

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Ingenieros

1239

MODELO HIDRAULICO DE LA
OBRA DE DESVIO DE
"ANZALDUAS"

T E S I S

Que Para Obtener el Título de

INGENIERO CIVIL

Presenta el Pasante

ENRIQUE GOMEZ ALONSO

MEXICO, D.F.

1953



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Dedico este Trabajo:

A la memoria de mis Padres.

A todos mis hermanos.

A mis hijos.

A mis maestros.

A mis condiscípulos.

A mis amigos.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA
Dirección
Núm. 731-1784
Exp. Núm. 731/214.2/-1784

Al Pasante señor Enrique GÓMEZ ALONZO.
P r e s e n t e.

En atención a su solicitud relativa me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobó por esta Dirección, propuso el señor profesor ingeniero Alberto Barocio, para que lo desarrolle como tesis en su examen profesional de Ingeniero CIVIL.

"En las obras de grande importancia que se están realizando en la actualidad, se puede citar la del Canal de Anzaldúa para la desviación de parte de las aguas del Río Bravo. Para corroborar los estudios hechos, la Secretaría de Recursos Hidráulicos ha construido un Modelo Hidráulico de la obra de toma de este canal.

El señor Gómez Alonzo hará un estudio relativo al Modelo Hidráulico de la obra de desviación del canal de Anzaldúa.

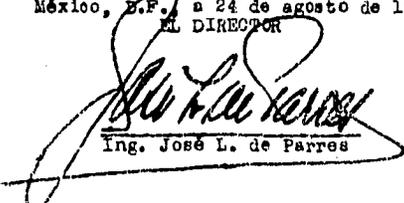
Se sujetará a los siguientes puntos:

Antecedentes del problema; Justificación del empleo del Método Experimental por medio de Modelos; Proyecto, construcción y operación del Modelo; Resultados obtenidos de las pruebas y Conclusiones".

Ruego a usted que tome nota del contenido de la Circular que me permite enviarle adjunta al presente, con el fin de que cumpla con el requisito a que ella alude, indispensable para sustentar su examen profesional.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F. a 24 de agosto de 1953
EL DIRECTOR


Ing. José L. de Parres

Recibido Circular anexa
JLF/RUM/rr.

TEMA PRIMERO

En el año de 1944 los Gobiernos de México y Estados Unidos firmaron un tratado que se llamó Tratado Internacional de Aguas y Límites entre México y Estados Unidos, en virtud de este tratado, se convino un reparto justo y equitativo de las aguas de los ríos limítrofes entre los dos países. Uno de éstos, el más importante sin duda alguna, es el Río Bravo.

Para dar cumplimiento al mencionado tratado, se impuso la necesidad de contruir obras que almacenen, regularicen, deriven, etc., las aguas de los mencionados ríos. Una de éstas, la Derivadora de Anzaldúas, está situada sobre el lecho y márgenes del Río Bravo, muy cerca de la población fronteriza de Reynosa, Tamps. Consta esta obra de las siguientes estructuras.

1a. Una cortina de tierra, construída en territorio Americano, con las siguientes características:

Cota de la corona	38.63 m. sobre el nivel del mar
Ancho de la corona	8.00 m.
Altura máxima	6.00 m.
Taludes iguales a ambos lados de 2:1	
Zampeado de protección aguas arriba	
Eje recto con una longitud de 1 325 m.	

2a. Un dique de tierra, construído en territorio Mexicano, con las siguientes características:

Cota de la corona	38.63 m. sobre el nivel del mar
Ancho de la corona	8.00 m.
Altura máxima	6.00 m.
Taludes iguales a ambos lados de 2:1	
Zampeado de protección aguas arriba	
Eje curvo con una longitud de 330 metros.	

3a. La Boca Toma del Canal de "Anzaldúas", en la cual, el machón del lado derecho, sirve de arranque al dique de tierra -- construído en el territorio Mexicano.

4a. Una sección vertedora, construída sobre el lecho del Río Bravo, con descarga controlada por compuertas y de las si --

guientes características:

Un Cimacio de perfil Creager, cuya cresta vertedora recta, está a la elevación 25.91 m. sobre el nivel del mar y de una longitud de 136.08 m.

Cinco pilas, tres de ellas de aproximadamente 55 x 6 x 25 m. y las otras dos de aproximadamente 55 x 4 x 18 m.

Dos machones, los cuales, el de la margen derecha, sirve de arranque al bordo izquierdo del canal de Anzaldúas y el otro, sirve de arranque a la Cortina de tierra construída en territorio Americano.

Seis compuertas cilíndricas, con espolón, construídas de acero de 4.267 m. de diámetro (la parte cilíndrica) por 22.68 m. de largo y que dividen en seis partes iguales la longitud de la cresta vertedora.

Un colchón amortiguador que principia al finalizar el cimacio y termina en el extremo aguas abajo de las pilas.

El cimacio, las Pilas, los machones y el colchón, están construídas de concreto.

5a. Un canal de acceso excavado en el lecho del río, rectificándolo y con las características siguientes:

Plantilla de 162.08 m. de ancho a la elevación 25.50 m. sobre el nivel del mar.

Taludes de 2:1

Eje curvo que rectifica una curva del río.

Longitud aproximada de 300.00 m.

Protección a todo lo ancho del cauce por medio de enrocamiento a volteo, desde el pié del cimacio, hasta cincuenta metros aguas arriba, este enrocamiento es de espesor variable, que tiene como mínimo 1.00 m.

6a. Un canal de descarga excavado en el lecho del río y que tiene las características siguientes:

Plantilla a la elevación 25.00 m. sobre el nivel del mar, de ancho variable, 162.08 al final del colchón (principio--

del canal), 80.00 m. en el final.

Taludes iguales de 1:2

Longitud total 685 m.

Eje recto, perpendicular a la cresta del cimacio en los - 260 primeros metros, en los otros 425 metros, eje recto-- también, pero con una deflexión hacia la margen izquierda de $2^{\circ} 58'$.

Todas las características, dimensiones y detalles de-- esta obra, pueden verse en los planos Nos. 1, 2 y 3.

La presa de Anzaldúas tiene por objeto, derivar al canal del mismo nombre las aguas del Río Bravo ya controladas y regularizadas por la presa Falcón, hasta la capacidad máxima de la Boca Toma, que es de $250 \text{ m}^3/\text{seg.}$, con una carga máxima de 10.00 m. y permitir el desfogue de los excedentes que provienen de las crecientes del río, con un gasto máximo de $3150 \text{ m}^3/\text{seg.}$

La operación de la obra, una vez concluida su construcción, deberá ser la siguiente:

Todas las compuertas, numeradas del 1 al 6, con origen esta numeración en el lado Mexicano, deben tener cada una de ellas, un mecanismo de elevación propio e independiente del-- de las demás; el control de los volúmenes de agua se llevará a cabo con las compuertas totalmente levantadas (caso de una creciente máxima del río) o bien con diversas combinaciones-- de aberturas de una o varias compuertas, por ejemplo, una extrema totalmente abierta y las demás totalmente cerradas, una central totalmente abierta y las demás totalmente cerrada, o por último, varias compuertas parcialmente abiertas; además-- deberá tomarse muy en cuenta la operación de la Boca Toma del Canal de Anzaldúas.

Para dar pues cumplimiento al Convenio Internacional-- de Aguas y Límites entre México y Estados Unidos, la Comisión Internacional de Límites elaboró el Proyecto de la Presa Derivadora de Anzaldúas y encomendó a la Secretaría de Recursos--

Hidráulicos, la verificación del funcionamiento hidráulico del mencionado Proyecto.

TEMA SEGUNDO

La Secretaría de Recursos Hidráulicos, aceptó la encomienda y los Ingenieros comisionados para abocarse a ella, se enfrentaron, entre otros, a los siguientes problemas:

En las condiciones más desfavorables de funcionamiento, ¿cuáles serían las velocidades del agua en el canal de acceso, para varias series de puntos cercanos a la cresta vertedora?

En las condiciones fijadas en el párrafo anterior, ¿hasta qué distancia hacia aguas arriba, sobre el canal de acceso, la velocidad del agua deja de ser erosinable?

En condiciones normales de funcionamiento, alternando de manera secuenta la posición de una compuerta totalmente abierta y las demás cerradas, ¿cuáles serían las velocidades del agua en el canal de acceso para los puntos que se indican en el primer párrafo?

Para condiciones de funcionamiento iguales a las ya mencionadas, ¿cuáles serían las velocidades del agua en puntos situados sobre el colchón amortiguador y el canal de descarga?

Para las condiciones de funcionamiento indicadas en párrafos anteriores, ¿hasta qué distancia, hacia aguas abajo, en el canal de descarga, la velocidad del agua deja de ser erosinable?

Para todos los casos ya indicados en líneas anteriores, ¿cuál es la curva tirantes-coeficientes de gasto?

Para las ya indicadas condiciones de funcionamiento, ¿qué presión máxima ejerce el agua sobre la superficie cilíndrica y el espolón de una compuerta?

¿Qué tensión máxima sufrirán las cadenas del sistema de elevación de cada compuerta?

¿Cuál es el coeficiente de seguridad del trabajo estructural de las compuertas y pilas y cuál es el grado a que quedará impedida una eventual flotación de las compuertas?

Todos estos problemas tienen solución analítica, excepto el que se refiere a la curva tirantes-coeficientes de gasto y los más importantes fueron los expuestos en los tres últimos párrafos.

Tanto los Ingenieros del Bureau of Reclamation Service, como los Ingenieros de la Comisión Internacional de Límites y los de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, llegaron a soluciones parecidas, pero no del todo satisfactorias, para las diversas alternativas estudiadas, por lo que se impuso la necesidad de verificar el funcionamiento hidráulico de la última de éstas por el método experimental con ayuda de modelos hidráulicos.

La justificación pues del empleo del método experimental con ayuda de modelos hidráulicos, se basa fundamentalmente en la necesidad de verificar los cálculos hechos e hipótesis--establecidas para resolver los problemas que ya expuse.

TEMA TERCERO

Dada la índole de los problemas que se presentaron, y--de las preguntas que deberían de contestarse, se vió para la--contestación de éstas y la resolución de aquéllas, que un solo modelo no sería suficiente, por lo que, se proyectaron dos modelos, uno de ellos de carácter general y el otro seccional;--en el primero se reproducirían a escala, la sección vertedora--con su colchón amortiguador, la boca-toma y un tramo del canal Anzaldúas (esquemáticamente), los canales, tanto el de acceso,--como el de descarga, de toda su longitud; un tramo de 180 m. --de la cortina, la totalidad del dique y de manera integral, el tramo del cauce del río modificado por el proyecto; además una faja de terreno, de ancho variable, (80 a 260 m.) de las márgenes del río. En el segundo representarían a escala, un tramo--

que abarque dos planos verticales de simetría, los cuales pasan por los respectivos centros de gravedad de una pila y la compuerta adyacente; la longitud de este tramo en el sentido de escurrimiento del agua es de unos 200 m. (50 hacia aguas arriba-- de la cresta vertedora y 150 hacia aguas abajo).

El criterio aceptado para el modelo general fué como sigue: El cauce modificado del río, los canales, de acceso y descarga con sus cortes y taludes, el dique del lado mexicano, la faja de terreno y los taludes de la cortina del lado americano, se propuso construirlos de material erosionable, buscando reproducir de manera cualitativa el terreno y los materiales empleados en la construcción del prototipo; para este fin se aceptaron los resultados obtenidos en el modelo que, para esta misma obra el Laboratorio del Bureau of Reclamation Service construyó y los cuales indicaron arena cribada por la malla No. 4; la corona de la cortina y todos los machones, de cemento pulido a llana, las pilas se propuso construirlas de lámina negra de 1/8" de grueso, cortada y soldada según las aristas, el cimacio y el colchón amortiguador de lámina galvanizada del No. 24; las compuertas, su parte cilíndrica, de tubería de fierro galvanizada de 3" de diámetro, torneada interior y exteriormente, con torno mecánico y el espolón, de lámina del No. 24 con los sellos laterales e inferior de tubo plástico; por último, el zampeado a volteo, con gravilla, obtenida ésta cribándola para después seleccionar un tamaño medio de acuerdo con la escala que se acepte.

El motivo por el cual se seleccionó los materiales que menciono, fué el siguiente: Se dividió el modelo en dos partes esenciales, a saber: Una no erosionable y otra erosionable; la primera, constituida por las pilas, las compuertas, el cimacio y el colchón, agrupadas y construidas de modo de formar un todo, que, con facilidad, pudiera ser fabricado en un taller y montable o desmontable a voluntad. La segunda, constituida por las demás estructuras ya mencionadas, deberá ser edificada en el sitio escogido para ubicar el modelo, ya que, su proceso de fabricación es esencialmente de albañilería.

El criterio aceptado para el modelo seccional fué el siguiente: La operación de este modelo deberá ser posterior, o de ser posible, simultánea a la del carácter general; el mismo sentido de escurrimiento del agua para los dos modelos y los sitios de ubicación de ambos lo más próximos posible; el dispositivo de ensaye para el modelo seccional, deberá tener, por lo menos una pared transparente. La media pila se aceptó construir la de lámina del No. 18, la parte cilíndrica de la semi-compuerta con tubería de fierro dulce de 8" de diámetro, torneadas las paredes interior y exterior, el espolón y los sellos, de lámina galvanizada del No. 18, lo mismo el cimacio y el colchón; por último, los zampeados, tanto aguas arriba como aguas abajo con grava cribada, cuyo tamaño medio se fijará de acuerdo con la escala que se acepte; los mecanismos de elevación fueron como sigue: Para el modelo de tipo general, conforme a las ideas que se tenían para el Prototipo, esto es, un mecanismo para cada compuerta, independiente del de las demás impulsado por un motor eléctrico y controlado éste por un tablero de mando, el cual permitiría el manejo de las compuertas de manera práctica y fácil desde un sitio cercano al modelo y fuera de los límites de él. Para el modelo seccional se aceptó operar la compuerta con un mecanismo accionado a mano. Para la elección de las escalas se siguió el criterio de Reynolds que dice:

Si el producto VR es menor que 0.002 el régimen es laminar.

Si 0.002 es menor que VR menor que 0.007 el tipo de escurrimiento es incierto.

Si 0.007 es menor que VR el régimen es turbulento.

En este criterio, V es la velocidad del agua para cualquier sección; R es el radio hidráulico para la sección considerada. Los números de Reynolds para el Prototipo son como sigue:

La velocidad se obtiene dividiendo el gasto entre el área mojada y el radio hidráulico, dividiendo el área entre el perímetro mojado; para el caso de la Obra derivadora de Anzal--

dúas, para una sección en el cual de acceso se tiene:

$$V = 1.14 \text{ m/seg.}; \quad R = 8.08 \text{ m.}$$

$VR = 9.21$, por lo tanto el régimen turbulento.

Para el modelo de tipo general se adoptó una escala de 1:50.

Veamos ahora los números de Reynols.

$$v = \frac{V}{\sqrt{50}} = \frac{1.14}{7.07} = 0.163$$

$$r = \frac{R}{50} = \frac{8.08}{50} = 0.161$$

$vr = 0.026$, por lo tanto el régimen es turbulento; la escala es aceptable porque los dos regímenes son turbulentos y porque es fácil de manejar; por otro lado, el gasto requerido por el modelo es

$$q = \frac{Q}{\sqrt{50^5}} = \frac{3150}{17675} = 0.178 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Se dispone en el Laboratorio de un tanque de almacena-
miento, con capacidad de 360 m^3 , de un equipo de bombeo capaz
de dar un gasto de $0.700 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y una área de aproximadamente
 600 m^2 . Ninguna de estas limitaciones obliga a elegir otra esca-
la y por último, la escala adoptada, permite construir un mode-
lo de tamaño espectacular.

Para el modelo seccional se escogió una escala de 1:20; veamos ahora los números de Reynols.

En el Prototipo para una sección sobre la cresta del ci-
macio

$$Q = \frac{3150}{12} = 262.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$A = 11.34 \times 10 = 113.4$$

$$V = \frac{262.5}{113.4} = 2.31 \text{ m/sg.}$$

$$R = \frac{113.4}{31.34} = 3.61$$

VR = 2.31 x 3.61 = 8.34; por lo tanto el régimen es turbulento.

Veamos ahora en el modelo

$$q = 0.147 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$v = \frac{V}{\sqrt{20}} = \frac{2.31}{4.47} = 0.52 \text{ m/seg.}$$

$$r = \frac{R}{20} = \frac{3.61}{20} = 0.181$$

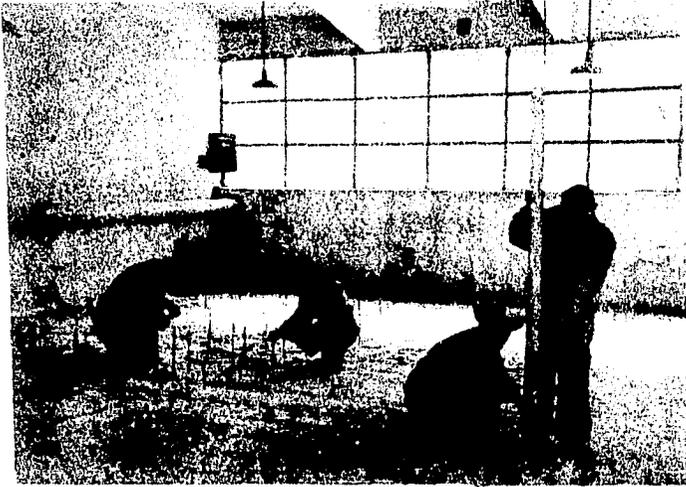
$$vr = 0.52 \times 0.181 = 0.0094;$$

por lo tanto el régimen es turbulento; la escala es aceptable-- porque al igual que en el caso del modelo de tipo general, ninguna de las limitaciones obliga a cambiar la escala y ambos regímenes son turbulentos.

Adoptada la escala de 1:50 para la construcción del modelo de carácter general se proyectó la ubicación de él, la cual resultó el ala Oeste de la playa de modelos del Laboratorio, -- por ser ésta la que menor número de escollos opuso a la correcta orientación del modelo; ésta se logró mediante la superposición de un plano levantado a la escala 1:50 de la ya mencionada ala, sobre el plano No. 2.

Modificaciones que se aprobaron:

la. Se modificó el tamaño de las pilas, hasta dejarlas-- como sigue: tres de 19.10 m. de largo por 6.00 m. de ancho por 25.00 m. de alto y dos de 19.10 m. de largo por 4.00 m. de ancho, por 18.00 m. de alto; en esta modificación está incluida-- la supresión de los muros de encauce. Esta modificación se aceptó en virtud de que, la experiencia adquirida en la construcción de estructuras semejantes, ha enseñado que dichos muros -- son inútiles y por lo tanto se obtiene un apreciable ahorro re-



Fotografía que muestra una etapa inicial de la construcción del modelo de carácter general.- Vista hacia aguas abajo.



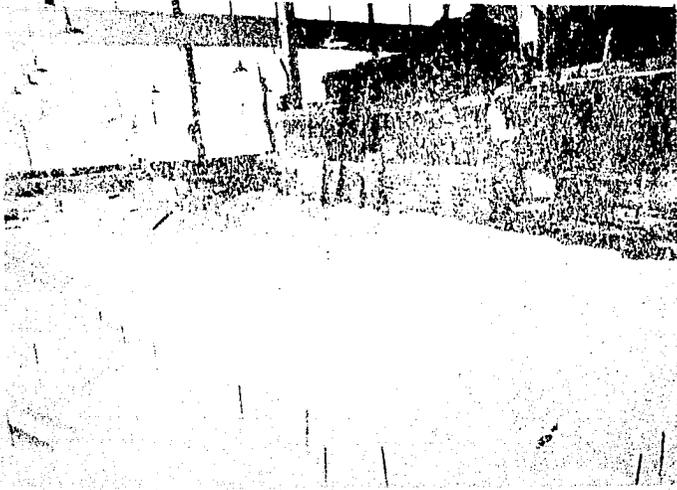
Fotografía que muestra una etapa intermedia de la construcción del modelo de carácter general.- Vista hacia aguas arriba.

duciendo el volumen de concreto, al recortar las pilas y suprimirse los susodichos muros; además, la eficiencia de funcionamiento del tanque amortiguador (colchón), aumenta de manera notable, puesto que el poder erosivo del salto hidráulico disminuye al suprimir los muros de encauce y esta disminución del poder erosivo es más notable al considerar al prototipo operando con una compuerta abierta y las demás totalmente cerradas.

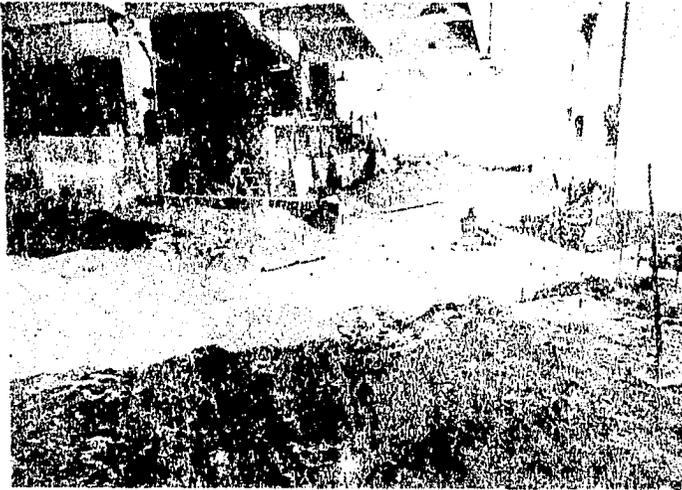
2a. Se eliminó el dispositivo de operación del canal de Anzaldúas (Compuertas y Pilas) así como tampoco se permitió fluir el agua a través de él, sólo se construyó geometría del acceso, plantilla y bordos del mencionado canal. Esto se aceptó en virtud de que se quiso que las condiciones de escurrimiento del agua en el modelo, fuesen lo más severas posibles, esto es, como si la totalidad del máximo gasto supuesto, escurriera por la cresta vertedora; con estas modificaciones, los resultados que se obtienen de las pruebas del modelo, quedan del lado de la seguridad.

Aceptadas, el sitio de ubicación y las escalas, se procedió a la construcción de los modelos de acuerdo con el criterio expuesto, esto es, la parte no erosionable, en el taller mecánico del Departamento de Ingeniería Experimental de la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la erosionable en el ala Oeste de la Playa de modelos del Laboratorio Hidráulico.

Además con objeto de disminuir hasta el mínimo posible el tiempo de duración de los fenómenos transitorios que ocurren en el modelo, desde el momento en el cual, el agua toma contacto con aquél y el momento en que el escurrimiento se estabiliza para el gasto que se deja pasar, se proyectó un vertedor de cresta fina, localizado en el extremo aguas abajo del modelo y cuya finalidad es reproducir la curva de gastos del Río Bravo en tal forma que para cualquier gasto que se haga pasar por el modelo, se obtenga, sin el empleo de los dispositivos más usados en casos semejantes, un tirante de agua igual al correspondiente de la curva de gastos del río; se aprobó esto, en vista de que parte del modelo debería estar construída con material---



Fotografía que muestra la consolidación del relleno de arena del modelo de carácter general y una etapa intermedia de la construcción del modelo seccional.- Vista hacia aguas arriba.



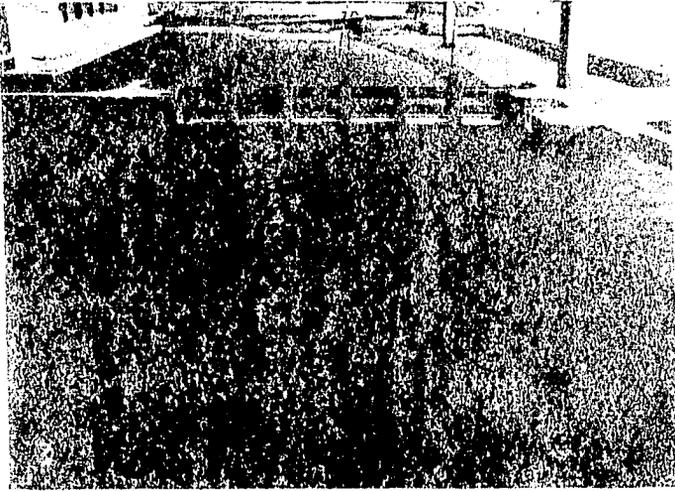
Fotografía que muestra el relleno de arena del modelo de carácter general y una etapa intermedia de la construcción del modelo seccional.- Vista hacia aguas abajo.

erosinable.

