

Laboratorio de Hidráulica Aplicada

SALTO GRANDE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA - I.N.C.Y.T.H.
SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE HUMANO
MINISTERIO DE ECONOMIA DE LA NACION

LABORATORIO	INVENTARIO
	631.32
	L864
	DE HIDRAULICA APLICADA

MODELO BIDIMENSIONAL DE LAS OBRAS DE ALIVIO
PARA LA PRESA DE SALTO GRANDE
INFORME FINAL

Dr. Raúl Antonio LOPARDO
Ing. Fernando José ZARATE
Ing. Jorge Alberto ORELLANO
Ing. Gustavo Federico VERNET

SUPERVISION

Dr. Moisés S. BARCHILON
Director

Dr. Alfonso PUJOL
Vicedirector

BZEIZA, noviembre de 1974

L.H.A.-9-011-74

Ministerio de Economía de la Nación
Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA - INCYTH

MODELO BIDIMENSIONAL DE LAS CERAS DE ALIVIO

PARA LA PRESA DE SALTO GRANDE - INFORME FINAL

Raúl A. Lopardo, Fernando J. Zárate, Jorge A. Orallano, Gustavo F. Vernet

Resumen: En el modelo físico bidimensional a escala 1:60 se optimizaron las formas de las pilas y el perfil vertedero, determinando su capacidad de descarga a pelo libre y con operación con compuertas. Se midieron perfiles de agua y presiones estáticas en zonas de interés. Se describen los ensayos de diversas alternativas de cuenco amortiguador, respecto de la erosión del lecho y la estabilidad del resalto.

Descriptores: Vertederos; Disipadores de energía; Modelos físicos.

Descriptores geográficos/institucionales: Salto Grande - río Uruguay.

Ezeiza, noviembre de 1974

INTRODUCCION

El Comité Operativo de la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande ha encomendado al Laboratorio de Hidráulica Aplicada la realización de los estudios sobre modelo necesarios para verificar el funcionamiento general y particular de las estructuras que integran el proyecto de Salto Grande, y ajustar sus dimensiones y formas para optimizar técnica y económicamente dichas estructuras.

El estudio se refiere al aprovechamiento hidroeléctrico del río Uruguay, mediante una presa con central generadora situada a 17,2 Km aguas arriba del hidrómetro del puerto de Concordia.

La obra está constituida por dos casas de máquinas y descargadores de fondo, en posición simétrica respecto del eje del río en cuyo centro se encuentran las obras de alivio, materializadas por diecinueve vanos de vertedero de 15,30 m de ancho libre entre pilas.

El perfil vertiente es continuado con un cuenco amortiguador de energía, y la operación del embalse está prevista con el uso de compuertas de sector sobre el coronamiento del aliviadero.

Con respecto al vertedero propiamente dicho, los ensayos han tendido a determinar las mejores formas de los pilares y el umbral fijo, aforando las evacuaciones a pelo libre y con distintas aperturas de compuertas, midiendo perfiles de agua y presiones en las zonas más importantes.

El estudio ha tenido también por objeto la determinación de la forma más adecuada del cuenco amortiguador, modificándose hasta lograr un funcionamiento satisfactorio, tanto en el grado de erosión en el lecho como en la estabilidad del escu^{ri}rrimiento aguas abajo de la obra.

Las investigaciones han sido desarrolladas en estrecha vinculación con la firma consultora MAIN y Asociados, responsable del proyecto de las obras, que dio las condiciones de borde a respetar y propuso las modificaciones en los casos que así resultó aconsejable.

1 - DETALLES TECNICOS DEL MODELO

1.1 - SEMEJANZA

El equilibrio dinámico de una partícula líquida en una corriente se establece bajo la acción de las siguientes fuerzas fundamentales: peso, inercia, viscosidad, energía superficial y rozamiento.

En el estudio de modelos habituales de obras hidráulicas como el de Salto Grande, la viscosidad y la energía superficial pueden despreciarse, pues es perfectamente marcado el predominio de las fuerzas gravitacionales.

En esas condiciones, el modelo y el prototipo serán hidrodinámicamente semejantes si, guardándose la similitud geométrica, se cumple la invariabilidad del número de Froude

$$F = \frac{V}{\sqrt{g h}}$$

relación que liga velocidades y dimensiones lineales.

Designando e_L a la escala de longitudes definida como longitud del modelo dividida por longitud homóloga del prototipo, la condición de semejanza de Froude permite obtener la escala de velocidades e_v y de tiempos e_t :

$$e_v = e_t = e_L^{1/2}$$

y la escala de gastos líquidos

$$e_Q = e_L^{5/2}$$

Por condiciones oportunamente fijadas por contrato entre la C.T.M. y el Laboratorio la escala de longitudes para ensayos bidimensionales en canal no podía exceder de 1:60. Razones de aprovechamiento práctico del canal vidriado de ensayo, llevaron a utilizar

$$e_L = 1:58,462$$

que responde a las condiciones contractuales.

Con la escala de longitudes adoptada, resultaron:

$$e_V = 1:7,646 \text{ (escala de velocidades)}$$

$$e_Q = 1:26.132,69 \text{ (escala de gastos)}$$

No se ha tenido en cuenta la semejanza sedimentológica del material granular ubicado aguas abajo del lecho amortiguador, debido a que en el prototipo es una roca degradable, de características no definidas. Por otra parte, el resultado de erosión es cualitativo, informando acerca de la eficacia del lecho amortiguador y no cubriendo volúmenes arrastrados de material sólido.

1.2 - CANAL VIDRIADO

Los ensayos fueron realizados en un canal de 14 m de longitud, 0,65 m de ancho y 0,85 m de altura, con ambas paredes vidriadas en toda la extensión útil. Consta de dos cabeceras que sirven al circuito de agua y permite la conexión al sistema general del Laboratorio. El piso del canal es fijo y horizontal, construido en hormigón. El esquema descriptivo se presenta en la figura N° 1, (Fotografía N° 1).

La alimentación proviene del tanque de nivel constante del sistema general, por tubería de diez pulgadas, con un ingreso de diseño especial, que logra una adecuada repartición de velocidades en la entrada del canal y un mínimo de perturbaciones aún sin sistema de disipación de energía accesorio. El ingreso tranquilo se ha producido para los grandes gastos con total normalidad.

En la cabecera ubicada aguas abajo del canal se regula el nivel de agua mediante una compuerta de fondo de paso fino.

Los niveles de aguas arriba y aguas abajo se leen exteriormente pues fueron previstas tomas piezométricas a lo largo de todo el canal, que en caso necesario conducen a tubos exteriores. Los limnímetros utilizados aprecian la décima de milímetro y son del tipo Delft, (Fotografía N° 2).

Dado que todo el sistema funciona prácticamente en circuito cerrado, la medición de gasto se realizó por medio de un vertedero Rehbock de 1,188 m de longitud de coronamiento ubicado en el canal de retorno a la cisterna.

1.3 - OBRAS REPRESENTADAS

A efectos de representar el funcionamiento del vertedero afectado por la contracción de las pilas laterales y mantener adecuadamente en el canal condiciones de simetría hidrodinámica, se reprodujo en el modelo reducido un vano completo con sus dos pilas laterales y dos medios vanos (uno a cada lado) cuyos ejes son coincidentes con las paredes vidriadas del canal.

De lo expuesto resultó un ancho total de vertedero ensayado de 38 metros, que reproducido en el canal de 0,65 m de ancho fijó la citada escala de longitudes 1:58,462.

Las obras originalmente reproducidas se detallan gráficamente en la Figura N° 2, donde constan en medidas de prototipo, las dimensiones y formas de los elementos ensayados (Fotografías N° 3 y N° 4).

El vertedero, con cresta a cota +17,00 se continúa con el amortiguador de energía de proyecto, aguas abajo del cual se colocó un lecho móvil de gravilla de granulometría adecuada para visualizar los fenómenos de erosión.

Las pilas fueron construídas en hormigón, colado cuidadosamente en moldes de madera masillada y terminadas posteriormente con un acabado superficial uniforme. En ellas se reprodujeron las recatas existentes, a efectos de que el modelo tome en cuenta fielmente todas las características reales que tendrán en prototipo.

Las posteriores modificaciones se realizaron en madera de cedro convenientemente tratada.

El vertedero y su cuenco amortiguador fueron constru
idos en hormigón, reglando sus superficies sobre gálidos de a-
luminio.

Sobre el hormigón se pulió la superficie tras un en-
duído de cemento con agua.

2 - EVACUADOR DE CRECIDAS

2.1 - DETALLES TECNICOS DEL PROYECTO

El evacuador de crecidas propuesto para las obras de Salto Grande consta de diecinueve vanos de vertedero, de 15,30 metros de ancho entre pilas, y está ubicado simétricamente respecto del eje internacional trazado sobre el río Uruguay.

Este evacuador presenta la posibilidad de regular caudales mediante la operación de compuertas de sector circular previstas sobre su cresta.

La cota de coronamiento ha sido fijada en +17,00 m y la carga de diseño supone un nivel de embalse a cota +35,00 metros.

Para la realización de los ensayos bidimensionales del evacuador de crecidas se reprodujo el perfil de proyecto según las dimensiones fijadas por los planos 1021 y 1023 con las modificaciones estipuladas en los planos I y II remitidos por el comitente a este Laboratorio.

El perfil vertedero se desarrolla en un primer tramo con dos arcos de círculo empalmado en la cresta con una curva dada por la ecuación

$$y = \frac{x^{1.85}}{2H_d^{0.85}}$$

que corresponde al perfil Creager en el que se adoptara una carga H_d de cálculo de 18 m.

Una recta une a la citada curva con un arco de círculo

lo convexo de 18 metros de radio que termina tangente a la solera del dissipador de energía, cuya cota es -1.00 m. El esquema del perfil se representa en la Figura N° 3-A.

La construcción del vertedero estaba prevista en dos secuencias, la primera para funcionar durante la segunda etapa de desvío y la segunda para el estado definitivo ya descrito.

El Laboratorio realizó las investigaciones sobre capacidad de alivio del vertedero rebajado en etapa de desvío, con su coronamiento a cota +9,00 m (1). Posteriormente, debido a estudios desarrollados en el modelo general a escala 1:125 para la segunda etapa de desvío (2) fue rebajado el coronamiento a cota +6.50, a fines de favorecer el escurrimiento a través de las obras existentes sobre margen uruguayana y así disminuir el volumen de ataguías.

A partir de los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas sobre el modelo del perfil definitivo con cresta a cota +17.00 m fue siendo modificada la forma del perfil vertedero.

La pila de proyecto designada como de alzada 0 sección 0 (Figura N° 4), no satisfizo las necesidades de la obra y sufrió diversas modificaciones en su alzada y sección, con el fin de mejorar el coeficiente de gasto y las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

Básicamente, se analizaron cuatro alzadas y dos tipos de secciones. Se han designado como alzadas A y A' a las que presentan un quiebre en su frente a diferentes cotas. La alzada B es la que mantiene la forma oblicua pero recta en todo su desarrollo y finalmente, la alzada C es vertical manteniendo el puente en voladizo.

Con respecto a un corte en plano horizontal, la sección A es aguzada y la B tiene tres radios. Por ello, se han considerado las combinaciones siguientes: alzada A sección A (Figura N° 5), alzada A sección B (Figura N° 6), alzada A' sección A (Figura N° 7), alzada A' sección B (Figura N° 8), alzada B sección A (Figura N° 9), alzada B sección B (Figura N° 10) y alzada C sección B (Figura N° 11).

En las fotografías N° 5 a N° 18 inclusive se observan las pilas citadas y su efecto sobre el escurrimiento cuando este se produce pleno, con compuertas totalmente abiertas.

Durante los ensayos realizados con la pila 0-0 de proyecto el perfil del vertedero fue el primitivo (Figura N° 3-A), mientras que todos los ensayos con las variantes subsecuentes fueron realizados cuando el perfil había ya adoptado su forma definitiva detallada en la Figura N° 3-B.

2.2 - DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS

Para el evacuador de proyecto, con sus pilas designadas 0-0, y el perfil posteriormente modificado con todas las variantes citadas en el parágrafo anterior de alzadas y secciones de pila, se desarrollaron ensayos según la metodología que a continuación se detalla:

2.2.1 - Para la definición del coeficiente de gasto:

- a - Se establecieron distintos regímenes de escurrimiento, determinándose la cota de embalse mediante un limnómetro colocado a tal efecto. Esa cota ha sido corregida de manera de tener en cuenta la energía cinética de llegada en el modelo.
- b - Se determinó el caudal erogado mediante el vertedero aforador ubicado en el canal de retorno a la cisterna.
- c - Se adicionó al caudal determinado anteriormente, 3.600 m³/s que tienen en cuenta el funcionamiento simultáneo de seis turbomáquinas.
- d - Con el caudal total calculado, se fijó la cota aguas abajo según la ley H-Q del río y se materializó en el modelo maniobrando la compuerta de control ubicada a tal efecto en la cabecera de salida, verificándose la cota de embalse.

La ley H-Q se presenta en la Figura N° 12.

2.2.2 - Para la ley de aperturas de compuertas

- a - Se ubicó la compuerta en la apertura deseada, operación realizada por nivelación tomando diferencias con respecto a la cresta del vertedero.
- b - Se estableció el régimen de escurrimiento fijando el nivel aguas arriba a cota +35 m, con energía cinética de llegada incluida.
- c - Se determinó el caudal erogado mediante el vertedero aforador ubicado en el canal de retorno a la cisterna.
- d - Se adicionó al caudal determinado anteriormente 3.600 m³/s que tienen en cuenta el funcionamiento simultáneo de seis turbomáquinas.
- e - Con el caudal total calculado, se fijó la cota aguas abajo según la ley H-Q del río y se materializó maniobrando la compuerta de control ubicada en la cabecera de salida del modelo, verificándose el gasto real erogado.
- f - Se leyeron los valores de presión en las tomas colocadas sobre el vertedero, en el eje y contra la pila.
- g - Se realizaron medidas de las alturas de pelo líquido sobre el perfil del evacuador.

2.3 - CAPACIDAD DE DESCARGA

El vertedero originalmente propuesto detallado en la Figura N° 2, fue ensayado para trece estados de embalse diferentes a efectos de relevar su ley altura-gasto y definir su capacidad de evacuación.

En la Tabla N° 1 se presentan los valores de gasto obtenidos para cotas de embalse variando entre +21,39 m y +39,23 m. Esas cotas fueron obtenidas sumando a lo realmente observado en el canal de ensayo la altura de energía cinética en el ingreso. Como se especificara anteriormente, el nivel de aguas abajo fue calculado considerando el funcionamiento del vertedero simultáneamente a seis turbomáquinas.

Los valores de cotas de embalse y gastos erogados se graficaron en la Figura N° 13 de la cual puede extraerse el gasto que evacuará el vertedero cuando el embalse se encuentre a cota +35 m. Ese gasto que tiene especial significación para el proyectista, resultó de 46.200 m³/s a lo largo de todo el vertedero, no alcanzándose los 47.000 m³/s deseados.

A partir de la definición de gasto erogado por vertedero

$$Q = m L H^{3/2}$$

donde L es la longitud total de vertedero libre y H es la carga sobre su coronamiento, se puede calcular el coeficiente de gasto m.

El valor de m varió en forma creciente con la carga sobre el vertedero, confirmando la tendencia normal en ese sentido (3), y para el valor de embalse +35 m resultó igual a 2.08 m^{1/2}/s, que no satisface las necesidades propuestas.

Esta deficiencia instó a los proyectistas a modificar, por un lado el desarrollo del cuadrante aguas arriba de la cresta como se observa en la Figura N° 3-B, logrando un encuentro agudo entre perfil y paramento, y por el otro a probar diferentes secciones y alzadas de los pilares separadores.

En ese sentido, todas las modificaciones posteriores presentan el perfil final graficado en la Figura N° 3-B y sólo se diferencian en los pilares separadores.

La Tabla N° 3 detalla para los distintos tipos estudiados de pilas los gastos y coeficientes de descarga obtenidos para cota de embalse +35,00 m.

La alzada C sección B fue sólo probada para estudiar su comportamiento hidrodinámico, y su coeficiente de gasto resultó menor al de otras alzadas con igual sección por no haberse cumplido estrictamente las medidas de los vanos.

Esta variante había ya sido eliminada con anterioridad por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande.

Analizando los seis resultados restantes, se desprende de la Tabla N° 3 que la diferencia de coeficiente de descarga es función de la forma de sección e independiente prácticamente de la alzada.

La sección B presenta marcadamente un mayor coeficiente de gasto que la sección A para cualquier alzada, con lo que prácticamente se recomienda su adopción.

Tomando como sección de nariz la denominada B y adoptando el gasto de 47.000 m³/s se observa que las diferencias

entre las distintas alzadas se encuentran dentro del rango de los errores de medición de laboratorio con respecto a dicho valor.

Es pues indudable que la definición respecto a la alzada no será motivada por el coeficiente de gasto sino por su funcionamiento hidrodinámico o razones técnico-económicas del proyectista.

Se ha graficado para la alzada B sección B la ley altura-gasto en la Figura N° 14 que modifica la inmediata anterior, y sus valores se muestran en la Tabla N° 2.

Se determinó, asimismo, para cada una de las variantes enunciadas, la capacidad de descarga del vertedero, manteniendo el nivel de embalse a cota +35 m y fijando las distintas aperturas de compuerta propuestas por el comitente.

Las diferencias entre los valores de caudal para cada apertura de compuerta en caso de cualquier variante de pila ensayada, se encuentran dentro del rango de los errores de medición.

Se ha graficado para la alzada B sección B la ley $Q/Q_{100\%}$, en función del porcentaje de apertura (Figura N° 15), válida para todas las alzadas y secciones.

2.4 - FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO

Dado el elevado gasto específico, el funcionamiento hidrodinámico del evacuador presenta características especiales.

Cuando el escurrimiento se produce a pelo libre existe una marcada tendencia a deprimir la lámina en la zona de separación de la pila. En caso del vertedero original con sus pilas 0-0 este efecto resultaba sumamente notable. La sección A para cualquier alzada reitera similares características disminuyendo las depresiones cuando la sección de pila era la denominada B.

De las cuatro alzadas ensayadas con esta última sección, el escurrimiento más favorable fue obtenido con la alzada B y su detalle puede observarse para cota de embalse +35 m en la fotografía N° 19.

Con la obra originalmente proyectada se observó aguas arriba de la compuerta en el vano central, para condiciones dadas de altura y apertura de compuerta, la presencia de dos vórtices que se trasladan hacia aguas abajo como integrantes de la corriente líquida con las consiguientes modificaciones de las condiciones normales de escurrimiento (4).

Estos vórtices no aparecen en aperturas de 10% (Fotografía N° 20), comienzan a hacerse notar con aperturas de 20% (Fotografía N° 21), presentan su mayor intensidad para apertura del 50% (Fotografías N° 23 y N° 24 para la sección de proyecto y N° 25 y N° 26 para las modificadas) y decaen ostensiblemente para apertura de 80% (Fotografía N° 22).

Si bien la alzada B sección B presenta mejor funcionamiento hidrodinámico para aperturas parciales de compuerta,

en ningún caso ha sido posible eliminar la aparición de los torbellinos. De acuerdo a las investigaciones realizadas no parece posible solucionar este problema variando la forma de los pilares pues, ante la magnitud de la corriente acelerada, ésta interacciona sobre la masa de aguas muertas que se forma sobre ella, contra la compuerta, y produce como única solución estable un torbellino intermitente (5).

Queda a criterio de los proyectistas estimar si la influencia que los vórtices podrán tener sobre la estructura de la compuerta hace necesario prever nuevos estudios.

2.5 - PRESIONES SOBRE EL PERFIL

De acuerdo al plan de ensayos detallado anteriormente se obtuvieron valores de presiones para varias combinaciones de alzadas y secciones de pilas, realizando las mediciones en cada caso para distintas aperturas de las compuertas.

Se colocaron tomas piezométricas en el eje del perfil del vertedero y contra las pilas en las ordenadas que se indican en las correspondientes Figuras N° 16 a N° 32.

Las mediciones se realizaron con la precisión de la décima de milímetro utilizando un limnómetro Arnhem que permite ese tipo de lecturas.

2.5.1 - Resultados obtenidos para la pila 0-0

Para todos los ensayos de medición de presiones, con distintas aperturas de compuertas, se trabajó con nivel de embalse a cota +35 m.

De la observación de los diagramas de presiones obtenidos con apertura de 10% (Figura N° 16) aparece este estado como de máxima sollicitación, pues en algunos puntos del escurrecimiento, se han medido hasta 4 m de depresión, valor que supera los recomendables (11).

En los gráficos de presiones relevados para apertura de 30% (Figura N° 17) se observan depresiones del orden de 3 m de columna de agua. Las depresiones disminuyen con apertura de 50% respecto de los anteriores casos, como se observa en la Figura N° 18. Los valores de depresión carecen de importancia en caso apertura de 65%, estando representados en la Figura N° 19.

Al igual que en el caso anterior los valores de depresión no son importantes con apertura de 80%, y se encuentran graficados en la Figura N° 20.

Para la prueba de 100% de apertura (escurrimiento libre) se realizaron ensayos con distintos caudales por vano, habiéndose obtenido para los dos gastos de máxima ($Q = 3.200 \text{ m}^3/\text{s}$ por vano y $Q = 2.940 \text{ m}^3/\text{s}$ por vano) las mayores depresiones en el eje del vertedero (hasta 3.60 m de columna de agua), en tanto que contra las pilas, los valores relevados no alcanzan el rango de las depresiones anteriores.

2.5.2 - Resultados obtenidos para el evacuador modificado

En todos los ensayos realizados con el perfil modificado (Figura N° 3-B) con sección y alzada de pilas B-B (Figura N° 10), se trabajó utilizando la cota de embalse +35,00 ya corregida con energía cinética de ingreso, incluyendo el caso de compuertas totalmente abiertas.

Todos los valores obtenidos se han resumido en las Tablas N° 4 a N° 8.

Durante el ensayo con apertura de 20% se observaron depresiones de 1,20 m de columna de agua, que no resultan perjudiciales para la estructura. Los diagramas se han graficado en las Figuras N° 23 y N° 24.

Con apertura de 50% sólo se encuentran depresiones contra las pilas del vertedero, desapareciendo en el eje del vano (Figuras N° 25 y N° 26). Con 60% de apertura el fenómeno se mantiene muy similar, disminuyendo la zona de depresiones (Figuras N° 27 y N° 28). Ya al tenerse apertura de 80%, no se encuentran presiones negativas en ningún punto del perfil (Fi

guras N° 29 y N° 30).

Con el vertedero trabajando a pelo libre (100% de apertura) aparecen depresiones en el cuadrante de aguas arriba, que no superan los 80 cm de columna de agua. A lo largo del resto del perfil los valores de presión resultaron siempre positivos, como se comprueba en las Figuras N° 31 y N° 32.

Los valores obtenidos para la pila B-B, que fueran recientemente descriptos, no difieren apreciablemente de los correspondientes a las distintas variantes de alzadas y secciones estudiadas, tal como surge de las Tablas N° 4 a N° 6 y las figuras N° 23 a N° 32.

2.5.3 - Análisis de resultados

Debido a que para distintas alzadas y secciones de pilas no han sido encontradas diferencias notables en los diagramas de presiones relevados, es posible explicar las discrepancias entre los ensayos con proyecto original y proyecto modificado sobre la base del cambio en la forma del coronamiento del perfil de vertedero.

El encuentro agudo entre curva y paramento es pues el responsable de la reducción de depresiones, que en el proyecto original (Figura N° 3-A) resultaban excesivas.

Los nuevos valores obtenidos para el perfil modificado se encuentran dentro de los límites recomendados por la experiencia (11). Sin embargo, deberán adoptarse precauciones al construir la superficie del coronamiento en prototipo, puesto que las irregularidades producidas por salientes o huecos podrán incrementar las depresiones, hasta dar lugar a producir cavitaciones.

3 - ESTUDIO DEL DISIPADOR DE ENERGIA.

3.1 - ANALISIS DEL LECHO PROYECTADO

La caída de agua acompañada por el perfil del vertedero evacuador se produce sobre un cuenco plano horizontal cuya función es evitar la erosión del lecho del río y amortiguar la energía cinética desarrollada en el salto.

Dicho cuenco originalmente fue previsto con una longitud de 40 m, su solera a cota -1 m, y un diente oblicuo en su extremo aguas abajo que alcanzaba la cota +3 m en su coronamiento (Figura N° 2), y se ha designado en este informe como cuenco Tipo 1.

De acuerdo con las condiciones fijadas por los proyectistas, el cuenco podía variar en longitud o contar con elementos accesorios de disipación forzada de energía (dados o bloques) pero no se contemplaban variantes que implicaran reemplazar el lecho plano horizontal por otro tipo de amortiguador.

El gasto máximo de proyecto para el estudio fue fijado en 3.200 m³/s por vano, equivalente a 60.800 m³/s erogados en todo el vertedero. Ese valor lleva a un gasto específico de 209 m³/s por metro lineal, tan excepcionalmente elevado, que no se ha encontrado en la bibliografía habitual otra obra de magnitud comparable en ese sentido.

Para el lecho proyectado, se realizaron inicialmente ensayos con gastos de 300, 1.500, 2.940 y 3.200 m³/s por vano, (6) con relevamientos expeditivos de velocidades máximas mediante el uso de un tubo de Pitot a efectos de analizar el comportamiento energético del disipador.

De esos estudios surgió que la energía disipada era sumamente escasa.

Teóricamente, es posible calcular la pérdida de energía en un resalto, computando sólo la energía específica de la corriente

$$E = h + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

donde h es el tirante tomado normalmente al escurrimiento, α el coeficiente de Coriolis y V la velocidad media en la sección.

En la literatura especializada (7) se encuentra que, en escurrimientos con número de Froude menores que 2 en el ingreso, no se puede esperar porcentajes de disipación de energía específica que superen el 7%.

Es extremadamente difícil contrastar los valores teóricos en el caso de este disipador pues la definición de las secciones conjugadas resulta totalmente aleatoria. No existe un resalto desarrollado perfectamente y por ende no aparece el ingreso definido en su tirante conjugado inicial, y en la zona de aguas abajo la sección sobre el diente final del lecho está influenciada por aire incorporado, y su perfil de velocidades aún no es uniforme, con lo que el coeficiente está indeterminado.

Ante los bajos números de Froude del escurrimiento en el ingreso, es de esperar que la disipación de energía siempre sea reducida. Sin embargo, la velocidad a la salida del amortiguador deberá alcanzar el valor necesario para que el caudal erogado por vertedero pase a través de la sección limitada por los muros laterales, con lo que existirá siempre un límite reducido en la disipación de energía.

En efecto, un incremento excesivo de la acción disipadora del cuenco podrá tener como consecuencia una elevación del nivel de aguas abajo, lo que no resulta deseable.

Del estudio se desprende que el problema crítico del cuenco amortiguador es lograr el tirante conjugado dentro de la zona prevista, y mantenerlo por debajo del respectivo nivel de aguas abajo de la obra.

Con este cuenco tipo N° 1 se ha observado que el resalto excede en tirante conjugado al nivel de aguas abajo produciendo importantes ondulaciones que se trasladan intermitentemente (Fotografía N° 27).

