



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA
ERNESTO LEON D. — VENEZUELA

MODELO DEL ALIVIADERO DE LA REPRESA DE LAS VEGAS

(SEGUNDO INFORME)

JUNTA DIRECTIVA DE LA FUNDACION

Presidente: Ing. José Ramón Velasco Guerra
Director General de Recursos Hidráulicos
Ministerio de Obras Públicas

Miembros : Ing. Carlos Arriaga
Director de Estudios y Proyectos
Instituto Nacional de Obras Sanitarias

Ing. Manuel Vicente Méndez
Presidente Sociedad Venezolana de
Ingeniería Hidráulica

Ing. Juan B. Azpúrua M.
Secretario Ejecutivo
COPLANRH

Dr. Alfredo Anzola
Representante del Sector Privado

ASESOR JUNTA DIRECTIVA

Ing. Carlos Añez
CONICIT

CONSEJO ASESOR TECNICO

Miembros : Dr. Rafael De León
Ing. Luis Franceschi
Dr. Marcelo González Molina
Dr. Santos Eduardo Michelena
Ing. Alberto Rodríguez Díaz

CONSEJO ASESOR CIENTIFICO

Miembros : Dr. Arthur T. Ippen
Dr. Hunter Rouse
Dr. Vito A. Vanoni

DIRECTOR DEL LABORATORIO

Ing. Alberto Lizarralde

MODELO DEL ALIVIADERO
DE LA REPRESA DE "LAS VEGAS"
(SEGUNDO INFORME)

Ingº ANTONIO MACIPE
Ingº MANUEL VICENTE MENDEZ
Ingº ALBERTO LIZARRALDE

Nº 72-03, Diciembre 1.972

P R E F A C I O

En Febrero de 1.972 el Laboratorio Nacional de Hidráulica presentó al Instituto Nacional de Obras Sanitarias, un Informe sobre los estudios del aliviadero de la represa de " Las Vegas ", - en el cual se recomendaba estudiar una modificación de la geometría del lanzador. En este segundo Informe se incluyen los resultados de estos nuevos ensayos y también los del primero, en consecuencia este nuevo Informe sustituye al anterior.

R E S U M E N

La investigación experimental realizada se refiere al aliviadero de la presa "Las Vegas", en el río Guárico. El modelo, construido a escala 1:25, reproduce parcialmente el embalse, la estructura propiamente dicha, y un sector del lecho del río, aguas abajo de la incorporación. Se estudiaron las características hidráulicas del régimen en la aproximación, la transición, el cimacio, el canal rápido, y el lanzador, para la creciente máxima posible, y para otros caudales de períodos de retorno significativos.

Los ensayos realizados en base al diseño preliminar, demostraron el funcionamiento satisfactorio de la obra de aproximación, del cimacio, y del canal rápido. Con respecto al lanzador, los resultados experimentales indicaron la conveniencia de introducir ciertas modificaciones en sus características geométricas, para mejorar su comportamiento en cuanto a la acción del flujo de descarga en el lecho aguas abajo.

I N D I C E

		Pág.
1	INTRODUCCION	1
2	DESCRIPCION DEL PROTOTIPO	2
3	DESCRIPCION DEL MODELO	5
4	ENSAYOS EN EL DISEÑO PRELIMINAR	10
5	CONCLUSIONES SOBRE LOS ENSAYOS EN EL DISEÑO PRELIMINAR	29
6	MODIFICACIONES DEL LANZADOR	31
7	GEOMETRIA DEFINITIVA DEL LANZADOR	41
8	REFERENCIAS	43

1. INTRODUCCION

Para el abastecimiento de agua de las ciudades de San Juan de los Morros y Villa de Cura, el Instituto Nacional de Obras Sanitarias ha contratado con la Oficina de Ingeniería Antonio Julio de Guruceaga, el proyecto de una presa sobre el río Guárico, en el sitio denominado " Las Vegas ". A su vez, la verificación sobre modelo del comportamiento del aliviadero fué realizada por contrato del Laboratorio Nacional de Hidráulica con el I.N.O.S.; y contempla los ensayos del funcionamiento hidráulico de la zona de aproximación al cimacio (captación o entrada al aliviadero), del propio cimacio, del canal rápido, y del deflector o lanzador.

2. DESCRIPCION DEL PROTOTIPO

La presa de " Las Vegas ", es una presa de tierra de unos 50 mts. de altura. El aliviadero está constituido por una estructura de transición de sección trapecial a sección rectangular, que conduce a un cimacio de 2 mts. de altura. Desde aqui, el flujo descarga en un canal de sección rectangular con pendiente uniforme de 4,5% hasta la progresiva 81,10 donde comienza una curva vertical parabólica hasta la progresiva 98,72. A partir de esta sección el canal continúa con una pendiente uniforme de 58% hasta la progresiva 145, donde, según el diseño original, comienza un lanzador o deflector circular de 30 mts. de radio de fondo y un ángulo de salida de 20°. El lanzador descarga en un canal de sección trapecial excavado en roca y con una pendiente de 0,5% que conduce el flujo al cauce natural.

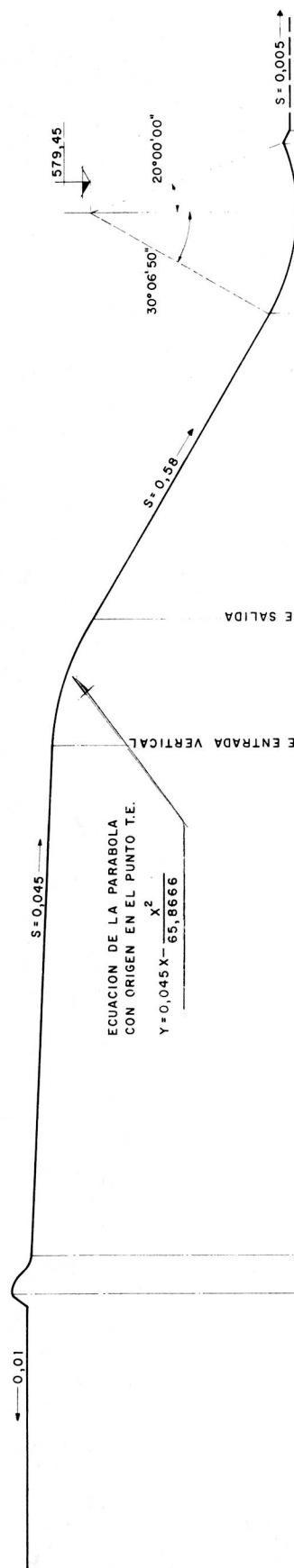
Aproximadamente a 150 mts. aguas abajo del lanzador, - existe un antiguo dique de derivación, construido en mampostería el cual tiene su vaso completamente sedimentado. Un plano del conjunto de la obra puede observarse en las figuras Nº 1 y Nº 2.