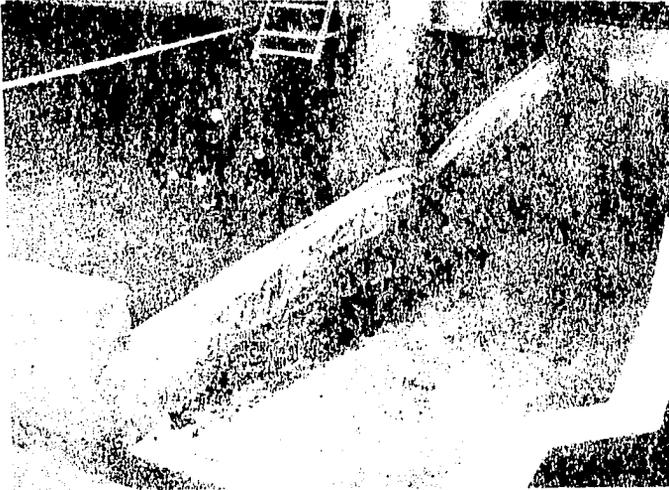
En la construcción de la parte erosinable del modelo de carácter general, se procuró seguir, en lo posible, la secuencia de las siguientes etapas: 1a. La topografía de la faja de terreno de ancho variable, de las márgenes del río; 2a. El tramo del cauce del río modificado por el proyecto; 3a. Los canales de acceso y descarga con sus tajos y taludes; 4a. El dique, la cortina y los tres machones; 5a. El vertedor de cresta fina para control de los tirantes aguas abajo y 6a. Los dispositivos adicionales indispensables para la operación del modelo.

Para la ejecución de las cuatro primeras etapas, fué necesario elegir y trazar sobre el plano No. 1, un sistema de ejes rectangulares coordinados que fueron, el eje de la cortina (el cual contiene la cresta del cimacio) y el eje recto del primer tramo del canal de descarga; con origen en el cruce de ellos y designados eje X el del canal de descarga y eje Y de la cortina, se trazaron rectas paralelas al eje Y, equidistantes entre sí 25 m. cada uno, hacia aguas abajo y aguas arriba de la cresta del cimacio. El número de éstas fué de 44, 18 hacia aguas arriba y 26 hacia aguas abajo; se les numeró de manera progresiva, a partir del origen y en ambos sentidos. Esto proporcionó una cuadrícula de ángulos rectos, con la cual fué posible localizar en planta y elevación, cualesquiera de los datos necesarios a las ya mencionadas cuatro etapas.

De acuerdo con la orientación adoptada para el modelo, la cual fué de Norte a Sur, se dibujaron sobre la playa elegida para ubicación de aquél y con ayuda de la cuadrícula, todas las curvas de nivel de la topografía y los contornos del dique, la cortina, los canales y los bordos del de Anzaldúas, así como también los de los tres machones; para el relleno de arena, se tomó en cuenta la poca o nula cohesión de sus partículas, ya que, por muy bien humedecida y apisonada que ésta se deje al finalizar la construcción y afinar los detalles, siempre, al concluir cualquiera de las pruebas a que se sujete el modelo, éste deberá ser reconstruido, antes de ser sometido a una nueva



Fotografía que muestra el modelo de carácter general en la etapa final de su construcción.- Vista hacia aguas abajo. Modelo sin--
funcionar.



Fotografía que muestra el vertedor de pared delgada y cresta fina el cual sirve de sección de control de los tirantes aguas abajo del modelo de carácter general, sin funcionar.- Vista hacia--
aguas arriba.

prueba. En tal virtud, para facilitar todas y cada una de las necesarias reconstrucciones, se vió las ventajas que reportaría tener fijas y permanentes, las referencias de elevación de todo el modelo, por medio de trozos rectos de alambrcn de 1/4" de diámetro, de longitud variable, anclados en el piso de la playa y fijados en posición vertical sobre todos y cada uno de los puntos a los cuales le serviría de referencias, tanto en planta como en elevación. Vistas estas ventajas se aceptó formar el relleno de todas las partes erosionables, usando los mencionados trozos de alambrcn, de modo que el extremo libre de cada uno de ellos, localice en planta y elevación un punto del prototipo.

En cuanto a los machones, la corona de la cortina, la --- plantilla y bordos del canal de Anzaldúas, se construyeron con--- un corazón de mampostería de tabique junteado con mortero de cemento, con un aplanado de mortero de cemento y por último, una--- capa delgada de cemento puro, pulido a llana.

La ejecución de la 5a. etapa presentó muy serior escollos para la realización del fin que se perseguía, pues fracasaron varias alternativas estudiadas, hasta llegar a la de un vertedor--- de pared delgada y cresta fina, trazado y recortado sobre una hoja de lámina galvanizada de No. 22. La perfil se determinó de alternados ajustes derivados de procesos algebraicos, de su longitud, su coeficiente de gasto, y la carga sobre la cresta. Todos los ensayos ejecutados, marcaron la siguiente solución: Establecer la fórmula que permita determinar la variación del gasto en función de sumas de potencias de la carga sobre la cresta, afectadas estas potencias de coeficientes deducidos por procesos analíticos.

La fórmula establecida fué:

$$Q = 20H^2 + 0.122H^4 + 1.22 \times 10^{-12} H^{15}$$

En esta fórmula, la longitud L y el coeficiente de gasto, C, están en función de potencias de la carga H, afectadas de sus correspondientes factores constantes.

La gráfica representativa de la ya mencionada fórmula, se

trazó sobre una tira de papel milimétrico cuadrulado, en la cual, los gastos se medirían a partir de un eje arbitrario y a lo largo de una de las líneas de la cuadrícula; a lo largo de la otra, y a partir del mismo eje, las cargas; la máxima diferencia aceptable entre las curvas de gasto del río para el modelo y el prototipo se fijó de $1.00 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y se llegó a ella, después de seis ensayos sucesivos, cuyo patrón para los trazos y cortes sobre la lámina galvanizada, fué la gráfica trazada sobre el papel milimétrico cuadrulado.

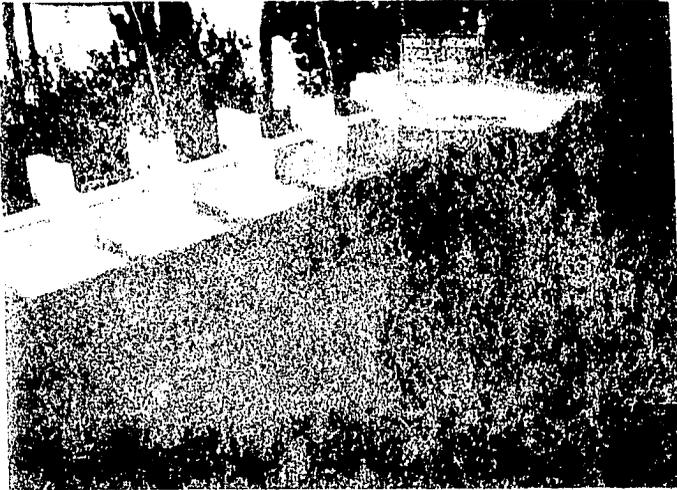
El montaje y calibración del vertedor aceptado para el control de los tirantes aguas abajo, se llevó a cabo antes de montar la parte no erosionable del modelo, construida y armada en el taller; el hueco necesario para alojar aquélla, se relleno de arena permitiendo así fluír el agua; en esta forma se llevó a cabo la calibración del vertedor de cresta fina.

En cuanto a la 6a. etapa, o sean los dispositivos adicionales necesarios a la correcta operación del modelo, son: El de alimentación, que consta de un canal de paredes verticales, aplanadas de mortero de cemento, pulidas con cemento puro e impermeabilizadas por medio de un chaplón de cemento, colocado en la junta del muro vertical con el uso de la playa; uno de los muros de este canal, limita la topografía del modelo hacia aguas arriba y el otro limita el contorno exterior del modelo. Un deflector difusor de energía, construido en el extremo final del canal de alimentación (principio de modelo) y constituido por rejas de madera de 0.01 m. por 0.10 m. por 0.80 m. unidas en sus extremos a dos cabezales, de modo de formar una rejilla, con una separación entre rejas de 0.02 m. Esta rejilla tiene por objeto orientar los filetes líquidos que penetran al modelo, según una tangente a la curva del río rectificadas por el canal de acceso. Dos escalas de gancho que permitan medir los tirantes sobre la cresta del cimacio y de la sección de control de tirantes aguas abajo; una de ellas se colocó sobre el muro que limita el contorno del modelo; la punta del gancho estará en contacto con el agua dentro de un pozo construido sobre la plan

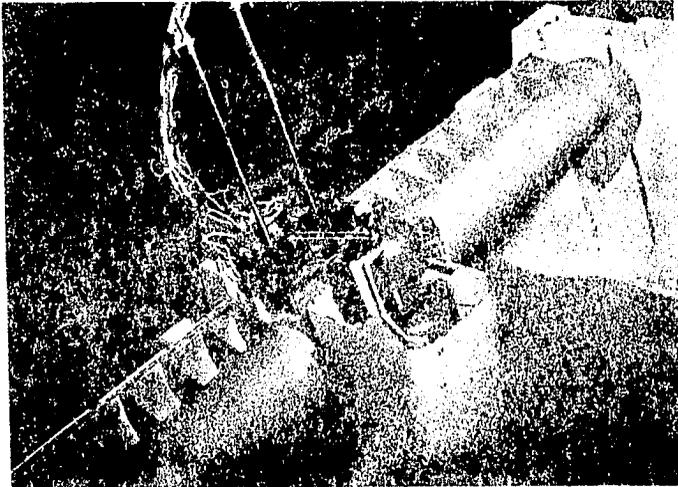
tila del canal de Anzaldúas y constituido por tabiques superpuestos unos arriba de otros y sin juntear, rodeados de arena para amortiguar el oleaje. Con ayuda de un nivel montado se logró el ajuste de la graduación 20 de la escala, cuando la punta del gancho estaba sobre el plano horizontal que contiene a la cresta del cimacio. La otra escala se colocó sobre el mismo muro en el cual fué colocada la anterior, a un metro hacia aguas arriba de la cresta fina, la punta de gancho de esta escala estará en contacto con la superficie del agua, dentro de un pozo de observación, constituido por un niple de fierro fundido, de seis pulgadas de diámetro, sellado uno de sus extremos; en este, se practica una perforación de $3/4$ " de diámetro y se inserta en él, soldado después, un pequeño trozo de tubo de $1/2$ " de diámetro, al cual se le practican estrías en la cara exterior y por último se inserta a éste una manguera de hule de $1/2$ " de diámetro. Este pozo de observación, se adosa al mismo muro sobre el cual se monta la escala, se sujeta a éste por medio de anclas, de modo que el gancho de la escala, pueda penetrar dentro de él; se practica una perforación al muro, a través de la cual se introduce la manguera y es así como se establece un sistema de vasos comunicantes, entre el pozo y el modelo, sistema que permite medir cualquier carga sobre la cresta, siempre que se ajuste una graduación de la escala, de manera análoga a la que ya se indicó al referirse a la primera.

El enrocamiento y los zampeados (que indebidamente se omitió) se construyeron después de haber montado y colocado en su posición de proyecto, la parte no erosionable del modelo; la construcción de aquéllos se llevó a cabo, de acuerdo con las especificaciones y datos que proporciona el plano No. 3, El tamaño de la gravilla resultó ser, de acuerdo con la escala adoptada, retenido por la malla de $1/2$ " de abertura y pasada por la $3/4$ ", la densidad en condiciones de saturación resultó ser de 2.20; la colocación de la gravilla fué a mano.

La construcción de la parte no erosionable del modelo, se llevó a cabo, como ya se dijo, esto es, las pilas con lámina ne



Fotografía que muestra al modelo de carácter general funcionando con todas las compuertas totalmente cerradas y escurriendo un -- gasto de 600 m³/seg.- Vista hacia aguas arriba.



Fotografía de detalle que muestra el mecanismo de elevación de-- las compuertas del modelo de carácter general, los motores impul-- sores y el montaje.- Vista hacia aguas abajo.

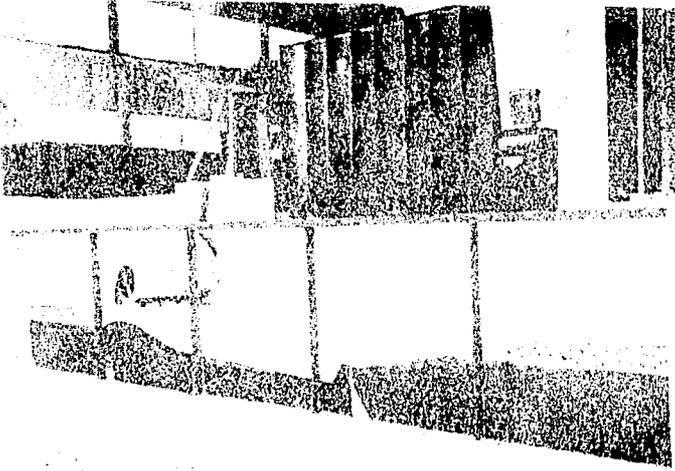
gra del No. 24, recortada, forjada y soldada según las aristas de modo que su interior quedó hueco; la ranura de guía para las compuertas, tal como está indicado en el plano No. 4, con una inclinación de 1:4. Para la compuerta se usó tubería de fierro galvanizado de 3" de diámetro, la cual tiene un diámetro exterior de 0.093 m., por lo que, torneada, se le dió un diámetro de 0.0914 m., que es según la escala, el diámetro que debe tener; el espolón se forjó con lámina negra del No. 24 y para darle rigidez, se le pusieron 12 costillas de la misma clase de lámina. Los extremos del cilindro se sellaron con una placa soldada y se dejó hueco su interior; en vista de que las pruebas necesarias para determinar el grado a que quedará impedida, la flotación deberá hacerse en el modelo seccional, no se practica ron perforaciones sobre la superficie cilíndrica de la compuerta, si sobre el espolón.

El mecanismo de elevación y descenso, consiste en un vástago soldado por uno de sus extremos, al centro de la placa que forma la cabeza de la compuerta; el vástago es también, husillo sin fin, lo cual permite, por medio de un juego de engranes y piñones, ligarse a una combinación de ruedas dentadas, cuya relación de reducción es de 1:363; la combinación de ruedas dentadas está ligada a un volante impulsado por un motor Mecano de 6 V., 12 W.; el movimiento rotatorio de la compuerta se logra por medio de dos bandas, metálicas, soldadas y enrolladas a las cabezas de la parte cilíndrica de la compuerta, soldadas también a las correderas de las guías de la pila. El motor Mecano está alojado en la parte hueca de una pila y como, dado el tamaño de éstos, no fué posible colocar uno en cada pila, se utilizaron las tres pilas de 6 m. de ancho para alojar dos motores en cada una de ellas, lo cual proporcionó muy útiles ventajas para el montaje y operación de aquéllos.

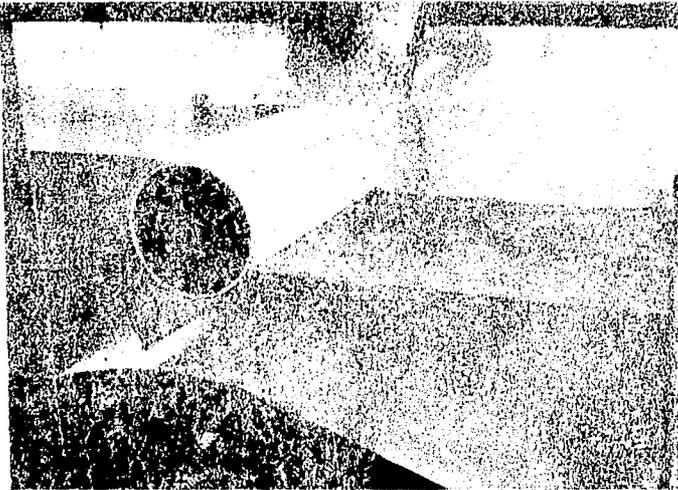
Las pilas, ya forjadas, se soldaron a un bastidor formado por dos fierros ángulo de 3 1/2" por 3 1/2" por 5/8", soldados a 7 soleras de 3 1/2" por 5/8"; se colocaron en su posición de proyecto de acuerdo con las especificaciones y datos que dá-

el plano No: 3. Se ubicó este conjunto en su sitio de proyecto, procurando nivelarlo y orientarlo de la mejor manera posible.-- En seguida se colocaron las compuertas, junto con sus mecanismos elevadores; el cimacio, unido al tanque amortiguador, no fué posible construirlo de una sola pieza, sino fraccionándolo en seis de 0.4536 m. de ancho por 0.849 m. de largo; estos tramos fueron trazados, cortados y forjados de acuerdo con el proyecto y para que tengan la necesaria rigidez, se les habilitó de los esfuerzos adecuados sobre la parte cóncava. Cada una de estas fracciones se soldó por su parte inferior, al bastidor y por los lados, a las pilas cuidando darles su posición de proyecto. Al ser colocadas las fracciones de cimacio y tanque amortiguador, dejaron hacia aguas abajo de las pilas cinco huecos, los que fueron rellenos de cemento, de modo de completar el piso y umbral del tanque amortiguador. Los motores se montaron después, en el sitio que ya se indicó, junto con todos los cables necesarios para su funcionamiento.

La construcción del modelo seccional se llevó a cabo, de acuerdo con el mismo criterio que se fijó para la construcción del de carácter general, esto es, dividiendo el modelo en dos partes esenciales; una de ellas, erosionable, la otra no erosionable. La primera se erigió dentro de un dispositivo construido de manera adecuada. Este dispositivo consistió en un tanque de paredes verticales, de tabique junteado con mortero de cemento, aplanado en sus dos caras, la interior pulida a llana, con cemento puro, puesto que deberá estar en contacto con el agua, de 15 m. de largo por 2.50 m. de alto y por 1 m. de ancho, por la parte exterior; este dispositivo está ubicado en la misma playa que el modelo de carácter general, situada su mayor dimensión orientada de Norte a Sur, sus paredes Norte y Oeste, limitan la topografía del modelo de carácter general desde 1.50 m. aguas abajo de la cresta del cimacio, hasta la sección de control de los tirantes aguas abajo. Con esto se buscó cumplir con los requisitos de proximidad de ambos modelos; a este dispositivo se le construyó una losa horizontal a 80 cm. del piso de la playa,



Fotografía que muestra el modelo seccional en la etapa final de su construcción y sin funcionar.- Vista hacia aguas arriba.



Fotografía de detalle del modelo seccional, funcionando con la compuerta en una posición intermedia entre la 1 y la 2, con un gasto de $850 \text{ m}^3/\text{seg}$.

de concreto reforzado de 10 cm. de espesor y de 13 m. de largo; esta losa se empotra a las dos paredes más largas del dispositivo, separándose de la pared Norte del tanque 80 cm. En el extremo sur de la losa se construyó un muro vertical que liga ésta con el piso de la playa; es así como de esta manera se formó en la parte inferior del dispositivo un tubo de sección cuadrada aplanado y pulido en sus paredes interiores; este tubo se comunica en su parte Sur con el canal de descarga del tanque medidor, formándose así un sifón invertido compuesto por: El canal de descarga y el tubo (una rama) y la parte superior del dispositivo de ensaye del modelo seccional (otra rama) lo que permite cumplir con el requisito de igualdad de sentido de escurrimiento del agua en ambos modelos.

La pared Oeste del tanque donde estará alojado el modelo seccional fué recortada 5 m. en su mayor dimensión, hasta la altura de la losa; en este hueco se alojaron 5 cristales de 1 m. por 1 m. y de media pulgada de espesor, sostenidos por un bastidor de fierro y anclados en la losa de concreto; una de las caras de estos vidrios completaba la pared interior del dispositivo ya mencionado. Con esto último se cumplió con el requisito que fija una pared vertical transparente auxiliar para las pruebas del modelo.

La parte erosionable del modelo se construyó sobre la losa de concreto utilizando para ello el mismo tipo de arena que formó el relleno del modelo de carácter general; los zampeados, tanto aguas arriba como aguas abajo, con grava cribada retenida por la malla de una pulgada de abertura y pasada por la malla de dos pulgadas; de acuerdo con la escala del modelo al tamaño medio de la grava se obtiene por medio de las aberturas ya mencionadas y la densidad en condiciones de saturación fué 2.25. - El control de tirantes aguas abajo se logró mediante un vertedor de pared delgada y cresta fina diseñado de manera semejante al que se usó con el mismo fin, en el modelo de carácter general, pero se tomó en cuenta que el gasto escurrido por el modelo seccional, es la doceava parte del que escurre por el de ca-

rácter general. Los dispositivos adicionales necesarios a la correcta operación del modelo fueron dos escalas de gancho, montadas sobre el muro Oeste del dispositivo de ensaye; una de éstas servirá para medir los tirantes sobre la cresta del cimacio y el otro para medir y controlar los tirantes aguas abajo. El montaje de estas escalas se llevó a cabo mediante las maniobras ya indicadas en la sexta etapa de construcción del modelo de carácter general. También se ajustaron de manera similar a la que se menciona en la misma sexta etapa.

La parte no erosionable del modelo se construyó en el taller mecánico de acuerdo con las siguientes etapas: La media compuerta, torneando un tubo de fierro dulce de 8" de diámetro al cual se le practicaron 50 orificios de 1/8" de diámetro, para la circulación del agua; estos orificios deberían estar uniformemente espaciados en toda la superficie cilíndrica. El espaldón se construyó de lámina negra del número 18, se le forjó de acuerdo con los datos dados por el plano No. 3 y se le soldó al tubo cilíndrico torneado; se le practicaron seis perforaciones de 1/16", a donde se insertaron otros tantos tubos piezométricos, con los cuales se medirían las presiones del agua. Otros 14 orificios de 1/16", se le practicaron a la parte cilíndrica, lo que dió un total de 20 tubos piezométricos en toda la periferie de la compuerta. La media pila se construyó de lámina negra del No. 18, soldada según las aristas y forjada a mano; el sistema de elevación de la compuerta consiste en una caja metálica hecha de palastro de 1" de espesor, en forma de prisma recto inclinado y hueco en su interior, ajustado al tamaño de la ranura de la pila. En la línea que une las mitades de las bases menores de la caja metálica y en correspondencia con el eje de la parte cilíndrica de la compuerta, penetra un tubo de fierro de 3 1/2" de diámetro interior; alrededor de éste, está una chumacera unida tanto a la caja metálica, como a la cabeza del cilindro de la compuerta. Esto permite que ésta sea arrasada por la caja metálica, permitiendo su rotación; el movimiento rotatorio de la compuerta se obtiene por medio de una banda metálica, sol

dada y enrollada a la cabeza del cilindro, soldada también a -- las guías laterales de la ranura de la media pila; la caja metálica en forma de prisma recto inclinado, tiene en su parte superior unido a ella por medio de una articulación, un husillo sin fin de una pulgada de diámetro, con rosca de tipo cuadrangular, de un paso de 3 hilos por pulgada; este husillo gira alrededor de un collarín, del mismo tipo que él y apoyado al muro por medio de dos tirantes; el husillo es accionado a mano por un volante de 15" de diámetro. El cimacio y el colchón unidos en una sola pieza, de lámina galvanizada del No. 22, forjada a mano y con los necesarios refuerzos para darle rigidez. El conjunto -- formado por la parte no erosionable del modelo, no se logró constituir de un todo montable y desmontable a voluntad, por su --- gran volumen y excesivo peso, por lo que se construyeron y montaron sucesivamente, de acuerdo con el reducido espacio de que se disponía (el interior del tanque de una pared transparente).

Para la medida de las presiones en la periferia de la -- compuerta se construyó un tablero de madera, con un marco perforado; sobre la cara del tablero se pegó una tira de papel milimétrico cuadrículado, misma que ayudaría a la medida de las presiones; a través de las perforaciones del marco se hizo pasar-- 20 tubos de vidrio de 1 cm. de diámetro, lo que, unidos a tubos de hule, insertados a las perforaciones hechas a la periferia-- de la compuerta, constituirían el juego de tubos piezométricos; sobre el papel milimétrico pegado al tablero, se trazó a escala una cuadrícula que representaba unas de las líneas de ésta, cotas sobre el nivel del mar, las otras, distancias hacia aguas a rriba y aguas abajo de un eje que pasará por la cresta del cimacio. Sobre esta cuadrícula se trazó también a escala el cimacio; para facilitar la medida de las presiones sobre la periferia de la compuerta, se dispuso de una silueta trazada a escala y re-- cortada sobre lucite y que representa un corte de la compuerta-- por un plano vertical; esta silueta tiene un dispositivo de elevación semejante al que tiene la compuerta. Todo el conjunto de silueta y sistema de elevación, se montó en el tablero de tubos

de vidrio, la silueta, entre los tubos y el papel milimétrico y el mecanismo elevador dentro de una ranura que se practicó al centro del tablero y la parte posterior de éste. El mecanismo fué ajustado de tal modo que una rotación completa de él, corresponde a un desplazamiento vertical, igual al que resulta para la compuerta en su movimiento oblicuo. La silueta transparente tiene 10 marcas en la periferia, que corresponden a los respectivos orificios de la compuerta, ya sea, los que están en el extremo cercano a la pila, o a los del extremo libre de la semi compuerta.

