

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ACATLAN”



ESTUDIO EN MODELO HIDRAULICO DEL VERTEDOR
DE LA PRESA EL SABINAL, SIN.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;
INGENIERO CIVIL
PRESENTA

MARIA TERESA HERNANDEZ MONTES

ACATLAN, EDO. DE MEXICO

1984



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 esta 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.

I N D I C E

		<u>PAGINA</u>
	INTRODUCCION	
1.	MODELOS HIDRAULICOS	1
1.1.	Definición de Modelo	1
1.2.	Antecedentes	1
1.3.	Análisis Dimensional	1
1.4.	Similitud Hidráulica	6
1.5.	Leyes de Semejanza	10
1.6.	Leyes Aplicables a Diversos tipos de Modelos Hidráulicos	16
1.7.	Limitaciones para Efectuar Ensa- yes con Modelos	19
2.	CONSTRUCCION DE MODELOS HIDRAULI- COS	22
2.1.	Generalidades	22
2.2.	Materiales Utilizados	23
2.3.	Procedimiento Constructivo	26
2.4.	Equipo Requerido	29
2.5.	Datos Adicionales	36
3.	PROYECTO PRESA "EL SABINAL" , - SIN.	38
3.1.	Antecedentes	38
3.2.	Finalidad	38

PAGINA

3.3.	Información General	39
3.4.	Datos Hidrológicos	42
3.5.	Características del Almacenamiento	43
3.6.	Descripción General de las Estructuras que Integran el Proyecto	44
4.	MODELO HIDRAULICO DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS	46
4.1.	Antecedentes	46
4.2.	Proyecto y Construcción del Modelo	46
4.3.	Desarrollo del Estudio	68

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

El proyecto de una obra civil requiere para su desarrollo de la realización de diversos estudios elaborados en forma independiente que se interrelacionan para lograr una solución óptima capaz de satisfacer las necesidades que dieron origen a dicho proyecto.

Con el apoyo de la especialidad técnica correspondiente al aspecto que se contempla en cada estudio, se procede a planear, proyectar, diseñar, cuantificar y construir la obra que propicie las condiciones adecuadas para el avance de una colectividad.

En el caso de una obra hidráulica, específicamente de un almacenamiento y sus estructuras; de la totalidad de estudios efectuados se consideran en forma primordial los correspondientes a la hidromecánica, pues con base en ellos se analiza la conveniencia de utilizar un diseño propuesto.

En ocasiones, sin embargo, no es posible preveer el funcionamiento del mismo debido a las características particulares del proyecto, y que de no ser el adecuado una vez construido podría llegar a ocasionar importantes pérdidas materiales e incluso humanas.

Debido a lo anterior se ha optado por utilizar los modelos hidráulicos, en los que se representa físicamente el proyecto en dimensiones sumamente pequeñas con respecto a la estructura -

real, lo cual permite observar el comportamiento del flujo que se presentará en esta última y en caso necesario, se puede modificar el diseño original a un costo considerablemente reducido.

El presente trabajo se refiere al estudio en las condiciones - anteriormente descritas de la Obra de Excedencias del Proyecto Presa "El Sabinal" , Sin., con el cual se pretende analizar - su funcionamiento hidráulico, a fin de ratificar o modificar - sus características geométricas hasta obtener un funcionamiento eficiente de la estructura.

En los capítulos subsecuentes se indican las bases teóricas, a partir de las cuales se establece la relación entre la obra - real y su representación reducida, el proceso constructivo de ésta y finalmente, la aplicación de ambas en el estudio anteriormente mencionado, incluyendo los ensayos efectuados y resultados obtenidos.

1. MODELOS HIDRAULICOS

1.1. Definición de modelo

Se define como modelo a todo sistema por medio del cual se pueden predecir las características de otros sistemas semejantes.

1.2. Antecedentes

Para establecer un control y modificar o ratificar los diseños analíticos de diversas estructuras hidráulicas, se utilizan frecuentemente los modelos. Estos son generalmente menores que sus prototipos, por lo que se puede experimentar en ellos a costos relativamente bajos y con una economía de tiempo considerable, hasta obtener las condiciones óptimas de funcionamiento.

Por medio de teorías matemáticas y resultados experimentales, se han desarrollado soluciones prácticas a diversos problemas hidráulicos. Actualmente, una gran cantidad de estructuras hidráulicas se proyectan y construyen solamente después de haber efectuado un extenso estudio sobre modelos de las mismas.

Con el fin de simplificar y organizar el estudio sobre un modelo, además de evaluar adecuadamente los resultados obtenidos, se hace uso del Análisis Dimensional y la Semejanza Hidráulica.

1.3. Análisis Dimensional

Se refiere a las relaciones matemáticas de las dimensiones de las magnitudes físicas. Se dice que una ecuación entre magnitudes físicas es dimensionalmente homogénea si su forma no depende de las dimensiones que se eligen.

Una ecuación dimensionalmente homogénea establece una relación de igualdad entre funciones dimensionalmente homogéneas. La teoría de esta clase de funciones se llama Análisis Dimensional.

No se puede decir que una ecuación es dimensionalmente homogénea si no contiene todas las variables resultantes de una deducción analítica correcta de la misma, esto es, se deben tener en consideración términos que aunque numéricamente son despreciables en la evaluación de un fenómeno, dimensionalmente son esenciales en una ecuación.

Para obtener en una forma correcta la expresión analítica de una ley física, es conveniente efectuar los tres pasos siguientes :

- a) Determinar todas las variables que intervienen en el fenómeno.
- b) Establecer la fórmula, con coeficientes indeterminados.
- c) Determinar experimentalmente los valores numéricos de los coeficientes.

De lo anterior se observa que el primer paso consiste en plantear una ecuación completa, esto es, que debe involucrar todas las variables que intervienen en el fenómeno.

El segundo paso corresponde propiamente al Análisis Dimensional y consiste en imponer que la ecuación es dimensionalmente homogénea, para lo cual se aplica el Teorema de Buckingham.

Se puede establecer que para que una ecuación sea dimensionalmente homogénea, es condición suficiente que dicha ecuación se pueda reducir a una relación entre productos adimensionales.

El Teorema de Buckingham indica que la condición anterior es también necesaria, esto es, que "toda ecuación dimensionalmente homogénea puede reducirse a una relación entre una serie completa de productos adimensionales" .

En este teorema se sintetiza toda la teoría del Análisis Dimensional.

Por último, a partir de un conjunto de variables principales, se puede determinar una serie completa de productos adimensionales que le corresponda.

El tercer paso implica una serie de experimentos que se pueden efectuar en un laboratorio, con lo cual la solución se reduce a una gráfica de una variable, resultado de dichos experimentos.

El hecho de reducir el análisis de un fenómeno a la determinación de una variable adimensional representa una ventaja fundamental, pues si por razones prácticas no es posible reproducir en el laboratorio las condiciones en que se desarrolla el fenómeno debido a las dimensiones y características de dichas condiciones, nos permite estudiar el problema en un modelo mucho más sencillo utilizando mediciones directas y dimensiones fácilmente manejables las cuales se pueden aplicar posteriormente al prototipo.

Principales productos adimensionales.

Las variables dimensionales más importantes que se utilizan comúnmente en hidráulica son :

Viscosidad

Gravedad

Presión
 Velocidad
 Tensión superficial
 Compresibilidad
 Periodicidad
 Longitud característica
 Densidad
 Velocidad del sonido dentro del fluido

Con estas variables es posible formar los productos adimensionales siguientes :

Número de Reynolds

$$R = \frac{VL}{\nu}$$

V = velocidad
 L = longitud
 ν = viscosidad

Número de Froude

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

V = velocidad
 g = gravedad
 L = longitud

Número de Mach

$$M = \frac{V}{C}$$

V = velocidad
 C = celeridad del sonido

Número de Euler

$$E = \frac{\rho V^2}{\Delta p}$$

ρ = densidad
 V = velocidad
 Δp = presión

Número de Weber

$$W = \frac{\rho L V^2}{\sigma}$$

ρ = densidad
 L = longitud
 V = velocidad
 σ = tensión superficial

Número de Cauchy

$$C = \frac{\rho V^2}{E}$$

ρ = densidad
 V = velocidad
 E = módulo de elasticidad

Número de Strouhal

$$S = \frac{fL}{V}$$

f = frecuencia
 L = longitud
 V = velocidad

Estos productos son independientes entre sí, pues ninguno de ellos puede obtenerse en función de otro. Por otra parte, se demuestra que todo producto adimensional formado con las variables anteriormente mencionadas es un producto de potencias de dichos números.

En un problema se pueden presentar otros productos adimensionales, los cuales son relaciones de variables dimensionalmente equivalentes, pero substancialmente distintas, como en el caso de un fenómeno que involucra simultáneamente a dos fluidos, como agua y aire, o bien a un solo fluido pero en dos fases distintas con diferentes características físicas, como agua y vapor de agua.

1.4. Similitud hidráulica

Utilizando los principios del análisis dimensional, se pueden incorporar variables en una expresión adimensional básica, sistemática y matemáticamente ordenada.

Mediante la investigación experimental se determinan las constantes numéricas y se verifica la exactitud del análisis.

Una estructura hidráulica presenta en su funcionamiento problemas con diferentes variables, con las cuales se pueden formar parámetros adimensionales que permiten llevar los resultados de un modelo físico a una estructura real.

Para poder efectuar esta trasposición de resultados se estableció la teoría de la Similitud de Kline : "Si dos sistemas obedecen al mismo grupo de ecuaciones y condiciones gobernantes, y si los valores de todos los parámetros y condiciones se hacen idénticas, los dos sistemas deben mostrar comportamientos similares con tal de que exista una solución única para el grupo de ecuaciones y condiciones" .

1.4.1. Leyes de similitud

Si existe una relación única y constante para todas las fuerzas que intervienen en un fenómeno en el interior de un fluido, para un modelo y su prototipo, se puede afirmar que se presenta semejanza dinámica entre ambos.

Para que suceda lo anterior, el modelo debe tener el mismo tamaño que el prototipo. Pero en un escurrimiento no todas las fuerzas que se presentan deben tomarse en consideración, pues algunas son despreciables dadas las condiciones en que se presenta el escurrimiento. Con base en lo anterior es posible lograr una similitud dinámica bastante precisa utilizando modelos de diferente tamaño que el prototipo, que puede ser mayor o menor.

Al predominar una fuerza sobre las demás se deben cumplir ciertas relaciones entre las escalas, las cuales se indican a continuación.

1.4.2. Semejanza geométrica

La similitud o semejanza geométrica implica que se cumpla con la relación entre dimensiones homólogas entre modelo y prototipo - las cuales deben ser iguales. Dicho de otra manera, un modelo y un prototipo son geoméricamente similares si todas las dimensiones del cuerpo en la dirección de los tres ejes coordenados guardan entre sí la misma escala.

De lo anterior se infiere que el modelo y el prototipo son idénticos entre sí y únicamente difieren en el tamaño,

Por lo tanto, una longitud del prototipo se puede obtener al mul

tiplicar su longitud homóloga en el modelo, por una escala de longitudes :

$$L_p = L_e L_m$$

donde :

L_p = longitud en el prototipo

L_m = longitud homóloga en modelo

L_e = escala de longitudes

1.4.3. Semejanza cinemática

Para que entre un modelo y el prototipo correspondiente se presente una semejanza cinemática, debe cumplirse la condición de que las partículas homólogas lleguen a puntos homólogos con tiempos homólogos.

De tal manera que la similitud cinemática obliga a que modelo y prototipo tengan una escala de líneas y una escala de tiempos, con las cuales se obtiene una escala de velocidades :

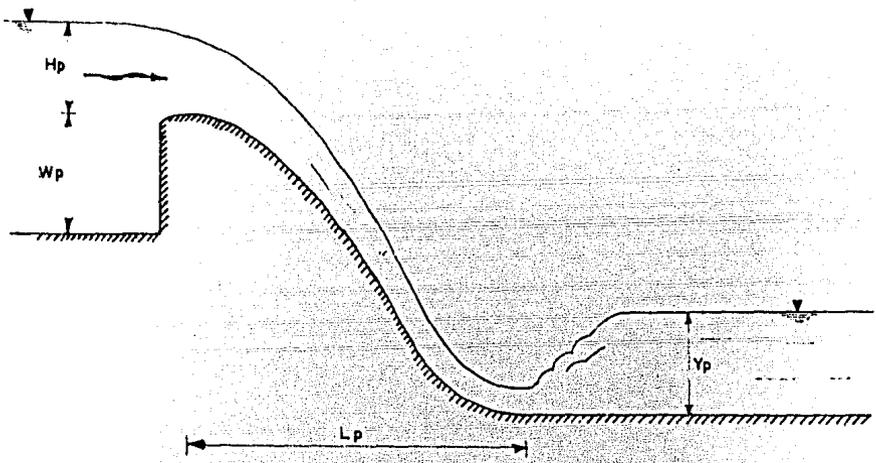
$$V_e = V_p/V_m$$

$$t_e = t_p/t_m$$

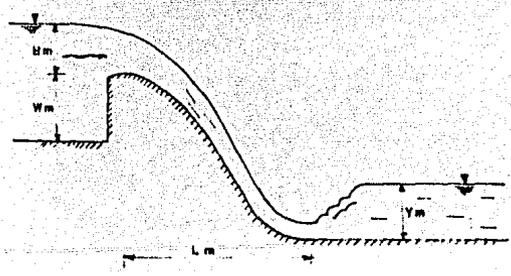
donde :

V_e = escala de velocidades

t_e = escala de tiempos



P R O T O T I P O



M O D E L O

Fig 1.1 SIMILITUD GEOMETRICA

1.4.4. Semejanza dinámica

Si todas las fuerzas que ejerce un fluido en puntos homólogos del modelo y el prototipo se relacionan entre sí por medio de un valor determinado, llamado escala de fuerzas, existe semejanza dinámica entre ambos fluidos.

Las fuerzas que generalmente se toman en consideración ejerciendo una acción predominante sobre una partícula de fluido incompresible son :

- La gravedad	F_G
- La presión	F_p
- La viscosidad	F_v
- La tensión superficial	F_σ

Por razones de equilibrio, la suma de las fuerzas anteriores más la de inercia F_I es igual a cero.

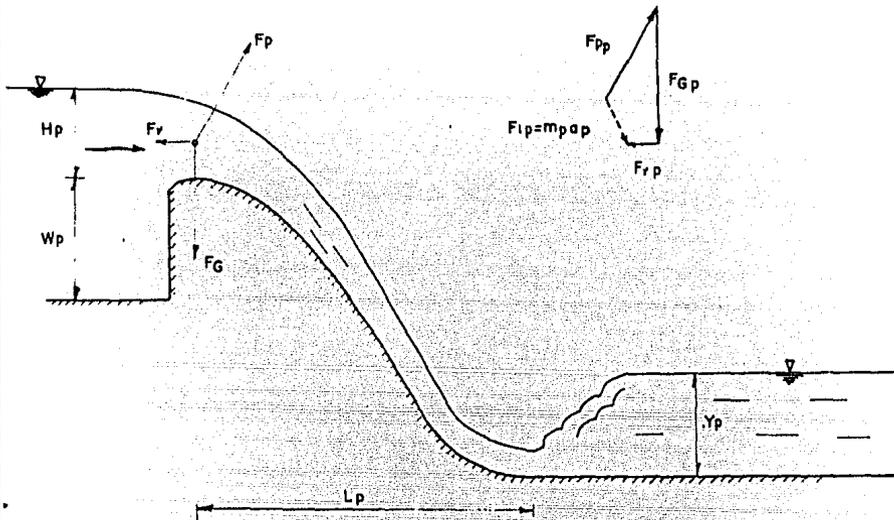
$$F_G + F_p + F_v + F_\sigma - F_I = 0$$

1.4.5. Ley General de Semejanza Dinámica

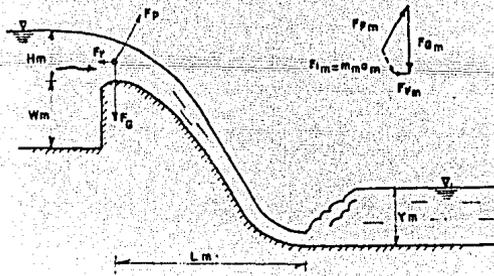
La semejanza dinámica implica que se cumpla la escala de fuerzas:

$$F_e = \frac{F_{GP}}{F_{Gm}} = \frac{F_{PP}}{F_{Pm}} = \frac{F_{VP}}{F_{Vm}} = \frac{F_{\sigma P}}{F_{\sigma m}} = \frac{F_{IP}}{F_{Im}}$$

Si además dos fuerzas se consideran despreciables con respecto a la de inercia, se puede establecer una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas consideradas igual a la unidad.



P R O T O T I P O



M O D E L O

Fig 1.2 SIMILITUD DINAMICA

1.5. Leyes de Semejanza

1.5.1. Número de Froude

Quando en un escurrimiento la fuerza más importante es la ejercida por la gravedad y se pueden despreciar los efectos viscosos, como en el caso de los escurrimientos turbulentos a superficie libre, es aplicable la condición o número de Froude, expresada por la siguiente ecuación

$$\frac{V_e}{g_e L_e} = 1$$

en donde :

V_e = escala de velocidades
 g_e = escala de fuerzas gravitatorias
 L_e = escala de Longitudes

e indica la relación que debe existir entre las mismas cuando se desea representar un fenómeno con las características mencionadas.

Al cumplirse la condición de Froude se obliga a que el número de Froude sea idéntico en modelo y prototipo, presentándose necesariamente en los modelos de :

- Obras hidráulicas y disipadores de energía,
- Escurrimientos en canales y ríos.
- Estructuras bajo la acción de oleaje y mareas.

1.5.2. Número de Reynolds

En un escurrimiento en que la viscosidad del fluido influye preponderantemente en el fenómeno por estudiar, debe cumplirse entre modelo y prototipo la ecuación que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas viscosas, conocida como condición de Reynolds :

$$\frac{V_e L_e}{\nu_e} = 1$$

en donde :

- V_e = escala de velocidades
- L_e = escala de longitudes
- ν_e = escala de viscosidades

y que deberá cumplirse en los modelos en donde se estudie

- Empuje y sustentación de cuerpos.
- Fluidos laminares y de transición en tuberías.

1.5.3. Número de Euler

Si al representar un fenómeno en modelo relativo a un escurrimiento, los cambios de presión Δp tienen mayor importancia, debe considerarse la siguiente relación :

$$\frac{\rho_e V_e^2}{P_e} = 1$$

en la cual

ρ_e = escala de densidades
 V_e = escala de velocidades
 P_e = escala de presiones (Δp)

conocida como condición o número de Euler.

Los fenómenos con que es aplicable esta condición son ocasionados por un gradiente de presiones, siendo predominantes la densidad y la aceleración en el comportamiento del flujo.

Lo anterior se observa en estudios de prob. flujo a presión, distribución local de presiones sobre un obstáculo, etc.

1.5.4. Número de Newton

Al sustituir en la ecuación de Euler la escala de presiones por la de fuerzas entre áreas y obteniendo su recíproco, de la siguiente forma :

$$\frac{F_e}{\rho_e L_e^2 V_e^2} = 1$$

donde

F_e = escala de fuerzas
 ρ_e = escala de densidades
 L_e = escala de longitudes
 V_e = escala de velocidades

llamada condición o número de Newton

1.5.5. Número de Strouhal

En los modelos para representar escurrimientos transitorios con los cuales la frecuencia del fenómeno en estudio es importante - se considera la condición de Strouhal

$$\frac{f_e L_e}{V_e} = 1$$

donde :

f_e = *frecuencia del fenómeno * escala

L_e = escala de longitudes

V_e = escala de velocidades

la cual establece una relación entre una fuerza hidrodinámica con la fuerza de inercia de la masa oscilante del fluido.

El número de Strouhal es aplicable a estudios de :

- Vórtices intermitentes
- Vibraciones inducidas en un cuerpo interpuesto en un fluido

1.5.6. Número de Cauchy

Partiendo de la expresión del número de Euler, pero utilizando - en lugar de la fuerza de presión, la elástica, se define la condición de Cauchy

$$\frac{\rho_e V_e^2}{E_e} = 1$$

en la cual :

ρ_e = escala de densidades

V_e = escala de velocidades

E_{Ve} = módulo de elasticidad volumétrica

Aunque es poco utilizado, debe tomarse en cuenta al efectuar estudios en los cuales la compresibilidad es una condición importante en el desarrollo de un fenómeno.

1.5.7. Número de Mach

Atendiendo a la velocidad o celeridad con que se transmiten las ondas sonoras dentro de un fluido, se puede establecer una relación entre las fuerzas de inercia y las elásticas, llamada condición de Mach y que se expresa como :

$$\frac{V_e}{C_e} = 1$$

en donde :

V_e = escala de velocidades

C_e = celeridad de las ondas sonoras dentro de un fluido

que es aplicable a modelos relacionados con la compresibilidad de los gases :

- Modelos aerodinámicos con altas velocidades

1.5.8. Número de Weber

Involucrando las fuerzas de inercia y tensión superficial en el estudio de un fenómeno se establece la siguiente condición :

$$\frac{Ve \cdot \rho_e^{1/2} \cdot Le^{1/2}}{\sigma_e^{1/2}} = 1$$

en donde :

Ve = escala de velocidades

ρ_e = escala de densidades

Le = escala de longitudes

σ_e = tensión superficial

llamada número de Weber.

Si el fluido en modelo y prototipo es el mismo, ρ_e y σ_e son iguales a 1, de donde se infiere que :

$$Ve = \frac{1}{Le^{1/2}}$$

e indica que las velocidades en modelo deben ser $Le^{1/2}$ menores que las del prototipo.

El número de Weber es empleado en modelos en los cuales el movimiento está condicionado a las fuerzas de tensión superficial :

- escurrimiento de una lámina delgada de líquido en una superficie,
- Fenómenos en que se presentan fuerzas capilares.

1.6. Leyes Aplicables a Diversos Tipos de Modelos Hidráulicos

Debido a que la mayor parte de los problemas relacionados con la Ingeniería Civil estudiados en modelos se refieren a estructuras con las cuales el fluido utilizado es el agua, tales como obras y máquinas hidráulicas, procesos fluviales y marítimos, etc., en los incisos siguientes se hará referencia únicamente a los modelos hidráulicos, así como a las Leyes de Similitud aplicables a éstos.

Asimismo, se ha hecho una clasificación de los mismos atendiendo a las siguientes características :

1.6.1. El comportamiento de los Materiales que Contienen al Fluido

Pueden ser :

a) De Fondo Fijo

Si al incidir la corriente sobre las fronteras o elementos del modelo, el material que los constituye permanece inalterado, corresponde a esta clasificación.

Tal es el caso de las obras hidráulicas que se representan con materiales como mortero, lucita, etc.

b) De Fondo Móvil

Se caracterizan porque su frontera es factible de presentar

modificaciones debido al paso de la corriente, ya que los materiales que la integran son removidos de su sitio original.

En este tipo de modelos los materiales utilizados como frontera son : arena, partículas de lucita, café, etc.

1.6.2. La Escala de Longitudes Empleada

Son de dos tipos :

- Distorsionados

Son aquellas en las cuales las escalas de longitudes en las tres direcciones de los ejes coordenados son diferentes entre sí. Este caso se presenta en modelos de socavaciones locales, estabilidad en obras marítimas, etc.

- No Distorsionados

La escala de longitudes es igual en cualquier dirección en que se aplique.

1.6.3. La Condición de Semejanza

Para fluidos en movimiento se clasifican en :

* Modelos de Froude :

En éstos la acción de la gravedad es predominante y a su vez pueden ser de dos tipos :

A) Estructura .- En las cuales existe generalmente un cambio rápido en el nivel de la superficie libre del agua, tal como sucede en :

- Vertedores de descarga libre
- Vertedores con pilas
- Vertedores especiales : sifón, embudo, etc.

B) Fluviales .- El cambio en el nivel de la superficie libre del agua es gradual en ellos como es el caso de :

- Estudio de arrastre de materiales en el lecho de un río
- Modificaciones permanentes en canales

* Modelos de Reynolds :

La viscosidad es la principal característica a considerar en los fenómenos que se estudian en ellos.

* Modelos Variados :

En los cuales la condición de semejanza aplicable es dependiente del factor cuya influencia en un fenómeno se requiere analizar :

- Modelos de puertos y mareas
- Modelos de barcos
- Modelos de turbinas

En ocasiones en el estudio de un fenómeno de flujo, pueden aparecer dos tipos de leyes que rigen ese comportamiento por lo cual si no se pueden satisfacer las dos leyes, el modelo se debe construir de tal manera que una de ellas sea despreciable.

1.7. Limitaciones para Efectuar Ensayes con Modelos

En la planeación de un estudio sobre el funcionamiento hidráulico de una estructura, se deben tomar en cuenta algunas restricciones que limitan y a la vez definen las condiciones en que ha de desarrollarse el mismo.

Básicamente se consideran :

- a) El espacio aprovechable en el laboratorio para la construcción del modelo, el cual limita la escala de longitudes mínima que se puede utilizar.
- b) El suministro de agua disponible para el modelo, que debe ser suficiente para proporcionar el gasto requerido por la estructura.
- c) Los resultados que se desee obtener, para lo cual debe cumplirse con la condición de flujo que se presenta en el prototipo (laminar o turbulento) , así como la precisión en las mediciones.
- d) Costo y facilidad de operación del modelo. Debe considerarse que el tamaño de la estructura debe ser adecuado a los recursos económicos disponibles, pero sin perder de vista la manejabilidad del modelo.

Efectos de Escala

Las dificultades relacionadas con la similitud geométrica exacta, así como las aproximaciones en las condiciones de semejanza se denominan efectos de escala.

Al tomar en cuenta la influencia de estos efectos en el prototipo se observa que afectan el comportamiento del flujo en forma - despreciable, mientras que en el modelo influyen considerablemente.

Pueden ser ;

- La tensión superficial
- La capilaridad

Para evitar que la presencia de estos factores produzca alteraciones en los resultados obtenidos de la experimentación, es conveniente definir la menor escala de longitudes cuya utilización es posible en la construcción del modelo.

Concepto de Capa Límite

En la mayoría de los problemas hidráulicos relacionados con la - Ingeniería Civil, se tienen números de Reynolds grandes, pues la viscosidad del agua y del aire es muy pequeña y en flujo turbulento los efectos viscosos son despreciables.

Pero en el caso de los modelos hidráulicos, esta característica adquiere mayor importancia, pues incluso en flujo turbulento los efectos de viscosidad se confinan a una capa muy delgada, que se localiza en la inmediata vecindad de las fronteras sólidas y que

se conoce como capa límite.

Para explicar mejor este concepto se a supuesto la existencia de un flujo uniforme, horizontal, de velocidad constante al cual se interpone un cuerpo agudo; por lo tanto las velocidades del flujo se ven afectadas por la forma del cuerpo y las fuerzas viscosas que retardan el movimiento del fluido en una capa muy delgada en donde el agua tiene contacto con el cuerpo agudo, se manifiestan sobre una capa de espesor creciente al transmitir progresivamente el efecto de lámina en lámina de agua.

Dentro de la capa límite se presentan las siguientes características :

- a) La velocidad del fluido en el punto de contacto con la frontera sólida vale cero.
- b) El gradiente transversal de velocidades y consiguientemente el esfuerzo cortante, tienen valores máximos en la frontera y disminuyen a medida que el punto se aleja de ella.
- c) Fuera de la capa límite el gradiente de velocidad es prácticamente cero, porque también lo es el esfuerzo cortante y los efectos viscosos.
- d) Fuera de la capa límite las líneas de corriente se conforman según un flujo con potencial, produciéndose un desplazamiento hacia el exterior de la pared.

Los efectos anteriores deben tenerse muy en cuenta principalmente en los modelos muy pequeños, en los cuales los efectos viscosos pueden llegar a alterar las observaciones cuantitativas hechas en ellos.

2. CONSTRUCCION DE MODELOS HIDRAULICOS

2.1. Generalidades

Una vez que se ha determinado la condición de semejanza que se a de cumplir en el estudio de la obra hidráulica representada en - modelo, definida la escala de longitudes y por consiguiente las complementarias para desarrollar la investigación; seleccionado el material y el personal que a de elaborar el mismo, se procede a llevar a cabo su construcción.

Esta se hace en base a croquis detallados, a escala, en los cuales se muestran las estructuras que integran el modelo con todas sus características y dimensiones.

Estos croquis servirán posteriormente para trazar los modelos o tarrajas con que se han de construir dichas estructuras.

En el croquis detallado de los elementos que lo forman, es recomendable tomar en cuenta que :

- Deben habilitarse fácilmente las instalaciones necesarias pa ra suministrar el agua requerida para su operación.
- Debe preverse la colocación de válvulas en sitios adecuados que permitan desaguar los tanques en forma rápida,
- Se localizarán los lugares propicios para analizar cualitati va y cuantitativamente las variables de interés.

Con respecto a los modelos de estructuras, es importante que se construyan con exactitud en aquellos puntos en donde se producen cambios bruscos en la dirección de la corriente, puesto que los

cambios de dirección traen consigo cambios de presión.

Asimismo, la llegada y entrada del agua suministrada al modelo debe ser uniforme, para lo cual se hace uso de "deflectores" o tranquilizadores, los cuales son muros con aberturas. Al pasar el agua a través de estos muros pierde velocidad y disminuye su turbulencia, con lo que se minimiza la oscilación de nivel en la zona de estudio.

Como se observa en el croquis de los elementos que integran un modelo, es necesario disponer de un depósito de agua equipado con aparatos de regulación y medida de gasto. Este puede estar situado aguas arriba o abajo de la estructura, siendo más conveniente lo primero. Frecuentemente se utilizan para aforar gastos los vertedores Thompson (triangular) o rectangular, aunque también es posible usar un orificio de diafragma o un tubo Venturi.

Para producir una contrapresión o reproducir la profundidad requerida del canal de descarga se puede instalar en el extremo inferior del modelo una válvula o compuerta.