ESQUEMA DEL PROTOTIPO

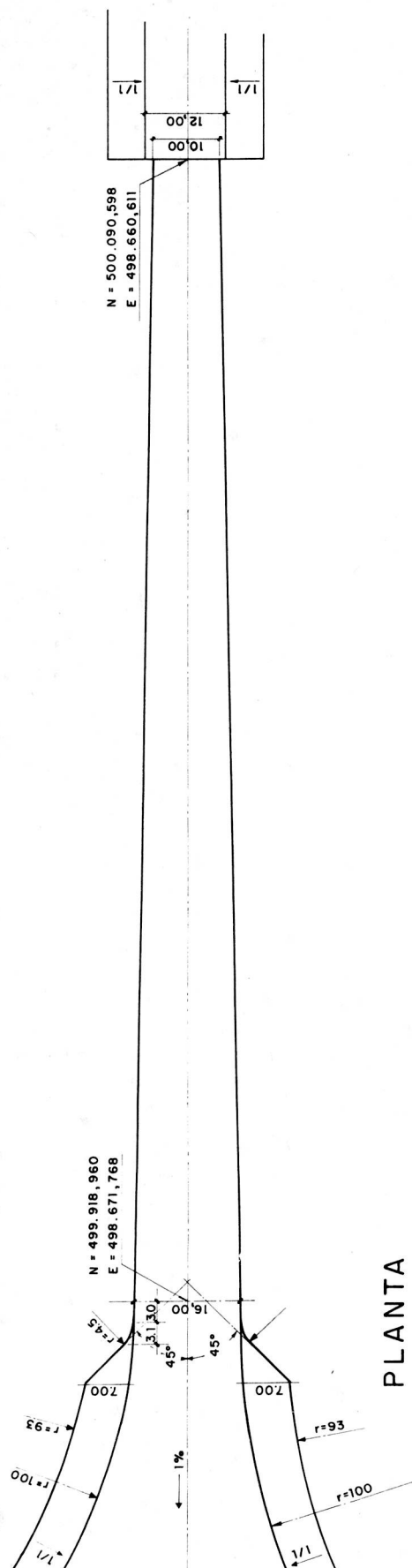
ESCALA 1:1000

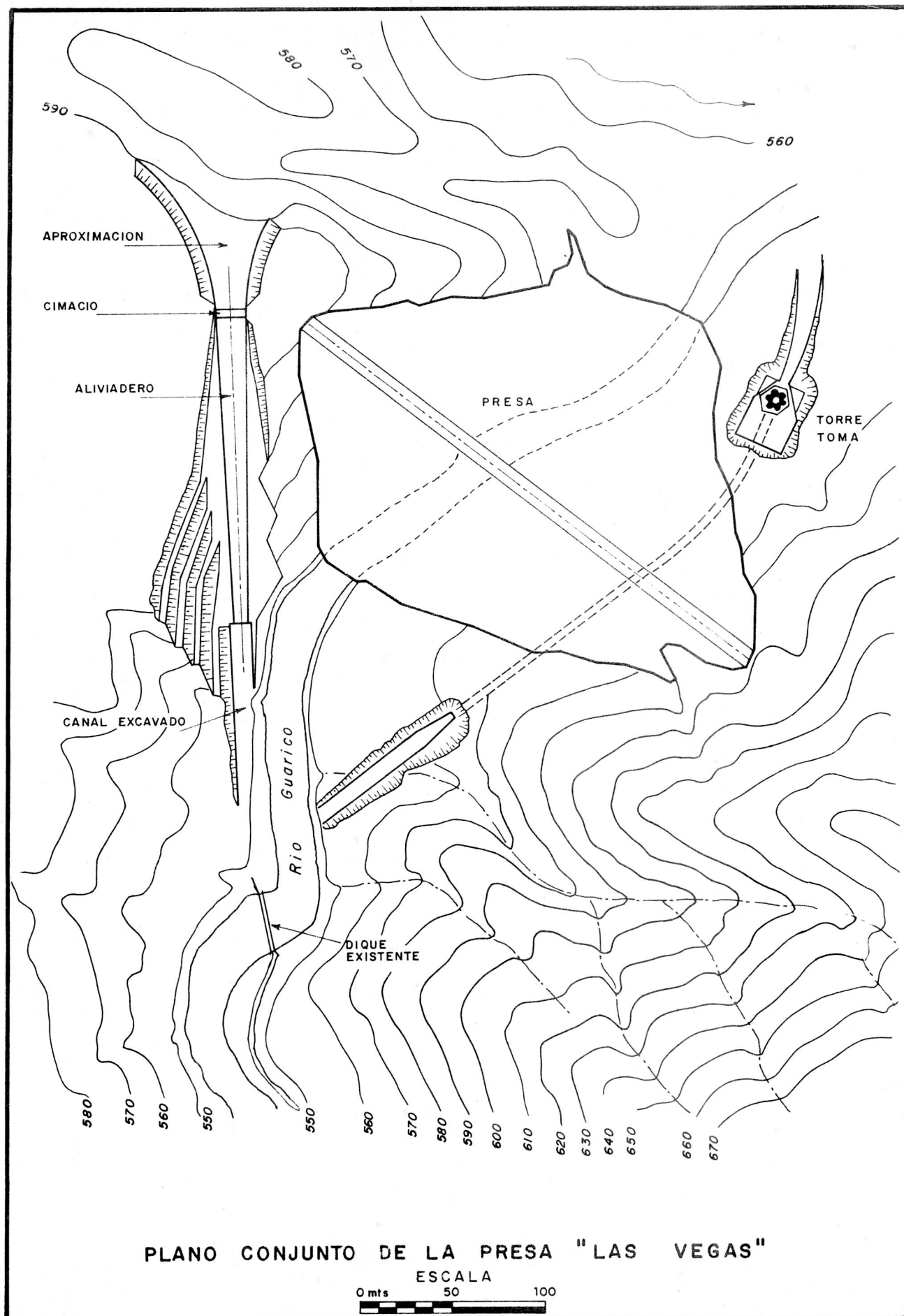
PERFIL

PROGRESIVAS	COTA
592.000	0+000,000
589,252	0+009,526
585,850	0+081,100
580,340	0+098,720
553,500	0+145,000
549,450	0+160,000
551,260	0+170,310
550,500	0+172,000