El sello inferior del espolón, se construyó de madera de balsa, unida al extremo inferior del espolón con pegamento especial (Pliogón). Del mismo material y unido con el mismo pegamento, se construyó el sello lateral que corresponde al lado de la pila; en cuanto al sello lateral correspondiente al lado libre de la compuerta, el cual deberá estar en contacto con la pared de vidrio y sin apoyarse sobre ella, se dispuso una ranura alojada dentro del borde del colindro de la compuerta; la ranura se prolonga a todo lo ancho del espolón. Dentro de esta ranura se alojaron dos tiras de hule, una de ellas, de hule esponja y la otra de hule macizo; la segunda deberá estar en contacto sin apoyar con el vidrio de la pared transparente.

El cimacio se construyó en el taller mecánico de acuerdo con los datos y medidas que da el plano No. 3; se trazó cortó y forjó a mano, con lámina galvanizada del No. 22, se le dió resistencia y rigidez, mediante adecuados refuerzos de lámina colocados en la cara cóncava. Dos de estos refuerzos dados al conjunto cimacio-colchón, permitieron formar una pestaña, la cual sirvió para la unión del conjunto, con las paredes verticales del tanque de pared transparente; ésta se logró, del lado del vidrio, por medio de un mastique hecho de una mezcla en estado de fusión de chapopote, aceite de linaza y polvo de asbesto; esta misma mezcla se usó para la unión del conjunto con la pared opaca y el contorno de la semi-pila. Se procuró también hasta donde las posibilidades y materiales de que disponía, lo permiti-

tieron, evitar la filtración de aguas arriba, hacia la parte inferior del modelo, con objeto de eliminar un probable efecto de subpresión, si el agua pudiera penetrar a la parte inferior del colchón.

Por último, para permitir desalojar el agua atrapada en los canales de ensaye de los modelos, al terminar cada prueba o ensaye, se dispuso de drenes que consistían en tubos de 2" de diámetro de grueso, de longitud variable, colocados sobre el piso de los canales de ensaye de los modelos; a estos tubos se les acoplan válvulas de globo, una para cada tubo y que, -- por medio de ellas, es posible devolver al tanque de almacenamiento, el agua atrapada. De estos desagües se colocaron uno para el modelo de carácter general y otro para el seccional, -- en los sitios más apropiados para ello.

Todas las partes pulidas de los modelos, así como también las expuestas a la acción del agua y las que proporcionan vistosidad al modelo, fueron cubiertas con capas de pintura "Duco" aplicadas con brocha de aire.

Una vez concluidas todas las fases de construcción de los dos modelos, se procedió a la operación de ellos, bajo el programa de pruebas aceptado por las autoridades superiores y que es como sigue:

Programa de pruebas para el modelo de carácter general:

1- Levantamiento de curvas de gastos aguas arriba para las siguientes condiciones:

- a) Todas las compuertas totalmente cerradas.
- b) Todas las compuertas totalmente abiertas.
- c) Una compuerta extrema (la No. 1) totalmente abierta y las demás totalmente cerradas.
- d) Una compuerta extrema (la número 1) totalmente cerrada y las demás totalmente abiertas.
- e) Distintas aberturas de la compuerta extrema (la No. 1) con las demás cerradas.

2- Levantamiento de velocidades durante las pruebas an-

teriores en los puntos medios de los claros de cada compuerta, a la altura de la cara aguas arriba de las pilas y al comenzar el enrocamiento aguas abajo.

3- Localización del salto hidráulico en las condiciones de la prueba y para distintas aberturas de la compuerta No. 1, conservando el nivel aguas arriba a punto de que se vierta por encima de todas las demás compuertas, que están cerradas.

En todas y cada una de estas pruebas se hizo lectura en la escala de gancho colocada aguas arriba de la cresta del cimacio así como también en la colocada aguas arriba de la sección de control de tirantes aguas abajo.

Con el objeto de anotar todos y cada uno de los datos y mediciones hechas durante las pruebas, se prepararon registros donde se anotaban y consignaban todos los procesos de cada una de las observaciones hechas. En el registro para las curvas de gasto se anotaban; condiciones de la prueba, carga sobre la cresta del tanque medidor, gasto en el modelo, gasto correspondiente reducido al prototipo, lectura sobre la escala aguas arriba del cimacio, carga sobre la cresta de éste, reducida al prototipo y coeficiente de gasto. El registro para el levantamiento de velocidades consignaba, condiciones de la prueba, --gasto que escurría reducido al prototipo, ubicación del sitio en el que se colocaba el aparato medidor de velocidades, velocidad en el modelo y velocidad reducida al prototipo. El registro para la localización del salto hidráulico, servía para anotar las condiciones de la prueba, el gasto escurrido reducido al prototipo y la distancia que separaba el sitio donde se formaba el salto hidráulico con la cresta del cimacio.

Con los datos obtenidos y consignados en el registro para curvas de gasto, se trazó sobre un papel milimétrico cuadrado, la gráfica gastos cargas sobre la cresta, con ayuda de dos ejes rectangulares, los cuales eran dos líneas de la cuadrícula; todos los incisos del primer punto del programa fueron cumplidos a satisfacción de las autoridades.

Con el propósito de ahorrar tiempo y evitar inútiles repeticiones de maniobras, los puntos del programa No. 1 y 2, se llevaron a cabo de manera simultánea y las medidas necesarias al 2o. punto del programa, se hicieron con ayuda de dos aparatos medidores de velocidad, con objeto de verificar los resultados de uno, con los del otro; estos dos aparatos fueron un molinete hidráulico enano, de laboratorio, de contactos eléctricos y un tubo de Pitot. El molinete hidráulico es similar en forma y modo de operación a cualquier molinete de los usados por las Divisiones Hidrológicas de la Dirección de Estudios de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, sólo difieren en tamaño y en que el enano, tiene dos hélices intercambiables de 7/8" de diámetro c/u; una de ellas de tres aspas a 60°, para velocidades de 5 a 15 cm./seg. la otra de 4 aspas a 90°, para velocidades de 20 a 180 cm/seg. El molinete empleado en las pruebas fué uno de marca Leupold and Stevens, en el Laboratorio de Tara Molinetes del Departamento de Ingeniería Experimental de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, se determinó su curva de calibración, con la cual se trabajó.

De la comparación de las medidas hechas por medio del molinete, con las obtenidas con ayuda del tubo de Pitot, se concluyó que merecían mayor confianza las primeras. Se operó de acuerdo con el programa aceptado, cumpliéndose a satisfacción con todos sus puntos.

La localización del salto hidráulico para distintas aberturas de la compuerta N° 1 y con las demás totalmente cerradas se efectuó procediendo como sigue:

1- Se tomó como nivel de referencia el de la parte más alta de las compuertas y como ejes de referencia la tangente a la cara aguas arriba de las pilas y la línea central del claro N° 1. Sobre la base de estos ejes se trazó una cuadrícula con separaciones distintas en ambos sentidos, para el transversal cada 11.45 cm. (5.715 m. en el prototipo) en el sentido longitudinal cada 5 cm. (2.50 m. en el prototipo).

Con esta cuadrícula hacia aguas abajo hasta una distancia de 65 cm. a partir del origen (32.50 m. en el prototipo).

2- Se cerraron las compuertas Nos. 2 al 6 y se elevó-- la compuerta N° 1 hasta una de las posiciones aconsejadas por los proyectistas; ésta fué la N° 2 (ver plano N° 5).

3- Por medio del tanque medidor se graduó el gasto que escurría hasta que el agua estuviera a punto de verter por en cima de las compuertas cerradas.

4- Desde el nivel de referencia se tomaron los desniveles a la superficie libre del agua, para todos los puntos de la cuadrícula; estos desniveles se refirieron al prototipo.

Los gastos necesarios para las distintas posiciones de la compuerta fueron como sigue:

Posición	Gasto
2	290 m ³ /seg.
3	390 "
4	515 "
5	710 "

Como ya en la posición 5, la compuerta abierta prácticamente dejaba escurrir libremente el agua, no se hicieron en sayes con la compuerta en posiciones más elevadas, puesto que los resultados serían los mismos.

Con ayuda de líneas horizontales trazadas sobre la cara interior, de la pila N° 1 se logró colocar la compuerta N° 1 en las diversas posiciones aconsejadas por los contratistas.

De acuerdo con lo dicho al principio de este tema, la operación del modelo seccional deberá ser posterior, o de ser posible, simultánea a la del de carácter general; por lo tanto, siguiendo un criterio semejante al seguido para el modelo de carácter general, se aceptó un programa de pruebas, formulado por los proyectistas y que fué como sigue:

Programa de pruebas para el modelo seccional.

1- Levantamiento de precisión de presiones en la superficie de la compuerta, de niveles en el interior de ésta y de niveles aguas arriba y aguas abajo, con diversas aberturas de la compuerta y diferentes gastos, y con el nivel libre de aguas abajo correspondiente a igual abertura de las compuertas.

2- Levantamiento fotográfico de presiones y niveles para las condiciones anteriores, en los casos considerados más importantes.

3- Levantamiento de perfiles del agua para varias posiciones de la compuerta, con el gasto correspondiente a la carga de 8.40 m. aguas arriba, considerando igual abertura de todas las compuertas.

Para cumplir la primera parte del programa, se preparó un registro en el cual se anotaban el número de la posición de la compuerta, el gasto escurrido, las lecturas de las escalas aguas arriba y aguas abajo, los niveles del agua en los piezómetros, éstos por duplicado ya que, se tenían dos series distintas de tubos piezométricos, numerados del 1 a 10 los correspondientes a los orificios practicados cerca del centro de gravedad de la compuerta y numerados del 1a al 10a, los que corresponden a la serie de orificios practicados cerca de la pila; los datos anteriores transformados al prototipo y las presiones. Se determinaron las cotas sobre el nivel del mar, de los 20 orificios, en relación con la superficie de la compuerta y para diversas posiciones de ésta; para cada gasto -- que se dejaba pasar por el modelo y para cada posición de la compuerta, se dejaba transcurrir el lapso de tiempo necesario a la estabilización del escurrimiento y se observaban los tubos piezométricos. Si se notaban defectos en el escurrimiento del agua dentro de los tubos, producidos por la presencia de burbujas de aire dentro de ellos, se corregían aquéllos por cuantos medios se tuviesen a mano, pues de acuerdo con el carácter de la prueba, los errores deberían reducirse al mínimo posible.

Cuando se lograba que el modelo trabajara en las condiciones óptimas se medían las alturas de agua en los tubos, mediante un escalímetro aplicado al tablero y aprovechando la cuadrícula trazada sobre el papel milimétrico pegada a él. Las presiones se obtenían por deducción, mediante la resta de la cota que, de acuerdo con la posición de la compuerta, le correspondía al orificio de salida del piezómetro sobre el cual se medía la altura del agua, de la cota del menisco del agua dentro del tubo piezométrico, obtenida esta última por la aplicación directa del escalímetro sobre el tablero.

Los niveles de la superficie libre del agua, aguas arriba del cimacio se obtenían por deducción, sumando a la cota de éste la carga sobre la cresta, obtenida de la lectura de la escala de gancho reducida al prototipo; de manera similar se obtuvieron los niveles del agua, aguas abajo por medio de la suma de la cota de la parte más baja de la sección de control de tirante aguas abajo (cota 25.00 m. sobre el nivel del mar) con la correspondiente carga, medida con la respectiva escala de gancho y reducida al prototipo. Respecto al nivel de la superficie libre del agua en el interior de la compuerta, no se llevó a cabo ninguna medida, sólo se comparó por apreciación visual, la altura de éste con la altura aparente del de aguas abajo.

Todas las medidas y observaciones necesarias al cumplimiento de la primera parte del programa, se llevaron a efecto a una entera satisfacción.

El levantamiento fotográfico de presiones y niveles, segundo punto del programa, se verificó con la repetición de algunas de las pruebas del primer punto del programa; para facilidad de las operaciones se tiñó con tinta de pluma fuente el agua de los tubos y con una cámara fotográfica de tripié, se tomaron fotografías del modelo funcionando bajo las condiciones óptimas y para cada una de las pruebas requeridas; estas fotografías fueron tomadas poniendo la cámara en posición tal, que la placa (o película) quedara vertical y paralela a la pared transparente del dispositivo de ensaye del modelo seccional y a

una distancia tal que la fotografía mostrara, el tablero piezo métrico en posición de ensayo, y una faja del modelo cuya mitad fuese la vertical del eje de figura de la parte cilíndrica de la compuerta; la silueta transparente se colocó para todas y cada una de las pruebas, en la posición correspondiente de acuerdo con la posición de la compuerta.

Las presiones se obtuvieron por medida directa sobre la fotografía y como desnivel entre el orificio de entrada del piezómetro en la compuerta (marcado en la silueta transparente) y el menisco de la superficie libre del agua dentro del tubo-- vidrio correspondiente, midiendo directamente sobre la fotografía con ayuda de un compás y reduciendo esta medida al prototipo por medio de la cuadrícula trazada sobre el papel milimétrico pegado al tablero.

Para llevar a cabo el último punto del programa, o sea el levantamiento de perfiles de la superficie libre del agua-- para varias posiciones de la compuerta, con el gasto correspondiente a la carga de 8.40 m., se trazó una cuadrícula de líneas rectas horizontales y verticales, sobre la pared transparente del dispositivo de ensayo con ayuda de una regla y lápiz de cera para vidrio, con una equidistancia de 5 cm. cada una; una de las líneas horizontales se trazó a la altura correspondiente a la cota 25.00 m. sobre el nivel del mar y una de las verticales sobre la vertical de la cresta del cimacio, la cual fué tomada como origen de distancias hacia aguas arriba y hacia aguas abajo, éstas se marcaron cada 25 cm. en ambos sentidos con las siguientes anotaciones $0 + 005$, $0 + 010$, $0 + 015$, ... etc., las de aguas abajo de la cresta del cimacio y con las anotaciones $- 0 + 005$, $- 0 + 010$, $- 0 + 015$ etc., las de aguas arriba de la cresta del cimacio; las líneas horizontales se marcaron con las anotaciones 15.00, 20.00, 25.00, 30.00, 35.00, 40.00 y que correspondían a cotas redondas sobre el nivel del mar. La primera posición de la compuerta fué ésta totalmente cerrada y con ayuda del tanque medidor se fué regulando el escurrimiento del agua hasta que con la carga de 8,40

sobre la cresta se obtuvo el gasto requerido; al estabilizarse el escurrimiento se midieron las cotas de la superficie libre del agua de todos los puntos necesarios para formar un perfil, anotándose todas estas cotas en un registro. Sin variar el gasto se elevó la compuerta hasta la posición N° 2, dejándose bajar el modelo un lapso de tiempo aproximado de diez minutos, durante el cual se volvió a estabilizar el escurrimiento y se obtuvo un nuevo perfil, el cual se determinó de manera similar al anterior, anotándose todos los datos en el registro. De manera secüente y sin modificar para nada el gasto que escurría, se elevó la compuerta hasta la posición de 9, repitiéndose todas las operaciones que se mencionan en párrafos anteriores.

TEMA CUARTO

Resultados de las pruebas en el modelo de tipo general.

Las cruvas de gasto obtenidas mediante la sección de -- control aguas abajo coincidieron con la curva de gastos del -- río tal como se vé en la gráfica N° 1.

Las cruvas de gastos de la cresta vertedora del cimacio fueron como sigue:

Gráfica N° 2- Curva para todas las compuertas cerradas.

Gráfica N° 3- Curva para todas las compuertas totalmente abiertas.

Gráfica N° 4- Curva para la compuerta número uno totalmente abierta, y las demás cerradas.

Gráfica N° 5- Curva para la compuerta número uno cerrada y las demás totalmente abiertas.

Gráfica N° 6- Curva para la compuerta número uno, en -- las posiciones 2, 4, 6, 8, 10 y 12, y -- las demás cerradas.

El levantamiento de velocidades medidas en los claros-- de las compuertas están anotados en las tablas Nos. 7, 8, 9 y 10.

Tabla N° 7

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUASVELOCIDADES (en m/seg.) TOMADAS EN EL CENTRO DE CADA CLAROTODAS LAS COMPUERTAS CERRADAS

Q (m ³ /seg.)	Aguas arriba Claro N°						Aguas abajo Claro N°					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
850	1.27	1.41	1.48	1.27	1.48	1.48	1.41	1.41	1.27	1.27	1.48	1.41
590	0.99	1.13	0.98	0.98	0.98	0.94	1.20	1.31	1.34	1.47	1.41	1.34
386	0.85	0.77	0.91	0.91	0.91	0.91	0.98	1.20	1.20	1.13	1.05	0.98
212	0.70	0.70	0.84	0.84	0.77	0.77	0.98	1.27	1.13	1.05	0.98	0.98
77	0.56	0.63	0.70	0.77	0.70	0.70	0.77	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84

Tabla N° 8

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUASVELOCIDADES (en m/seg.) TOMADAS EN EL CENTRO DE CADA CLAROTODAS LAS COMPUERTAS TOTALMENTE ABIERTAS

Q(m ³ /seg.)	Aguas arriba Claro N°						Aguas abajo Claro N°					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
3150	2.12	1.87	2.19	1.98	1.20	1.24	1.63	1.77	2.78	2.23	1.98	1.41
3000	1.87	1.80	1.87	1.95	1.80	0.88	1.48	1.70	1.87	2.16	1.95	1.13
2300	1.41	1.63	1.70	1.87	1.67	0.74	1.29	1.56	1.41	1.87	1.67	0.99
1890	1.20	1.45	1.63	1.70	1.59	0.60	1.24	1.52	1.41	1.73	1.63	0.67
1320	0.85	1.20	0.88	1.10	1.10	0.81	0.84	0.88	1.10	1.02	1.45	0.59
850	0.60	1.06	0.56	0.71	0.81	0.86	0.43	0.56	0.71	0.74	0.92	0.47
420	0.50	0.46	0.42	0.44	0.44	0.29	0.42	0.29	0.30	0.30	0.27	0.25

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS

VELOCIDADES (en m/seg.) TOMADAS EN EL CENTRO DE CADA CLARO

COMPUERTA N° 1 TOTALMENTE ABIERTA, LAS DEMAS CERRADAS

Q (m ³ /seg.)	Aguas arriba Claro N°						Aguas abajo Claro N°					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
2000	4.37	4.16	3.90	3.53	4.16	3.46	5.88	2.82	3.94	5.22	2.70	4.88
1710	4.16	4.10	3.86	3.46	4.10	3.42	5.88	2.00	3.40	4.96	2.12	4.56
1425	3.89	3.49	3.28	3.32	3.67	2.26	5.80	1.68	2.24	4.60	1.84	4.00
1285	3.89	3.35	2.83	3.03	3.60	1.41	5.80	1.40	2.12	3.82	1.56	2.82
1200	4.02	2.16	1.63	1.84	2.12	0.99	5.73	0.84	0.84	0.84	0.68	1.28
1100	3.96	1.23	0.50	0.42	0.42	0.35	5.64	0.68	0.68	0.68	0.68	1.28
987	3.89	0.64	0.48	0.41	0.40	0.32	5.58	0.60	0.62	0.64	0.64	0.96
850	3.74	-	-	-	-	-	5.52	-	-	-	-	-
685	3.60	-	-	-	-	-	5.40	-	-	-	-	-
590	3.42	-	-	-	-	-	4.27	-	-	-	-	-
450	3.11	-	-	-	-	-	3.98	-	-	-	-	-
386	2.60	-	-	-	-	-	3.46	-	-	-	-	-
300	2.32	-	-	-	-	-	3.17	-	-	-	-	-
312	1.76	-	-	-	-	-	2.18	-	-	-	-	-
150	1.20	-	-	-	-	-	0.67	-	-	-	-	-
77	0.57	-	-	-	-	-	0.39	-	-	-	-	-
50	0.30	-	-	-	-	-	0.32	-	-	-	-	-

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS

VELOCIDADES (en m/seg.) TOMADAS EN EL CENTRO DE CADA CLARO

COMPUERTA N° 1 CERRADA, LAS DEMAS TOTALMENTE ABIERTAS

Q (m ³ /seg.)	Aguas arriba Claro N°						Aguas abajo Claro N°					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
3150	1.70	2.26	2.51	2.40	2.32	2.40	1.49	2.68	2.61	2.54	2.47	2.26
3000	1.63	2.26	2.51	2.40	2.26	2.32	1.49	2.61	2.61	2.54	2.47	2.26
2840	1.57	2.18	2.53	2.32	2.26	2.32	1.41	2.48	2.40	2.32	2.26	2.18
2700	1.49	2.12	2.40	2.26	2.18	2.26	1.34	2.32	2.26	2.26	2.22	2.22
2595	1.41	2.12	2.32	2.18	2.12	2.18	1.34	2.82	2.26	2.26	2.04	1.98
2500	1.34	2.04	2.18	2.18	2.12	2.12	1.27	2.18	2.12	2.18	1.98	1.90
2315	1.20	1.98	2.12	2.12	2.04	2.04	1.20	2.12	2.04	2.04	1.98	1.84
2150	1.20	1.98	2.04	2.12	2.04	1.98	1.20	2.04	2.04	2.04	1.90	1.77
2003	1.13	1.90	1.98	2.04	1.98	1.90	1.13	1.98	1.98	1.98	1.90	1.77
1850	1.13	1.84	1.90	1.98	1.90	1.84	1.13	1.98	1.98	1.90	1.84	1.70
1735	1.06	1.84	1.90	1.98	1.90	1.84	1.06	1.84	1.90	1.84	1.84	1.70
1500	1.06	1.77	1.84	1.90	1.84	1.77	1.06	1.77	1.84	1.77	1.77	1.63
1355	0.99	1.70	1.84	1.84	1.77	1.70	0.99	1.63	1.84	1.70	1.70	1.63
1235	0.99	1.56	1.70	1.77	1.77	1.63	0.99	1.55	1.70	1.70	1.63	1.56
1145	0.99	1.49	1.63	1.70	1.70	1.56	0.95	1.33	1.56	1.63	1.56	1.56
1075	0.92	1.27	1.27	1.27	1.34	1.27	0.94	1.32	1.50	1.60	1.53	1.49
1000	0.89	1.27	1.27	1.27	1.27	1.20	0.94	1.20	1.27	1.27	1.27	1.20
850	0.87	1.20	1.16	1.27	1.24	1.20	0.92	0.87	0.87	0.86	0.87	0.77
700	0.86	1.19	1.16	1.25	1.22	1.18	0.90	0.85	0.85	0.84	0.85	0.75
550	0.85	1.16	1.15	1.22	1.22	1.17	0.88	0.83	0.84	0.83	0.82	0.73

Localización del salto hidráulico- La superficie libre del agua se representó por medio de curvas de nivel, aprovechando las medidas que se tomaron en las pruebas, tal como se ve en las gráficas 11, 12, 13, y 14; en las gráficas también se dibujó la posición de la compuerta y el perfil de la superficie libre del agua a lo largo del eje del primer claro. Las gráficas representan respectivamente:

Gráfica Nº 11- Levantamiento de la superficie libre del agua en el primer claro con la compuerta Nº 1 en la posición 2 y las demás cerradas.

Gráfica Nº 12- Lo mismo que la anterior, con la compuerta en la posición 3.

Gráfica Nº 13- Lo mismo que la anterior, con la compuerta en la posición 4.

Gráfica Nº 14- Lo mismo que la anterior, con la compuerta en la posición 5.

Además de estos resultados, se logró conocer mediante apreciación visual, que en la plantilla del canal de acceso, al pie del cimacio y frente a la cara posterior de cada una de las pilas, se formaba una intensa socavación, que ponía en peligro la estabilidad de las éstas y que se debió a que en el lugar mencionado y para las primeras observaciones, no se colocó la gavilla que representa el zampeado; para corregir este defecto se propuso a los proyectistas, la colocación de aquél; aceptada esta sugestión y llevada a efecto sobre el modelo, se observó que protegiendo la plantilla del canal de acceso en una longitud de 40 m. hacia aguas arriba, con el ya mencionado zampeado, el peligro observado disminuía notablemente. Por otro lado se vio la conveniencia de modificar el tamaño de las pilas, uniformizándolo a 4.50 m. para cada una y proveer a éstas de su respectivo tajamar.

Resultados de las pruebas hechas en el modelo seccional.

Las presiones obtenidas en las pruebas del modelo se muestran en forma de gráficas, numeradas con las cifras 17, 18,

19 y 20 las cuales son como sigue:

Gráfica N^o 17- Presiones en la compuerta en posición 1 y para gastos de 850, 590, 386, 212 y 77 -- $m^3/seg.$

Gráfica N^o 18- Presiones en la compuerta en posición 2 y para gastos de 850, 590 y 386 $m^3/seg.$

Gráfica N^o 19- Presiones en la compuerta en posición 3 y para gastos de 850, 590 y 386 $m^3/seg.$

Gráfica N^o 20- Presiones en la compuerta en posición 4 y para gastos de 850 y 590 $m^3/seg.$

Las gráficas están divididas en dos partes y representan las presiones sobre los dos extremos de la compuerta, el libre (mitad de la compuerta) y el cercano a la pila, llevadas para cada punto en sentido radial, hacia afuera las positivas y hacia adentro las negativas, resultando así circunferencias concéntricas las curvas de igual presión. En las gráficas aparecen también los niveles de la superficie libre del agua, tanto a --guas arriba como aguas abajo de la compuerta.