Con respecto a la topografía, si es posible se debe representar totalmente la zona adyacente a las estructuras, con el fin de evitar efectos producidos por fronteras artificiales.

2.2. Materiales Utilizados

De acuerdo con la sección que se va a representar se seleccionará el material más adecuado, por sus características, para modelar a escala los componentes de la obra en estudio,

Comunmente se utilizan :

METALES

- Acero .- Se puede utilizar en pequeñas formas para apoyar - ciertas secciones del modelo. Algunas superficies pueden - ser metálicas para simular determinados efectos de fricción.
- Acero de refuerzo .- La varilla se utiliza en estructuras - como base de cimentación, tanques, castillos, etc., que re- - quieren ser reforzados.
- Lámina .- De diversos calibres, se emplea en la elaboración - de tarrajas o formas para construir cimacios, banquetas, ta- - ludes, etc.

CONCRETO

Cuando la construcción es definitiva se puede realizar con con- - creto.

MORTERO DE CEMENTO

Es una mezcla formada por una parte de cemento y tres de arena - la cual permite efectuar modificaciones y cambios necesarios pa- - ra alterar el comportamiento del flujo en un ensaye,

MADERA

Se usa en moldes para hacer piezas de lucita, en pilas de puen-

tes y de vertedores y en la edificación del modelo en general.

El inconveniente de emplear madera es que absorbe agua, se hincha y se alabea, por lo que se pierde la semejanza. Existen varios métodos para tratar la madera con el fin de que se conserve en las mejores condiciones posibles para disminuir el efecto de cambio de forma que pudiera producir.

YESO

Cuando no se desea permanencia en alguna alteración al diseño original del proyecto, sino ensayar rápidamente diversas modificaciones, se usa yeso como sustituto del mortero de cemento, el cual fragua en forma inmediata, aunque el desgaste debido al paso del agua es mayor.

PLASTICOS

Los principales de éstos son la Lucita y el Plexiglás, son transparentes y pueden obtenerse en láminas, varillas y tubos de varias dimensiones.

Estos materiales son moldeables cuando se les calienta, por lo que se han utilizado extensamente en compuertas, conducciones, etc.

VIDRIO

Principalmente se utiliza en paneles transparentes en las paredes de acueductos de ensayo.

ARENA Y GRAVA

Por lo general los modelos se moldean en arena y se recubren con concreto para evitar la socavación

También se emplean ambas para determinar la tendencia de socavación al pie de los modelos de vertedores o sea, en estudios de fondo móvil.

PIEDRA NATURAL Y ARTIFICIAL

La primera se utiliza en tranquilizadores o como relleno en algunas partes de los modelos.

La segunda, como el tabique, se emplea en la construcción de muros de límite, de tanques, mesas, etc.

PASTA DE CEMENTO

Cuando se requiere dejar una superficie muy lisa, o que se ha construido con concreto o tabique, se coloca una capa final de pasta de cemento la cual proporciona un acabado mas fino que simula las rugosidades correspondientes al prototipo.

2.3. Procedimiento Constructivo

Para llevar a cabo la construcción del conjunto de elementos necesarios para el estudio de un proyecto, se sigue un procedimiento similar al que se indica a continuación :

1. Definida la zona en la que se edificará el modelo, se procede a efectuar el levantamiento topográfico de la misma, con el cual se contará con información suficiente para elaborar el plano de conjunto.
2. En dicho plano deben quedar incluidas las siguientes partes: entrada de agua, zona de tranquilizadores, aforador de gasto, modelo propiamente dicho o zona de pruebas, compuertas o válvulas de control cuando se requieran y por último un canal de retorno al cárcamo de bombeo.

Para proporcionar agua al modelo se dispone de un equipo de bombeo, el cual la lleva a un tanque de carga constante.

3. Se ubica dentro del plano elaborado en el primer paso, considerando lo mencionado en el segundo.
4. Se procede a la construcción propiamente dicha, considerando los aspectos mencionados anteriormente y haciendo uso de toda la información obtenida, para reproducir las estructuras.

2.3.1. Modelos de Estructuras

En diversas obras hidráulicas se requiere representar su funcionamiento para una gran variedad de condiciones, así como la determinación de los coeficientes que intervienen en las fórmulas de diseño y que se pueden conocer mediante un estudio experimental.

En la construcción de este tipo de modelos debe tomarse en cuenta que si el proyecto lo justifica, el modelo se elaborará tan grande como sea posible, con objeto de obtener mayor exactitud.

en los resultados y evitar la influencia en los mismos de los efectos de escala.

Las rugosidades requeridas para reproducir las que se presentan en prototipo se pueden obtener utilizando en las fronteras sólidas materiales tales como el vidrio, la lucita, hojas de metal o superficies pulidas de pasta de cemento.

2.3.2. Modelos Fluviales

Son utilizados para analizar el comportamiento hidráulico de corrientes naturales y canales, así como el efecto producido por la colocación de estructuras interpuestas a la corriente.

En éstos tampoco se cumple exactamente con la rugosidad requerida para simular la que se presenta en prototipo, pero no solamente en lo que se refiere a las fronteras sólidas se presenta esta característica, sino que como en ocasiones el fondo de estos modelos está formado por material granular, la reproducción de fricción que se debe obtener es más difícil de lograr.

Es posible lograr una rugosidad artificial utilizando grava pegada al fondo o láminas también sujetas al fondo y calibrando el modelo mediante una válvula o compuerta instalada en su parte final.

Para efectuar un análisis completo de un modelo fluvial es necesario, en ciertos casos, construir varios modelos a diferentes escalas en los cuales se representa una zona específica en estudio, la cual presenta características especiales con respecto al resto del modelo.

2.4. Equipo Requerido

Los elementos indispensables en un laboratorio hidráulico son : un depósito de agua, espacio suficiente, instrumentos de medida adecuados y personal especializado.

2.4.1. Depósito de Agua

Dependiendo de la clase de trabajo que se desarrolla en el laboratorio, se selecciona la cantidad de agua que hay que suministrar y la fuente de alimentación.

La mayor parte de las instalaciones se alimentan por medio de bombas. Un sistema circulatorio de agua incluye un depósito de almacenamiento cuyas dimensiones deben ser lo suficientemente grandes para alimentar las bombas de modo continuo con un gasto máximo.

Como el agua suministrada por una bomba puede variar considerablemente en presión y caudal a causa de las fluctuaciones de voltaje y del nivel del depósito de almacenamiento, es recomendable en los casos en que sea posible, alimentar los modelos por gravedad.

Para ello se envía el agua a un tanque elevado y equipado con un vertedor que dejará salir el exceso de agua.

El tanque de alimentación debe estar provisto de salidas separadas para poder satisfacer si es necesario, la demanda de varios modelos simultáneamente; la falta de esta característica ocasiona problemas en muchos laboratorios debido a que dos modelos que funcionan con la misma línea de alimentación no son independien-

tes entre sí debido a las pérdidas por fricción en la parte común a ambos.

Si la cantidad de agua total de alimentación es considerable, resulta más económico proveerla mediante cierto número de bombas pequeñas puesto que necesitará poco tiempo la capacidad total del sistema.

En ocasiones se colocan las bombas de manera que puedan acoplarse en paralelo para suministrar el gasto máximo al tanque de alimentación, o en serie para suministrar menor cantidad de agua a mayor presión.

2.4.2. Espacio Disponible

Debe contarse con un área disponible lo suficientemente grande para efectuar la construcción de cualquier modelo que sea necesario.

La superficie aprovechable preferentemente debe ser horizontal y si es posible estar localizada en un sitio cubierto,

Los factores climatológicos dificultan mucho el trabajo experimental.

Una gran extensión que pueda ser ocupada por una construcción alimentada por tuberías provenientes de un tanque elevado de carga constante, es la conveniente para efectuar ensayos hidráulicos.

El agua sobrante regresa al depósito de almacenamiento en un sistema circulatorio,

2.4.3. Instrumentos de Medida

Los resultados obtenidos en los ensayos con modelos hidráulicos tienen la exactitud de los instrumentos empleados en la medición.

Los gastos, velocidades, longitudes, presiones, elevaciones y tiempos, deben medirse con el instrumental adecuado.

El valor científico de los modelos depende de la disponibilidad de equipo lo suficientemente preciso para medir las variables de interés. Sin embargo, en muchos estudios no es necesario utilizar aparatos complejos, ya que las mediciones pueden hacerse con dispositivos sencillos.

Al seleccionar un equipo de instrumentos de medida debe tomarse en cuenta la aproximación requerida y los posibles errores que se puedan cometer al utilizarlo : además, esta selección debe ser considerada de acuerdo a la investigación que se va a desarrollar.

Generalmente en los modelos hidráulicos se miden :

- a) La elevación de la superficie libre del agua
- b) Presiones
- c) Velocidad y dirección de la corriente
- d) Gastos
- e) Variaciones del nivel del fondo (modelos fluviales)

Para ello se utilizan diferentes equipos de medición, algunos de los cuales se mencionan a continuación :

a) Tirantes y Niveles

Para medir el tirante o el nivel del agua en una sección transversal se emplean limnímetros, los cuales pueden ser de gancho o punta; este aparato tiene una regla graduada y un vernier, el cual permite hacer las lecturas hasta con 0.1 mm de precisión. Los terminados en punta se utilizan para medir directamente la elevación del agua cuando está en movimiento y los de gancho cuando el agua está en reposo.

En la mayoría de los modelos de fondo fijo, mediante una manguera se puede comunicar cualquier sección del modelo a un recipiente cilíndrico donde el agua esté en reposo y se pueda medir con precisión su elevación media con un limnómetro de gancho.

En los modelos fluviales se utilizan necesariamente los limnímetros de punta.

El de gancho también se utiliza para medir la carga sobre el aforador de gasto. Es recomendable que la punta o gancho esté en contacto con la superficie del agua y que se encuentre referida a un nivel cero para saber cual es el tirante que se tiene en el modelo.

Si se desea medir la variación del espejo del agua en el tiempo o el perfil de la superficie del agua, se utilizan limnógrafos, los cuales registran en papel o cinta magnética esas variaciones.

En algunos equipos, una o dos puntas quedan siempre introducidas en el agua; en cambio en otros, la punta está siempre en contacto con la superficie y sube y baja siguiendo la variación de la superficie del agua.

Cuando en un modelo marítimo se desea medir el oleaje, puede utilizarse un oleómetro, que es un aparato electrónico cuyo registro permite calcular la altura, longitud y período de una ola.

b) Presiones

La presión estática se puede medir utilizando un piezómetro o un manómetro. Para medir o registrar fluctuaciones de presión se utilizan las celdas o transductores de presión.

El piezómetro está formado por un tubo transparente de plástico conectado uno de sus extremos al punto donde se desea hacer la medición, mediante un nipple que tiene un orificio, y el otro extremo abierto a la atmósfera.

Este dispositivo solo utiliza un líquido que generalmente es el del modelo.

El diámetro del tubo cuando menos debe ser de 10 a 15 mm para reducir el efecto de la tensión superficial. El orificio del nipple debe ser de 1 a 1.5 mm y redondeado; el nipple debe ser normal a la superficie de frontera por donde escurre el flujo. La diferencia entre un punto y la elevación del líquido dentro del tubo es igual a $h = \Delta p$.

Los manómetros son producidos comercialmente o construidos en el taller del laboratorio y existen muchos de ellos, los cuales pueden medir la presión en un punto o diferencias de presión entre dos puntos.

Para ambos casos utilizan dos líquidos, generalmente agua y

mercurio. En el laboratorio se usan raramente, ya que sirven para medir presiones altas, como en el caso de los prototipos.

Las celdas de presión se usan cuando se hacen investigaciones relacionadas con fenómenos de cavitación (presiones negativas) y para las fluctuaciones de presión provocadas por el flujo turbulento al escurrir sobre una estructura hidráulica.

Las celdas de presión son generalmente de tipo eléctrico y necesitan un equipo adicional para amplificar la señal y registrar dicha presión. Se requiere una instalación cuidadosa del soporte de la celda y un aislamiento confiable cuando algunas partes van a estar en contacto con el agua.

c) Velocidad

La velocidad de la corriente en una sección transversal puede medirse con un tubo de Pitot o un micromolinetete.

El primero se utiliza generalmente para medir altas velocidades y el segundo para velocidades mas reducidas,

Ambos deben tener una forma hidrodinámica de manera que no produzcan alteraciones en el escurrimiento al introducirlos en él.

El tubo de Pitot no es recomendable para medir velocidades menores a 0.5 m/s .

Se debe utilizar entonces un micromolinetete que debe ser muy pequeño para que la perturbación a la corriente sea lo menor

posible. Este dispositivo es un tubo delgado doblado, que se coloca de manera que la abertura quede normal al flujo y el fluido se introduce a través de ella. Su aplicación se basa en la ecuación de Bernoulli.

El micromolinetete es una hélice pequeña conectada a un dispositivo eléctrico produce una señal luminosa o acústica.

Ambos aparatos deben calibrarse en un canal de aguas tranquilas, de manera que se disponga de una curva de calibración en la cual se indique el número de señales o la constante del aparato.

d) Gasto

Para que el modelo funcione se le debe abastecer de un gasto, y para medirlo se utilizan diferentes estructuras como aforadores o vertedores de pared delgada, de forma rectangular o triangular. El ingreso de gasto al modelo es controlado mediante válvulas o compuertas.

Ambos tipos de vertedor se pueden colocar a la entrada del modelo (aguas arriba) o a la salida del mismo (aguas abajo), siendo mas conveniente lo primero.

e) Trayectorias, Líneas de Corriente y Traza

Para conocer la trayectoria, las líneas de corriente y las líneas de traza o emisión, se utilizan trazadores que pueden ser de distintos materiales, además de requerir un equipo fotográfico.

2.5. Datos Adicionales

En el proceso constructivo de un modelo debe considerarse no solamente el material y equipo disponible para llevarlo a cabo, si no que además es necesario contar con el personal adecuado para desarrollar en forma eficiente la elaboración de las estructuras que integran la obra hidráulica en estudio, ya que se necesita - precisión y exactitud en los trabajos directamente relacionados con la construcción del mismo, pues en el grado en que se conserve la proporción geométrica entre modelo y prototipo, se tendrá la similitud requerida para obtener de la experimentación en el primero el funcionamiento que se presentará en el segundo.

2.5.1. Calibración del Modelo

Para poder efectuar los ensayos correspondientes a cada estudio, así como cuantificar las variables de interés, es necesario efectuar una calibración del modelo físico, que consiste básicamente en determinar las características relacionadas con la rugosidad del fondo, el gasto y el nivel del agua.

Algunas de las variables estudiadas se calibran de la siguiente manera :

- Esgurrimiento : Para verificar esta variable se reproducen uno o más gastos que ya se han medido, dando al modelo una - rugosidad que permita su comprobación.
- Corrientes y Velocidades : Aunque se requiere instrumentar el prototipo para su verificación, es conveniente comprobar en éste las mediciones hechas en modelo o viceversa.
- Arrastre de material de fondo : Se puede verificar con la -

configuración del fondo obtenida de levantamientos hechos en la zona, con los que se determina el movimiento del material sólido del cauce del río.

3. PROYECTO PRESA "EL SABINAL" , SIN.

3.1. Antecedentes

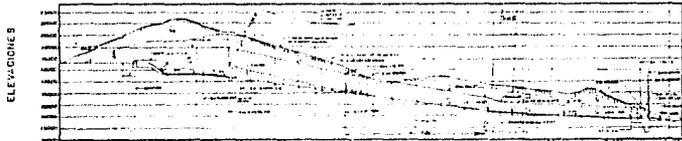
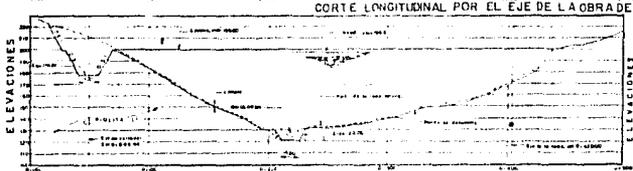
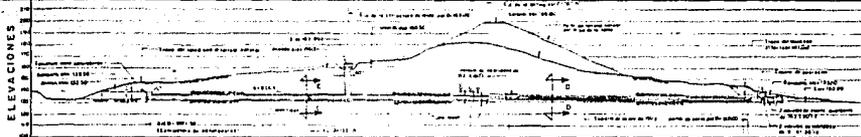
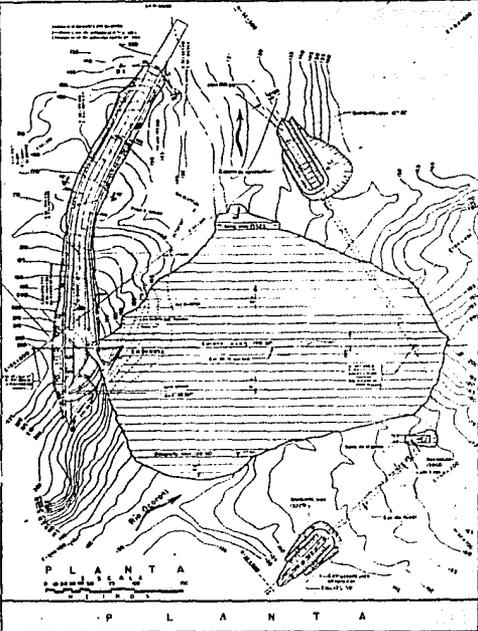
Dentro del Estado de Sinaloa, en la planicie costera noroccidental y en la parte inferior de la cuenca del Río Sinaloa, a la cual pertenece, se encuentra localizado el arroyo Ocoroni que como principal fuente de abastecimiento se aprovechará para irrigar una superficie de 10 000 Has de tierras aptas para el desarrollo agrícola mediante un sistema de almacenamiento, derivación del cual forma parte el Proyecto Presa El Sabinal, Sin.

Mediante este sistema, aunado a un esquema de obras de infraestructura hidroagrícola (canales, drenes, caminos, etc.) , se dispondrá de los medios físicos requeridos para desarrollar satisfactoriamente las actividades agrícolas necesarias en la región.

3.2. Finalidad

La Presa El Sabinal forma parte del Proyecto Ocoroni-Cabrera y tiene como finalidad el aprovechamiento y control del arroyo Ocoroni.

Consiste en una cortina de materiales graduados provista en su margen derecha de una obra de toma y en su margen izquierda de un vertedor de excedencias de cresta libre con capacidad de descarga de $2\ 450\ m^3/s$.



DATOS DEL PROYECTO

Longitud de la obra	1000.00	m
Superficie de la obra	1000.00	m ²
Superficie de cimentación	1000.00	m ²
Superficie de muros	1000.00	m ²
Superficie de pisos	1000.00	m ²
Superficie de techos	1000.00	m ²
Superficie de paredes	1000.00	m ²
Superficie de suelos	1000.00	m ²
Superficie de techos	1000.00	m ²
Superficie de paredes	1000.00	m ²
Superficie de suelos	1000.00	m ²
Superficie de techos	1000.00	m ²
Superficie de paredes	1000.00	m ²
Superficie de suelos	1000.00	m ²



CANTIDADES ESTIMADAS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
CORTINA		
Cimentación	m ³	1000.00
Muros	m ²	1000.00
Pisos	m ²	1000.00
Techos	m ²	1000.00
Paredes	m ²	1000.00
Suelos	m ²	1000.00
VERTICEDOR		
Cimentación	m ³	1000.00
Muros	m ²	1000.00
Pisos	m ²	1000.00
Techos	m ²	1000.00
Paredes	m ²	1000.00
Suelos	m ²	1000.00
OBRA DE TOMA		
Cimentación	m ³	1000.00
Muros	m ²	1000.00
Pisos	m ²	1000.00
Techos	m ²	1000.00
Paredes	m ²	1000.00
Suelos	m ²	1000.00
OBRA DE BARRIO		
Cimentación	m ³	1000.00
Muros	m ²	1000.00
Pisos	m ²	1000.00
Techos	m ²	1000.00
Paredes	m ²	1000.00
Suelos	m ²	1000.00

NOTAS: 1. Las cantidades estimadas, son orientativas y no definitivas. 2. La obra se ejecutará en etapas sucesivas, de acuerdo a las necesidades de la obra.

UNAM	INEP	ACATLAN
INGENIERIA CIVIL		
DISEÑO DE OBRA DE BARRIO DEL "PRESA EL BARRIO"		
PRESA EL BARRIO, E. DE VERACRUZ		
TRABAJO PROYECTO		
DISEÑO: INGENIERO CIVIL		

3.3. Información General

3.3.1. Localización

La zona estudiada se encuentra en su totalidad en el Estado de Sinaloa y pertenece al Municipio de Sinaloa de Leyva.

Está comprendida entre los paralelos $26^{\circ} 05'$ y $26^{\circ} 33'$ de latitud norte los meridianos $108^{\circ} 00'$ y $108^{\circ} 25'$ de longitud oeste de Greenwich.

3.3.2. Vías de Comunicación

Desde la carretera internacional Guadalajara - Nogales existen dos rutas de acceso al sitio del Proyecto Ocoroni.

Una saliendo por el Km 1573 a la altura de Guasave, usando el tramo de camino asfaltado que pasa por León Fonseca y la estación Bamao hasta Sinaloa de Leyva, que cubre una distancia de 41 Km. De este poblado, a 25 Km se llega a San Miguel situado en la margen izquierda del arroyo Ocoroni; de este sitio se atraviesa el arroyo y a 2 Km, se llega al caserío llamado La Cuesta, en donde comienza el trayecto común.

La otra ruta de acceso es por el Km 1580 de dicha carretera internacional, utilizando un tramo asfaltado a 23 Km hasta la estación Naranjo y se continúa por la margen derecha del arroyo Ocoroni en un tramo de 18 Km hasta el poblado del mismo nombre; hacia el Norte, a 8 Km se encuentran los caseríos denominados Perihuela y La Cuesta,

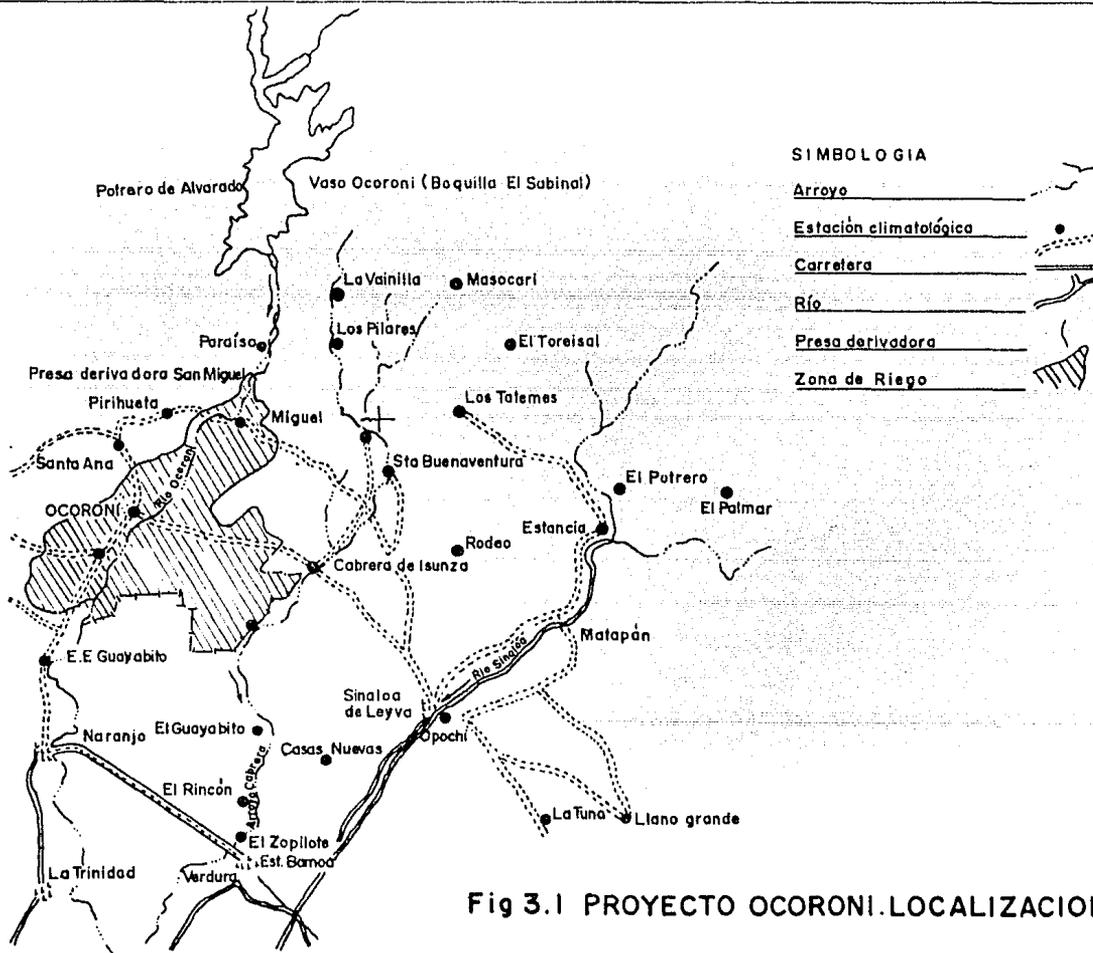


Fig 3.1 PROYECTO OCORONI. LOCALIZACION

El tramo común de acceso al sitio de la Boquilla El Sabinal consiste en un brecha en terreno montañoso, con fuertes pendientes y que cruza un gran número de arroyos.

3.3.3. Condiciones Naturales

3.3.3.1. Hidrografía

El arroyo Ocoroni, sobre el que se ha proyectado la Presa El Sabinal nace en la Sierra Baimena, aproximadamente a 1500 M.S.N.M.

Está formado por la aportación de varios tributarios como son El Tercero, Los Félix, El Pichu, La Soledad y Los Algodones.

Inicia con una trayectoria hacia el Poniente para luego seguir al sur después de pasar por el poblado de Yecorato, manteniendo esta dirección hasta su confluencia por la margen derecha al Río Sinaloa.

3.3.3.2. Clima

Para la cuenca del arroyo Ocoroni se adoptó la información climatológica registrada en la estación El Naranjo, situada sobre el mismo a 45 Km aguas abajo del sitio del proyecto.

Se consideró como la más representativa con un período de datos de 1930 a 1941 de observaciones continuas.

Durante este período se registró una temperatura media de 24.3°C ; la amplitud térmica anual fue de 11.5 °C . La temperatura máxima extrema de 44.0°C se registró en junio de 1932 y la mínima absoluta en diciembre del mismo año.

Clasificación del Clima

En un análisis conforme al segundo sistema de clasificación de Thornthwaite, los registros de El Naranjo determinaron las siguientes características que definen al clima :

Concepto	Símbolo	Carácter
Jerarquía de Humedad	D	Seco
Jerarquía de Calor	A'	Cálido

3.3.3.3. Geología

De acuerdo al estudio Geológico, el cauce del río en el sitio de la construcción está constituido por acarreos de tamaño medio, los cuales son de origen volcánico de tipo ácido. El sitio presenta buenas características para el desplante de la cortina.

Con respecto a la geología de la Boquilla, se determinó que se encuentra labrada en una riolita de textura fina, de color violáceo, la cual aflora en la parte superior de ambas márgenes.

Sobreyace a la riolita en la zona intermedia de la Boquilla una toba íltica hialocristalina compacta y densa, constituida por fragmentos angulosos de riolita de 1 a 2 cm de diámetro, empacados en una matriz de toba riolítica que hace que en conjunto la roca tenga alta densidad; esta toba aflora en las partes ba-

jas de ambas márgenes.

3.3.3.4. Sismicidad (Sismología)

De acuerdo con la clasificación del Instituto de Geofísica de la UNAM , el proyecto queda comprendido dentro de la zona sísmica - 1 , para la cual los tiempos de recurrencia han sido :

Intensidad (Escala de Richter)	Tiempo de Recurrencia	
	(años)	Zona 1
4		3
5		9
6		26
7		73
8		208
9		--

Por lo anterior, puede considerarse una zona de alta sismicidad.

3.4 Datos Hidrológicos

La cuenca del arroyo Ocoroni hasta el sitio del proyecto se encuentra en su totalidad en el Estado de Sinaloa.

Las áreas drenadas son :

Arroyo Ocoroni - Vaso El Sabinal	1 436 Km ²
Arroyo Ocoroni - Est. Hidrométrica Naranja	2 064 Km ²

El escurrimiento anual para el período de observaciones comprendido entre 1939 y 1976 es :

Máximo	-	678.4 millones de m ³
Mínimo	-	31.7 millones de m ³
Promedio	-	207.6 millones de m ³

La avenida máxima registrada se observó en septiembre de 1958 - con un gasto máximo de 3 098 m³/s .

3.5. Características del Almacenamiento

- Elevación del lecho del cauce en la boquilla	125.0 m
- Elevación máxima levantada	200.0 m

Area de Embalse

- A la elevación 188.45 - Cresta	1 885 Has
- A la elevación 196.61 - Name	2 700 Has

Datos del Proyecto

- Capacidades del Vaso

A la elevación 188.45 - Cresta del Vertedor	300 000 000 m ³
Super almacenamiento	187 509 000 m ³
Total	487 509 000 m ³
Util	260 000 000 m ³
Azolves	40 000 000 m ³

- Gastos y Elevaciones

Elevación de la corona	199,0 m
Elevación aguas máximas	196,61 m
Elevación de la cresta vertedora	188,45 m
Gasto del vertedor	2 450 m ³ /s
Elevación del umbral de la toma	160,50 m
Gasto normal de la toma	15,00 m ³ /s
Nivel mínimo de operación	168,26 m

3.6 Descripción General de las Estructuras que Integran el Proyecto

3.6.1. Cortina

En la boquilla El Sabinal y con base en los estudios geológicos y los materiales existentes en la zona, se adoptó una sección formada por materiales graduados, corazón impermeable central con taludes 0.25 : 1 y simétrico; filtros de grava y arena con 3,40 m de espesor en ambos taludes y respaldos permeables de grava, arena y rezaga, protegidos con chapas de enrocamiento a volteo de 3.00 m de espesor.