PLANTA





3. DESCRIPCION DEL MODELO

3.1. Características Generales

El modelo está constituido por un estanque de madera que reproduce el embalse, un canal de plástico que representa el cimacio, el rápido y el deflector, y por un mesón de madera donde se ha reproducido el canal excavado, un sector del lecho del río y el dique existente ya mencionado.

El estanque que reproduce el embalse tiene 7 mts. de largo por 5 mts. de ancho y 1,20 mts. de altura y está elevado a 2 mts. del suelo del Laboratorio sobre una estructura de andamios tubulares, En su interior se ha representado la topografía de la zona de aproximación dándole forma con mortero de cemento, y abarcando un área de embalse equivalente a 1,55 Has. El estanque está alimentado mediante 2 tuberías de 10" de diámetro provistas de sus respectivos difusores, (ver figura N° 3).

El canal de plástico se construyó en material acrílico transparente de 6 mm. de espesor. Se definieron las seis partes siguientes: la transición, el cimacio, la curva vertical parabólica, el lanzador circular y dos tramos de pendiente uniforme. A las partes curvas se les dió forma calentando el plástico a 70°C y colocándolo entre molde y contramolde. Los moldes para la curva vertical se hicieron en madera recubierta en fórmica, y el correspondiente al cimacio se fabricó en yeso. Todas las piezas se unieron entre sí, mediante bridas

de plástico conectadas con tornillos de bronce y provistas de una empacadura de mastique.

El mesón de aguas abajo del aliviadero se construyó en madera moldeando las márgenes y el lecho del río con mortero de cemento. El lecho del río representado se cubrió con una arena de un diámetro uniforme de 3 mm. aproximadamente. El canal excavado en roca aguas abajo del lanzador, se reprodujo con mortero de cemento, y el dique de mamposería en madera.

3.2. Criterios de Semejanza

En razón de las características hidráulicas del funcionamiento del aliviadero, la semejanza dinámica entre modelo y prototipo se estableció en base al criterio de Froude. La escala seleccionada fué de 1:25, tomando en consideración las posibilidades del Laboratorio en cuanto a espacio y caudal, que la altura del agua sobre el cimacio fuese tal que pudiesen ignorarse los efectos de la tensión superficial y que la rugosidad del modelo guardase con la rugosidad del prototipo una relación lo más cercana posible a la relación de la escala geométrica. A continuación se presentan las diversas relaciones de escala:

PARAMETROS

MODELO A PROTOTIPO

Geométricos

Longitud	1:25
Area	1:625
Volumen	1:15625

PARAMETROS

MODELO A PROTOTIPO

Cinemáticos

Tiempo	1:5
Velocidad	1:5
Caudal	1:3125

Dinámicos

Fuerza	1:15625
Presión (Altura)	1:25
Energía	1:390625

La semejanza dinámica según el criterio de Froude, para iguales pendientes de fondo en el modelo y prototipo, requiere la igualdad de los gradientes de las líneas de energía total, es decir:

$$(S_f)_m = (S_f)_p$$

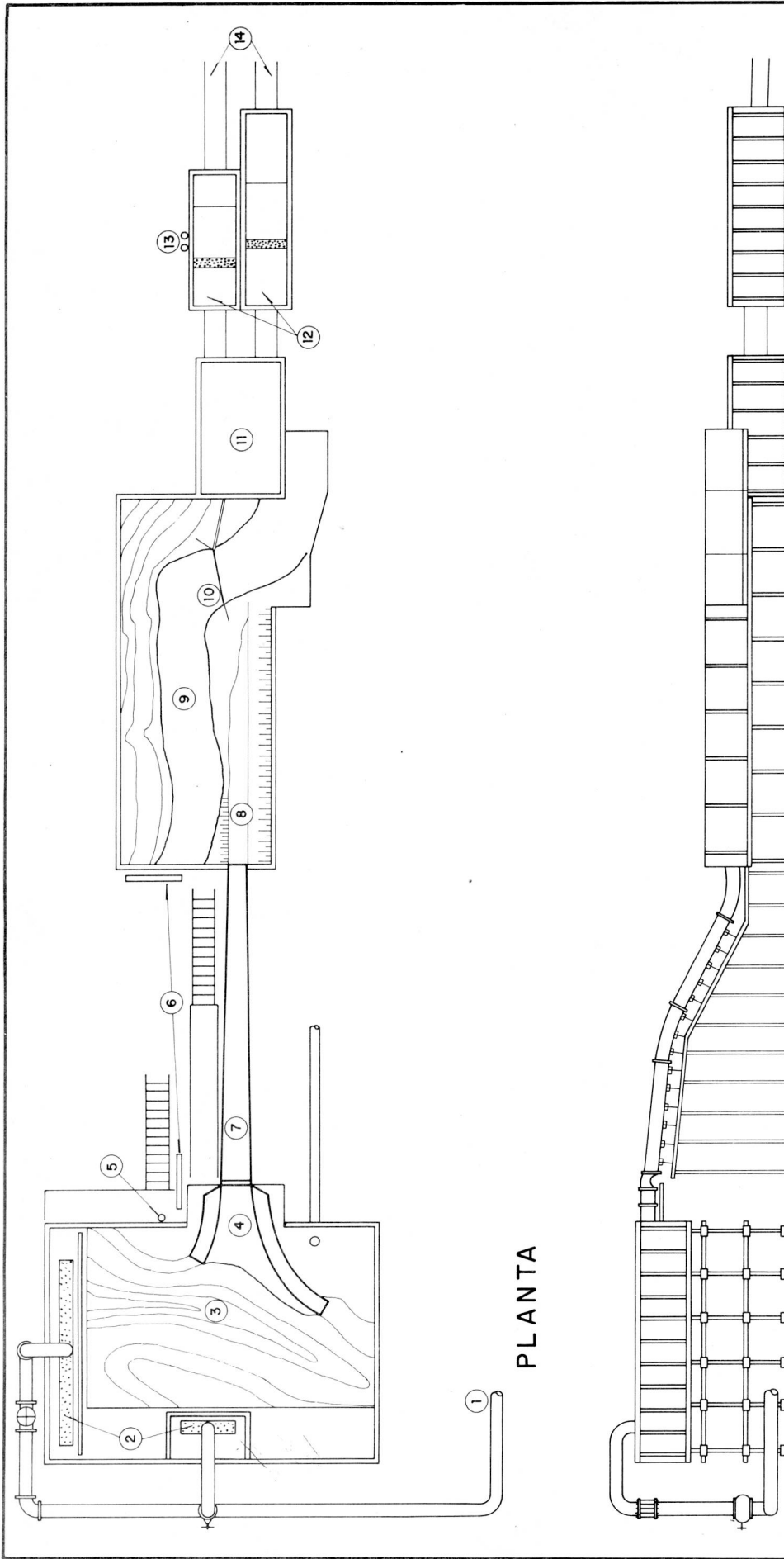
Si los movimientos en el modelo y prototipo son turbulentos hidráulicamente rugosos, la identidad anterior implica además que la relación entre las rugosidades absolutas sea la misma que la relación de escala geométrica. Esta condición pudo lograrse aproximadamente en razón del material plástico utilizado ($K_m=0.00012$ mts.) en el modelo, y el concreto del prototipo ($K_p=0.0043$ mts.). Cuando la identidad anterior no se cumple, la pendiente de fondo del modelo deberá ajustarse de acuerdo a la expresión:

$$(S_o)_p - (S_f)_p = (S_o)_m - (S_f)_m$$

Con el objeto de comprobar la necesidad de tal ajuste, se llevó a cabo un cálculo en computadora electrónica que permitió conocer el gradiente de la línea de energía total a lo largo del aliviadero en función del caudal y de la rugosidad del material, realizándolo tanto para el modelo como para el prototipo, a fin de establecer la requerida comparación. Al mismo tiempo, se determinó la variación de la línea de energía total del prototipo para distintas rugosidades del concreto. De esta manera se comprobó que las diferencias de las líneas de energía entre modelo y prototipo, fueron menores que las obtenidas por variaciones de la rugosidad del prototipo. Por consiguiente, no se consideró necesario ajustar la pendiente del modelo.

3.3. Instrumentos de Medición

Los caudales se determinaron mediante dos estanques de aforo situados aguas abajo del modelo, y provistos de vertederos triangulares calibrados previamente en el Laboratorio y con capacidad máxima de 70 lps. cada uno. Para el registro de los niveles de agua se usaron medidores de punta " Neyrpic ", con precisión de un décimo de milímetro. Las presiones se determinaron con piezómetros abiertos contruídos con tubos de vidrio de 0,8 cms. de diámetro y provistos de escala de medición con precisión de 1 mm. En total se perforaron, a lo largo del eje de cimacio, del canal y del lanzador, 77 orificios piezométricos de 1,5 mm. de diámetro.



PLANTA

PERFIL

- 1 TUBERIA DE ALIMENTACION
- 2 DISTRIBUIDORES
- 3 EMBALSE
- 4 APROXIMACION
- 5 POZO MEDIDOR DE NIVELES DE AGUA EN EL EMBALSE
- 6 BANCOS DE PIEZOMETROS
- 7 ALIVIADERO

- 8 CANAL EXCAVADO
- 9 LECHO DEL RIO GUARICO
- 10 DIQUE EXISTENTE
- 11 ESTANQUE AMORTIGUADOR
- 12 ESTANQUES MEDIDORES DE CAUDALES
- 13 POZOS MEDIDORES DE NIVELES
- 14 CANALES DE DESAGUE

ESQUEMA
DEL
MODELO



4. ENSAYOS EN EL DISEÑO PRELIMINAR

Los ensayos en el aliviadero fueron realizados en el orden siguiente: en primer lugar se determinó la curva de descarga del aliviadero, esto es; la relación entre gastos y altura de agua sobre el cimacio, y se observó la condición de flujo en el canal de aproximación y transición. En segundo termino se determinó la curva de distribución de presiones según el eje del aliviadero, y finalmente se hicieron observaciones sobre el comportamiento del flujo de descarga del lanzador, en cuanto a sus posibles efectos sobre el lecho del río aguas abajo. Seguidamente se dan los valores de los caudales ensayados del prototipo y sus respectivas frecuencias:

<u>Frecuencia de la Creciente en Años</u>	<u>Caudales Aliviados M3/seg</u>
CMP	332
500	222
100	140
50	106
25	79
10	52
5	21

TABLA Nº 1

4.1. Canal de Aproximación y Transición

La dirección general del flujo en el sector del embalse representado, forma con el eje del aliviadero un ángulo cercano a los 90° ; además la excavación en la margen izquierda termina en forma abrupta con respecto a la topografía modificada. En consecuencia, el considerable cambio direccional de la velocidad produce, para caudales mayores de $50 \text{ m}^3/\text{seg}$, un tren de vórtices y de pequeñas ondas en la superficie del agua. Aunque no se estimó de influencia apreciable, esta situación fué corregida aumentando el radio de curvatura del talud límite de la excavación.

En la transición se producen, por efecto del estrechamiento, dos ondas que se propagan a todo lo largo del canal, pudiéndose apreciarlas hasta la progresiva 120 aproximadamente, donde la superficie libre se hace muy irregular, debido a la velocidad del flujo, y tales ondas se confunden.

4.2. Curva de Caudales del Cimacio

La curva de gastos del cimacio se presenta en la figura N° 4, donde se ha dibujado a trazo continuo la curva teórica, suministrada por el proyectista, y señalados los puntos correspondientes a mediciones experimentales sobre el modelo. Como puede observarse, no hay variación apreciable entre los puntos experimentales y la curva teórica. Las Mediciones de la altura del agua para la calibración del cimacio, se tomaron en la sección inicial del canal de aproximación.