De acuerdo con el bajo número de Froude de ingreso resulta que la longitud del resalto supera para el tirante dado los 75 metros, por lo que el Laboratorio recomendó aumentar la longitud del lecho, originalmente de sólo 40 metros (6).

3.2 - Modificaciones realizadas

De acuerdo con un programa de ensayos propuesto por la firma MAIN y Asociados se ha investigado el comportamiento del lecho amortiguador con variantes tendientes a lograr un funcionamiento satisfactorio.

Para esta nueva serie de investigaciones se adoptó como situación de máxima sollicitación la equivalente a cota de embalse +35.00 con compuertas totalmente abiertas, y escurriendo 47.000 m³/s en el río, sin centrales funcionando. El hecho de no adicionar el gasto de las centrales hace que el nivel de aguas abajo resulte menor que en caso de los estudios de capacidad de descarga y pone al disipador en las peores condiciones

de funcionamiento real.

De las posibilidades planteadas, la firma Consultora consideró por una parte la posibilidad de alargar el cuenco y por la otra colocar bloques de disipación forzada, proponiéndose una fila en la base del perfil (chute-blocks), otra en medio de la platea (baffle-piers), y una tercera a media caída del perfil vertedero, en su tramo rectilíneo (8).

3.2.1 - Cuenco Tipo 2

El cuenco disipador mantiene las mismas dimensiones básicas del anteriormente estudiado, con la inclusión de dientes de choque en dos filas, rectificación de parte inferior del perfil y diente final del cuenco con paredes verticales, de acuerdo con el "perfil original modificado la y 2a etapas" que figura en el gráfico SKH-111 de la firma consultora (Figura N° 33).

Si bien el funcionamiento del lecho por efecto de los dientes ha mejorado, aún existen ondas superficiales que se trasladan hacia aguas abajo.

La Fotografía N° 28 ilustra el estado de régimen del sistema analizado. El lecho del río aguas abajo del diente debió ser materializado con gravilla de gran tamaño (correspondientes a bloques esféricos de 2,4 m de diámetro en prototipo) pues el efecto erosivo aún resultó importante.

3.2.2 - Cuenco Tipo 3

A solicitud de la firma consultora, y de acuerdo a

anteriores recomendaciones de este Laboratorio (6), se incrementó la longitud del lecho en 15 metros. La recomendación del Laboratorio implicaba una longitud algo mayor. Además se modificaron las dimensiones de los dientes superiores, aumentándose hacia aguas abajo su longitud en tres metros (Figura N° 34).

En este caso, y previniendo aún modificaciones de optimización, se aprecia un satisfactorio funcionamiento del lecho, obteniéndose aguas abajo una superficie libre aceptablemente estable, sin la presencia de fluctuaciones violentas, que caracterizaran las anteriores soluciones propuestas.

La Fotografía N° 29 permite apreciar gráficamente lo expuesto. La erosión al pie ha disminuído notablemente, habiéndose utilizado a efectos de su visualización gravilla de menor tamaño (del orden de un metro de diámetro en prototipo) que resultara inestable para los anteriores ensayos. Se observa, en forma impermanente aguas abajo del lecho y en la superficie del agua la aparición de un pequeño resalto adicional.

De la fotografía N° 29 surge que se ha elevado el nivel en la zona del eje de la compuerta.

3.2.3 - Cuenco Tipo 4

El lecho disipador mantiene las mismas dimensiones básicas del anteriormente estudiado, con la inclusión de dientes de choque en el centro de la parte horizontal del mismo (Figura N° 35).

El funcionamiento del lecho ha mejorado notablemente aunque todavía se observan en la superficie ondas de pequeña magnitud, que se trasladan hacia aguas abajo.

Al igual que en las pruebas anteriores se materializó el fondo rocoso con gravilla de tamaño medio entre 1" y 1/2" que representa en prototipo rocas de aproximadamente 1 metro de diámetro y en la fotografía N° 30 se observa la forma del escurrimiento en el cuenco.

3.2.4 - Cuenco Tipo 5

El lecho disipador mantiene las mismas dimensiones básicas del anteriormente estudiado, con la translación hacia aguas abajo en 10 m de la última fila de dientes colocada (baffle piers) tal como se observa en la Figura N° 36.

Si bien se obtiene alguna mejoría en cuanto a la superficie libre aún aparecen ondas de pequeña importancia. La Fotografía N° 31 ilustra esta situación.

3.2.5 - Cuenco Tipo 6

Se mantienen las mismas dimensiones básicas del lecho amortiguador que para el caso anterior, con la única variante que corresponde a la exclusión de la fila superior de dientes en el perfil del vertedero (Figura N° 37).

Las ondulaciones superficiales reducen su magnitud a valores mínimos, lo que indica el correcto funcionamiento del lecho ensayado. A criterio de los investigadores del Laboratorio, esta solución es la más aceptable dentro de las características de borde dadas por la Consultora (lecho plano a cota - 1, longitud de cuenco 65 m y dientes de choque).

El perfil de erosión en la zona móvil corrobora un

buen funcionamiento del lecho disipador.

La Fotografía N° 32 ilustra la situación indicada anteriormente.

3.2.6 - Cuenco Tipo 7

Las dimensiones básicas son las del Cuenco Tipo 4, con la exclusión de la fila superior de dientes de choque (Figura N° 38).

El funcionamiento es casi idéntico al de la variante anterior como lo ilustra la Fotografía N° 33, por lo que se considera tan recomendable como el Cuenco Tipo 6.

3.2.7 - Cuenco Tipo 8

Para esta variante se mantuvieron las mismas dimensiones del lecho amortiguador y se colocaron solamente los dientes de choque del pie del vertedero (Figura N° 39).

Aunque la diferencia de pérdida de energía no es notable se observan ondulaciones superficiales, y 50 m aguas abajo del fin del lecho, la presencia de un pequeño resalto superficial en forma discontinua, que en los dos casos precedentes no aparecía (Fotografía N° 34).

3.2.8 - Cuenco Tipo 9

Se mantienen las mismas dimensiones básicas que en el caso precedente, con la exclusión total de los dientes de

choque (Figura N° 40).

Las ondulaciones superficiales aumentan respecto al caso anterior y el resalto superficial se forma intermitentemente y con mayor amplitud, trasladándose en forma de vaivón aguas abajo del lecho, lo cual crea una situación inestable en el escurrimiento.

La longitud del resalto supera a la longitud del lecho amortiguador como se observa en la Fotografía N° 35. La erosión modifica el perfil de equilibrio final del lecho, respecto de los anteriores casos estudiados.

3.2.9 - Análisis comparativo

De las ocho variantes estudiadas sobre modelo al Cuenco Tipo 1, las denominadas Cuenco Tipo 4, Tipo 5, Tipo 6 y Tipo 7 satisfacen los requerimientos del proyectista.

Considerando que los Cuencos Tipo 6 y 7 eliminan una fila de bloques de disipación, resultan evidentemente más aconsejables. Los bloques que han sido excluidos son los que se ubicaban en el mismo perfil del vertedero, involucrando problemas constructivos.

Se deja establecido que la solución adoptada (Cuencos Tipo 6 y 7) es la más satisfactoria entre las analizadas, es decir, cumpliendo las condiciones fijadas por el proyectista (lecho plano de 65 m de longitud, a cota - 1 y con dientes de choque).

El funcionamiento para menores gastos ha decidido la utilización del Cuenco Tipo 6.

3.3 - SOLICITACIONES SOBRE LOS DIENTES DE CHOQUE

Una vez definida las variantes del disipador de energía, que presentan las mejores condiciones de funcionamiento, el Laboratorio ha considerado conveniente completar el estudio anterior, determinando los valores de presión a los que están sometidos los dientes de choque.

Si bien las mediciones por su carácter expeditivo no dan la medida exacta de las presiones instantáneas, ayudan a formarse una idea aproximada del valor de los esfuerzos que actúan sobre dichos dientes.

Las medidas se realizaron funcionando el aliviadero en tres condiciones de apertura de compuerta, 100%, 50% y 10% y siempre a cota de embalse +35,00 m.

En el parágrafo 3.2 se detallaron los ensayos tendientes a establecer las formas y dimensiones óptimas para vertedero y lecho disipador de energía. Sobre la base de dicho trabajo se utilizaron para el nuevo estudio únicamente las variantes denominadas Cuencos Tipo 4, 6 y 7, que tienen en común la forma del vertedero y largo del lecho amortiguador, y se diferencian fundamentalmente en la presencia y ubicación de los dientes de choque.

Para la observación de presiones se colocaron tomas piezométricas en los dientes ubicados al pie del vertedero y en el tramo horizontal del lecho amortiguador, y su distribución general se puede observar en la Figura N° 41.

Las tomas de presión se materializaron con caños de cobre de 5 mm, y su conexión con los tubos piezométricos se realizó con manguera de plástico. Estas conexiones se ubicaron por debajo del nivel del fondo del canal para no perturbar el escu-

rrimiento.

Para realizar las lecturas de presión se instalaron tres multimanómetros de cuatro tubos cada uno correspondientes a las tres caras en estudio, y se leyó con una regla de acero que permitió una precisión de 0,5 mm.

En las Figuras N° 42, N° 43 y N° 44, se pueden observar las identificaciones de cada toma piezométrica H_i , V_i y O_i según estén en la parte superior o pared vertical del Chute-block o en la cara oblicua del Baffle-pier.

Los resultados de valores medios obtenidos se detallan en la Tabla N° 9.

Analizando el caso de 10% de apertura, que por su mayor número de Froude aparece como más desfavorable, resulta que

$$F = 10,4$$

y mediante la expresión (9):

$$P_{\text{mín}} = h_1 \left[2,0 - \frac{(1,13 - h_2/h'') (F - 4,5)}{0,098} \right]$$

se calcula una presión mínima instantánea de 4.65 m de columna de agua (por sobre la atmosférica).

A partir del mínimo valor de presión media obtenido en los ensayos, de 10,83 m de columna de agua y aplicando el criterio de que la mínima presión instantánea debida a las vi lentas fluctuaciones existentes está dada según las experiencias del St. Anthony Falls Hydraulics Laboratory (10)

$$P_{\text{mín}} = P_{\text{med}} - 0,4 \frac{v_1^2}{2g}$$

se llegan a valores menores que los del cálculo precedente, alcanzando caso presiones relativas nulas.

Aunque la dispersión entre valores analíticos y los obtenidos por cálculo a partir de las experiencias realizadas es importante, puede considerarse que no habrá riesgos de cavitación en los bloques, para condiciones estudiadas de funcionamiento.

4 - CONCLUSIONES

Las experiencias realizadas han permitido optimizar el diseño del evacuador de crecidas para las obras de Salto Grande. A través de las pruebas en modelo reducido han surgido variantes en el perfil de vertedero, en la forma de pilares separadores de vanos y en el lecho amortiguador.

La disposición final adoptada se conforma con el perfil de vertedero modificado según consta en la Figura N° 3-B, la pila denominada de alzada B sección B (Figura N° 10) y el amortiguador que ha sido designado como cuenco tipo 6, esquematizado en la Figura N° 37.

La obra así materializada la que ha presentado un funcionamiento más adecuado, entre todas las soluciones estudiadas. Su ley altura-gasto se ha graficado en la Figura N° 14, pudiendo calcularse para cota de embalse +35 m los gastos erogados para distintas aperturas de compuertas a partir de la curva representada en la Figura N° 15.

El exagerado gasto específico que este evacuador de crecidas tiene previsto supera ampliamente los límites conocidos y pone a las obras dentro de muy especiales características.

La carga de diseño resulta mayor que la altura del perfil de vertedero, y la influencia de la velocidad de llegada es muy importante. Para esas características de escurrimiento el evacuador no puede considerarse como de gran caída, y queda enmarcado dentro del tipo designado como "low oggie spillway" (12). Ello ha impuesto que el perfil Creager proyectado no se comporte en las condiciones teóricas y los diagramas de presiones resulten impredecibles por cálculos corrientes. Las presiones crecen en el cuadrante de aguas abajo, con

trariamente a los resultados analíticos, pero ha sido experimentalmente explicado por la determinante influencia del nivel de contraembalse. En efecto, investigaciones realizadas disminuyendo ese nivel de aguas abajo han demostrado que caen los valores de presiones en el cuadrante inferior, sin modificación apreciable de los valores en la zona del coronamiento.

La modificación del cuadrante de aguas arriba, presentando un encuentro agudo entre perfil y paramento, ha mejorado sensiblemente el escurrimiento disminuyendo el valor de las depresiones, y manteniéndolas dentro de límites aceptables. Se ha demostrado también la despreciable influencia de la forma de los pilares sobre el diagrama de presiones.

A pesar de la disminución de depresiones, el coeficiente de gasto se ha mantenido dentro del mismo rango, incrementándose en el caso de contarse con pilares de sección a tres radios. Ello sería motivado por la existencia de presiones negativas en el cuadrante de aguas arriba, provocadas por la separación nacida en el ángulo vivo perfil-paramento, que aparentemente define la equipotencial de mayor relevancia respecto de la llamada.

El funcionamiento hidrodinámico del conjunto es aceptable, manteniendo la alzada B sección B de pilas, con excepción de un fenómeno que se presenta en aperturas parciales de compuertas.

Cuando la apertura de las compuertas supera el 20% aparecen pequeños remolinos superficiales, que se magnifican en aperturas de 50% con incorporación de aire intermitente y desaparecen prácticamente en aperturas mayores de 80%. Se han ensayado siete pilares distintos, y aún sin pilares (recortados en la vertical de las recatas), no pudiéndose elimi

nar los vórtices.

Se ha considerado que la formación de torbellinos es independiente en este caso de la forma de pilas, justificándose su presencia como derivada de una masa quieta estacionada contra la compuerta que posee en su base una corriente sumamente acelerada.

Los proyectistas deberán tener en cuenta la posible influencia que la formación intermitente de estos vórtices pueda tener sobre el diseño de la estructura de las compuertas.

De los estudios realizados sobre el lecho amortiguador ha surgido que el objetivo fundamental de su diseño definitivo ha sido lograr un nivel de contraembalse sin fluctuaciones violentas dentro de la longitud del cuenco, a efectos de evitar la propagación de grandes ondulaciones hacia aguas abajo.

El lecho ha sido prolongado y provisto de dientes de choque, denominados "chute-blocks" y "baffle-piers" cuya función ha sido disminuir la altura del tirante conjugado. El dimensionamiento de los bloques de disipación forzada no concuerda con los valores teóricos. De acuerdo con la bibliografía especializada (7) deberían haberse utilizado bloques de altura igual al tirante de agua en el perfil (mayor de diez metros) lo que en este caso resultaría imposible, considerando que el coronamiento del perfil está a cota +17 m.

Los estudios realizados acerca de las presiones en los bloques han permitido estimar que su comportamiento será más comprometido para aperturas menores (10% por ejemplo), y aunque del cálculo de valores instantáneos no resulten depresiones en las caras más solicitadas, el proyectista deberá prever los posibles riesgos provenientes de funcionamiento inadecuado.

cuado.

El cuenco amortiguador fue estudiado, a solicitud del proyectista, para su crecida de diseño (cota de embalse +35 m), y su funcionamiento desmejora en caso de la máxima estudiada (cota de embalse +38 m), apareciendo ondulaciones aguas abajo, que si bien son menos importantes que en caso del proyecto original, pueden resultar desfavorables.

Debido a que la eficiencia de este cuenco amortiguador ha demostrado ser muy sensible a las variaciones del nivel de aguas abajo y éste ha sido obtenido de una curva extrapolada, se deja constancia que variaciones en esa magnitud podrán influenciar severamente el funcionamiento del cuenco amortiguador.

TABLA N° 1
 VERTEDERO DE PROYECTO

H (m)	Q (m ³ /s)
21,39	5.000
23,81	10.000
25,77	14.922
27,48	19.789
28,88	24.280
30,64	30.000
32,01	35.000
33,46	40.000
34,87	45.000
35,45	47.000
35,99	49.401
38,03	57.000
39,23	60.800

TABLA N° 2
 VERTEDERO MODIFICADO

H (m)	Q (m ³ /s)
23,03	2.000
24,05	11.117
26,25	16.080
27,90	21.374
29,60	27.850
32,00	33.733
33,20	40.050
34,01	43.700
35,00	46.982
36,85	53.525
38,00	59.279

TABLA N° 3
 CAUDAL EROGADO A COTA +35 m

Alzada	Nariz	Coefficiente de gasto	Caudal erogado
A	A	2,121	47.082
A	B	2,112	46.894
A'	A	2,110	46.842
A'	B	2,082	46.213
B	A	2,116	46.982
B	B	2,083	46.235
C	B	2,080	46.176

TABLA N° 4

PRESIONES SOBRE EL PERFIL DEL VERTEDERO
ALZADA 0 SECCION 0

Abscisa	Apertura 100% Q=2.940m ³ /s.		Apertura 100% Q=3.200m ³ /s		Apertura 80%		Apertura 65%		Apertura 50%		Apertura 30%		Apertura 10%	
	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila
-4,34	-	+9,11	-	+9,60	-	+15,85	-	16,90	-	18,10	-	+19,48	-	+20,60
-2,84	+1,65	-	+2,40	-	10,60	-	12,66	-	19,06	-	16,80	-	18,00	-
-0,83	-2,62	-	-3,80	-	+5,80	-	6,80	-	+8,10	-	12,40	-	14,50	-
-0,66	-	+1,10	-	+0,60	-	+6,65	-	7,71	-	11,12	-	+19,39	-	+16,00
+1,04	-1,37	-	-2,70	-	+4,34	-	+4,38	-	+5,00	-	+6,40	-	+8,00	-
+2,33	-	0,00	-	0,00	-	+3,18	-	+3,97	-	+4,39	-	+3,20	-	+2,60
+5,07	-2,20	-	-2,80	-	-0,72	-	-1,68	-	-1,78	-	-2,60	-	-2,60	-
+6,48	-	-1,03	-	-1,40	-	-0,97	-	-1,80	-	-2,54	-	-3,60	-	-3,40
+7,82	0,00	-	-1,10	-	-0,48	-	-1,10	-	-1,01	-	-1,40	-	-1,10	-
+8,87	-	0,00	-	-0,39	-	-1,11	-	-2,14	-	-2,38	-	-2,70	-	-2,50
+20,10	-	15,04	-	15,58	-	12,60	-	+7,38	-	+8,63	-	+4,40	-	+6,20
+20,33	16,50	-	16,40	-	14,04	-	10,19	-	10,00	-	+5,50	-	+6,00	-
+26,47	-	-	24,40	-	22,80	-	19,10	-	18,80	-	12,00	-	12,20	-
+26,53	-	22,80	-	23,20	-	18,81	-	+14,20	-	+9,21	-	+9,00	-	10,65
+30,04	24,49	27,20	-	+28,07	-	23,97	-	+19,33	-	+16,18	-	10,40	-	12,25
						20,22		19,80		13,00		13,40		

TABLA N° 5

PRESIONES SOBRE EL PERFIL DEL VERTEDERO
ALZADA A SECCION B

Abscisa	Apertura 100%		Apertura 80%		Apertura 60%		Apertura 50%		Apertura 20%	
	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila
-2,9	-	-1,129	-	7,161	-	9,763	-	11,740	-	16,040
-2,3	-1,249	-	6,448	-	9,101	-	11,940	-	15,810	-
-0,5	-	+2,136	-	6,990	-	8,216	-	9,323	-	13,543
-0,25	3,234	-	7,826	-	8,934	-	9,923	-	14,253	-
+1,70	1,534	-	4,902	-	5,217	-	5,753	-	6,703	-
4,60	-	2,027	-	2,639	-	1,501	-	1,383	-	0,543
5,75	0,928	-	1,000	-	-0,398	-	-0,125	-	-1,235	-
8,30	-	2,851	-	1,027	-	-0,879	-	-1,181	-	-1,361
8,40	4,039	-	2,823	-	1,239	-	+0,927	-	+0,737	-
13,80	-	6,312	-	+2,708	-	+1,031	-	-0,075	-	-1,855
17,90	-	14,079	-	+10,865	-	7,642	-	7,258	-	2,013
20,05	-	18,250	-	+15,339	-	+11,532	-	11,078	-	4,578

TABLA N° 6

PRESIONES SOBRE EL PERFIL DEL VERTEDERO

ALZADA A SECCION A

Abscisa	Apertura 100%		Apertura 80%		Apertura 60%		Apertura 50%		Apertura 20%	
	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila
-2,9	-	-0,995	-	+7,044	-	+9,698	-	+10,277	-	+16,275
-2,3	-1,132	-	6,491	-	+9,145	-	10,373	-	15,938	-
-0,5	-	+2,194	-	+6,877	-	+8,257	-	9,087	-	14,167
-0,25	+3,266	-	7,750	-	+8,919	-	9,656	-	14,642	-
+1,70	+1,575	-	4,837	-	4,884	-	+5,521	-	9,432	-
4,60	-	+1,887	-	+2,267	-	+1,308	-	+0,946	-	0,127
5,75	+1,203	-	1,226	-	+0,033	-	-0,324	-	-1,206	-
8,30	-	+2,488	-	+1,606	-	-0,966	-	-1,218	-	-1,428
8,40	+3,881	-	2,291	-	1,122	-	+0,941	-	+0,929	-
13,80	-	+6,022	-	+2,410	-	+0,806	-	+0,28	-	-1,445
17,90	-	+13,732	-	+10,012	-	+7,100	-	+6,83	-	+2,498
20,05	-	+18,109	-	+13,552	-	+10,486	-	+8,996	-	+3,997

TABLA N° 7

PRESIONES SOBRE PERFIL DEL VERIEDERO

ALZADA B SECCION B

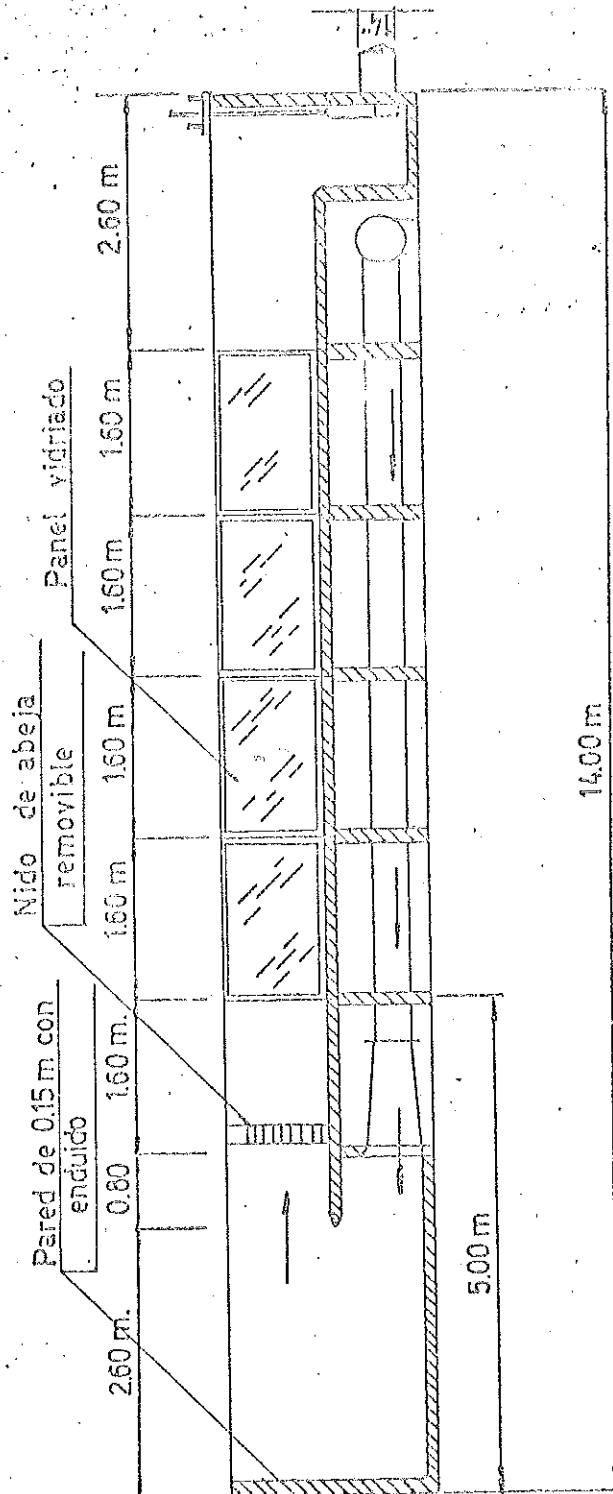
Abscisa	Apertura 100%		Apertura 80%		Apertura 60%		Apertura 50%		Apertura 20%	
	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila
-2,9	-	-0,036	-	8,447	-	10,885	-	12,265	-	15,924
-2,3	-0,823	-	8,151	-	10,869	-	12,264	-	-	-
-0,5	-	+2,668	-	7,128	-	8,245	-	9,151	-	14,851
-0,25	3,938	-	8,147	-	9,165	-	10,077	-	-	-
+1,70	2,440	-	5,305	-	5,423	-	5,796	-	-	-
+4,60	-	+2,852	-	3,243	-	2,214	-	1,758	-	0,829
+5,75	2,009	-	2,132	-	+0,734	-	0,197	-	-	-
+8,30	-	+3,248	-	1,442	-	-0,025	-	-0,569	-	-0,785
+8,40	+3,682	-	2,420	-	+1,215	-	+0,777	-	-	-
13,80	-	+7,160	-	3,038	-	+1,881	-	+1,175	-	-1,171
17,90	-	14,10	-	10,715	-	8,482	-	7,581	-	+2,700
20,05	-	17,642	-	14,543	-	+10,259	-	+11,269	-	5,481

TABLA N° 8

PRESIONES SOBRE EL PERFIL DEL VERTEDERO
ALZADA A' SECCION B

Abscisa	Apertura 100%		Apertura 80%		Apertura 60%		Apertura 50%		Apertura 20%	
	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila	En el eje	Contra la pila
-2,9	-	-1,088	-	8,324	-	10,809	-	12,095	-	16,094
-2,3	-1,694	-	8,151	-	10,683	-	11,893	-	15,775	-
-0,5	-	+2,270	-	7,105	-	8,222	-	9,198	-	13,501
-0,25	+3,617	-	8,294	-	9,106	-	9,697	-	13,964	-
+1,70	+2,236	-	5,334	-	5,363	-	5,744	-	8,637	-
4,60	-	2,407	-	3,343	-	2,261	-	11,092	-	0,42
5,75	1,705	-	2,009	-	0,674	-	+0,284	-	-1,376	-
8,30	-	2,898	-	1,553	-	-0,107	-	-0,522	-	-1,463
8,40	3,542	-	2,478	-	0,958	-	+0,693	-	+0,135	-
13,80	-	6,546	-	4,032	-	+1,483	-	+0,776	-	-1,731
17,90	-	13,807	-	11,060	-	8,213	-	8,254	-	+2,288
20,05	-	17,291	-	14,835	-	12,035	-	11,000	-	+4,838