- Dimensiones ;

Corona : con elevación 199.0 m

Corona Ancho = 10,00 m

Corona Longitud por el eje de la cortina = 370.0 m

Banquetas ;

Situadas en los taludes de aguas arriba y abajo de la corti

na a la elevación 139.60 y 135.25 respectivamente, para protección de las secciones de material impermeable localizadas al pie de la misma.

Ancho = 8.00 m

B.L. 2.39 m

3.6.2. Obra de Excedencias Original

Se encuentra alojada en la margen izquierda de la cortina. Es un vertedor de cresta libre y cimacio con perfil tipo Creager, de sección curva en planta y que derrama a un estanque en forma de semi-abanico irregular, unido a un canal de descarga trapecial mediante una transición, y que termina en una cubeta de lanzamiento para conducir el flujo hacia el cauce del río.

Esta estructura, por ser objeto del presente estudio se describirá mas ampliamente en el capítulo siguiente.

3.6.3. Obra de Toma

Está constituida por un túnel perforado a través de la ladera izquierda y revestido de concreto. Presenta en el acceso una estructura con rejillas de protección y en la zona central un tapón de concreto a partir del cual se inicia una tubería de presión, provista en su parte final de una válvula de mariposa para emergencia y dos válvulas de chorro divergente, alojadas en una estructura de salida.

Ambas son operadas desde una caseta para control de extracciones,

4. MODELO HIDRAULICO DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS

4.1. Antecedentes

Con el propósito de analizar el comportamiento de la obra de excedencias del Proyecto Presa "El Sabinal", Sin., se construyó en las instalaciones del Laboratorio de Hidráulica de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos el modelo representativo de dicho proyecto, mediante el cual es posible ratificar el diseño propuesto originalmente, o modificar sus características geométricas hasta optimizar su funcionamiento, garantizando de esta manera la seguridad de la cortina y de la estructura misma.

4.2. Proyecto y Construcción del Modelo

Para llevar a cabo la elaboración del modelo se desarrollaron las actividades que a continuación se describen.

4.2.1. Recopilación de la Información

Se obtuvieron los planos generales de la obra, planos detallados de las estructuras, informes complementarios y datos generales, correspondientes al proyecto original.

La información proporcionada es la siguiente :

- Plano General y de Localización
- Vertedor - Plano General
- Vertedor - Cimacio y Abanico
- Vertedor - Canal de descarga y muros de liga con el cimacio.
Plano Estructural. Hoja 1 de 2 .

- Vertedor - Canal de descarga y muros de liga con el cimacio.
- Plano Estructural. Hoja 2 de 2
- Vertedor - Deflector, Geometría y Refuerzo
- Vertedor - Colados
- Vertedor - Drenes
- Cimacio y Abanico - Esquema con datos adicionales
- Boquilla El Sabinial
- Topografía del cauce del río aguas abajo de la cortina
- Curva de elevaciones - gastos del Río Ocoroni
- Avance constructivo del proyecto
- Resultados del Estudio Geológico
- Resultados del Estudio Hidrológico.

4.2.2. Revisión de la Información

En esta etapa se verifica que ya se ha recabado la información completa, a fin de determinar si se cuenta con los datos necesarios y suficientes para iniciar el estudio, o si se requiere solicitar nuevos planos, mayor información, etc.

En un análisis preliminar de los planos e informes se observa que se trata de un vertedor de medio abanico, por lo cual es conveniente aclarar algunos conceptos generales sobre este tipo de vertedores.

- ##### 4.2.2.1. Los vertedores de abanico son de cresta libre y se eligen como alternativa de solución en base a un estudio comparativo referente a las ventajas que presenta respecto a otro tipo de vertedores.

Los elementos que lo constituyen son :

- Canal de acceso
- Cimacio
- Colchón
- Sección de control
- Arcos del abanico
- Transición
- Canal de descarga
- Disipador de energía
- Canal de salida

Todos ellos, con excepción del canal de acceso y el canal de salida están revestidos con concreto. En el canal de acceso sólo los taludes a partir de los puntos que se unen con los extremos de los arcos del cimacio, tienen revestimiento de concreto para evitar que la corriente los destruya rápidamente.

Canal de Acceso

La corriente debe entrar al cimacio en las condiciones mas favorables, es decir, libremente en toda su longitud y en dirección normal en todos sus puntos, ya que si cerca del cimacio hubiera cerros, obligarían a la corriente a entrar a él en dirección desviada en algunos sitios y además se formarían zonas de aguas muertas, o sea zonas sin corriente.

Si todo el cimacio no funcionara eficientemente, la consecuencia sería un aumento de la carga hidráulica lo cual no puede aceptarse, porque si se reduce el bordo libre se tiene el peligro de que la corriente derrame sobre la cortina, o hay necesidad de aumentar la altura de la cortina, hecho que resulta muy costoso

sin que por ello se logre mayor almacenamiento, ya que este gasto no se almacena, sino que sale por el vertedor.

El canal de acceso se construye para que la corriente entre al cimacio en las condiciones mas favorables posibles.

Cimacio

Es un muro por el que derrama el agua excedente de la presa. A este muro se le da un perfil Creager con objeto de que la corriente se pegue siempre al concreto, evitando así las cavitaciones que rápidamente lo destruirían.

En su parte inferior tiene la forma de un arco circular para disminuir el impacto de la corriente.

En planta está formado por áreas circulares, en el caso de un medio abanico es un arco central y un arco lateral.

Colchón

Este elemento forma un plano horizontal y en él debe disiparse la mayor cantidad posible de la energía de la corriente que cae del cimacio.

El medio más efectivo para lograrlo es obligar a la corriente a formar el salto hidráulico. Pero ese salto debe formarse correctamente al pie del cimacio y de tal manera, que el tirante conjugado después del salto cubra perfectamente el tirante conjugado antes del salto y nunca en la forma de salto repelido o salto ondular porque entonces no se disipa correctamente la energía de la corriente.

Sección de Control

La sección de control es la línea que limita al colchón y la transición.

En esta sección la corriente tiene el mínimo contenido de energía específica y se forma el tirante crítico.

Arcos del Abanico

Los arcos del abanico que generalmente son circulares o elípticos, limitan lateralmente al colchón y la transición.

Pueden ser curvas obtenidas experimentalmente en los modelos hidráulicos, en los que siempre es conveniente sustituir por una curva circular compuesta, para tener mayor sencillez en la construcción.

Transición

Es la zona comprendida entre la sección de control y el principio del canal de descarga.

Lo anterior puede expresarse en otra forma :

La transición es la parte inicial del canal de descarga que tiene un ancho que va disminuyendo desde la longitud de la sección de control hasta el sitio donde el ancho del canal es ya uniforme (todos sus lados son líneas paralelas) .

Su pendiente es muy superior a la crítica, evitando que se aho-

que el cimacio o que aumente la carga sobre su cresta.

Canal de Descarga

La función es la misma que la de la transición : desalojar rápidamente la corriente. También tiene una pendiente superior a la crítica, pero disminuye en su parte final con objeto de reducir las velocidades de la corriente, a fin de aminorar el peligro de erosión en el canal de salida y también para tener cortes menos profundos en el terreno.

Las alturas teóricas de los revestimientos de concreto en los taludes del canal de descarga, se obtienen calculando los tirantes de la corriente mediante el Teorema de Bernoulli y agregando después el bordo libre, generalmente de 1.0 m .

Disipadores de Energía

La corriente sale del canal de descarga con muy grandes velocidades y con intenso poder erosivo.

Un factor fundamental en cada proyecto es la clase de materiales que constituyen el terreno donde se construye el vertedor. Cuando la roca no es de buena calidad hay necesidad de protegerla, - para evitar que la corriente, al erosionarla, ponga en peligro - la seguridad de la estructura.

Los sistemas para eliminar la energía de la corriente son muy numerosos. Algunos de ellos son los siguientes :

- a) Construcción de un tanque amortiguador en el extremo final del canal de descarga, para obligar a la corriente a formar el salto hidráulico.
- b) Muros ya sean llenos o dentados contra los que choca la corriente y por impacto disipa parte de su energía. Son costosos y se desgastan rápidamente.
- c) Escalones ; no son efectivos, porque a menos que su huella sea de gran longitud (y ésto es muy costoso), la corriente los brinca tal como si no existieran. Además se desgastan rápidamente.
- d) Deflectores llenos o dentados en el canal de descarga.

Canal de Salida

Es la prolongación del canal de descarga; se utiliza para conducir la corriente hasta el río o hasta sitios lejanos para evitar todo peligro de erosión.

No tiene revestimiento de concreto, tiene la misma sección que el canal de descarga y en pendiente es pequeñísima o nula.

4.2.2.2. Descripción del Vertedor del Proyecto Presa "El Sabinal" , Sin.

Una vez que se tiene la información completa, se procede a revisar los datos numéricos de la o las estructuras para comprobar que sean correctos y que correspondan a cada estructura.

A partir de este análisis, se puede describir la obra de excedencias de la siguiente forma :

El proyecto pretende ser un medio abanico con una longitud de cresta de 50.0 m y un gasto de diseño de $2\ 450\ \text{m}^3/\text{s}$; el canal de acceso o llamada se encuentra a la elevación 186.00 y la cresta a la elevación 188.45 .

El cimacio tiene un perfil Creager adaptado a arcos circulares en planta y se liga con la plantilla del colchón que está situada a la elevación 176.80 , la cual remata en una "Sección de Control" en la estación $0 + 055.287$ y que tiene la misma elevación del colchón.

A partir de esa estación se inicia la rápida o canal de descarga con una pendiente de 0.135 conservando la dirección del eje del vertedor hasta la estación $0 + 175.00$ en la cual principia una deflexión horizontal - vertical derecha que termina en la estación $0 + 292.427$.

En la estación $0 + 295.00$ la plantilla cambia de pendiente a 0.05 para continuar con ésta hasta la estación $0 + 417.000$, en la que se une a una cubeta de lanzamiento cuyo labio deflector se encuentra a la elevación 138.593

El canal de salida se inicia al pie de la cubeta de lanzamiento y es básicamente un canal piloto que termina con la elevación 135.00 .

La geometría en planta y perfil del vertedor se muestra en las Figuras No. 4.15 y 4.37 .

Por último, conociendo la posición y dimensiones de las estructu

ras, se localizan éstas en el plano topográfico "Boquilla El Sabinal" trazando el eje de la obra de excedencias para dibujar la planta de la misma; se delineó también la planta de la cortina y se indicó el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias, con objeto de definir el área a representar en modelo.

4.2.3. Diseño del Modelo

Tomando en cuenta el N_{AME} , el gasto requerido para el funcionamiento de la estructura en modelo y el espacio disponible para su construcción, se elaboró una tabla comparativa en la que se indican las magnitudes de los datos de proyecto para diferentes escalas, con la cual se puede definir la más adecuada para construir los elementos necesarios para representar la estructura en el laboratorio.

Esta tabla comparativa se muestra en la Figura No. 4.1 y se calculó considerando que en un vertedor con las características que presenta el proyecto El Sabinal el factor que influye en forma predominante en el comportamiento del flujo es la fuerza ejercida por la gravedad, lo cual hace aplicable la condición de similitud de Froude.

Para que los ensayos en modelo y prototipo sean dinámicamente semejantes es necesario que en puntos homólogos el número de Froude sea idéntico, es decir.

$$F_{rp} = F_{rm}$$

F_{rp} = número de Froude en prototipo

F_{rm} = número de Froude en modelo

Figura No. 4.1 .- ESCALAS DEL MODELO

DATOS DE PROYECTO	UNIDAD	E S C A L A S							
		1:1	1:80	1:75	1:70	1:60	1:50	1:40	
GASTO DE DISEÑO	m ³ /seg	2450	0.0428	0.0503	0.0598	0.0879	0.1386	0.2421	
CARGA SOBRE LA CRESTA	m	8.16	0.1020	0.1088	0.1166	0.1360	0.1632	0.2040	
LONGITUD DE CRESTA	m	50.00	0.6250	0.6667	0.7143	0.8333	1.000	1.250	
LONGITUD - VERTEDOR	m	432.000	5.40	5.76	6.17	7.20	8.64	10.80	
ANCHO DE LA RAPIDA	m	15.00	0.1875	0.200	0.2143	0.2500	0.300	0.3750	
DESNIVEL MAXIMO	m	53.45	0.6681	0.7127	0.7636	0.8908	1.0690	1.3363	
AREA NECESARIA	m x	600 x	7.50 x	8.00 x	8.57 x	10.00 x	12.00 x	15.00 x	
	m	1500	18,750	20,000	21.4286	25,000	30,000	37,500	

Si

$$Fr = \frac{Ve^2}{ge \cdot Le}$$

Ve = Escala de velocidades
 ge = Escala de fuerzas gravitatorias
 Le = Escala de longitudes características

$$\frac{Vp^2}{gp \cdot Lp} = \frac{Vm^2}{gm \cdot Lm}$$

en donde los subíndices p y m se refieren al prototipo y al modelo respectivamente.

La relación entre las fuerzas de gravedad es ;

$$\frac{gp}{gm} = 1$$

pues el flujo en ambos casos se encuentra sometido a las mismas condiciones de presión.

De donde el Número de Froude queda expresado como ;

$$Fe = \frac{Ve^2}{Le} = 1 \quad \dots\dots\dots Fr, 1$$

Estableciendo las siguientes relaciones entre las variables a - considerar en el fenómeno :

$$Ve = \frac{Le}{te} = \text{escala de velocidades} \quad \dots\dots\dots 4,a$$

$$te = \frac{Le}{Ve} = \text{escala de tiempos} \quad \dots\dots\dots 4,b$$

$$Q_e = Ae v_e = \text{escala de gastos} \dots\dots\dots 4.c$$

$$a_e = \frac{L_e}{t_e^2} = \text{escala de aceleraciones} \dots\dots\dots 4.d$$

$$\rho_e = \frac{\gamma_e}{g_e} = \text{escala de densidades} \dots\dots\dots 4.e$$

$$\gamma_e = \frac{\mu_e}{\rho_e} = \text{escala de viscosidades} \dots\dots\dots 4.f$$

Se pueden aplicar al Número de Froude, obteniendo las escalas correspondientes a esta condición.

De

$$\text{Fr. 1}$$

Si

$$\frac{V_e^2}{L_e} = 1$$

entonces

$$V_e = \sqrt{L_e} = L_e^{1/2}$$

$$4.a. \quad V_e = \sqrt{L_e} = L_e^{1/2} \dots\dots\dots \text{Fr. 2}$$

$$4.b. \quad t_e = \frac{L_e}{V_e} = \frac{L_e}{\sqrt{L_e}} = L_e^{1/2} = \sqrt{L_e} \dots\dots\dots \text{Fr. 3}$$

$$4.c. \quad Q_e = A_e V_e = L_e^2 L_e = L_e^{5/2} \dots\dots\dots \text{Fr. 4}$$

$$4.d. \quad a_e = \frac{L_e}{t_e^2} = g_e = 1 \dots\dots\dots \text{Fr. 5}$$

$$4.e. \quad F_e = M_e a_e = \rho_e L_e^3 g_e = \frac{\gamma_e}{g_e} L_e^3 g_e = \gamma_e L_e^3 \dots\dots\dots \text{Fr. 6}$$

Para reproducir en modelo las condiciones de entrada con la mayor precisión posible se determinó que se procedería a construir la cortina en su totalidad, así como la topografía correspondiente al acceso de la margen izquierda, con lo cual se garantiza que las líneas de corriente producidas en el modelo se apegarán más a las condiciones reales. Figura No. 4.2 .

En base a la tabla comparativa de escalas y considerando el área designada para su construcción, se decidió adoptar la escala 1 : 75 por ser la más conveniente para lograr la semejanza requerida.

Aplicando la escala de longitudes características seleccionada a las expresiones obtenidas para la condición de Similitud de Froude se tiene que :

$$\text{Fr. 2} \quad V_e = L_e^{1/2} = (75)^{1/2} = 8.660254$$

$$\text{Fr. 3} \quad t_e = L_e^{1/2} = (75)^{1/2} = 8.660254$$

$$\text{Fr. 4} \quad Q_e = L_e^{5/2} = (75)^{5/2} = 48713.92926$$

$$\text{Fr. 5} \quad g_e = 1$$

$$\text{Fr. 6} \quad F_e = \gamma_e L_e^3 = (75)^3 = 421874.9997$$

Que son los valores correspondientes a las escalas del modelo.

Con respecto a la escala de rugosidades n_e , se obtiene de la siguiente forma :

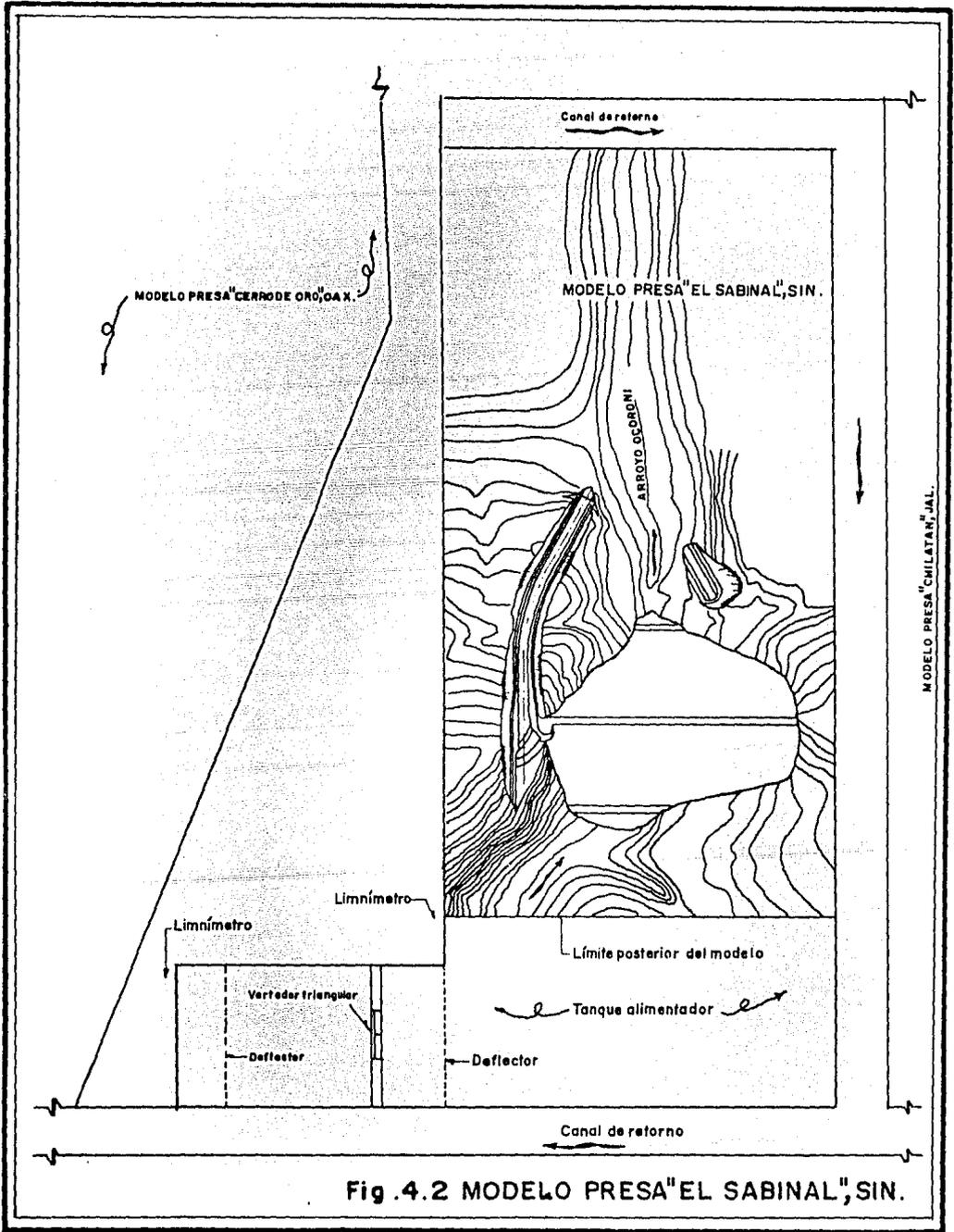


Fig. 4.2 MODELO PRESA "EL SABINAL", SIN.

De la expresión de Manning :

$$V = \frac{1}{n} Rh^{2/3} sf^{1/2}$$

V	=	Velocidad	(m/seg)
n	=	Rugosidad	(Adimensional)
Rh	=	Radio hidráulico = $\frac{\text{área hidráulica}}{\text{perímetro mojado}}$	(m)
f	=	Pendiente de fricción	(Adimensional)

Despejando la rugosidad tenemos ;

$$n = \frac{Rh^{2/3} sf^{1/2}}{V}$$

y expresando la ecuación anterior en términos de longitud característica queda como :

$$n = \frac{(Le)^{2/3}}{(Le)^{1/2}} = Le^{1/6} \dots\dots\dots Fr. 7$$

Sustituyendo en esta expresión la escala de longitudes seleccionada para el modelo El Sabinal se obtiene la escala de rugosidades del mismo :

$$Fr. 7 \quad n_e = Le^{1/6} = (75)^{1/6} = 2.05$$

Continuando con el diseño del modelo, al definir su escala geométrica o de longitudes características se ubicó en el sitio de construcción, quedando localizado el límite izquierdo a una distancia de 120 m del eje del vertedor; el límite derecho a 600 m del antes descrito; el límite posterior a 300 m del eje

de la cortina y el límite anterior a 975 m aguas abajo del mismo eje.

Las dimensiones del modelo y los elementos que lo integran se observan en la Figura No. 4.3 .

Conociendo las dimensiones exteriores o límites descritas anteriormente, se puede determinar la posición y medidas de las "mesas", que son las bases sobre las cuales se construyen las principales estructuras de la obra de excedencias, así como las secciones de medición que facilitan el análisis cuantitativo de las variables.

Con base en la escala geométrica adoptada 1:75 se efectúa la transformación de dimensiones correspondientes a las estructuras, especificadas en los planos, para elaborar los croquis de las formas o tarrajas que se usan en el modelo físico.

La topografía correspondiente a la zona en que se localiza el proyecto también se transforma por la escala, con ayuda de una malla o cuadrícula dibujada en el plano general, a fin de reproducir en el modelo las elevaciones correspondientes a las intersecciones de la cuadrícula.

Simultáneamente al desarrollo de las actividades anteriormente descritas, se revisan numéricamente las estructuras en estudio; lo cual implica un análisis detallado del diseño de la obra de excedencias, con las ecuaciones correspondientes al mismo y revisando radios, ángulos, estaciones, elevaciones, pendientes, etc, y efectuando las correcciones necesarias.

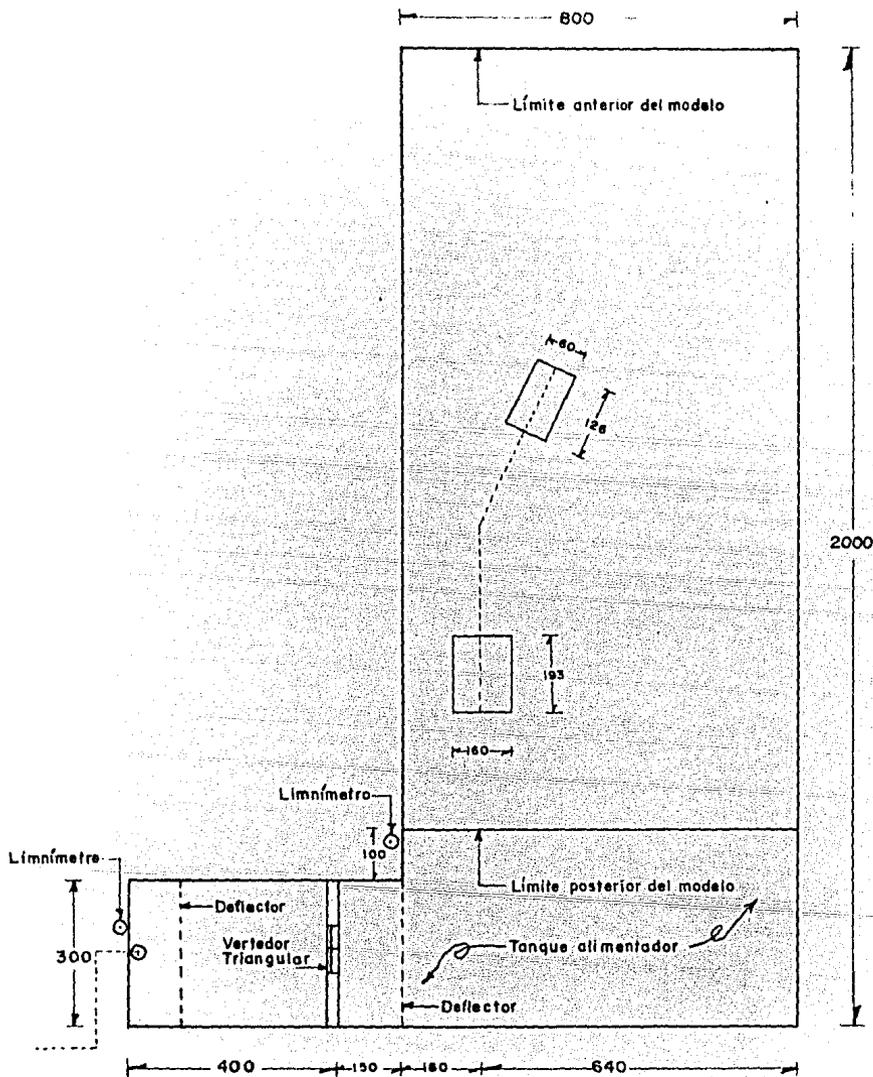


Fig. 4.3 ELEMENTOS Y DIMENSIONES DEL MODELO HIDRAULICO DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA "EL SABINAL" SIN.

4.2.4. Construcción

Al ubicar el sitio de construcción del modelo en el laboratorio, se procede a realizar la limpieza y el trazo en el piso de los ejes principales (de la cortina y el vertedor) para que a partir de ellos se localicen los demás elementos de la obra de excencias, ya que es necesario construir las "mesas" con las eleaciones representativas de la plantilla de dichas estructuras en prototipo.

Generalmente al construir un modelo de fondo fijo se lleva el siguiente orden :

- a) Mesas y Muros Laterales
- b) Estructuras de la Obra en Estudio
- c) Reproducción de la Topografía
- d) Detalles Complementarios

a) Mesas y Muros Laterales

Inicialmente se trazan las mesas en el plano topográfico, para localizar en ellas las estaciones correspondientes a las obras a representar y dimensionarlas adecuadamente, evitando atrasos en la construcción al no tener la longitud requerida, o excederse interfiriendo con otros elementos en la topografía.

b) Estructuras de la Obra en Estudio

Construidas las mesas en el sitio, se trazan los ejes sobre las mismas de acuerdo a los cuales se elaborarán las estrucuras

turas y de las que previamente se han hecho formas o tarrajas que servirán de molde para facilitar al modelista su construcción. Estas tarrajas se trazan primero en papel y posteriormente se pasan a una lámina, que será la que se utilice finalmente.

c) Reproducción de la Topografía

Como se indicó, para representar la topografía de la zona en que se encuentra situada la obra de excedencias, se seccionó el plano llamado "Boquilla El Sabinal" con respecto a un eje seleccionado previamente y que se localiza también en el sitio de construcción, para definir las distancias de cada curva de nivel con respecto a dicho eje.

El "cajón" formado por los muros que confinan al modelo se rellena con arena casi hasta el nivel correspondiente a la elevación del terreno en ese sitio, para posteriormente colocar estacas con un clavo en la parte superior y que se nivelan de acuerdo con los datos obtenidos del plano topográfico, quedando las cabezas del clavo a la elevación representativa de cada curva de nivel.

Se termina de conformar la topografía relleno con arena hasta cubrir las estacas y por último se cubre la arena con una pasta de cemento que forma una capa delgada limitada por el nivel de la cabeza del clavo.

d) Detalles Complementarios

En este inciso se incluyen todas las construcciones e instala

laciones necesarias para el funcionamiento del modelo, tales como deflectores o tranquilizadores, canales de retorno, adaptación de tuberías, instalación de limnímetros y válvulas, etc., además de las estructuras requeridas para aforar los gastos proporcionados al modelo,

Con este propósito, se instaló un vertedor triangular, el cual quedó colocado en un tanque aforador que se proyectó de la siguiente forma :

Para proporcionar el gasto requerido por el modelo de la Presa - El Sabinal, considerando que el $Q_{\text{máx.}} = 2\,450\text{ m}^3/\text{s}$ y transformando este gasto por la escala de gastos tenemos :

$$Q_m = Q_p/Q_e$$

$$Q_e = 48713,93$$

$$Q_m = \frac{2450\text{ m}^3/\text{s}}{48713,93} = 0,050294\text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_m = 50,294\text{ lps}$$

Con los datos anteriores, se decidió utilizar un vertedor triangular o Thompson, pues por sus características su uso es recomendable para aforar gastos pequeños con exactitud.

Teniendo en cuenta que la descarga del vertedor triangular debe ser libre, su vértice quedó situado a 30 cm por encima del nivel correspondiente al NAME :

	NAME , elevación	196.61
("mesa")	Colchón, elevación	176.80
	Diferencia	19.81 m

Transformando esta dimensión por la escala de longitudes :

$$L_m = \frac{L_p}{L_e} = \frac{19.81}{75} \text{ m} = 0.2641 \text{ m}$$

Altura de la "mesa" representativa de la
elevación 176.80 = 112,40 cm

Altura del nivel correspondiente

al NAME = 26.41 cm

Altura total = 138,81 cm

Altura total aproximada = 140.0 cm

Para evitar el ahogamiento en la descarga del vertedor se sitúa a la elevación :

$$140,0 \text{ cm} + 30,0 \text{ cm} = 170,0 \text{ cm}$$

con respecto al nivel del piso.