4.3. Distribución de presiones y alturas del agua según el Eje del Aliviadero

En esta etapa de los ensayos se determinó la distribución de presiones y la altura del agua para cuatro caudales correspondientes a la

creciente máxima posible y a unas frecuencias de 500, 100 y 50 años, y los resultados se muestran en las figuras Nos. 5, 6, 7, 8. Las presiones que se indican en estas figuras son todas positivas hasta un caudal $Q_p = 160 \text{ M}^3/\text{seg.}$ aproximadamente, a partir del cual comienzan a observarse presiones negativas en el cimacio. En la tabla Nº 2 se presentan los valores de la tensión de vapor del agua a diferentes temperaturas:

Temperatura °C	Tensión de Vapor Kg/cm ²
10,0	0,0119
15,6	0,0183
21,1	0,0253
26,7	0,0358
32,2	0,0492

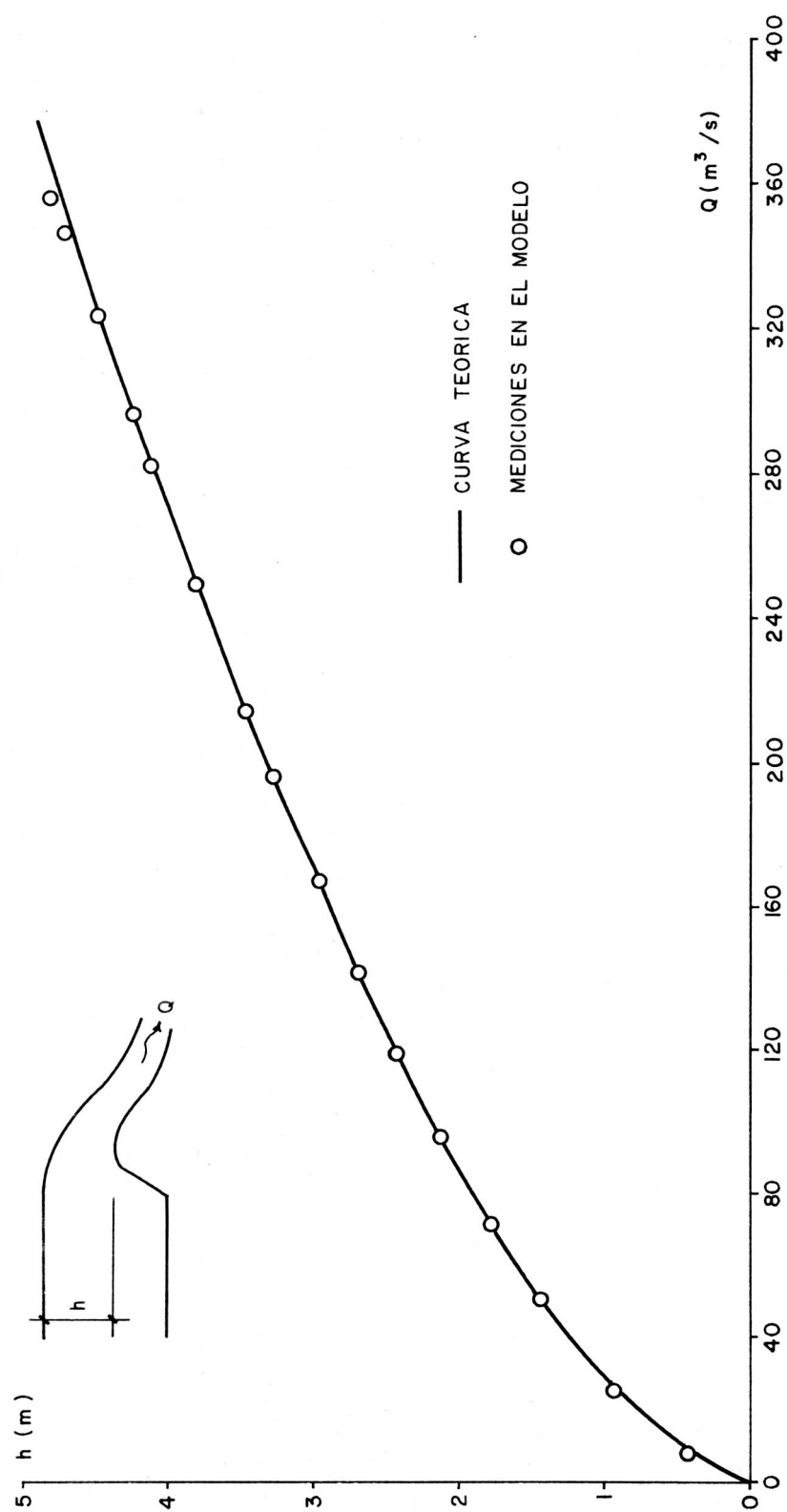
TABLA Nº 2

Para el máximo caudal en el prototipo, $Q = 332 \text{ M}^3/\text{seg.}$, la magnitud de la mínima altura de presión es (-) 1,225 mts., que traducida a presión absoluta corresponde a un valor de 0,9105 Kg/cm², no existiendo peligro de vaporización del líquido y, por consiguiente, de la ocurrencia de cavitación, si se observan los valores indicados de la tensión de vapor para la temperatura media de esa zona. En la figura Nº 9 está representada la línea de presiones en el cimacio para el caudal máximo.

