0.006600	0.000935	0.153606	0.006085	1.069645	0.058315	0.064915	0.148265	0.127553	0.033447	0.300925	0.602169
	0.006370	0.000902	0.153132	0.005890	1.108716	0.062653	0.069023	0.166412	0.157339	0.003661	1.122011	1.724180

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA DEL CANAL DE DESCARGA: 0.14 m.

TALUD DE LAS PAREDES DEL CANAL: 0.25

PENDIENTE DEL CANAL: 0.161

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.3

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA CUBETA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

PRIMER MODELO CUBETA 1

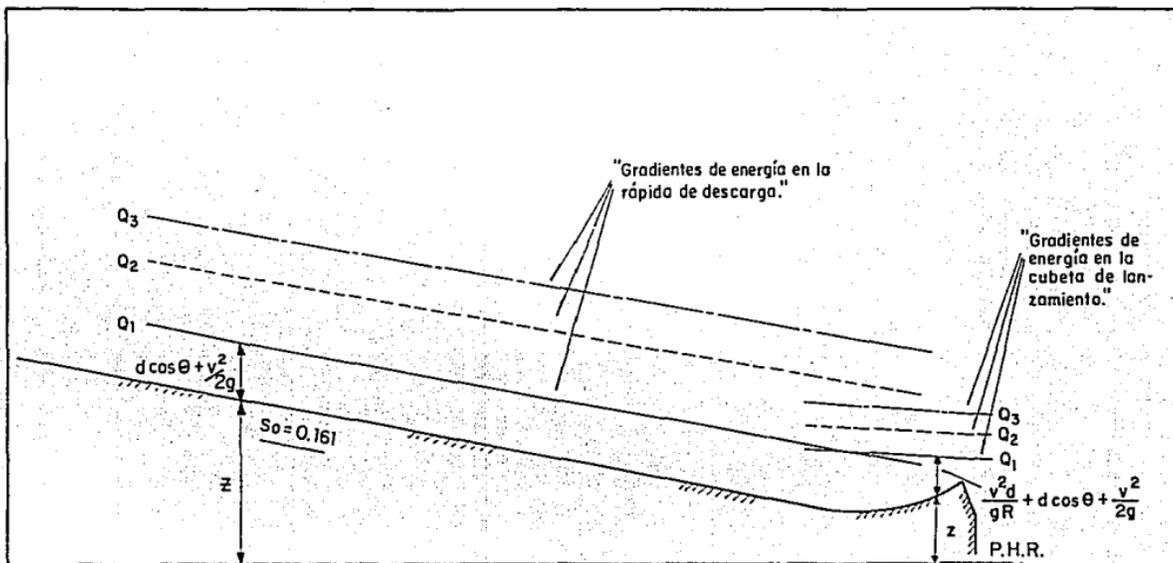
Q = 1.00 lps

Q (m ³ /s)	y (m)	d (m)	σ (m)	A (m ²)	P (m)	Rh	v (m/s)	v ² /2g (m)	E (m)	Sf	Sf	So-Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.001	0.017000													
	0.023000	0.021325	0.019772	0.002452	0.175045	0.014009	0.407789	0.008476	0.025476	0.007091				
	0.025000	0.023180	0.021492	0.003059	0.183963	0.016847	0.327651	0.005305	0.025707	0.003471	0.005281	0.379881	0.000610	0.000610
	0.027000	0.023034	0.023211	0.003661	0.191672	0.017996	0.295905	0.004453	0.025629	0.002674	0.003072	0.377727	0.002176	0.002786
	0.030000	0.027816	0.027590	0.004058	0.197343	0.020713	0.244642	0.003059	0.025912	0.002103	0.002309	0.377099	0.002686	0.005472
	0.032000	0.029670	0.027509	0.004374	0.201116	0.021743	0.228631	0.002564	0.026113	0.001240	0.001378	0.377978	0.003460	0.010175
	0.034000	0.031524	0.029229	0.004662	0.204912	0.022742	0.214508	0.002345	0.026195	0.001028	0.001174	0.377724	0.003651	0.017286
	0.036000	0.033379	0.030948	0.004952	0.208812	0.023713	0.201957	0.002079	0.026312	0.000862	0.000945	0.376545	0.003602	0.021088
	0.038000	0.036140	0.034371	0.005305	0.212815	0.025110	0.185661	0.001757	0.026481	0.000675	0.000769	0.375769	0.003905	0.030994
	0.040000	0.039944	0.037889	0.005691	0.216927	0.026945	0.166914	0.001420	0.026724	0.000497	0.000595	0.375026	0.010477	0.041471
	0.042000	0.042798	0.040703	0.006150	0.221059	0.028259	0.155049	0.001235	0.042220	0.000402	0.000449	0.374449	0.020649	0.049533
	0.044000	0.045602	0.044321	0.006667	0.225072	0.029937	0.141499	0.001030	0.045606	0.000310	0.000356	0.373956	0.030945	0.050479
	0.046000	0.048405	0.048015	0.007240	0.229016	0.031155	0.132624	0.000816	0.049158	0.000258	0.000284	0.242184	0.040669	0.075148
	0.048000	0.051206	0.051098	0.007861	0.233017	0.031952	0.127214	0.000625	0.050659	0.000220	0.000244	0.242144	0.007436	0.082583
	0.050000	0.054164	0.053342	0.008516	0.236963	0.033048	0.120243	0.000437	0.054300	0.000196	0.000213	0.173813	0.019225	0.101809
	0.052000	0.056638	0.056377	0.009140	0.240935	0.034024	0.114421	0.000267	0.057215	0.000171	0.000184	0.104524	0.026222	0.130031

ORSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA DEL CANAL DE DESCARGA: 0.14 m
 TALUD DE LAS PAREDES DEL CANAL: 0.25
 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.4



Z = Carga de posición.
 d = Tirante
 $\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad.
 R = Radio de curvatura de la cubeta.

————— $Q_1 = 1.00$ Lps.
 - - - - - $Q_2 = 3.00$ Lps.
 - · - · - $Q_3 = 5.00$ Lps.

Fig. 4.12 "Obtención del gasto mínimo de despegue teórico" (Primer modelo, cubeta 1)
 Escala. 1:5

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA RAPIDA DE DESCARGA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

MODELO 1

Q = 1.74 lps

Q (m3/s)	y (m)	A (m2)	P (m)	Rh	v (m/s)	v2/2g (m)	E (m)	Sf	Sf'	So-Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.001740	0.024700	0.003611	0.190920	0.018911	0.481925	0.011837	0.036537	0.006638				
	0.023000	0.003352	0.187416	0.017887	0.519054	0.013732	0.036732	0.008294	0.007466	0.153534	0.001265	
	0.021000	0.003050	0.183293	0.016641	0.570445	0.016586	0.037586	0.011029	0.009661	0.151339	0.005641	0.006907
	0.019500	0.002825	0.180200	0.015677	0.615916	0.019335	0.038835	0.013922	0.012476	0.148524	0.008413	0.015319
	0.018000	0.002601	0.177108	0.014686	0.668973	0.022810	0.040810	0.017919	0.015921	0.145079	0.013611	0.028930
	0.016500	0.002378	0.174016	0.013666	0.731688	0.027287	0.043787	0.023596	0.020757	0.140243	0.021229	0.050159
	0.015000	0.002156	0.170923	0.012815	0.806957	0.033190	0.048190	0.031930	0.027763	0.133237	0.033044	0.083203
	0.014000	0.002009	0.168862	0.011897	0.866103	0.038233	0.052233	0.039771	0.035651	0.125149	0.032310	0.115513
	0.013000	0.001862	0.166800	0.011165	0.934354	0.044496	0.057496	0.050381	0.045076	0.115924	0.045402	0.160915
	0.012000	0.001716	0.164739	0.010417	1.013986	0.052404	0.064404	0.065082	0.057732	0.103268	0.065892	0.227806
	0.011000	0.001570	0.162677	0.009653	1.108104	0.062584	0.073584	0.086033	0.075558	0.085442	0.107438	0.335245
	0.010000	0.001425	0.160616	0.008872	1.221053	0.075992	0.085992	0.116895	0.101464	0.059536	0.208421	0.543665
	0.009500	0.001353	0.159595	0.008476	1.286447	0.084350	0.093850	0.137909	0.127402	0.033598	0.233869	0.777535
	0.009000	0.001280	0.158554	0.008075	1.359110	0.094148	0.103148	0.164203	0.151056	0.009944	0.935005	1.712540

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA DEL CANAL DE DESCARGA: 0.14 m.

