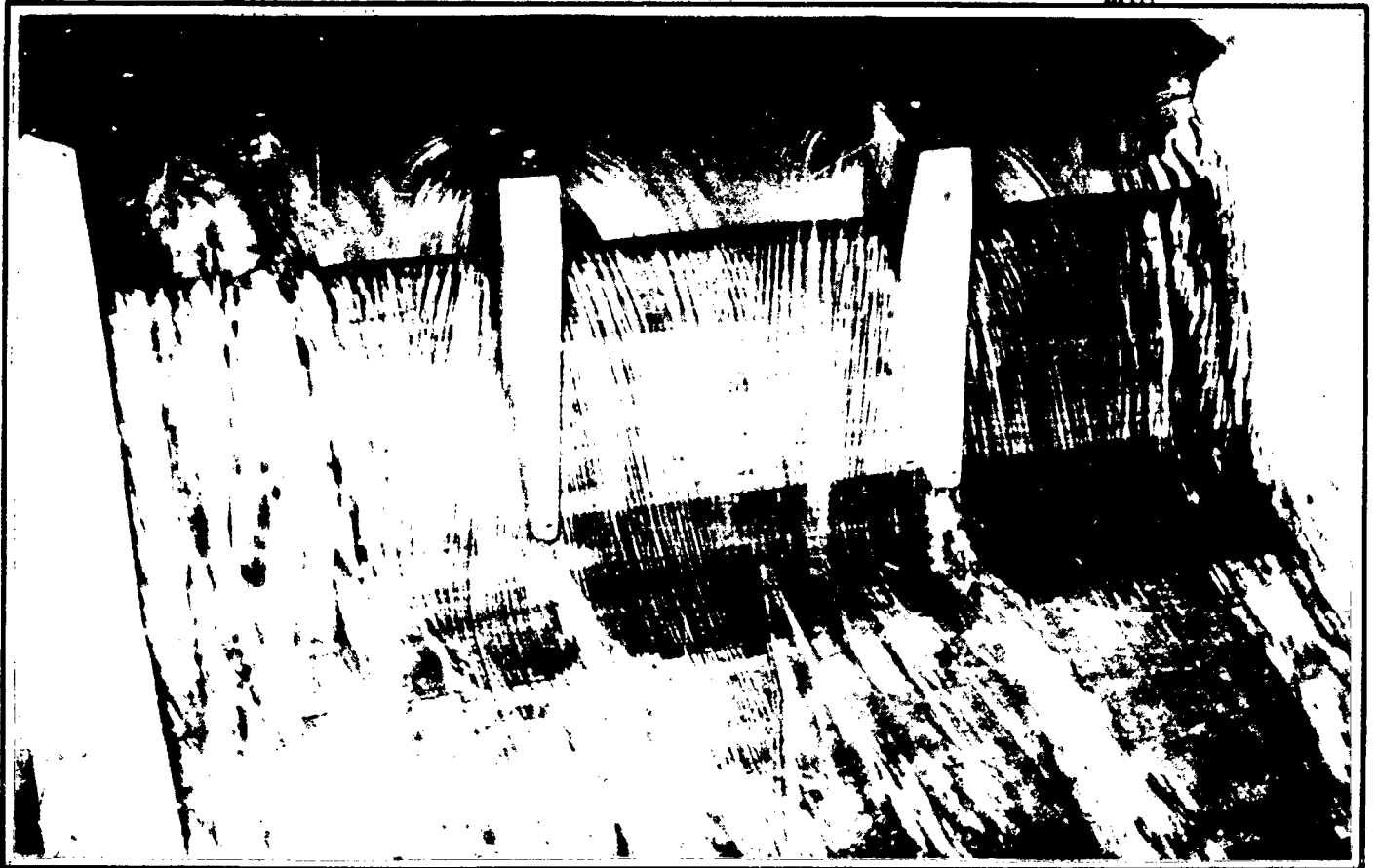


1809
545

U
C
V

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Modelo del Aliviadero Las Palmas



TESIS
55
58

Jesús A. Sanabria S.

Para el Dr. Schwendner
con el aprecio de
su amigo
JH

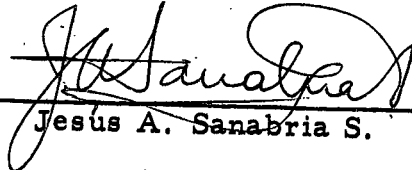
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

TESIS
55
58

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE INGENIERIA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL


Jesus A. Sanabria S.

Caracas, Julio de 1958

DEDICATORIA

A mi esposa, a mis padres y a mi hijo.

Agradezco profundamente la cariñosa colaboración que han prestado a este trabajo los Doctores:

Marcelo González Molina, quien fué el Profesor Guía.

Carpóforo Olivares Sosa, Jefe de la Sección de Estudios y Proyectos Básicos de la Dirección de Obras Hidráulicas del M. O. P.

Adolfo Yanes, Profesor de Hidrología de la U. C. V.

Jindrich Brezina, adjunto al Director del Laboratorio de Hidráulica de la U. C. V.

Víctor Sardi.

Manuel Isava.

Así mismo a los señores: Br. Luis Remiro y Manuel Pérez Salina.

INDICE:

- 1) Introducción.
- 2) Laboratorio.
- 3) El Prototipo.
- 4) Consideraciones para el diseño
y escala adoptada.
- 5) Construcción del Modelo.
- 6) Ensayos - Descripción.
- 7) Observaciones Experimentales:
 - a) Transición aguas arriba.
 - b) Cimacio.
 - c) Pilas.
 - d) Canal de descarga.
- 8) Conclusiones.
- 9) Bibliografía.

INTRODUCCION

La mecánica de los fluidos está aún lejos de dar soluciones científicas satisfactorias a un buen número de problemas que se presentan frecuentemente en la práctica. Por eso ha sido necesario buscar en la observación, primero, de las corrientes naturales y después de las artificiales, nuevos caminos del saber empírico, lo cual ha sido aprovechado para crear obras de enorme envergadura y utilidad.

Debido al pequeño número de experiencias acumuladas y a la dificultad de los métodos conocidos, al encontrarse el ingeniero frente a un caso determinado, debe tomar una resolución. Ahora bien, las soluciones que tome no las podrá comprobar totalmente sino ejecutándolas, y, para satisfacer este deseo ante la posibilidad económica que esto representa, se ensaya con dimensiones más reducidas; y con mucho menos costo, le es posible provocar fenómenos análogos a los que desearía estudiar, de modo que a cada punto del fluido en ensayo correspondiera un punto de la supuesta realidad, y que las características mecánicas de puntos correspondientes estuvieran ligadas por leyes precisas que permitieran calcular las del uno en función de las del otro.

Es este el origen histórico del Laboratorio de Hidráulica y, naturalmente, de los modelos a escalas reducidas.

A Leonardo De Vinci, uno de los primeros experimentadores hidráulicos, se deben dos frases que nunca pierden su actualidad: "Si hay que tratar con el agua, consulta primero a la experiencia y después la razón". La experimen-

tación no yerra nunca-decía también-; sólo nuestro juicio se equivoca al anticipar resultados que la experiencia no confirma".

Los resultados obtenidos en los modelos reducidos nos proporcionan guía y enseñanza de lo que ocurre en la realidad; siempre como es natural, con algunas limitaciones.

A primera vista se observa que, al abarcar los problemas hidráulicos dimensiones tan dispares como longitudes, masas o fuerzas y tiempos, la semejanza se sale ya del grado de simplicidad que encierra el estudio de las construcciones estáticas.

No es fácil substraerse para la experimentación, ni de la influencia de la presión atmosférica ni, sobre todo, de la acción de la gravedad, y el efecto de la rugosidad no hay, hasta ahora, modo de introducirlo en los cálculos de forma totalmente convincente. Cuando la cavitación empieza, las leyes de semejanza sufren una discontinuidad.

Todas estas causas, hacen que los resultados de los ensayos en modelos reducidos sean sólo aproximados; si bien no es posible alcanzar una exactitud rigurosa, si podemos conseguir la aproximación necesaria en los objetivos prácticos.