Para que el gasto suministrado al modelo sea igual a 69 lps - (debe contarse con un gasto mayor al requerido) , se necesita - una carga en el vertedor triangular de 30.0 cm aproximadamente,

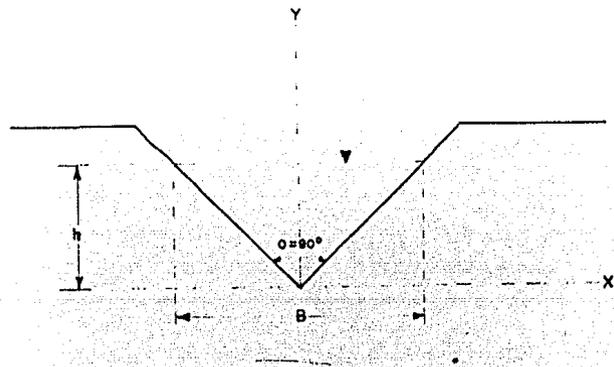
Por lo tanto, el tanque aforador tendrá una altura de

$$170,0 \text{ cm} + 30,0 \text{ cm} = 200,0 \text{ cm}$$

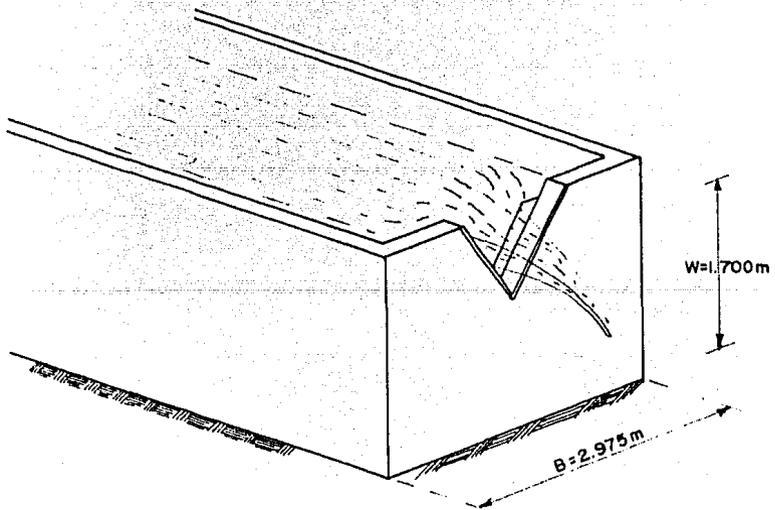
Dejando un bordo libre de 20.0 cm de altura de los muros con - referencia al nivel de desplante del tanque será igual a :

$$200,0 \text{ cm} + 20,0 \text{ cm} = 220,0 \text{ cm}$$

que es la altura definitiva del mismo. Figura No. 4.4 .

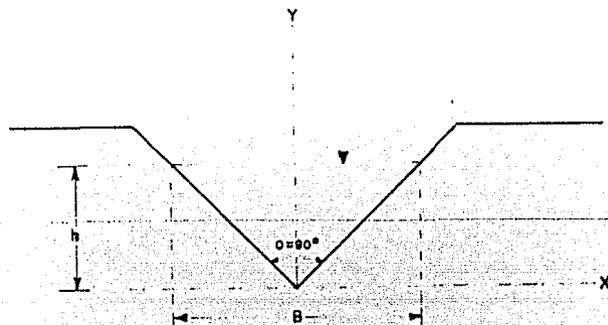


V E R T E D O R T R I A N G U L A R

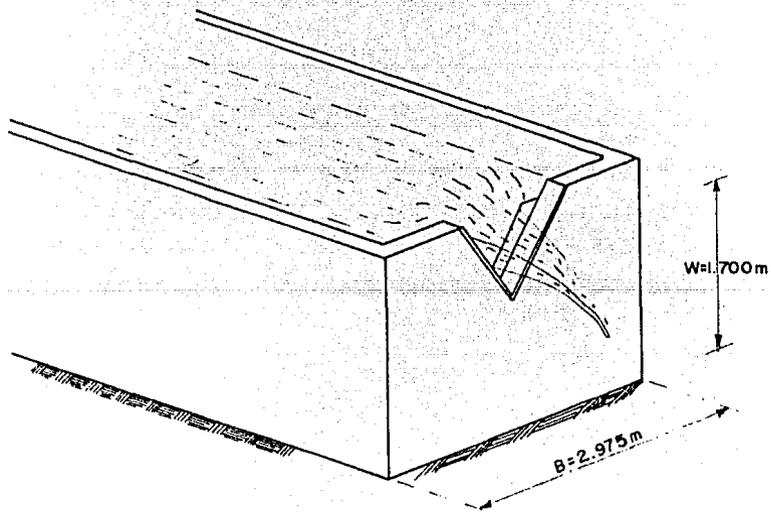


T A N Q U E A F O R A D O R

Fig. 4.4 CARACTERISTICAS DEL TANQUE AFORADOR



V E R T E D O R T R I A N G U L A R



T A N Q U E A F O R A D O R

Fig. 4.4 CARACTERISTICAS DEL TANQUE AFORADOR

$$x = y \tan \frac{\theta}{2}$$

por lo que :

$$Q = \sqrt{2g} \mu \tan(\theta/2) \int_0^h (h - y)^{1/2} dy \quad 4.b$$

Haciendo una sustitución de variables en la integración :

$$\begin{aligned} z &= h - y, & y &= h - z \\ dy &= -dz \end{aligned}$$

De lo cual, los límites de integración serían :

$$\begin{aligned} \text{Para } y &= 0, & z &= h \\ \text{Para } y &= h, & z &= 0 \end{aligned}$$

Obteniendo la expresión

$$\begin{aligned} Q &= -2 \sqrt{2g} \mu \tan(\theta/2) \int_h^0 z^{1/2} (h - z) dz \\ &= 2 \sqrt{2g} \mu \tan(\theta/2) \left[\frac{2hz^{3/2}}{3} - \frac{2}{5} z^{5/2} \right]_h^0 \quad 4.c \end{aligned}$$

Desarrollando dicha expresión y sustituyendo el valor de z tenemos :

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan(\theta/2) \mu h^{5/2} \quad 4.d$$

Para el caso particular en que $\theta = 90^\circ$

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu h^{5/2} \quad 4.e$$

El coeficiente μ se determinó mediante la fórmula experimental de Hegly :

$$\mu = \left[0.5812 + \frac{0.00375}{h} \right] \left(1 + \left[\frac{h^2}{B(h+w)} \right]^2 \right)$$

en donde :

B = Ancho del canal de llegada

w = Desnivel entre el vértice del vertedor y el fondo del canal de llegada

h = Carga en el vertedor

Los valores de dichas variables en el modelo son :

$$B = 2.975 \text{ m}$$

$$w = 1.700 \text{ m}$$

Proponiendo diversos valores para h y sustituyendo en dicha ecuación y a su vez aplicando el valor de μ obtenido en la expresión 4.e es posible definir, para cada valor de h el correspondiente valor de Q en el modelo y al transformarlo por la escala, conocer el valor que representa en prototipo.

Con los valores de h y Q se elaboró la gráfica de la Figura No. 4.5 a fin de facilitar la definición de la carga que se requiere medir en el limnómetro del tanque aforador para proporcionar al modelo el gasto representativo del correspondiente al prototipo.

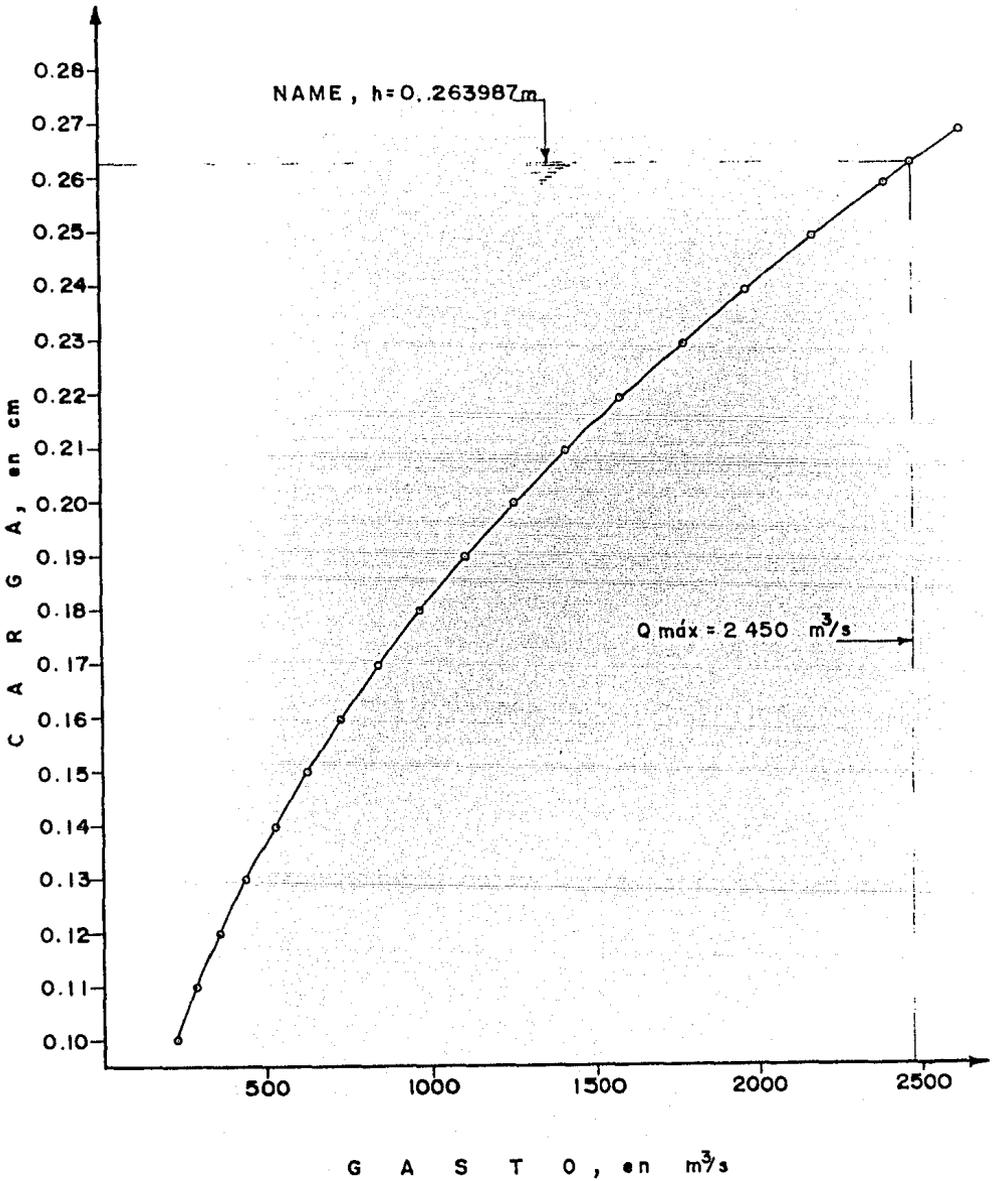


Fig. 4.5 CURVA DE GASTOS DEL VERTEDOR TRIANGULAR SEGUN HEGLY

4.3. Desarrollo del Estudio

Considerando la extensión y características de la obra de exce-dencias, se dividió para su estudio en :

- A) Parte Alta de la Estructura : en la cual se analiza - el funcionamiento hidráulico del canal de acceso, cimacio, colchón y sección de control.
- B) Parte Baja de la Estructura : que se refiere al com-portamiento de la rápida, cubeta deflectora y canal de des-carga.

El planteamiento general de los ensayos efectuados es el siguien-te :

- 4.3.1. Prueba inicial del modelo.
- 4.3.2. Diseño, construcción y ensayo de las modificaciones re-queridas o posibles alternativas de solucón.
- 4.3.3. Determinación de la curva elevaciones gastos para la so-lución adoptada.
- 4.3.4. Datos de las características del flujo (tirantes y ve-locidades) .
- 4.3.5. Procesamiento de resultados.

4.3.1. Prueba Inicial o Carga del Modelo

Este primer ensayo tiene dos propósitos :

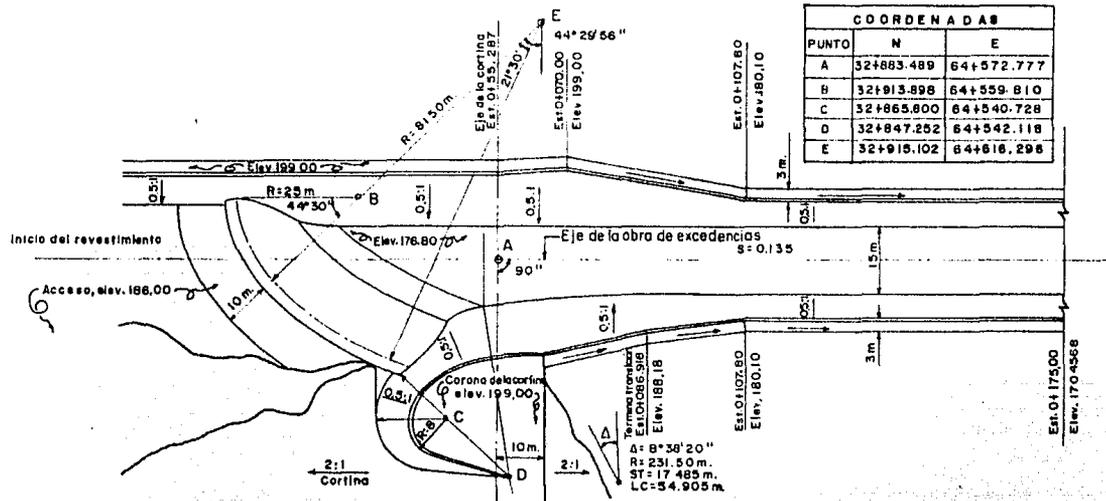
- a) Localizar posibles fallas en la construcción, tales como fugas o filtraciones que puedan significar pérdidas del fluido que circula por el modelo, afectando la lectura de los limnómetros correspondientes al tanque aforador y al "vaso" de la presa.
- b) Si no existen tales fallas, observar el funcionamiento del proyecto original a fin de determinar si es aceptable o si se requiere efectuar modificaciones y alteraciones en el diseño que produzcan un comportamiento hidráulico aceptable.

De este modo, se ensayó el modelo para gastos de 500 , 1000 , 1500 , 2000 y 2450 m³/s encontrando que para todos ellos el vertedor funciona deficientemente. Su comportamiento se resume en la siguiente forma :

Debido a la curva en planta que describe el cimacio y a la intersección de éste con el talud de la margen izquierda, se induce en la misma un fenómeno de concentración de flujo que produce una sobreelevación del nivel del agua en forma de "rizo" en la zona central del colchón, proyectándose sobre el talud de la margen derecha y propiciando el desbordamiento del flujo por dicha margen. Véase Figura No. 4,6 .

4.3.2. Diseño, Construcción y Ensayo de las Modificaciones requeridas o posibles Alternativas de Solución

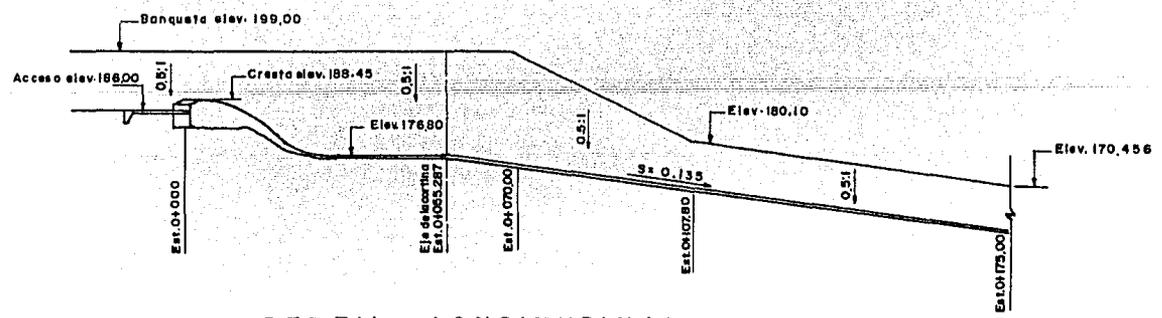
Conocidas las principales deficiencias de la estructura, se planteó la modificación de sus características geométricas con el fin de reducir la concentración y sobreelevación del flujo anteriormente descritas.



COORDENADAS		
PUNTO	N	E
A	32+883.489	64+572.777
B	32+913.898	64+559.810
C	32+865.800	64+540.728
D	32+847.252	64+542.118
E	32+915.102	64+616.298

P L A N T A

Fig.4.6 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIN. PROYECTO ORIGINAL



PERFIL LONGITUDINAL

A) Parte Alta de la Estructura

Solución mediante la formación de un tanque amortiguador.

De experiencias obtenidas en estudios realizados en vertedros de abanico completo, se ha observado que éstos funcionan eficientemente cuando la diferencia de niveles entre la cresta vertedora y el colchón es mínima, se propuso como alternativa de solución la construcción de un umbral formador de un tanque que ayude a amortiguar la caída del flujo al sobre elevarse la superficie libre del agua en la zona del colchón, lo cual permite una mayor disipación de la energía de la descarga al cumplirse la característica del choque del agua contra el agua,

Las modificaciones efectuadas con tal propósito se describen a continuación.

a) Proyecto Modificado 1

Conservando la elevación 176.80 correspondiente al colchón hasta la estación 0 + 086,918 , en umbral a la elevación 181.80 , se formó un escalón o profundidad de tanque de 5.0 m . Figura No. 4.7 ,

Observaciones :-

El funcionamiento del vertedor mejora, pues aunque no es hidráulicamente aceptable, el nivel del agua en el tanque tiende a uniformizarse; no obstante, se presenta una sobre elevación de la superficie libre del agua ma--

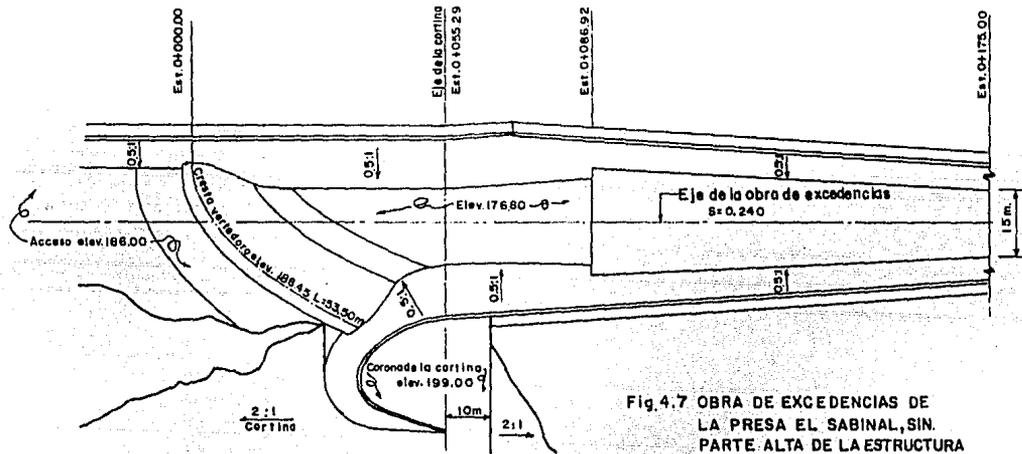
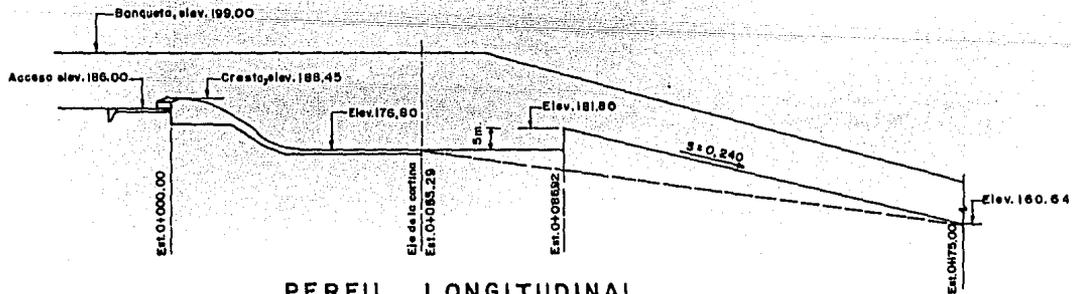


Fig. 4.7 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIN. PARTE ALTA DE LA ESTRUCTURA PROYECTO MODIFICADO I

P L A N T A



P E R F I L L O N G I T U D I N A L

yor en la margen izquierda que en la margen derecha, - presentándose en esta última una turbulencia generalizada.

Aguas abajo se presenta la sección de control, En la zona intermedia del tanque se aprecian borbotones ocasionados por una recirculación del agua dentro del tanque.

Con respecto al resto de la estructura se tiene un buen funcionamiento de los accesos, pero en la parte baja las condiciones del flujo son aún muy deficientes.

En este ensayo se logra que la sobreelevación en forma de rizo casi se ahogue, aunque la pérdida de control en la cresta es incipiente.

b) Proyecto Modificado 2

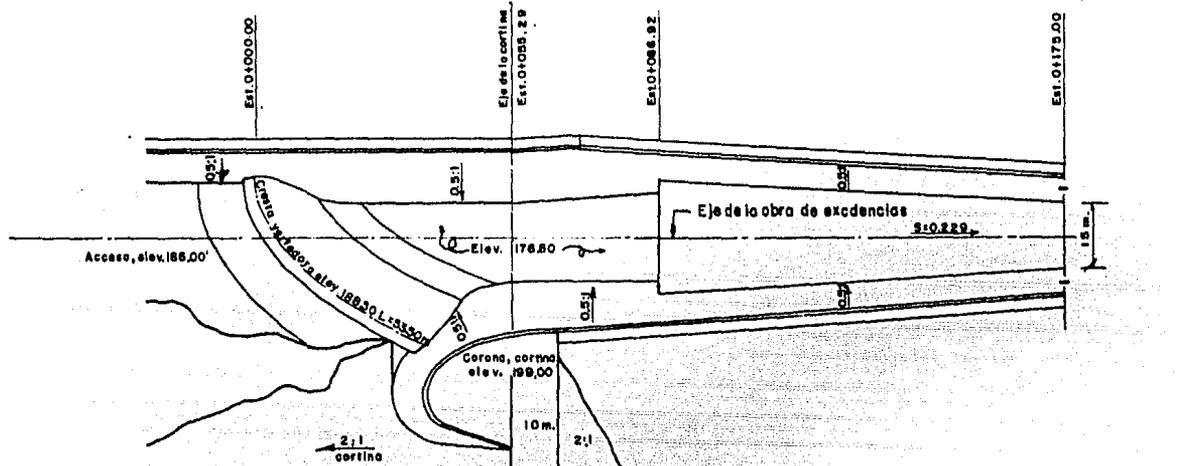
Con las características geométricas descritas en el ensayo anterior, pero disminuyendo la profundidad del tanque a 4.0 m , Figura No. 4.8 .

Observaciones :

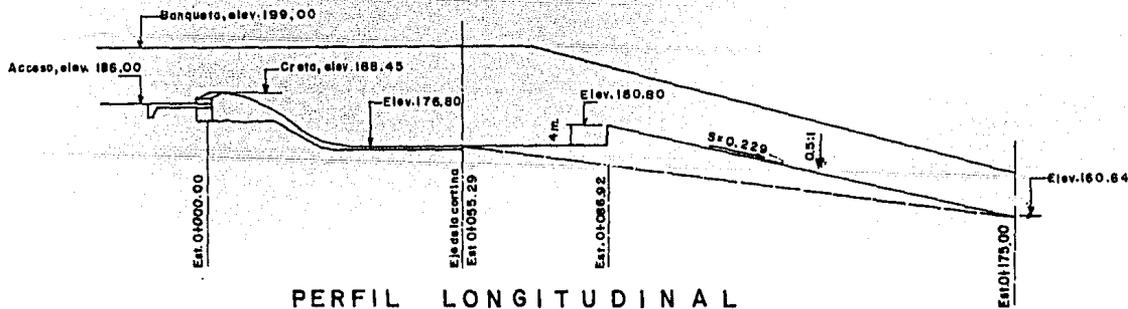
Se tiene un mayor control en la cresta, pero la turbulencia del tanque aumenta y la sobreelevación en forma de rizo se ahoga parcialmente formándose una ola en la zona central.

c) Proyecto Modificado 3

En este caso se colocaron tres dientes con el fin de



P L A N T A Fig. 4.8 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIN PARTE ALTA DE LA ESTRUCTURA PROYECTO MODIFICADO 2



PERFIL LONGITUDINAL

amortiguar el flujo, conservando las características geométricas correspondientes al ensayo anterior.

Estos dientes o bloques se utilizaron con las dimensiones y la disposición mostradas en la Figura No. 4.9 .

Observaciones :

El funcionamiento hidráulico observado en este ensayo no muestra mejoría alguna con respecto a los anteriores, sino que por el contrario, se incrementa la turbulencia en el tanque y el comportamiento del flujo en general es deficiente.

d) Proyecto Modificado 4

Desplazando la sección de control a la estación 0 + 076.918 y alterando la geometría del umbral (ver detalle Figuras No. 4.10 y 4.11) se mantiene invariable la elevación 176.80 correspondiente al colchón en el proyecto original hasta la estación 0 + 055.287. A partir de la cual se inicia una pendiente de 0.135 .

Observaciones :

El tanque formado con esta modificación produce un funcionamiento hidráulico mas aceptable que los precedentes, pues el rizo formado en la superficie libre del agua prácticamente se manifiesta en forma despreciable, persistiendo la oscilación de nivel en el tanque con menor intensidad que en otros ensayos.