Los resultados obtenidos en el levantamiento de perfiles de la superficie libre del agua, están consignado por medio de las gráficas números 21 al 29 inclusive; éstas, dibujadas a la escala 1:100 muestran la compuerta en su posición de ensaye, la cresta vertedora, y el perfil de la superficie libre del agua, desde 6 m. aguas arriba hasta 19 m. aguas abajo de la cresta --del cimacio; muestran además, los niveles medidos en las respectivas escalas de gancho y el gasto escurrido.

Para la determinación de la superficie libre del agua en el interior de la parte cilíndrica de la compuerta, para todas las pruebas se observó, que después de una fase transitoria de duración variable, el mencionado nivel se estabilizaba a la altura del de agua abajo, en el cual permanecía sin ninguna modificación durante todo el lapso de tiempo que duraba la prueba.

TEMA QUINTO - CONCLUSIONES

El empleo del Método Experimental, actualmente en auge, permite esperar discrepancias del 5 al 10% en los resultados -- que se obtienen de su uso, pero también se corre el peligro de caer en errores del 200 % o más; esto depende del mayor o menor cuidado que se tenga en la correcta aplicación del Método.

Para mayor comprensión de lo que acabo de decir, definiré lo que es un Modelo Hidráulico. Un Modelo Hidráulico es un sistema de escurrimiento, semejante geométrica y dinámicamente a otro sistema de escurrimiento que le sirve de Prototipo; dicho en otras palabras, un Modelo Hidráulico es un aparato o instrumento, que consta de dos partes, una estática y otra dinámica y que por medio de él, se formula una pregunta a la Naturaleza, se reproduce un fenómeno de ella, se experimenta con él y se procura interpretar correctamente los resultados.

De aquí se infiere que el éxito o fracaso con el empleo del Método Experimental por medio de Modelos Hidráulicos, depende de la correcta formulación de las preguntas y la atinada interpretación de los resultados, puesto que no se debe olvidar y tenerse muy en cuenta, que la Naturaleza siempre contesta a --- cualquier pregunta que se le formule, permitiéndonos apreciar el desarrollo de cualquier fenómeno que en ella ocurre.

En el desarrollo del Tema Nº 2 de este trabajo, expuse una serie de preguntas formuladas por los proyectistas, preguntas que después fueron formuladas a la Naturaleza por medio de los dos Modelos, el de carácter general y el seccional y los estudios llevados a cabo en ambos, me dieron la base para esta tesis.

La correcta interpretación de los resultados obtenidos en las pruebas verificadas en los modelos, constituyen mis conclusiones y son como sigue:

Las peores condiciones de funcionamiento del modelo, serían una creciente máxima extraordinaria y todas las compuertas

totalmente cerradas, pero esta condición provocaría una catástrofe, una inundación de extensa zona ribereña del Río Bravo, con pérdidas de cosechas (muy lamentable) y de vidas humanas-- (estudio inadmisible para los fines de la Ingeniería Civil) y es por esto por lo que en la Tabla N° 7, sólo se muestran velocidades desde un gasto de estiaje, hasta otro de una creciente normal y tomando en cuenta también la carga para la capacidad máxima del canal de Anzaldúas y el criterio expuestò en el Tema N° 3, (canal de Anzaldúas sin funcionar) se puede ver que las velocidades, para estas condiciones, no son erosinables en las proximidades de la cresta del cimacio y se puede suponer-- sin temor de equivocarse que no había peligro de socabación en la cimentación de las pilas; las limitaciones de tiempo disponible para el desarrollo de las pruebas y el cumplimiento del programa fijado, impidieron verificar la ausencia de peligro-- de erosión en la plantilla del canal de acceso, para puntos aguas arriba de la cresta del cimacio, pues no se midieron velocidades sobre ellos. Para puntos situados sobre el tanque amortiguador y el canal de descarga, puedo decir que tampoco hay-- peligro de erosión, aunque sin poderlo verificar, por las mismas razones expuestas renglones arriba.

Una condición de funcionamiento, muy desfavorable por-- cierto, es la de una compuerta abierta totalmente (la N° 1) y las demás cerradas, que abarca mediciones de velocidad para una gama de gastos que van de una creciente máxima hasta un estiaje, muestra, según la tabla N° 9, la necesidad de proteger la cimentación de las pilas y la plantilla del canal de acceso, aun para gastos de crecientes normales (véase la tabla mencionada) pues para éstos, las velocidades del agua son erosionables; la solución, sujeta a verificación posterior, la indico en el Tema N° 4 al finalizar los resultados obtenidos en las-- pruebas en el modelo de carácter general. Por otro lado es importante observar que la capacidad máxima del vano de una sola compuerta abierta es menor que $600 \text{ m}^3/\text{seg.}$, y aun para ese gasto la velocidad del agua es de $3.45 \text{ m}/\text{seg.}$ (erosionable) y que

con gastos menores al que indico, el agua no vierte por sobre las compuertas cerradas. En cuanto a las velocidades del agua en el tanque amortiguador, sólo puede decir que se midieron sobre una sección transversal equidistante de la cresta del cimacio y del principio del canal de descarga; al centro del vano de cada compuerta y que muestran la imprescindible necesidad de aumentar la longitud proyectada del enrocamiento a volteo de la plantilla y taludes del mencionado canal, pues aun para gastos de crecientes menores, la velocidad es peligrosa (véase la Tabla Nº 9); debo indicar además, que por apreciación visual se pudo notar que las trayectorias de las venas líquidas de alta velocidad, correspondientes al vano de la compuerta abierta, mostraban una tendencia a dirigirse hacia el talud del canal de descarga, produciendo con esto una notable destrucción de él. Igual cosa ocurría si se operaba con la compuerta Nº 6 totalmente abierta, pero no se presentaba este fenómeno, si la prueba se llevaba a cabo con una compuerta intermedia totalmente abierta. Por las razones que ya antes expuse (limitación del tiempo disponible y cumplimiento del programa) no se comprobó por medida de velocidades sobre puntos situados en la plantilla del canal de descarga y para gastos de crecientes menores, la posibilidad de existencia de peligro de erosión en la plantilla del mencionado canal. Para gastos de crecientes normales y máximas, bastó la apreciación visual para suponer la existencia del peligro de erosión, pues tampoco se midieron velocidades.

Otra condición de escurrimiento, también desfavorable, es la de una compuerta extrema (la Nº 1) cerrada y las demás totalmente abiertas y que abarca mediciones de velocidades para gastos desde una creciente máxima extraordinaria, hasta una creciente menor; según la Tabla Nº 10, se puede ver que si hay peligro de erosión, tanto hacia aguas arriba, como hacia aguas abajo de la cresta del cimacio, pues para gastos de crecientes normales, las velocidades son erosionables sin que tampoco se pueda comprobar si hay o no erosión en las plantillas de los canales, por las razones ya repetidas.

Una última condición de escurrimiento, fué con todas las compuertas totalmente abiertas y la Tabla N^o 9, muestra las velocidades para gastos desde la creciente máxima extraordinaria, hasta una creciente menor e indica peligro de erosión en las -- plantillas de ambos cañales para gastos de crecientes máximas y para el gasto de la creciente máxima extraordinaria y por lo -- tanto indicó también, la necesidad de proteger debidamente la -- sección de los canales de acceso y descarga.

La longitud de la protección hacia aguas arriba de la -- cresta del cimacio sobre el canal de acceso, se estimó en 50 m.; las pruebas en el modelo acusaron que esa longitud era suficien -- te para los fines que se perseguía, pero tampoco se llegó a de -- terminar la longitud mínima necesaria por las mismas razones -- que ya he expuesto. La longitud de proyecto para la protección -- del canal de descarga, no se modificó y se propuso, como solu -- ción, que para la condición de escurrimiento con una compuerta -- totalmente abierta y las demás cerradas, la operación de la o -- bra no sería con una sola y única compuerta totalmente abierta -- y las demás cerradas, sino cambiando de manera sucesiva y orde -- nada, la compuerta que debería estar totalmente abierta; la ope -- ración deberá principiarse con una compuerta extrema.

Las gráficas gastos-tirantes sobre la cresta, me indican que los coeficientes de gasto que los proyectistas se fijaron -- para determinar las dimensiones de la sección vertedora, fueron de magnitud conservadora y que el funcionamiento de la estructu -- ra es eficiente y dentro de los límites de seguridad. Todo esto puede apreciarse, examinando las gráficas correspondientes y -- que se anexan a este trabajo, puesto que en ningún caso el coe -- ficiente de gasto es superior a 2.00.

Una conclusión de tipo amplio que puedo establecer de -- las observaciones hechas con el modelo de carácter general es -- que el diseño que se obtenga a partir de las mencionadas obser -- vaciones, dará un costo de la Obra, superior al del diseño ori -- ginal, pero esto se justifica tomando en cuenta una de las fina -- lidades de aquélla, que es la de proteger las propiedades, bie --

nes y vidas humanas en poblaciones ribereñas del Bravo, comprendidas desde Reynosa, Tamps., hasta Matamoros, Tamps.

El programa de pruebas aprobado para la operación del modelo seccional y la limitación de tiempo para llevarlas a cabo, fué el factor determinante para que los estudios hechos sobre él, no fuesen, ni de la amplitud requerida para contestar las preguntas formuladas en el desarrollo del Tema N° 2, ni tampoco en el orden planeado al proyectar el modelo; este orden proponía llevar a cabo el levantamiento de presiones sobre la periferia de la compuerta, con ayuda de fotografías, antes que el de precisión y de este modo, obtener un gran número de presiones aproximada, tantas cuantas se requirieran para cada gasto y para cada posición de la compuerta; por todas las series de presiones, (una serie para cada gasto), se determinaría la crítica, cosa fácil puesto que se darían a la compuerta, todas las posiciones de proyecto para todos y cada uno de los gastos que se hiciese escurrir por el modelo y por medio de esta operación tener la seguridad de determinar la presión crítica para cada gasto. Una vez obtenidas éstas, el levantamiento de precisión de presiones, sería para la ya determinada crítica y 3 ó 4 más en las proximidades de ésta y mi opinión es que los resultados que se obtendrían operando el modelo en la forma que he descrito, serían de mejor calidad que los que presento al desarrollar el Tema N° 4.

Es por esto por lo que con respecto a las presiones sólo puedo decir que las pruebas llevadas a cabo en el modelo seccional, cumpliendo estrictamente los puntos fijados en el programa aprobado, permitieron asegurar que las hipótesis básicas, sobre las cuales los proyectistas se apoyaron para la determinación de presiones por métodos analíticos, fueron correctamente formuladas y que los coeficientes empleados, tuvieron magnitudes conservadoras, puesto que para igualdad de condiciones, las presiones medidas sobre el modelo, fueron menores que las obtenidas analíticamente y por lo tanto el funcionamiento de la estructura es eficiente y dentro de límites seguros.

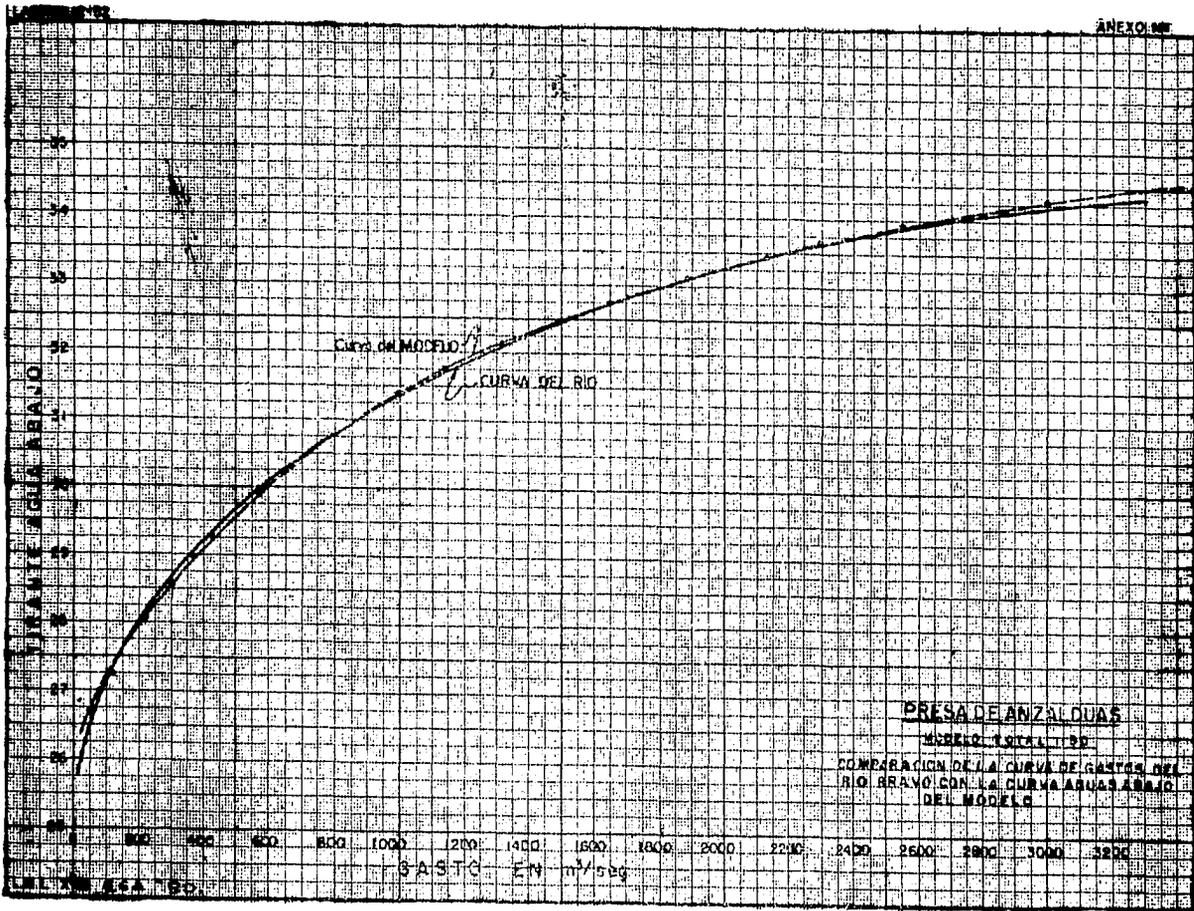
Por lo que respecta a la posibilidad de flotación de la compuerta, repetiré lo que dije en el desarrollo del Tema Nº 4, esto es, que por apreciación visual, se notó que después de una fase transitoria, el nivel del agua dentro de la compuerta se igualaba de manera aproximada al del agua en el tanque amortiguador, sin que ninguno de los casos observados, se notara alteración del nivel del agua. De aquí se infiere que no hay posibilidad de flotación.

Para dar fin a este trabajo diré que muy a pesar de los defectos que he mencionado en la operación de los modelos, las preguntas fueron formuladas de la mejor manera posible y se procuró interpretar correctamente los resultados, pues se lograron obtener mejores en la seguridad y eficiencia de la Obra, sin lograr economía en el costo. Para apreciar esto, creo conveniente hacer mención de la visita que el C. Manuel Tello, Secretario--de Relaciones Exteriores del Gabinete del Sr. Presidente Lic. - Miguel Alemán, visita en la cual el mencionado Sr. Ministro inspeccionó el modelo, escuchando con atención las explicaciones--que se le daban y al finalizar la visita, felicitó cordialmente a todo el personal del Departamento de Ingeniería Experimental de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, por el éxito obtenido. Sin embargo, dada la importancia de carácter internacional que la obra tiene, creo necesario hacer hincapié en exigir una mejor calidad en los resultados obtenidos para futuros estudios--similares al que presento. Como complemento de este trabajo y un acto de justicia debo manifestar

Como complemento de este trabajo y un acto de justicia debo manifestar que en el proyecto de los modelos colaboraron los Sres. Ings. Samuel Barocio Barrios y Ricardo Delgado Belmar, bajo la dirección y supervisión del Sr. Ing. Jehová Guerrero Torres; en parte de la construcción del modelo de carácter general, los --mencionados Sres. Ings. y el Sr. Ing. Marcos Nava Córdoba. En --la operación del modelo, el Sr. Ing. Ricardo Delgado Belmar, --llevó a cabo el levantamiento de velocidades y determinación --del salto hidráulico; en el proyecto, construcción y montaje --del mecanismo de elevación de las compuertas del modelo ca ca--carácter general, los Sres. Ings. Juan Nessi Conde y Hector Pesca--dor Estrada.

En la operación del modelo seccional, la determinación--de presiones, tanto las medidas con el sistema fotográfico, co--mo las de presión, fueron llevadas a cabo por el Sr. Ing. Ri--cardo Delgado Belmar y el sustentante colaboró en parte de la--construcción del modelo de carácter general, en la operación --del mismo con el levantamiento de las curvas de gastos y cali--bración del vertedor de parted delgada y cresta fina; en la to--tal construcción del modelo seccional y en la operación de éste, con el levantamiento de los perfiles de la superficie libre del agua.

Todas estas labores fueron llevadas a cabo, bajo la di--rección y supervisión del Sr. Ing. Jehová Guerrero Torres.



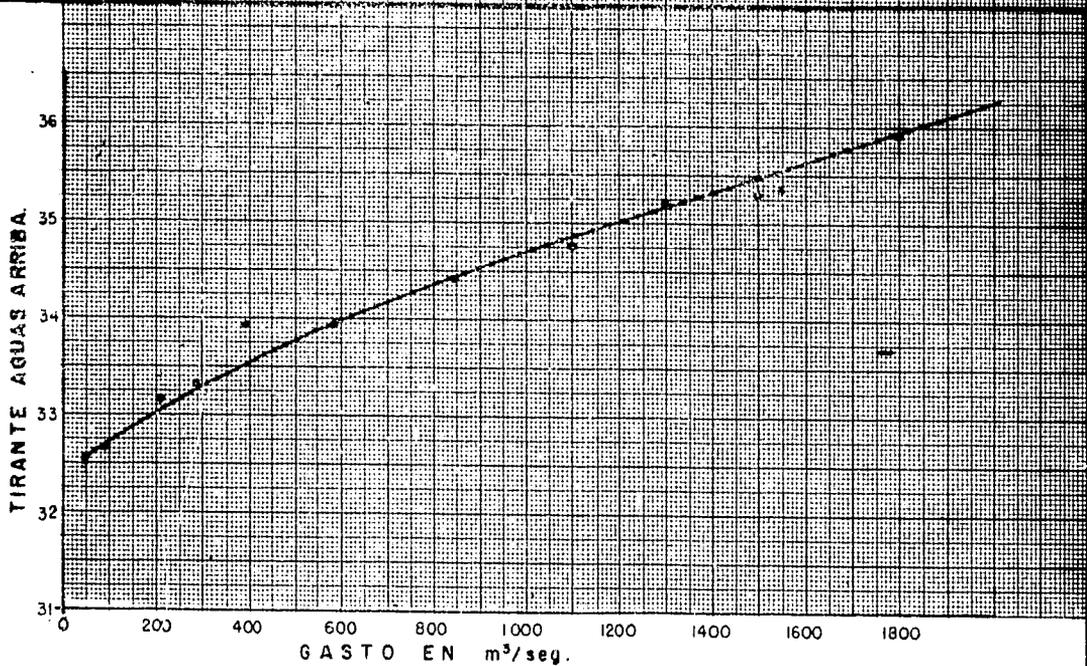
PRESA DE ANZALDUAS

MODELO TOTAL 199

COMPARACION DE LA CURVA DE GASTOS DEL RÍO BRABO CON LA CURVA AGUAS BRABO DEL MODELO

GASTO EN m³/seg

TRAFITE/GUA BRABO

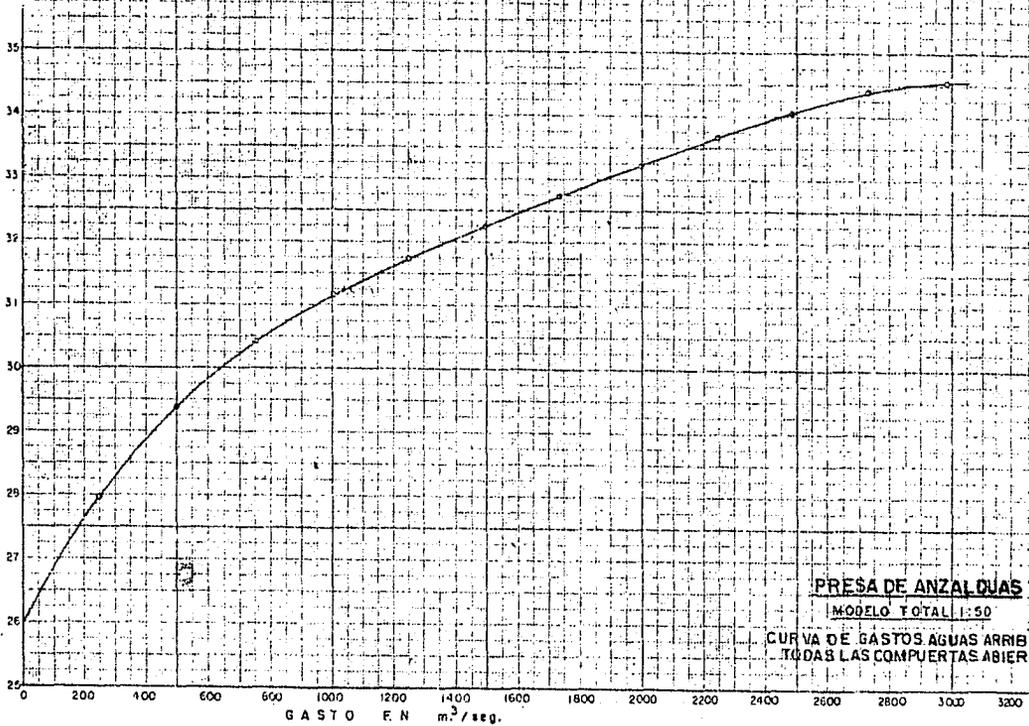


PRESA DE ANZALDUAS

MODELO TOTAL 1:50.

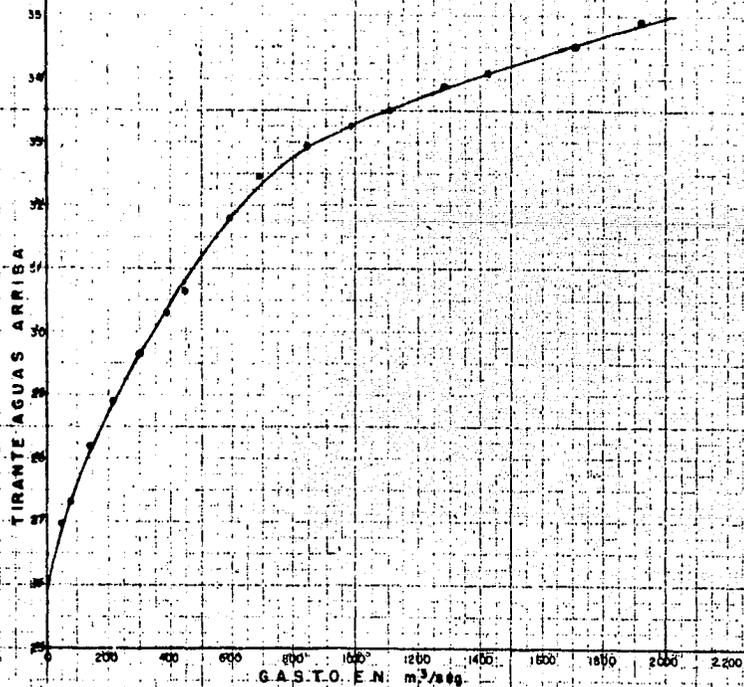
CURVA DE GASTOS AGUAS ARRIBA CON
TODAS LAS COMPUERTAS CERRADAS

TIRANTE AGUAS ARRIBA



PRESA DE ANZALQUAS
MODELO TOTAL 1:50

CURVA DE GASTOS AGUAS ARRIBA CON
TODAS LAS COMPUERTAS ABIERTAS.