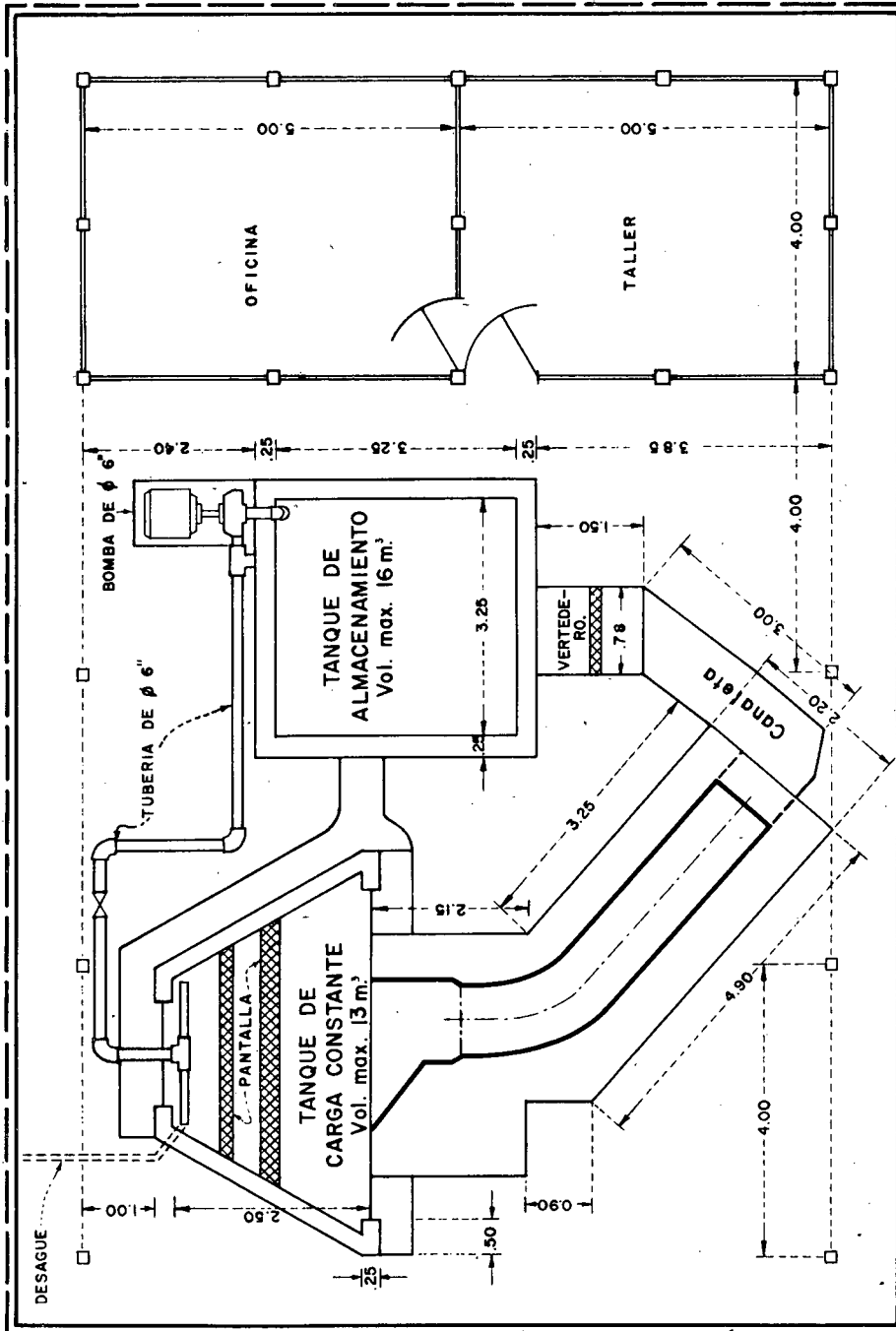
LABORATORIO

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Hidráulica de la División de Estudios y Proyectos Básicos del MOP, situado en los terrenos de la Oficina del Río Guaire.

La planta del Laboratorio y del Modelo se muestran en la Fig. 1, donde se dispone de un espacio cubierto de 16 x 12 metros, de los cuales 40 metros cuadrados corresponden a la Oficina y a un pequeño taller, el resto, a dos tanques de almacenamiento conectados por una tubería a presión y un canal de retorno.

La circulación del agua se hizo por medio de una bomba de 14,5 C.V., con capacidad hasta de 80 litros por segundo. La tubería era de 6" de diámetro (foto 1). Uno de los tanques es subterráneo con almacenamiento permanente hasta de 16 metros cúbicos. El otro elevado y sirve de almacenamiento previo al modelo por ensayarse, teniendo dos de sus paredes abiertas provistas de platinas perforadas con el objeto de permitir cualquier elevación de agua y colocación de varias formas de modelos, teniendo un volumen máximo de 13 metros cúbicos.

El gasto de agua puesto en circulación se determinó por medio de un vertedero con láminas rectangular y triangular. La graduación del gasto se hacía por medio de una llave de paso colocada en la tubería.



J.J. AYALA L.

PLANTA DEL LABORATORIO
Y DEL MODELO

Figura 1

EL PROTOTIPO

El aliviadero Las Palmas pertenece al Sistema de Las Palmas, quien a su vez en unión con el Sistema Majaguas, forma el Sistema Cojedes.

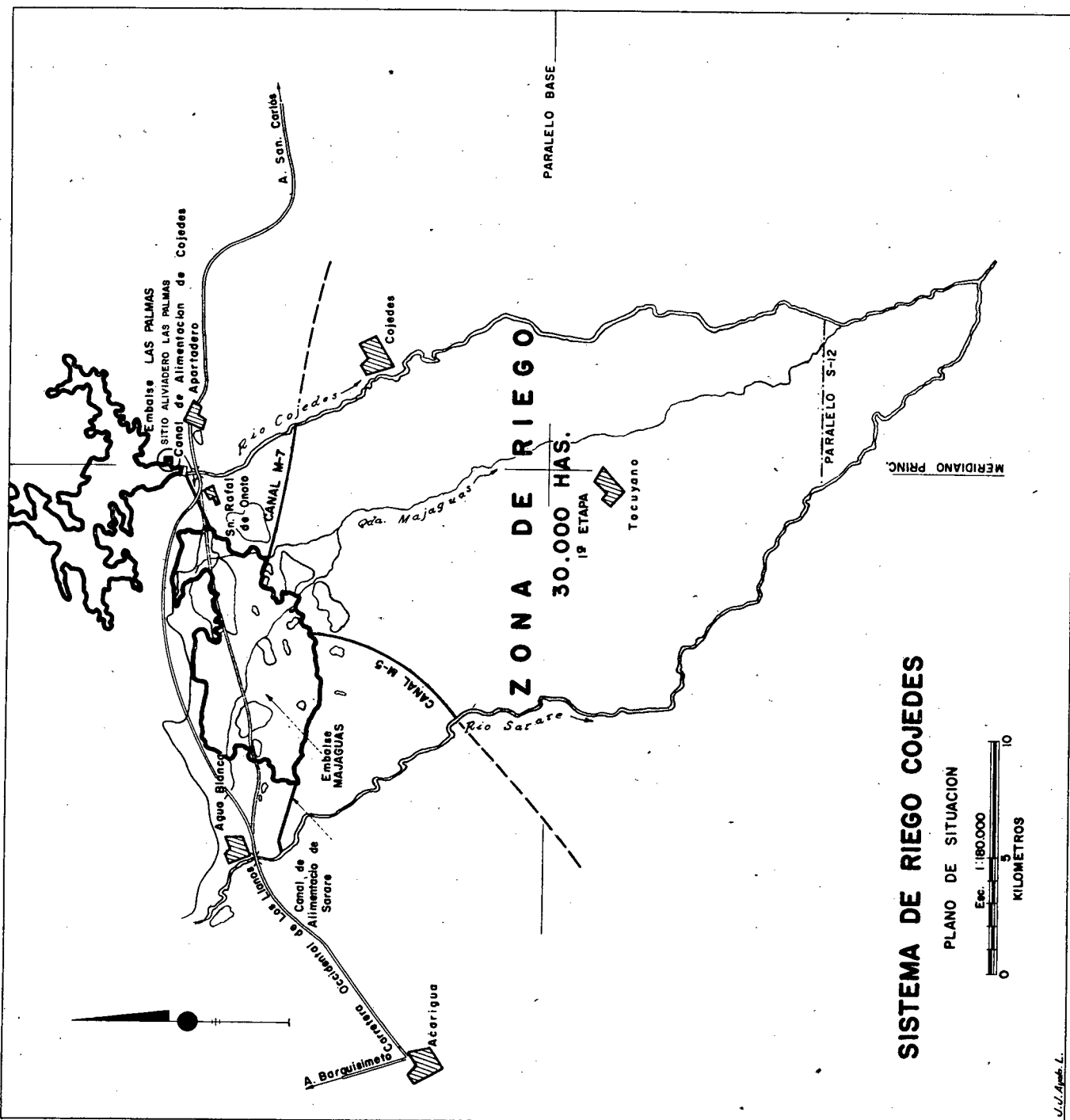
El Sistema Cojedes está situado a unos 240 Kms. al Oeste-Sur-Oeste de Caracas y su ubicación está indicada en el plano de situación.

El área que va a regarse por medio de estos embalses, varía entre unas 60.000 y 95.000 hectáreas, obteniéndose también la regulación de las crecientes. Además se producirán unos 4.500 Kw, como mínimo, de energía eléctrica.

El anteproyecto del Aliviadero Las Palmas ha sido calculado en base a una creciente máxima estimada en 3.830 metros cúbicos por segundo. Tiene un ancho de 86,50 metros con dos pilas de cuatro metros de ancho cada una. Las compuertas son de tipo flotante, diseñadas para trabajar de dos maneras: una, en que la compuerta está abierta y retiene las aguas, y otra, cerrada, funcionando como vertedero libre. Por esta razón, no se contempló en el modelo el ensayo de estas compuertas, ya que el caso no lo ameritaba. La parábola fué calculada según la ecuación $X^2 = 1,97 \cdot H \cdot Y$, tomando $H = 6$ metros, que corresponde al nivel normal de las aguas.

Para pasar de la parábola al canal de descarga se colocó una transición constituida por un arco de círculo (fig. 2).

El canal de descarga sigue más o menos la topografía del terreno, teniendo una longitud total de unos 3 kilómetros, de los cuales, aproximadamente



SISTEMA DE RIEGO COJEDES

PLANO DE SITUACION



J. J. Aguirre, L.



Figura 3

400 metros están revestidos de concreto, siendo este tramo el considerado en el Modelo. La pendiente del canal es de 2,95 %. Al principio del canal hay una curva circular de radio 157 metros, que dista escasamente 37 metros del eje del aliviadero (fig. 3).

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Sólo se tomaron en cuenta los efectos de la gravedad para la construcción del Modelo; por tal motivo se trabajó en base al número de Froude.

La llamada Ley de Froude fué enunciada con mucha más generalidad hace algunos siglos por Newton, indicando que para que exista la semejanza hidrodinámica entre el Modelo y el Prototipo es preciso que en ambos sea constante el cociente v^2/gl :

$$\frac{v_p^2}{g_p \cdot l_p} = \frac{v_m^2}{g_m \cdot l_m} = F$$

Es decir, en ambos sistemas el valor del número de Froude debe ser el mismo.

Si $g = g_m$, tendremos:

$$\left(\frac{v_m}{v_p} \right)^2 = \frac{l_m}{l_p} = l_r$$

De donde:

$$\frac{v_m}{v_p} = (l_r)^{\frac{1}{2}}$$

La aplicación de la Ley de Froude supone que ni la viscosidad ni la extensión superficial ejercen influencia apreciable en el fenómeno que se investiga.

ESCALA ADOPTADA. - La escala que adopté fué de 1:80 en base principalmente al gasto disponible, ya que para el valor de la creciente máxima correspondían en el modelo 67 litros por segundo, lo cual aseguraba un cierto margen para la capacidad máxima de la bomba. Además con la adopción de esa escala, la precisión de los resultados sería mucho mejor que para el caso de escala 1:100. Finalmente, el espacio aprovechable cuadraba perfectamente con las dimensiones requeridas por la escala 1:80.