TALUD DE LAS PAREDES DEL CANAL: 0.25

PENDIENTE DEL CANAL: 0.161

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.5

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA CUBETA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

PRIMER MODELO CUBETA I

Q = 1.74 lps

Q (m ³ /s)	y (m)	d (m)	d' (m)	A (m ²)	P (m)	Rh	v (m/s)	v ² /2g (m)	E (m)	Sf	Sf'	C _d -Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.00174	0.009000	0.008991	0.008983	0.001279	0.158535	0.008067	1.360492	0.094339	0.108034	0.164735				
	0.009346	0.009337	0.009328	0.001314	0.157042	0.008265	1.323722	0.089409	0.103120	0.150997	0.157866	-0.114266	0.043007	0.043007
	0.009690	0.009681	0.009672	0.001410	0.155103	0.008470	1.234202	0.077638	0.081747	0.120927	0.135492	-0.740272	0.047296	0.090302
	0.010035	0.010026	0.010017	0.001478	0.153133	0.008681	1.176993	0.070637	0.064734	0.104668	0.112389	-0.543703	0.019790	0.110092
	0.010379	0.010370	0.010361	0.001573	0.151211	0.008895	1.106403	0.062392	0.074637	0.085618	0.094943	-0.402048	0.018925	0.130018
	0.010723	0.010714	0.010705	0.001705	0.149278	0.009107	1.020755	0.053107	0.067679	0.066467	0.076029	-0.240703	0.018091	0.150009

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA DEL CAÑAL DE DESCARGA: 0.14 m.

TALUD DE LAS PAREDES DEL CAÑAL: 0.25

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.6

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA

PRIMER MODELO, CUBETA 1

Q= 1.74 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	Hp (m)	Pc (kg/m ²)
0.008991	0.008982	0.0017	0.001279	1.360492	0.004712	0.013694	13.694250
0.009237	0.009228	0.0017	0.001314	1.323716	0.004583	0.013811	13.811290
0.009895	0.009842	0.0017	0.001410	1.234199	0.004268	0.014110	14.109530
0.010368	0.010060	0.0017	0.001478	1.176988	0.004067	0.014127	14.126720
0.011017	0.010477	0.0017	0.001573	1.106402	0.003819	0.014295	14.295380
0.011922	0.011054	0.0017	0.001705	1.020768	0.003517	0.014571	14.571450

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.36 m

ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.14 m

TALUDES DEL CANAL: k= 0.25

TABLA 4.7

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA

PRIMER MODELO, CUBETA 1

Q= 5.14 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	H _p (m)	P _c (kg/m ²)
0.01898	0.018964	0.0051	0.002747	1.870955	0.018813	0.037777	37.776610
0.019176	0.019159	0.0051	0.002777	1.851225	0.018608	0.037767	37.766530
0.019763	0.019655	0.0051	0.002864	1.794430	0.018019	0.037674	37.674280
0.020163	0.019564	0.0051	0.002924	1.757609	0.017637	0.037201	37.201380
0.020677	0.019664	0.0051	0.003002	1.712392	0.017168	0.036832	36.831820
0.029216	0.019746	0.0051	0.004304	1.194344	0.011801	0.031546	31.546270

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.36 m
ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.14 m
TALUDES DEL CANAL: k= 0.25

TABLA 4.8

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA

PRIMER MODELO, CUBETA 1

Q= 11.06 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	H _p (m)	P _c (kg/m ²)
0.03046	0.030442	0.0111	0.004496	2.459771	0.052185	0.082627	82.627360
0.030655	0.030627	0.0111	0.004527	2.443343	0.051820	0.052447	82.446730
0.031179	0.031009	0.0111	0.004608	2.400158	0.050859	0.081868	81.867940
0.031481	0.029939	0.0111	0.004655	2.375855	0.050318	0.080257	80.256800
0.031921	0.030357	0.0111	0.004724	2.341412	0.049552	0.079908	79.908410
0.032408	0.030049	0.0111	0.004800	2.304286	0.048726	0.078775	78.774870

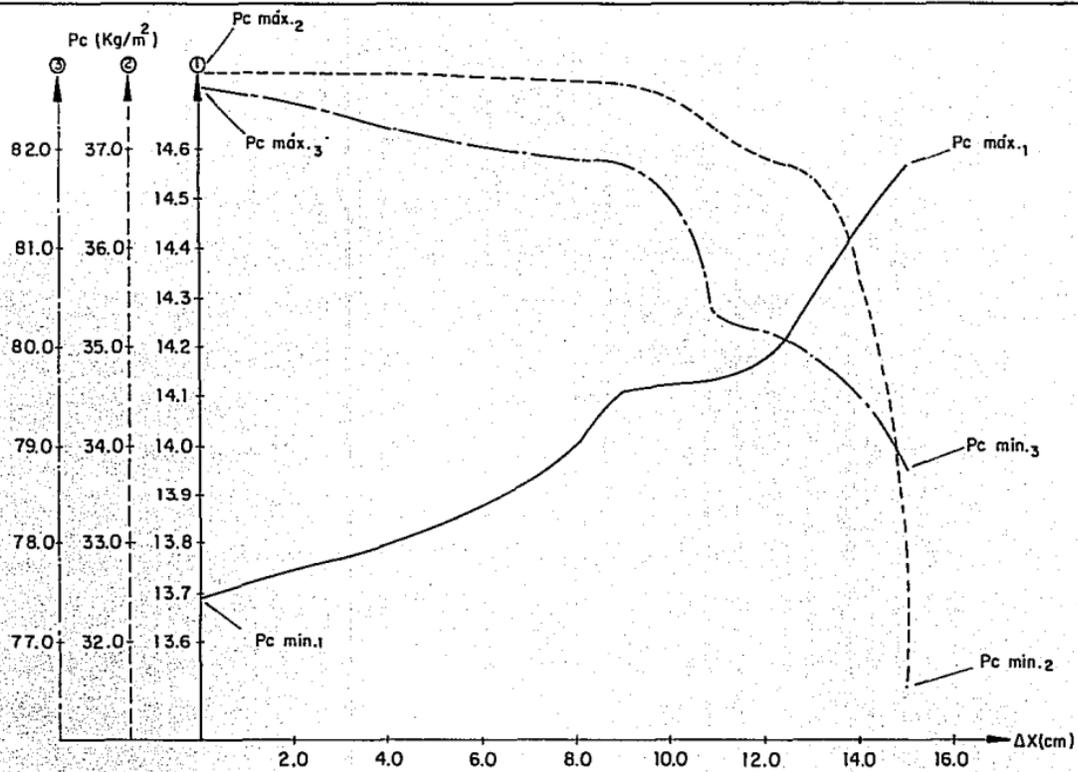
OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.36 m

ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.14 m

TALUDES DEL CANAL: k= 0.25

TABLA 4.9



- $Q_1 = 1.74$ Lps. (Mínimo de despegue práctico)
- - - $Q_2 = 5.14$ Lps.
- · - $Q_3 = 11.06$ Lps.

Fig.4.13 "Gráficas de distribución de presiones en la cubeta" (Primer modelo, cubeta 1)

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA CUBETA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

PRIMER MODELO CUBETA 2

Q = 1.74 lps

Q (m ³ /s)	y (m)	d (m)	d' (m)	A (m ²)	P (m)	Rh	v (m/s)	v ² /2g (m)	E (m)	Sf	Sf	So-Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.00174	0.009000	0.008991	0.008952	0.001279	0.158535	0.008067	1.360492	0.094339	0.108976	0.164735				
	0.009144	0.009135	0.009126	0.001300	0.158832	0.008183	1.338728	0.091345	0.106034	0.156503	0.160619	-0.117019	0.025144	0.025144
	0.009490	0.009452	0.009414	0.001346	0.159486	0.008437	1.293083	0.085222	0.100007	0.140179	0.148341	-0.235441	0.025599	0.050742
	0.009961	0.009851	0.009743	0.001403	0.160309	0.008755	1.239791	0.078343	0.093231	0.122659	0.131424	-0.279224	0.024267	0.075010
	0.010640	0.010407	0.010160	0.001484	0.161455	0.009192	1.172464	0.070065	0.085106	0.102808	0.112739	-0.320639	0.025338	0.100348
	0.011611	0.011162	0.010729	0.001594	0.163010	0.009777	1.091746	0.060750	0.075999	0.082096	0.092452	-0.368052	0.024745	0.125093
	0.013060	0.012727	0.011532	0.001756	0.165300	0.010622	0.991001	0.050055	0.065682	0.065058	0.071332	-0.413332	0.024959	0.150052
	0.015581	0.014121	0.012798	0.002027	0.169111	0.011985	0.858496	0.037565	0.053889	0.038696	0.049631	-0.472231	0.024953	0.175005
	0.018590	0.015941	0.013734	0.002395	0.172864	0.013276	0.758059	0.029289	0.046136	0.026318	0.032506	-0.540006	0.014375	0.189380
	0.021500	0.018527	0.015962	0.002680	0.178193	0.015037	0.649369	0.021492	0.040108	0.016360	0.021339	-0.528439	0.011398	0.200778