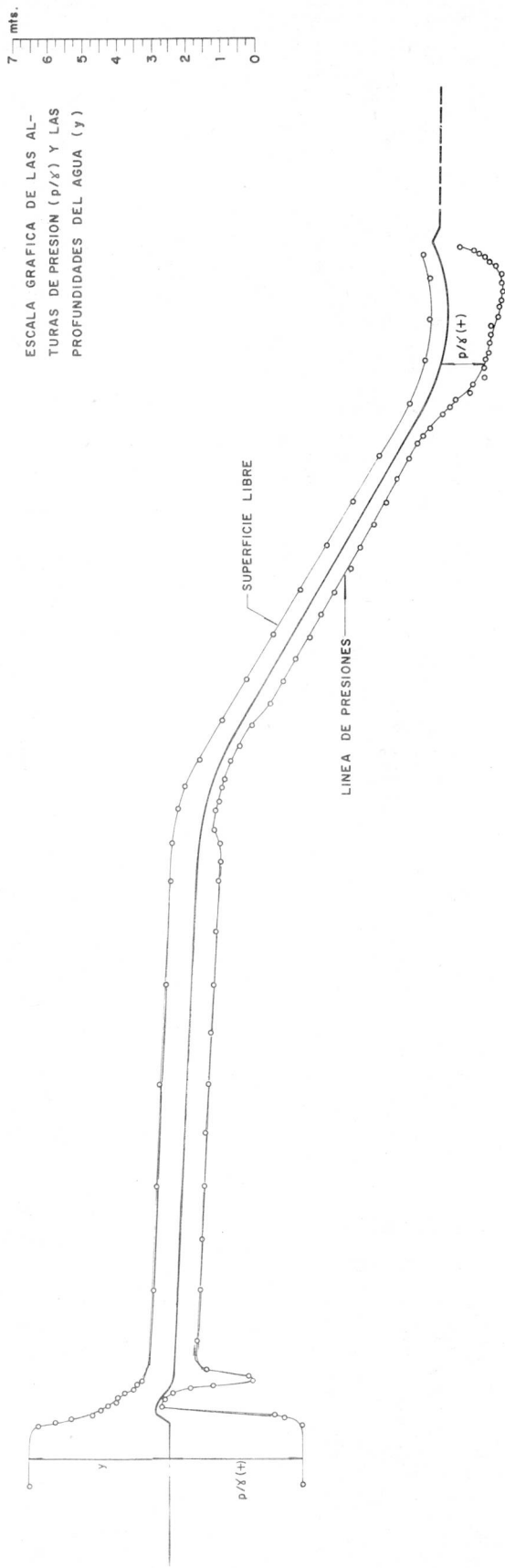
En la sección curva parabólica, las presiones son pequeñas, pero para ningún caudal se hacen negativas, estando ausente, por lo tanto, la posibilidad de desprendimiento de la lámina. Tal como corresponde a la geometría de fondo del lanzador, las alturas de presiones son considera-

blemente mayores que las alturas de agua, y su máximo tiende a situarse cerca de la salida del lanzador.

Para investigar las variaciones localizadas de la presión por causa de irregularidades de fondo, se colocó un obstáculo en la sección inicial del lanzador, como se muestra en la figura Nº 10, de forma redondeada y que correspondía a 25 cms. de altura en el prototipo. En la figura señalada se indica la curva de distribución de presiones con o sin obstáculos, pudiéndose apreciar la considerable variación localizada en la presión. Con este ensayo se pretende ilustrar el efecto que tendría la presencia de irregularidades de superficie en el fondo, tanto del canal como del lanzador, donde las velocidades son de gran magnitud.



CURVA DE GASTOS DEL ALIVIADERO



PROGRESIVAS	COTAS
592,000	0+000,000
589,252	0+005,526
	0+020,000
	0+040,000
	0+060,000
585,850	0+080,000
580,340	0+081,100
	0+098,720
	0+100,000
	0+120,000
	0+140,000
553,500	0+145,000
549,450	0+160,000
551,260	0+170,310
550,500	0+172,000

DISTRIBUCION DE ALTURAS DE PRESION
Y PROFUNDIDADES DEL AGUA

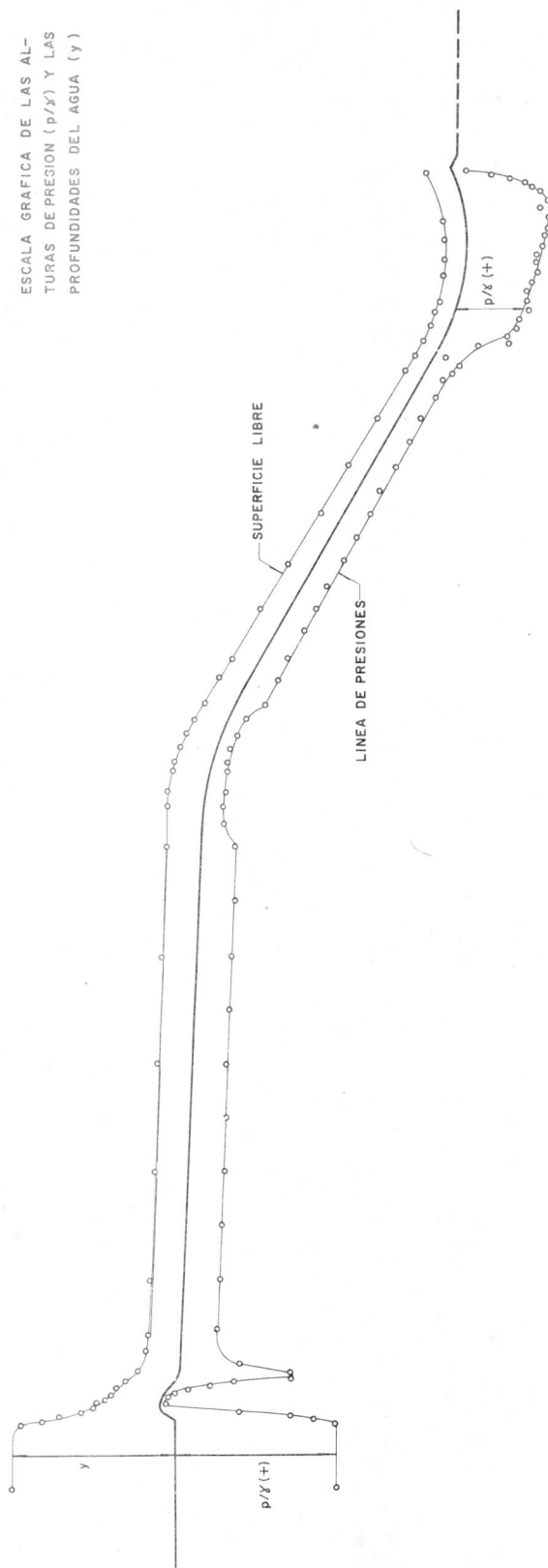
$Qp = 106 \text{ m}^3/\text{seg.}$

PERFIL DEL CANAL ESC. 1: 1000

7
6
5
4
3
2
1
0

mts.