CONSTRUCCION DEL MODELO

La obra preliminar fué la construcción de la mesa de trabajo, que serviría de base al Modelo. Se hizo con maderas de Pitchpine y caoba, de un metro de altura, por ser más cómodo para trabajar. El suelo del Laboratorio era relleno, por lo que fué necesario introducir los soportes de la mesa unos 50 cms. y fijarlos con mezcla de concreto (foto2).

Se colocó una pantalla en el estanque elevado para evitar que las aguas llegasen al Modelo turbulentas.

Tomamos como suficiente, la representación de 100 metros aguas - - arriba, para tener mejor cumplidas las condiciones del prototipo en el Modelo. Fijamos sobre la mesa los ejes del aliviadero y echamos una mezcla de concre-

to pobre, desde el eje del aliviadero hasta el estanque elevado. De ese modo quedó hecho el fondo del canal de concreto.

Para la construcción del cerro, se dibujaron los planos topográficos de aguas arriba en la escala del Modelo, colocándose sobre el piso del fondo del canal. Previamente, se cortaron unos clavos con las alturas de cada curva de nivel. Se clavaron siguiendo el camino de la curva correspondiente, sacándose después del plano (foto 3). Luego se echó un concreto con bastante proporción de cemento para que adquiriera mejor las formas debidas. Se fué terminando con gran cuidado habiéndose logrado un buen acabado (foto 5). Se hicieron los taludes 3:1 indicados en los planos (foto 4).

Para la construcción de la parábola se presentaron innumerables problemas. No podía hacerse de concreto por no contar con instrumentos que permitiesen asegurar un buen resultado; pensándose entonces, hacerla con costillas de madera cada 15 cms, revistiendo la parte exterior con una lámina de zinc. Sin embargo, por no disponer de personal adecuado para este tipo de trabajo fué desechada la idea. Otra solución era, construirla con un bloque sólido de madera de corazón y para ello se compró un trozo de bálamo. Puesto en observación a los pocos días presentó grietas considerables (foto 6), y por supuesto, tampoco fué posible adoptar esta solución.

En vista de tales dificultades contraté a un ebanista entregándole un plano de la parábola en la escala real del modelo. El trabajo fué ejecutado perfectamente con una exactitud magnífica. Se cepilló hasta darle una superficie

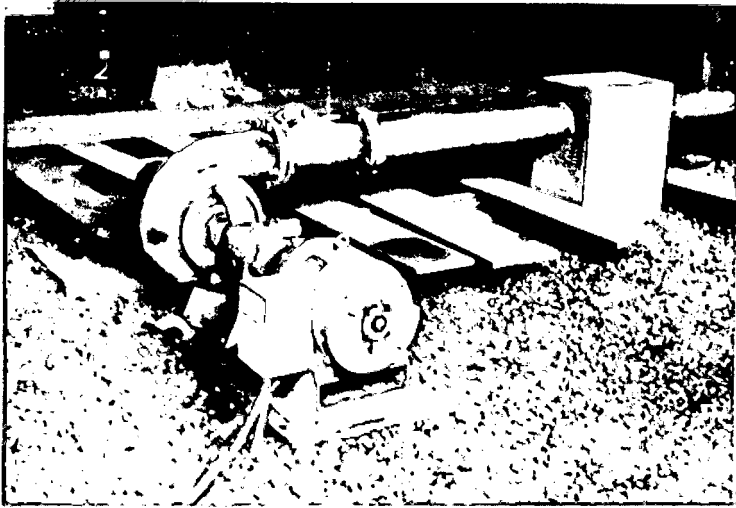


FOTO 1

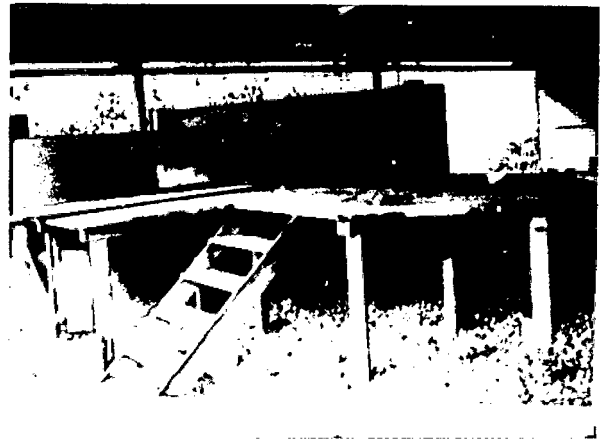


FOTO 2

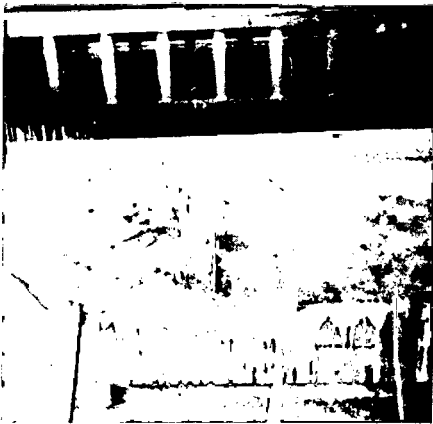


FOTO 3



FOTO 4

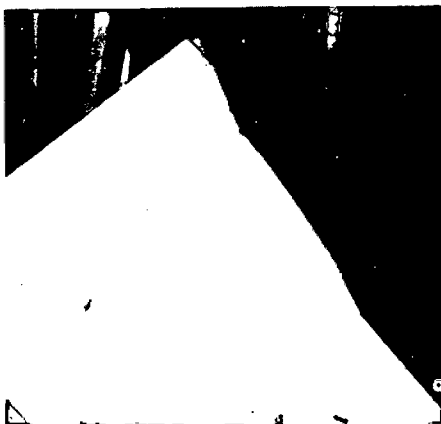


FOTO 5

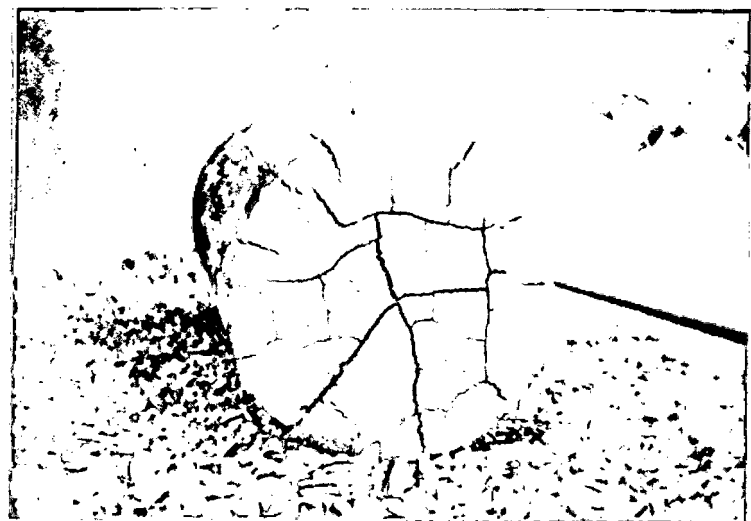


FOTO 6

muy lisa y luego se impermeabilizó con cuatro capas de barniz marino.

Para saber si la impermeabilización era aceptable, realizamos el siguiente experimento: tomamos un trozo de caoba igual a la usada para la parábola, con dimensiones de 20 x 20 x 3 cms., se pesó y dió 756 gramos. Se le dieron tres capas del barniz marino y se sumergió en agua por 12 horas. Se sacó, pesándose de nuevo, habiéndonos dado 757,5 gramos, lo cual demostraba que el grado de impermeabilización era bueno. En la parábola, sería aun mejor ya que sólo iba a presentar una cara al agua.

Debido a que la construcción de la parábola llevaría unas dos o tres semanas, decidí comenzar el canal.

Se construyó el piso del tramo recto de canal. Usamos una mezcla de concreto pobre, añadiéndosele cal para evitar infiltraciones. La capa final se le dió de cemento en polvo terminada con un cepillo de madera y una cuchara de albañil (foto 7).

Para construir el tramo curvo del canal, hubo que calcular previamente las pendientes correspondientes a la curva, tanto exterior como interior, ya que el 2,95 % del proyecto se refería al eje de la curva. Como es lógico, la curva exterior presenta un mayor desarrollo, por consiguiente, una pendiente menor en relación del eje, mientras que la curva interior tiene mayor pendiente y menor longitud.

El encofrado del tramo curvo se hizo de la siguiente manera: Se replanteó la curva sobre la mesa, marcando los puntos por medio de unos clavos.

Luego se hicieron unas formas, y entre ellas, se fueron colocando unos pedazos de madera a lo largo de la curva. Después se le marcó a cada una su altura correspondiente y por último, se le pasó la sierra eléctrica (foto 7). También se hizo el encofrado del pequeño tramo recto que va, desde donde comienza el canal, hasta el principio del tramo curvo.

Al recibir la parábola, procedimos a su colocación, al mismo tiempo que a vaciar el concreto de mezcla pobre, similar al usado en el canal recto, en la parte que faltaba todavía. Esto ayudó mucho para fijar la parábola, puesto que, sirvió para darle mayor rigidez. Se tuvo especial cuidado en el tratamiento de las juntas entre la madera y el concreto, poniéndoles cemento en polvo.

Una vez concluidos el canal y la parábola, procedimos a construir los muros. Fijamos como conveniente una altura de 12 cms, o sean, 9,60 metros en el prototipo. El espesor lo tomamos de 9 centímetros arbitrariamente.

Se hizo una reducción, como obra auxiliar, a la salida del canal del modelo, para que el agua cayera en el vertedero y de allí pasara por un canal hasta el estanque.

Para eliminar las rugosidades, tanto del piso como de las paredes del canal, se pulieron con máquinas adecuadas para tal fin, añadiéndoles una capa de cera (foto 8).