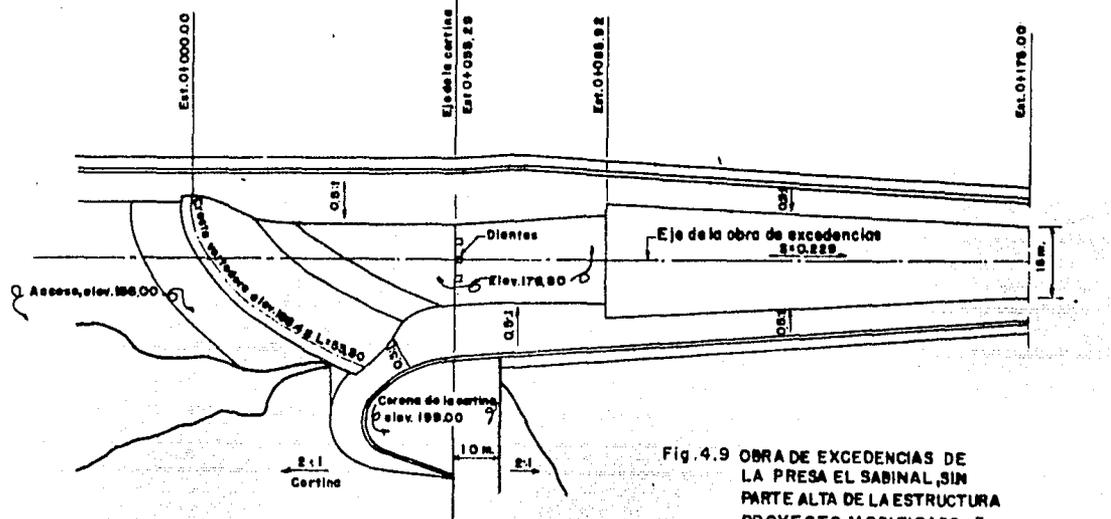
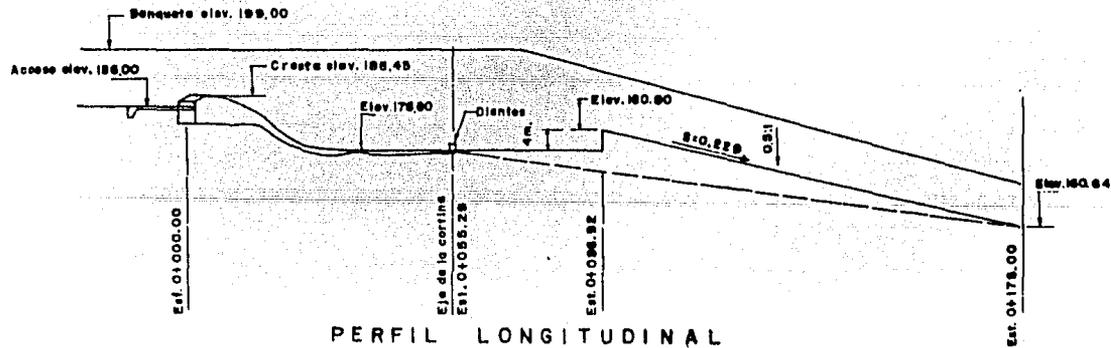


Fig. 4.9 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIM PARTE ALTA DE LA ESTRUCTURA PROYECTO MODIFICADO- 3

P L A N T A



PERFIL LONGITUDINAL

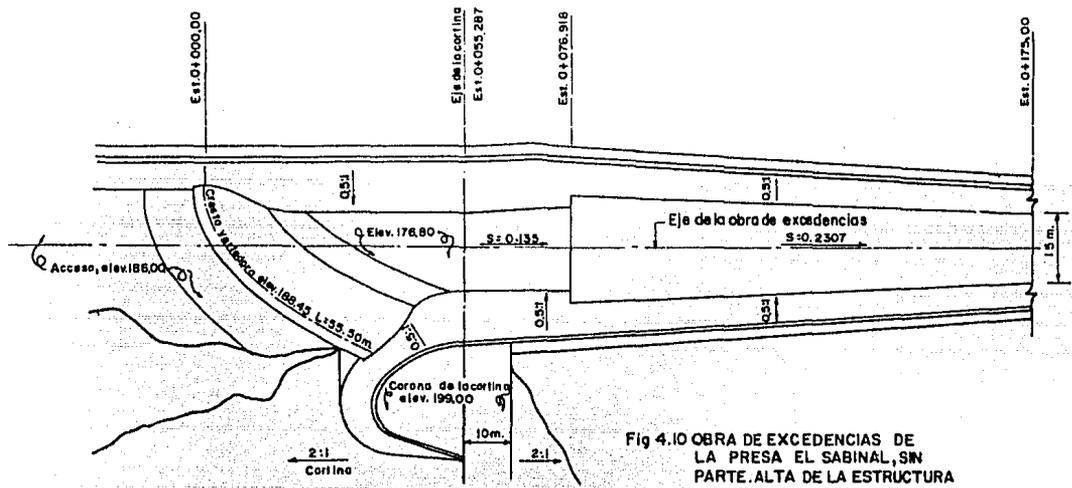
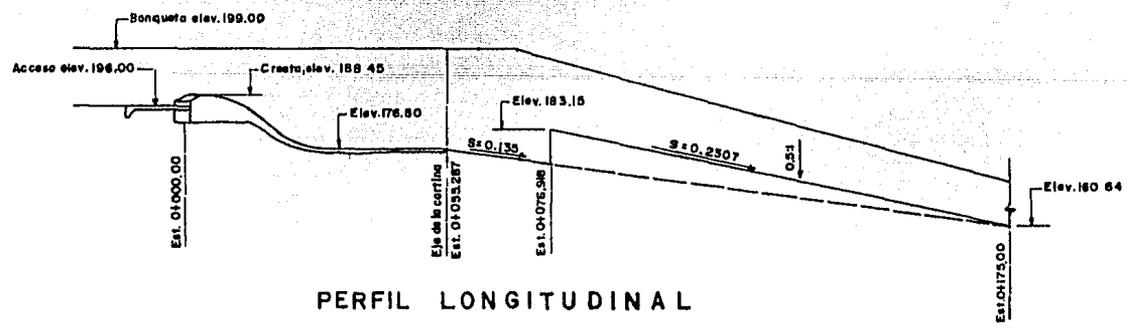


Fig 4.10 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIN PARTE ALTA DE LA ESTRUCTURA PROYECTO MODIFICADO -4

P L A N T A



PERFIL LONGITUDINAL

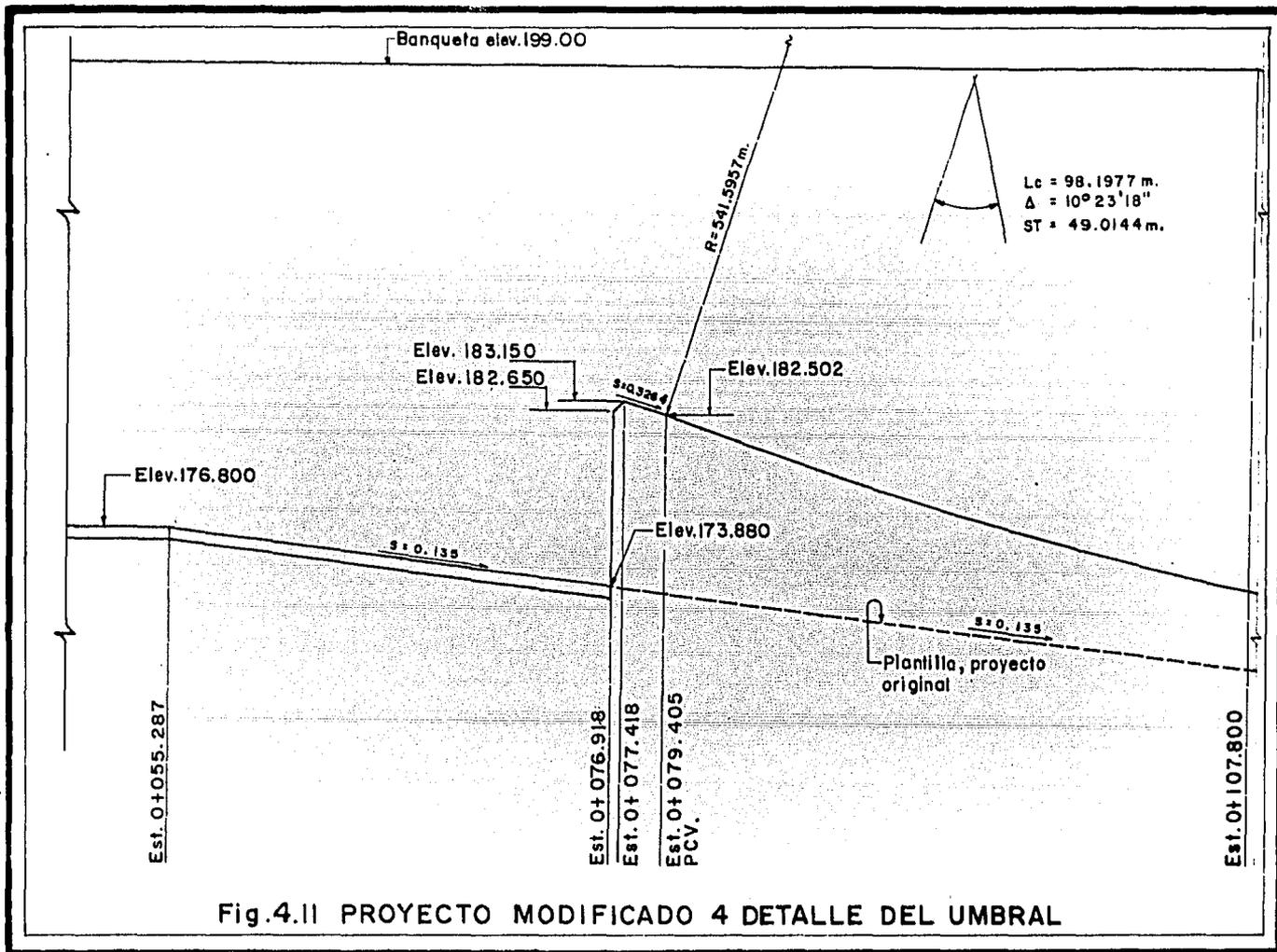


Fig.4.II PROYECTO MODIFICADO 4 DETALLE DEL UMBRAL

En general el comportamiento del flujo es satisfactorio en la Parte Alta de la Estructura con esta modificación, aunque es susceptible de mejorarse adaptándose al avance del proyecto en prototipo.

e) Proyecto Modificado 5

Eliminando el escalón que forma el tanque y colocando bloques o dientes sobre el cimacio, en la forma indicada en la Figura No. 4.12 .

Observaciones :

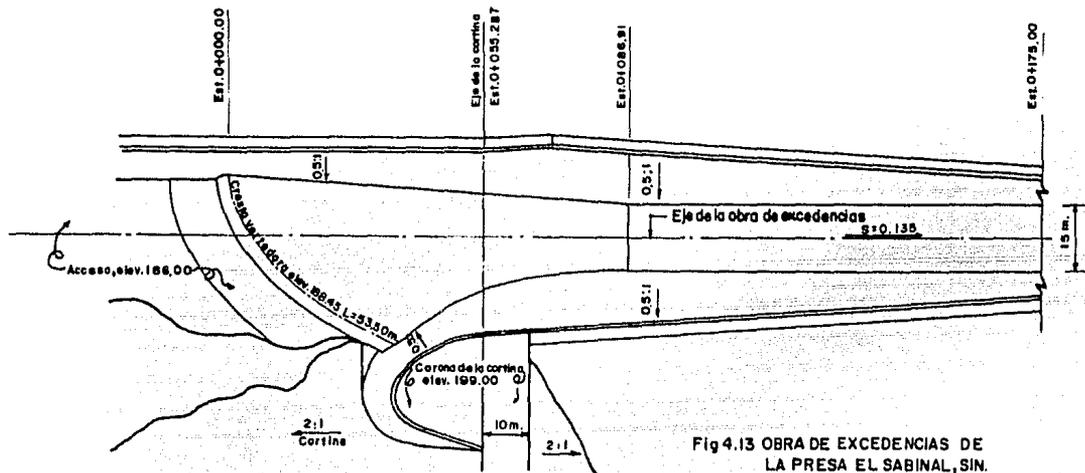
No se produjo mejoría en el funcionamiento del vertedor con respecto al proyecto original, sino que se incrementó la inestabilidad en cuanto a la sobreelevación del flujo en la parte alta.

Solución con Lavadero

Se ha denominado "Solución con Lavadero" a la alteración geométrica que consiste en unir la cresta vertedora (elevación 188.45) en el nivel del piso de la rápida, estudiando los resultados en forma cualitativa,

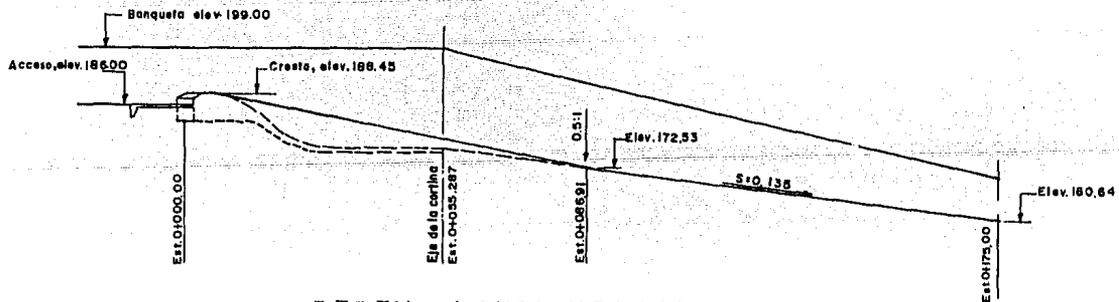
f) Proyecto Modificado 6

El lavadero formado a partir de la cresta del cimacio hasta la estación 0 + 086.918 (fin de la transición) da lugar a una superficie alabeada con pendiente variable. Figura No. 4.13 .



P L A N T A

Fig 4.13 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIN PARTE ALTA DE LA ESTRUCTURA PROYECTO MODIFICADO 6



PERFIL LONGITUDINAL

Observaciones :

El comportamiento obtenido es inaceptable, pues el flujo no incide normalmente en la canalización, es decir, paralelamente al eje de la estructura; sino que es lanzado inicialmente en una margen y después en la opuesta. Hidráulicamente presenta un funcionamiento sumamente defectuoso.

g) Proyecto Modificado 7

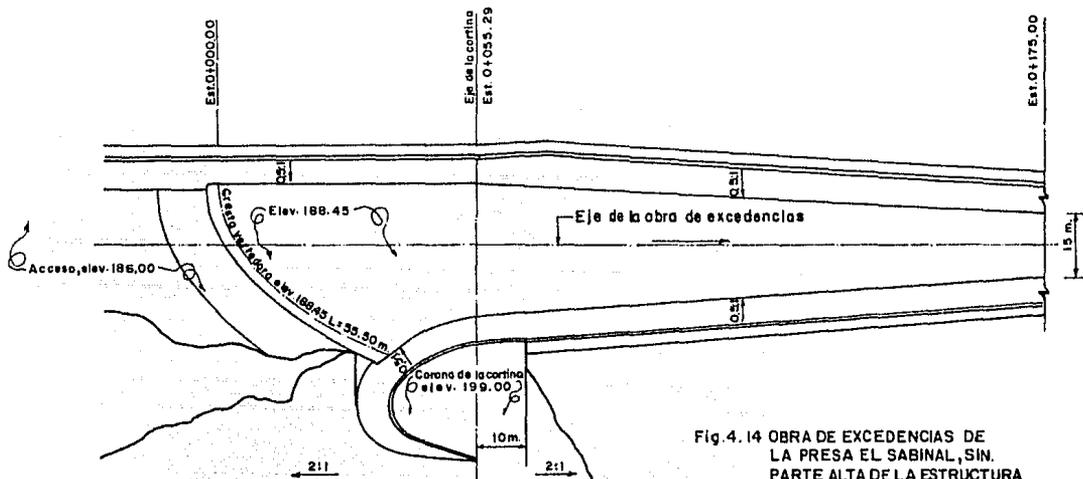
Generada por la elevación 188.45 correspondiente a la cresta vertedora en toda su longitud y por las márgenes al inicio del lavadero (estación 0 + 0.55.287) , se construyó una plataforma a dicha elevación.

El extremo anterior se unió a la estación 0 + 175.000 cuya elevación es 160.6387 , dando lugar a una transición ocasionada por la geometría de la rápida. Figura No. 4.14 .

Observaciones :

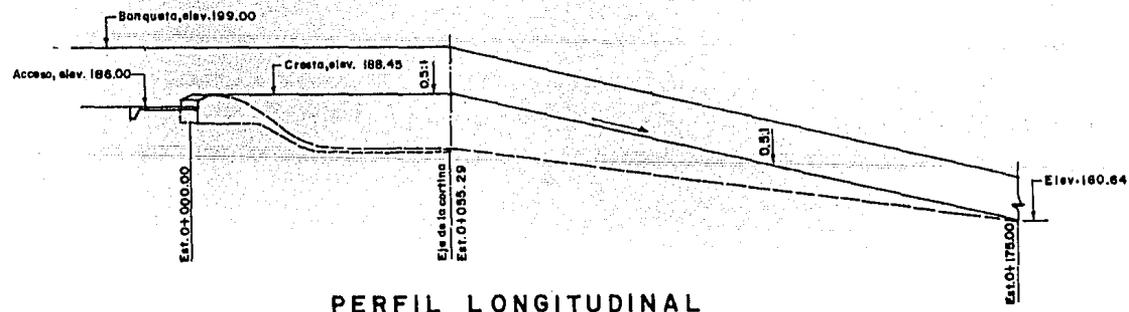
El funcionamiento hidráulico de esta modificación es muy aceptable para todos los gastos ensayados pues el flujo incide simétricamente en la transición minimizando las alteraciones en su trayectoria.

Sin embargo, la eficiencia del vertedor se reduce en forma considerable debido al desplazamiento hacia aguas abajo de la sección de control, por lo cual se reduce la longitud de la misma a 23.08 m que se traduce en



P L A N T A

Fig. 4.14 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIN. PARTE ALTA DE LA ESTRUCTURA PROYECTO MODIFICADO 7



PERFIL LONGITUDINAL

un incremento del NAME .

C o n c l u s i o n e s :

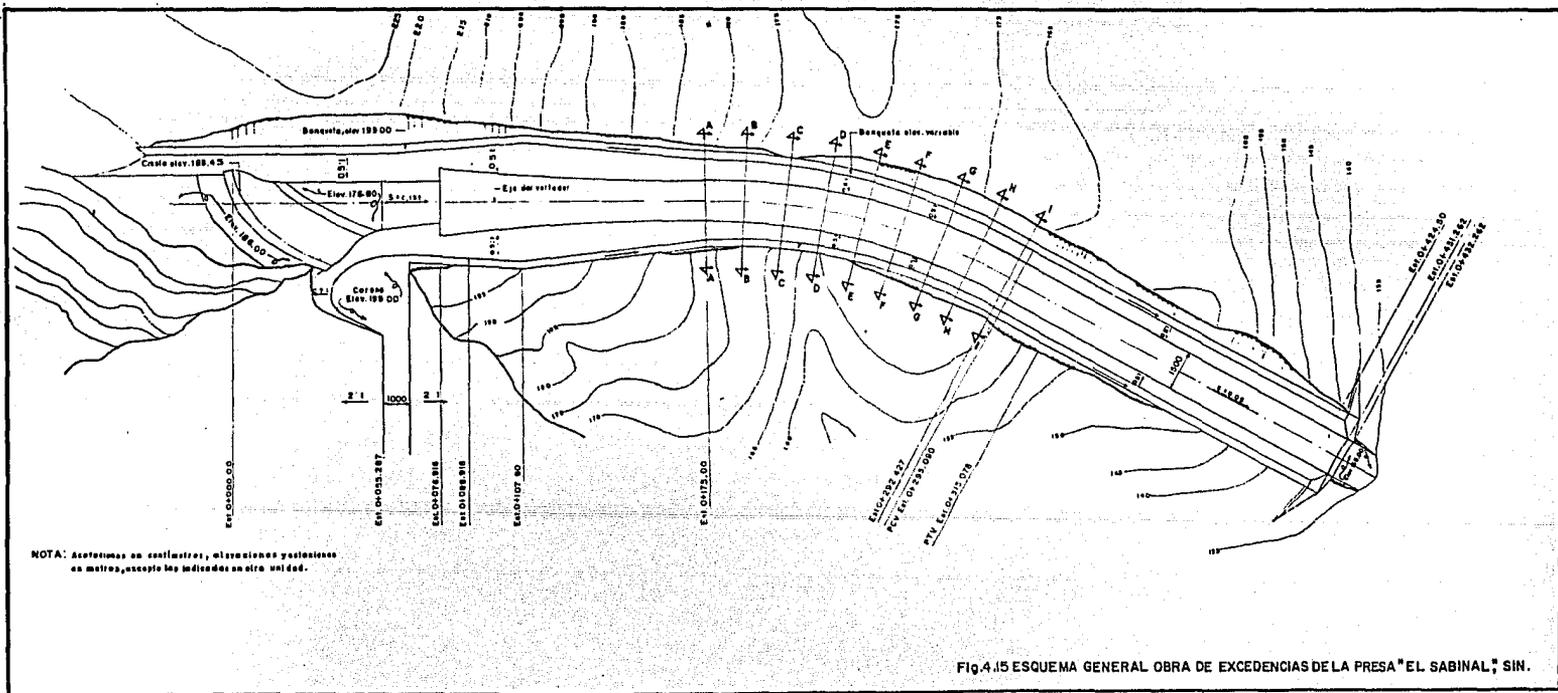
Parte Alta de la Estructura

Debido a que el estudio experimental de la obra de excedencias del Proyecto Presa "El Sabinal" , Sin., se efectuó - considerando las restricciones impuestas por el avance constructivo del prototipo, se determinó que la solución más - adecuada corresponde a la modificación 4 pues produce un funcionamiento hidráulico aceptable sin alterar en forma - considerable las excavaciones ya realizadas, aunque no es - la solución óptima debido a que presenta deficiencias que - son posibles de eliminar variando las características geométricas del proyecto.

B) Parte Baja de la Estructura

Como se especificó en el objetivo de este estudio, la parte baja de la estructura incluye el funcionamiento de la rápida, cubeta deflectora y canal de salida. Figura No. 4.15 .

B.1. Debido a las características geométricas de la rápida o canal de descarga, se subdividió para realizar los ensayos correspondientes a la misma en tres secciones:



B.1. SECCION 1

Comprendida entre la estación 0 + 077.418 (arista superior del escalón, elevación 183.15) y la estación 0 + 175.000 .

B.1. SECCION 2

Corresponde a la deflexión horizontal - vertical derecha que se inicia en la estación (anterior) - - - - 0 + 175.000 y termina en la estación 0 + 292.427 .

B.1. SECCION 3

Comienza en la estación 0 + 292.427 , incluye el cambio de pendiente de la plantilla de 0.135 a 0.05 - y está definida en su parte final por la liga con el deflector en la estación 0 + 424.50 .

B.1. SECCION 1

Con el fin de uniformizar el flujo y evitar una sobreelevación excesiva de los muros laterales en la rápida (ocasionada por el funcionamiento producido con la solución adoptada en la parte alta de la estructura), se ensayó el modelo con las modificaciones descritas a continuación :

a) Proyecto Modificado 8

La geometría para este ensayo se calculó proponiendo un plano con pendiente de 0.40 a partir de la estación - 0 + 077.418 elevación 183.15 y definiendo la intersección de dicho plano con el correspondiente al proyecto original y cuya pendiente es 0.135 . El cambio de inclinación se hizo mediante una curva vertical. Figura No. 4.16 .

Observaciones :

En este ensayo el tirante al inicio de la rápida se deprime al centro de la misma, concentrándose el flujo en las zonas cercanas a los taludes (principalmente en la margen derecha) por lo que se producen ondas de Mach - que afectan el funcionamiento de la curva horizontal y el deflector.

Es importante la diferencia de nivel entre los tirantes correspondiente a ambas márgenes.

b) Proyecto Modificado 9

La alteración al modelo consistió en unir la elevación 183.15 de la estación 0 + 077.418 con la elevación - 160.6387 de la estación 0 + 175.000 mediante un plano cuya pendiente es 0.2307 , teniéndose por lo tanto un cambio brusco de pendiente al final de la sección. - Véase Figura No. 4.17 .

Observaciones :

Los tirantes que se presentan inmediatamente después -

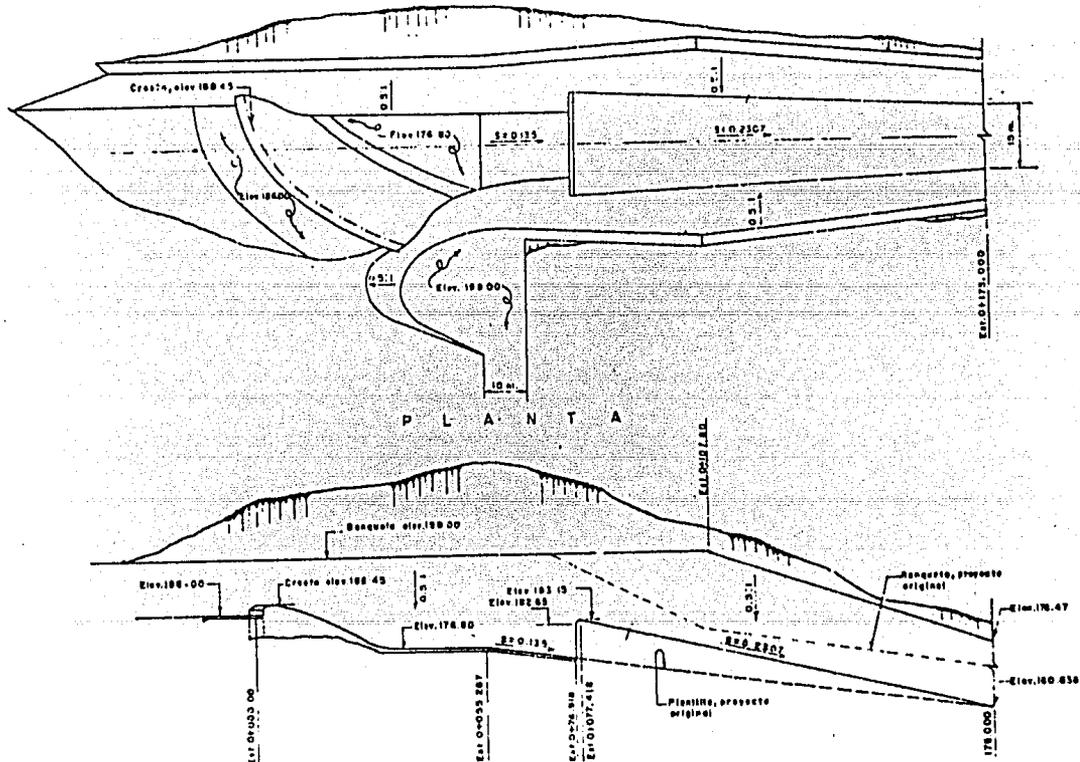


Fig. 4.17 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA^N EL SABINAL^N, SIN. PARTE BAJA DE LA ESTRUCTURA SECCION I PROYECTO MODIFICADO 9

del escalón en ambas márgenes tienen entre sí una menor diferencia de nivel, aunque se definen dos zonas : en la margen izquierda el nivel es regular presentándose - solo algunas ondas longitudinales mientras que en la - margen derecha influye la turbulencia del tanque por lo que la superficie libre del agua es muy irregular.

c) Proyecto Modificado 10

Proponiendo como PIV la estación $0 + 175.000$ con elevación 160.6387 y definiendo el PIV por la distancia media entre dicha estación y la estación $0 + 077.418$, elevación 183.15 ; se calculó la geometría de la curva vertical que une ambas estaciones. Véase Figura No. 4.18 .

Observaciones ;

El comportamiento del flujo mejora notablemente pues se presenta una mayor uniformidad en la superficie libre del agua al inicio de la rápida y a lo largo de la misma, que influye positivamente en el funcionamiento de la curva horizontal y por consiguiente del deflector.

d) Proyecto Modificado 11

Cambiando el PIV, a la estación $0 + 158.7363$, elevación 162.8343 ; se construyó un plano con pendiente 0.2498 entre ésta y la estación $0 + 077.418$, elevación 183.15 uniendo ambas pendientes con una curva vertical. Véase Figura No. 4.19 .

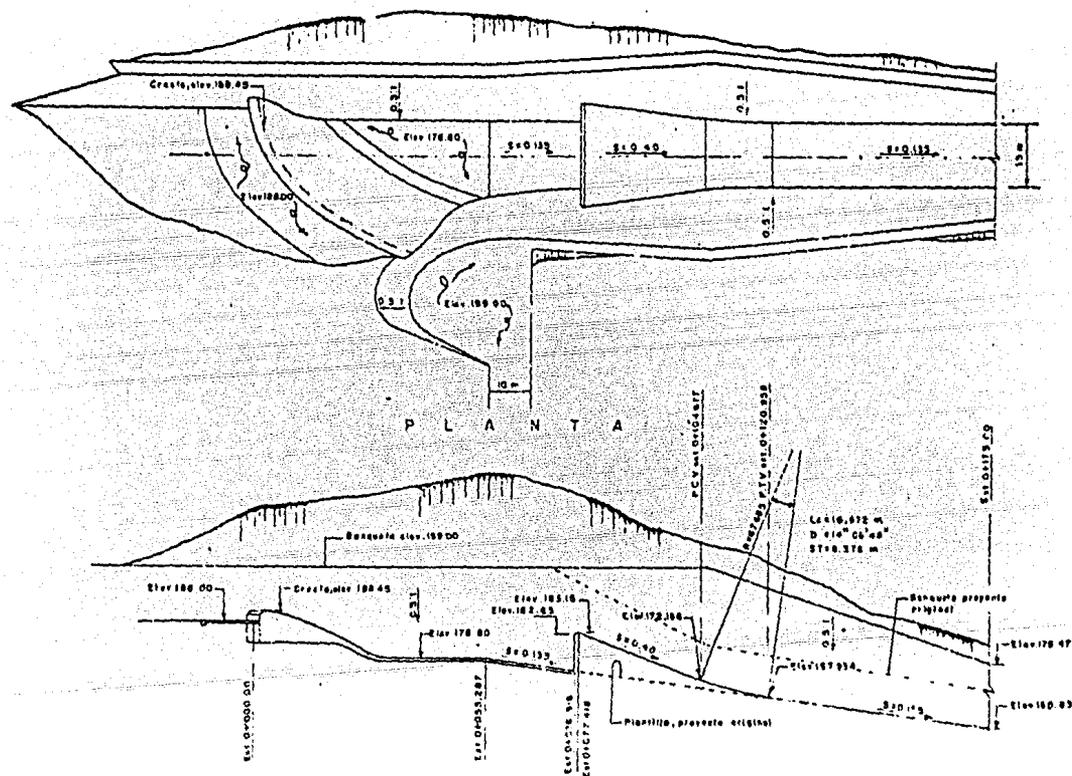


Fig. 4.18 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA EL SABINAL, SIN PARTE BAJA DE LA ESTRUCTURA SECCION I PROYECTO MODIFICADO 10

Observaciones :

El flujo presenta características similares a las del ensayo anterior en la rápida pero se produce mayor turbulencia en el tanque debido a la aceleración del agua al inicio de la sección; por lo que aunque se tienen tirantes ligeramente inferiores, es menos recomendable que la curva de la modificación antecedente.

B.1. SECCION 2

En el proyecto original, la sección de la rápida comprendida entre la estación 0 + 175.000 y la estación 0 + 292.427 presenta la característica de tener una pendiente transversal nula, (aún cuando en dicha sección la rápida cambia de dirección hacia la derecha para encauzar la descarga hacia el río), produciéndose una sobre elevación y desbordamiento del flujo por la margen izquierda y ausencia de tirante en la margen derecha. Figura No. 4.20 .

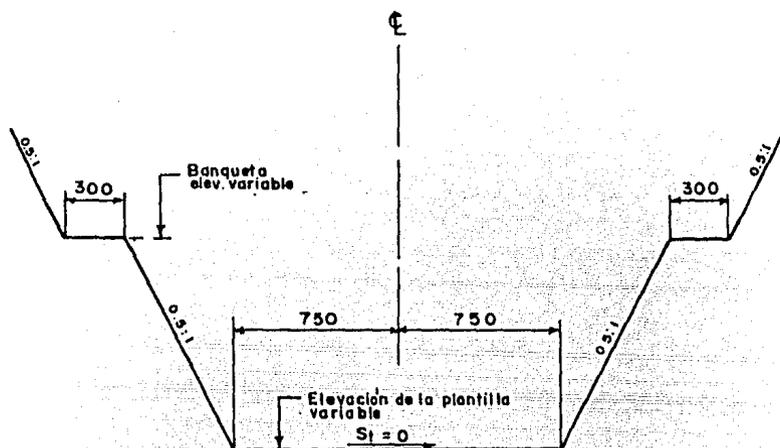
Para corregir este comportamiento se propusieron y ensayaron las siguientes alternativas :

e) Proyecto Modificado 12

Utilizando la siguiente expresión

$$\Delta h = \frac{V^2 \text{máx.}}{g} \left[\frac{20}{3} \frac{rc}{b} - \frac{16}{b^3} rc^3 + \left| \frac{4}{b^2} rc^2 - 1 \right|^2 \frac{n}{2rc - b} \right]$$

en donde :



A - A HASTA I - I

SECCION	ESTACION	ELEV. PLANTILLA
A - A	0 + 175.000	160.639
B - B	0 + 189.678	158.657
C - C	0 + 204.357	156.676
D - D	0 + 219.035	154.694
E - E	0 + 233.714	152.712
F - F	0 + 248.392	150.731
G - G	0 + 263.070	148.749
H - H	0 + 277.749	146.768
I - I	0 + 292.427	144.786

Fig. 4.20 SECCIONES TRANSVERSALES - SOBREELEVACION DE LA CURVA - PROYECTO ORIGINAL

- Δh = sobreelevación
 $V_{\text{máx.}}$ = velocidad máxima al inicio de la curva
 r_c = radio de curvatura
 b = ancho de la plantilla del canal

Se aplicaron los datos correspondientes al proyecto, ob-
 teniéndose una $\Delta H = 1.78$ m. Considerando las varia-
 ciones de la velocidad, este resultado se aproximó a -
 2.0 m .