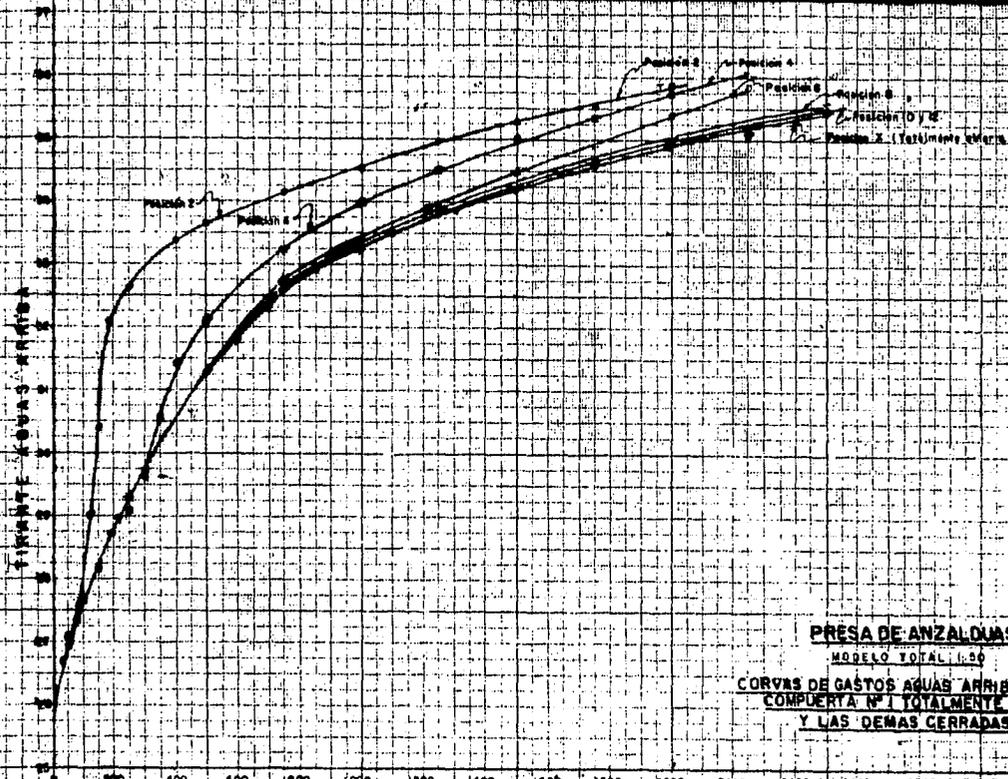


L.M.L. N° 52 - RO F. 6.

PRESA DE ANZALDUAS

MODELO TOTAL 11.50

**CURVA DE GASTOS AGUAS ARRIBA CON LA
COMPUERTA Nº 1 TOTALMENTE ABIERTA
Y LAS DEMAS CERRADAS**

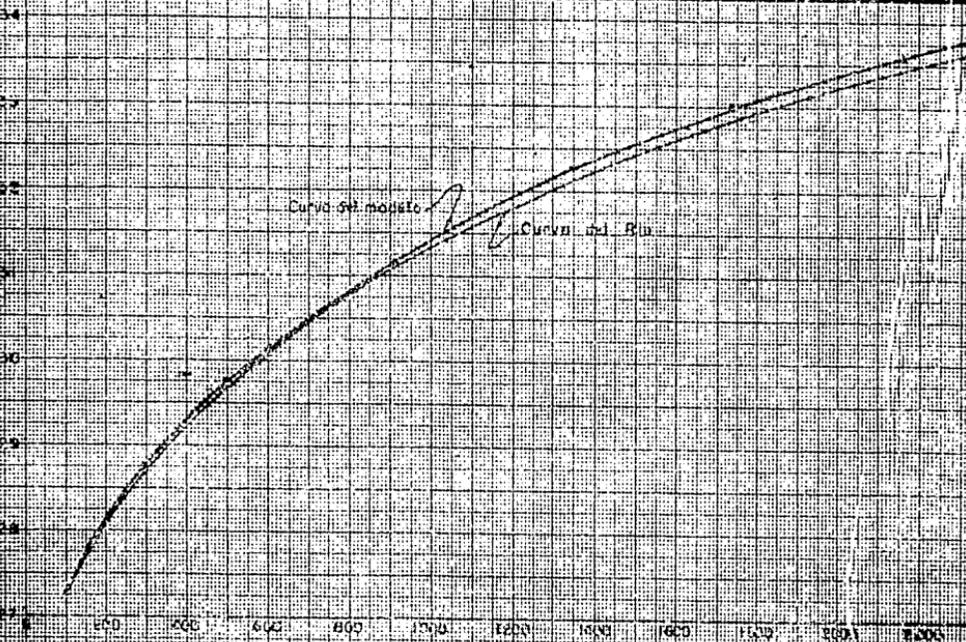


PRESA DE ANZALOMAS

MODELO TOTAL 1:30

**CORVAS DE GASTOS AGUAS ARRIBA CON LA
COMPUERTA N° 1 TOTALMENTE ABIERTA
Y LAS DEMAS CERRADAS**

CURVA AGUAS ABAYO



GABO EN m³/seg

PRISA DE ANZALDUAS

COMPARACION DE LA CURVA DE GABOS DEL RIO ORMAIZTEGUI CON LA CURVA AGUAS ABAYO DEL MODELO SECCIONAL

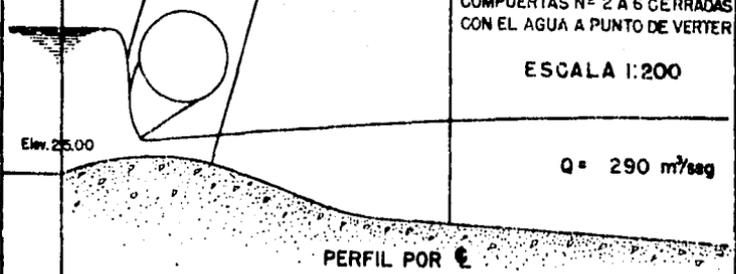
PRESA DE ANZALDUAS

MODELO TOTAL 1:50

LEVANTAMIENTO DE LA SUPERFICIE LIBRE EN EL CLARO N° 1

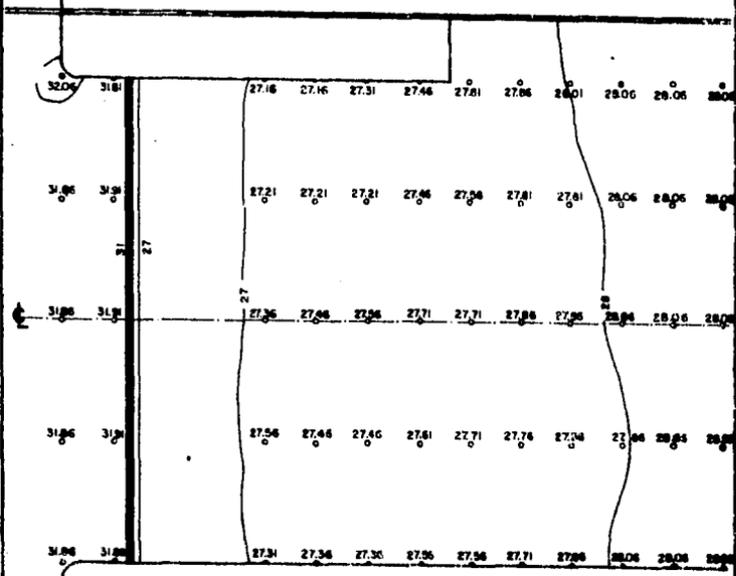
COMPUERTA N° 1 EN POSICION 2
COMPUERTAS N° 2 A 6 CERRADAS
CON EL AGUA A PUNTO DE VERTER

ESCALA 1:200



Q = 290 m³/s

PERFIL POR €



PRESA DE ANZALDUAS

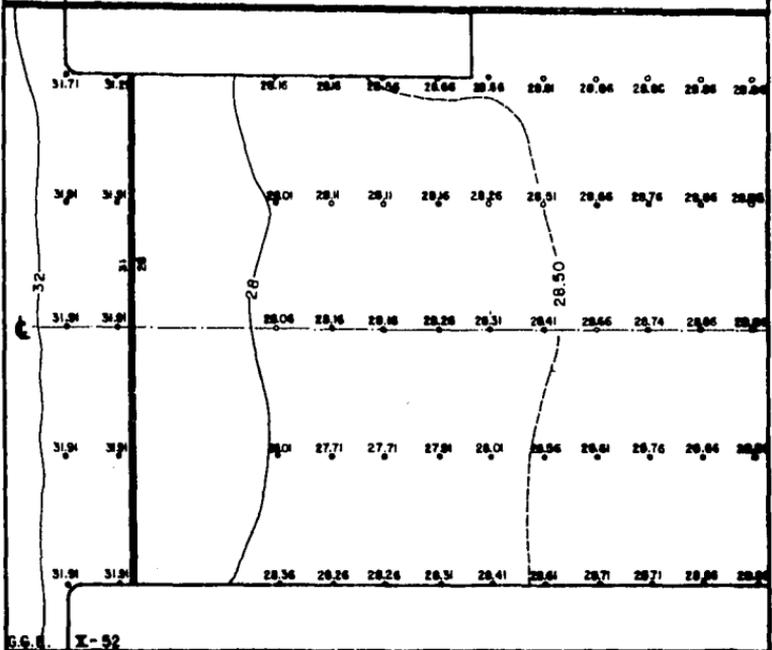
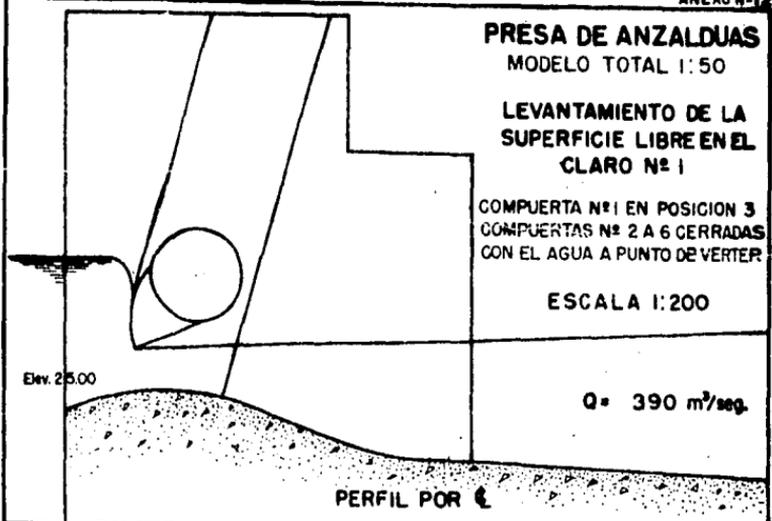
MODELO TOTAL 1:50

LEVANTAMIENTO DE LA SUPERFICIE LIBRE EN EL CLARO N° 1

COMPUERTA N° 1 EN POSICION 3
COMPUERTAS N° 2 A 6 CERRADAS
CON EL AGUA A PUNTO DE VERTER

ESCALA 1:200

Q = 390 m³/seg.



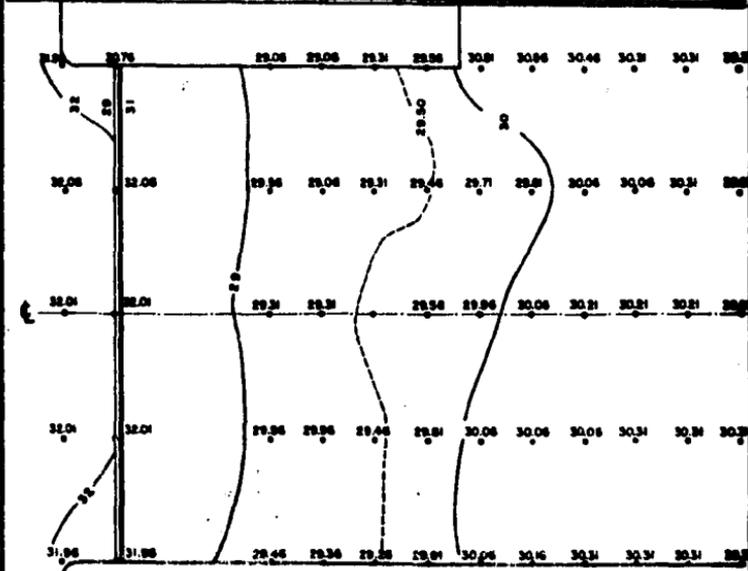
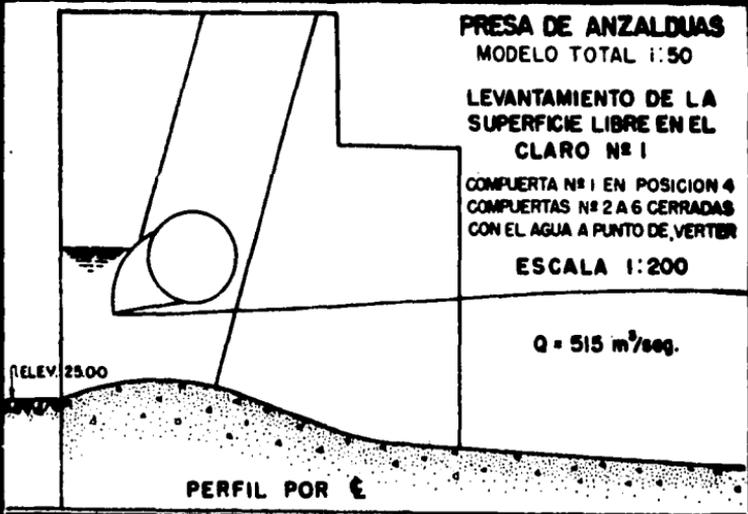
PRESA DE ANZALDUAS
MODELO TOTAL 1:50

LEVANTAMIENTO DE LA SUPERFICIE LIBRE EN EL CLARO N° 1

COMPUERTA N° 1 EN POSICION 4
 COMPUERTAS N° 2 A 6 CERRADAS
 CON EL AGUA A PUNTO DE VERTER

ESCALA 1:200

Q = 515 m³/seg.



PRESA DE ANZALDUAS

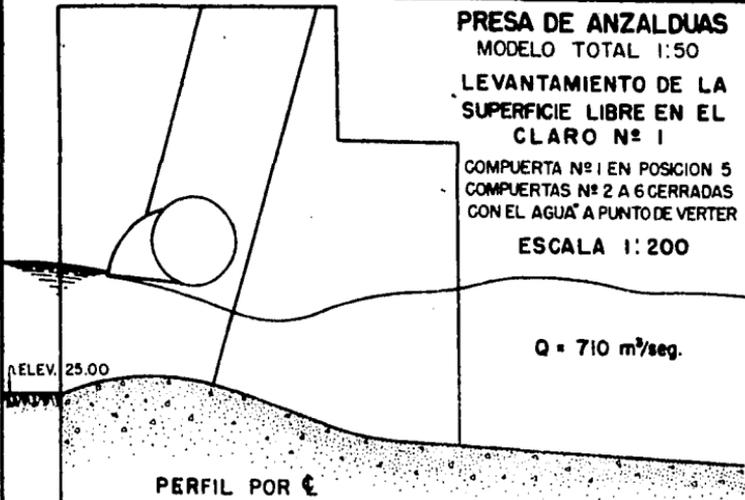
MODELO TOTAL 1:50

LEVANTAMIENTO DE LA SUPERFICIE LIBRE EN EL CLARO N° 1

COMPUERTA N° 1 EN POSICION 5
COMPUERTAS N° 2 A 6 CERRADAS
CON EL AGUA A PUNTO DE VERTER

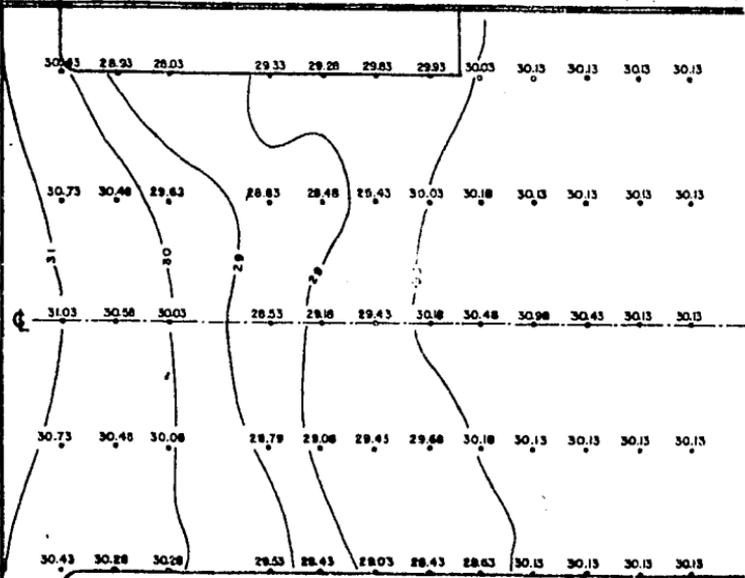
ESCALA 1:200

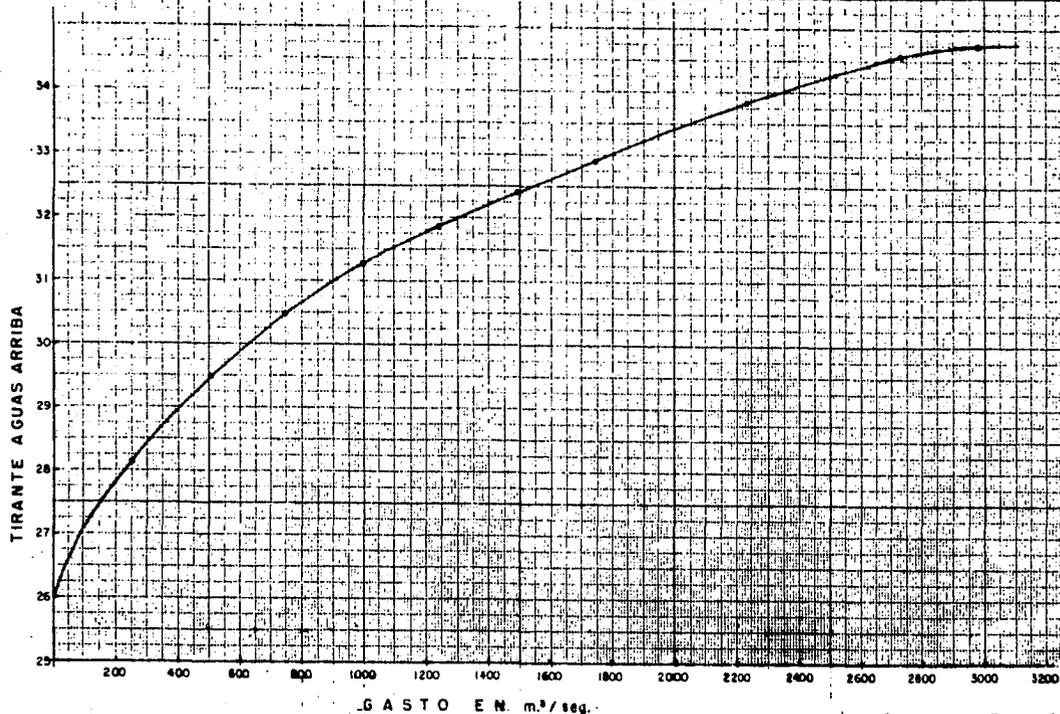
$Q = 710 \text{ m}^3/\text{seg.}$



ELEV. 25.00

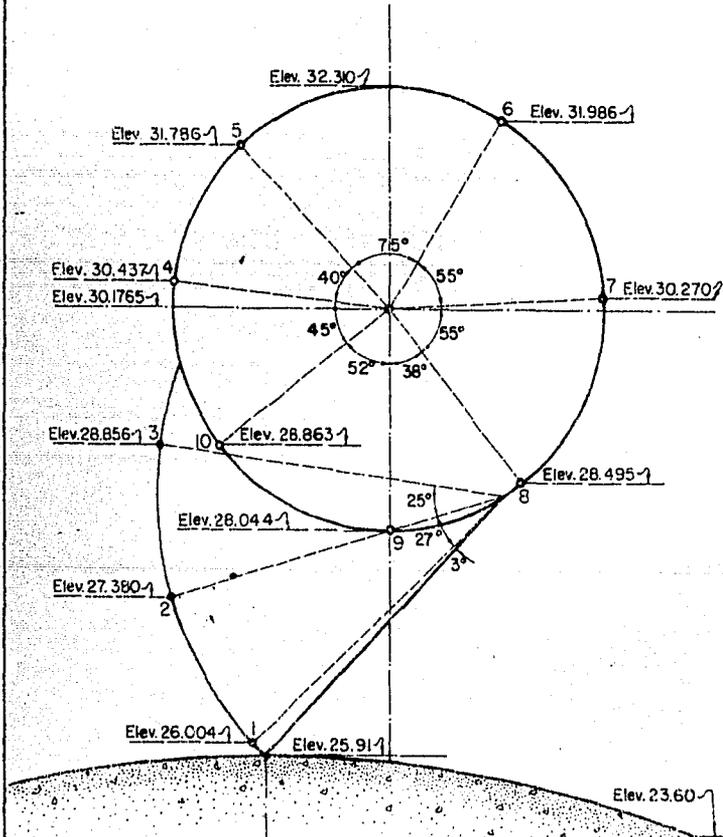
PERFIL POR €



**PRESA DE ANZALDUAS**

MODELO TOTAL 1:50

CURVA DE GASTOS AGUAS ARRIBA CON LA
COMPUERTA I CERRADA Y LAS DEMAS
TOTALMENTE ABIERTAS.



PRESA DE ANZALDUAS

MODELO SECCIONAL 1:20

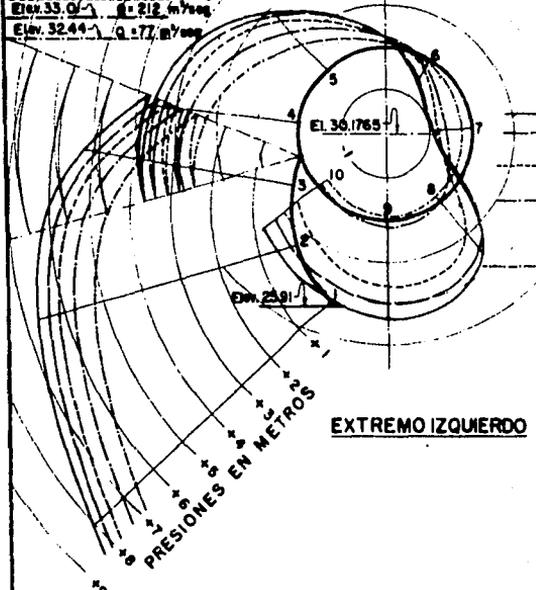
LOCALIZACION DE LOS ORIFICIOS
PARA PIEZOMETROS

POSICION I

ESCALA 1:40

H. A. S. X-52

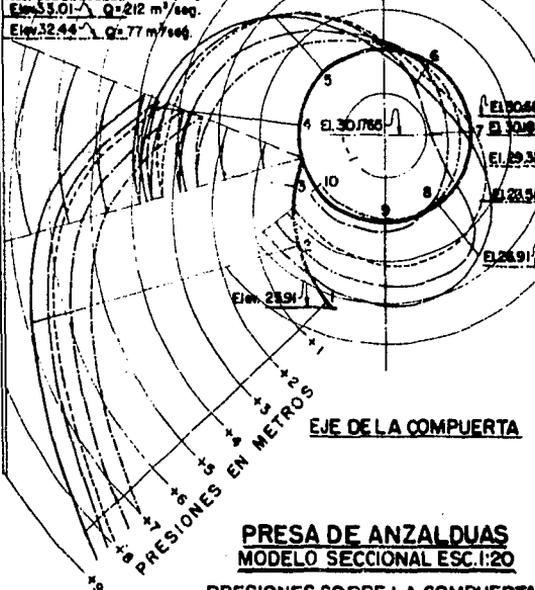
Elev. 34.08 Q=850 m³/seg.
 Elev. 33.84 Q=590 m³/seg.
 Elev. 33.55 Q=386 m³/seg.
 Elev. 33.01 Q=212 m³/seg.
 Elev. 32.44 Q=77 m³/seg.



EXTREMO IZQUIERDO

ESCALA 1:100

Elev. 34.08 Q=850 m³/seg.
 Elev. 33.84 Q=850 m³/seg.
 Elev. 33.55 Q=386 m³/seg.
 Elev. 33.01 Q=212 m³/seg.
 Elev. 32.44 Q=77 m³/seg.