Entonces, se puso a funcionar por primera vez el Modelo, observándose que el canal resulta inadecuado, ya que en la curva se origina una ola muy grande, mientras que la parte interior no trabaja (foto 9). Estas ondas se refle-

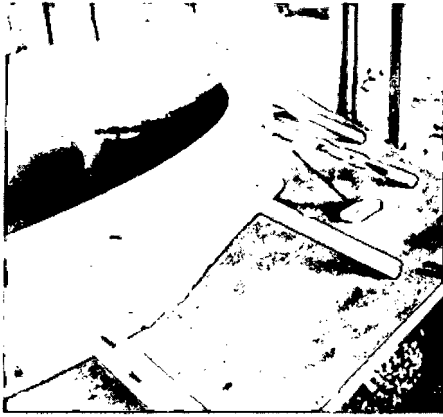


FOTO 7

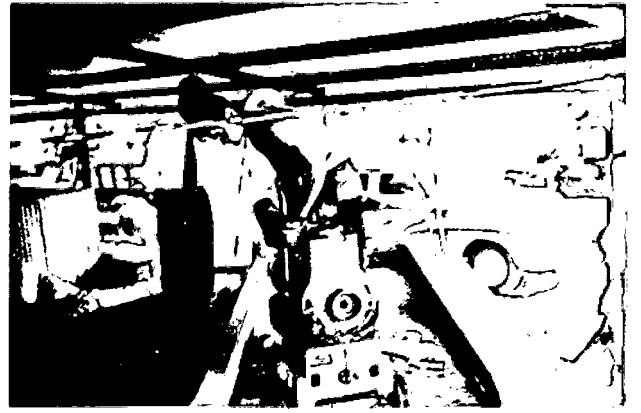


FOTO 8

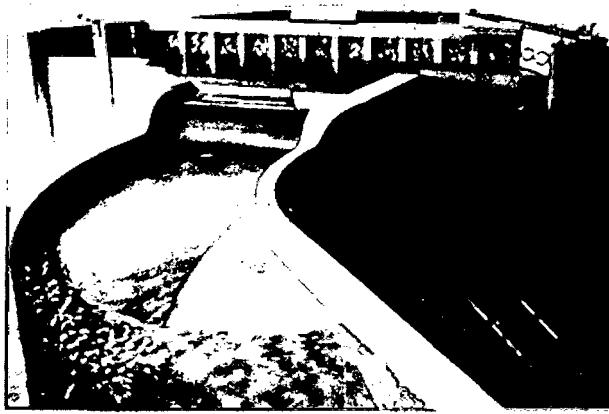


FOTO 9



FOTO 10



FOTO 11

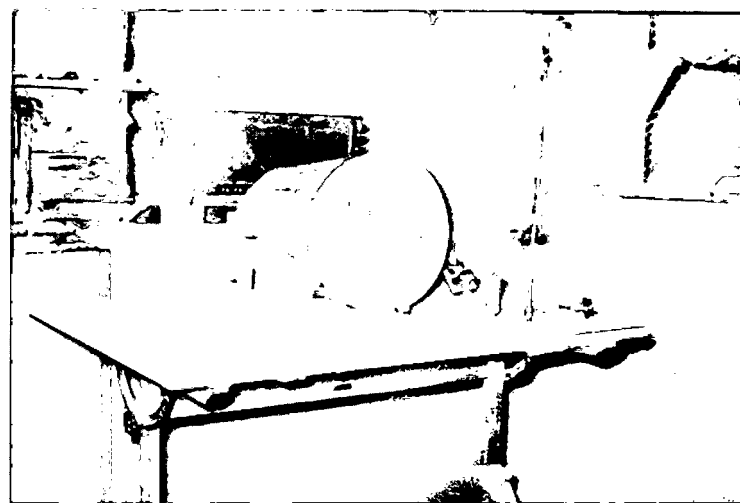


FOTO 12

jan indefinidamente hacia aguas abajo (foto 10). Además, se notaron otros problemas, tanto en el aliviadero como aguas arriba que se discutirán más adelante.

Se construyeron las pilas de la misma madera de caoba utilizada en la parábola, procediéndose luego a fijarlas. Para ello, les abrimos dos orificios a cada una, atornillándose en el sitio correspondiente. Las juntas se tomaron con mastique para vidrio, material muy bueno para este tipo de trabajo.

Al dar comienzo a la etapa de ensayos, se presentaron problemas. El primero de ellos era, que el vertedero triangular con que íbamos a medir los gastos, resultaba insuficiente. Se había escogido este vertedero porque fué utilizado en el Modelo del Aliviadero del Guárico, (por los doctores Yanes y González Molina), habiéndolo ellos calibrado, lo que me pareció lógico aprovechar. Fué por consiguiente indispensable, el uso de la lámina rectangular.

Otro contratiempo fué, el tener que variar la disposición del vertedero y de la canaleta que llevaba las aguas del Modelo al estanque; pues estando el vertedero inmediatamente a la salida del canal del Aliviadero, resultaba incapaz de recibir gastos grandes y se derramaba. Fué por ello que hubo necesidad, de hacer una nueva canaleta y situar el vertedero al final de la misma, con lo cual, se consiguió el efecto deseado (foto 11).

ENSAYOS

El paso siguiente, debía ser, la calibración del vertedero. El procedimiento para realizarlo fué llenar un depósito de volumen conocido, midiendo

el tiempo transcurrido obteniéndose directamente el gasto.

Para lograr una mayor exactitud, dividí la lámina en diez secciones. Se construyó un dispositivo de material plástico que permitiera tomar el agua separadamente de cada sección, y además, se graduó de cinco en cinco litros el pipote que utilizaríamos en el ensayo. En la foto 12 se muestran los diferentes aparatos usados en los experimentos.

DESCRIPCION DEL ENSAYO. - La forma de ejecutar el ensayo fué la siguiente: Prendida la bomba y abierta la llave de paso, se necesitaba de cierto tiempo para que llegara el agua al modelo. Una vez ocurrido esto, debía esperarse hasta que el régimen se estabilizara y entonces se comenzaban las mediciones. Un operador colocaba el dispositivo de material plástico en la primera sección del vertedero, mientras que otro, a la señal del cronometrista, introducía el pipote graduado en el chorro canalizado. Luego, al estar más o menos lleno el depósito, a otra señal del cronometrista, el encargado del dispositivo plástico lo retiraba. Este proceso se repetía a lo largo de las diez secciones del vertedero (foto 13).

Seguidamente, se hacían las lecturas de los medidores de gancho, el uno, colocado en el vertedero, y el otro, sobre el nivel de la cresta del aliviadero. Así, al mismo tiempo que se iba obteniendo la curva de gastos contra alturas del vertedero, podía calcularse también la del aliviadero y comprobar de esa manera los datos del proyecto.

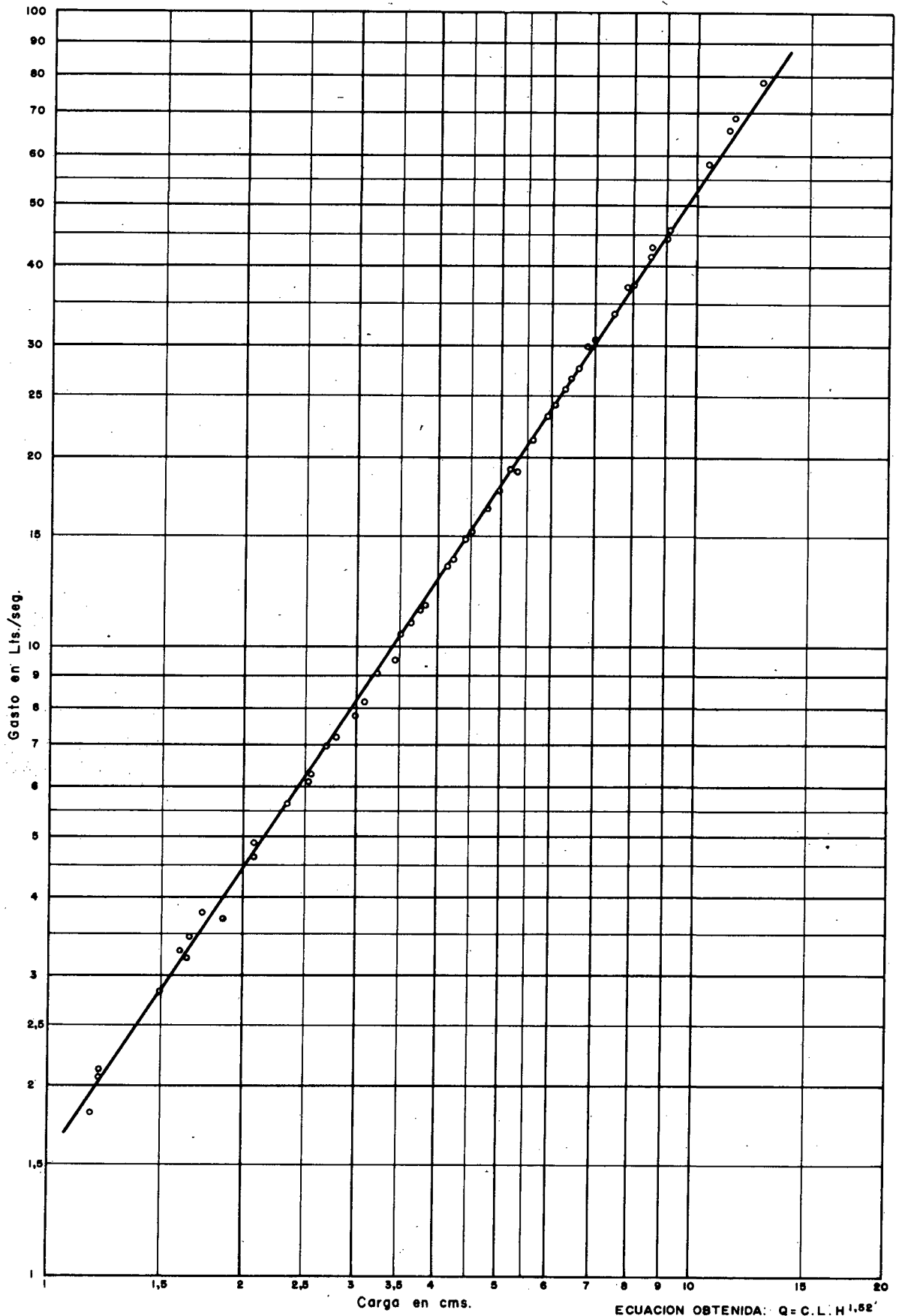
Terminado uno de estos ensayos, se variaba la abertura de la llave de paso en la tubería, cambiándose por consiguiente el gasto, y se repetía el procedimiento.