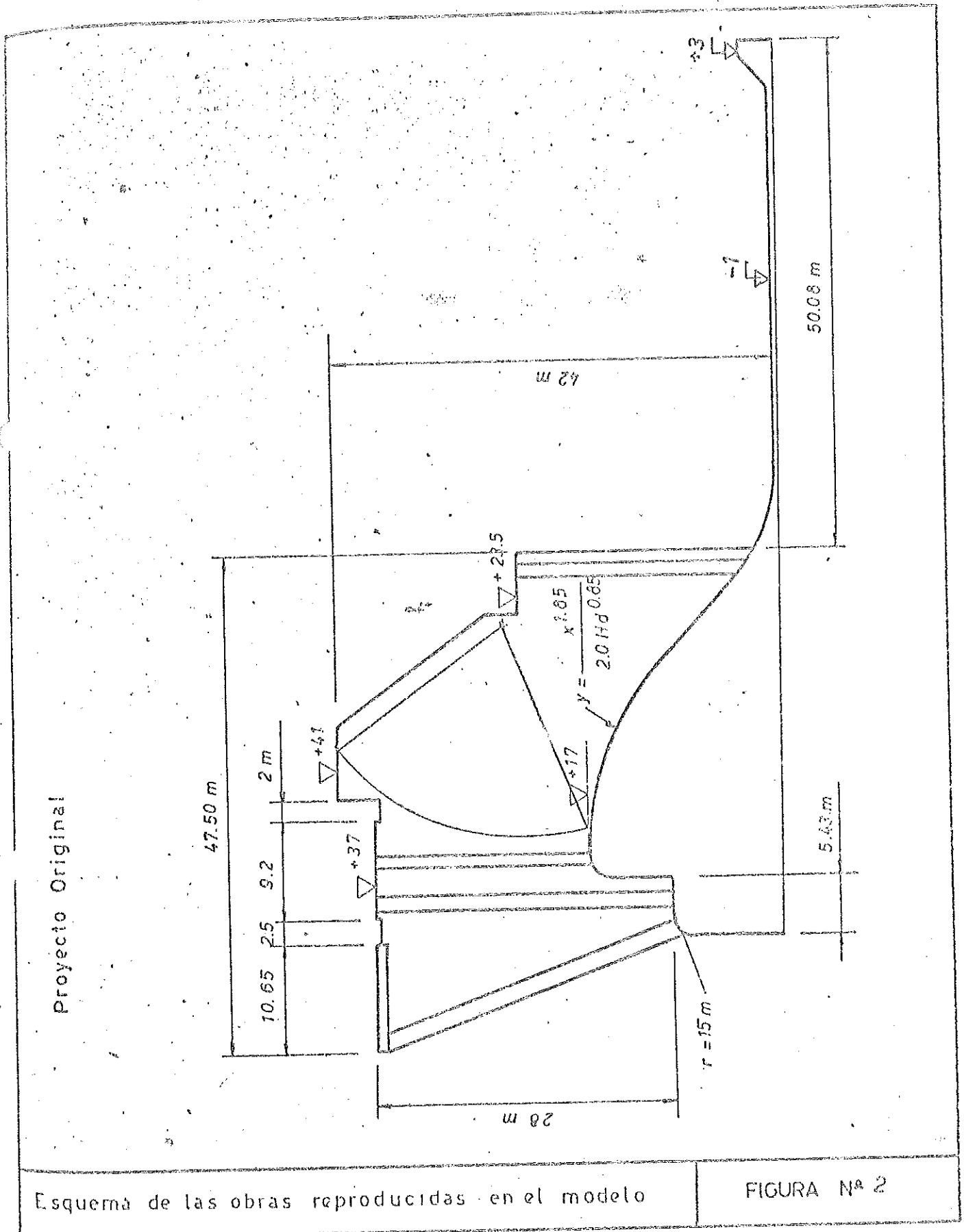
Estudio sobre modelo de Salto Grande
Ensayo bidimensional de obras de alivio



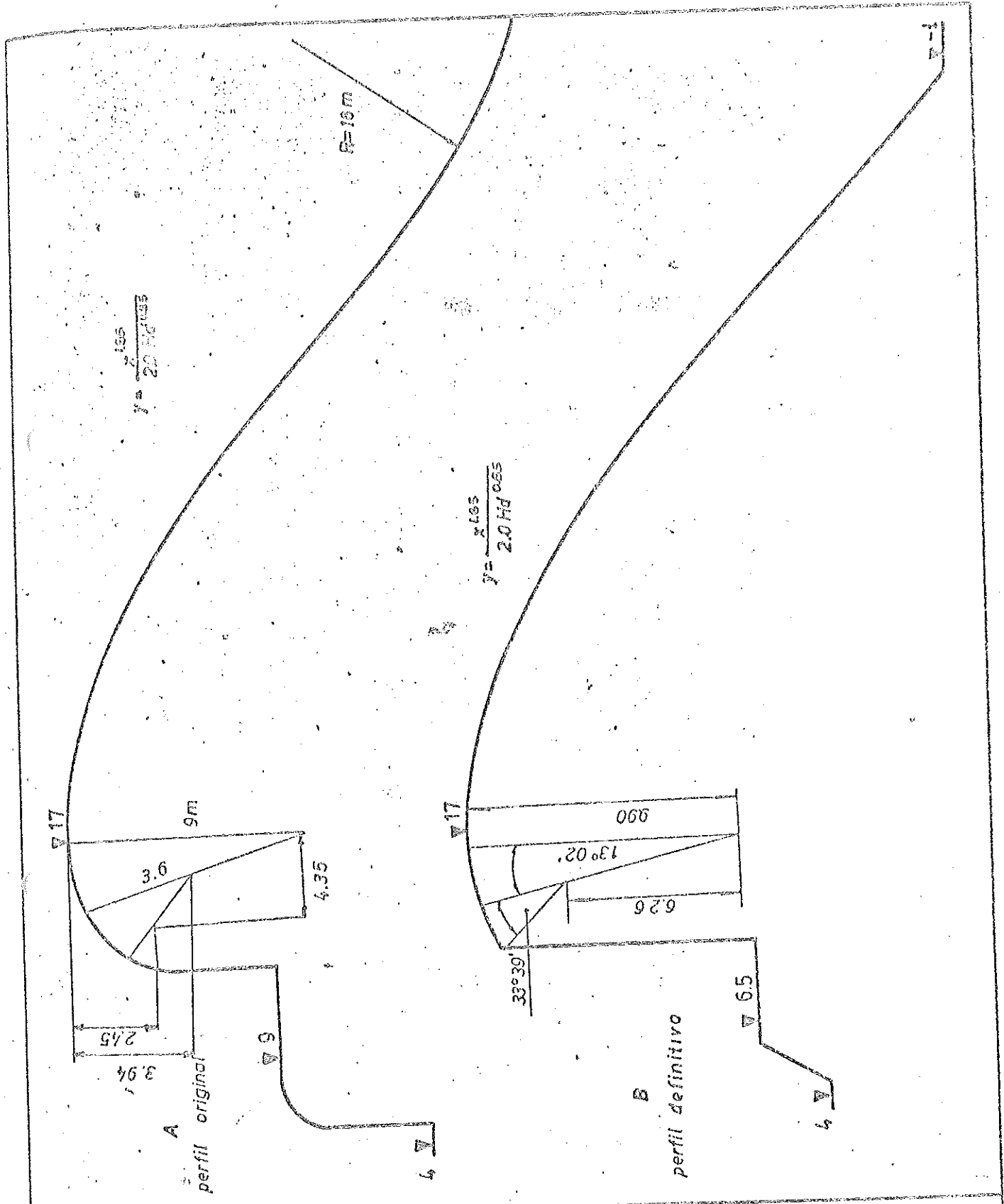
Esquema canal vidrioado utilizado para realizar las experiencias

Figura Nº 1

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 estudio sobre modelo de Salto Grande
 Vertedero canal vidriado



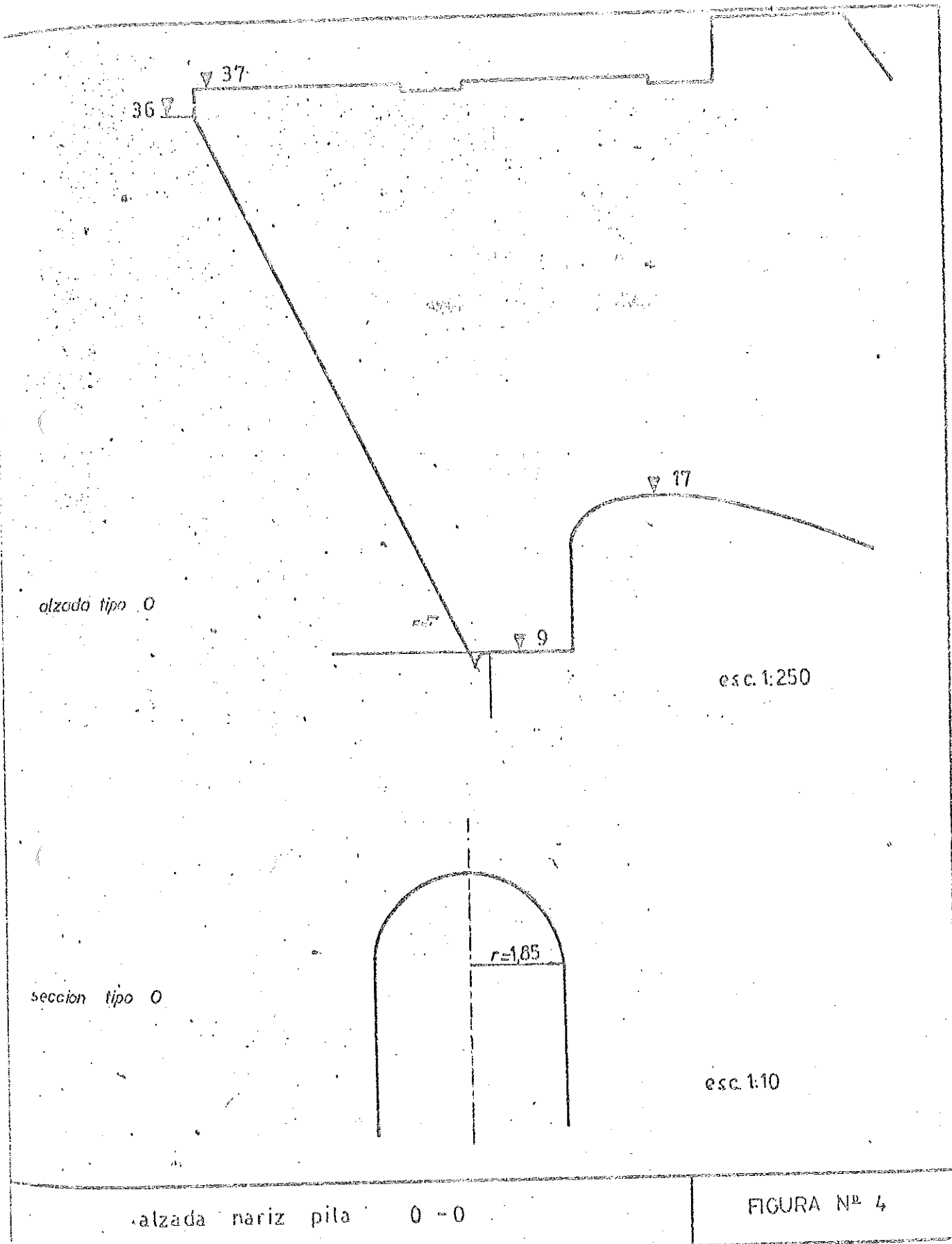
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 estudio sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



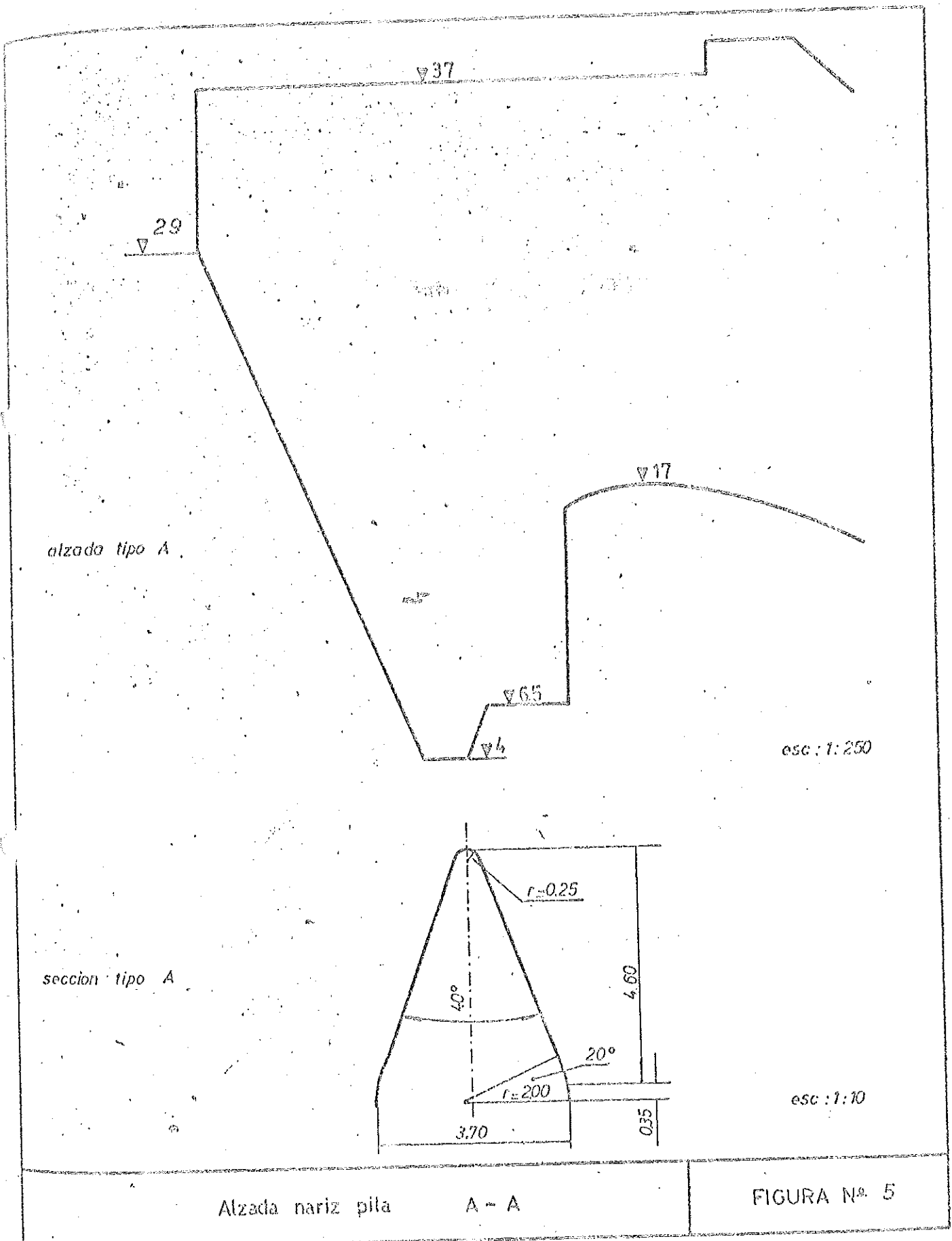
perfiles de vertedero

FIGURA Nº 3

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande
Vertedero canal vidriado



LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado

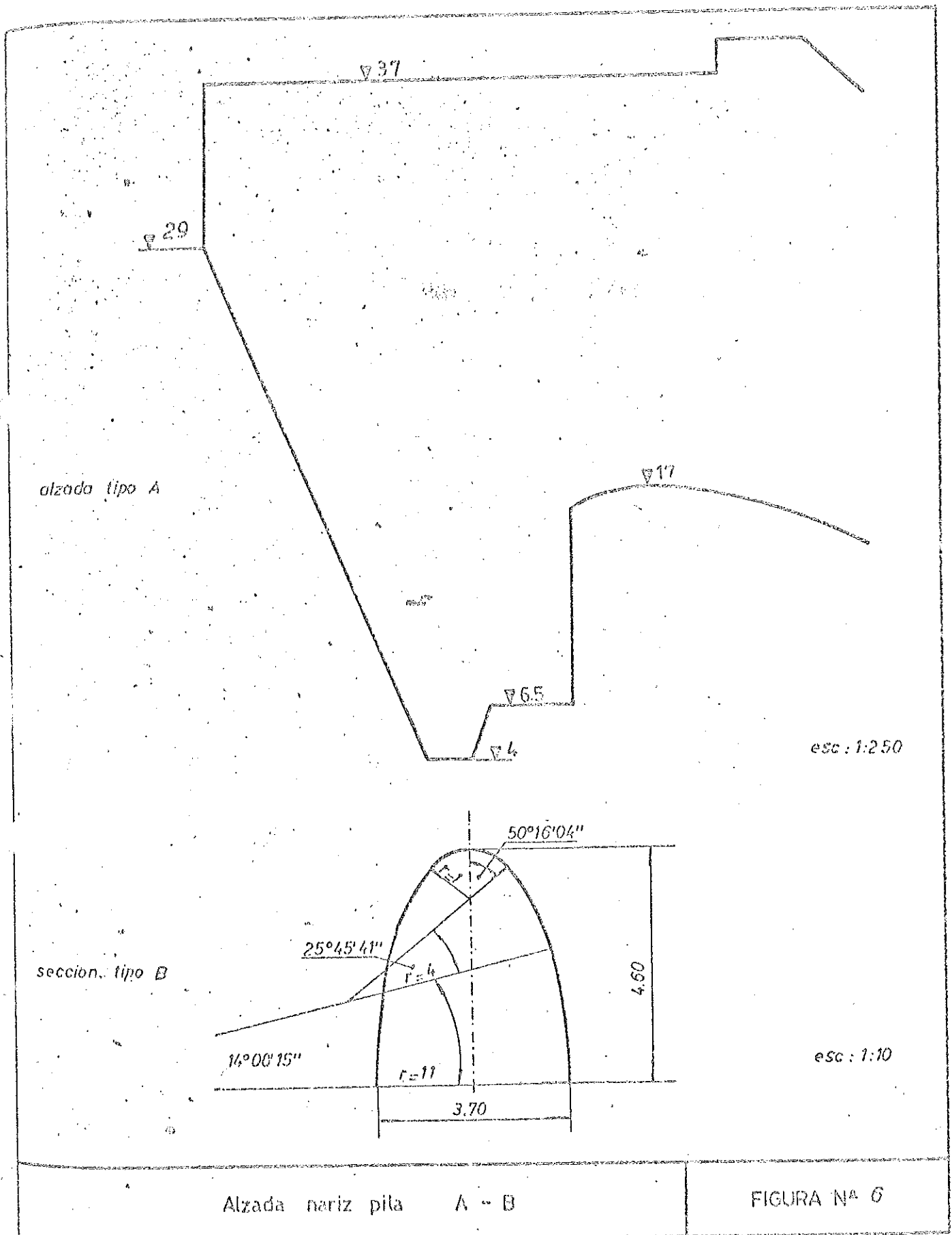


Alzada nariz pila

A - A

FIGURA N.º 5

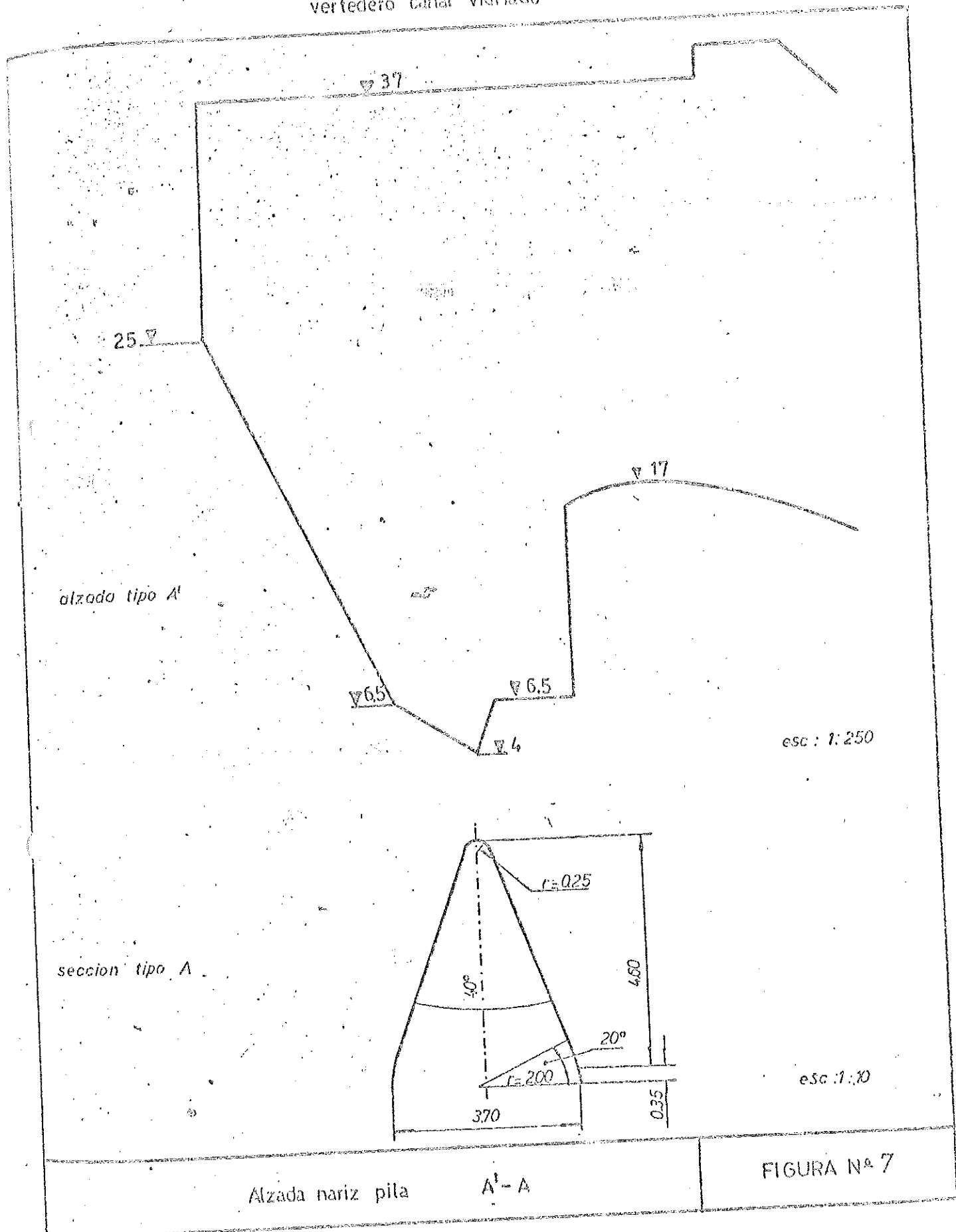
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