EJE DE LA COMPUERTA

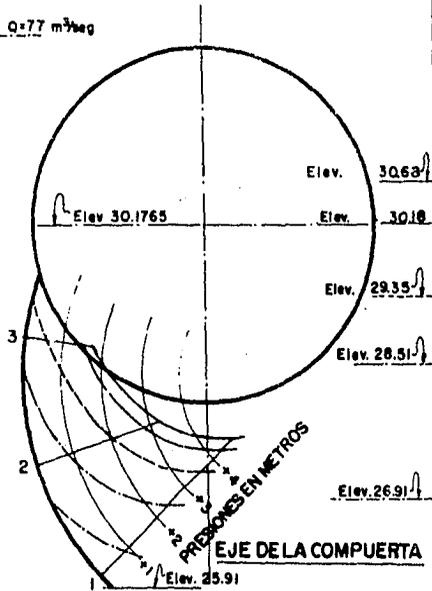
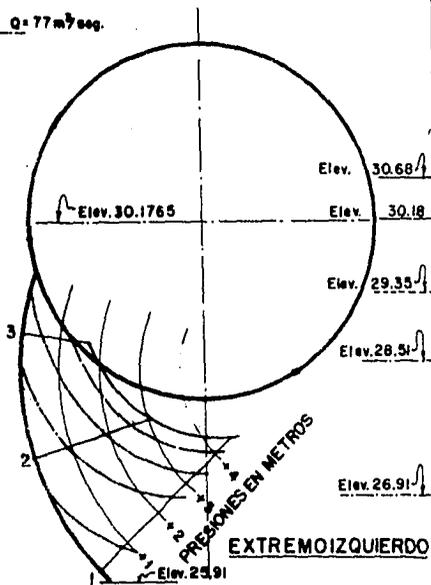
PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20
PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION I

Elev. 33.01 Q = 212 m³/seg.

Elev. 33.01 Q = 212 m³/seg.

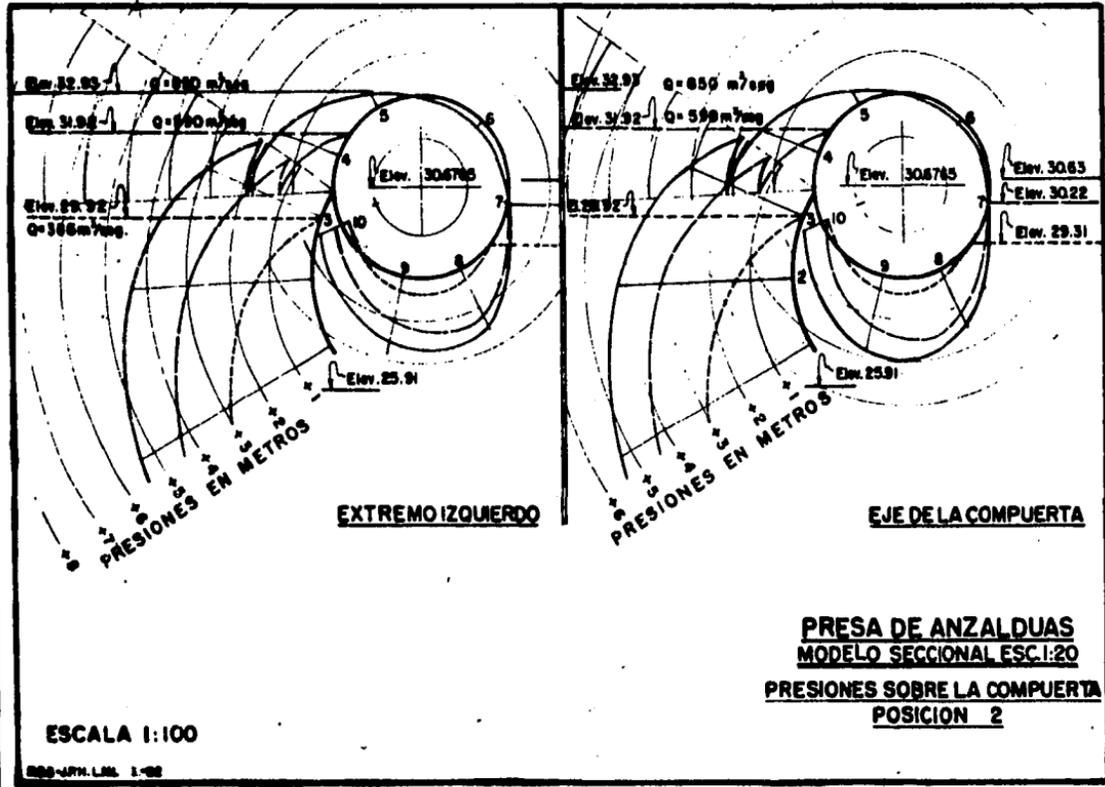
Elev. 32.24 Q = 77 m³/seg.

Elev. 32.24 Q = 77 m³/seg.



ESCALA COMPUERTA 1:50
 ESCALA PRESIONES 1:100

PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20
 PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
 POSICION I

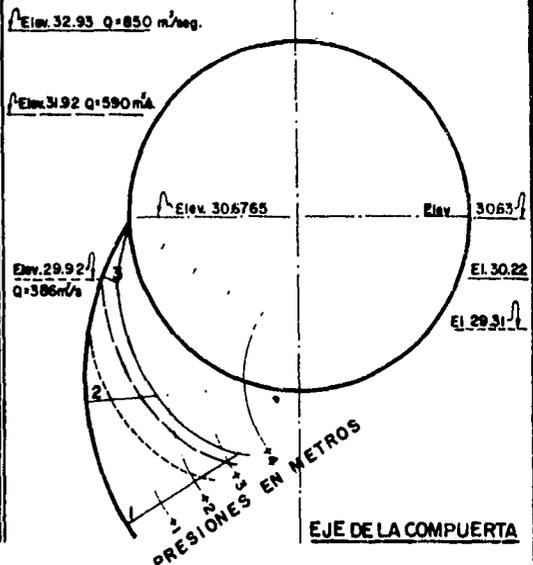
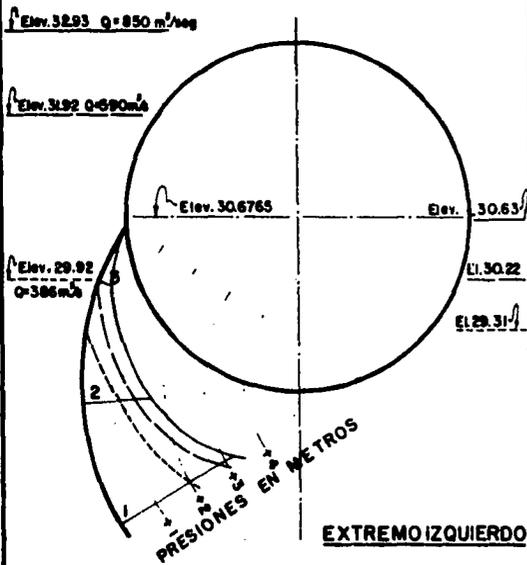


EXTREMO IZQUIERDO

EJE DE LA COMPUERTA

PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20
PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION 2

ESCALA 1:100

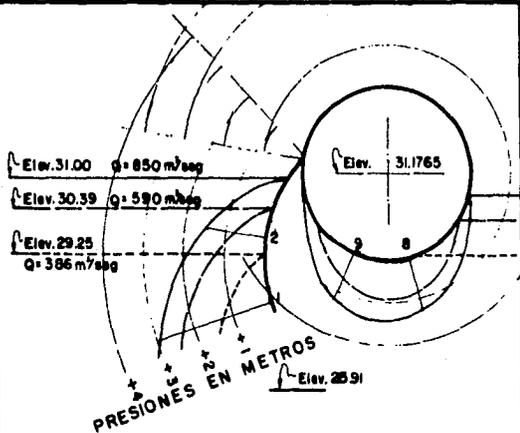
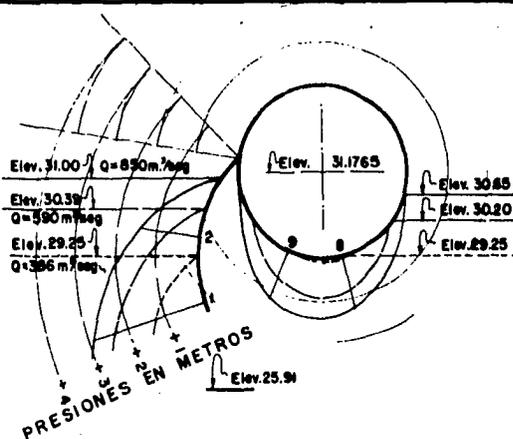


Elev. 25.91

ESCALA COMPUERTA 1:50
 ESCALA PRESIONES 1:100

Elev. 25.91

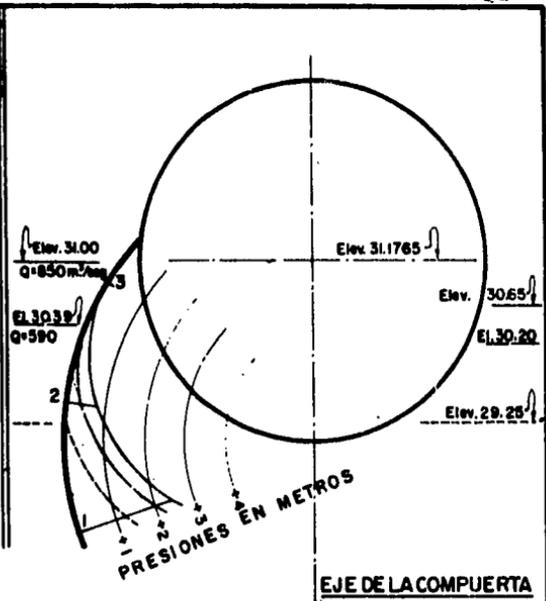
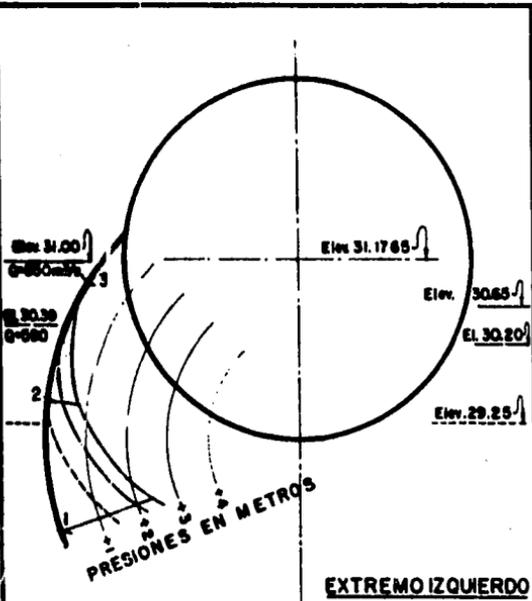
PRESA DE ANZALDUAS
 MODELO SECCIONAL ESC. 1:20
 PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
 POSICION 2

EXTREMO IZQUIERDOEJE DE LA COMPUERTA

PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20

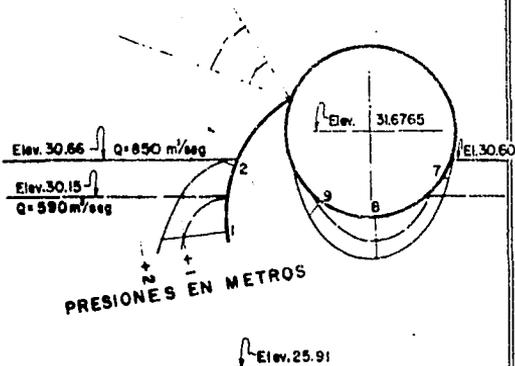
PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION 3

ESCALA 1:100

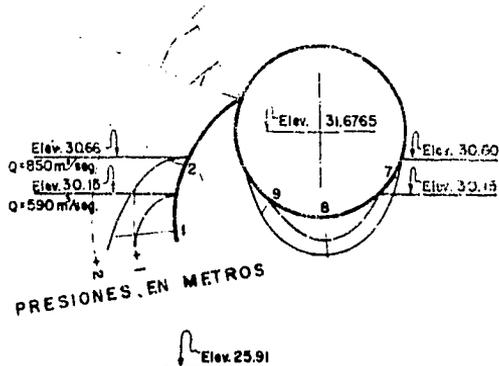


ESCALA COMPUERTA 1:50
 ESCALA PRESIONES 1:100

PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20
PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION 3



EXTREMO IZQUIERDO

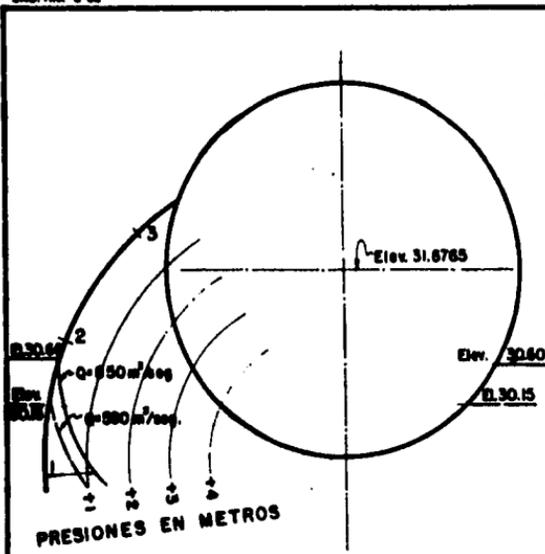


EJE DE LA COMPUERTA

PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20

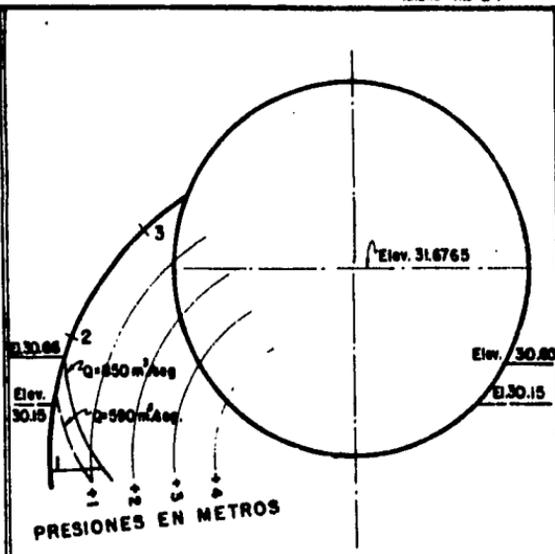
PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION 4

ESCALA 1:100



EXTREMO IZQUIERDO

ESCALA COMPUERTA 1:50
 ESCALA PRESIONES 1:100



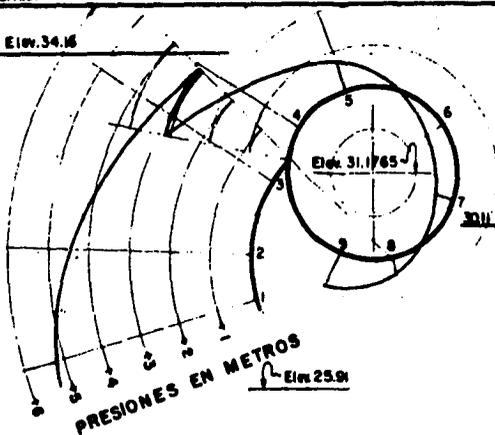
EJE DE LA COMPUERTA

PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC.1:20
PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION 4

LAB. HD.

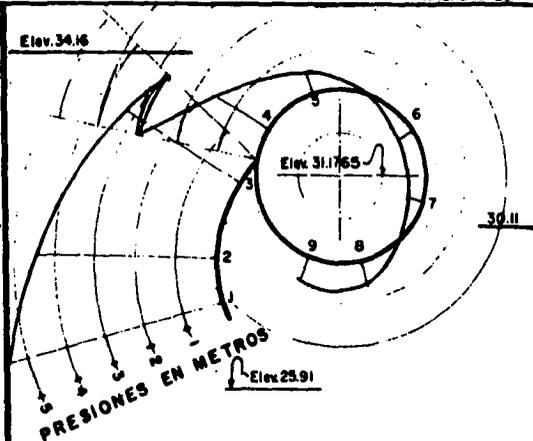
ANEXO Nº 69

Elev. 34.16



EXTREMO IZQUIERDO

Elev. 34.16



EJE DE LA COMPUERTA

$Q = 0.50 \text{ m}^3/\text{seg.}$

PRESA DE ANZALDUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20

PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION 3

LAS DEMAS COMPUERTAS CERRADAS.

ESCALA 1:100

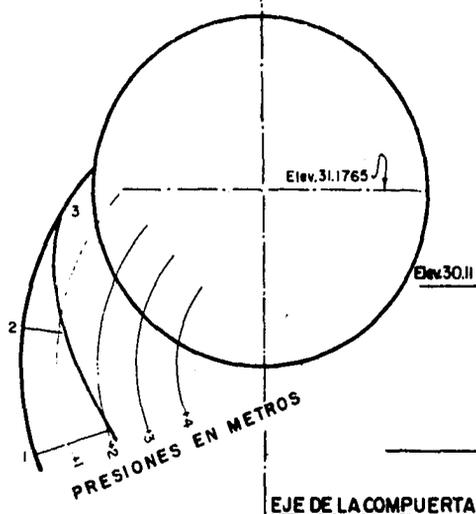
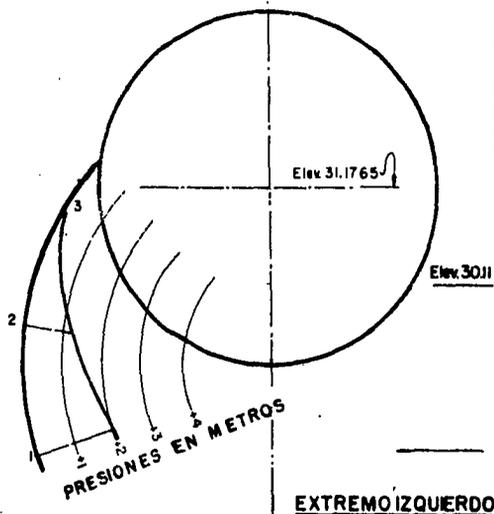
RSB-486-L.M.L. 0-93

LAB. HID.

ANEXO N° 26

Elev. 34.16

Elev. 34.16

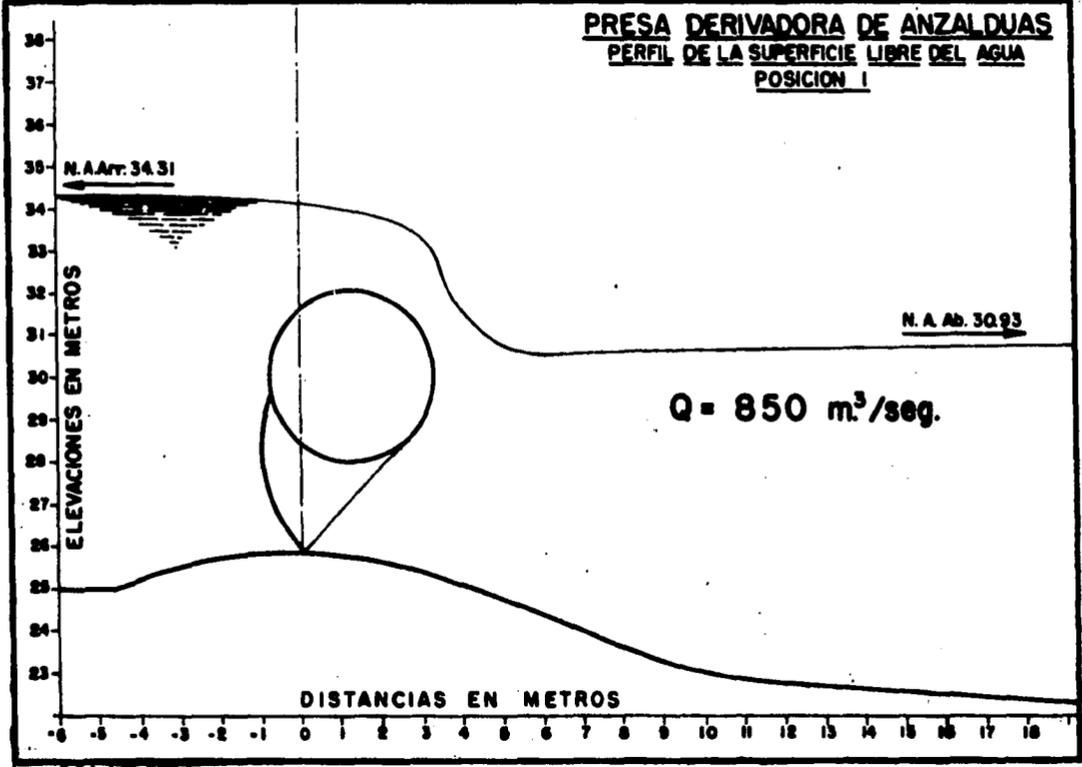


Q = 850 m³/seg.

ESCALA COMPUERTA 1:50
ESCALA PRESIONES 1:100

PRESA DE ANZAL DUAS
MODELO SECCIONAL ESC. 1:20
PRESIONES SOBRE LA COMPUERTA
POSICION 3
LAS DEMAS COMPUERTAS CERRADAS.

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION I



LAB. MID. 2-82

ANEXO No. 28

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 2

N.A. Arr. 34.31

N.A. Ab. 31.80

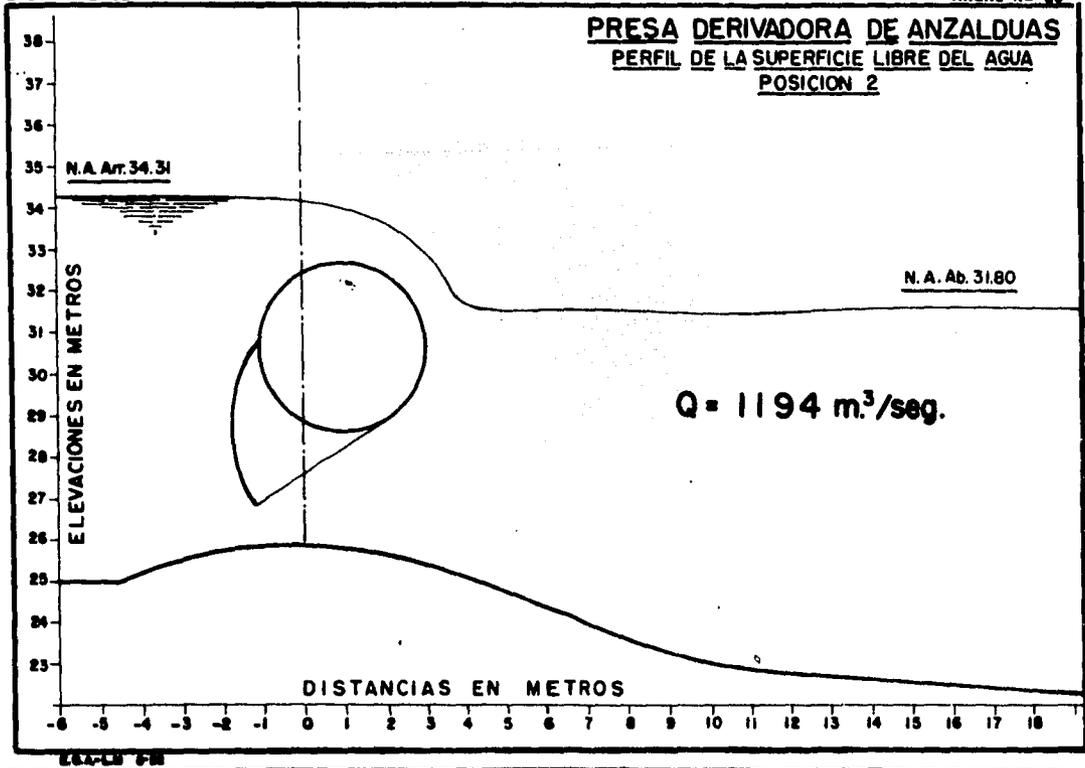
Q = 1194 m³/seg.