Al conservar la pendiente de 0.135 por el eje de la -
 estructura, se sobreelevó un metro en la margen izquier-
 da y se redujo en un metro en la margen derecha la ele-
 vación del proyecto original en la estación - - - - -
 0 + 233.7135 .

A partir de ésta y hacia ambos extremos longitudinales
 se tiene una variación parabólica hasta ligarse con la
 elevación de la plantilla en las estaciones - - - - -
 0 + 175.000 y 292.427 correspondientes al principio
 y final de la curva.

Los perfiles de las márgenes derecha e izquierda se ob-
 tienen con las siguientes ecuaciones :

$$MD \quad y = 1.05 \times 10^{-7} - 0.21 x + 6.0 \times 10^{-4} x^2$$

$$MI \quad y = 1.09 \times 10^{-8} - 0.06 x - 5.44 \times 10^{-4} x^2$$

Al variar en forma diferente la plantilla en ambas már-

genes se origina una pendiente transversal variable también, a lo largo de esta sección.

Observaciones :

Para gastos pequeños (inferiores a $500 \text{ m}^3/\text{seg}$) el flujo tiende a pegarse al pie del talud de la margen de recha en todo el desarrollo de la curva.

Al incrementarse el gasto, el flujo es encauzado correctamente en todo el ancho de la rápida en la curva; sin embargo, para gastos iguales o mayores a $1500 \text{ m}^3/\text{seg}$ el funcionamiento tiende a ser defectuoso; pues en la margen izquierda se forma una gran sobreelevación (cresta), que origina una onda transversal con la zona aguas abajo de la curva.

m) Proyecto Modificado 13

Conservando en la margen izquierda la plantilla con la pendiente del proyecto original (que es de 0.1308 debido al desarrollo de la curva en esa margen) y reduciendo en 2.0 m el nivel de la margen derecha con respecto a la elevación del proyecto original en la estación 0 + 233.7135, se obtiene la variación que obedece las ecuaciones siguientes en el eje y la margen derecha respectivamente :

$$EC \quad y = 5.80 \times 10^{-9} - 0.1691 x + 2.9 \times 10^{-4} x^2$$

$$MD \quad y = 1.05 \times 10^{-7} - 0.21 x + 6.2 \times 10^{-4} x^2$$

Ver Figuras No. 4.21 a 4.24 .

Observaciones :

El funcionamiento ocasionado por esta modificación es conjuntamente con la solución adoptada en la Sección 1, el que produce un mejor comportamiento del flujo en la deflexión horizontal vertical derecha, pues aunque persiste la sobreelevación del nivel del agua en la margen izquierda y la diferencia de nivel entre los tirantes de ambas márgenes, ésta última se reduce notablemente y el agua se distribuye mejor en todo el ancho de la rápida, teniéndose en la superficie ondas de Mach de menor influencia en la descarga del deflector.

Otra ventaja que presenta esta modificación es que su operación resulta aceptable para todos los gastos ensayados, inclusive el gasto de diseño.

B.1. SECCION 3

A partir de la estación $0 + 292.427$ continúa la rápida con una curva vertical que permite la variación de pendiente de 0.135 a 0.05 en forma gradual, hasta la estación $0 + 295.000$. Aguas abajo de esta estación la rápida conserva su eje recto en planta y la pendiente 0.05 hasta la estación $0 + 424.50$ en la que se inicia la estructura disipadora de energía. Fig. No. 4.25 .

Observaciones :

El funcionamiento de esta sección es dependiente de las con

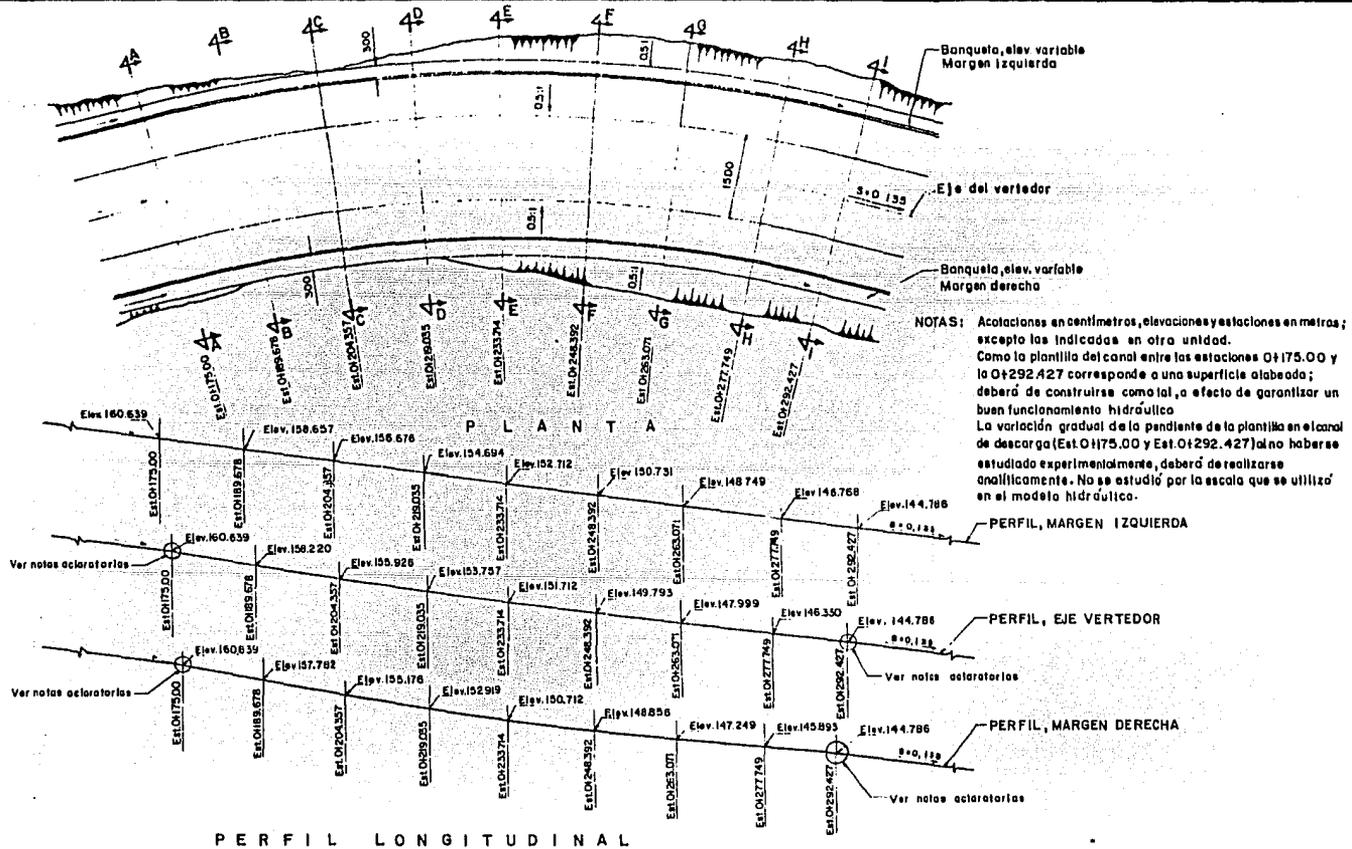
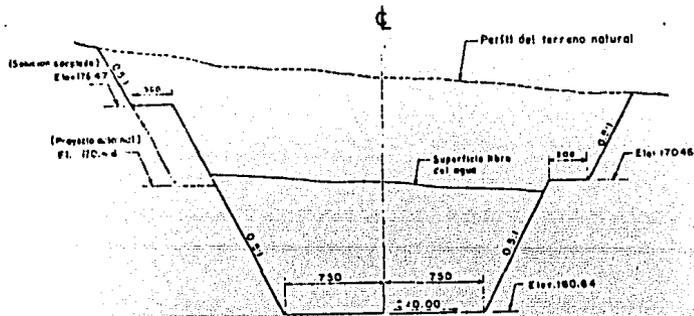
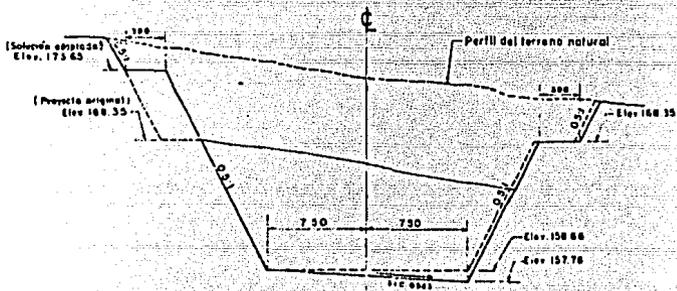


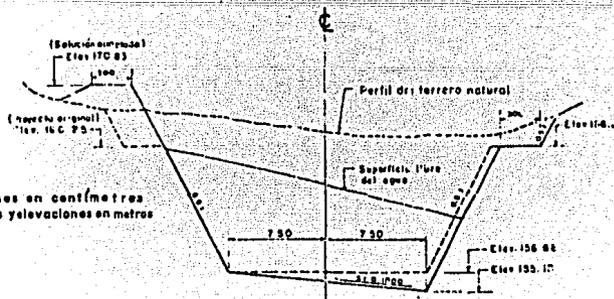
Fig. 4.21 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA "EL SABAL", SIN PARTE BAJA DE LA ESTRUCTURA PROYECTO MODIFICADO 13



CORTE A-A, EST. 0+175.00



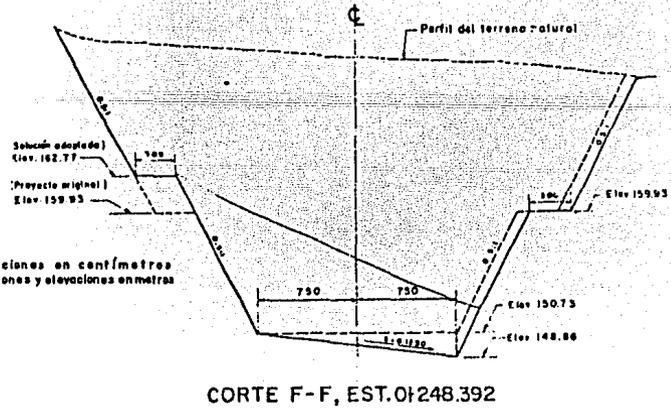
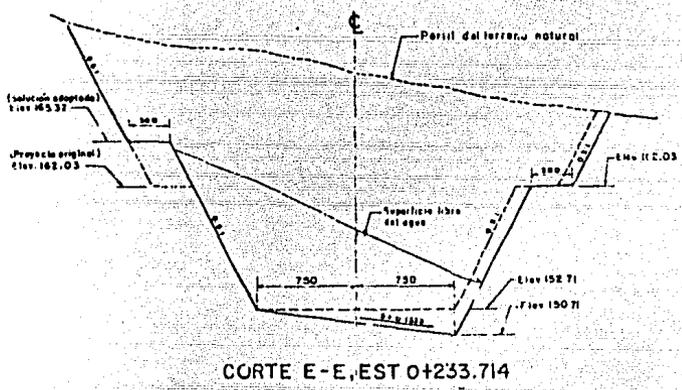
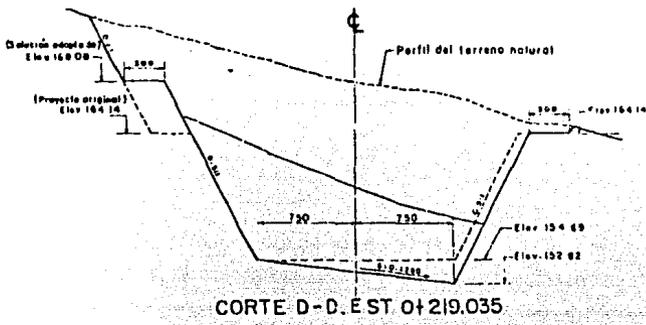
CORTE B-B, EST. 0+189.678



CORTE C-C, EST. 0+204.357

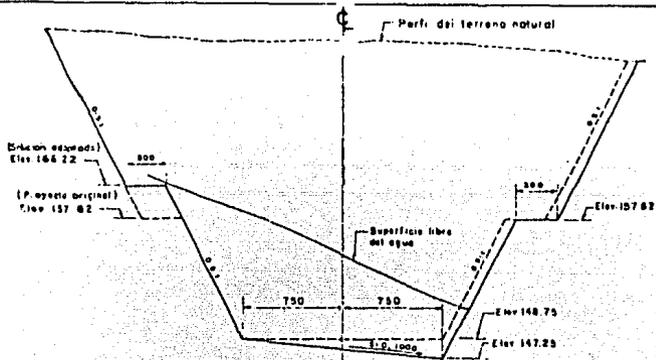
NOTA: Acolaciones en centímetros
estaciones y elevaciones en metros

Fig.4.22 CURVA HORIZONTAL SECCIONES TRANSVERSALES

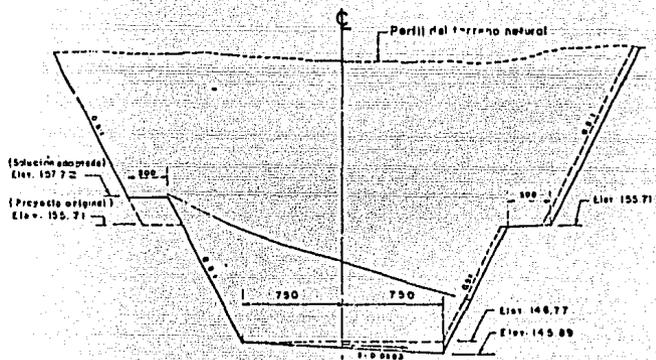


NOTA: Anotaciones en centímetros
estaciones y elevaciones en metros

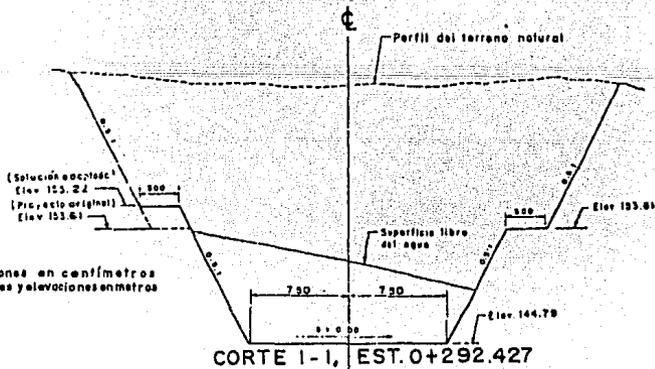
Fig.4.23 CURVA HORIZONTAL SECCIONES TRANSVERSALES



CORTE G-G, EST. 0+263.071



CORTE H-H, EST. 0+277.749



CORTE I-I, EST. 0+292.427

NOTA: Acolaciones en centímetros
estaciones y elevaciones en metros

Fig.4.24 CURVA HORIZONTAL SECCIONES TRANSVERSALES

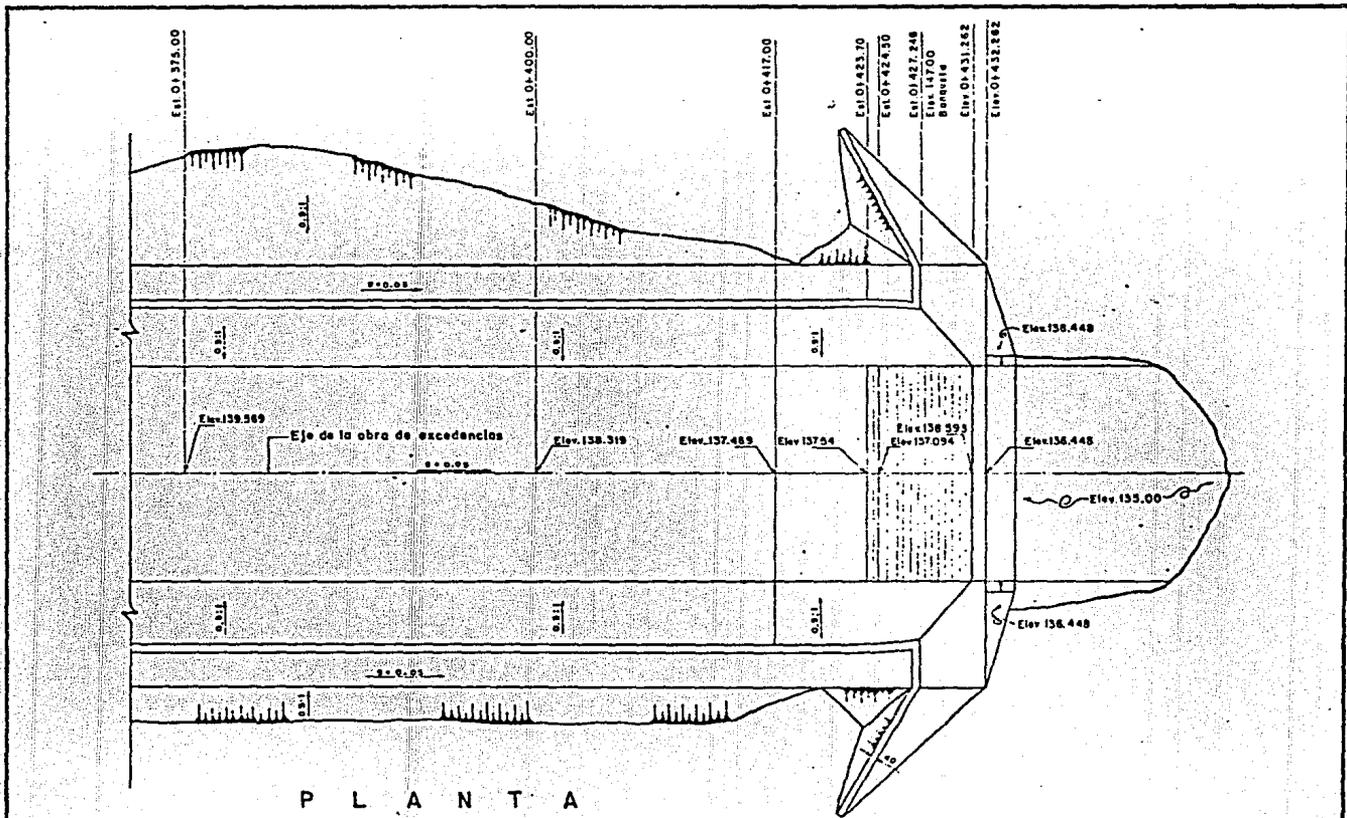


Fig. 4.25 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA "EL SABINAL" SIN. GEOMETRIA DE LA ESTRUCTURA DEFLECTORA

diciones hidráulicas de la rápida aguas arriba, por lo que al mejorar éstas en la transición y en la curva horizontal aumenta la eficiencia del comportamiento de esta zona. Por consiguiente, sus características geométricas propuestas en el proyecto original no se alteraron en ningún caso.

B.2. Cubeta Deflectora

La rápida conserva su pendiente de 0.05 hasta la estación 0 + 423.701 en la cual se inicia la curvatura de la cubeta disipadora de energía, que es circular con centro en la estación 0 + 424.50 , elevación 153.094 y radio de 16.0 m .

El labio deflector está situado en la estación - - - 0 + 431.262 a una elevación 138.593 y el ángulo de salida es de 25° . Figura No. 4.26 .

Observaciones

El funcionamiento hidráulico del deflector es muy eficiente con gastos de despegue mínimos, lo cual es muy conveniente pues se evita que para gastos de operación pequeños, la estructura derrame en la zona cercana al pie del deflector.

En esta sección únicamente se sobreelevó el nivel de las banquetas con respecto al proyecto original, ya que los tirantes se incrementaron como consecuencia de las modificaciones realizadas en las secciones 1 y 2 situadas aguas arriba del deflector.

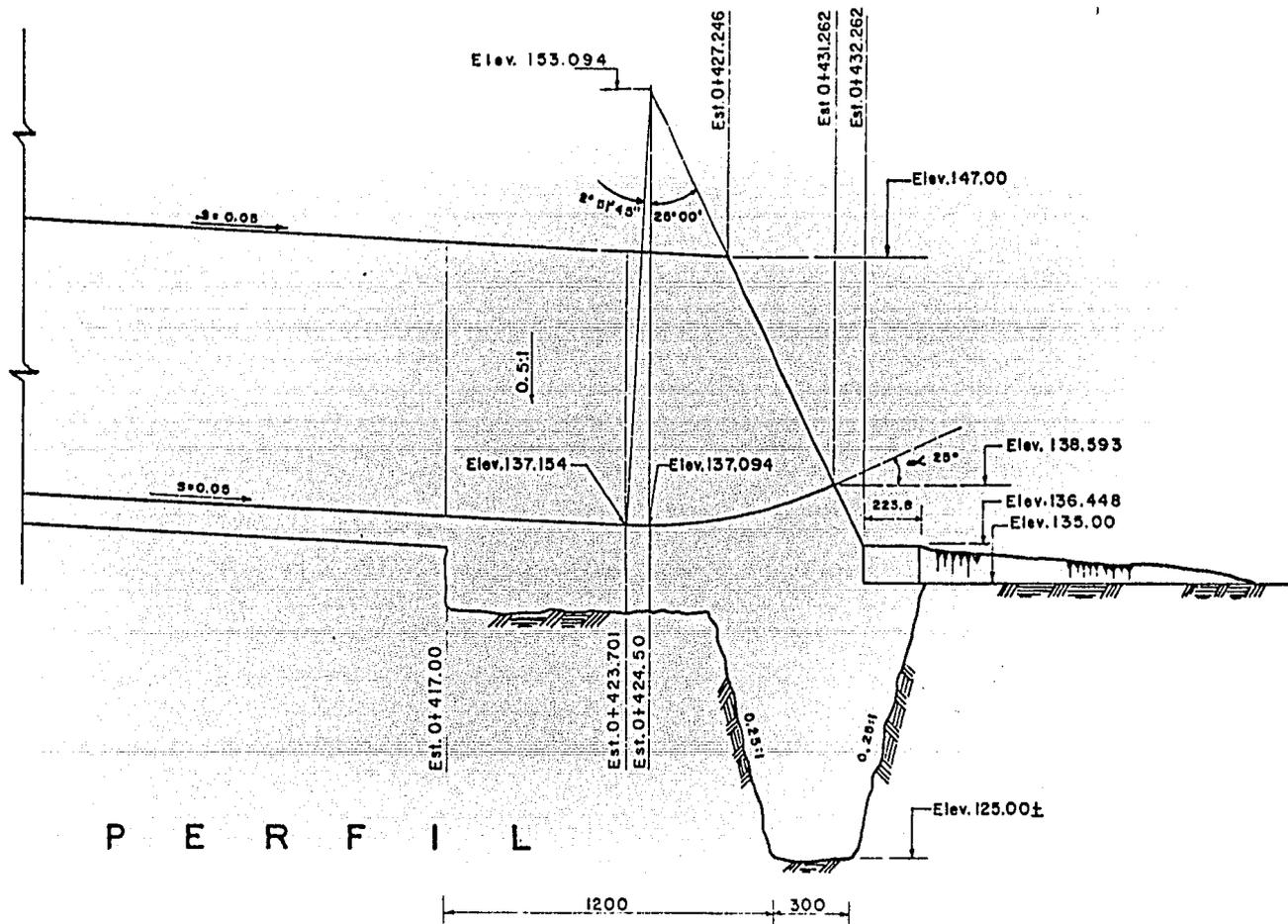


Fig 4.26 OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA "EL SABINAL" SIN. GEOMETRIA DE LA ESTRUCTURA DEFLECTORA

B.3. Canal de Salida

Como se especificó al inicio del capítulo, es básicamente un canal piloto a la elevación 135.00 que termina con dicha curva de nivel y que encauza las descargas al río cuando el vertedor opera con gastos inferiores a $60 \text{ m}^3/\text{seg}$ que es el gasto mínimo de despegue.

Sus características se conservaron en el estudio

C o n c l u s i o n e s :

La operación conjunta de las modificaciones efectuadas y adoptadas como definitivas para la Parte Baja de la Estructura :

Modificaciones 10 y 13 ; Cubeta Deflectora y canal de salida originales; si bien no son la alternativa óptima de solución dado que hidráulicamente son susceptibles de mejorar, constructivamente representan una ventaja pues no se altera considerablemente el proyecto original, que es un importante aspecto restrictivo del estudio.

C) Solución Adoptada. Funcionamiento Hidráulico

El comportamiento en conjunto de la estructura modificada es el siguiente :

El acceso trabaja eficientemente para todos los gastos, ya que el flujo es encauzado en dirección al cimacio sin alteraciones de ningún tipo. Para gastos mayores de 2000 m^3/seg se abate el nivel de la superficie libre del agua bruscamente, a causa del incremento de la velocidad del flujo, aunque ésto no afecta el comportamiento del mismo aguas abajo.

Entre el cimacio y el escalón construido en la estación 0 + 076.918, se presentan alteraciones cuya manifestación es mínima para el rango de gastos inferiores a 150 m^3/seg . Para gastos mayores, su influencia se incrementa a medida que aumenta el gasto, presentándose una inestabilidad generalizada ocasionada por las características geométricas del cimacio, el cual proyecta el flujo en dos direcciones: una paralela y otra diagonal al eje de la estructura y en cuya intersección se producen turbulencias, fluctuaciones de nivel, vórtices y corrientes ascendentes; debido a estos fenómenos la superficie libre del agua se sobreeleva de acuerdo a la magnitud del gasto. En la margen izquierda la sobreelevación es máxima entre las estaciones 0 + 015.287 y 0 + 076.918, mientras que en la margen derecha se presenta entre las estaciones 0 + 055.287 y 0 + 076.918.

El efecto de la reducción del área hidráulica en la unión del talud de la margen izquierda con el cimacio es la formación de un flujo concentrado paralelo al eje del vertedor; al intersectar el flujo proveniente en dirección diagonal se sobreeleva la superficie del flujo y se observa una tendencia a formar un "rizo" para el gasto de diseño.

En la Parte Baja de la Estructura se presenta la formación de ondas de Mach en la unión del umbral de la estación

0 + 077.418 con los taludes del canal y tienden a desaparecer para gastos mayores a $100 \text{ m}^3/\text{seg}$, dando lugar a la formación de ondas al inicio de la rápida caracterizadas por su oscilación lateral, con tendencia a desaparecer al inicio de la curva horizontal (estación 0 + 175.000). El nivel oscila principalmente entre las estaciones 0 + 136.918 y 0 + 175.

Con respecto a la curva horizontal, para el mismo intervalo de gastos el flujo se distribuye uniformemente en todo el ancho de la plantilla y debido al cambio de dirección, el flujo tiende a concentrarse en la margen izquierda, presentándose por ello tirantes mayores que los correspondientes a la margen derecha.

Para el gasto de diseño de $2450 \text{ m}^3/\text{seg}$, la sobreelevación alcanza su máximo nivel desbordando ocasionalmente por la margen izquierda entre las estaciones 0 + 248.592 y 0 + 277.748.

Este funcionamiento afecta las condiciones del flujo en la sección inmediata aguas abajo de la curva horizontal, por lo que el tirante se sobreleva y deprime alternativamente a lo largo de esa sección.

La estructura disipadora de energía funciona satisfactoriamente para todos los gastos de operación. Para gastos menores a $60 \text{ m}^3/\text{seg}$, el salto hidráulico de la descarga del flujo se realiza adherida al paño anterior del deflector, ya que el salto hidráulico se forma en la concavidad de la cubeta.

Para el gasto de $60 \text{ m}^3/\text{seg}$ el flujo es lanzado por la mis

ma, alcanzando una longitud de 7.50 m aproximadamente, con buena aereación y ventilación.

Con el gasto de diseño el flujo es descargado a una distancia de 68 m incidiendo en el terreno natural. De acuerdo al informe geológico, esta zona está formada por Niolitas - siendo mínimo el peligro de erosión y socavación.

Asimismo, de la información correspondiente a la curva de elevaciones - gastos en el Río Ocoroni, para un gasto de 2450 m³/seg la elevación correspondiente en el río es de 133.50 y al representar esta condición de frontera en el modelo hidráulico la descarga del deflector no se ahoga.

4.3.3. Determinación de la Curva Elevaciones-gastos para la Solución Adoptada

Hasta ahora, el estudio de la obra de excedencias de la Presa "El Sabinal", Sin., se ha limitado a efectuar cambios en sus secciones buscando la alternativa que cualitativamente produzca un mejor funcionamiento hidráulico.

Pero una vez que se ha aceptado una solución definitiva para el proyecto, es necesario analizar las variables que intervienen en el escurrimiento en forma cuantitativa.

Primeramente se determina la curva elevaciones-gastos correspondiente al proyecto El Sabinal, variando el gasto aportado al modelo en forma creciente hasta llegar al gasto de diseño registrando en forma tabular la siguiente información :

- Número de lectura

- Lectura en el Vertedor Thompson
- Gasto en el modelo
- Gasto con el prototipo
- Lectura del limnómetro en el modelo
- Carga en el vertedor del modelo
- Elevación del nivel del agua
- Coeficiente de descarga $C = Q/Le H^{3/2}$

La información obtenida se procesa en la siguiente forma :

A la lectura del limnómetro colocado en el tanque áforador (Fig. No. 4.27) , se sustrae el "cero" o lectura del vértice del vertedor triangular (previamente determinada a nivel) con lo cual se conoce la carga "h" en el vertedor triangular o Thompson. - Este dato se aplica en la fórmula de Hegly que es la utilizada - en el estudio El Sabinal y se obtiene con ella el gasto proporcionado al modelo.

Al transformar este gasto por la escala de gastos se determina - el caudal en el prototipo, el cual se grafica en la curva de gastos-elevaciones.

A la lectura del limnómetro colocado en el modelo (en la zona - correspondiente al "Vaso de la Presa") se sustrae el "cero" - o lectura del vertedor de medio abanico, también definida a nivel, con lo cual se obtiene la carga H en el vertedor del modelo y al transformar por la escala de líneas se determina la carga en el prototipo. Esta última aumentada a la elevación correspondiente a la cresta vertedora nos indica la elevación del nivel del agua en el vaso, la cual se grafica en la curva de gastos-elevaciones.