Alzada nariz pila A - B

FIGURA N^o 6

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado

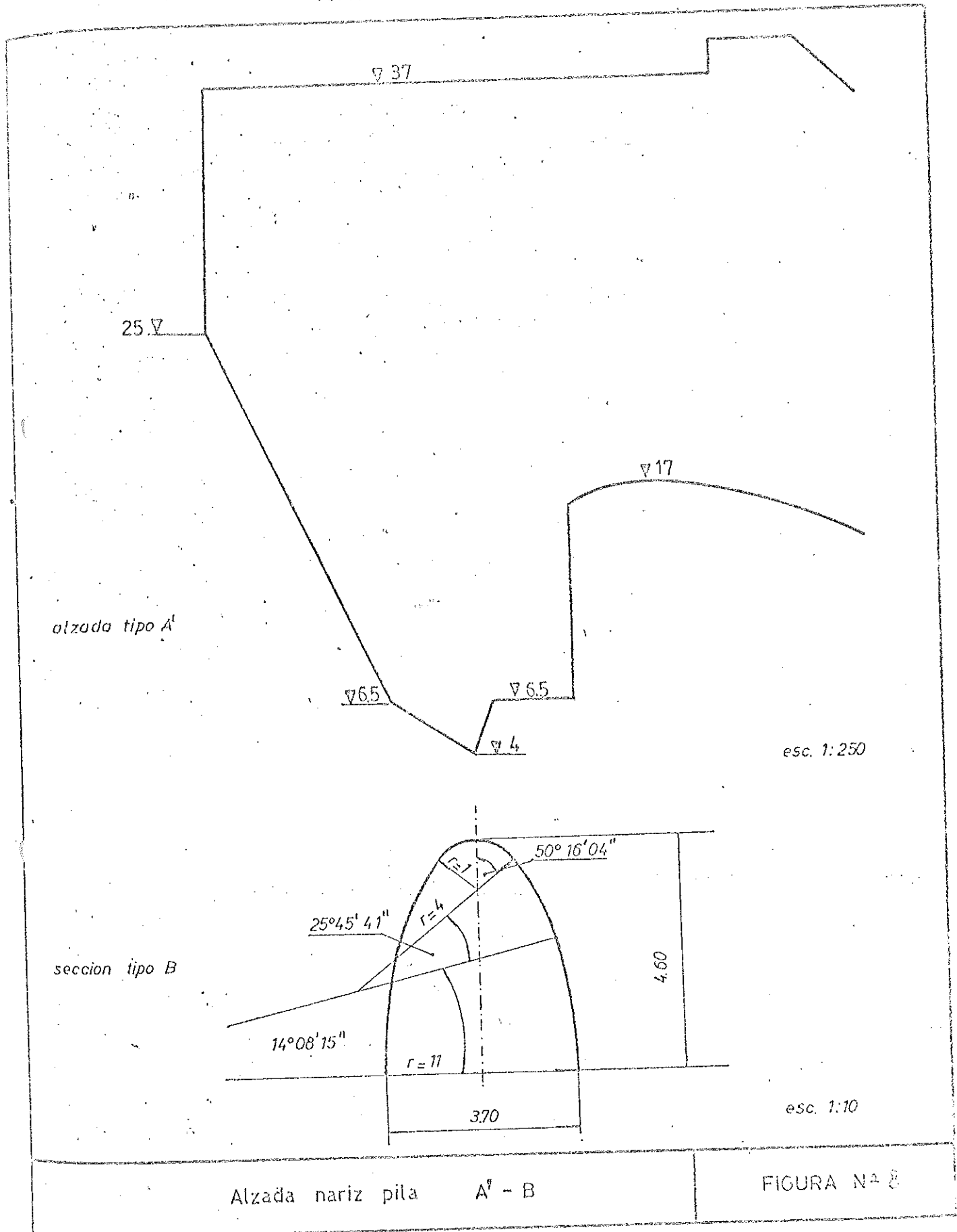


Alzada nariz pila

A'-A

FIGURA N° 7

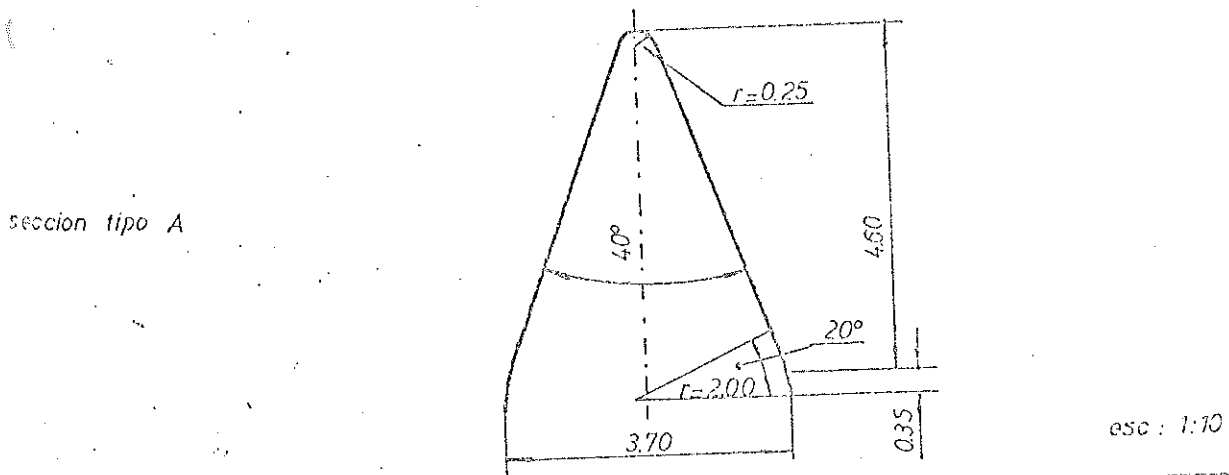
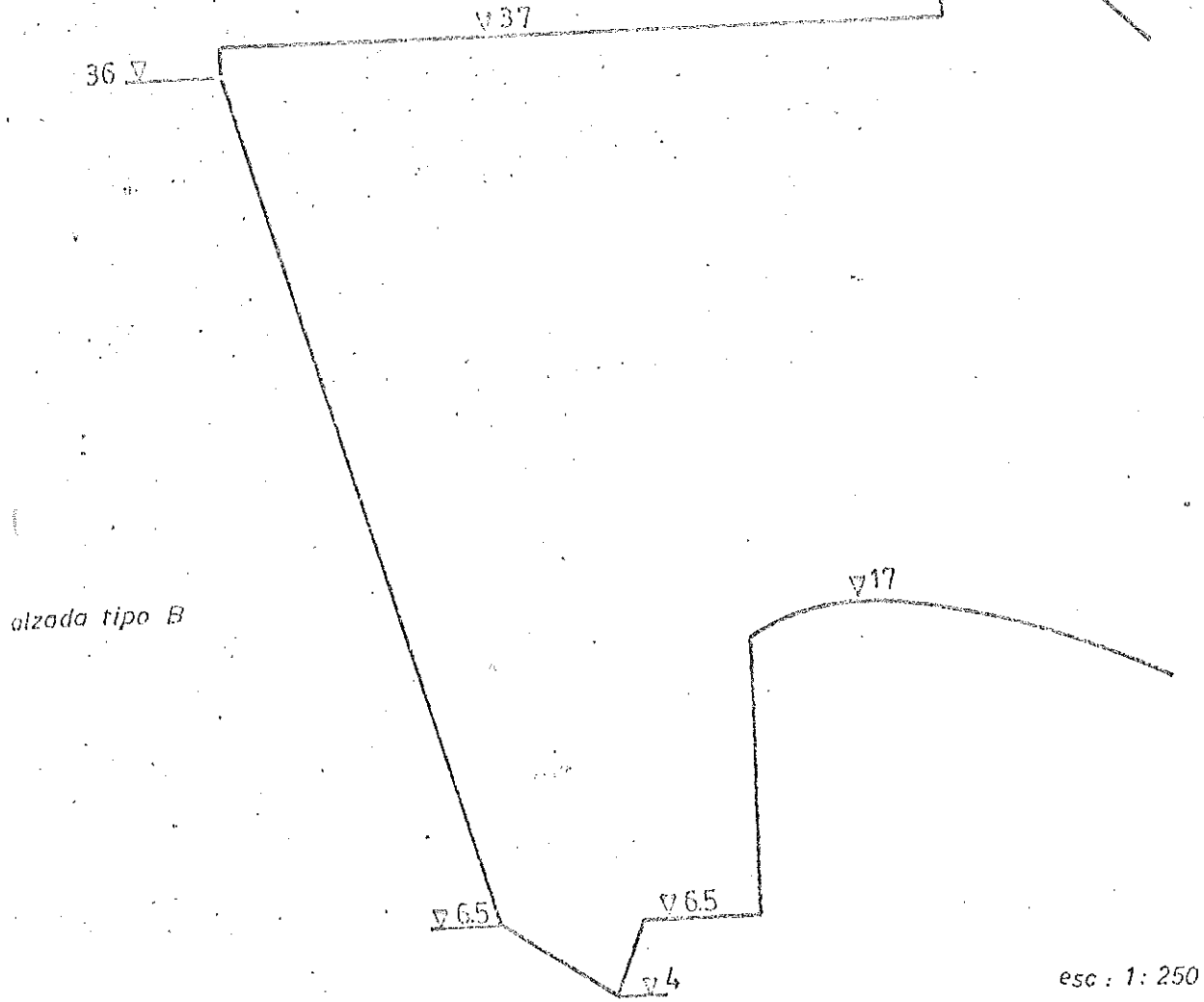
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



Alzada nariz pila A' - B

FIGURA N° 8

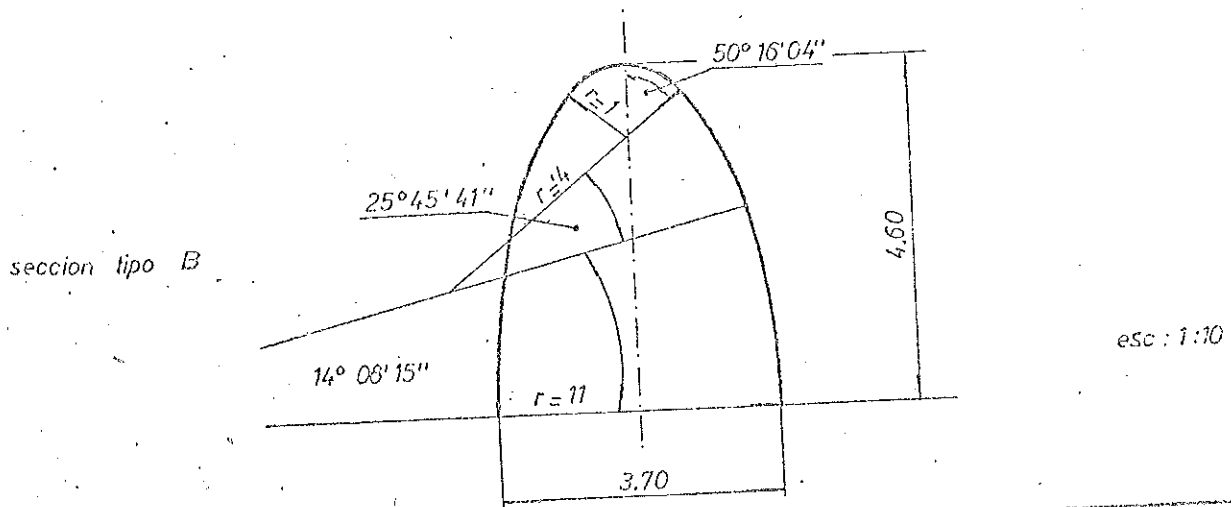
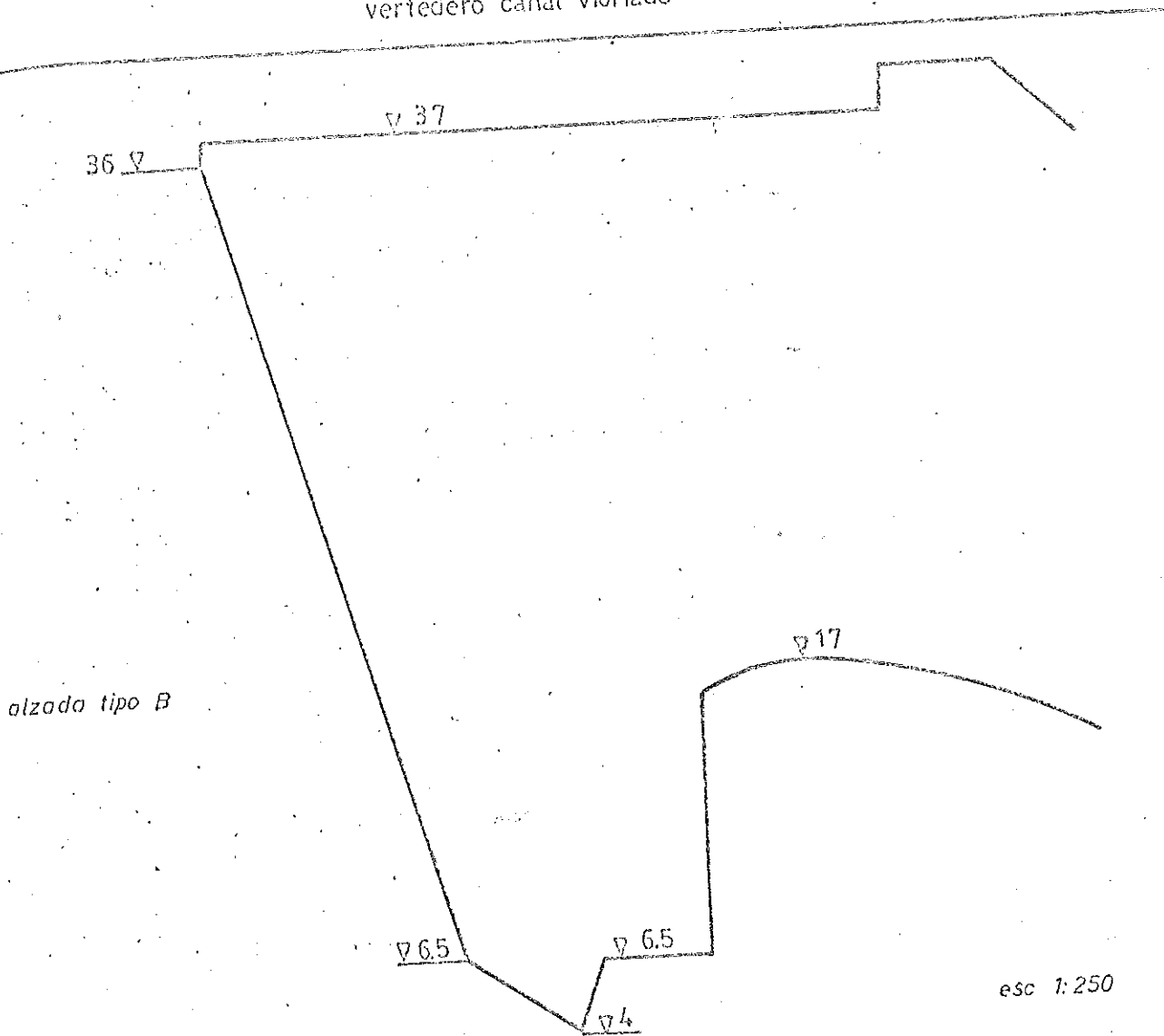
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



Alzada nariz pila B - A

FIGURA N^o 9

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado

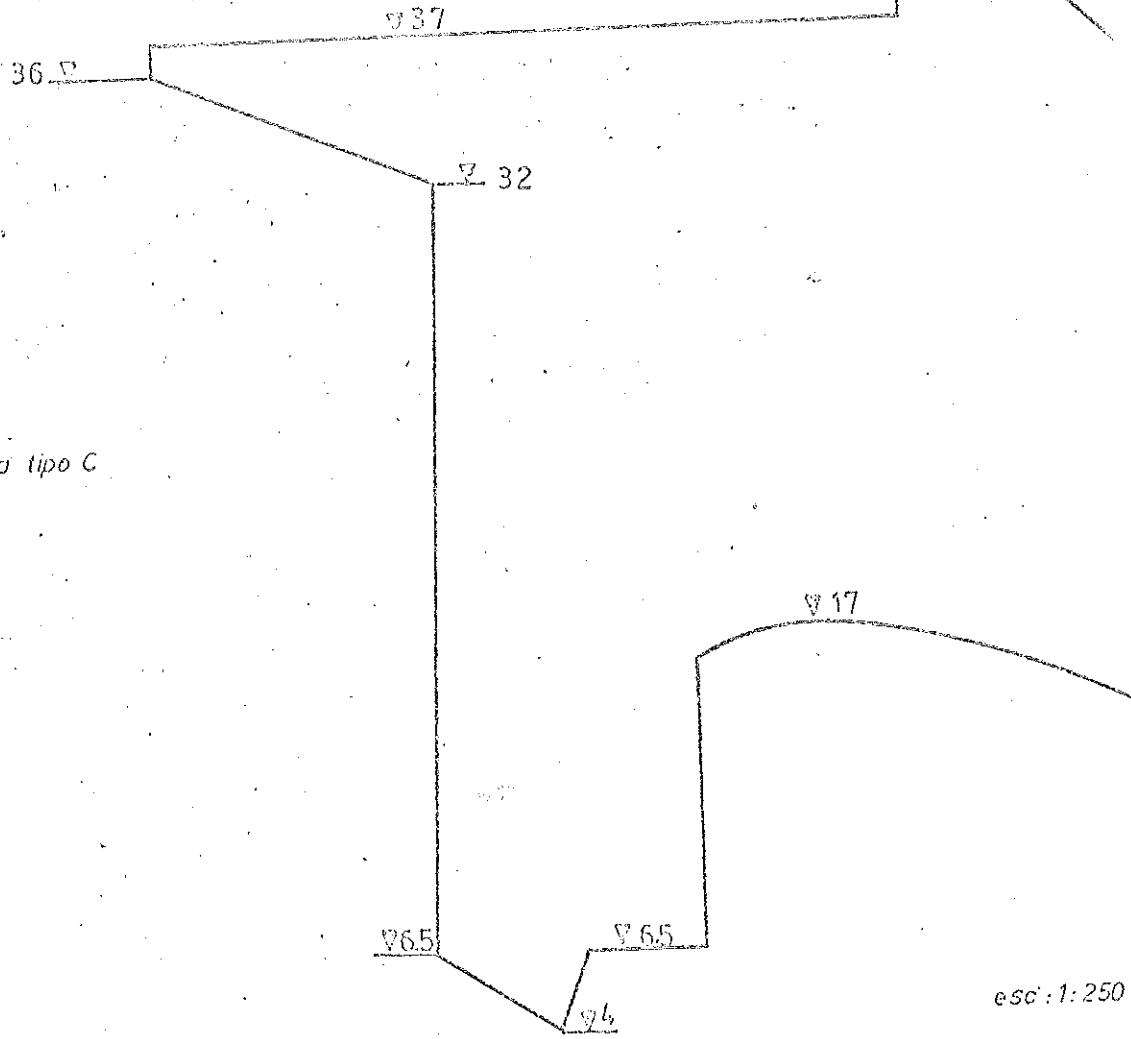


Alzada nariz pila B - B

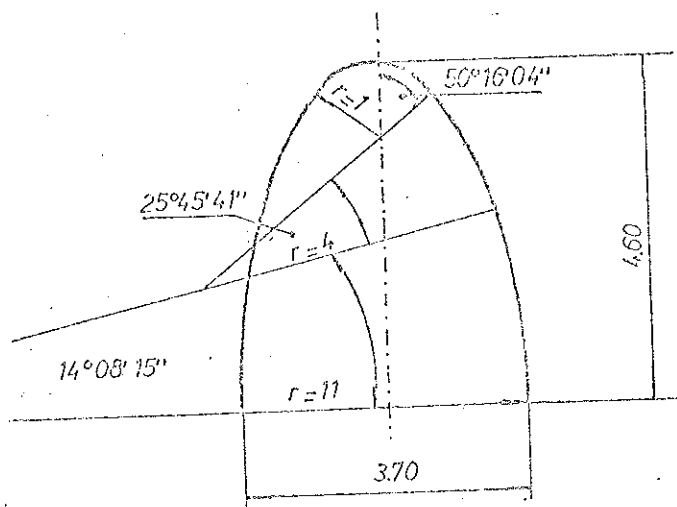
FIGURA N^o 10

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado

alzada tipo C



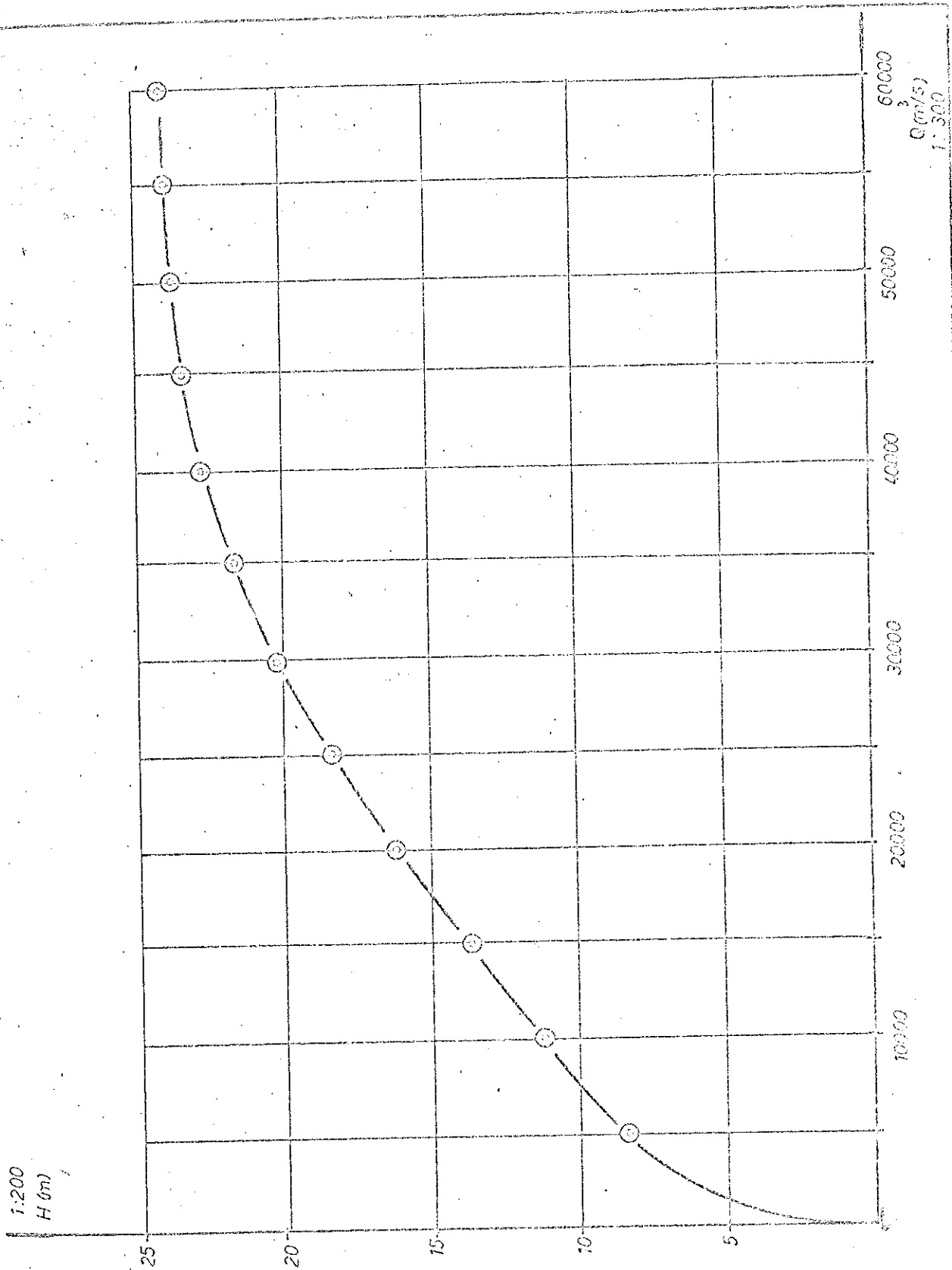
seccion tipo B



Alzada nariz pila C - B

FIGURA N^o 17

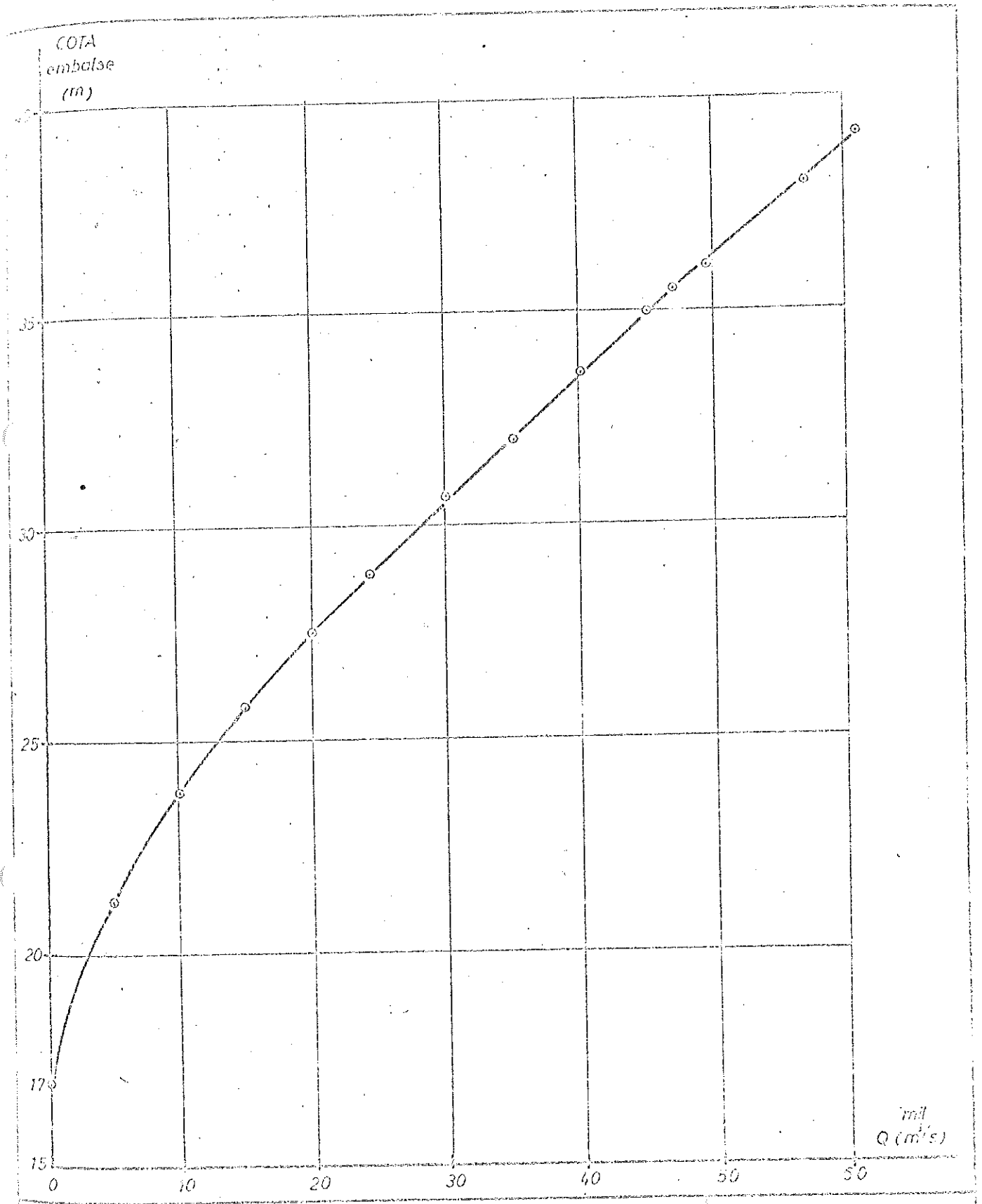
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande
Vertedero canal vidriado



Ley altura-caudal, del río en perfil presa

FIGURA Nº 12

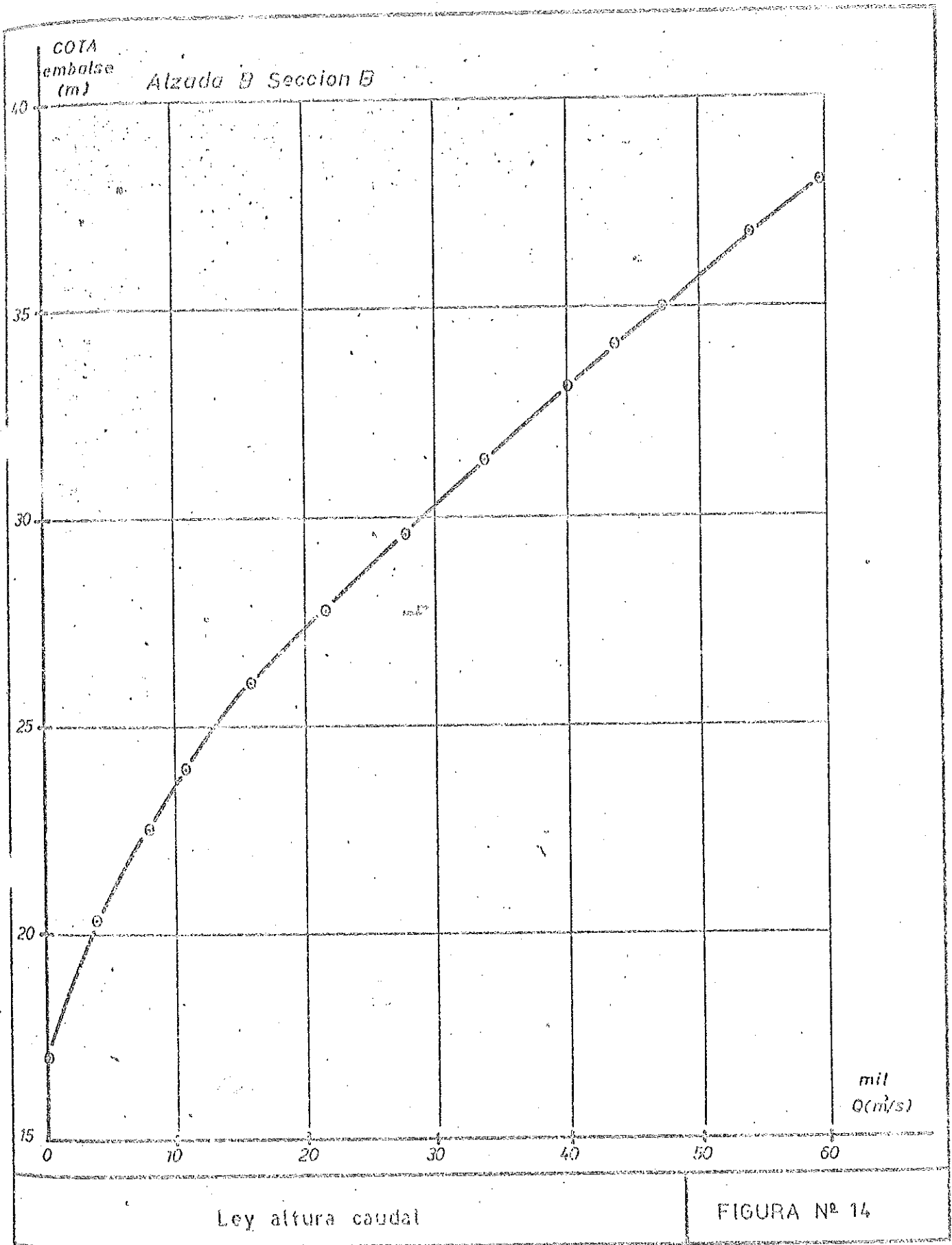
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
ensayo sobre modelo de Salto Grande
vertedero canal vidriado