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA DEL CAÑAL DE DESCARGA: 0.14 m.
 TALUD DE LAS PAREDES DEL CAÑAL: 0.25
 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.10

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA

PRIMER MODELO, CUBETA 2

Q= 1.74 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	H _p (m)	P _c (kg/m ²)
0.008991	0.008982	0.0017	0.001279	1.360492	0.005655	0.014637	14.636700
0.009135	0.009126	0.0017	0.001300	1.338721	0.005563	0.014689	14.688510
0.009452	0.009414	0.0017	0.001346	1.293089	0.005370	0.014784	14.784300
0.009851	0.009743	0.0017	0.001403	1.239794	0.005145	0.014888	14.888160
0.010407	0.010180	0.0017	0.001484	1.172462	0.004861	0.015041	15.041480
0.011162	0.010729	0.0017	0.001594	1.091741	0.004520	0.015249	15.249030
0.012273	0.011532	0.0017	0.001756	0.990999	0.004095	0.015627	15.627330
0.014121	0.012798	0.0017	0.002027	0.858494	0.003536	0.016335	16.334530
0.015942	0.013734	0.0017	0.002295	0.758057	0.003113	0.016847	16.847140
0.018527	0.015962	0.0017	0.00268	0.649367	0.002655	0.018616	18.616120

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.30 m

ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.14 m

TALUDES DEL CANAL: k= 0.25

TABLA 4.11

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA

PRIMER MODELO, CUBETA 2

Q= 5.14 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	H _p (m)	P _c (kg/m ²)
0.018981	0.018962	0.0051	0.002747	1.870853	0.022574	0.041536	41.535986
0.019094	0.019075	0.0051	0.002764	1.859418	0.022432	0.041507	41.506634
0.019372	0.019294	0.0051	0.002806	1.831855	0.022089	0.041383	41.382514
0.019738	0.019521	0.0051	0.002861	1.796752	0.021652	0.041173	41.172564
0.020208	0.019767	0.0051	0.002931	1.753542	0.021114	0.040881	40.880742
0.020792	0.019985	0.0051	0.003019	1.702575	0.020479	0.040464	40.464457
0.021538	0.020238	0.0051	0.003131	1.641495	0.019719	0.039957	39.957431
0.022500	0.020392	0.0051	0.003277	1.568717	0.018814	0.039206	39.206019
0.023783	0.020490	0.0051	0.003471	1.480829	0.017721	0.038211	38.210927

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.30 m
ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.14 m
TALUDES DEL CANAL: k= 0.25

TABLA 4.12

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA

PRIMER MODELO, CUBETA 2

Q= 11.06 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	Hp (m)	Pc (kg/m ²)
0.030469	0.030439	0.011060	0.004498	2.459007	0.062602	0.093041	93.040910
0.030575	0.030545	0.011060	0.004514	2.450042	0.062362	0.092907	92.907480
0.030827	0.030703	0.011060	0.004553	2.428978	0.061800	0.092503	92.502940
0.031146	0.030802	0.011060	0.004603	2.402803	0.061101	0.091903	91.902980
0.031544	0.030857	0.011060	0.004665	2.370889	0.060249	0.091106	91.105900
0.032016	0.030774	0.011060	0.004738	2.334074	0.059266	0.090040	90.040050
0.032683	0.030711	0.011060	0.004843	2.283867	0.057926	0.088637	88.636940
0.033379	0.030252	0.011060	0.004952	2.233622	0.056585	0.086837	86.837130
0.034257	0.029518	0.011060	0.005089	2.173159	0.054972	0.084490	84.490060

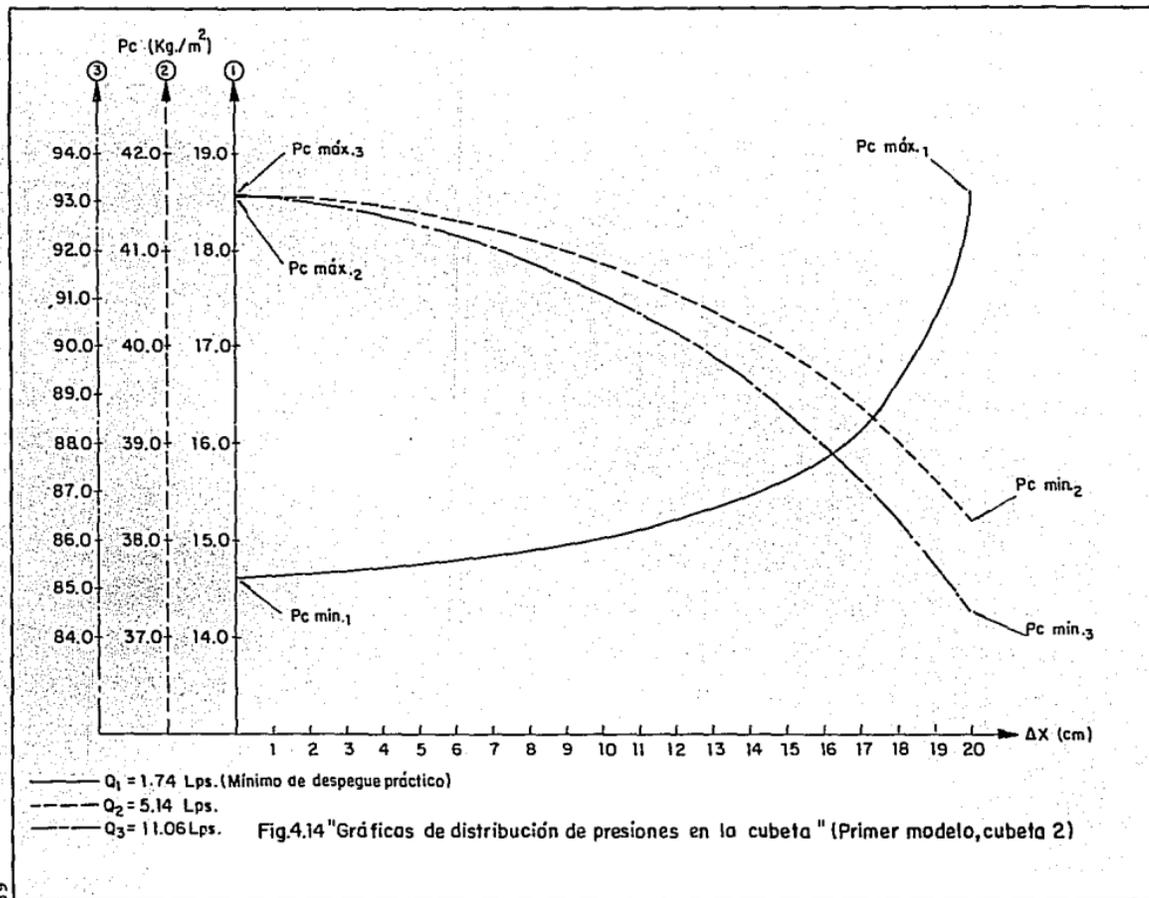
OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.30 m

ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.14 m

TALUDES DEL CANAL: k= 0.25

TABLA 4.13



**RESULTADOS
(MODELO 2, CUBETAS 1 Y 2)**

CALCULO DEL PERFIL DE LA S.L.A. EN LA PARTE SUPERIOR DEL CIMACIO

SEGUNDO MODELO

CALCULOS PARA 1 CU. 3 00 Y 5.00 lps

x (cm)	H (cm)	Hd (cm)	H/Hd	R1	K1	v (cm.)
0	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	-0.587700
3	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	0.025010
6	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	0.992790
10	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	2.888790
13	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	5.101130
17	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	9.244130
20	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	13.307160
23	1.25	15.1	0.082780	3.678320	0.523940	18.499910
0	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	-1.352530
3	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	-0.762770
6	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	0.377750
10	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	2.524290
13	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	4.710240
17	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	8.526160
20	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	12.158850
23	2.54	15.1	0.168210	3.177310	0.396740	16.534450
0	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	-2.299130
3	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	-1.421190
6	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	-0.206110
10	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	2.030700
13	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	4.248770
17	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	8.017500
20	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	11.524730
23	3.53	15.1	0.233770	2.968530	0.348690	15.674620

OBSERVACIONES:

ECUACION BASICA: EC. 4.2

TABLA 4.15

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA RAPIDA DE DESCARGA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