ESCALA GRAFICA DE LAS ALTURAS DE PRESION (p/y) Y LAS PROFUNDIDADES DEL AGUA (y)

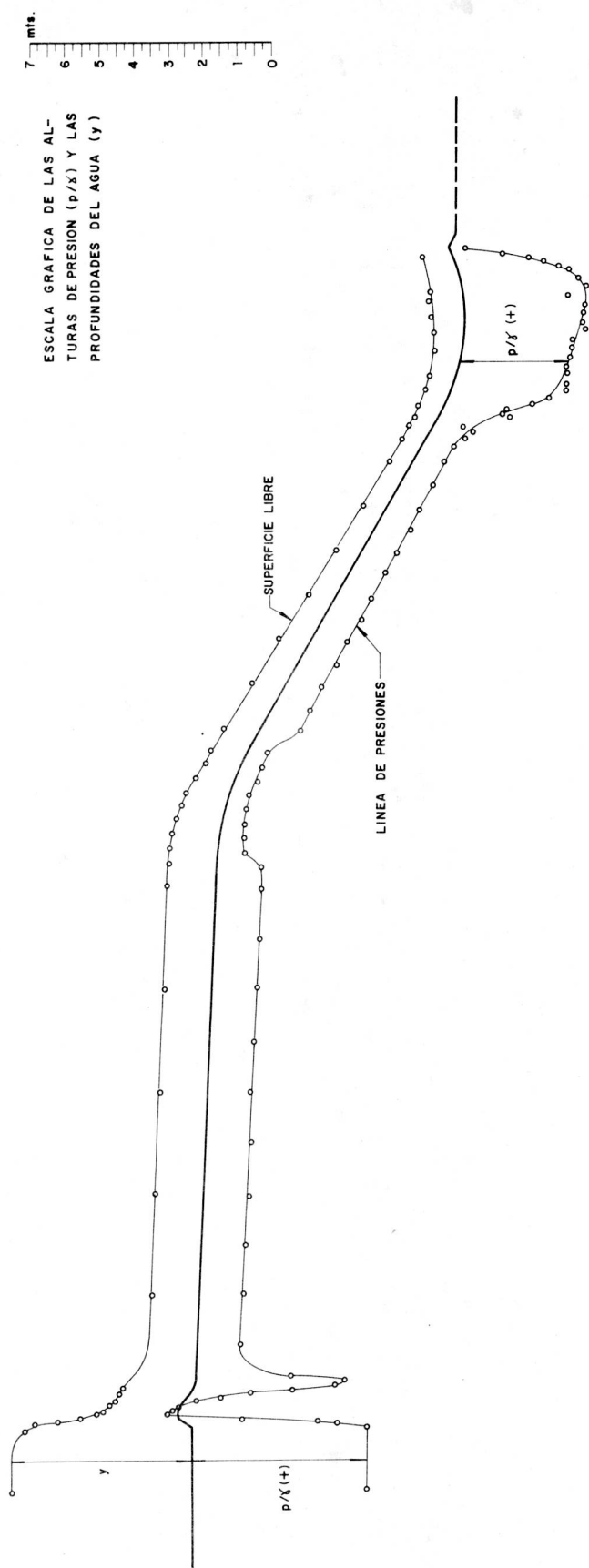


PROGRESIVAS	COTAS
592,000	0+000,000
589,252	0+005,526
	0+020,000
	0+040,000
	0+060,000
	0+080,000
585,850	0+081,100
	0+098,720
580,340	0+100,000
	0+120,000
	0+140,000
553,500	0+145,000
	0+160,000
549,450	0+170,310
551,260	0+172,000
550,500	

DISTRIBUCION DE ALTURAS DE PRESION Y PROFUNDIDADES DEL AGUA

$Qp = 140 \text{ m}^3/\text{seg.}$

PERFIL DEL CANAL ESC. 1:1000



PROGRESIVAS	COTAS
592,000	0+000,000
589,252	0+005,526
	0+020,000
	0+040,000
	0+060,000
	0+080,000
	0+081,100
585,850	0+081,100
580,340	0+098,720
	0+100,000
	0+120,000
	0+140,000
553,500	0+145,000
549,450	0+160,000
551,260	0+170,310
550,500	0+172,000