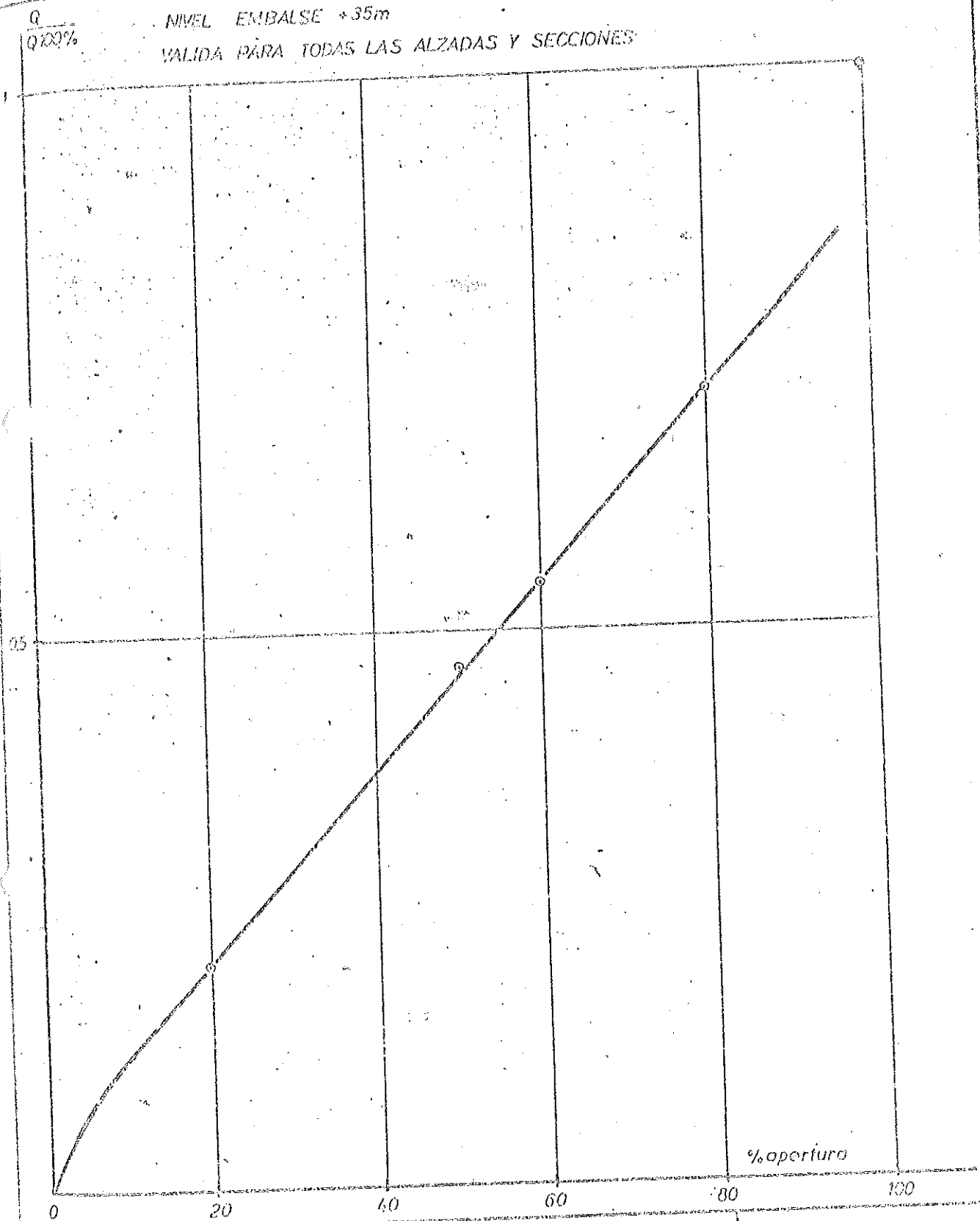
Ley altura-caudal de proyecto

FIGURA Nº 13

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
ensayo sobre modelo de Salto Grande
vertedero canal viariado



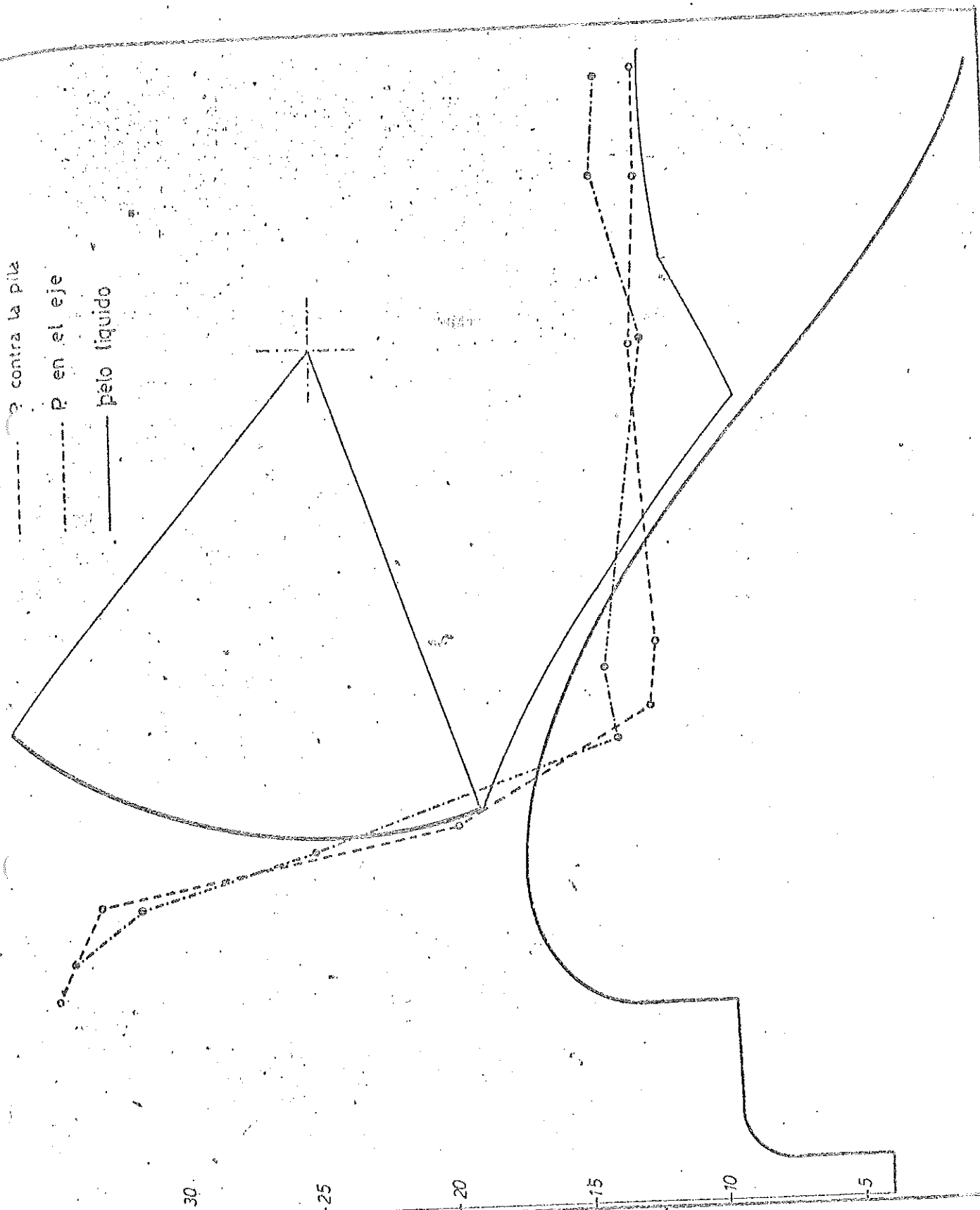
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
ensayo sobre modelo de Salto Grande
vertedero canal vidriado



Ley apertura de compuerta - caudal

FIGURA N° 15

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande
VERTEDERO CANAL VIDRIADO

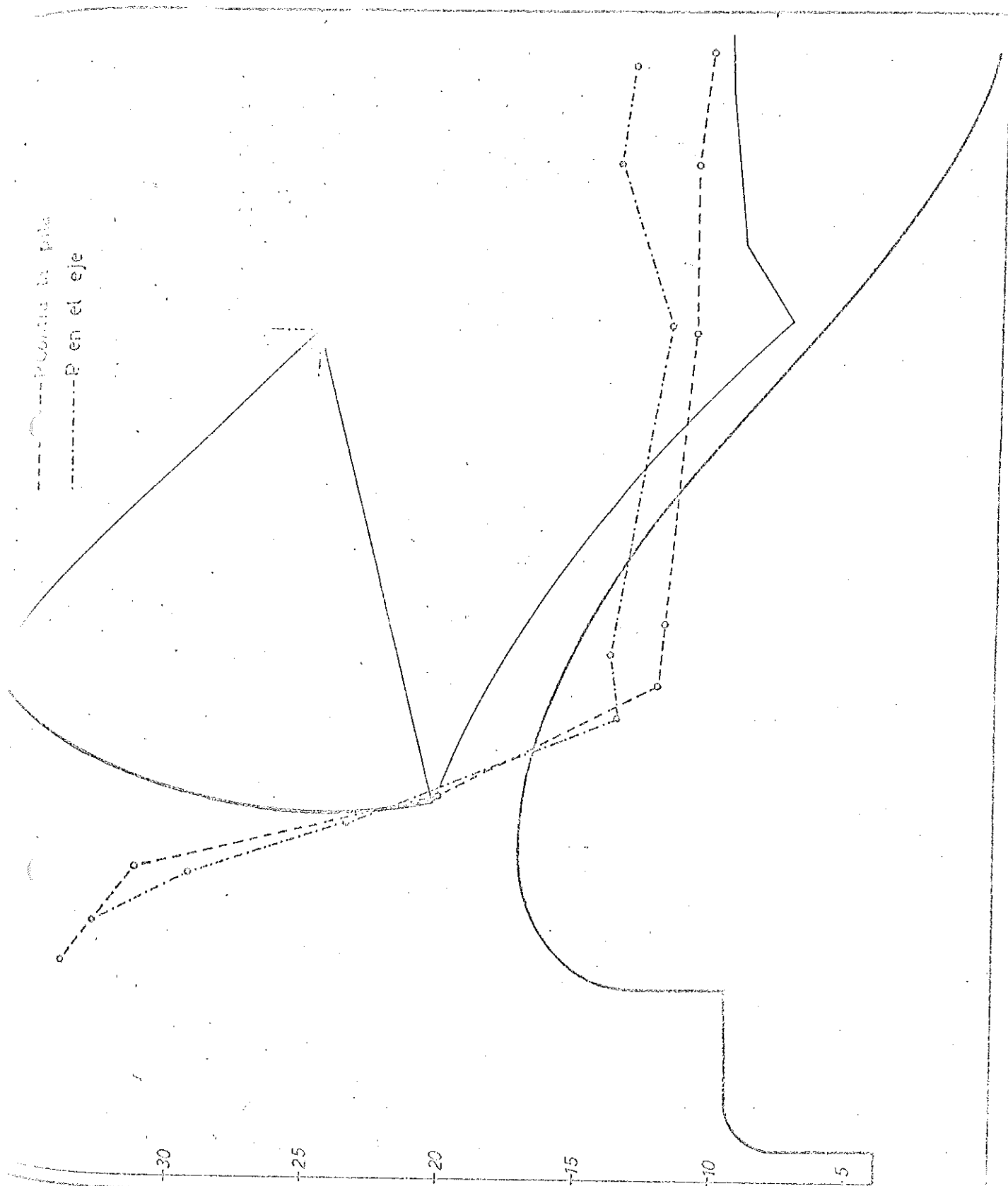


valores de presiones medidos en el eje y contra la pila
APERTURA 10%

FIGURA Nº 16

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande

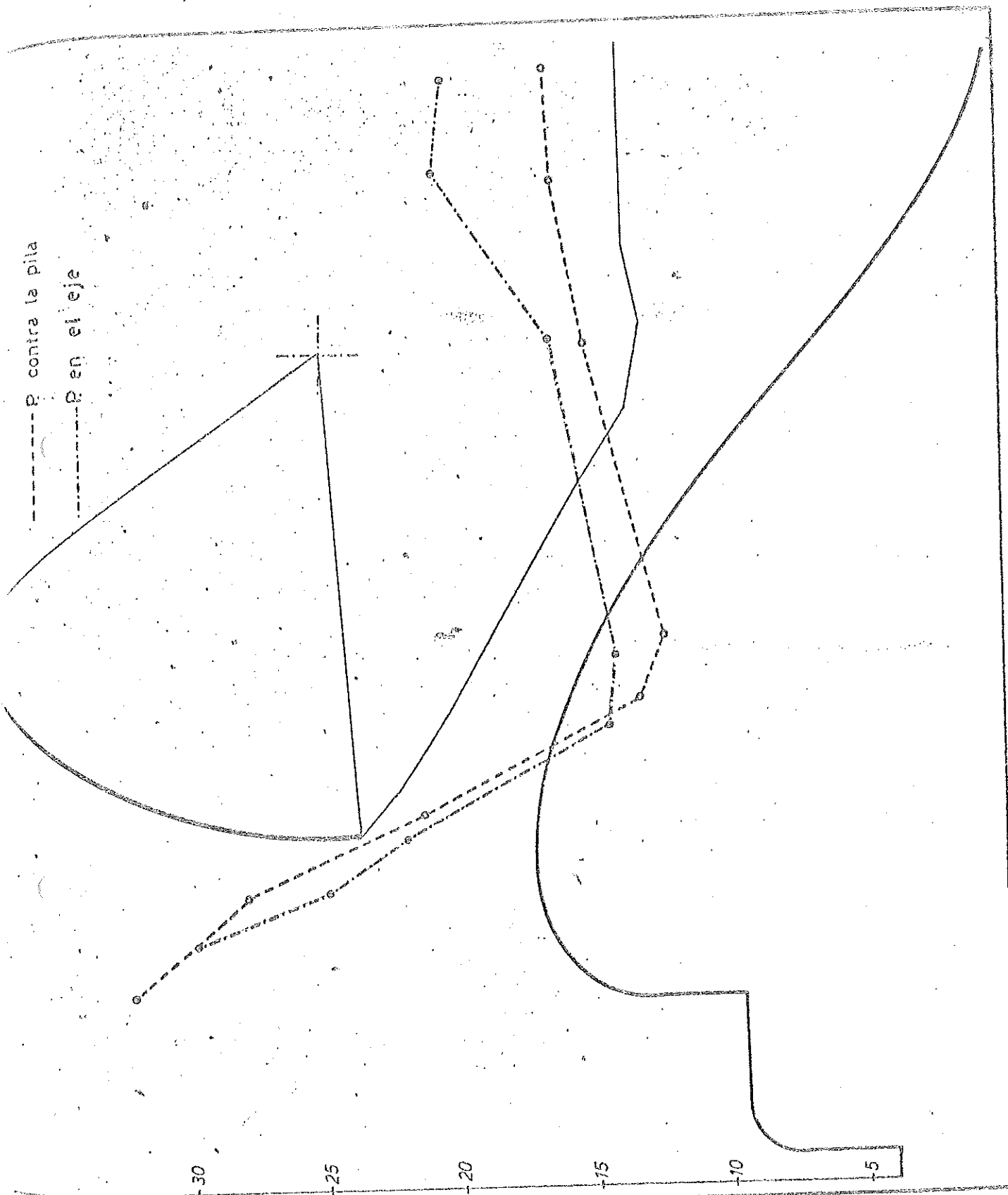
Vertedero canal vidriado



Presiones de presiones medidos en el eje y contra la pila
APERTURA 30%

FIGURA N° 17

Vertedero canal vidriado

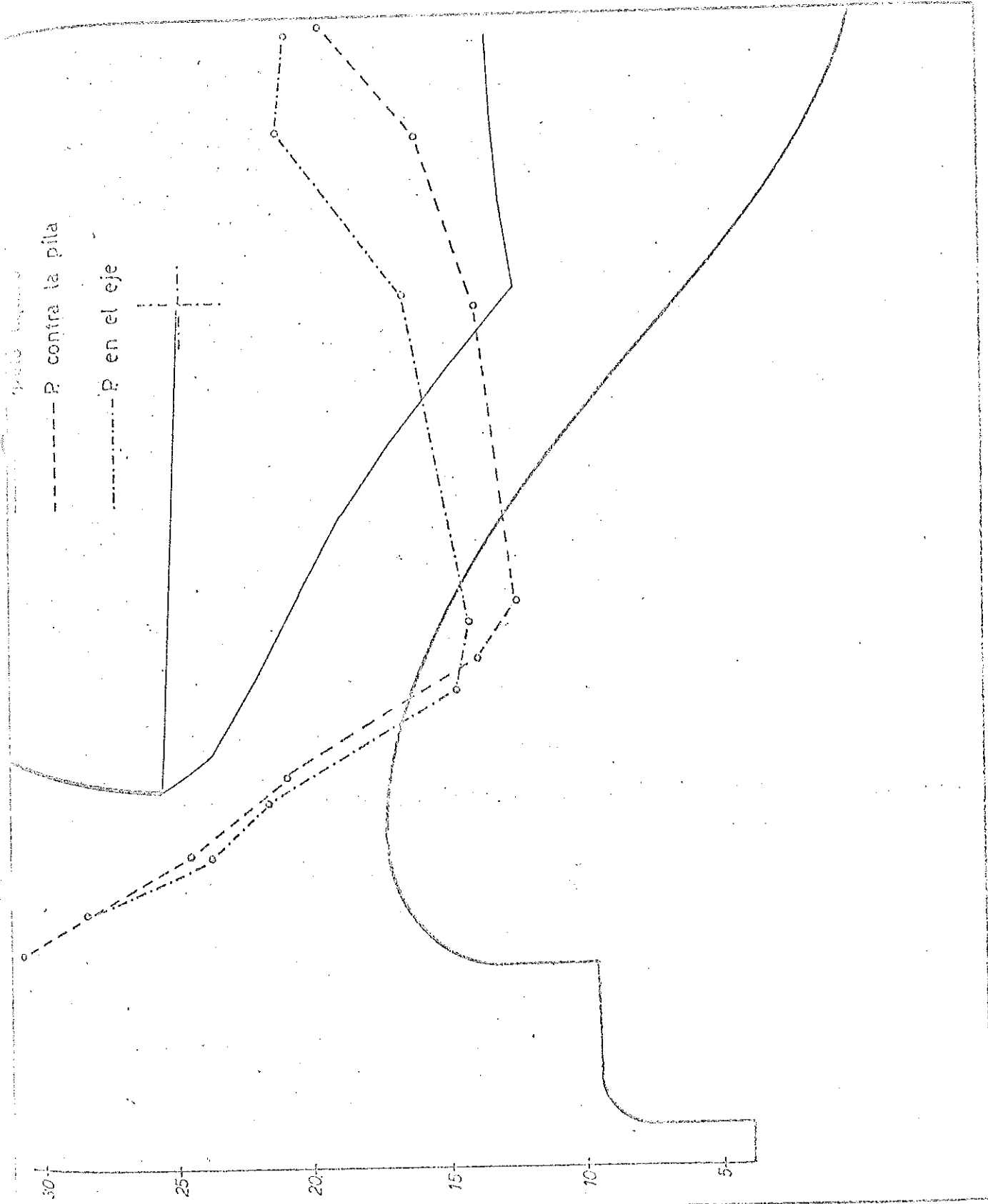


valores de presiones medidos en el eje y contra la pila
APERTURA 50 %

FIGURA N° 18

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande

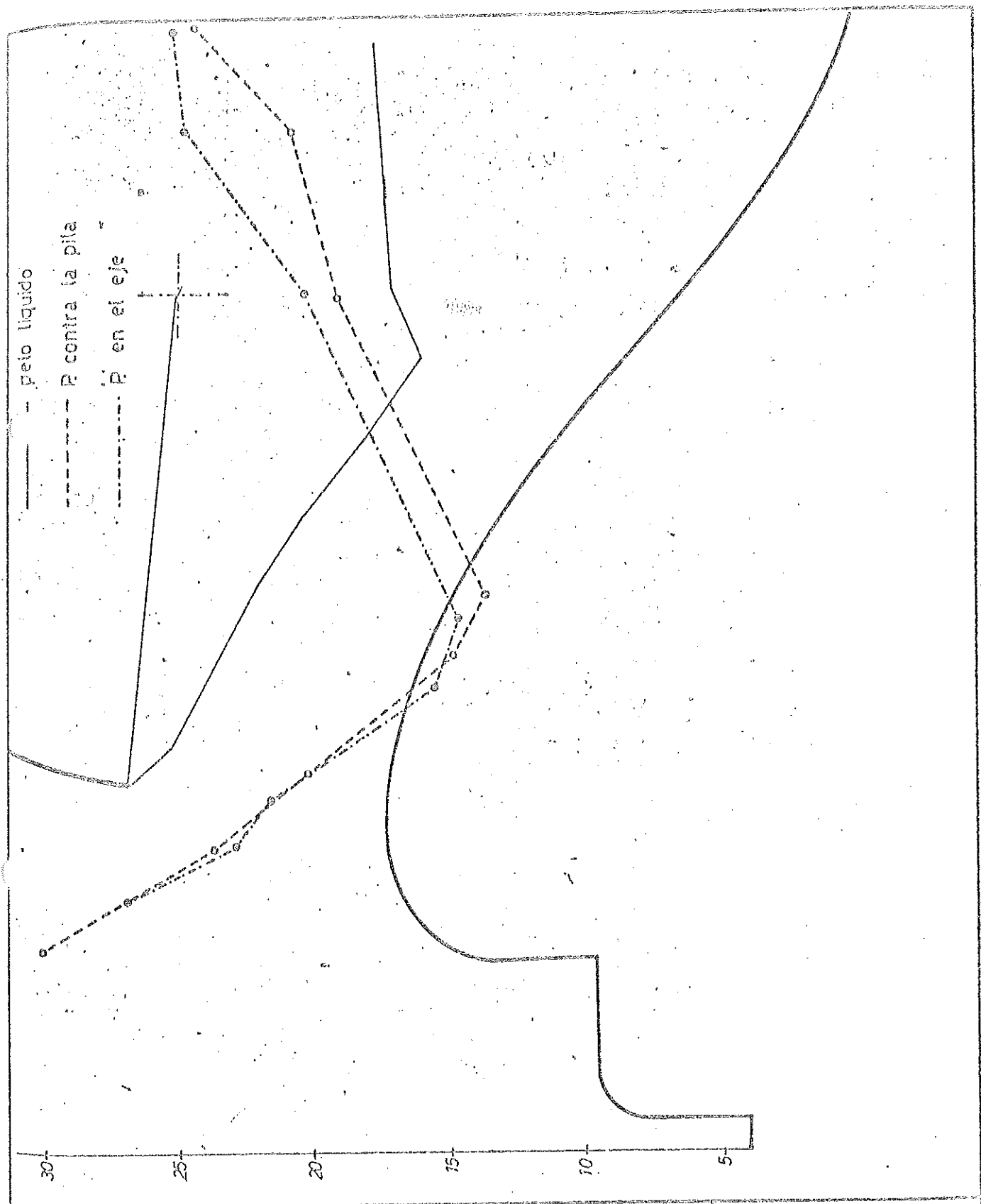
Vertedero canal vidriado



valores de presiones medidos en el eje y contra la pila
APERTURA 55%

FIGURA N° 19

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 estudio sobre modelo de Salto Grande
 Vertedero canal vidriado



valores de presiones medidos en el eje y contra la pila
 APERTURA 80 %

FIGURA N° 20

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande

Vertedero canal vidriado

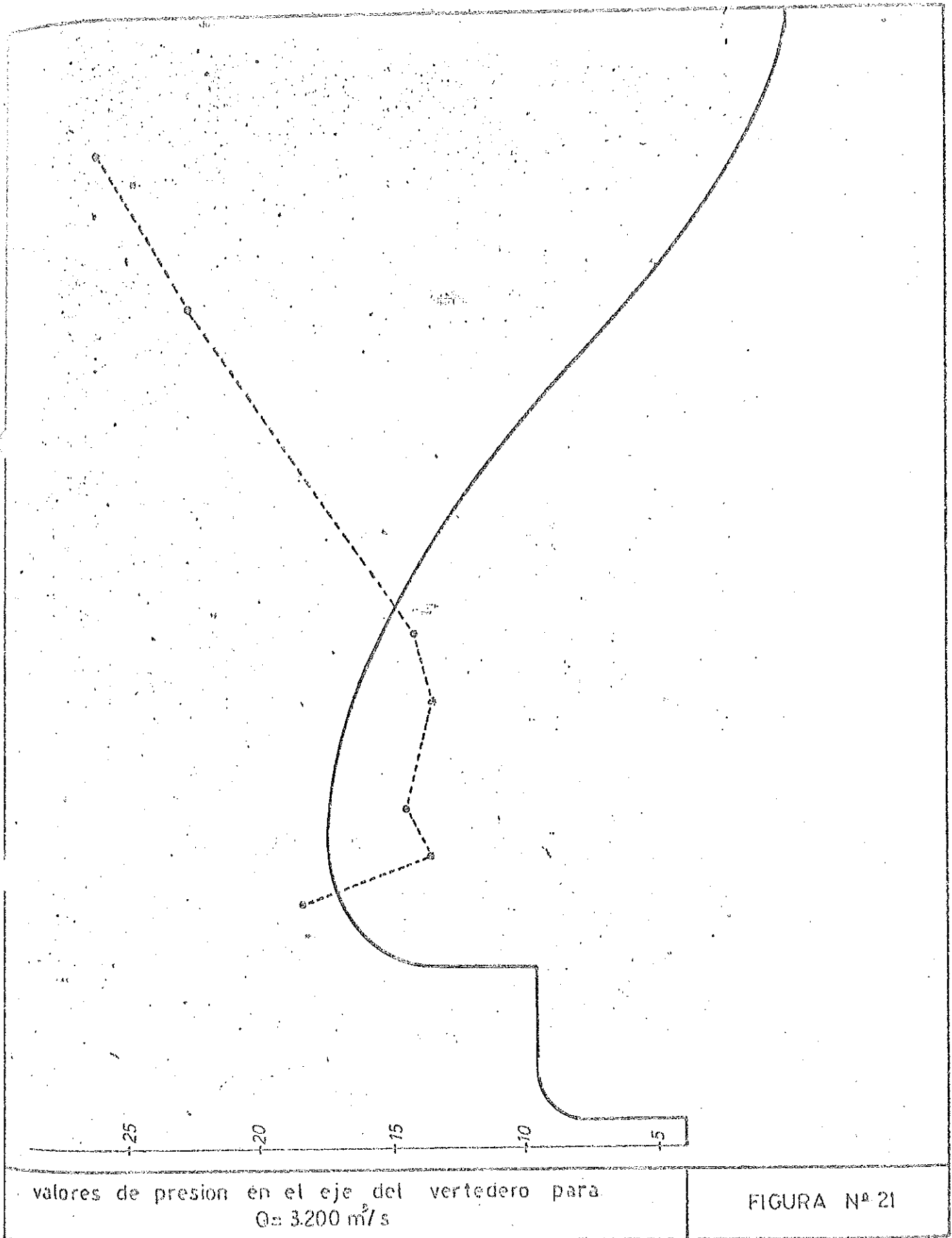
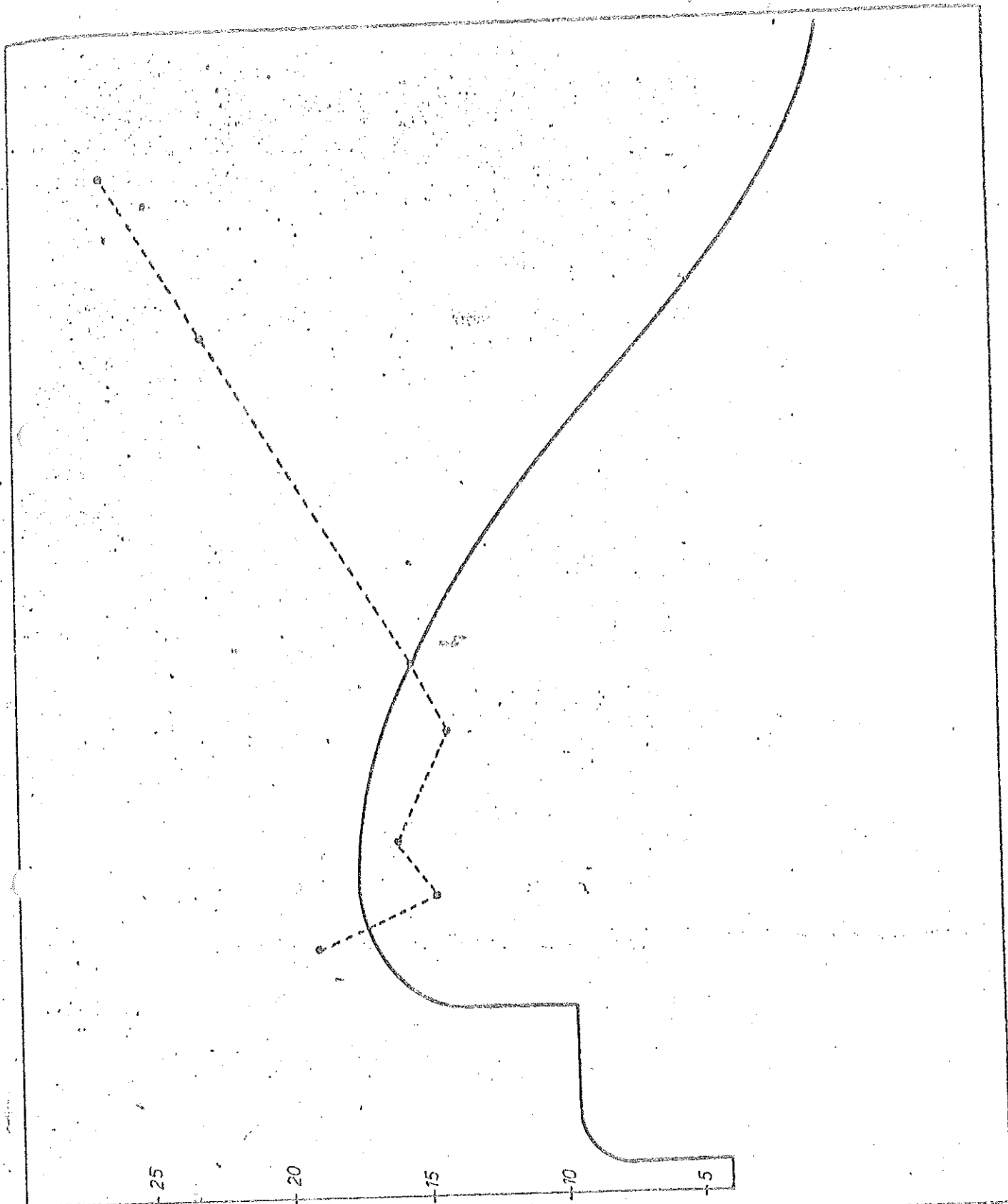