MODELO 2

Q=1.00 lps

Q (m3/s)	y (m)	d (m)	d' (m)	A (m2)	P (m)	Ph	v (m/s)	v2/2g (m)	E (m)	Sf	Sf	So-Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.001	0.005235	0.003003	0.001722	0.001216	0.411005	0.000000	0.822313	0.034455	0.036187	0.229236				
	0.005100	0.002925	0.001678	0.001185	0.410950	0.000000	0.844080	0.036114	0.037991	0.249969	0.239603	0.579549	0.003113	0.003113
	0.004900	0.002911	0.001612	0.001138	0.410921	0.000000	0.878533	0.039139	0.040950	0.285415	0.267692	0.551450	0.005366	0.008479
	0.004700	0.002856	0.001548	0.001092	0.410892	0.000000	0.915917	0.042759	0.044304	0.327703	0.306559	0.512693	0.006542	0.015021
	0.004500	0.002811	0.001491	0.001045	0.410862	0.000000	0.954624	0.046643	0.049123	0.378537	0.35312	0.466032	0.008195	0.023217
	0.004300	0.002496	0.001415	0.000999	0.409833	0.000000	1.001119	0.051042	0.052497	0.440147	0.409342	0.409310	0.010673	0.033890
	0.004000	0.002294	0.001316	0.000929	0.409569	0.000000	1.076203	0.059032	0.060348	0.509608	0.499978	0.319324	0.024586	0.058476
	0.003700	0.002122	0.001217	0.000860	0.409244	0.002100	1.163462	0.068993	0.070210	0.724737	0.642123	0.177029	0.055709	0.114185
	0.003520	0.002019	0.001158	0.000818	0.408998	0.001999	1.222557	0.076230	0.077340	0.855234	0.789946	0.029165	0.246082	0.360268

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA 0.405 m
 PENDIENTE DEL CANAL 0.8192
 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.16

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA CUBETA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q=1.00 lps

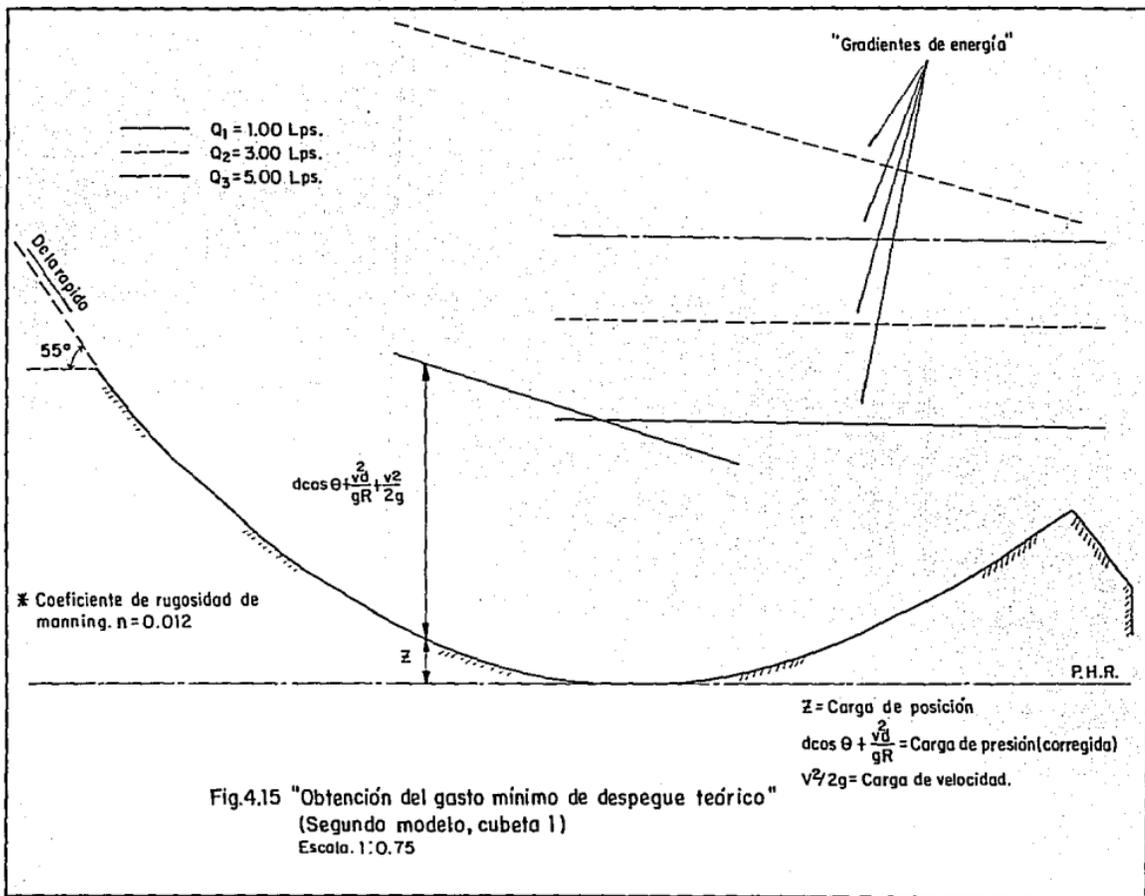
Q (m ³ /s)	y (m)	d (m)	d' (m)	A (m ²)	P (m)	Rh	v (m/s)	v ² /2g (m)	E (m)	Sf	Sf	S ₀ -Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.001	0.003518	0.002018	0.001157	0.000817	0.409036	0.001998	1.223652	0.076316	0.080325	0.856848				
	0.003231	0.002033	0.001279	0.000823	0.409066	0.002013	1.214492	0.075178	0.079288	0.835737	0.846293	-0.069147	0.015005	0.015005
	0.002821	0.002063	0.001509	0.000836	0.409127	0.002043	1.196635	0.072983	0.077281	0.795631	0.815684	-0.133696	0.015009	0.030014
	0.002574	0.002108	0.001727	0.000854	0.409217	0.002087	1.171150	0.069908	0.074364	0.740756	0.768194	-0.194617	0.014988	0.045002
	0.002436	0.002170	0.001934	0.000979	0.409340	0.002147	1.137798	0.065963	0.070568	0.673017	0.706886	-0.252896	0.015011	0.060013
	0.002382	0.002252	0.002129	0.000912	0.409504	0.002227	1.095322	0.061260	0.065945	0.594978	0.633997	-0.309429	0.014991	0.075004
	0.002405	0.002361	0.002318	0.000956	0.409722	0.002334	1.045801	0.055744	0.060499	0.508758	0.551868	-0.361059	0.015082	0.090086
	0.002507	0.002504	0.002501	0.001014	0.410008	0.002473	0.986077	0.049559	0.054358	0.418589	0.463674	-0.411338	0.014930	0.105016
	0.002710	0.002700	0.002689	0.001093	0.410399	0.002664	0.914664	0.042641	0.047462	0.326219	0.372404	-0.459560	0.015006	0.120022
	0.003056	0.002978	0.002902	0.001206	0.410756	0.002935	0.829126	0.035038	0.039872	0.235590	0.280905	-0.505856	0.015003	0.135025
	0.003653	0.003410	0.003184	0.001381	0.411820	0.003354	0.724087	0.026723	0.031594	0.150409	0.193000	-0.551366	0.015014	0.150039
	0.004807	0.004204	0.003677	0.001703	0.413408	0.004118	0.587330	0.017582	0.022528	0.075245	0.112627	-0.597636	0.015003	0.165042
	0.007624	0.006430	0.005423	0.002604	0.417860	0.006232	0.384002	0.007516	0.013834	0.018515	0.046880	-0.584179	0.015054	0.180096

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA: 0.405 m

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.17



CALCULO DEL PERFIL DE LA S.L.A. EN LA PARTE SUPERIOR DEL CIMACIO

SEGUNDO MODELO

CALCULOS PARA 1.89, 19.97 Y 35.98 lps

x (cm)	H (cm)	Hd (cm)	H.Hd	n1	K1	Y (cm)
0	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	-1.054553
3	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	-0.342637
6	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	0.712150
10	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	2.791308
13	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	4.965943
17	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	8.856993
20	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	12.641094
23	1.899	15.1	0.125762	3.373992	0.444680	17.276273
0	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	-6.312789
3	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	-5.128966
6	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	-3.615038
10	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	-1.039308
13	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	1.340334
17	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	5.151855
20	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	8.515742
23	8.397	15.1	0.556093	2.482112	0.248209	12.334061
0	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	-9.367281
3	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	-8.025307
6	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	-6.380214
10	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	-3.606008
13	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	-1.122574
17	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	2.769938
20	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	6.140419
23	11.95	15.1	0.791391	2.307677	0.216127	9.909646

OBSERVACIONES:

ECUACION BASICA: EC. 4.2

TABLA 4.18

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA RAPIDA DE DESCARGA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