Este proceso se efectúa en forma sucesiva para diversos gastos -

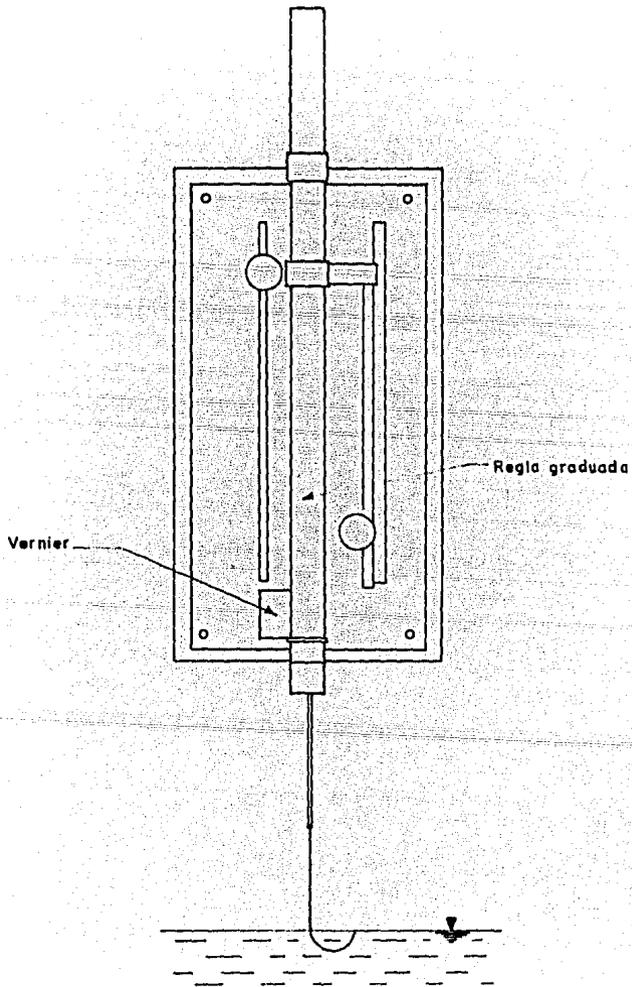


Fig. 4.27 LIMNIMETRO DE GANCHO

de operación de la estructura.

Al determinar por medio del modelo físico la carga correspondiente a cada gasto ensayado, se puede conocer experimentalmente el coeficiente de descarga con la relación.

$$C = \frac{Q}{L H^{3/2}}$$

C = coeficiente de descarga

Q = gasto

L = longitud cresta

H = carga s/cresta

el cual es indicativo de la eficiencia del vertedor para la alternativa de solución ensayada.

4.3.4. Datos de las Características del Flujo

Continuando con el estudio cuantitativo del modelo, se analizaron los tirantes y velocidades producidos por las modificaciones efectuadas en la estructura. La descripción de su procesamiento es la siguiente :

Tirantes Máximos

Para obtener las elevaciones de los mismos, el método utilizado en el laboratorio consiste en proporcionar al modelo un gasto determinado y utilizando pintura soluble al agua, se deja escurrir ésta por los taludes en las estaciones en que se desee conocer el tirante, con el fin de que la corriente defina su elevación a su paso por la estructura.

Una vez que se ha "trazado" el perfil del agua sobre los taludes de ambas márgenes, se suspende el suministro de agua al modelo y mediante el empleo del nivel y la regla metálica se miden las elevaciones correspondientes a los tirantes. Al transformar las lecturas obtenidas por la escala de líneas se definen los tirantes en prototipo.

Velocidades

El procedimiento para medir las velocidades que se presentan en el modelo es : utilizando el tubo de Prandtl, (Figura No. - - 4.28) sobre el eje de la estructura vertedora y que ha sido calibrado con anterioridad, obteniéndose las constantes de calibración :

$$u = 4.280047 (\Delta h \cos \theta)^{0.466748}$$

se coloca en las intersecciones del eje con las estaciones en que se va a determinar la velocidad, en dirección normal a la corriente.

La diferencia de niveles Δh entre las ramas verticales de un tubo piezométrico aplicada en la ecuación anterior, nos indica la velocidad que se presenta en la estación considerada.

Los tirantes y velocidades registradas nos permiten decidir cual es la elevación más conveniente en las banquetas; si los niveles de la superficie libre del agua no son excesivos (lo cual incrementa el costo del proyecto) , además de verificar que las velocidades que se presentan en el flujo se encuentran comprendidas en el rango aceptable para los materiales de construcción del vertedor.

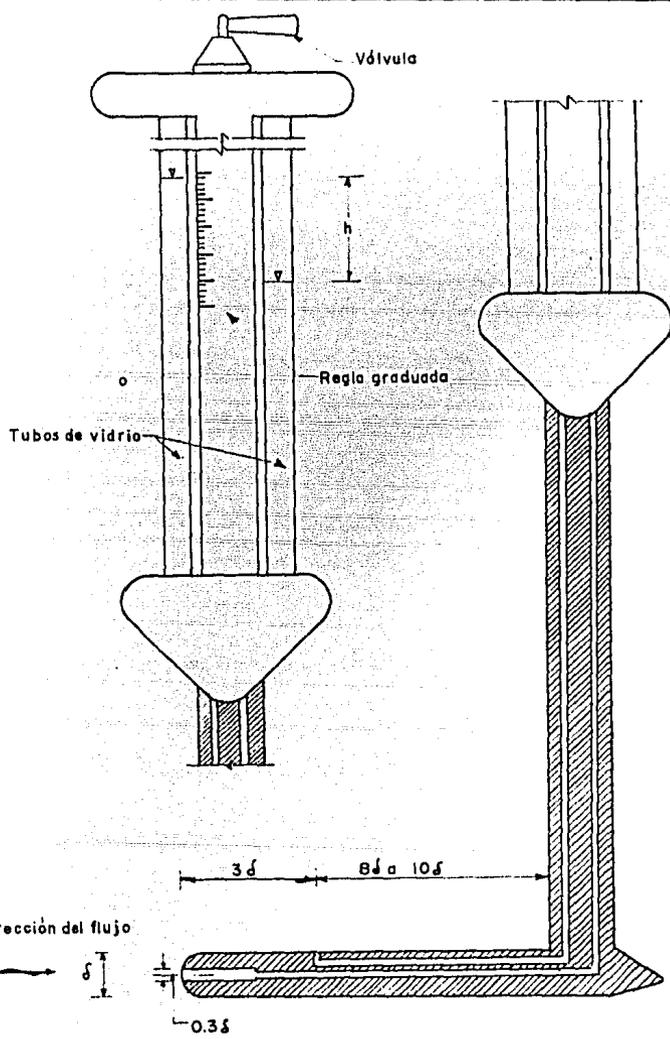


Fig. 4.28 TUBO DE PRANDTL PARA REGISTRO DE VELOCIDADES

4.3.5. Procesamiento de Resultados

De acuerdo a la secuencia descrita para la determinación de la curva elevaciones-gastos, se procedió a elaborar la misma para la solución adoptada, obteniéndose los registros que se muestran en la Tabla de la Figura No. 4.29 de los cuales se concluye que :

La elevación del name obtenida en forma experimental es de 196.70 o sea que excede en 9 cm al NAME del proyecto original. Figura No. 4.30 .

Asimismo, el coeficiente de descarga obtenido para el gasto de 2450 m³/seg es de 1.933 , siendo ligeramente menor que el correspondiente al proyecto original cuyo valor es de 1.965 . Figura No. 4.31 .

Al definir experimentalmente el gasto mínimo de despegue, se cuantificó su magnitud en 60 m³/seg , con una longitud de salto de 7.50 m asociado a un período de retorno de 1.24 años.

Con respecto a los registros de elevaciones - tirantes - velocidades, se obtuvieron para los gastos de 500 , 1000 , 1500 , 2000 y 2450 m³/seg , los cuales se muestran en las Tablas de las Figuras Nos. 4.32 a 4.36 .

En ellas se observa que la velocidad máxima registrada es de 26.37 m/seg para un gasto de 2450 m³/seg .

Las velocidades consignadas en estos registros corresponden a valores instantáneos y en el prototipo se presentan a 22.5 cm del piso del canal. Los valores de los tirantes representan fluctuaciones máximas de nivel.

De los ensayos efectuados, una característica importante que se presenta para gastos iguales o mayores que $500 \text{ m}^3/\text{seg}$ se producen caídas de presión en la zona comprendida entre el cimacio y el umbral de la rápida. Aunque no se analizaron en forma cuantitativa, se advierten como una inversión de los niveles del flujo en el tubo de Prandtl.

El perfil hidráulico correspondiente a la solución adoptada para el gasto de diseño de $2450 \text{ m}^3/\text{seg}$, así como la sobreelevación de las banquetas con respecto al proyecto original se muestran en la Fig. No. 4.37 .

FIGURA No. 4.29

REGISTROS DE LA CURVA DE GASTOS DEL VERTEDOR DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA "EL SABINAL" , SIN.

$E_L = 75$ $Q_{\text{máx.}} = 2\,450 \text{ m}^3/\text{seg}$ "O" VERT. TRIANG. = 19.90 ELEV. CRESTA V. = 188.45

$E_q = (E_L)^{5/2} = (75)^{5/2} = 48\,713.929$ $Q_{\text{máx.}} = 50,294 \text{ lt/seg}$ "O" BOTE MODELO = 13.60 ELEV. CORONA C. = 199.00

No.	LECTURA VERTEDOR TRIANGULAR cm	h VERTEDOR cm	GASTO EN MODELO lt/seg	GASTO EN PROTOTIPO m ³ /s	LECTURA BOTE DEL MODELO cm	h MODELO cm	H VERTEDOR m	ELEVACION NIVEL AGUA m	C COEFICIENTE DE GASTO
1	24.65	4.75	0.7668	37.35	14.28	0.68	0.51	188.96	1.92
2	28.04	8.14	2.8009	136.44	15.27	1.67	1.2525	189.7025	1.82
3	25.62	5.72	1.1954	58.23	14.57	0.97	0.7275	189.1775	1.75
4	25.82	5.92	1.2982	63.24	14.63	1.03	0.7725	189.2225	1.74
5	26.96	7.06	1.9843	96.66	14.97	1.37	1.0275	189.48	1.73
6	30.88	10.98	5.8065	282.85	16.34	2.74	2.055	190.50	1.79
7	33.76	13.86	10.275	500	17.48	3.88	2.91	191.36	1.88
8	35.22	15.32	13.1425	640	18.12	4.52	3.39	191.84	1.92
9	36.80	16.90	16.7342	815	18.87	5.27	3.95	192.40	1.94
10	38.26	18.36	20.5259	1000	19.57	5.97	4.48	192.93	1.97
11	39.42	19.52	23.8753	1163	20.15	6.55	4.91	193.36	2.00
12	39.48	19.58	24.0568	1172	20.17	6.57	4.93	193.38	2.00
13	40.62	20.72	27.6645	1348	20.73	7.19	5.39	193.87	2.01
14	41.55	21.65	30.8343	1502	21.36	7.76	5.82	194.27	2.00
15	43.00	23.10	36.1940	1763	22.16	8.56	6.42	194.87	2.03
16	43.80	23.90	39.3742	1918	22.63	9.03	6.77	195.22	2.04

No.	LECTURA VER TEDOR TRIAN GULAR cm	h VERTEDOR cm	GASTO EN MODELO lt/seg	GASTO EN PROTOTI- PO m ³ /s	LECTURA BO TE DEL MO- DELO cm	h MODELO cm	II VERTEDOR cm	ELEVACION NI VEL AGUA m	C COEFICIENTE DE GASTO
17	43.53	23.63	38.2829	1865	22.60	9.00	6.75	195.20	1.99
18	44.23	24.33	41.1503	2005	23.06	9.46	7.10	195.55	1.98
19	45.09	25.19	44.8448	2185	23.58	9.98	7.49	195.94	1.99
20	45.61	25.74	47.3081	2305	24.04	10.44	7.83	196.28	1.97
21	46.35	26.45	50.6056	2465	24.56	10.96	8.22	196.67	1.96
22	46.76	26.86	52.5709	2361	24.84	11.24	8.43	196.88	1.96
1	42.51	22.61	34.3251	1672	21.91	8.31	6.23	194.68	2.01
2	43.42	23.52	37.8436	1844	22.51	8.91	6.68	195.13	2.00
3	45.10	25.20	44.8888	2187	23.66	10.06	7.55	196.00	1.97
4	46.12	26.22	49.5228	2412	24.47	10.87	8.15	196.60	1.94
5	46.30	26.40	50.3690	2454	24.64	11.04	8.28	196.73	1.93
6	47.00	27.10	53.7422	2618	25.13	11.53	8.65	197.10	1.92
7	47.38	27.48	55.6300	2710	25.46	11.86	8.90	197.35	1.91
8	47.71	27.81	57.30	2791	25.73	12.13	9.10	197.55	1.90
9	48.11	28.21	59.36	2892	26.12	12.52	9.33	197.84	1.88

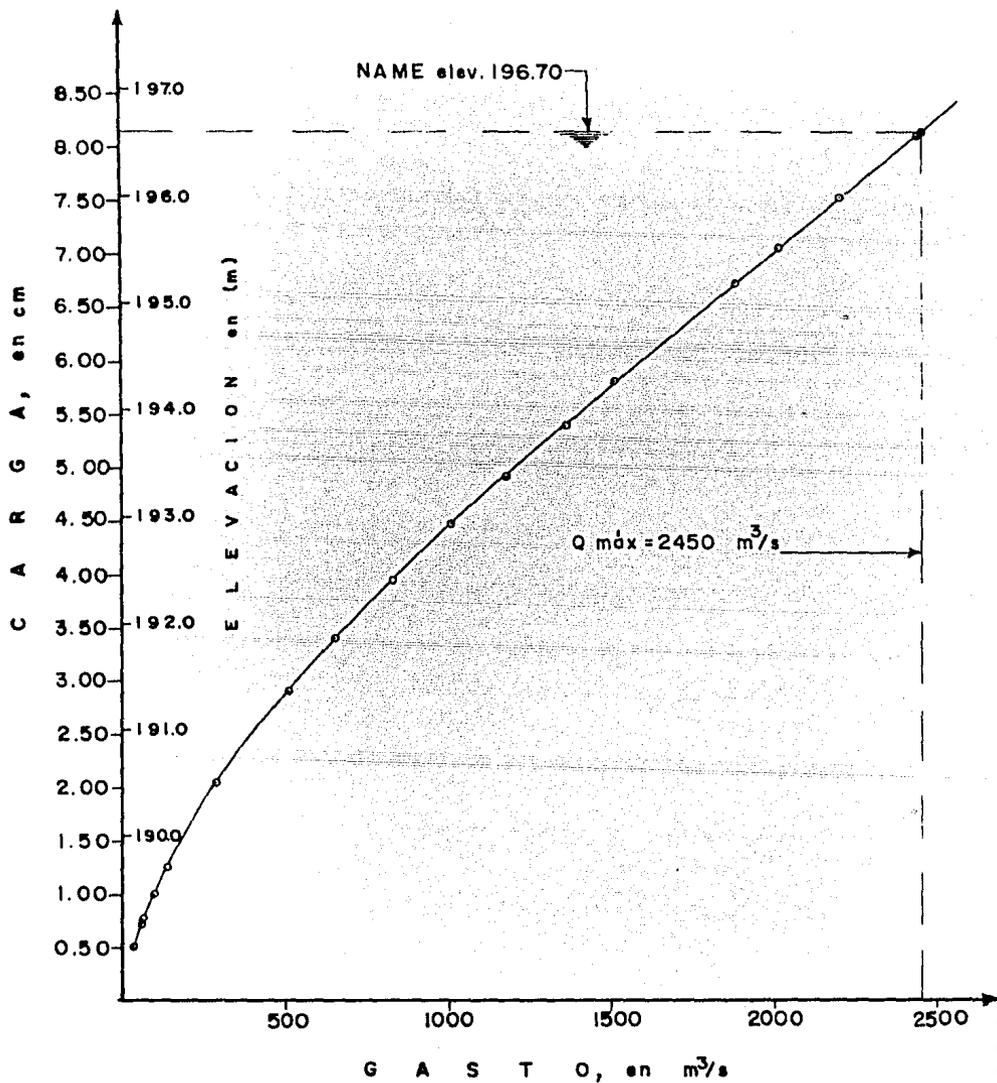


Fig.4.30 CURVA ELEVACIONES -GASTOS DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA^m EL SABINAL^m, SIN.

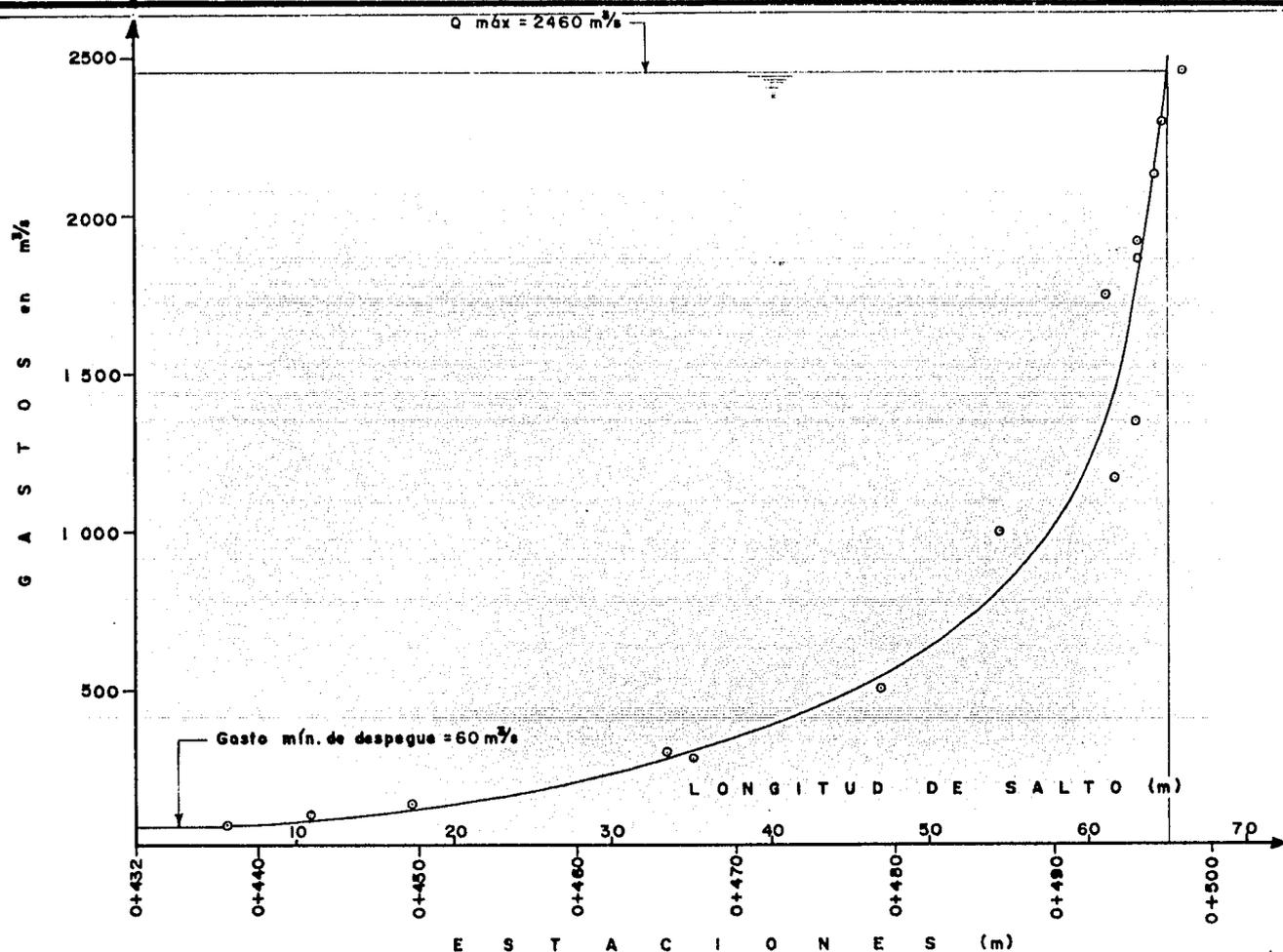


Fig. 43 CURVA DE GASTOS-LONGITUDES DE LANZAMIENTO DEL FLUJO EN LA OBRA DE EXCEDENCIAS DE LA PRESA "EL SABINAL, SIN.

FIGURA No. 4.32 .- CARACTERISTICAS DEL FLUJO. SOLUCION ADOPTADA $Q = 500 \text{ m}^3/\text{seg.}$

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y _{PROM} m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0-054.713		192.05					
0-044.713		191.98		5.98	1.47	5.98	0.19
0-034.713		191.90		5.90	1.47	5.90	0.19
0-024.713		191.83		5.83	1.47	5.83	0.19
0-014.713		191.75		5.75	0	5.75	0.00
0-004.713		191.75		5.75	0	5.75	0.00
0+005.287		189.80		3.18		3.18	
0+015.287		187.18		9.73		9.73	
0+025.287		189.61		12.81		12.81	
0+035.287		190.85		14.05	+	14.05	0.13
0+045.287	188.30	189.80	11.50	13.00	+	12.25	0.22
0+055.287	189.05	189.20	12.25	12.40	+	12.33	0.19
0+065.287	189.20	188.60	13.75	13.15	+	13.45	0.20
0+076.918	188.45	188.68	14.57	14.80	6.08	14.69	0.51
0+086.918	185.23	185.30	5.12	5.19	11.09	5.16	1.56
0+096.918	181.03	180.50	3.92	3.39	13.09	3.66	2.19
0+106.918	177.65	176.83	3.33	2.51	14.07	2.92	2.63
0+116.918	174.65	174.24	2.91	2.50	14.89	2.71	2.89
0+126.918	172.10	171.58	2.75	2.25	16.79	2.50	3.40
0+136.918	170.15	169.93	2.98	2.76	17.63	2.87	3.33
0+146.918	168.80	169.18	3.62	4.00	17.78	3.81	2.91
0+156.918	167.08	167.90	3.69	4.51	18.12	4.10	2.86
0+166.918	165.28	165.50	3.59	3.81	18.91	3.70	3.14
0+175.000	163.33	163.85	2.69	3.21	19.54	2.95	3.64
0+189.678	159.88	161.53	2.10	2.87	18.97	2.49	3.84
0+204.357	156.65	160.10	1.47	3.42	18.87	2.45	3.85
0+219.035	154.25	158.68	1.43	3.99	21.13	2.71	4.10

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y _{PROM.} m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0+233.714	152.00	157.48	1.29	4.77	21.21	3.03	3.90
0+248.392	150.13	155.38	1.27	4.65	21.15	2.96	3.93
0+263.071	148.85	152.49	1.60	3.74	20.90	2.67	4.09
0+277.748	147.13	150.20	1.24	3.43	20.10	2.32	4.22
0+292.427	145.70	148.55	0.91	3.76	21.54	2.34	4.50
0+302.427	144.80	147.13	1.25	3.58	21.27	2.42	4.37
0+312.427	145.33	145.63	2.60	2.90	21.21	2.75	4.09
0+322.427	144.80	144.61	2.58	2.39	20.89	2.49	4.23
0+332.427	143.98	143.75	2.26	2.03	21.22	2.15	4.63
0+342.427	143.38	143.11	2.16	1.89	22.72	2.03	5.10
0+352.427	143.08	142.48	2.36	1.76	23.73	2.06	5.29
0+362.427	143.15	141.91	2.93	1.69	23.90	2.31	5.03
0+372.427	142.85	141.28	3.13	1.56	23.81	2.35	4.97
0+382.427	142.18	140.68	2.96	1.46	22.60	2.21	4.86
0+392.427	141.35	140.15	2.63	1.43	21.95	2.03	4.93
0+402.427	140.53	139.63	2.31	1.41	20.42	1.86	4.79
0+412.427	139.93	139.03	2.21	1.31	20.45	1.76	4.93
0+422.427	139.40	138.65	2.18	1.43	17.84	1.81	4.24
LABIO	140.83	140.68			20.65		

* LOS VALORES OBTENIDOS CORRESPONDEN A FLUCTUACIONES MAXIMAS.

** LAS VELOCIDADES SON INSTANTANEAS CORRESPONDERIAN A 22,5 cm DEL PISO DEL CANAL

+ CAIDAS DE PRESION (\$UBPRESION)

FIGURA No. 4.33 .- CARACTERISTICAS DEL FLUJO. SOLUCION ADOPTADA $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{seg}$

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y PROM. m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0-054.713							
0-044.713		193.70		7.70	1.47	7.70	0.17
0-034.713		193.63		7.63	1.47	7.63	0.17
0-024.713		195.55		7.55	1.47	7.55	0.17
0-014.713		193.40		7.40	0	7.40	
0-004.713		193.10		7.10	0	7.10	
0+005.287		191.38		4.76		4.76	
0+015.287		190.03		12.58		12.58	
0+025.287		193.03		16.23		16.23	
0+035.287		193.48		16.68	5.22	16.68	0.41
0+045.287	191.15	192.35	14.35	15.55	0	14.95	
0+055.287	191.45	191.30	14.65	14.50	2.46	14.58	0.21
0+065.287	191.83	190.85	16.38	15.40	1.47	15.89	0.12
0+076.918	191.00	190.40	17.12	16.52	8.02	16.82	0.63
0+086.918	188.15	187.18	8.04	7.07	9.80	7.56	1.14
0+096.918	183.73	183.09	6.62	5.98	13.52	6.30	1.72
0+106.918	180.73	178.25	6.41	3.93	14.32	5.17	2.01
0+116.218	178.18	175.48	6.44	3.74	15.36	5.09	2.18
0+126.918	175.10	172.89	5.77	3.56	16.37	4.67	2.42
0+136.918	172.85	170.98	5.68	3.81	17.44	4.75	2.56
0+146.918	170.98	170.23	5.80	5.05	17.90	5.43	2.46
0+156.918	169.55	169.55	6.16	6.16	18.39	6.16	2.37
0+166.918	167.08	167.90	5.39	6.21	18.34	5.80	2.44
0+175.000	164.98	166.70	4.34	6.06	19.00	5.20	2.66
0+189.678	161.00	163.33	3.22	4.67	18.71	3.95	3.01
0+204.357	157.78	162.84	2.60	6.16	18.61	4.38	2.84
0+219.035	155.00	162.28	2.18	7.59	20.02	4.89	2.89

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y _{PROM.} m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0+233.714	152.83	160.44	2.12	7.73	20.31	4.93	2.92
0+248.392	151.03	157.55	2.17	6.82	20.35	4.50	3.07
0+263.071	149.53	154.44	2.28	5.69	20.53	3.99	3.29
0+277.748	147.88	152.15	1.99	5.38	20.54	3.69	3.42
0+292.427	146.60	150.20	1.81	5.41	22.90	3.61	3.85
0+302.427	145.74	148.59	2.19	4.54	22.68	3.37	3.95
0+312.427	146.23	147.50	3.50	4.77	23.31	4.14	3.66
0+322.427	146.23	146.30	4.01	4.08	23.58	4.05	3.75
0+332.427	145.63	145.25	3.91	3.53	23.23	3.72	3.85
0+342.427	145.18	144.13	3.96	2.91	23.41	3.44	4.04
0+352.427	144.76	143.45	4.04	2.73	23.50	3.39	4.08
0+362.427	144.28	142.78	4.06	2.56	23.76	3.31	4.18
0+372.427	143.98	142.10	4.26	2.38	23.70	3.32	4.16
0+382.427	143.68	141.58	4.46	2.36	22.88	3.41	3.96
0+392.427	143.34	140.98	4.62	2.26	22.72	3.44	3.92
0+402.427	142.40	140.53	4.18	2.31	22.75	3.25	2.91
0+412.427	141.73	140.00	4.01	2.28	22.79	3.15	4.11
0+422.427	140.98	140.60	3.76	3.38	18.39	3.57	3.11
LABIO	142.03	143.08			23.69		

* LOS VALORES OBTENIDOS CORRESPONDEN A FLUCTUACIONES MAXIMAS,
** LAS VELOCIDADES SON INSTANTANEAS CORRESPONDERIAN A 22,5 cm DEL PISO DEL CANAL.
+ CAIDAS DE PRESION (SUBPRESION)

FIGURA No. 4.34 .- CARACTERISTICAS DEL FLUJO. SOLUCION ADOPTADA $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{seg.}$

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y PROM. m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0-054.713							
0-044.713		194.90		8.90	0	8.90	0
0-034.713		194.98		8.98	0	8.98	0
0-024.713		194.90		8.90	0	8.90	0
0-014.713		194.75		8.75	0	8.75	0
0-004.713		194.30		8.30	1.47	8.50	0.16
0+005.287							
0+015.287		192.80		15.35		15.35	
0+025.287		194.23		17.43		17.43	
0+035.287		194.23		17.43	5.97	17.43	0.46
0+045.287	193.93	193.48	17.13	16.68	7.10	16.91	0.55
0+055.287	193.40	192.50	16.60	15.70	7.33	16.15	0.58
0+065.287	193.25	191.45	17.80	16.00	4.86	16.90	0.38
0+076.918	192.28	191.83	18.40	17.95	9.77	18.18	0.73
0+086.918	189.50	190.25	9.39	10.14	7.17	9.77	0.73
0+096.928	185.15	186.05	8.04	8.94	12.48	8.49	1.37
0+106.918	181.63	180.80	7.30	6.48	14.32	6.89	1.74
0+116.918	179.45	176.08	7.71	4.34	15.45	6.03	2.01
0+126.918	176.53	175.03	7.17	5.67	16.62	6.42	2.10
0+136.918	174.43	172.70	7.25	5.53	17.63	6.39	2.23
0+146.918	173.08	171.65	7.89	6.47	17.63	7.18	2.10
0+156.918	172.18	170.60	8.78	7.21	18.99	8.00	2.15
0+166.918	169.55	169.25	7.86	7.56	18.94	7.71	2.18
0+175.000	167.00	167.30	6.36	6.66	20.14	6.51	2.52
0+189.678	162.20	164.98	4.42	6.32	18.37	5.37	2.53
0+204.357	158.68	163.70	3.50	7.02	18.94	5.26	2.64
0+219.035	155.98	163.85	3.16	9.16	20.02	6.16	2.58