FIGURA N° 21

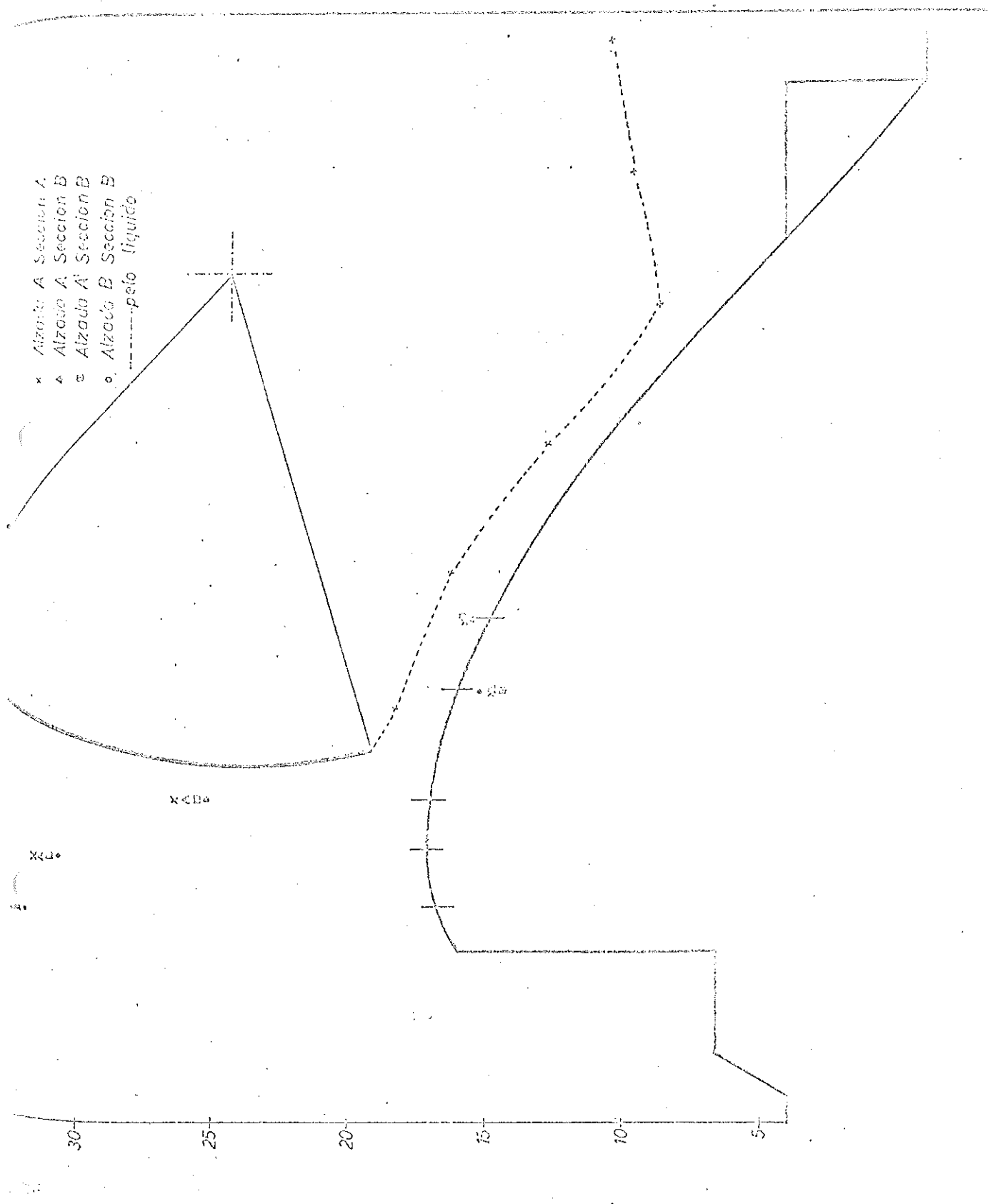
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande
Vertedero canal vidriado



valores de presión en el eje del vertedero para
 $Q = 2940 \text{ m}^3/\text{s}$

FIGURA N° 22

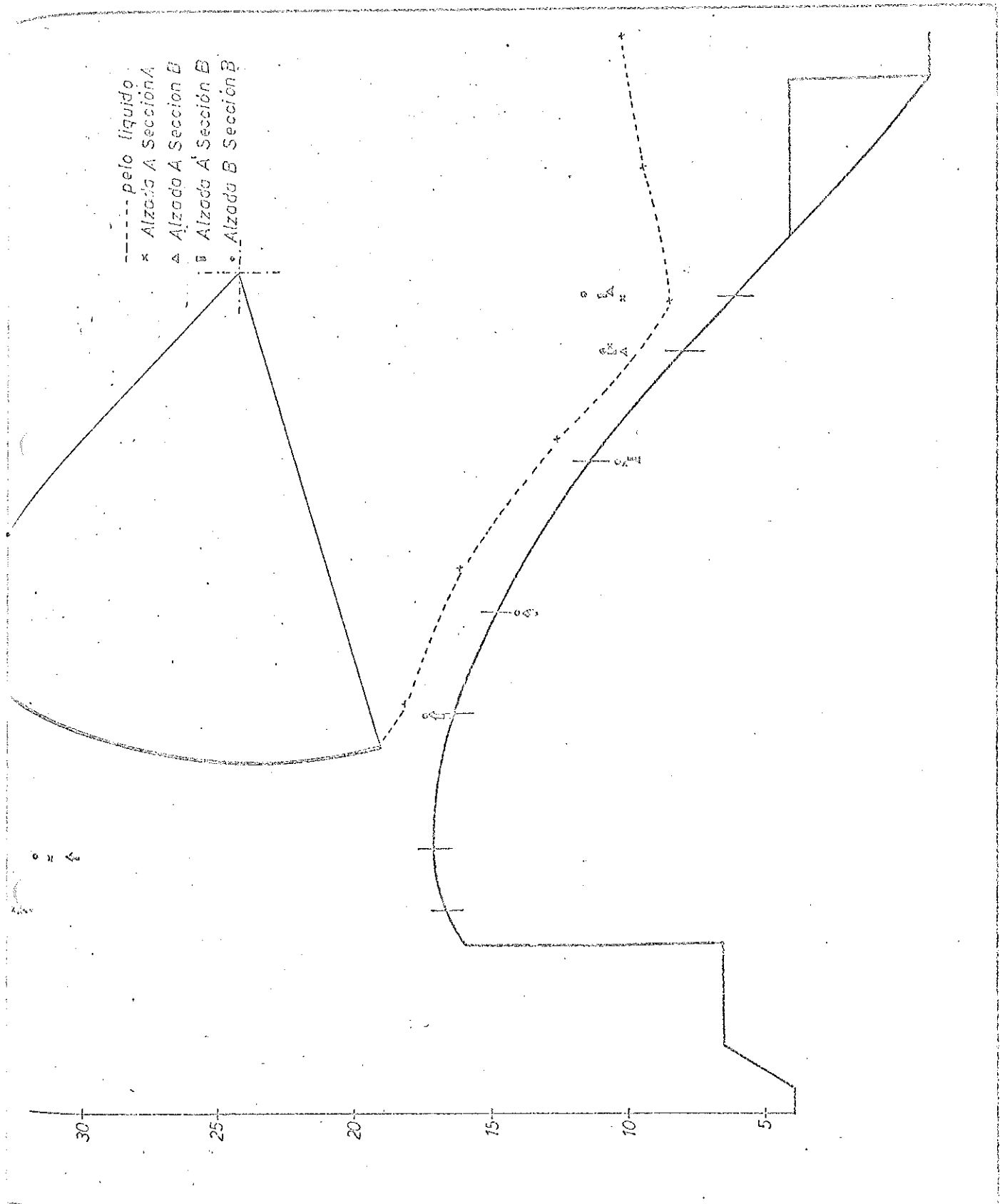
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



valores de presiones en el eje
 APERTURA 20%

FIGURA N°23

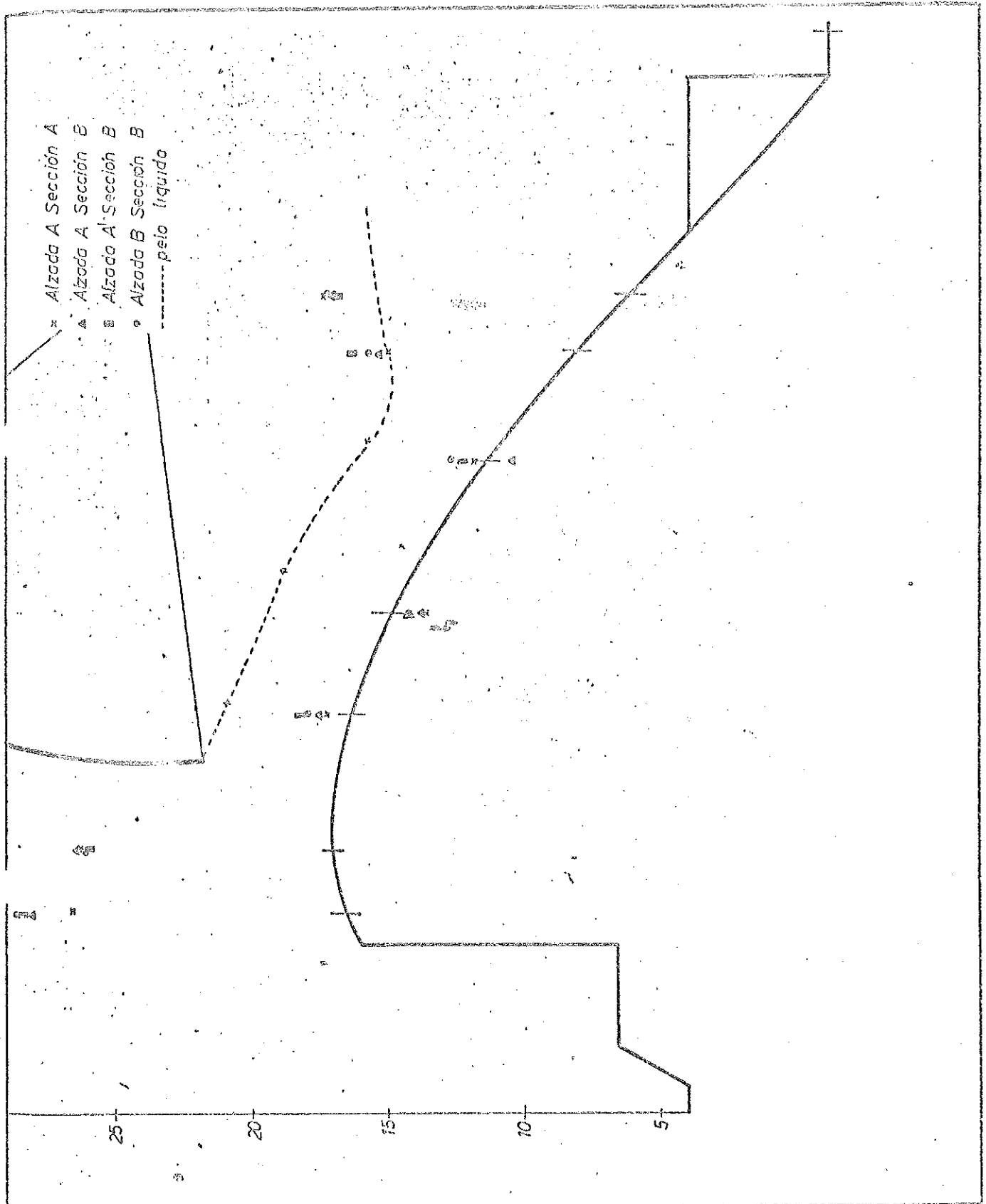
LABORATORIO DE HIDRAULIA APLICADA
 ensayos sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



valores de presiones contra la pila
 APERTURA 20%

FIGURA Nº 24

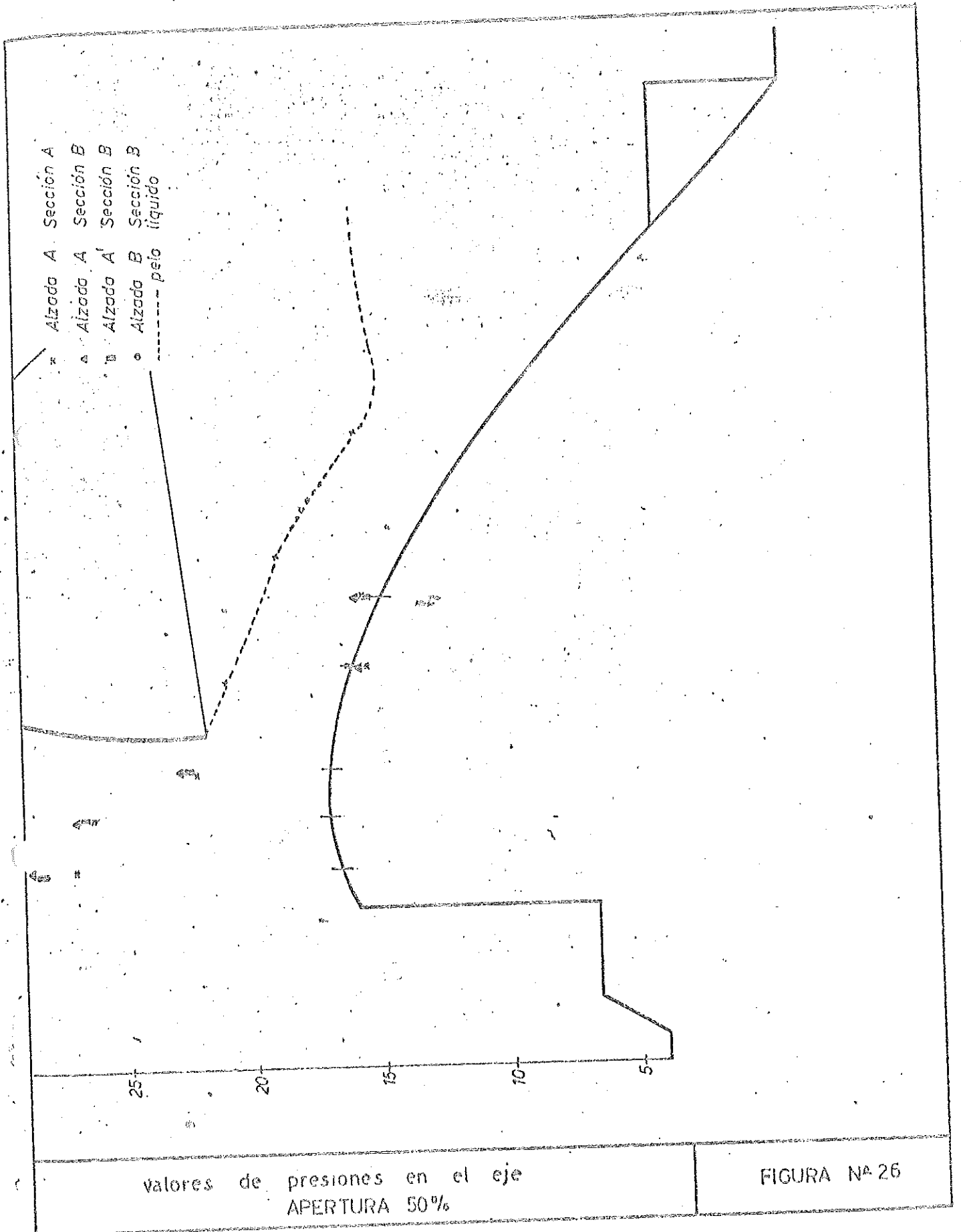
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
ensayo sobre modelo de Salto Grande
vertedero canal vidriado



valores de presiones contra la pila
APERTURA 50%

FIGURA N.º 25

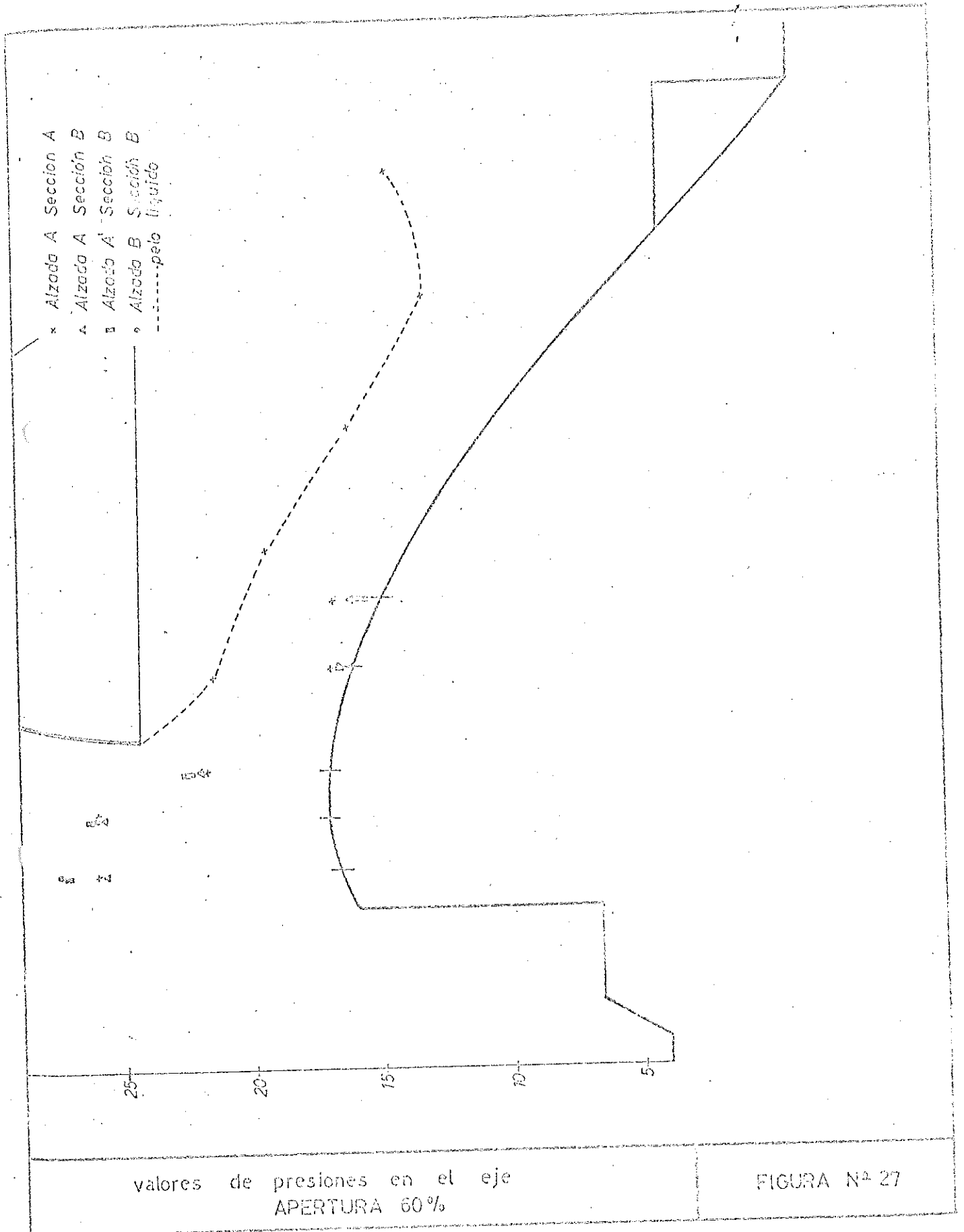
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLIADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



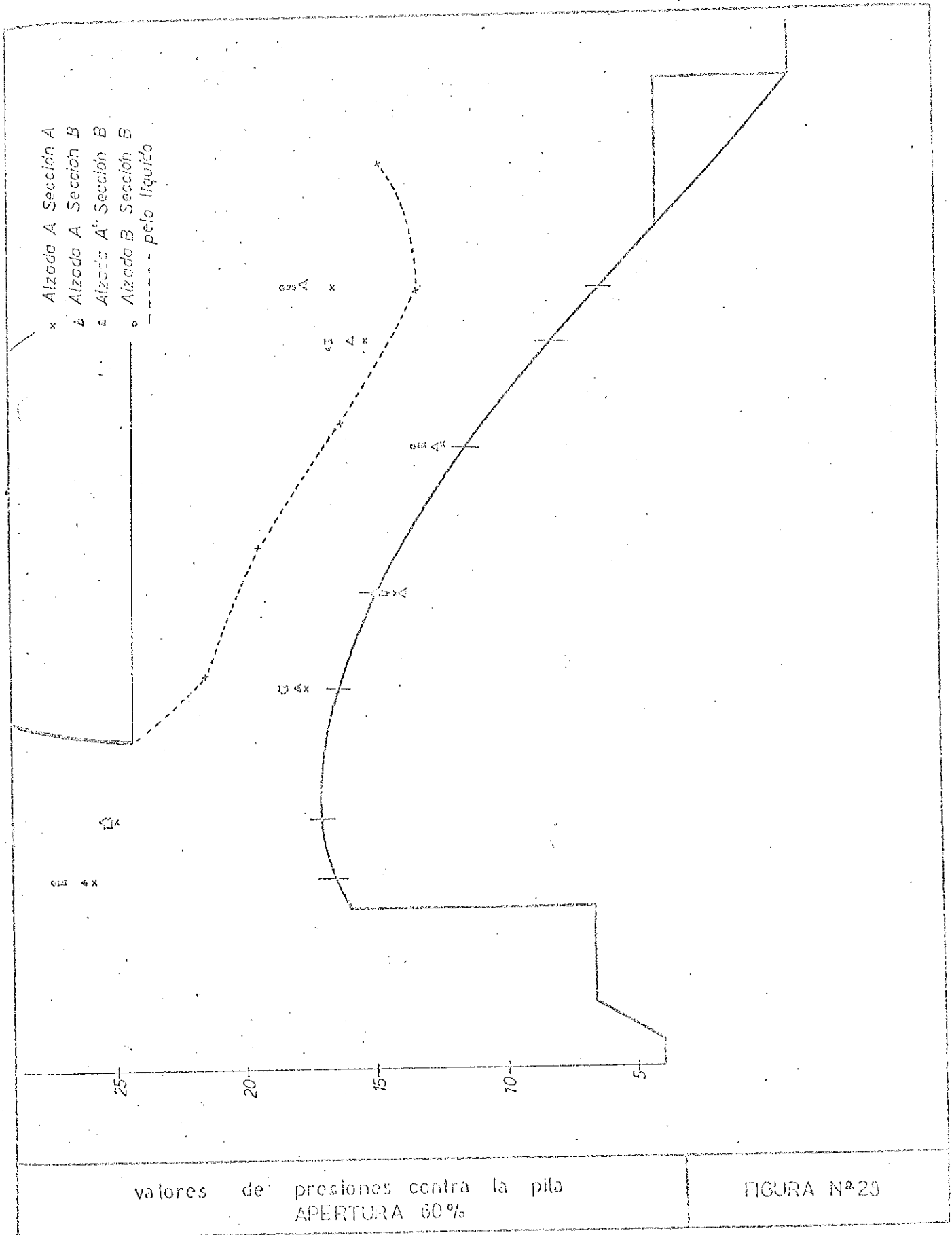
valores de presiones en el eje
 APERTURA 50%