MODELO 2

Q=19.97 lps

Q (m ³ /s)	y (m)	d (m)	d' (m)	A (m ²)	P (m)	Ph	v (m/s)	v ² /2g (m)	E (m)	Sf	Sf	So-Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.01997	0.052300	0.028998	0.009869	0.012149	0.464996	0.026128	1.643730	0.137709	0.147578	0.050183				
	0.049000	0.028105	0.009246	0.011383	0.461210	0.024680	1.754430	0.156882	0.166128	0.061685	0.055934	0.763218	0.024306	0.024306
	0.045000	0.027384	0.008560	0.010586	0.457769	0.023343	1.868849	0.178912	0.186692	0.075388	0.068536	0.750616	0.027396	0.051702
	0.043000	0.024664	0.008114	0.009989	0.454328	0.021986	1.999234	0.203717	0.211832	0.093446	0.084417	0.734735	0.034215	0.085917
	0.040000	0.021943	0.007548	0.009292	0.450886	0.020608	2.149176	0.235421	0.242969	0.117721	0.105584	0.713568	0.043926	0.129553
	0.038000	0.021795	0.007171	0.008827	0.448592	0.019678	2.262291	0.260854	0.268025	0.138725	0.128223	0.690929	0.036264	0.165817
	0.036000	0.020649	0.006793	0.008363	0.446297	0.018738	2.387974	0.290643	0.297436	0.164989	0.151857	0.667295	0.044076	0.209893
	0.034000	0.019502	0.006416	0.007898	0.444003	0.017788	2.528443	0.325842	0.332258	0.198252	0.181621	0.637531	0.054619	0.264513
	0.031900	0.018297	0.006020	0.007410	0.441594	0.016781	2.694892	0.370155	0.376175	0.243423	0.220837	0.598315	0.073401	0.337913

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA: 0.405 m

PENDIENTE DEL CAHAL: 0.8192

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.19

CALCULO DEL PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA EN LA CUBETA

METODO DE INCREMENTOS FINITOS

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q=19.97 lps

Q (m ³ /s)	y (m)	d (m)	d' (m)	A (m ²)	P (m)	Rh	v (m/s)	v ² /2g (m)	E (m)	Sf	Sr	So-Sf	x (m)	x ACUM (m)
0.01997	0.031900	0.018297	0.010495	0.007410	0.441594	0.016781	2.694890	0.370175	0.506071	0.243422				
	0.028841	0.018150	0.011422	0.007351	0.441300	0.016857	2.716730	0.370179	0.514038	0.249838	0.246630	0.539516	0.015019	0.015019
	0.024690	0.018050	0.013201	0.007310	0.441100	0.016973	2.731781	0.380358	0.520697	0.254328	0.252093	0.429916	0.015469	0.030508
	0.021958	0.017987	0.014734	0.007285	0.440974	0.016520	2.741349	0.380027	0.525345	0.257211	0.255770	0.317907	0.014624	0.045131
	0.020146	0.017950	0.015934	0.007270	0.440900	0.016488	2.747000	0.381508	0.528448	0.258925	0.258068	0.195922	0.015839	0.060970
	0.018955	0.017951	0.017073	0.007270	0.440502	0.016489	2.746877	0.381674	0.529387	0.258888	0.258906	0.066662	0.014090	0.075060
	0.018322	0.017985	0.017655	0.007384	0.440970	0.016516	2.741654	0.382112	0.528365	0.257304	0.258096	-0.067297	0.015197	0.090257
	0.018079	0.018054	0.019029	0.007312	0.441108	0.016576	2.731175	0.380190	0.525329	0.254148	0.255725	-0.203389	0.014926	0.105183
	0.018278	0.018159	0.018090	0.007354	0.441318	0.016665	2.715383	0.375606	0.520271	0.249439	0.251793	-0.338948	0.014924	0.121017
	0.018762	0.018301	0.017832	0.007412	0.441602	0.016784	2.694314	0.369095	0.513223	0.243254	0.246347	-0.471298	0.014954	0.135061
	0.019799	0.018181	0.017254	0.007485	0.441962	0.016935	2.668072	0.362024	0.504251	0.235702	0.239478	-0.597845	0.015007	0.150068
	0.021378	0.018998	0.016354	0.007573	0.442396	0.017117	2.637108	0.354451	0.493537	0.227004	0.231353	-0.716193	0.014950	0.165028
	0.022493	0.018950	0.015982	0.007675	0.442900	0.017328	2.620295	0.349083	0.492165	0.217423	0.222213	-0.787613	0.014973	0.180001

OBSERVACIONES:

ANCHO DE PLANTILLA: 0.405 m

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING: 0.012

TABLA 4.20

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO ANALITICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q= 1.89 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	Hp (m)	Pc (kg/m ²)
0.003019	0.001731	0.001890	0.001223	1.545904	0.006809	0.008541	8.540677
0.003025	0.001904	0.001890	0.001225	1.542567	0.006795	0.008698	8.698369
0.003049	0.002230	0.001890	0.001235	1.530556	0.006742	0.008972	8.971506
0.003089	0.002530	0.001890	0.001251	1.510933	0.006655	0.009185	9.185200
0.003146	0.002803	0.001890	0.001274	1.483412	0.006534	0.009337	9.336971
0.003223	0.003047	0.001890	0.001305	1.447783	0.006377	0.009424	9.424024
0.003324	0.003263	0.001890	0.001346	1.403804	0.006183	0.009447	9.446524
0.003454	0.003450	0.001890	0.001399	1.350934	0.005950	0.009400	9.400098
0.003620	0.003606	0.001890	0.001466	1.289134	0.005678	0.009284	9.284440
0.003835	0.003737	0.001890	0.001553	1.216862	0.005360	0.009097	9.096594
0.004118	0.003844	0.001890	0.001668	1.133236	0.004992	0.008836	8.836019
0.004501	0.003937	0.001890	0.001823	1.036807	0.004567	0.008503	8.503458
0.005013	0.004228	0.001890	0.002030	0.930967	0.004101	0.008328	8.328288

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.108 m
 ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.405 m

TABLA 4.21

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO ANALITICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q= 19.97 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	Hp (m)	Pc (kg/m ²)
0.018297	0.010495	0.019970	0.007410	2.694890	0.125421	0.135916	135.916100
0.018150	0.011422	0.019970	0.007351	2.716730	0.126438	0.137860	137.859900
0.018050	0.013201	0.019970	0.007310	2.731781	0.127138	0.140339	140.339100
0.017987	0.014734	0.019970	0.007285	2.741349	0.127584	0.142318	142.317600
0.017950	0.015994	0.019970	0.007270	2.747000	0.127847	0.143840	143.840100
0.017951	0.016973	0.019970	0.007270	2.746877	0.127841	0.144814	144.813600
0.017985	0.017655	0.019970	0.007284	2.741654	0.127598	0.145252	145.252300
0.018054	0.018029	0.019970	0.007312	2.731175	0.127110	0.145139	145.139300
0.018159	0.018090	0.019970	0.007354	2.715383	0.126375	0.144465	144.465000
0.018301	0.017832	0.019970	0.007412	2.694314	0.125395	0.143226	143.226500
0.018481	0.017254	0.019970	0.007485	2.668072	0.124173	0.141427	141.426700
0.018698	0.016354	0.019970	0.007573	2.637108	0.122732	0.139086	139.085700
0.018950	0.015982	0.019970	0.007675	2.602025	0.121099	0.137082	137.081700

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.108 m

ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.405 m

TABLA 4.22

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO ANALITICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q= 35.98 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	Hp (m)	Pc (kg/m ²)
0.030055	0.017239	0.035980	0.012172	2.955858	0.247855	0.265094	265.093700
0.029860	0.018792	0.035980	0.012093	2.975201	0.249477	0.268268	268.268000
0.029730	0.021743	0.035980	0.012041	2.988211	0.250567	0.272311	272.310600
0.029640	0.024280	0.035980	0.012004	2.997284	0.251328	0.275608	275.607900
0.029590	0.026365	0.035980	0.011984	3.002349	0.251753	0.278118	278.117800
0.029570	0.027959	0.035980	0.011976	3.004380	0.251923	0.279882	279.882200
0.029590	0.029046	0.035980	0.011984	3.002349	0.251753	0.280799	280.799300
0.029640	0.029599	0.035980	0.012004	2.997284	0.251328	0.280928	280.927600
0.029760	0.029647	0.035980	0.012053	2.985198	0.250315	0.279962	279.961600
0.029900	0.029134	0.035980	0.012110	2.971221	0.249143	0.278276	278.276400
0.030100	0.028101	0.035980	0.012191	2.951479	0.247487	0.275588	275.588100
0.030290	0.026492	0.035980	0.012267	2.932965	0.245935	0.272427	272.427200
0.030560	0.025774	0.035980	0.012377	2.907052	0.243762	0.269536	269.536100