Al final de una serie de estos ensayos se revisaban las alturas tomadas como cero en los medidores de gancho. Se ejecutaron 64 de estos ensayos con los cuales se obtuvieron las curvas que se muestran en los gráficos 1 y 2.

El gráfico 1, dibujado en escala logarítmica, nos dá, para cada altura leída en el gancho, el gasto que pasa por sobre la lámina rectangular del vertedero.

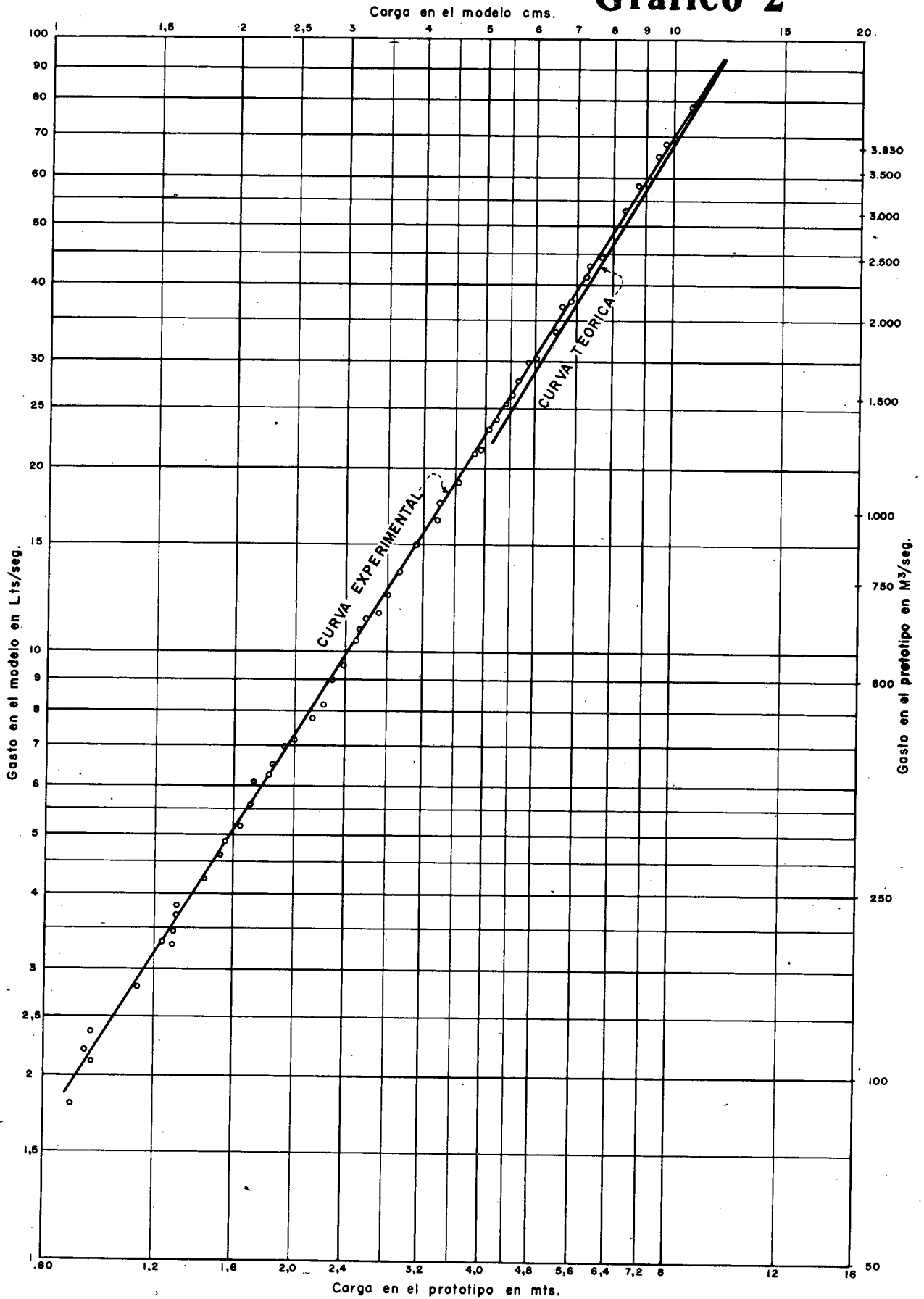
El gráfico 2, construído también en escala logarítmica, nos indica, la diferencia entre la curva experimental obtenida en el laboratorio y la curva teórica del proyecto. Puede apreciarse que son prácticamente iguales, lo cual comprueba los cálculos supuestos.

Gráfico 1



ECUACION OBTENIDA: $Q = C.L.H^{1.62}$

Gráfico 2



OBSERVACIONES EXPERIMENTALES

I - TRANSICION AGUAS ARRIBA: La transición a 45° aguas arriba es mala. Produce una zona en la cual la velocidad es cero y la entrada del agua al aliviadero no está distribuída uniformemente (foto 14). La distribución de velocidades, (gráfico 3) medidas experimentalmente a una distancia de 10 metros aguas arriba de la cresta del aliviadero, (foto 15) nos indica lo ilógico que se distribuye la corriente, notándose que la velocidad entre la pared y la pila tiene una variación considerable.

Tiene también influencia apreciable, la entrada de agua por el cerro de la margen izquierda, viendo hacia aguas arriba.

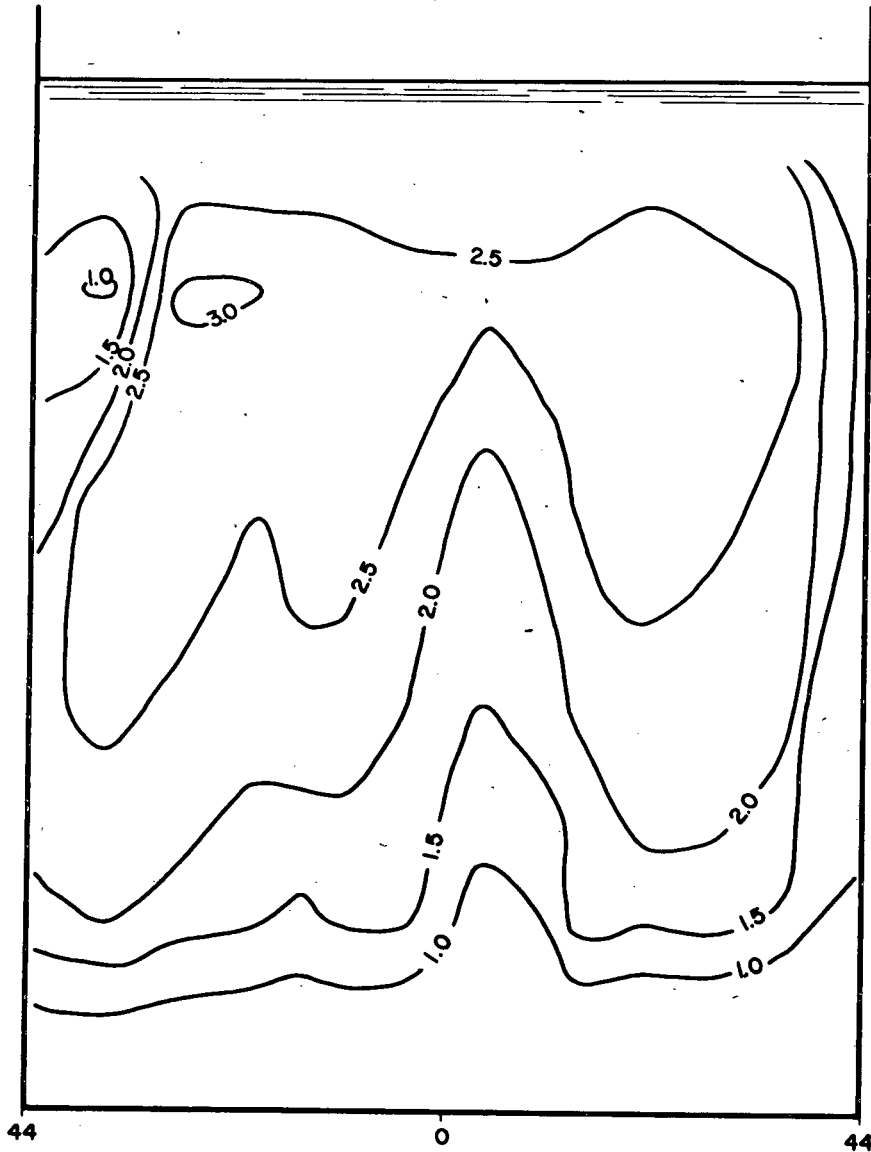
Debe por tanto cambiarse la transición a 45° por un alineamiento recto y revisar la forma de hacer el corte en el cerro, para evitar la influencia del cambio de dirección tan brusco que hay.

Puede usarse si se quiere, para tener algo mejor, una transición de doble curvatura, pues es la solución que evita la separación.

II - CIMACIO : La caída del agua por la parábola no es uniforme (foto 16). Entre la pila y la pared hay un vaivén en la superficie del agua, así como también se oye un golpe de bastante intensidad.

El motivo principal de este fenómeno es debido, seguramente, a la influencia que tiene en la distribución de velocidades las transiciones tratadas anteriormente.

DISTRIBUCION DE VELOCIDADES AGUAS
ARRIBA DEL EJE DEL ALVIADERO
PARA EL GASTO MAXIMO



NOTA:

Las curvas de velocidades se expresan
en m./s.