FIGURA N° 26

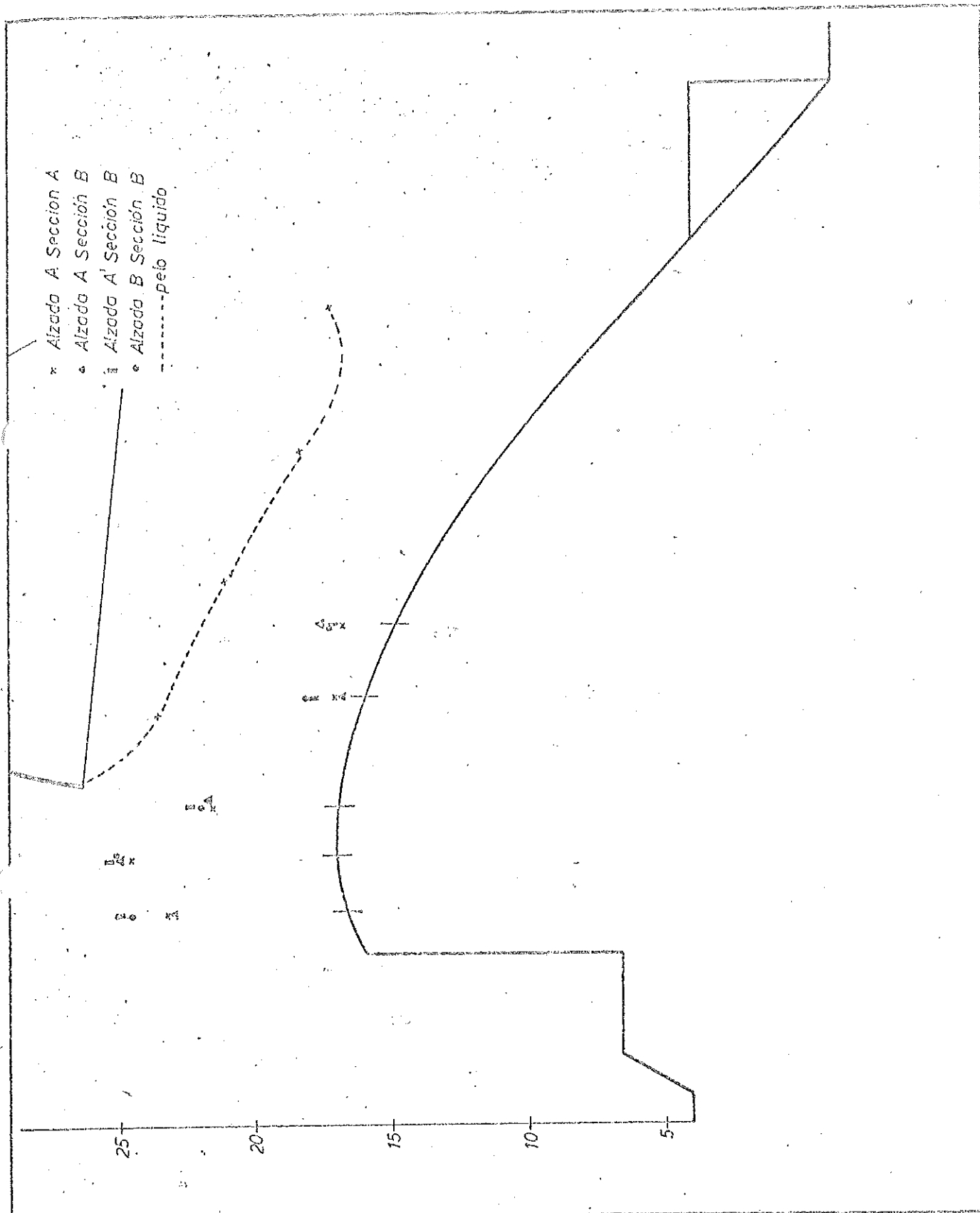
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Saffo Grande
 vertedero canal vidriado



LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



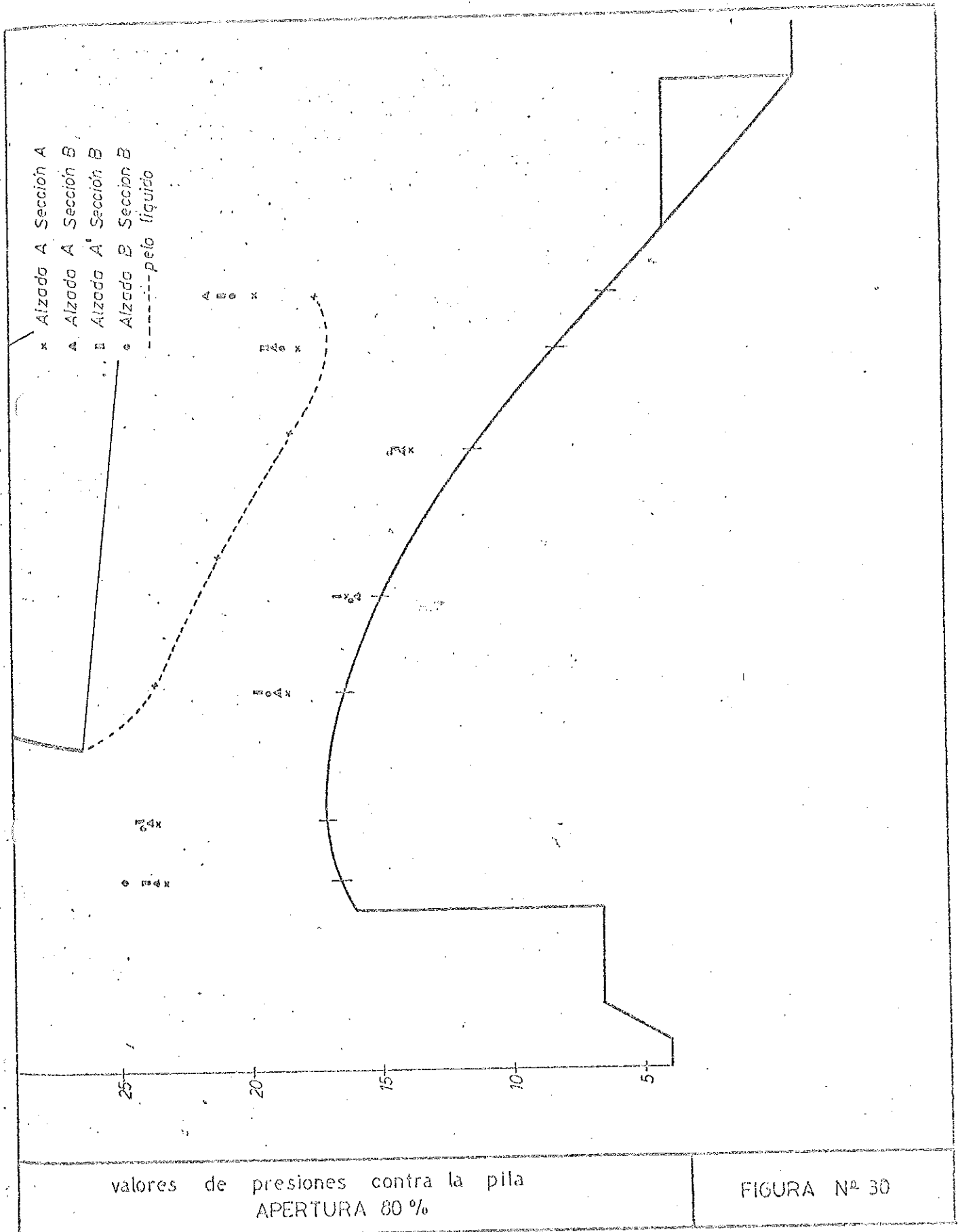
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



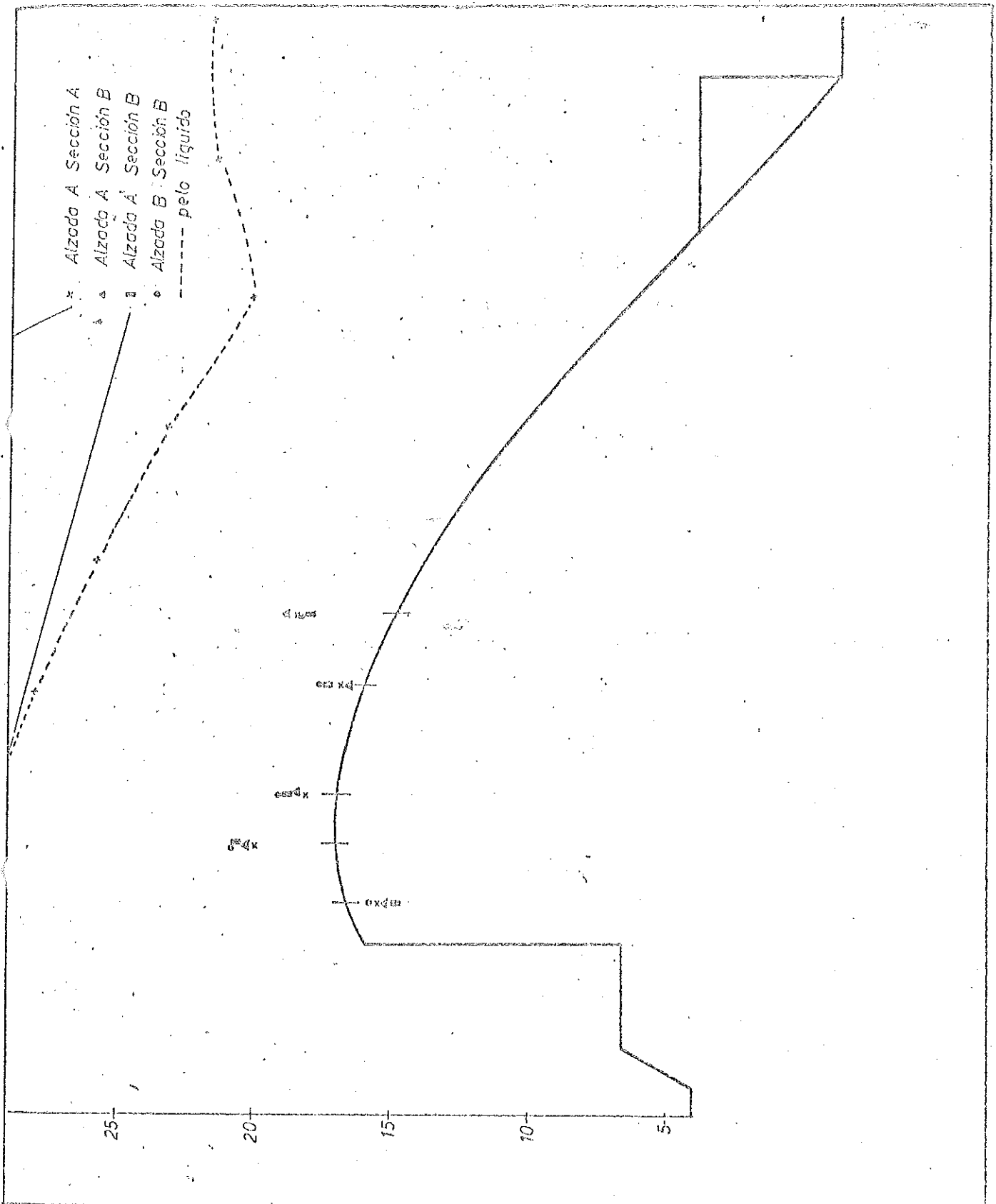
valores de presiones en el eje
 APERTURA 80 %

FIGURA N° 29

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



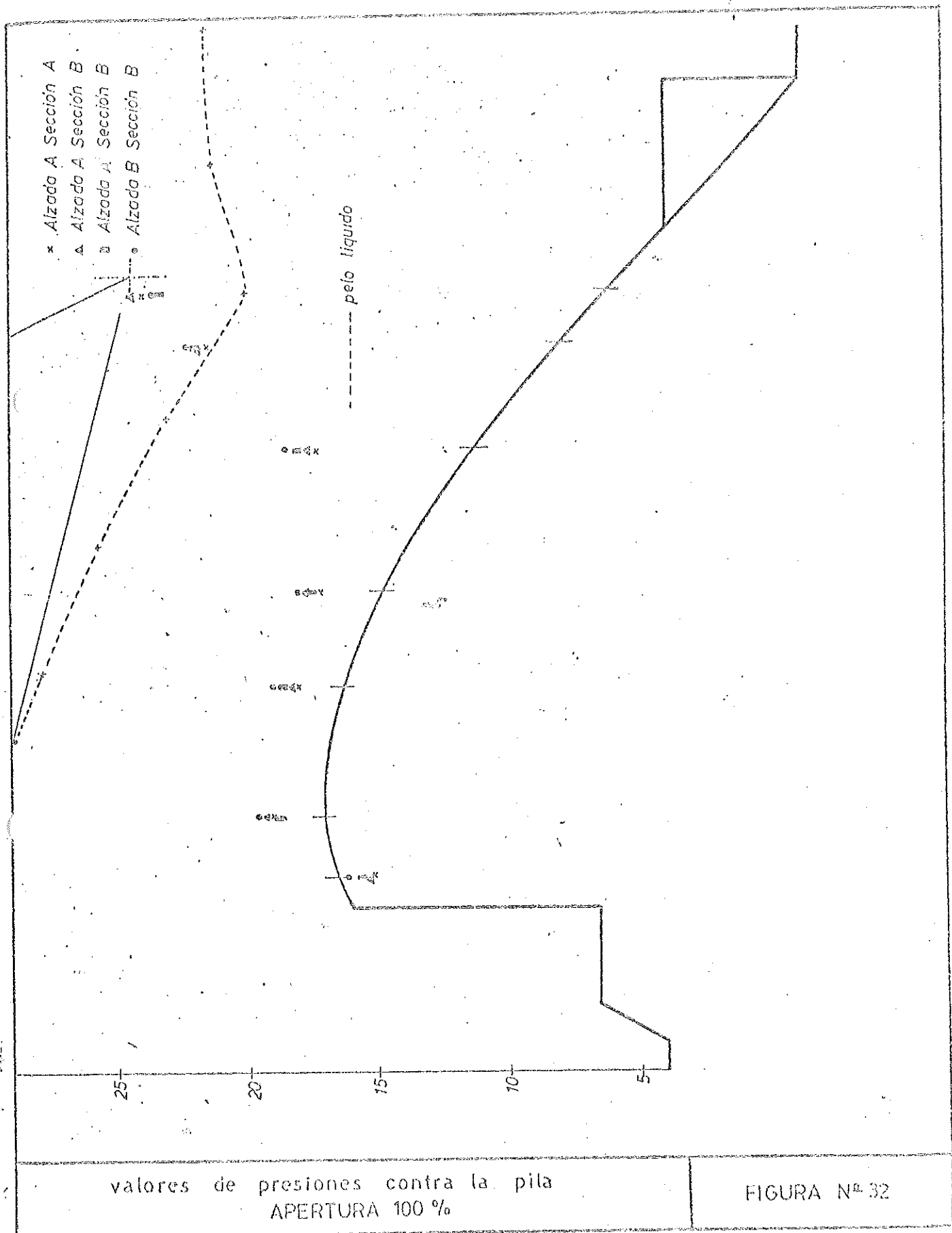
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



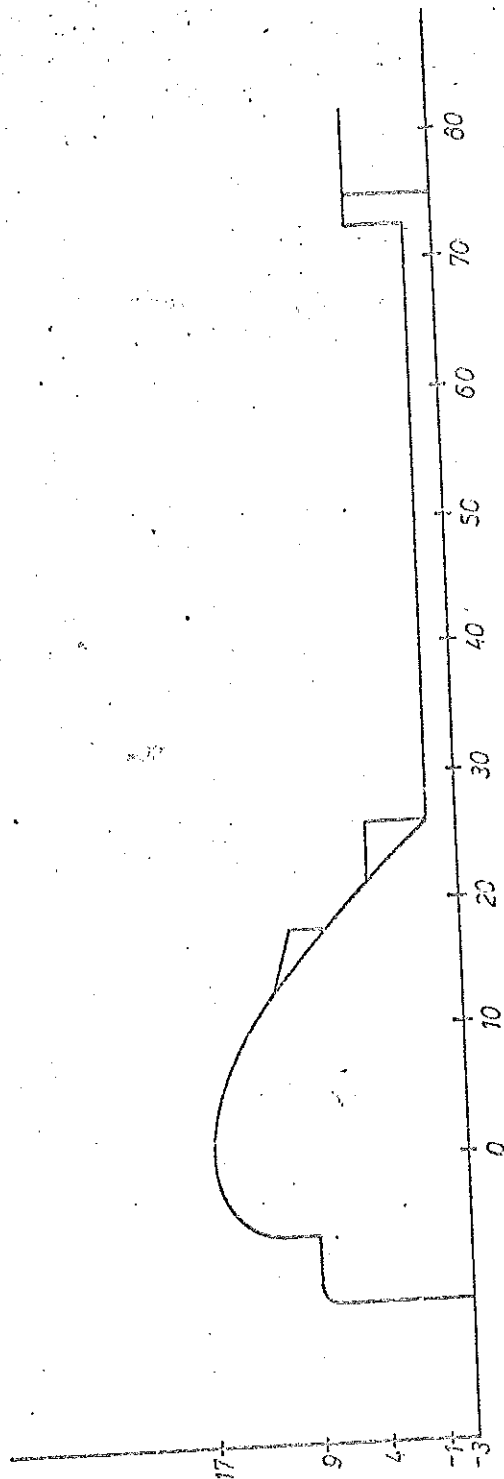
valores de presiones en el eje
 APERTURA 100 %

FIGURA Nº 31

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ensayo sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



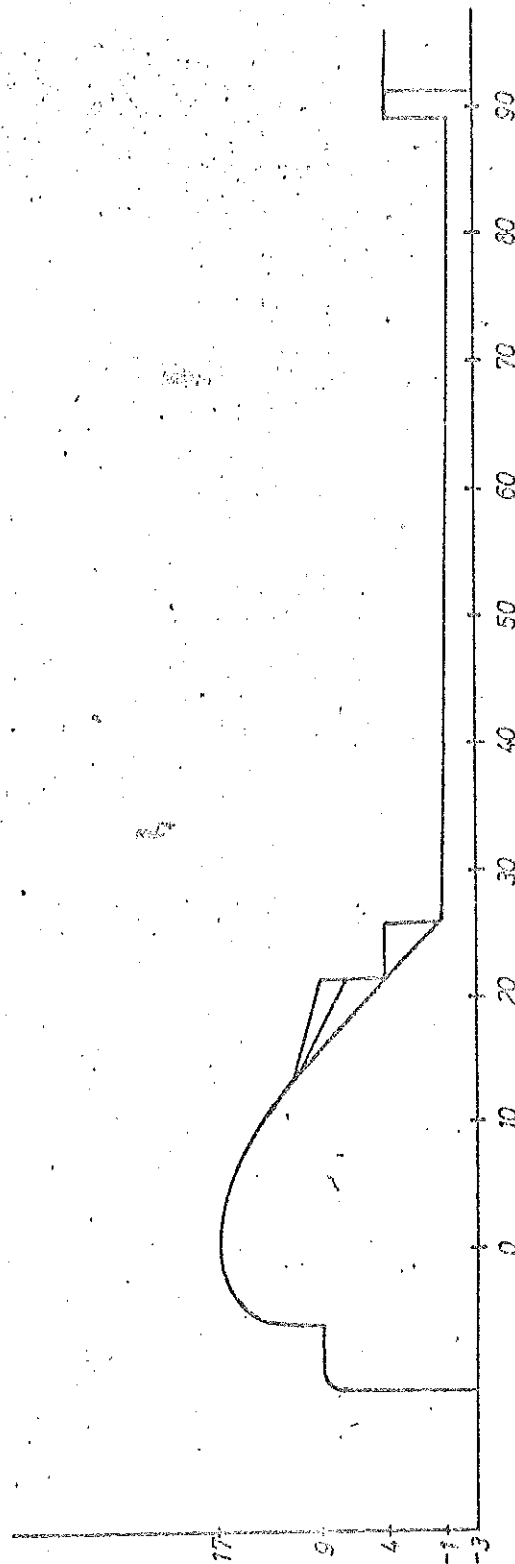
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande
ensayo del vertedero



Perfil Vertedero y Lecho Disipador - Tipo 2

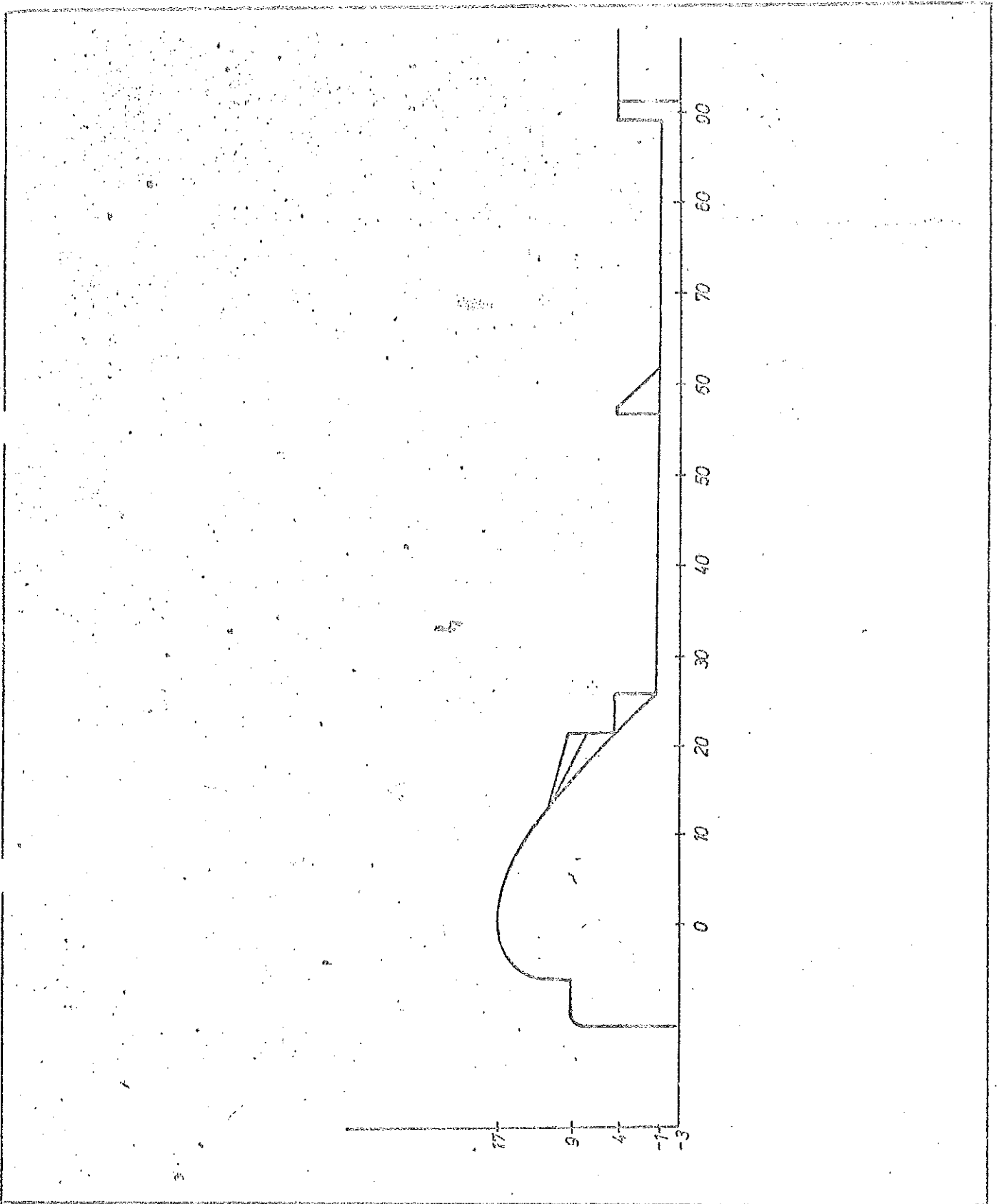
FIGURA Nº 33

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande
ensayo del vertedero



Perfil Vertedero y Lecho Disipador - Tipo 3

FIGURA N^o 34



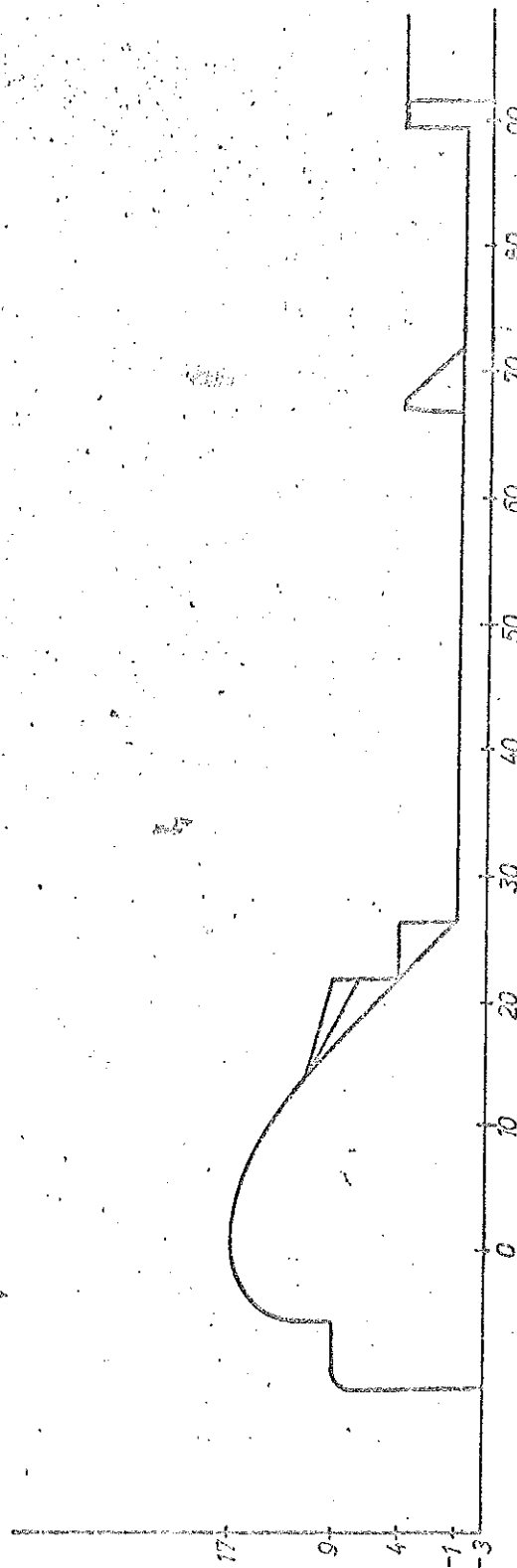
Perfil Vertedero y Lecho Disipador -- tipo 4