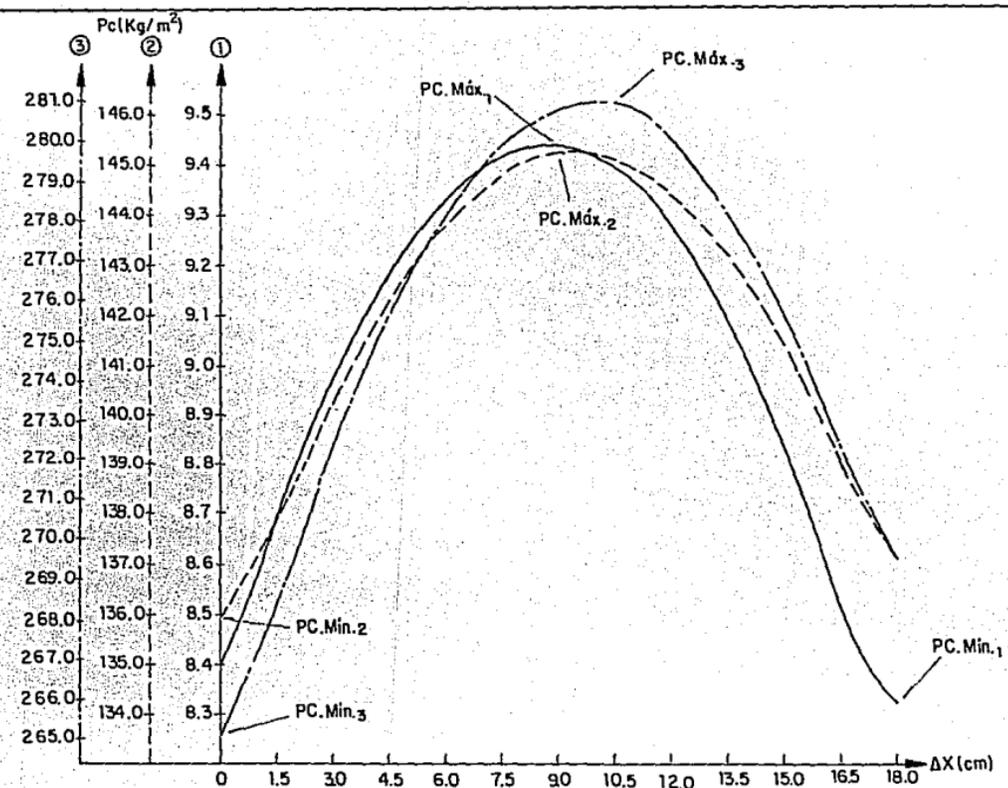
OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.108 m

ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.405 m

TABLA 4.23

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



- $Q_1 = 1.89$ L.ps.
- - - $Q_2 = 19.97$ L.ps.
- · - $Q_3 = 35.98$ L.ps.

Fig. 4.16 "Gráficas de distribución de presiones en la cubeta" (Segundo modelo cubeta I)
(Método Analítico)

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO GRAFICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q = 1.89 lps

Q (m3/s)	q (m3/s/m)	d (m)	d' (m)	z (m)	v2/2g (m)	v2 d/gR (m)	Ht (m)	1	hp/Ht	hp	Pc (kg/m2)
0.001890	0.004667	0.003019	0.001731	0.045000	0.121805	0.006809	0.175346	0.023296	0.024000	0.004208	4.208296
0.001890	0.004667	0.003025	0.001904	0.034000	0.121280	0.006795	0.163978	0.024090	0.025000	0.004099	4.099459
0.001890	0.004667	0.003049	0.002230	0.023500	0.119399	0.006742	0.151871	0.025032	0.061000	0.009264	9.264102
0.001890	0.004667	0.003089	0.002530	0.015000	0.116357	0.006655	0.140542	0.026021	0.065000	0.009135	9.135244
0.001890	0.004667	0.003146	0.002803	0.008000	0.112157	0.006534	0.129494	0.027109	0.070000	0.009065	9.064580
0.001890	0.004667	0.003223	0.003048	0.003500	0.106834	0.006377	0.119759	0.028189	0.072000	0.008623	8.622630
0.001890	0.004667	0.003324	0.003263	0.001000	0.100442	0.006183	0.110889	0.029295	0.073000	0.008095	8.094864
0.001890	0.004667	0.003454	0.003450	0.000000	0.093018	0.005950	0.102418	0.030482	0.077000	0.007886	7.886191
0.001890	0.004667	0.003620	0.003606	0.001500	0.084703	0.005678	0.095487	0.031569	0.079000	0.007544	7.543509
0.001890	0.004667	0.003835	0.003737	0.004500	0.075472	0.005360	0.089069	0.032687	0.081000	0.007215	7.214558
0.001890	0.004667	0.004118	0.003844	0.010000	0.065455	0.004997	0.084291	0.033600	0.082000	0.006912	6.918664
0.001890	0.004667	0.004501	0.003937	0.018500	0.054789	0.004567	0.081792	0.034110	0.043000	0.003517	3.517074
0.001890	0.004667	0.005013	0.004228	0.027000	0.044174	0.004101	0.079502	0.034597	0.044000	0.003498	3.498100

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA: R = 0.108 m

ANCHO DE PLANTILLA: b = 0.405 m

$$1 = \frac{q}{R \sqrt{2gHt}}$$

TABLA 4.24

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO GRAFICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q = 19.97 lps

Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/m)	d (m)	d' (m)	z (m)	v ² /2g (m)	v ² d/gR (m)	Ht (m)	1	hp/Ht	hp	Pc (kg/m ²)
0.019970	0.049309	0.018297	0.010495	0.045000	0.370155	0.125421	0.551071	0.138850	0.190000	0.104703	104.703490
0.019970	0.049309	0.018150	0.011422	0.034000	0.376178	0.126438	0.548038	0.139234	0.191000	0.104675	104.675258
0.019970	0.049309	0.018050	0.013201	0.023500	0.380358	0.127138	0.544197	0.139724	0.329000	0.179041	179.040813
0.019970	0.049309	0.017987	0.014734	0.015000	0.383027	0.127583	0.540345	0.140221	0.330000	0.178314	178.313850
0.019970	0.049309	0.017950	0.015994	0.008000	0.384608	0.127847	0.536448	0.140730	0.330000	0.177028	177.027840
0.019970	0.049309	0.017951	0.016973	0.003500	0.384574	0.127841	0.532888	0.141199	0.332000	0.176919	176.918816
0.019970	0.049309	0.017985	0.017655	0.001000	0.383112	0.127598	0.529364	0.141668	0.332000	0.175749	175.748848
0.019970	0.049309	0.018054	0.018029	0.000000	0.380190	0.127110	0.525329	0.142211	0.333000	0.174935	174.934557
0.019970	0.049309	0.018159	0.018090	0.001500	0.375806	0.126375	0.521771	0.142695	0.333000	0.173750	173.749743
0.019970	0.049309	0.018301	0.017832	0.004500	0.369996	0.125394	0.517722	0.143252	0.335000	0.173437	173.436870
0.019970	0.049309	0.018481	0.017254	0.010000	0.362824	0.124173	0.514251	0.143735	0.335000	0.172274	172.274085
0.019970	0.049309	0.018698	0.016354	0.018500	0.354451	0.122732	0.512037	0.144045	0.278000	0.142346	142.346286
0.019970	0.049309	0.018950	0.015982	0.027000	0.345083	0.121099	0.509165	0.144451	0.278000	0.141548	141.547870

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA: R = 0.108 m

ANCHO DE PLANTILLA: b = 0.405 m

$$1 = \frac{q}{R\sqrt{2gHt}}$$

TABLA 4.25

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO GRAFICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 1

Q = 35.98 lps

Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/m)	d (m)	d' (m)	z (m)	v ² /2g (m)	v ² d/gR (m)	Ht (m)	1	hp/Ht	hp	Pc (kg/m ²)
0.035980	0.038840	0.030055	0.017239	0.045000	0.445316	0.247855	0.755410	0.213669	0.277000	0.209248	209.248000
0.035980	0.038840	0.029860	0.018792	0.034000	0.451163	0.249476	0.753431	0.213949	0.277000	0.208700	208.700000
0.035980	0.038840	0.029730	0.021743	0.023500	0.455117	0.250567	0.750927	0.214306	0.471000	0.353687	353.687000
0.035980	0.038840	0.029640	0.024280	0.015000	0.457385	0.251328	0.748493	0.214654	0.471000	0.352540	352.540000
0.035980	0.038840	0.029590	0.026365	0.008000	0.459434	0.251753	0.745552	0.215077	0.472000	0.351900	351.900000
0.035980	0.038840	0.029570	0.027959	0.003500	0.460056	0.251923	0.743438	0.215383	0.472000	0.350903	350.903000
0.035980	0.038840	0.029590	0.029046	0.001000	0.459434	0.251753	0.741233	0.215703	0.472000	0.349862	349.862000
0.035980	0.038840	0.029640	0.029599	0.000000	0.457885	0.251328	0.738812	0.216056	0.473000	0.349458	349.458000
0.035980	0.038840	0.029760	0.029647	0.001500	0.454200	0.250315	0.735661	0.216518	0.473000	0.347968	347.968000
0.035980	0.038840	0.029900	0.029134	0.004500	0.449957	0.249143	0.732734	0.216950	0.474000	0.347316	347.316000
0.035980	0.038840	0.030100	0.028101	0.010000	0.443997	0.247487	0.729585	0.217418	0.475000	0.346553	346.553000
0.035980	0.038840	0.030290	0.025492	0.018500	0.438445	0.245935	0.726372	0.217449	0.397000	0.289561	289.561000
0.035980	0.038840	0.030550	0.025774	0.027000	0.430731	0.243762	0.722677	0.217764	0.397000	0.288725	288.725000