ESCALA HORIZONTAL = 1:1000
VERTICAL = 1:200

Gráfico 3



FOTO 13



FOTO 14



FOTO 15

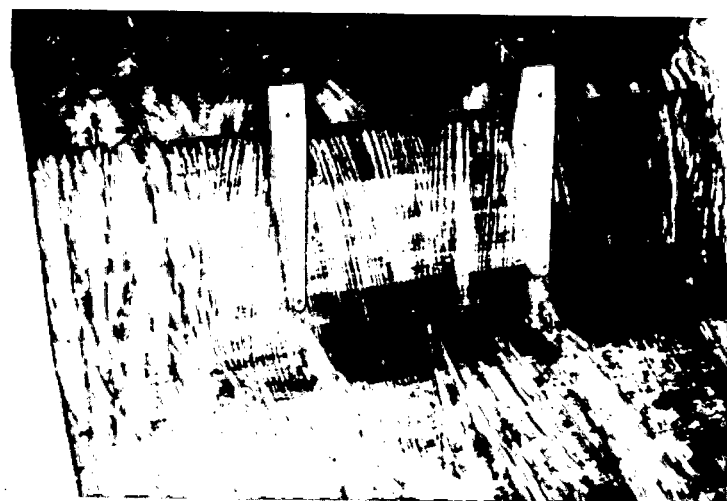


FOTO 16



FOTO 17

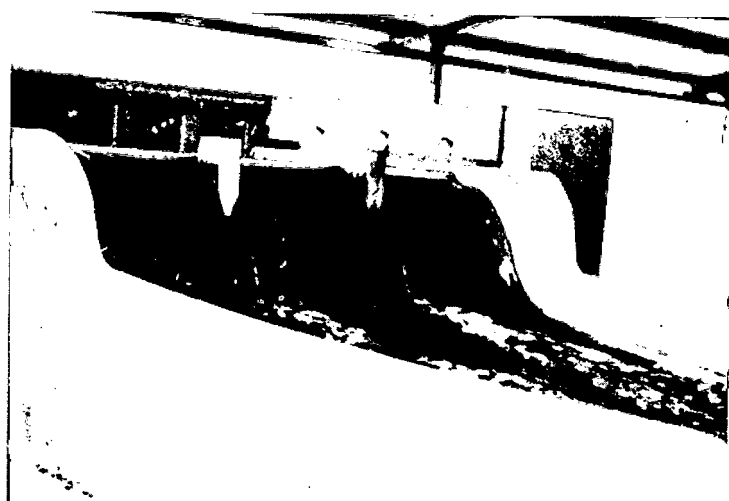


FOTO 18

Por tener el agua valores de velocidad menores en las cercanías al muro y mayores al alejarse de él, el agua con menor velocidad es arrastrada por aquélla, produciéndose por tanto el movimiento irregular en la caída. Esto sucede pero en menor escala en el lado en que no hay influencia del cerro a la entrada, sino únicamente la transición a 45°. Se puede notar en la foto 17 lo que se mejora el escurrimiento al variar la transición aguas arriba. Podría estudiarse también, la posibilidad de que tuviera influencia la capa límite.

III - PILAS: Las pilas diseñadas originan una separación de la lámina, lo cual hace que la velocidad no sea uniforme aguas abajo. Al unirse de nuevo las láminas producen una sobre-elevación de las aguas (foto 18).

Por eso fué necesario añadirles a las pilas, un perfil hidrodinámico, que mejora notablemente las condiciones hidráulicas.

Creo oportuno decir, que el tipo de compuertas flotantes que piensa usarse, no es posiblemente lo más indicado. La luz entre pilas es de 26,17 metros, lo que obliga a emplear un ancho de pilas de 4 metros, lo cual es excesivo. Sería preferible, estudiar la posibilidad de colocar compuertas radiales y aumentar el número de pilas, disminuyendo de esa manera tanto del ancho como la luz entre pilas.

IV - CANAL: El funcionamiento del canal como anoté anteriormente, es malísimo.

El movimiento en el canal se realiza bajo régimen supercrítico y debido a la curva que encuentra, forma una ola de dimensiones exageradas. Este

frente de ondas choca contra las paredes del canal y se refleja aguas abajo indefinidamente (foto 19). En la pared interior, en el tramo recto del canal, una vez que ha chocado el frente de ondas se origina un movimiento irregular dando lugar a un remolino (foto 20).

La causa principal de este inconveniente es colocar la curva tan próxima al cimacio y tener un radio de sólo 157 metros. Esto, naturalmente, va contra lo recomendado por la experiencia que señala la necesidad de que la relación entre el ancho del canal y el radio de curvatura debe ser muy pequeña y aproximarse a cero. En nuestro caso es: $86,50/157,00 = 0,55$.

Esto puede apreciarse en detalle, en los perfiles que se tomaron a lo largo de las paredes del canal, así como en las secciones transversales. Estas mediciones se hicieron para tres gastos diferentes: $500 \text{ m}^3/\text{seg}$; $1000 \text{ m}^3/\text{seg}$ y para el gasto máximo de $3.830 \text{ m}^3/\text{seg}$ (gráficos 4 y 5).

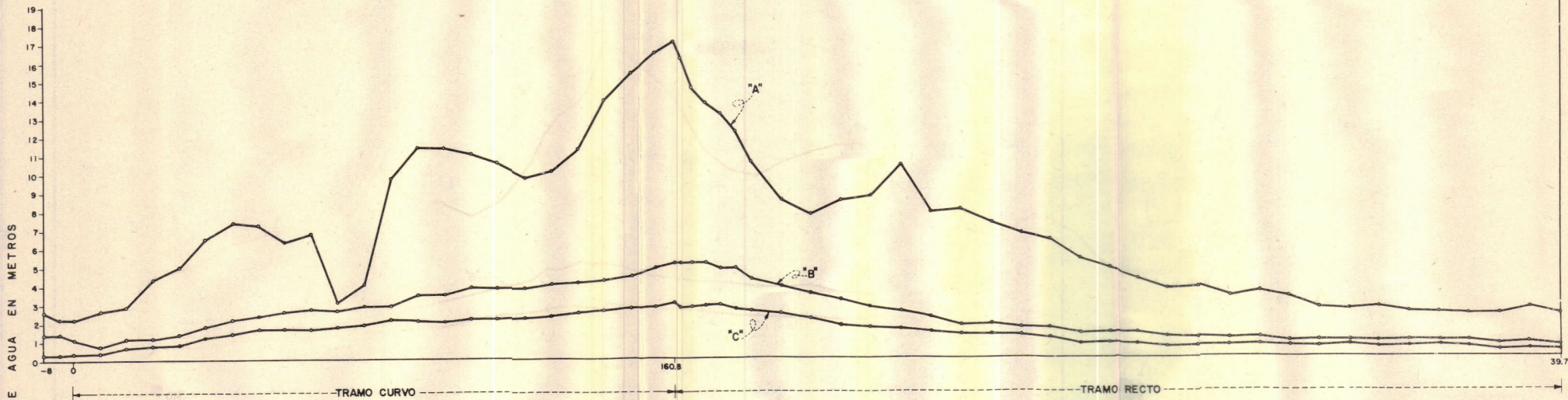
Los gráficos se dibujaron para cada uno de los casos y son explicativos por sí solos de lo que ocurre en el modelo.

La altura mayor que alcanza la ola en el modelo es de 21 cms, correspondientes a 16,80 metros en el prototipo, lo cual significa que deberían colocarse muros en esa zona, con una altura alrededor de 20 metros. Solución ésta naturalmente desechable.

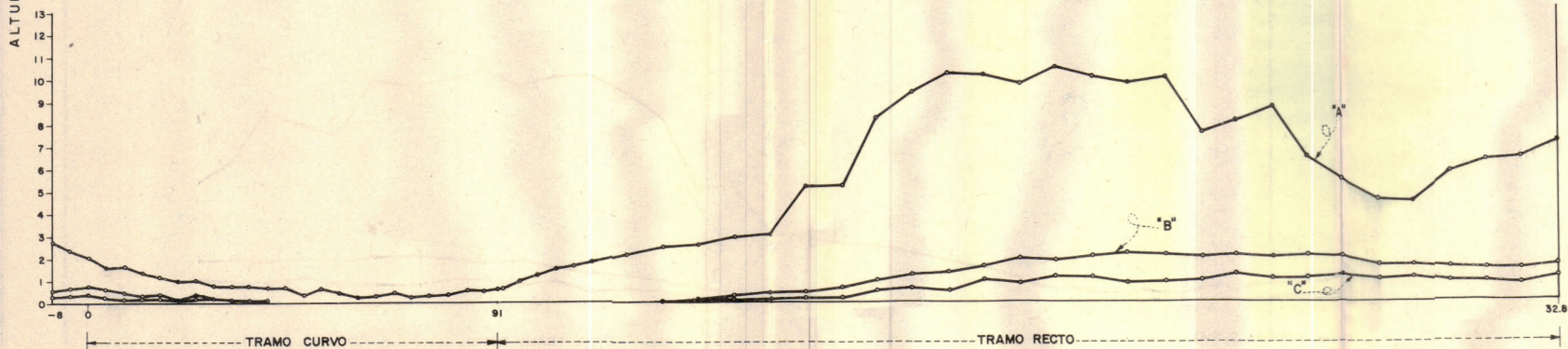
En vista de estos inconvenientes, consulté los estudios hechos por A. T. Ippen para régimen supercrítico, y para Robert T. Knapp para el diseño de curvas en canales con régimen supercrítico, aparecidos en el Transaction del A. S. C. E.