ELEVACIONES EN METROS

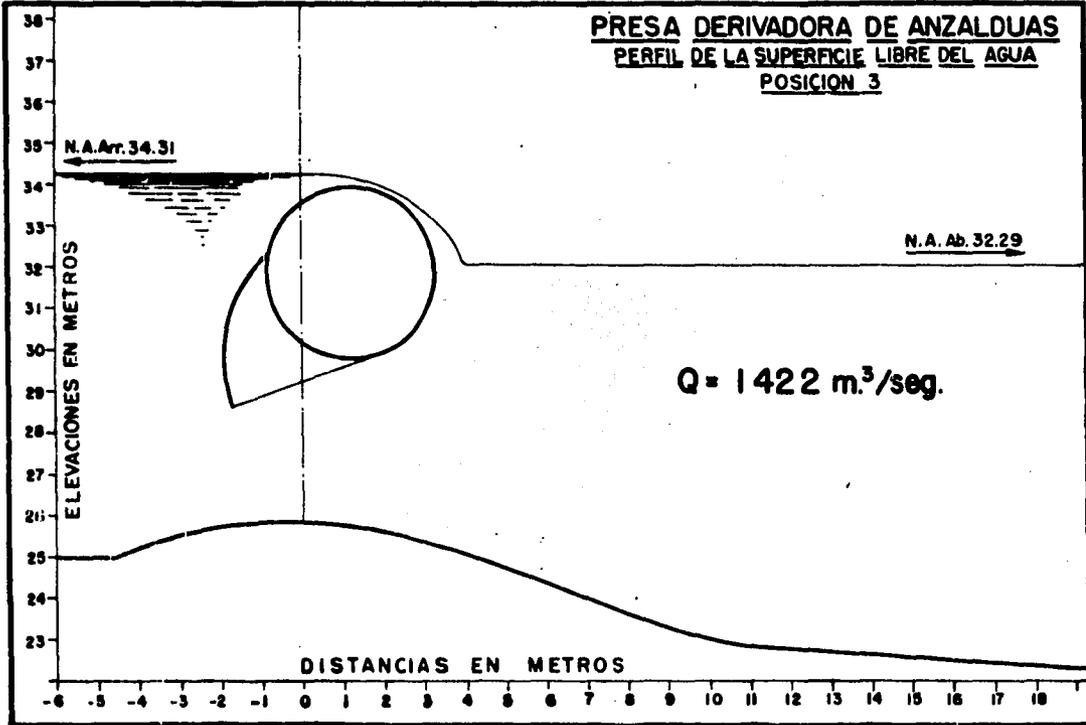
DISTANCIAS EN METROS

-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

LSA-LB 6-8



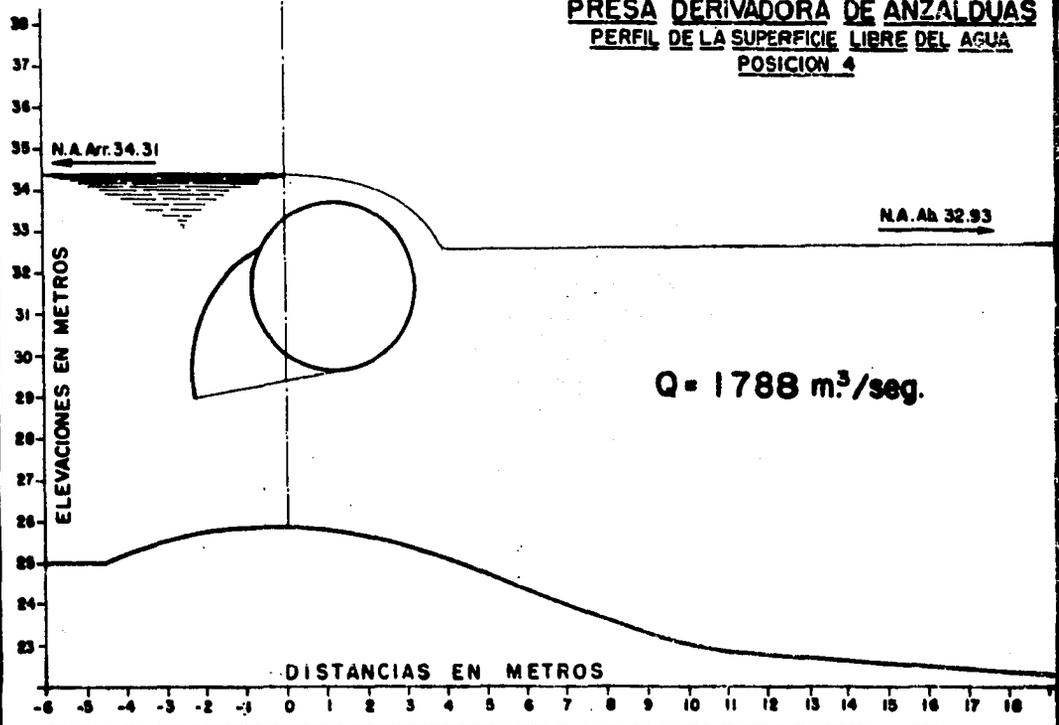
PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 3



LAR. HID. 2-92

ANEXO No. 30

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 4



LAB. HID. 2-92

ANEXO N° 31

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 5

N.A.Ar. 34 31

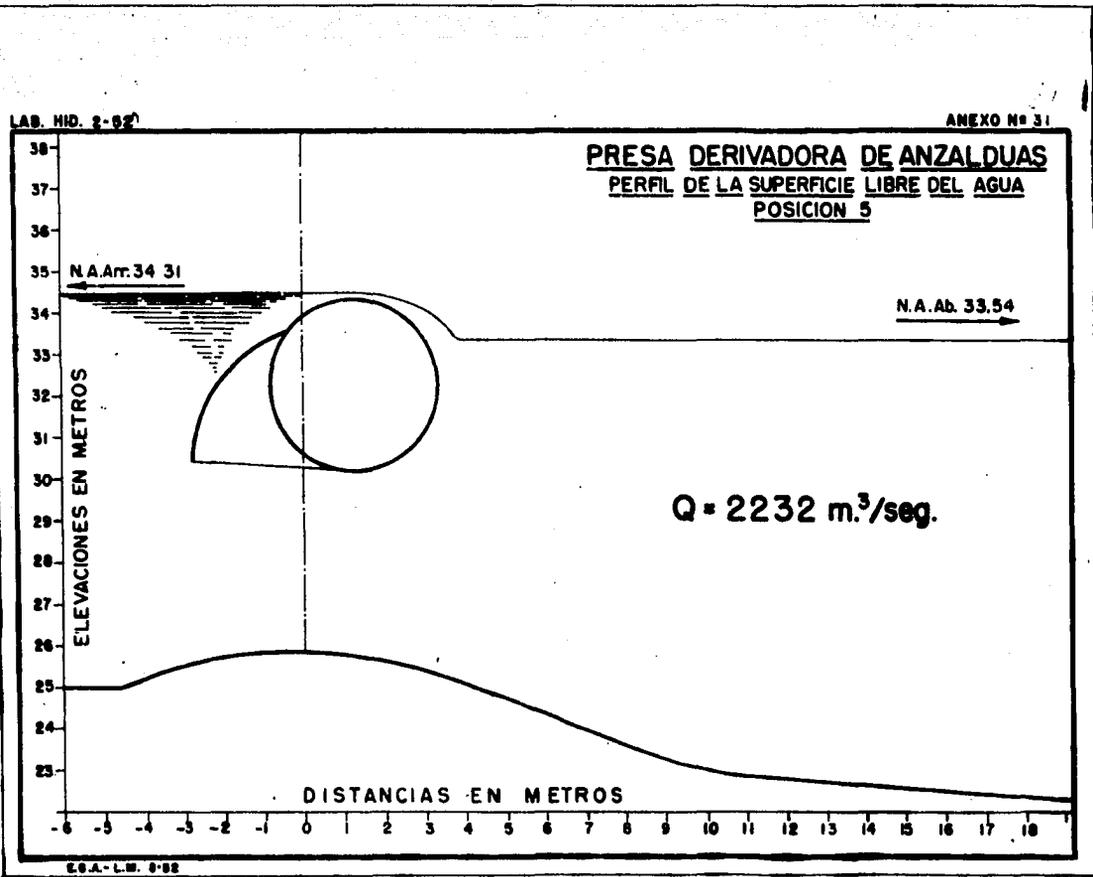
N.A.Ab. 33,54

ELEVACIONES EN METROS

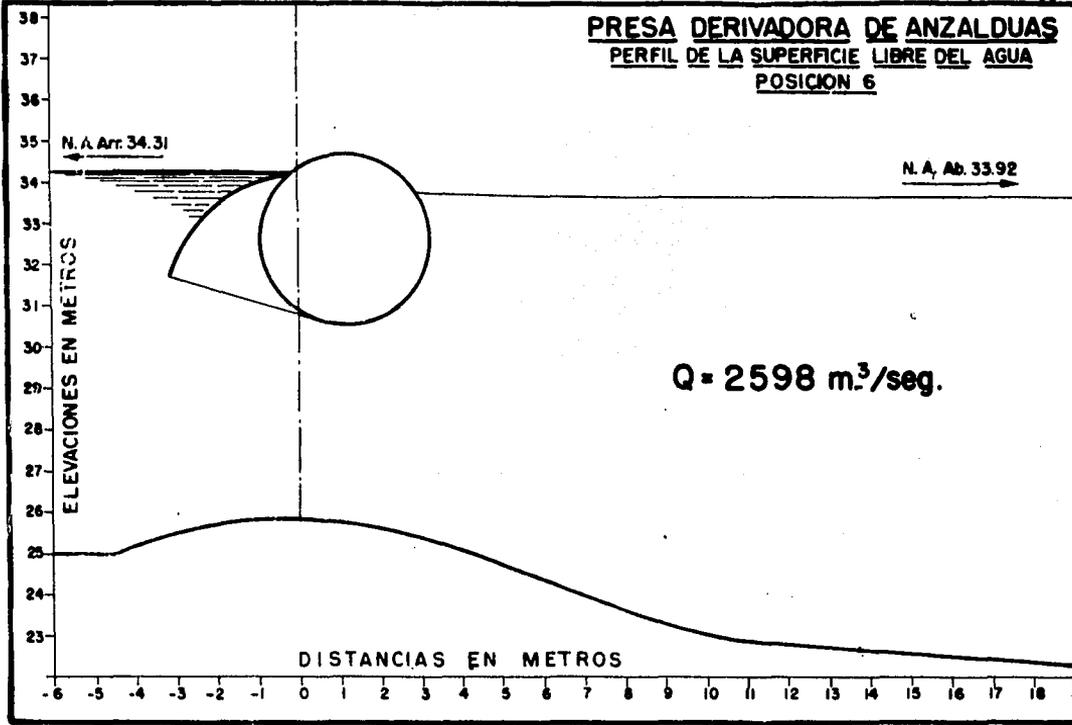
$Q = 2232 \text{ m}^3/\text{seg.}$

DISTANCIAS EN METROS

-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18



PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 6



Q = 2598 m³/seg.

PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 7

33

N.A. Arr. 34.31

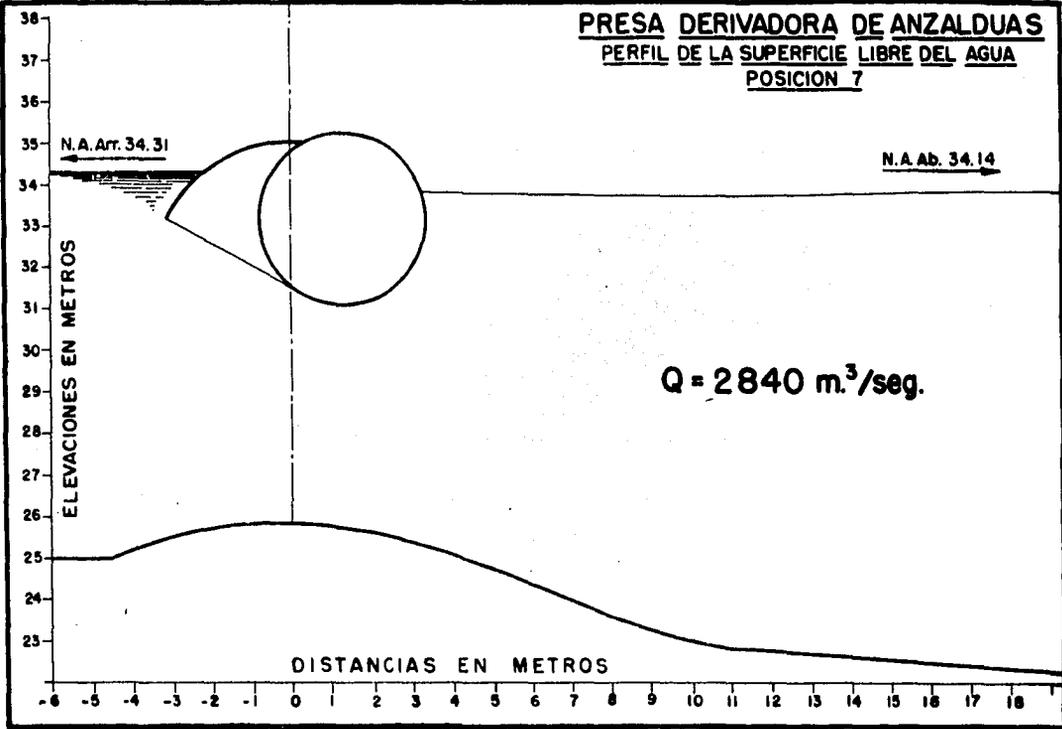
N.A. Ab. 34.14

ELEVACIONES EN METROS

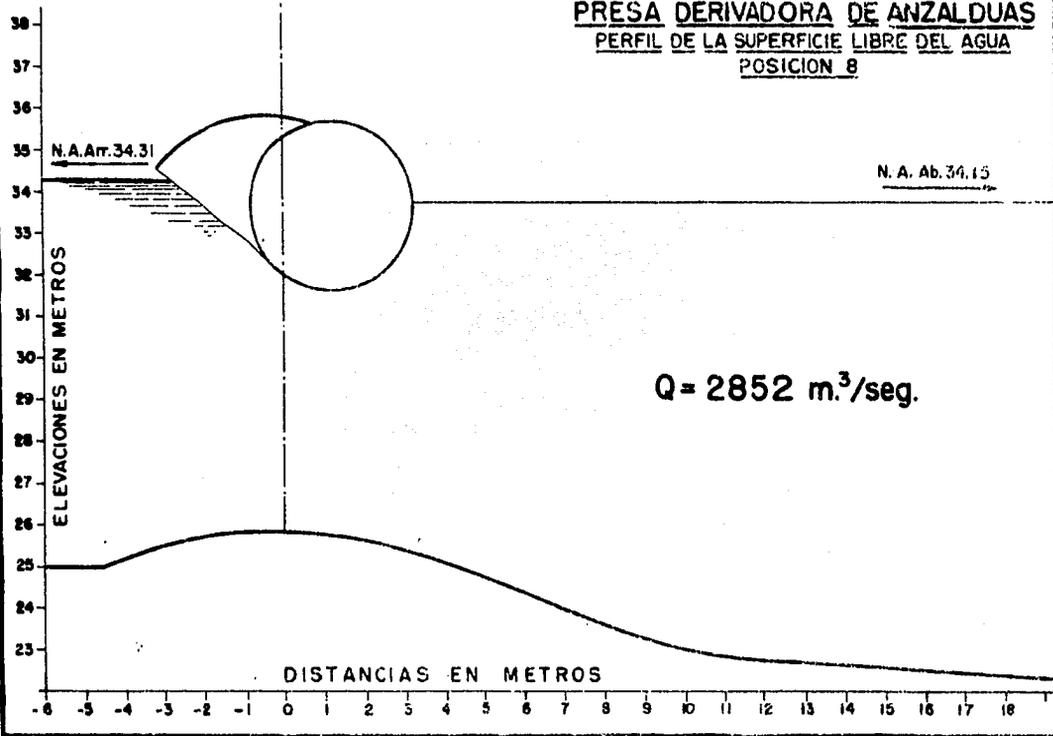
$Q = 2840 \text{ m}^3/\text{seg.}$

DISTANCIAS EN METROS

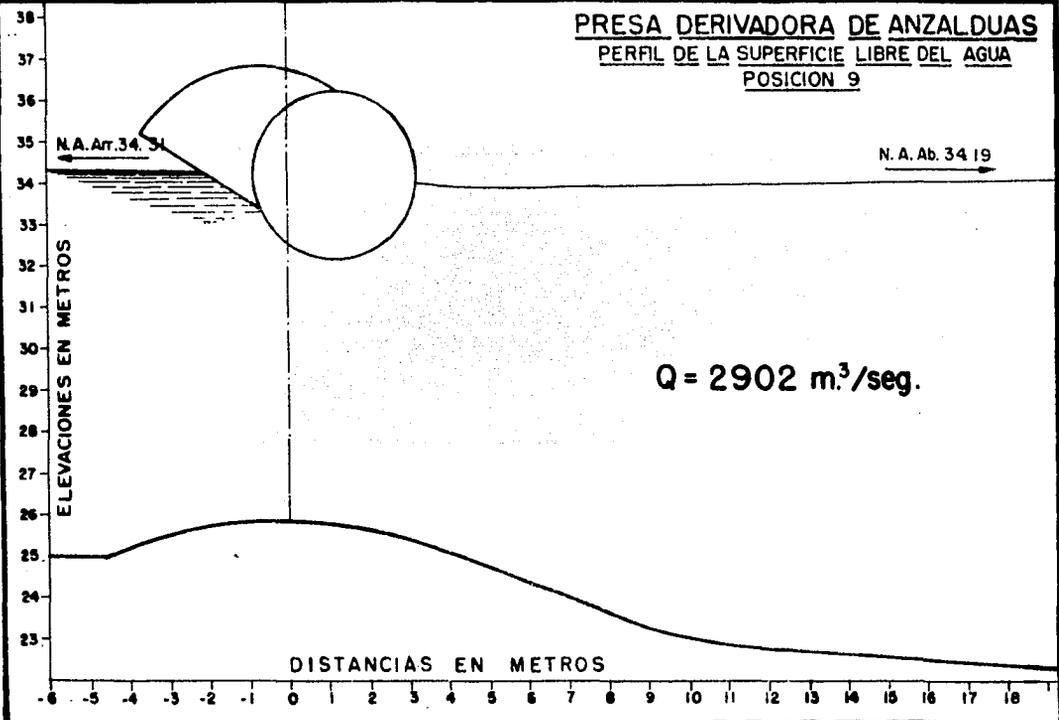
-6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

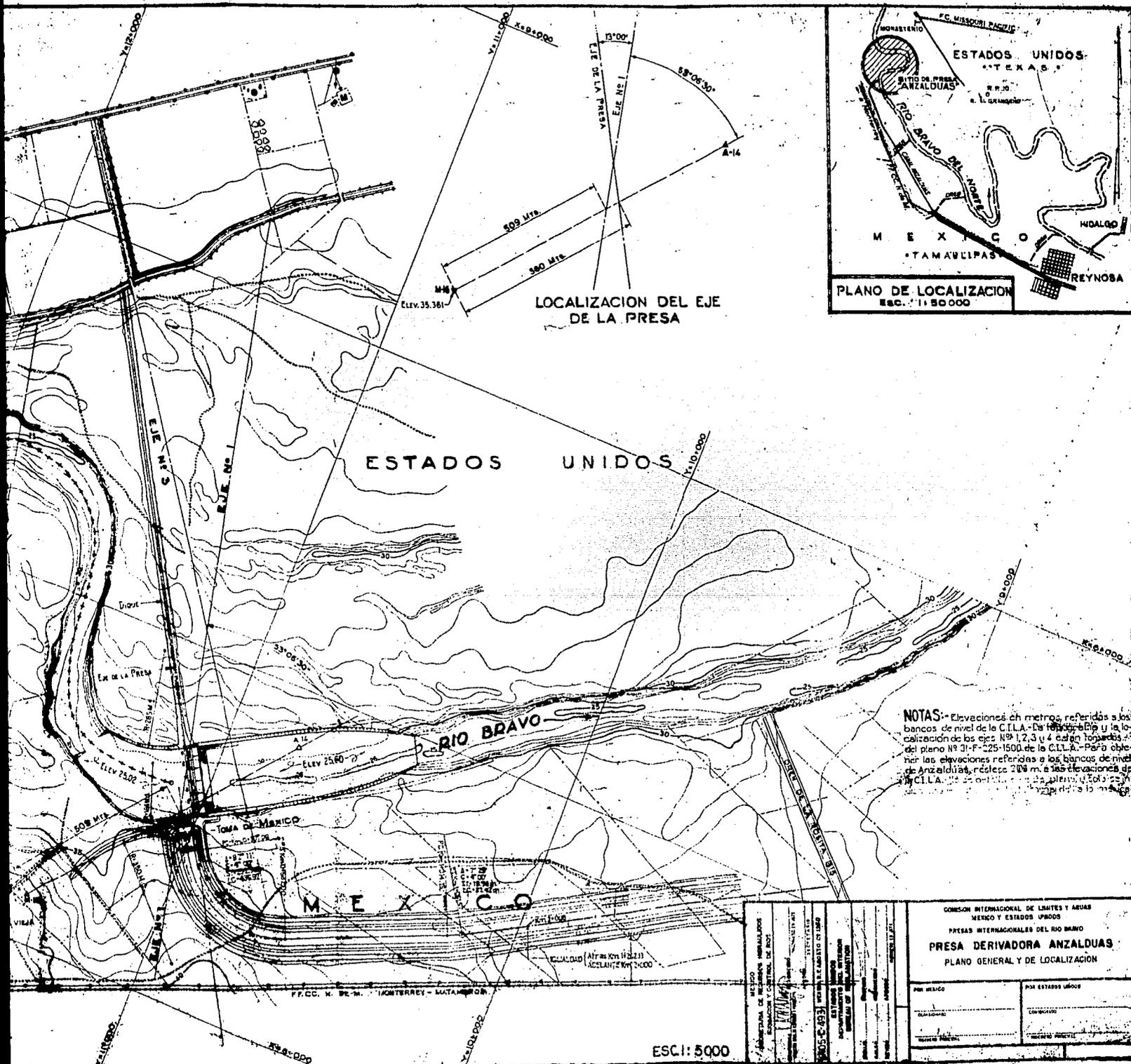


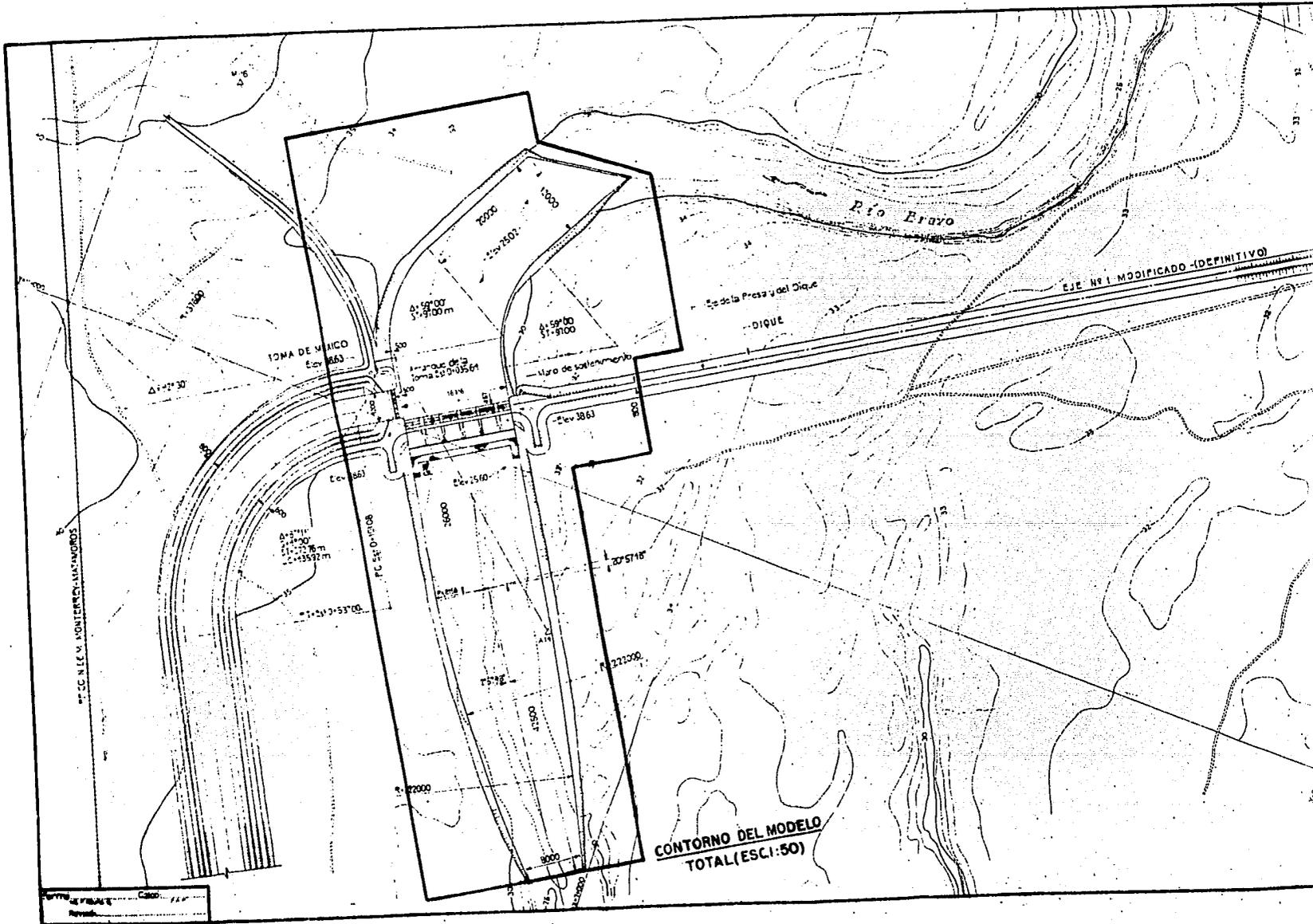
PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 8