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y PROM. m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0+233.714	153.73	162.58	3.01	9.86	20.78	6.44	2.62
0+248.592	151.93	160.33	3.07	9.59	20.99	6.33	2.67
0+263.071	150.43	156.80	3.18	8.05	20.73	5.62	2.80
0+277.748	148.70	153.73	2.81	6.96	21.04	4.89	3.04
0+292.427	147.20	151.48	2.41	6.69	22.78	4.55	3.41
0+302.427	146.30	149.90	2.75	6.35	22.86	4.55	3.43
0+312.427	146.38	148.70	3.64	5.97	24.15	4.81	3.52
0+322.427	146.75	147.50	4.53	5.28	25.15	4.91	3.63
0+332.427	147.20	146.60	5.48	4.88	24.15	5.18	3.39
0+342.427	147.05	145.48	5.83	4.26	23.64	5.05	3.36
0+352.427	146.68	144.58	5.96	3.86	23.73	4.91	3.42
0+362.427	145.96	143.83	5.74	3.61	23.17	4.68	3.42
0+372.427	145.18	143.15	5.46	3.43	22.82	4.45	3.46
0+382.427	144.35	142.48	5.13	3.26	22.62	4.20	3.54
0+392.427	143.83	141.88	5.11	3.16	22.88	4.14	3.59
0+402.427	143.08	141.50	4.86	3.28	22.94	4.07	3.64
0+412.427	142.48	141.35	4.76	3.63	23.41	4.20	3.65
0+422.427	142.10	143.68	4.88	6.46	18.62	5.67	2.50
LABIO	143.00	144.80			24.64		

* LOS VALORES OBTENIDOS CORRESPONDEN A FLUCTUACIONES MAXIMAS.
 ** LAS VELOCIDADES SON INSTANTANEAS CORRESPONDERIAN A 22.5 cm DEL PISO DE CANAL
 + CAIDAS DE PRESION (SUBPRESION)

FIGURA No. 4.35 .- CARACTERISTICAS DEL FLUJO. SOLUCION ADOPTADA $Q = 2000 \text{ m}^3/\text{seg.}$

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y _{PROM.} m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0-054.713							
0-044.713		195.88		9.88	0	9.88	
0-034.713		195.88		9.88	0	9.88	
0-024.713		195.73		9.73	1.47	9.73	0.15
0-014.713		195.65		9.65	2.04	9.65	0.21
0-004.713		195.35		9.35	2.04	9.35	0.21
0+005.287		194.08		7.46		7.46	
0+015.287		194.30		16.85		16.85	
0+025.287		195.05		18.25		18.25	
0+035.287		194.68		17.88	5.05	17.88	0.38
0+045.287	194.00	194.08	17.20	17.28	6.75	17.24	0.52
0+055.287	194.60	193.33	17.80	16.53	8.35	17.17	0.64
0+065.287	194.30	192.43	18.85	16.98	6.22	17.92	0.47
0+076.918	193.10	912.73	19.22	18.85	10.88	19.04	0.80
0+086.918	190.85	191.04	10.74	10.93	6.72	10.84	0.65
0+096.918	186.58	186.88	9.46	9.76	12.98	9.61	1.34
0+106.918	182.23	182.15	7.90	7.83	14.27	7.87	1.62
0+116.918	178.93	177.58	7.19	5.84	15.58	6.52	1.95
0+126.918	176.45	174.35	7.10	5.00	16.87	6.05	2.19
0+136.918	175.70	172.70	8.53	5.53	18.22	7.03	2.19
0+146.918	174.05	172.18	8.87	6.99	17.98	7.93	2.04
0+156.918	172.25	171.95	8.86	8.56	18.32	8.71	1.98
0+166.918	170.38	171.13	8.58	9.33	18.17	8.96	1.94
0+175.000	168.43	169.25	7.79	8.61	19.14	8.20	2.13
0+189.678	163.63	166.18	5.84	7.52	18.59	6.68	2.30
0+204.357	159.80	164.68	4.62	8.00	19.16	6.31	2.44
0+219.035	156.73	164.45	3.91	9.76	20.43	6.84	2.50

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y PRCM. m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0+233.714	154.18	163.63	3.46	10.91	20.31	7.19	2.42
0+248.592	152.23	161.98	3.37	11.24	20.49	7.31	2.42
0+263.071	150.88	158.83	3.63	10.08	21.13	6.86	2.58
0+277.748	149.53	155.60	3.63	8.83	21.66	6.23	2.77
0+292.427	148.25	152.60	3.46	7.81	22.57	5.64	3.04
0+302.427	147.35	150.88	3.80	7.32	22.50	5.56	3.05
0+312.427	147.13	149.45	4.39	6.72	23.49	5.56	3.19
0+322.427	147.35	148.25	5.13	6.03	23.84	5.58	3.23
0+332.427	147.73	147.13	6.01	5.41	24.82	5.71	3.32
0+342.427	148.18	146.00	6.96	4.78	24.13	5.87	3.18
0+352.427	148.25	145.10	7.53	4.38	23.32	5.96	3.05
0+362.427	148.03	144.35	7.81	4.13	22.82	5.97	2.99
0+372.427	147.28	143.83	7.56	4.11	23.41	5.84	3.10
0+382.427	146.30	143.08	7.08	3.86	22.63	5.47	3.09
0+392.427	145.18	142.55	6.46	3.83	22.14	5.15	3.12
0+402.427	143.98	142.18	5.76	3.96	21.95	4.86	3.18
0+412.427	143.00	142.25	5.28	4.53	22.66	4.91	3.27
0+422.427	142.48	144.73	5.26	7.51	17.23	6.39	2.18
LABIO	143.30				25.43		

- * LOS VALORES OBTENIDOS CORRESPONDEN A FLUCTUACIONES MAXIMAS.
** LAS VELOCIDADES SON INSTANTANEAS CORRESPONDERIAN A 22.5 cm DEL PISO DEL CANAL.
+ CAIDAS DE PRESION (SUBPRESION)

FIGURA No. 4.36 .- CARACTERISTICAS DEL FLUJO. SOLUCION ADOPTADA $Q = 2450 \text{ m}^3/\text{seg.}$

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y PROM. m	No. FROUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0-054.713							
0-044.713		197.00		11.00	2.04	11.00	0.20
0-034.713		197.00		11.00	2.04	11.00	0.20
0-024.713		196.96		10.96	2.04	10.96	0.20
0-014.713		196.81		10.81	2.04	10.81	0.20
0-004.713		196.29		10.29	2.82	10.29	0.28
0+005.287		195.39		8.77		8.77	
0+015.287		195.76		18.32		18.32	
0+025.287		195.95		19.15		19.15	
0+035.287		195.80		19.00	5.38	19.00	0.39
0+045.287	194.79	195.01	17.99	18.21	6.24	18.10	0.47
0+055.287	195.91	194.19	19.11	17.39	8.15	18.25	0.61
0+065.287	196.89	193.36	21.44	17.91	4.86	19.68	0.35
0+076.918	195.61	193.51	21.73	19.63	11.29	20.68	0.79
0+086.918	192.54	192.01	12.43	11.90	+	12.17	0.22
0+096.918	188.41	188.19	11.30	11.08	12.24	11.19	1.17
0+106.918	183.84	183.50	9.52	9.18	14.57	9.35	1.52
0+116.918	180.31	178.96	8.58	7.23	15.76	7.91	1.79
0+126.918	177.50	175.51	8.15	6.16	16.66	7.16	1.99
0+136.918	175.44	173.79	8.27	6.62	17.35	7.45	2.03
0+146.918	174.05	172.21	8.87	7.03	18.13	7.95	2.06
0+156.918	172.74	172.21	9.35	8.82	18.58	9.09	1.97
0+166.918	171.09	172.29	9.30	10.50	18.72	9.90	1.90
0+175.000	169.59	171.24	8.95	10.60	19.86	9.78	2.03
0+189.678	164.83	168.39	7.04	9.73	18.89	8.39	2.09
0+204.357	160.74	165.91	5.56	9.24	19.91	7.40	2.34
0+219.035	157.29	165.46	4.47	10.77	21.10	7.62	2.44

ESTACION	ELEV. DEL AGUA * (m)		TIRANTES * (m)		VELOCIDADES** (m/seg) POR EL EJE	Y PROM. m	No. FRUDE
	M. DER.	M. IZQ.	M. DER.	M. IZQ.			
0+233.114	154.66	164.94	3.95	12.23	20.67	8.09	2.32
0+248.592	152.56		3.71		20.48		
0+263.071	151.10		3.85		21.54		
0+277.748	150.01		4.12		21.36		
0+292.427	149.08	153.88	4.29	9.09	22.69	6.69	2.81
0+302.427	148.44	151.81	4.88	8.26	22.47	6.57	2.80
0+312.427	148.51	150.16	5.78	7.43	22.78	6.61	2.83
0+322.427	148.63	148.59	6.41	6.37	23.64	6.39	2.99
0+332.427	148.66	147.39	6.94	5.67	24.18	6.31	3.08
0+342.427	148.89	146.34	7.67	5.12	23.55	6.40	2.98
0+352.427	149.15	145.51	8.43	4.79	23.90	6.61	2.97
0+362.427	149.19	144.76	8.97	4.54	22.85	6.76	2.81
0+372.427	148.59	144.20	8.87	4.48	23.20	6.68	2.87
0+382.427	147.76	143.56	8.54	4.34	22.79	6.44	2.87
0+392.427	146.68	143.23	7.96	4.51	22.79	6.24	2.92
0+402.427	145.33	143.19	7.11	4.97	22.79	6.04	2.97
0+412.427	144.05	143.26	6.33	5.54	22.82	5.94	2.99
0+422.427	143.19	145.89	5.97	8.67	17.27	7.32	2.04
LABIO	143.79	146.71			26.37		

* LOS VALORES OBTENIDOS CORRESPONDEN A FLUCTUACIONES MAXIMAS.

** LAS VELOCIDADES SON INSTANTANEAS CORRESPONDERIAN A 22.5 cm DEL PISO DEL CANAL.

+ CAIDA DE PRESION (SUBPRESION)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las modificaciones ensayadas durante el estudio experimental en modelo reducido del vertedor de excedencias de la Presa "El Sabinal" , Sin., fueron propuestas teniendo como principal objetivo mejorar las condiciones de escurrimiento del Proyecto Original, descritas en el Capítulo No. 4 .

Las deficiencias observadas en el mismo se deben principalmente a que el comportamiento de la Parte Alta de la Estructura corresponde más bien al de un vertedor de canal lateral, pues el cimacio proyecta la mayor parte del flujo en dirección casi normal al eje de la estructura, debido a que ésta no cumple con las normas de diseño aplicables a los vertedores de medio abanico.

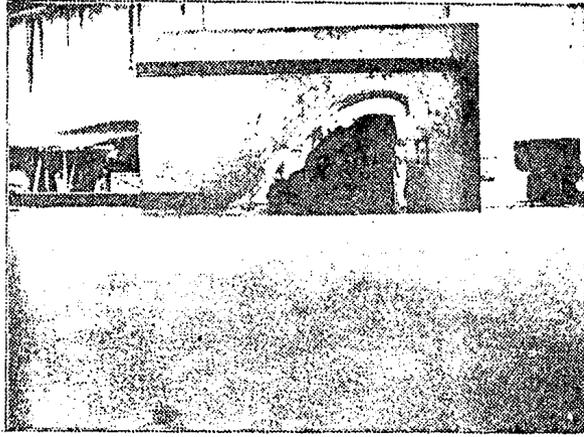
Sin embargo, a causa del avance constructivo de la obra, en el que las excavaciones se encontraban casi concluidas, se manifestó la conveniencia de conservar en lo posible las características geométrico - hidráulicas del diseño original.

Por lo tanto, aunque la alternativa de solución definitiva no presenta un funcionamiento hidráulico óptimo para las condiciones de escurrimiento del flujo, si cumple con las restricciones antes descritas, además de las funciones de seguridad y control para las cuales se proyectó la estructura.

Al ensayar el modelo con la Solución Adoptada, se apreció que en el tanque formado por el cimacio y el escalón, la asimetría del flujo aunada a una insuficiente disipación de la energía de la corriente genera una turbulencia que ocasiona la sobreelevación de los niveles del agua, y caídas de presión en la zona cercana al umbral e inicio de la rápida. Por consiguiente será necesario revisar y en su caso rediseñar los revestimientos del canal, de tal forma que confinen al flujo y sean capaces de resistir las fuerzas que se originan con las caídas de presión.

De igual manera las altas velocidades registradas en la rápida requieren que su revestimiento sea lo suficientemente resistente para evitar la erosión causada por el paso de la corriente. En la sección que corresponde a la curva horizontal se sobreexcavó la plantilla del canal con objeto de mejorar la trayectoria del flujo y evitar desbordamiento por la margen izquierda.

Finalmente, la eficiencia del deflector y la geología de la zona en que se efectúa la descarga permiten asegurar la estabilidad de la estructura, pues la erosión y socavación producidas serán mínimas para las condiciones normales de operación.



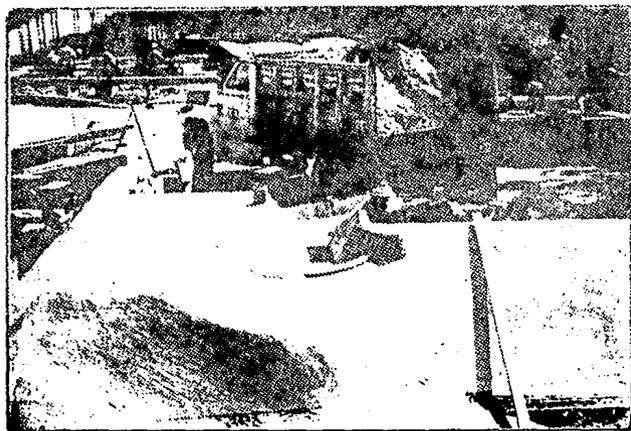
Fotografía No. 1 .- Tarraja utilizada en la construcción del cimacio.



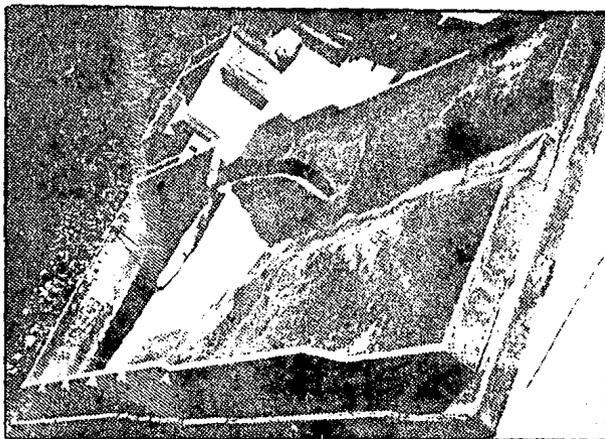
Fotografía No. 2 .- Construcción del Deflector.



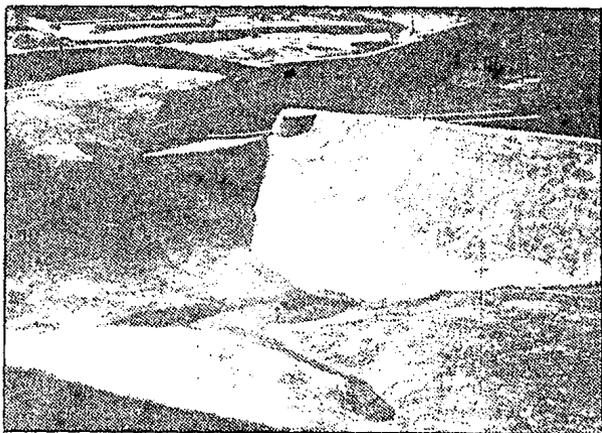
Fotografía No. 3 .- Construcción de taludes y suministro de arena para conformar la topografía.



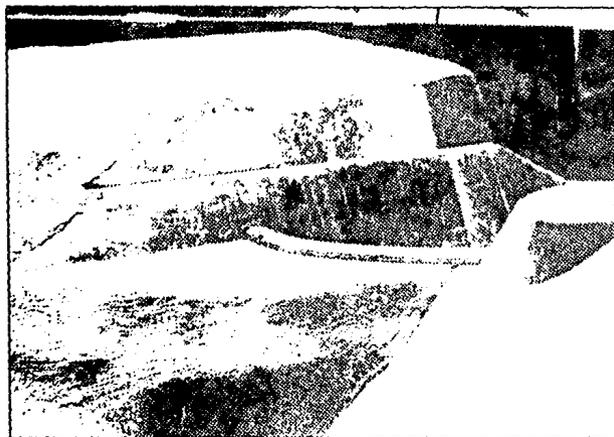
Fotografía No. 4 .- Construcción del modelo. Suministro de material para la configuración topográfica aguas abajo de la cortina.



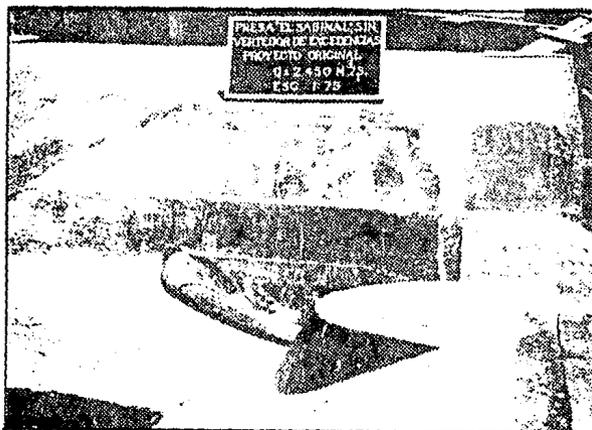
Fotografía No. 5 .- Elementos que integran el modelo : tanque aforador con vertedor triangular, tanque alimentador y representación de la obra de excedencias.



Fotografía No. 6 .- Vista general del modelo aguas arriba de la cortina.



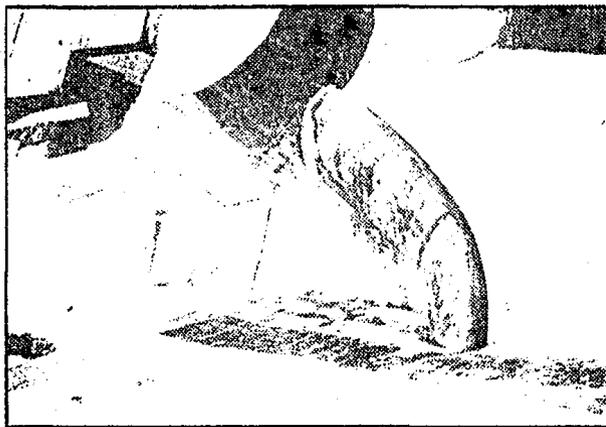
Fotografía No. 7 .- Detalle de la zona correspondiente al acceso del -
vertedor Proyecto Original.



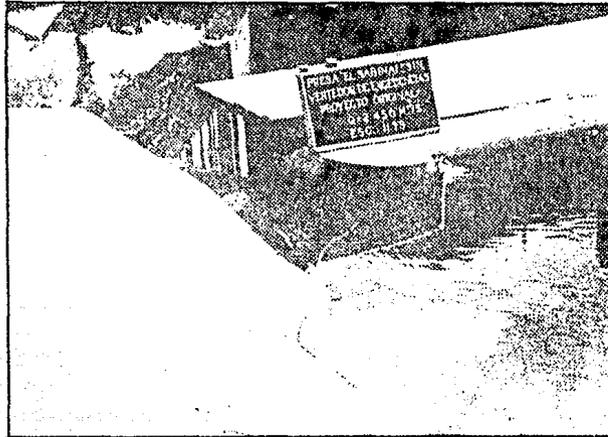
Fotografía no. 8 .- Acceso correspondiente a -
la margen derecha Proyecto Original.



Fotografía No. 9 .- Condiciones topográficas del -
acceso al vertedor.



Fotografía No. 10 .- Vista general del acceso, ci-
macio, colchón y Sección de -
Control Proyecto Original.



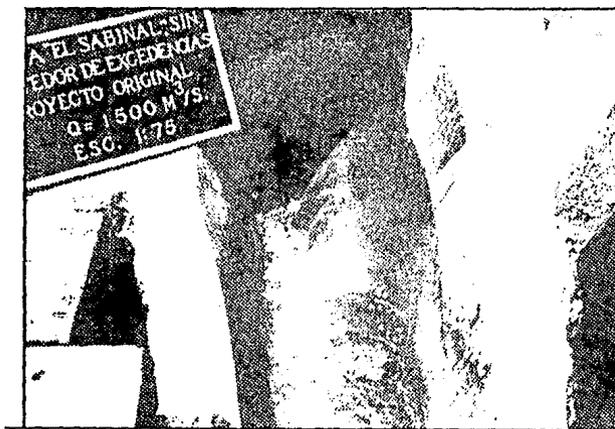
Fotografía No. 11 .- Funcionamiento de la parte alta de la Estructura para el Q de diseño. Proyecto Original.



Fotografía No. 12 .- Funcionamiento en la parte central del colchón. Proyecto Original.



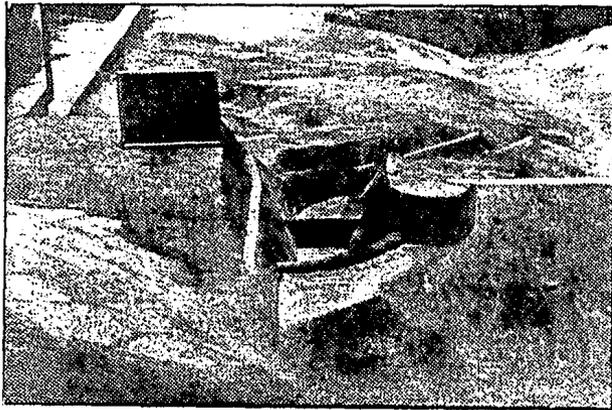
Fotografía No. 13 .- Proyecto Original. Funcionamiento observado por un gasto $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{seg.}$



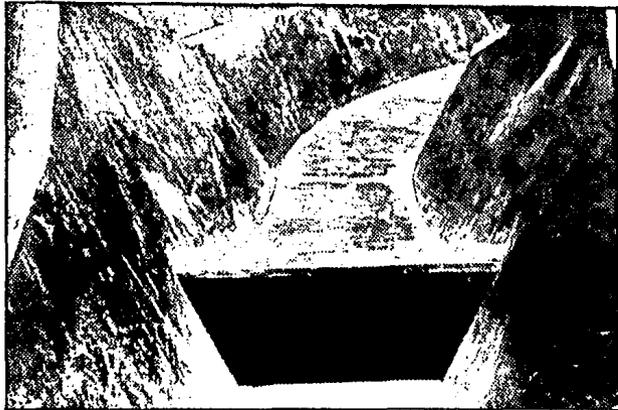
Fotografía No. 14 .- Funcionamiento observado para un $Q = 1500 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Proyecto Original.



Fotografía No. 15 .- Sobreelevación de la superficie libre del agua en la deflexión horizontal para el gasto de diseño. Proyecto Original.



Fotografía No. 16 .- Solución adoptada. Parte Alta de la Estructura.



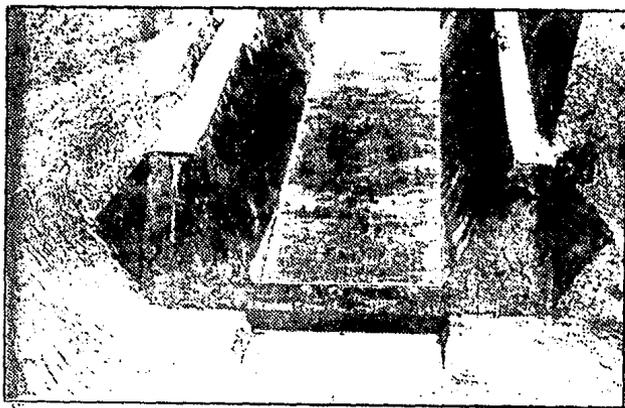
Fotografía No. 17 .- Umbral y curva vertical. Solución adoptada. Parte Alta de la Estructura.



Fotografía No. 18 .- Curva vertical y sobreelevación de la curva. Solución adoptada.



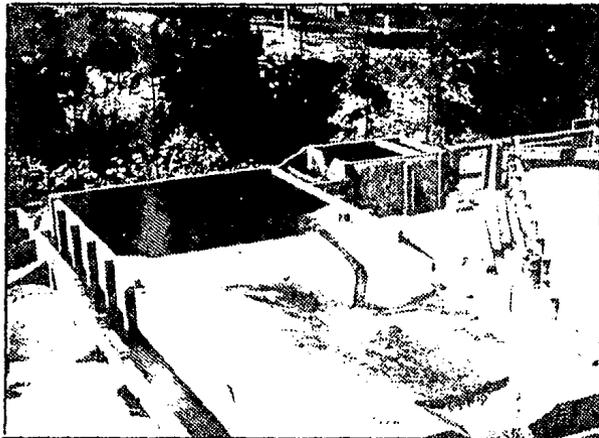
Fotografía No. 19 .- Sobreelevación de la curva y deflector. Solución adoptada.



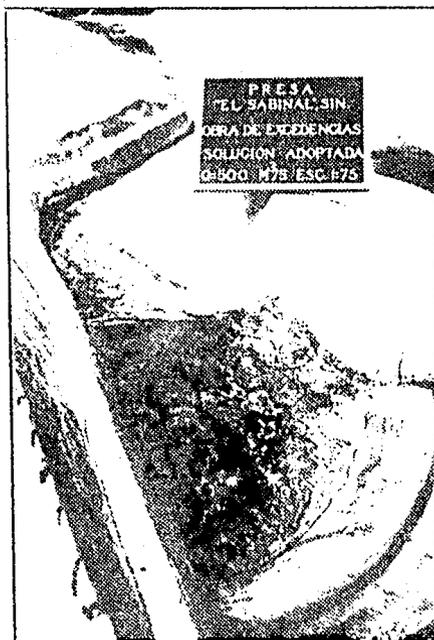
Fotografía No. 20 .- Deflector. Solución adoptada.



Fotografía No. 21 .- Obra de Toma del Proyecto Presa "EL Sabinal", aguas abajo de la cortina.



Fotografía No. 22 .- Vista general del funcionamiento del modelo de la Alternativa adoptada en Obra de Excedencias de la Presa "El Sabinal", Sin.



Fotografía No. 23 .- Solución adoptada, Funcionamiento del tanque - formado por el umbral cons- truido en la Parte Alta - de la Estructura.



Fotografía No. 24 .- Funcionamiento del tanque formado por el escalón - construido en la solución adoptada. Parte Alta de la Estructura.



PRESA
"EL SABINAL SIN"
OBRA DE EXCEDENCIAS
ALTERNATIVA UNO
SOLUCION ADOPTADA
D-2430 M73 ESC. 175

Fotografía No. 25 .- Funcionamiento para el gasto -
de diseño de la Solución adop-
tada en la Parte Alta de la Es
tructura.



PRESA
"EL SABINAL SIN"
OBRA DE EXCEDENCIAS
ALTERNATIVA UNO
SOLUCION ADOPTADA
D-2430 M73 ESC. 175

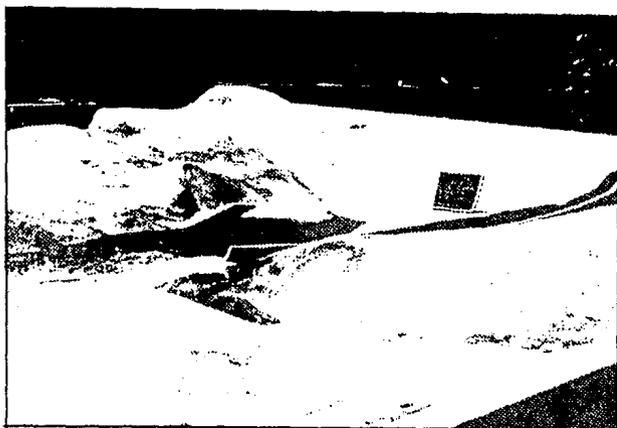
Fotografía No. 26 .- Turbulencia persistente en la
zona cercana al acceso de la -
margen derecha, Solución adop
tada en la Parte Alta de la Es
tructura.



Fotografía No. 27 .- Funcionamiento de la curva horizontal-vertical. Solución adoptada. Parte Baja de la Estructura.



Fotografía No. 28 .- Lanzamiento del flujo por la cubeta deflectora. Solución adoptada. Parte Baja de la Estructura.



Fotografía No. 29 .- Vista General. Zona aguas abajo de la cortina. Funcionamiento del Deflector.



Fotografía No. 30 .- Detalle del funcionamiento del deflector para el gasto de diseño. Solución adoptada. Parte Baja de la Estructura.

B I B L I O G R A F I A

- "TRATADO DE HIDRAULICA APLICADA"
Calvin Victor Davis
Editorial Labor
- "MECANICA DE LOS FLUIDOS"
Enzo Levi
Instituto de Ingenieria
- "DINAMICA DE LOS FLUIDOS CON APLICACIONES EN
INGENIERIA"
James W. Daily
Donald R. F. Harleman
- "HIDRAULICA GENERAL"
Gilberto Sotelo Avila
Editorial Limusa
- "MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA"
Ranald V. Giles
McGraw-Hill
- "REVISTA DE INGENIERIA HIDRAULICA EN MEXICO"
Artículo Vertedores en Abanico
Ing. Salvador Ulloa Ortiz
S. A. R. H.
- "ASOCIACION MEXICANA DE HIDRUALICA"
Contribuciones de los Ings. Manuel A. Lara
Muñoz e Ignacio Gutiérrez Vizcarra