PERFILES A LO LARGO DE LAS PAREDES DEL CANAL

PARED EXTERIOR



PARED INTERIOR



CURVA	GASTO (M ³ /seg.)
"A"	3830 (máximo)
"B"	1000
"C"	500

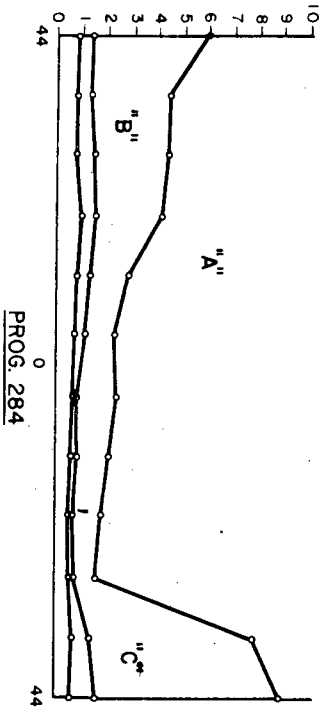
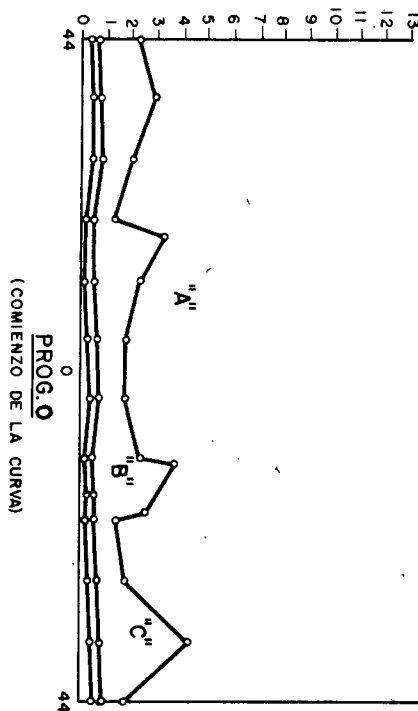
ESCALA HORIZONTAL 1:1000
" VERTICAL 1:200

Gráfico 4

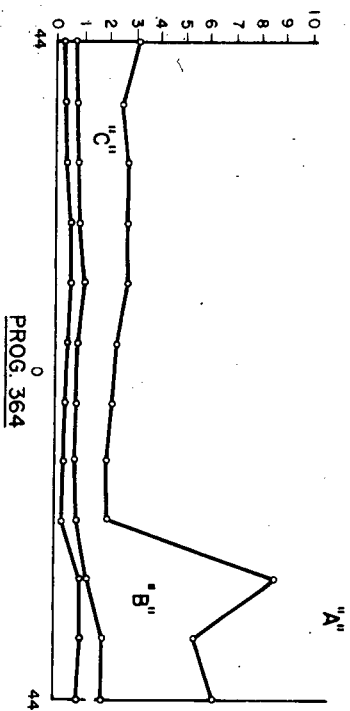
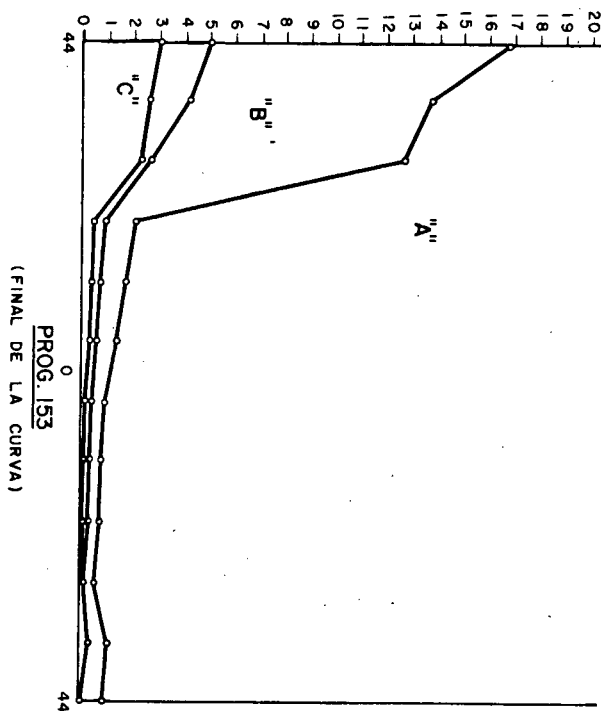
Gráfico 5

SECCIONES TRANSVERSALES

CURVA	GASTO (M. ³ /seg.)
"A"	3830 (máximo)
"B"	1000
"C"	500



ALTURA DE AGUA EN METROS



ESCALAS:
HORIZ = 1:1.000
VERT = 1:300

de 1951. Estos autores han dado aportes valiosos al estudio de estos tipos de escurrimientos. Basándose en sus experiencias, podrían adoptarse las siguientes soluciones:

a) Curvas circulares de transición. b) Umbrales diagonales. c) Umbrales a lo largo de la curva, y d) Peralte.

CURVAS CIRCULARES DE TRANSICION: Las curvas circulares de transición proporcionan una solución sencilla y eficaz; originan una contraperturbación de apropiada magnitud, fase y forma para neutralizar las fuertes oscilaciones que podrían formarse en los cambios de curvatura. Se puede tomar un radio doble obteniéndose buenos resultados. Estas transiciones deben colocarse al principio y al final de la curva. En nuestro caso, no disponemos de un tramo antes de la curva que sea suficiente para colocar la transición deseada, razón por la cual fué necesario descartar esta solución. Por este mismo hecho, tampoco es posible estudiar la espiral de transición, que en muchos casos resuelve satisfactoriamente el problema.

UMBRALES DIAGONALES: Esta solución consiste en colocar antes y después de la curva unos umbrales diagonales, con el fin de producir la contra-perturbación deseada. Se ensayaron estos umbrales para diferentes posiciones no dando ningún resultado positivo, debido a que no era posible cumplir con la condición necesaria de disponer de una longitud mínima antes de la curva, para colocar dichos umbrales.

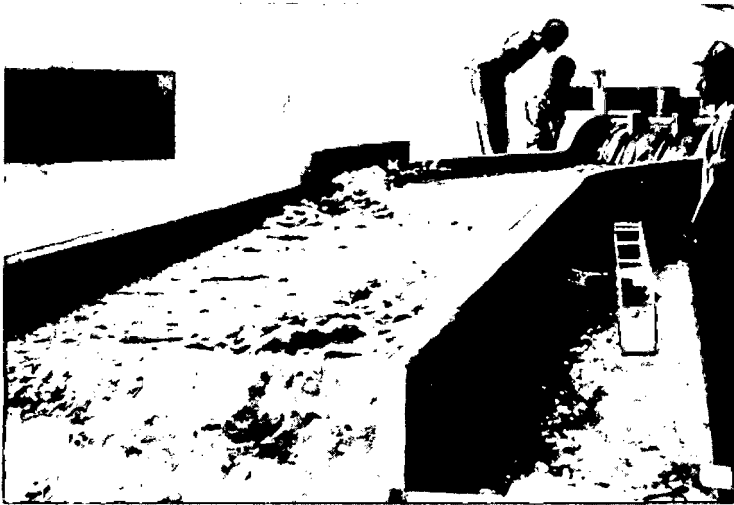


FOTO 19



FOTO 20

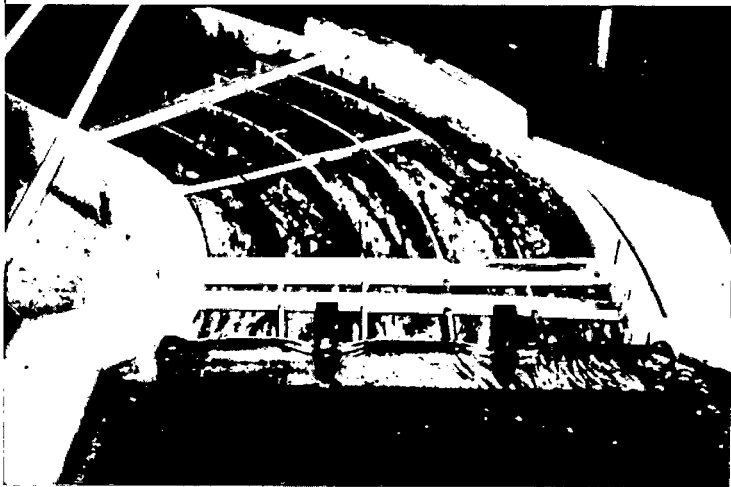


FOTO 21



FOTO 22



FOTO 23



FOTO 24

UMBRALES A LO LARGO DE LA CURVA: De las ecuaciones dadas por Knapp deducimos que si hacemos constante la profundidad, la velocidad y el radio de curvatura, la sobre-elevación vaciará directamente con el ancho del canal. De manera que si se divide el canal por medio de unos umbrales verticales, concéntricos con la curva principal, necesariamente debe reducirse la sobre-elevación.

Este procedimiento fué experimentado (foto 21), considerando cuatro umbrales. Fueron tomados los perfiles a lo largo de las paredes del canal, así como también en cada umbral (foto 22). En los gráficos 6 y 7 puede apreciarse en detalle esta experiencia. Podemos ver que aunque el resultado es aceptable, sería una solución muy costosa.

PERALTE: La inclinación del piso del canal permite condiciones propias de equilibrio. La pendiente transversal del fondo del canal debe ser la teóricamente requerida por el radio y el promedio de velocidades de los filetes líquidos. Se debe introducir gradualmente y si se dispusieran linealmente en una distancia L se desarrollaría una solera de transición en espiral.