FIGURA N° 35

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

Ensayo del vertedero



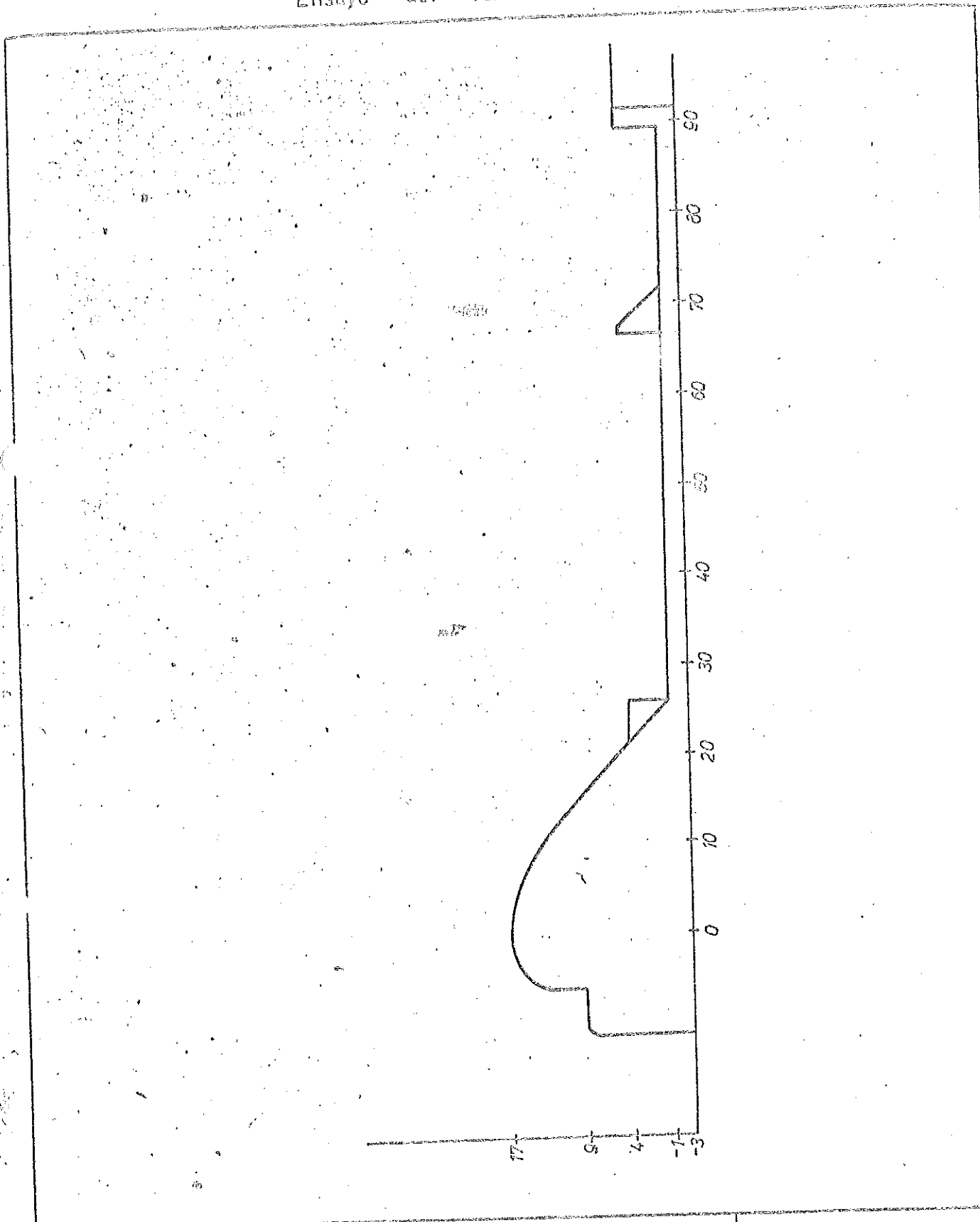
Perfil Vertedero y Lecho Disipador - tipo 5

FIGURA N^o 36

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

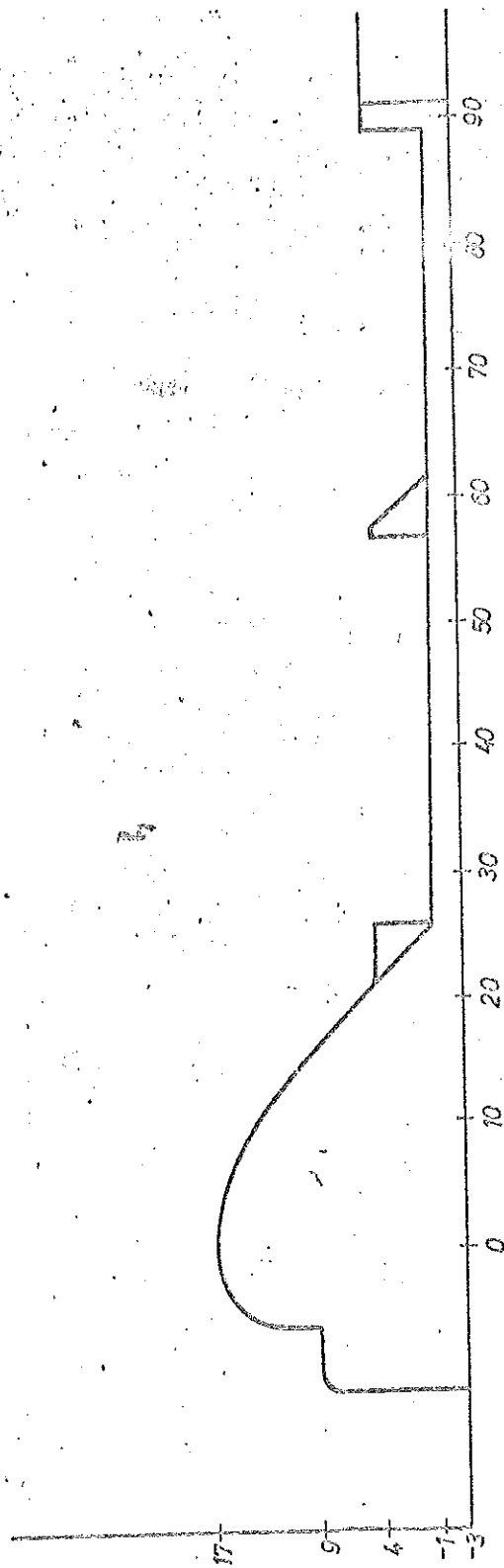
Ensayo del vertedero



Perfil Vertedero y Lecho Disipador- tipo 6

FIGURA N° 37

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA
Estudio sobre modelo de Salto Grande
Ensayo del vertedero



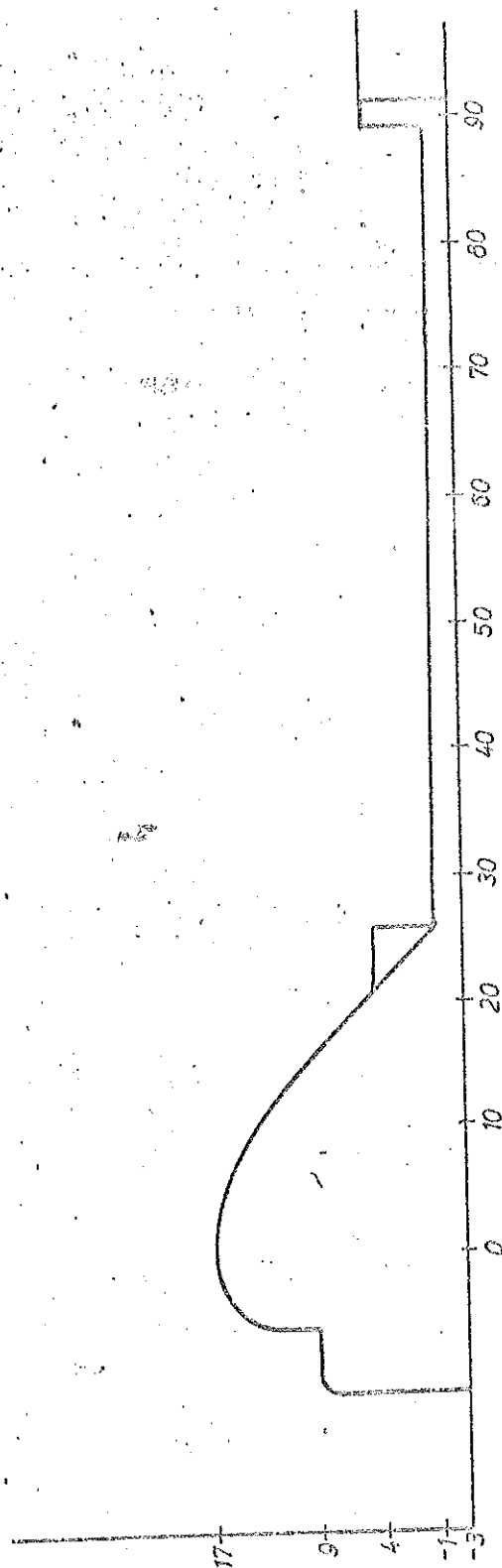
Perfil Vertedero y Lecho Disipador - tipo 7

FIGURA N° 38

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

Ensayo del vertedero



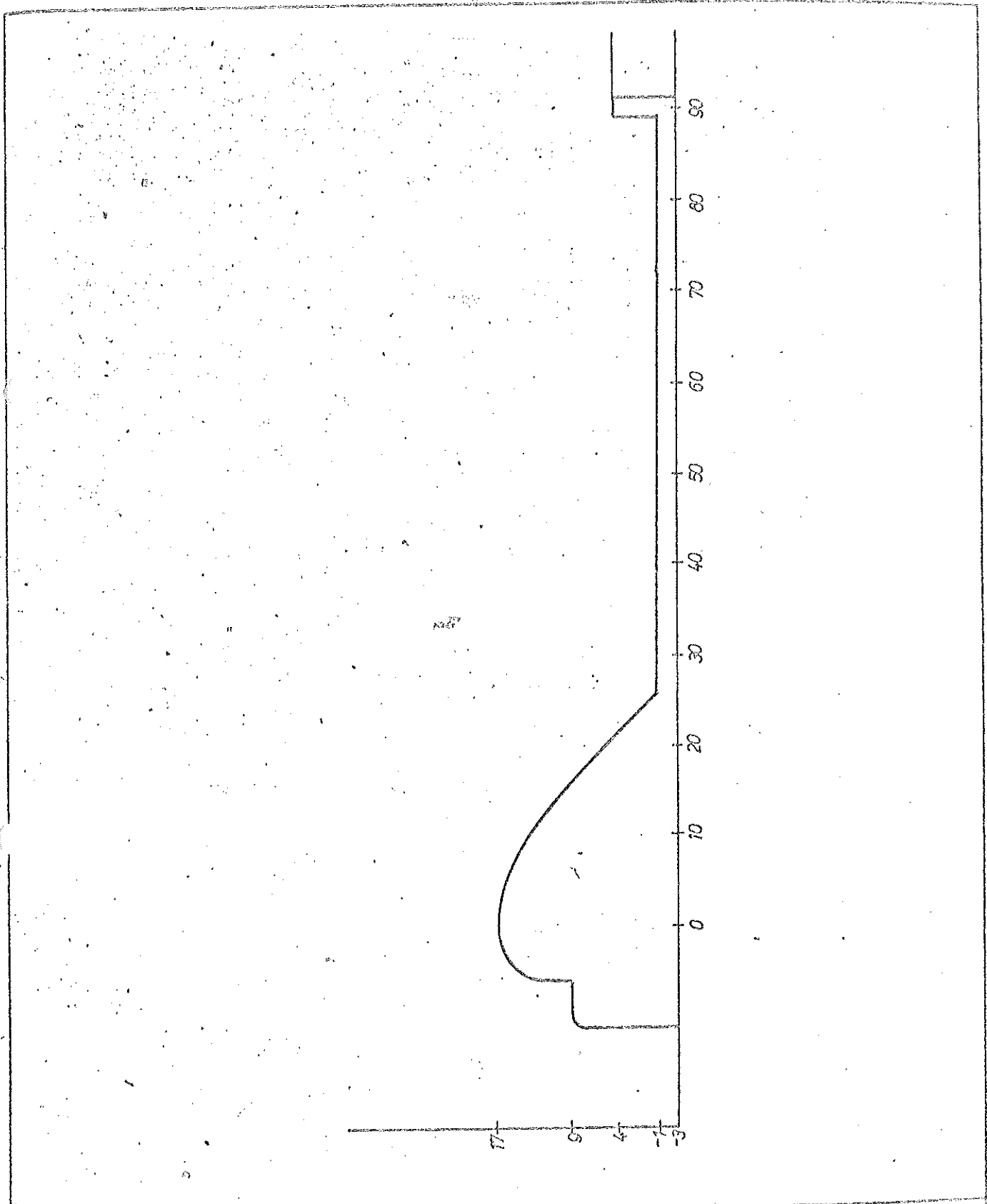
Perfil Vertedero y Lecho Disipador - tipo 8

FIGURA N° 39

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

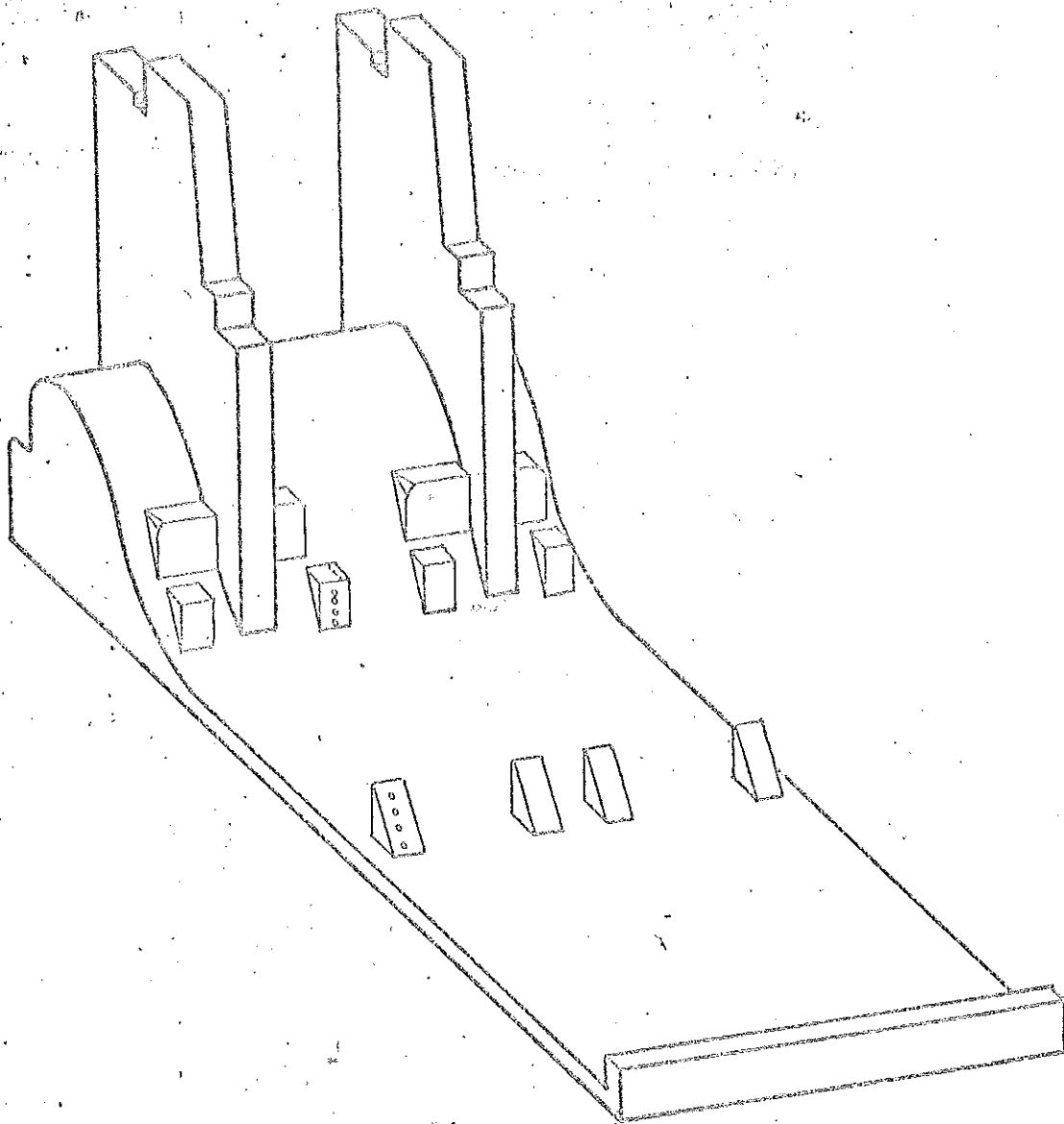
Ensayo del vertedero



Perfil Vertedero y Lecho Disipador - tipo 9

FIGURA N^o 40

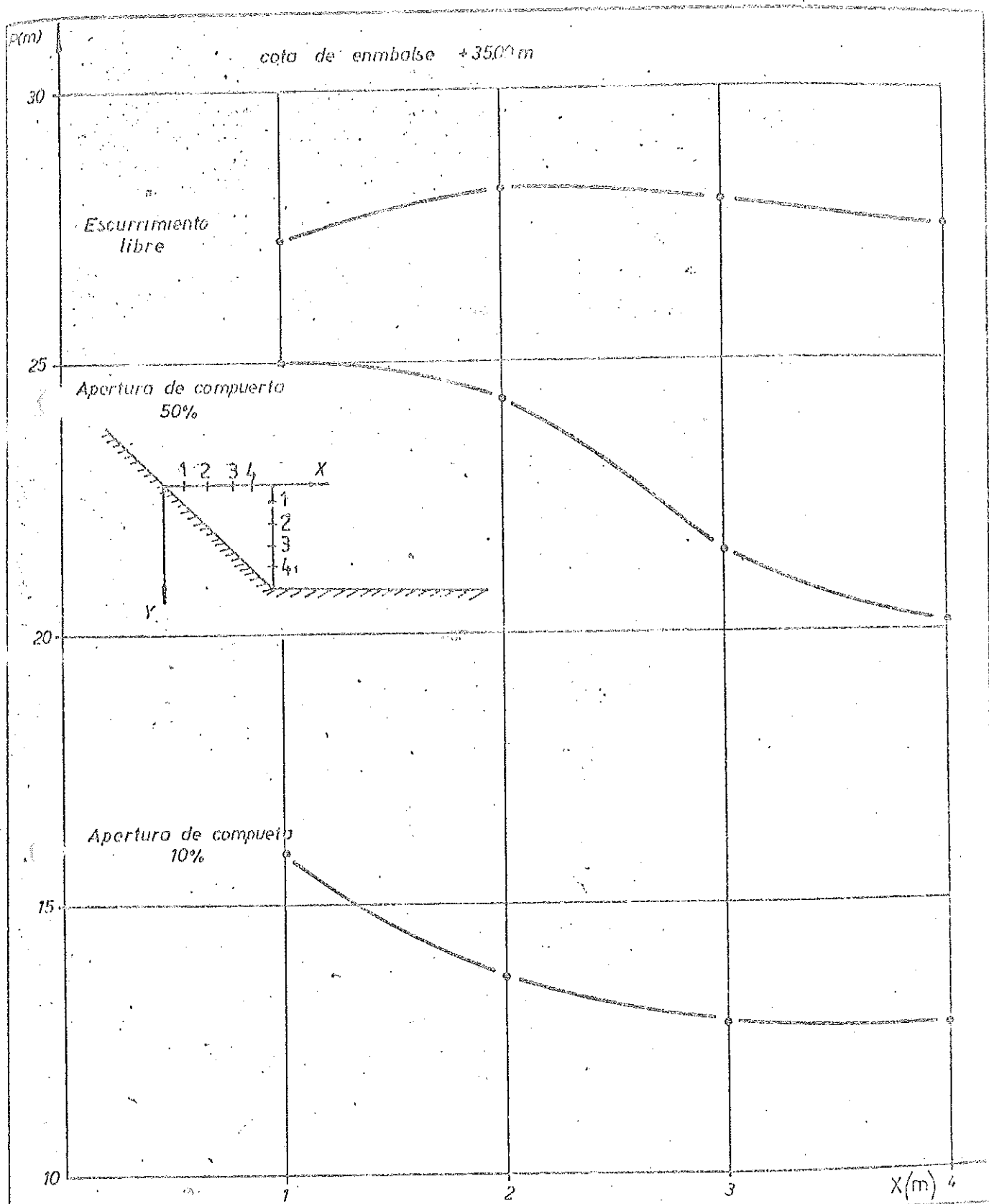
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
estudio sobre modelo de Salto Grande
Vertedero canal vidriado



tomas de presión en dientes de disipación

FIGURA N° 41

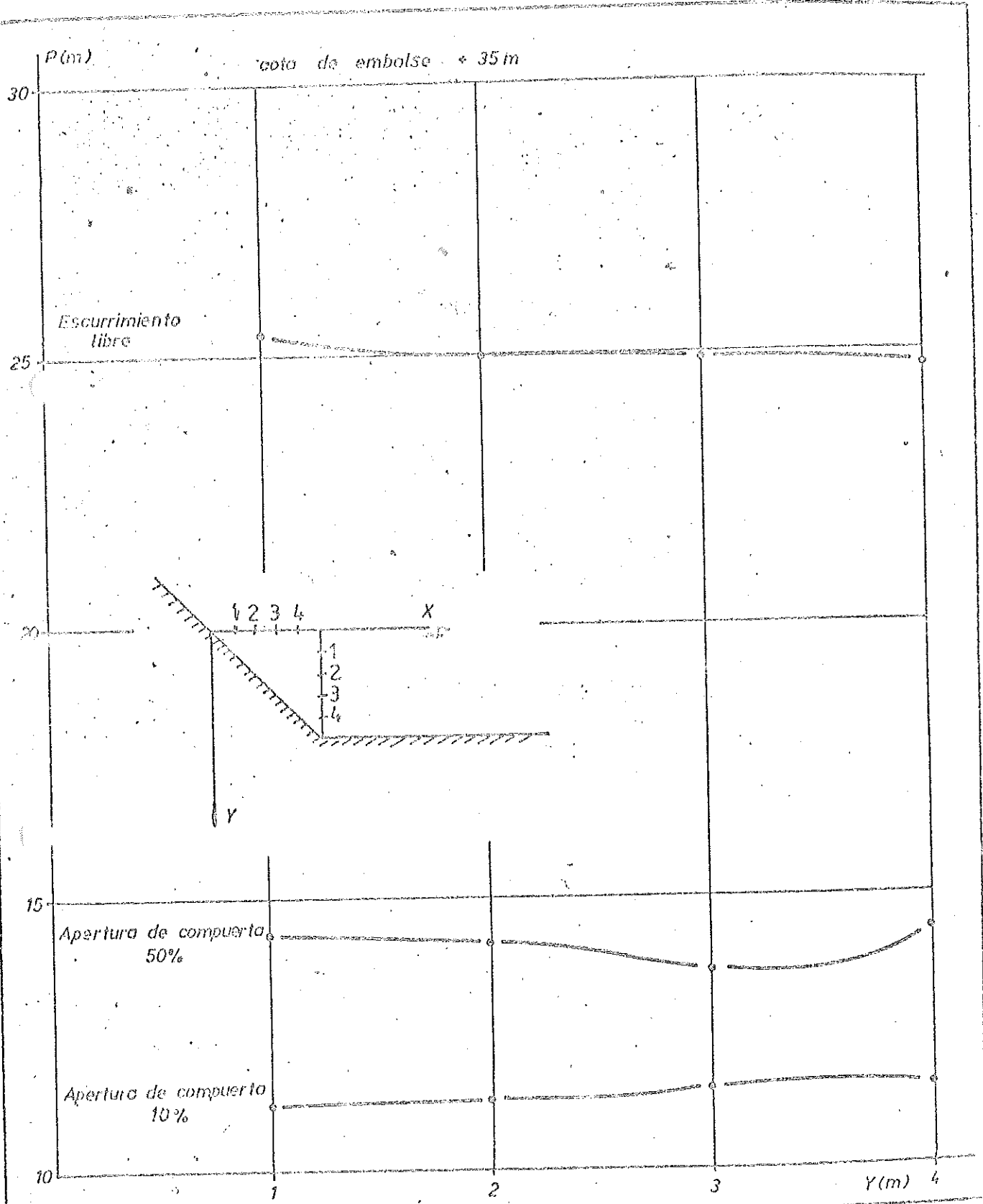
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 estudio sobre modelo de Salto Grande
 Vertedero canal yidriado



presiones medidas en los dientes de disipacion

FIGURA N° 42

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 estudio sobre modelo de Salto Grande
 vertedero canal vidriado



presiones medidas en los dientes de disipacion

FIGURA N^o 43

MODELO BIDIMENSIONAL DE LAS OBRAS DE ALIVIO PARA LA PRESA DE

SALTO GRANDE

FOTOGRAFÍAS Nº 1 AL 35. (originales consultar en la Biblioteca del
Laboratorio de hidráulica aplicada)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA: Estudio sobre modelo de las Obras de Salto Grande, Capítulo IV, Ensayo bidimensional del vertedero rebajado, Ezeiza, diciembre de 1973.
- 2 - LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA: Estudio sobre modelo de la segunda etapa de desvío del río Uruguay para las obras de Salto Grande, Ezeiza, junio de 1974.
- 3 - BUREAU OF RECLAMATION: Studies of crests for overfall dams, Boulder Canyon Project, Bulletin 3, Denver, U.S.A., 1948.
- 4 - LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA: Estudio sobre modelo de las obras de Salto Grande, Capítulo IX, Ensayo vertedero con distintas aperturas de compuerta, Ezeiza, abril de 1974.
- 5 - Estudio sobre las turbulencias que se forman tras de una bocatoma, VI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, México, 1970, Vol. I, página 137-143.
- 6 - LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA: Estudio sobre modelo de las obras de Salto Grande, Capítulo VII, Ensayos vertedero a cota +17, Ezeiza, febrero de 1974.
- 7 - PETERKA, A.J.: Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators, Bureau of Reclamation, Engineering Monograph N° 25, Denver, U.S.A., 1963.
- 8 - LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA: Estudio sobre modelo de las obras de Salto Grande, Capítulo X, Ensayos del lecho amortiguador de energía, Ezeiza, mayo de 1974.
- 9 - BUREAU OF RECLAMATION: Stilling basin chute block pressures (basin III), Hydraulics Branch Report N° Hyd-514, Denver, U.S.A., 1963.

- 10 - BOWERS, C.E. y TSAI, F.Y.: Fluctuating pressures in spillway stilling basins, ASCE, Hydraulics Division, Vol. HY6, pág. 2071-2079, 1969.
- 11 - BUREAU OF RECLAMATION: Hydraulic Laboratory practice, Bureau of Reclamation, Engineering Monographs N° 18, Denver, 1953.
- 12 - HEAQUARTES, DEPARTMENT OF THE ARMY, Hydraulic design of spillways, Engineer Manual 1110-2-1603, Washington, 1965.

RECONOCIMIENTO

La consultora MAIN y Asociados ha elaborado los proyectos estudiados y sugerido las modificaciones que consideró apropiadas para mejorar el diseño.

La discusión técnica con el Señor Inspector del Modelo, Ingeniero Pedro PICANDET, ha reportado valiosos elementos para la realización de este estudio.

La tarea fotográfica ha sido desarrollada por el señor Norberto MULLE.

Colaboraron en este estudio:

Sr. Jorge SANTURIO	: Técnico de modelos
Sr. Angel R. RISOLI	: Técnico
Sr. Juan PETELIN	: Proyectista mecánico
Sr. Daniel MONTENEGRO	: Dibujante
Srta. Mercedes J. CEPEDA	: Secretaria
Sr. Héctor ARCUDI	: Oficial maquetista