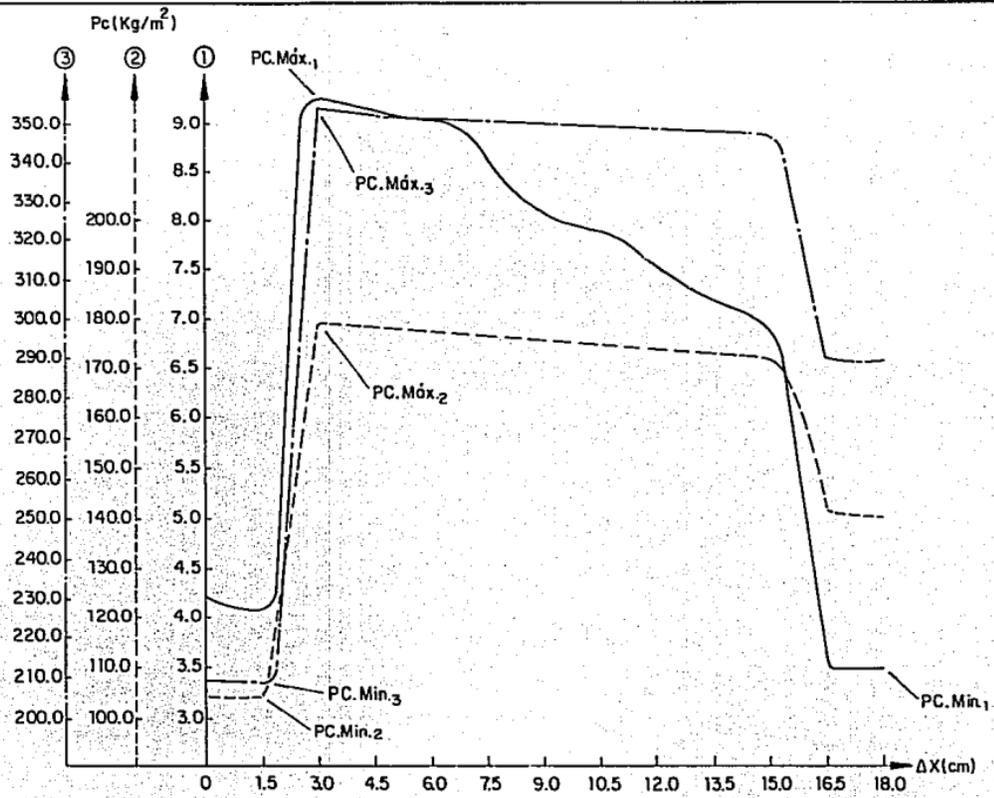
OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA: R = 0.108 m

ANCHO DE PLANTILLA: b = 3.405 m

$$1 - \frac{q}{R \cdot 2gHt}$$

TABLA 4.26



——— $Q_1 = 1.89$ Lps.
 - - - - $Q_2 = 19.97$ Lps.
 - · - · $Q_3 = 35.98$ Lps.

Fig.4.17: "Gráficas de distribución de presiones de la cubeta"
(Segundo modelo, cubeta 1) (Metodo gráfico).

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO ANALITICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 2

Q= 35.98 lps

d (m)	d' (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	V = Q/A (m/s)	V ² d/gR	H _p (m)	P _c (kg/m ²)
0.015773	0.009047	0.035980	0.006388	5.632379	0.134939	0.143986	143.986100
0.019746	0.014441	0.035980	0.007997	4.499114	0.107788	0.122229	122.222950
0.018429	0.015797	0.035980	0.007464	4.820636	0.115491	0.131288	131.288400
0.018910	0.017880	0.035980	0.007659	4.698017	0.112554	0.130434	130.433800
0.021836	0.021673	0.035980	0.008844	4.068438	0.097472	0.119145	119.144700
0.020920	0.020840	0.035980	0.008473	4.246630	0.101740	0.122580	122.579500
0.021039	0.020120	0.035980	0.008521	4.222611	0.101164	0.121284	121.284100
0.022740	0.019889	0.035980	0.009210	3.906750	0.093597	0.113406	113.485800
0.023396	0.017657	0.035980	0.009475	3.797209	0.090372	0.108630	108.629400

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA : R= 0.378 m

ANCHO DE PLANTILLA : b= 0.405 m

TABLA 4.27

CALCULO DE LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN LA CUBETA (METODO GRAFICO)

SEGUNDO MODELO, CUBETA 2

Q = 35.98 lps

Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/m)	d (m)	d' (m)	z (m)	v ² /2g (m)	v ² d/gR (m)	Ht (m)	1	hp/Ht	h ₀	Pc (kg/m ²)
0.035980	0.088840	0.015773	0.009047	0.164000	1.616906	0.131494	1.924892	0.038244	0.100000	0.192489	192.489000
0.035980	0.088840	0.019746	0.014441	0.088000	1.031704	0.107788	1.241933	0.047612	0.080000	0.099355	99.354600
0.035980	0.088840	0.018429	0.015797	0.042000	1.184431	0.115491	1.357719	0.045537	0.148000	0.200942	200.942400
0.035980	0.088840	0.018910	0.017880	0.014000	1.124942	0.112554	1.269376	0.047095	0.140000	0.177712	177.712600
0.035980	0.088840	0.021836	0.012167	0.000000	0.843659	0.097472	0.962804	0.054075	0.129000	0.124201	124.201700
0.035980	0.088840	0.020920	0.020840	0.003000	0.919157	0.101740	1.044737	0.051912	0.132000	0.137905	137.905300
0.035980	0.088840	0.021039	0.020120	0.019000	0.908789	0.101164	1.049073	0.051804	0.132000	0.138477	138.477000
0.035980	0.088840	0.022740	0.019889	0.050000	0.777915	0.093597	0.941401	0.054686	0.103000	0.096964	96.964300
0.035980	0.088840	0.023395	0.017657	0.102000	0.734903	0.090972	0.945532	0.054567	0.103000	0.097390	97.389700

OBSERVACIONES:

RADIO DE CURVATURA DE LA CUBETA: R = 0.108 m

ANCHO DE PLANTILLA: b = 0.405 m

$$1 = \frac{q}{R\sqrt{2gHt}}$$

TABLA 4.28

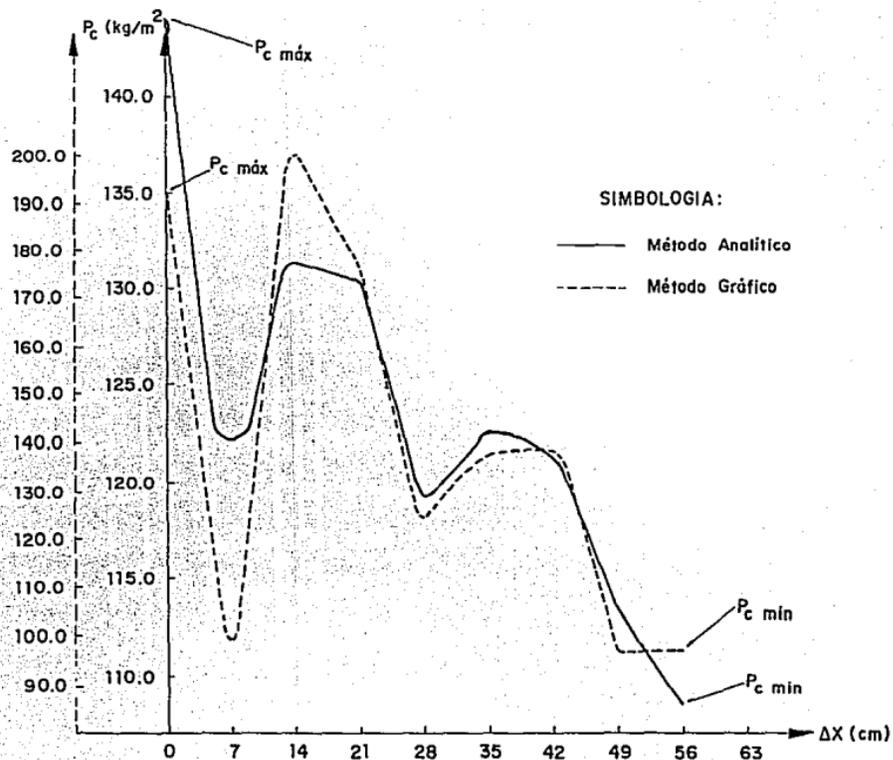


Fig. 4.18: "Gráficas de distribución de presiones en la cubeta"
(Segundo modelo, cubeta 2). $Q = 35.98$ lps.