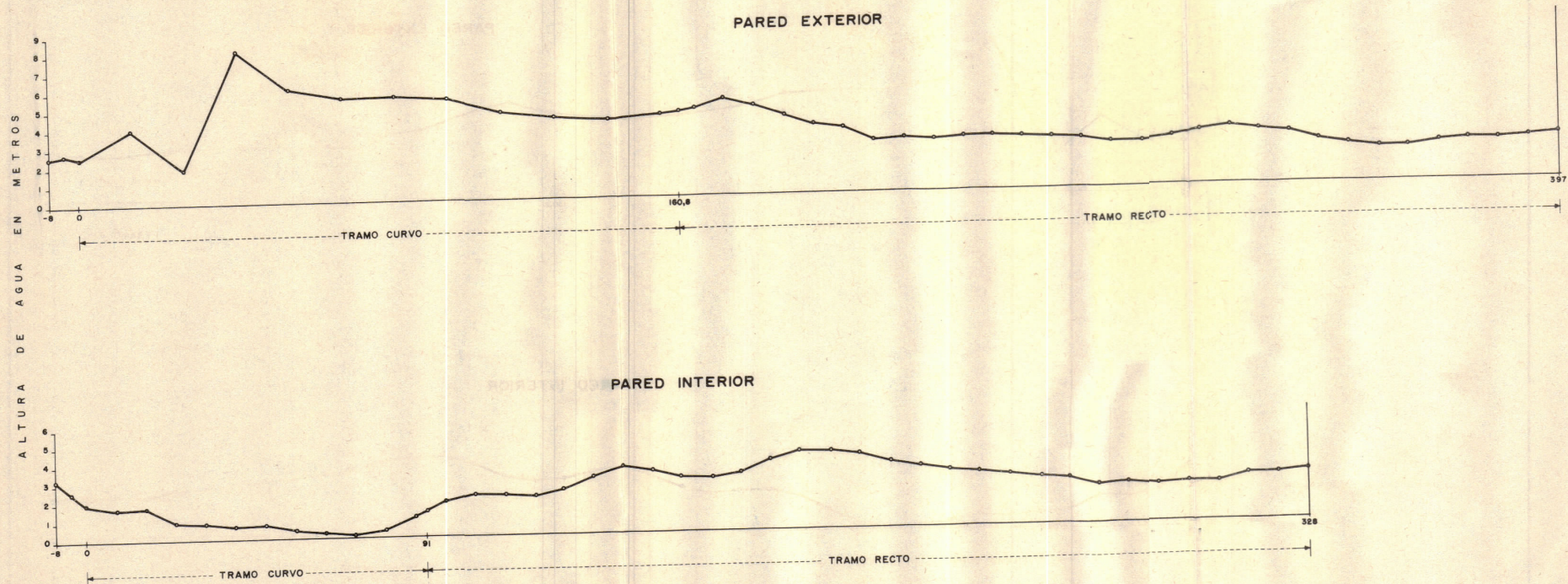
Los investigadores recomiendan para que el funcionamiento sea óptimo que la pendiente transversal requerida debe obtenerse bajando el piso del canal hacia la curva convexa. Así mismo recomiendan una mínima longitud de transición que debe ser:

$$L_{\min} = 15 B_0 \cdot i_t \quad \text{siendo } i_t = \frac{V^2}{R \cdot g}$$

donde B_0 es el ancho de la superficie libre del agua, V la velocidad promedio,

PERFILES EN LAS PAREDES DEL CANAL
 CON LA SOLUCION DE UMBRALES A LO LARGO DE LA CURVA

GASTO MAXIMO



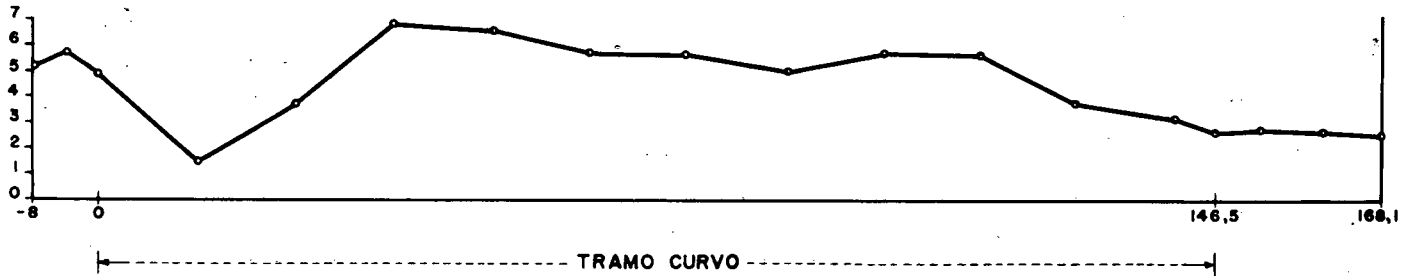
Escalas:
 Horiz. = 1:1.000
 Vert. = 1:300

Gráfico 6

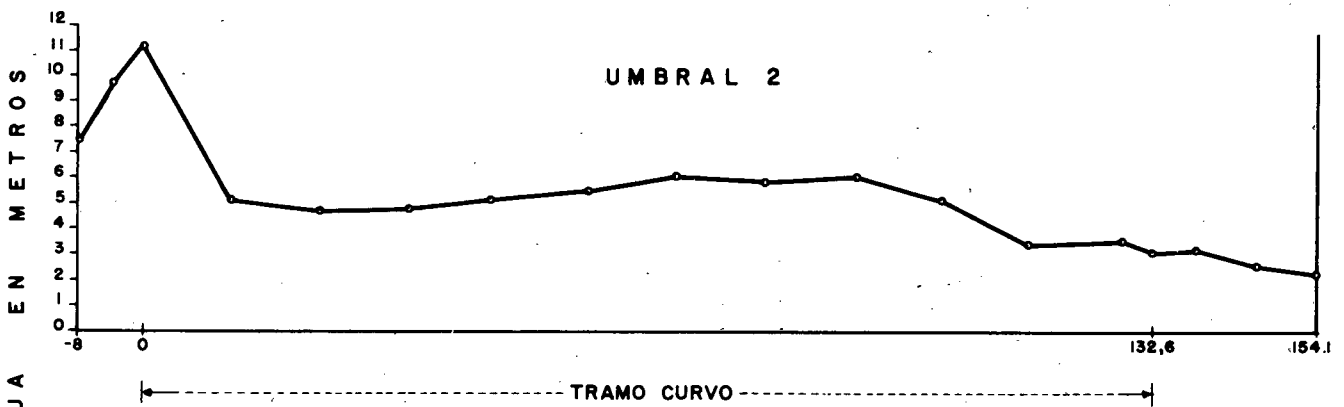
PERFILES EN CADA UMBRAL

Gasto Máximo

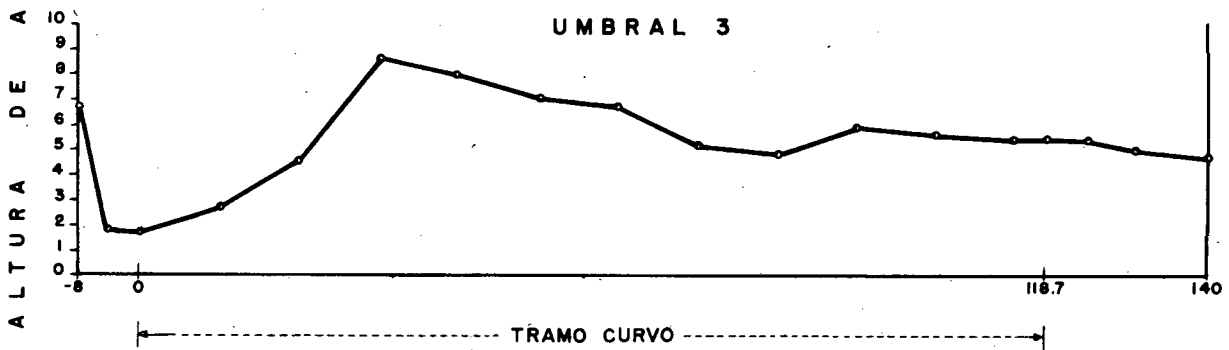
UMBRAL 1



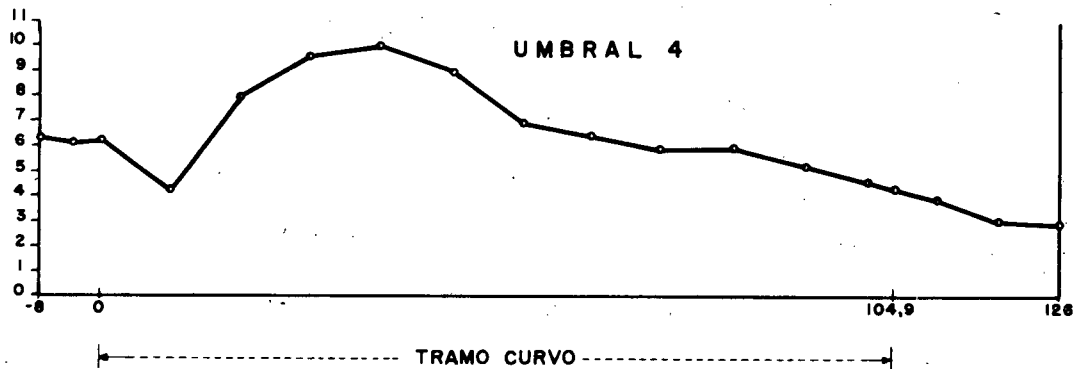
UMBRAL 2



UMBRAL 3



UMBRAL 4



Escalas:
 Horiz. = 1:1.000
 Vert. = 1:300

Gráfico 7

En base a estas consideraciones, debe ponerse especial cuidado para un nuevo proyecto, en lo ya dicho anteriormente sobre la conveniencia de diseñar una transición adecuada aguas arriba y colocar compuertas radiales, aumentando el número de pilas.

El canal debe ir revestido de concreto hasta que se pase a la sección natural del río. Habrá luego que estudiar lo que sucederá cuando ocurra este cambio de sección.

BIBLIOGRAFIA

A. S. C. E.

Hydraulics Models.

BUREAU OF RECLAMATION.

Hydraulic Laboratory Practice.

BUREAU OF RECLAMATION.

Model Studies of Spillways.

GOMEZ NAVARRO.

Salto de Agua y Presas de Embalse.

DAVIS.

Tratado de Hidráulica Aplicada.

ROUSE.

Engineering Hydraulics.

ROUSE.

Mecánica Elemental de Fluidos.

GANDOLFO.

Canales de Fuerte Pendiente.

IPPEN.

Mechanics of Supercritical Flow.

(Transactions A. S. C. E. 1951).

KNAPP.

Design of Channel Curves for Super-critical flow.

(Transactions A.S.C.E. 1951).

BALLOFFET, GOTELLI y MEOLI.

Hidráulica.

BAKHMETEFF.

Hidráulica de los Canales.

GONZALEZ MOLINA y YANES.

Modelo de la Torre-Toma y del Ali-viadero de la Presa del Guárico.

REVISTA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA.

Junio de 1953.

REVISTA DEL I. N. O. S.

N° 8.

WOOD WARD and POSEY.

Steady Flow in Open Channels.