PRESA DERIVADORA DE ANZALDUAS
PERFIL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA
POSICION 9

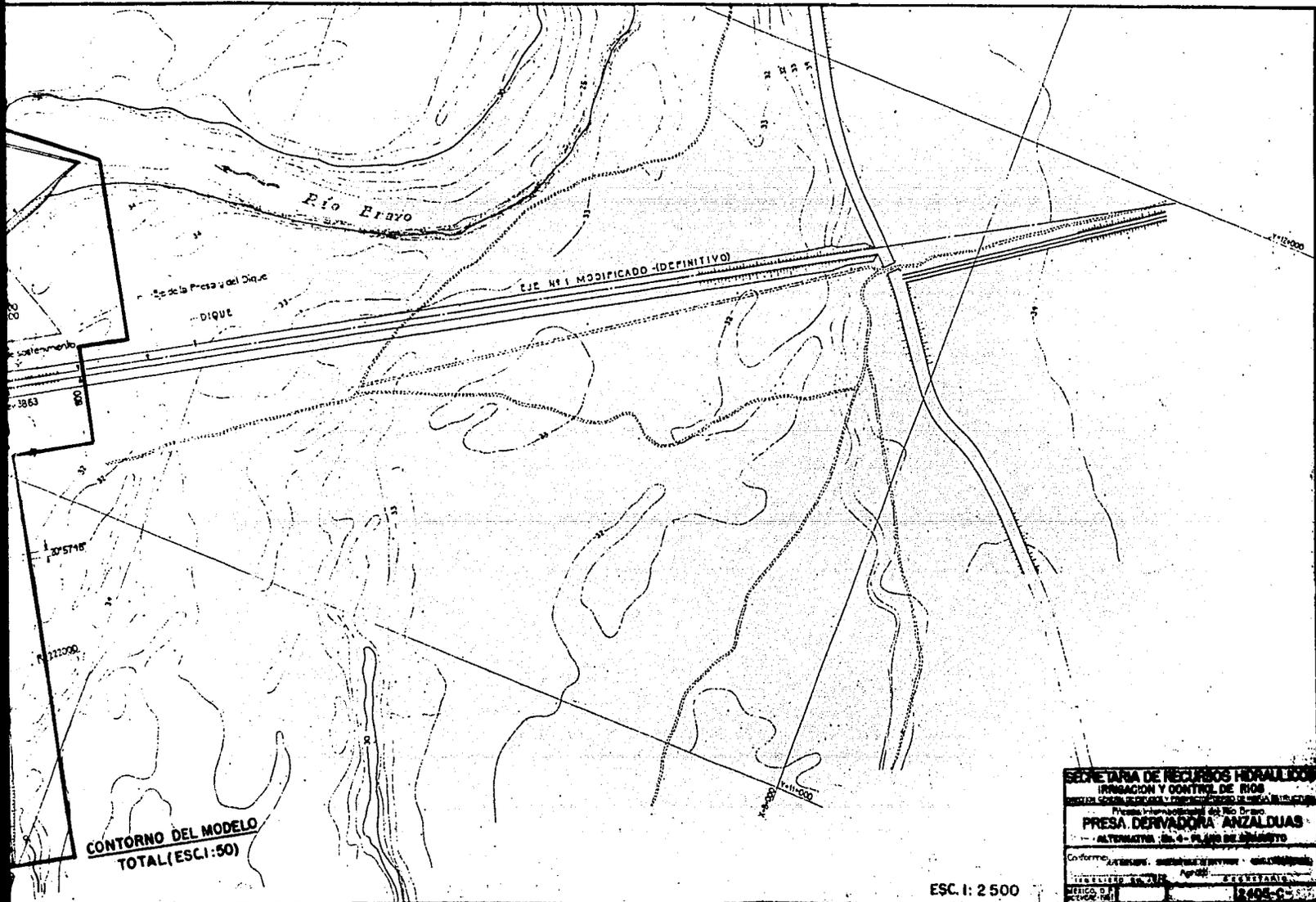






CONTORNO DEL MODELO
TOTAL (ESC. 1:50)

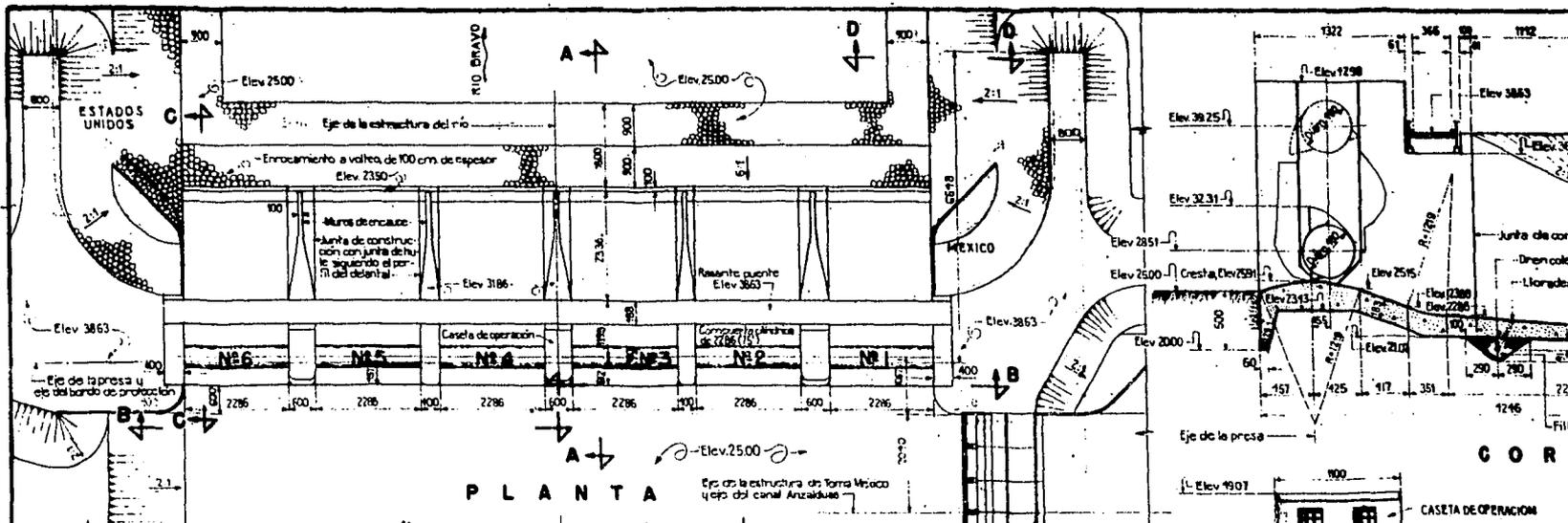
PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCION DEL PUENTE DE MICO
CARRERA 115
REVISION



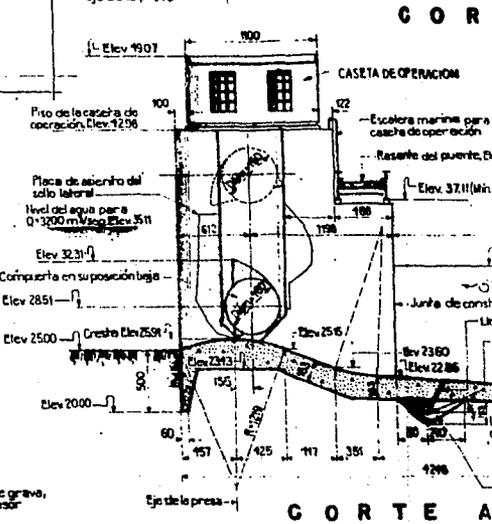
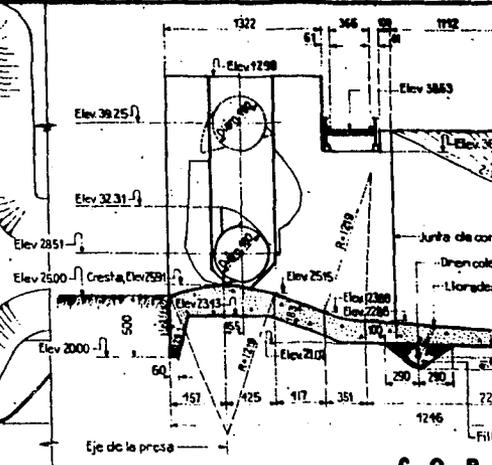
SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS
 IRRIGACIÓN Y CONTROL DE RÍOS
 Presa Internacional del Río Bravo
PRESA DERRIVADORA ANZALDUAS
 ALTERNATIVA No. 4 - PLANO DE DISEÑO

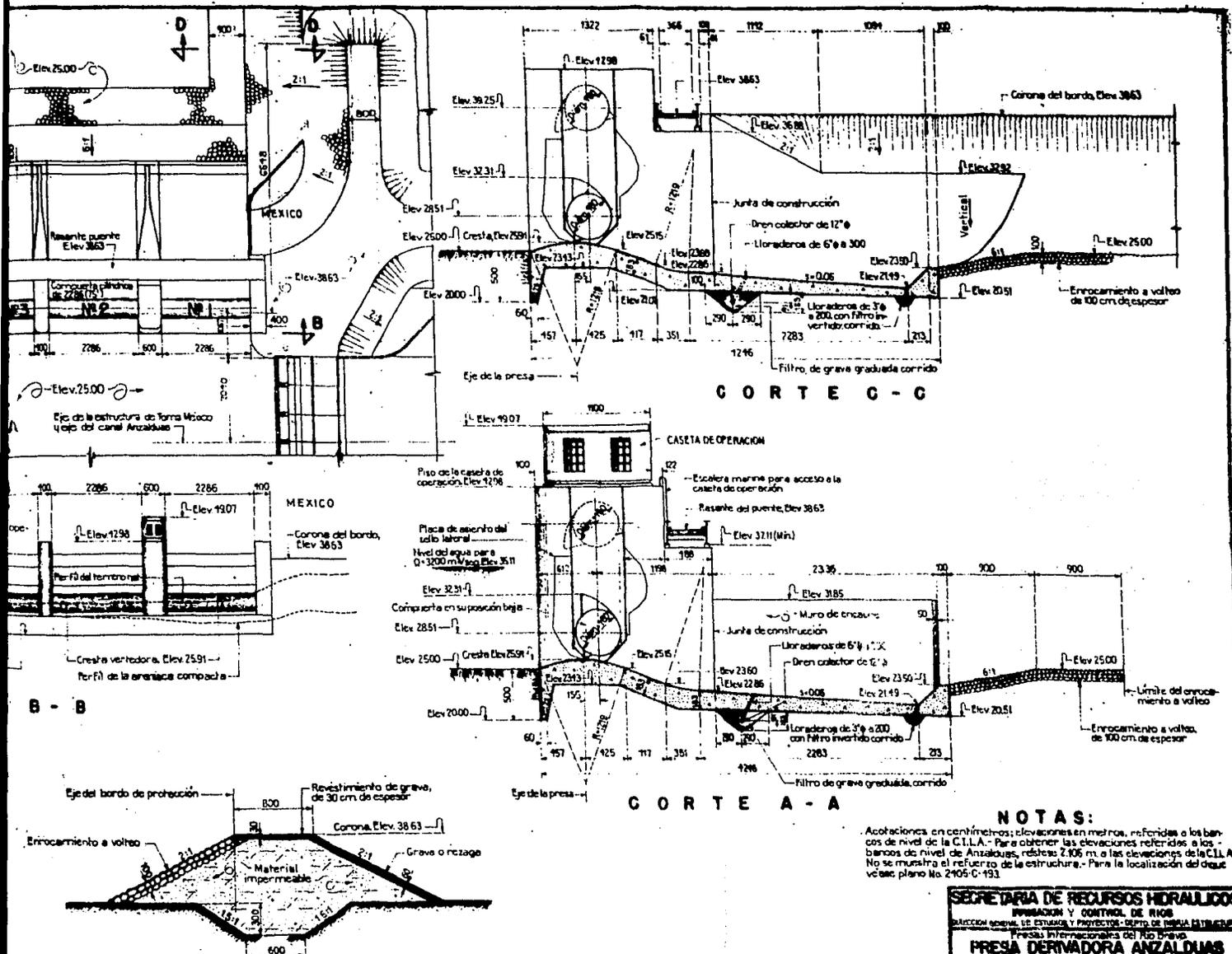
Conforme: *[Signature]*
 INGENIERO EN CIVIL

MEXICO D.F. 1945-C



PLANTA



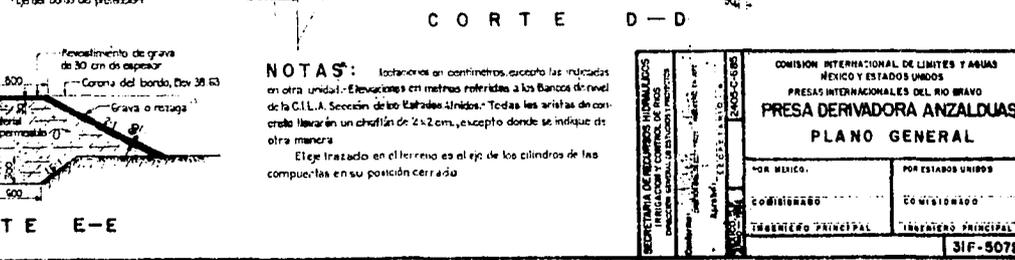
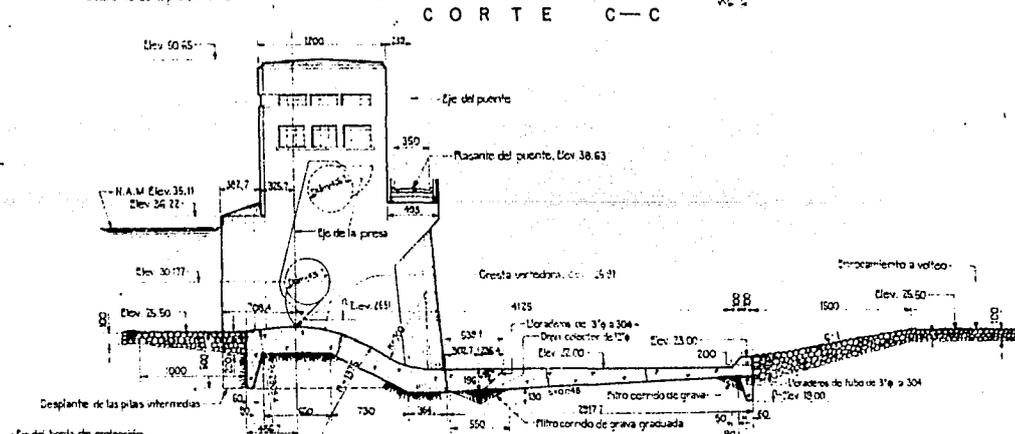
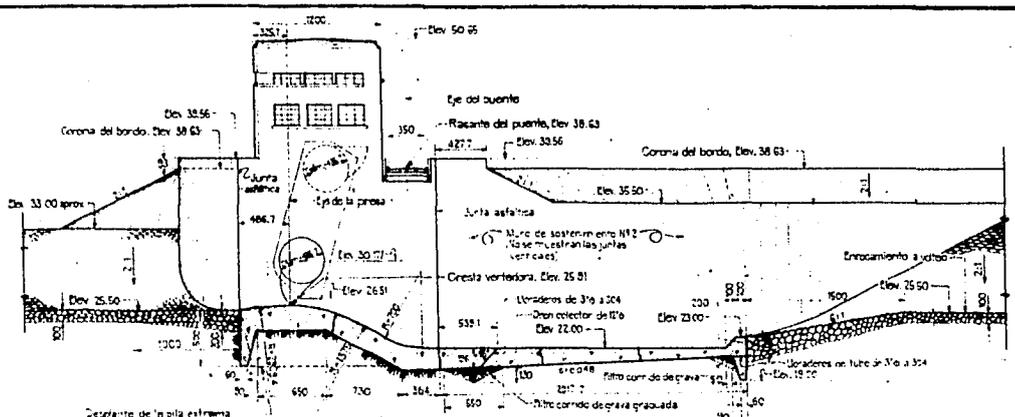
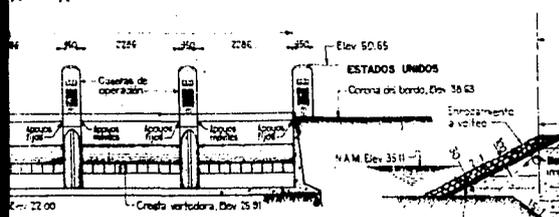
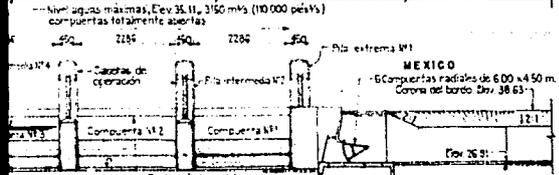
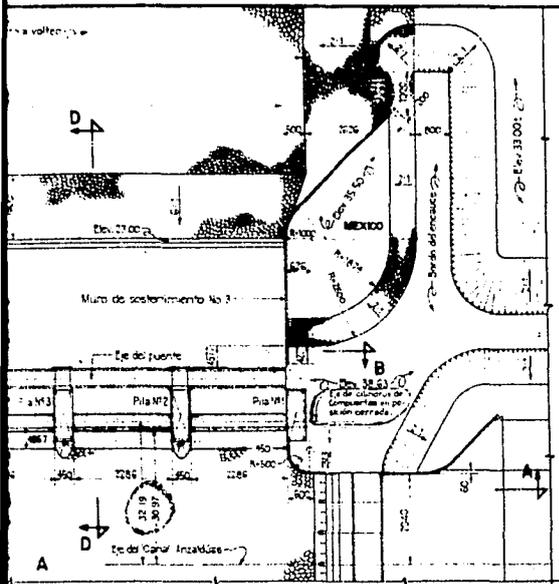


NOTAS:

Acolaciones en centímetros; elevaciones en metros, referidas a los bancos de nivel de la C.I.L.A. - Para obtener las elevaciones referidas a los bancos de nivel de Anzalduas, restarse 2.106 m a las elevaciones de la C.I.L.A. No se muestra el refuerzo de la estructura. Para la localización del drag vésic plano No. 2105-C-193.

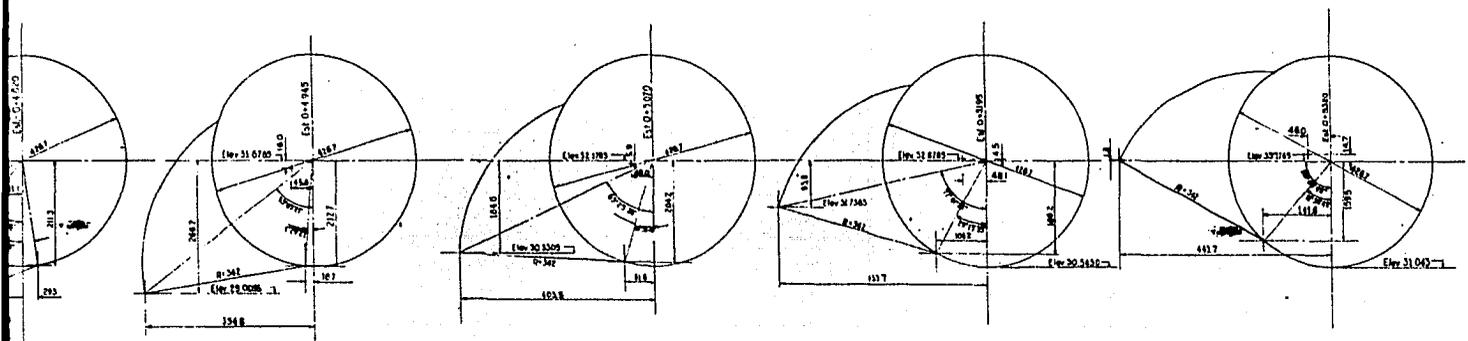
SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS			
PROPAGACION Y CONTROL DE RIOS			
DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS - DEPTO. DE OBRAS PUBLICAS			
Presas Internacionales del Rio Bravo			
PRESA DERIVADORA ANZALDUAS			
ESTRUCTURA EN EL RIO - PLANO GENERAL			
ALTERNATIVA N.º 4			
Confirma:	APROBADO:	CONSERVACION TECNICA:	
		Aprobado:	SECRETARIO
DICCIONARIO DE OBRAS			2105-C-617
OCTUBRE-1961			

PAGINA MODIFICACION



NOTAS: 1.-Las elevaciones en centímetros, excepto las indicadas en otra unidad. 2.-Elevaciones en metros referidas a los Bancos de nivel de la C.I.L.A. Sección de los Estados Unidos. 3.-Todas las armaduras de concreto llevarán un espesor de 2x2 cm, excepto donde se indique de otra manera. 4.-El eje trazado en el terreno es el eje de los cilindros de las compuertas en su posición cerrada.

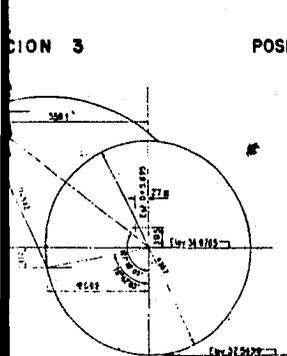
COMISION INTERNACIONAL DE LIMITES Y AGUAS MEXICO Y ESTADOS UNIDOS PRESAS INTERNACIONALES DEL RIO BRAVO PRESA DERIVADORA ANZALDUAS PLANO GENERAL	
POR MEXICO: COMISIONADO: INGENIERO PRINCIPAL	POR ESTADOS UNIDOS: COMISIONADO: INGENIERO PRINCIPAL
31F-507B	



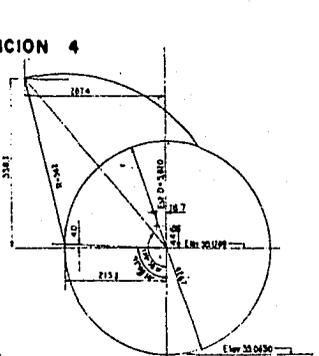
POSICION 5

POSICION 6

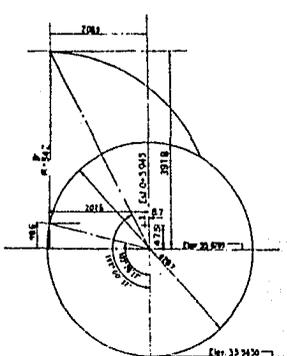
POSICION 7



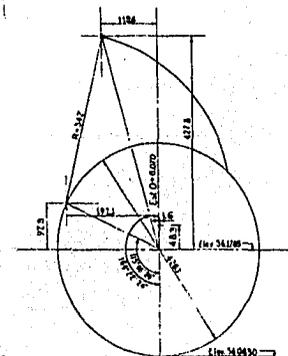
POSICION 3



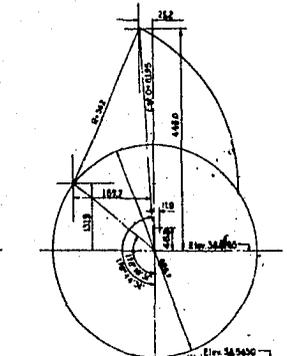
POSICION 4



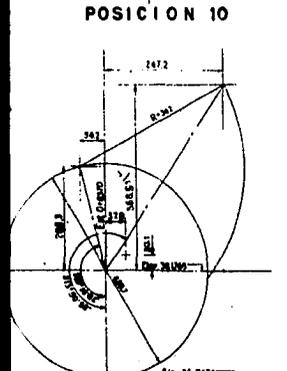
POSICION 12



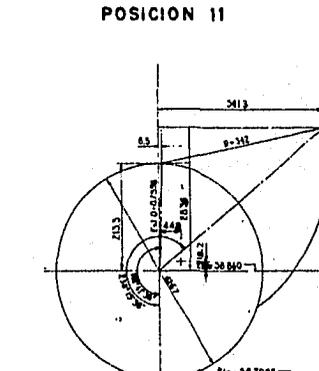
POSICION 13



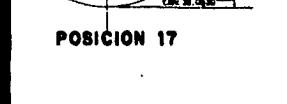
POSICION 14



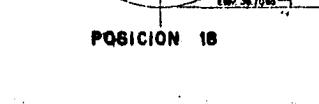
POSICION 10



POSICION 11



POSICION 17



POSICION 18

NOTAS:
 1. Cotas en centímetros, excepto las indicadas en otra unidad.
 2. Elevaciones en metros referidas a los bancos de nivel de la C.U. Sección de E.U.
 3. Estaciones en metros referidos al extremo aguas arriba de las pilas de la estructura.
 4. Todas las posiciones fueron determinadas considerando un diámetro de paso de 4.775m (15'-8") y una trayectoria de elevación en línea recta con pendiente de 0.25:1

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS			
IRIGACION Y CONTROL DE RIOS			
DIRECCION GENERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL			
PRESA INTERNATIONAL DEL RIO GRANO			
PRESA DERIVADORA ANZALDUAS			
ALTERNATIVA N.º 2			
OPCION DE LA COMPUERTA			
Conforme	20/11/1964	20/11/1964	20/11/1964
Elaborado por	Aprobado		
20/11/1964	22/11/1964		
20/11/1964	PL. 66	2408-C-850	