V. CONCLUSIONES

CAPITULO V. CONCLUSIONES.

En base a los resultados obtenidos mediante la experimentación y los procedimientos descritos en el presente trabajo, se pueden mencionar las recomendaciones siguientes , haciendo notar que el criterio del ingeniero diseñador juega un papel de gran importancia en la toma de decisiones.

El empleo de cubetas de lanzamiento se ha visto muy limitado, y se ha restringido a suelos altamente resistentes a la erosión; sin embargo, gracias a investigaciones y experimentos realizados en laboratorio, y mediante el empleo de distintos dispositivos, se puede recomendar su uso aún en lugares donde la calidad del suelo es mala. Lo anterior resulta bastante conveniente, ya que el empleo de este tipo de estructuras es mucho más económico que cualquier otro tipo de estructura terminal.

No existe hasta ahora un método bien definido para diseñar este tipo de cubetas, sin embargo algunos investigadores han propuesto recomendaciones que son producto de la observación en modelos hidráulicos y prototipos.

El radio de curvatura de la cubeta debe tener una longitud suficiente para mantener una corriente concéntrica, y así disminuir las fuerzas dinámicas en el piso debidas a la fuerza centrífuga; de igual manera, debe evitarse que la curvatura de la cubeta sea muy brusca, para evitar así un funcionamiento incorrecto de la estructura; se recomienda que para la condición de máxima descarga, el radio cumpla con las siguientes condiciones: $R \geq 5d$, $R \geq 0.043v^2d$.

Debido a la propia geometría de una cubeta de lanzamiento, la fuerza centrífuga incrementa la presión en el fondo y sobre las paredes laterales del canal, por lo tanto, al diseñarla es importante evaluar ese incremento de presión para el análisis de estabilidad de la cubeta en sí y de las estructuras en que está apoyada.

En el diseño, considerar la presión centrífuga como tal, no es del todo correcto y amerita una modificación debido a que por muy bajo que sea el grado de turbulencia en la vena, no puede considerarse que la velocidad quede uniformemente distribuida en todo el tirante. Por ese motivo se sugiere una corrección, que incluya una compensación donde se tome en cuenta el efecto de la viscosidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es muy importante notar que, en el cálculo de la distribución de presiones para el primer modelo, en ambas cubetas la presión mínima para el gasto mínimo de despegue (teórico) se presentó al inicio de la cubeta, y el máximo al final de la misma, y para los otros dos gastos mayores sucedió lo contrario, es decir, la presión mínima se presentó al final, y la máxima al inicio de la cubeta. Lo anterior se debe principalmente a la geometría de ambas cubetas (el radio de curvatura de ambas es muy grande), y a que el flujo llega a ellas por un canal cuya pendiente es muy baja, lo cual se puede comprobar comparando con los resultados que se obtuvieron del segundo modelo con la primera cubeta, donde las presiones máximas se presentaron en el punto más bajo de la cubeta, como en un principio se esperaba; el cálculo de la distribución de presiones para la segunda cubeta aportó resultados muy imprecisos, debido a que los cálculos se realizaron a partir de tirantes medidos en el propio modelo.

De acuerdo a lo anterior, los resultados obtenidos en el modelo de canal lateral deberán tomarse con reserva y revisarse a través de un modelo hidráulico, o bien por algún método más preciso.

Las presiones calculadas corresponden a cubetas de lanzamiento trabajando como tales; en el rango de gastos en que el flujo no despegue de la cubeta, las presiones deben determinarse de acuerdo al funcionamiento de la misma.

El método propuesto por el U. S. Corps of Engineers, para el cálculo de las presiones en la cubeta, arrojó resultados más precisos, sin embargo el diseño estructural del deflector estaría en las condiciones límite, lo cual no sería muy recomendable. Por el contrario, si se utilizan otros métodos para diseñarlos, implícitamente se considera un factor de seguridad en el diseño, es decir, se calcula un valor de presión mayor que el esperado, y lo que se obtiene es un deflector sobrado en su diseño estructural. Lo ideal es diseñar la estructura de manera que resulte lo más económica posible, pero teniendo siempre la certeza de que estamos diseñando una estructura segura.

En cuanto a los resultados obtenidos para el cálculo del "gasto mínimo de despegue teórico", el método utilizado resultó ser bastante preciso; en ambos modelos se obtuvo que dicho gasto tiene un valor de entre 1.00 y 3.00 lps, siendo que los gastos mínimos de despegue medidos fueron de 1.74 y 1.89 lps para el primero y segundo modelos respectivamente.

Pudo comprobarse además, que en las cubetas de lanzamiento ocurre el fenómeno de histéresis para el gasto mínimo de despegue, es decir, existe un gasto de despegue en la cubeta cuando el gasto de descarga del vertedor va aumentando, y otro diferente al primero cuando, una vez que se han descargado gastos superiores al de despegue, comienzan estos a disminuir hasta que la cubeta está a punto de ahogarse. Para fines de determinar la erosión máxima al pie de la estructura deflectora deberá considerarse el gasto de despegue para descarga creciente, es decir, el gasto de despegue máximo.

Para el caso del cálculo del perfil de flujo en las cubetas utilizadas en este trabajo, no se incluyeron las pérdidas debidas al cambio de dirección pero sí las pérdidas por fricción. Para un caso real deberán tomarse en cuenta, pudiéndose incluir dentro de las pérdidas por fricción con sólo escoger una "n" de Manning adecuada.

La obtención de la erosión máxima al pie de la cubeta servirá para definir la profundidad del dentellón que debe ponerse para proteger la estructura, o bien para calcular la profundidad de los pilotes de apoyo de la cubeta.

BIBLIOGRAFIA

1. APARICIO M. Francisco, "Fundamentos de Hidrología de superficie", México, 1989.
2. CAMARGO H. Jaime, FRANCO Victor, "Diseño y Funcionamiento hidráulico de cubetas deflectoras", Series del Instituto de Ingeniería (No. 523), México, 1989.
3. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, "Manual de diseño de obras civiles", Hidrotecnia (A.2.10 Obras de excedencias), México, 1981.
4. CRUICKSHANK Carlos, "Funcionamiento de cubetas deflectoras como disipadores de energía en vertedores", Series del Instituto de Ingeniería (No. 60), México 1962.
5. ECHAVEZ Gabriel, "Cavitación en vertedores", Series del Instituto de Ingeniería (No. 415), México, 1979.
6. GUICHARD R. Delva, "Perfiles de la superficie libre del agua en cimacios tipo Creager", Tesis profesional, México, 1989.
7. SOTELO A. Gilberto, "Hidráulica General", Vol. 1: Fundamentos, México, 1989.
8. SOTELO A. Gilberto, "Apuntes de Hidráulica de canales", U.N.A.M., Facultad de Ingeniería, México.
9. UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATIONS, "Design of Small Dams", U.S.B.R., United States of America, 1973.

REFERENCIAS

1. CAMARGO H. Jaime, FRANCO Victor.
"Diseño y funcionamiento hidráulico de cubetas deflectoras"
Series del Instituto de Ingeniería.
México, 1989.
2. COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD.
"Manual de diseño de obras civiles"
Hidrotecnia (A.2.10. Obras de excedencias).
México, 1981.
3. SOTELO A. Gilberto.
"Hidráulica general", Vol. 1: Fundamentos.
México, 1989.
4. GUICHARD R. Delva
"Perfiles de la superficie libre del agua en cimacios tipo Creager".
Tesis profesional.
México, 1989.
5. SOTELO A. Gilberto.
"Apuntes de Hidráulica de canales".
U.N.A.M., Facultad de Ingeniería.
México.
6. ECHAVEZ Gabriel.
"Cavitación en vertedores".
Series del Instituto de Ingeniería, No. 415.
México, 1979.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a las siguientes personas su valiosa cooperación en la realización de este trabajo:

Ing. Bertha L. Aguilar Palacios, Ing. Jesús Gallegos Silva, y a los trabajadores José, Leonardo, Galán y Eliseo.