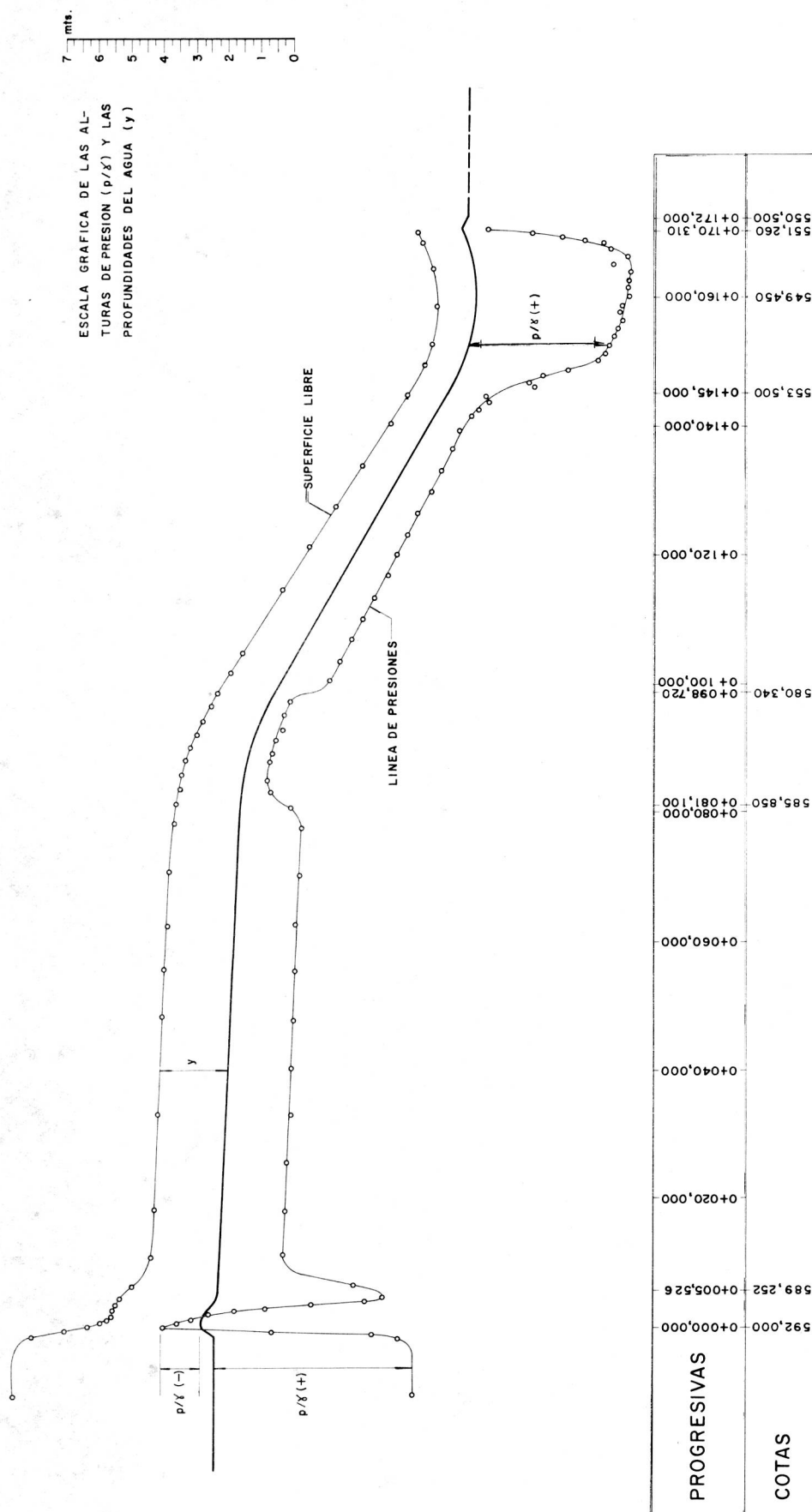
DISTRIBUCION DE ALTURAS DE PRESION Y PROFUNDIDADES DEL AGUA

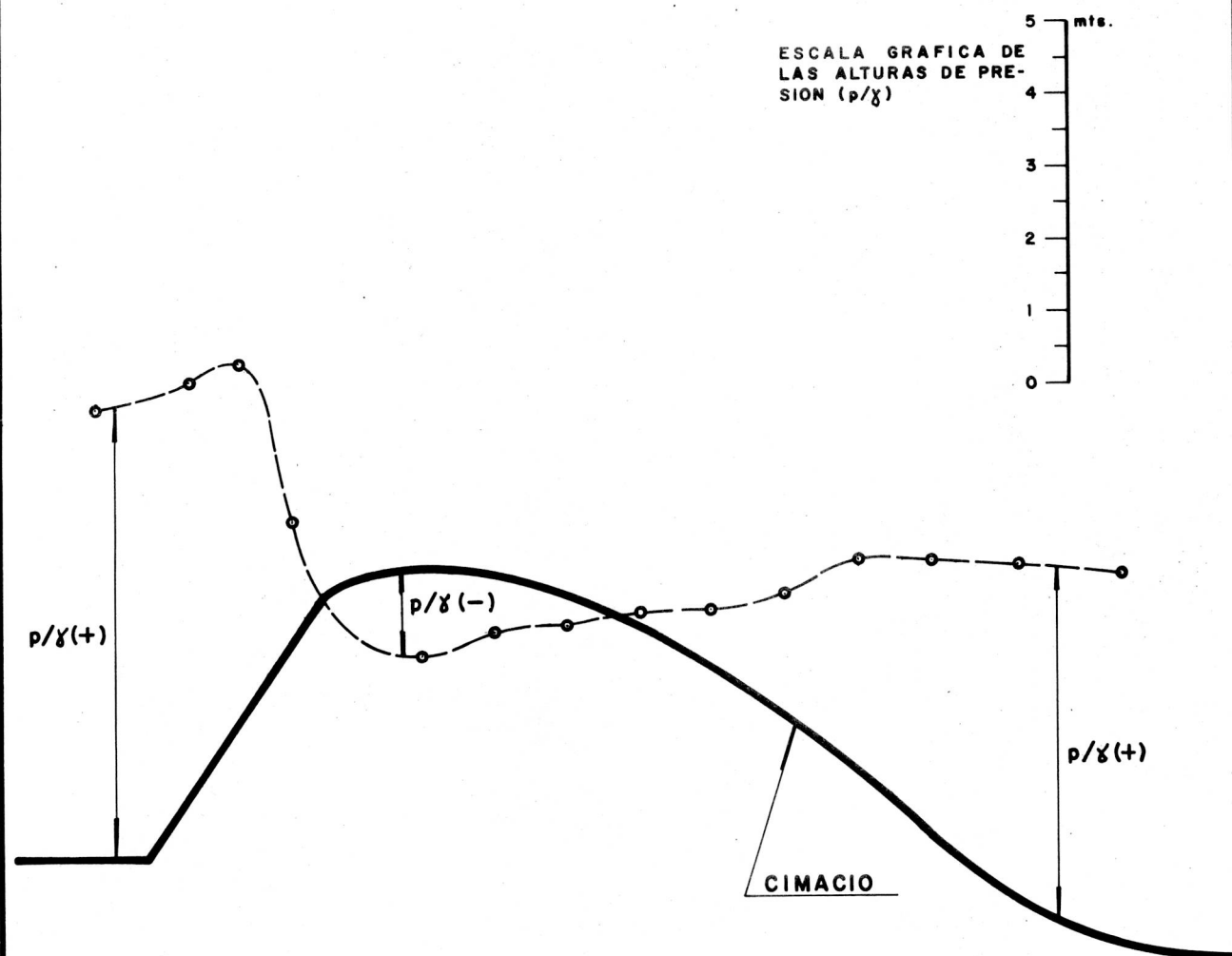
$Qp = 222 \text{ m}^3/\text{seg.}$

PERFIL DEL CANAL ESC. 1:1000

$$Q_p = 332 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

PERFIL DEL CANAL ESC.: 1.1000

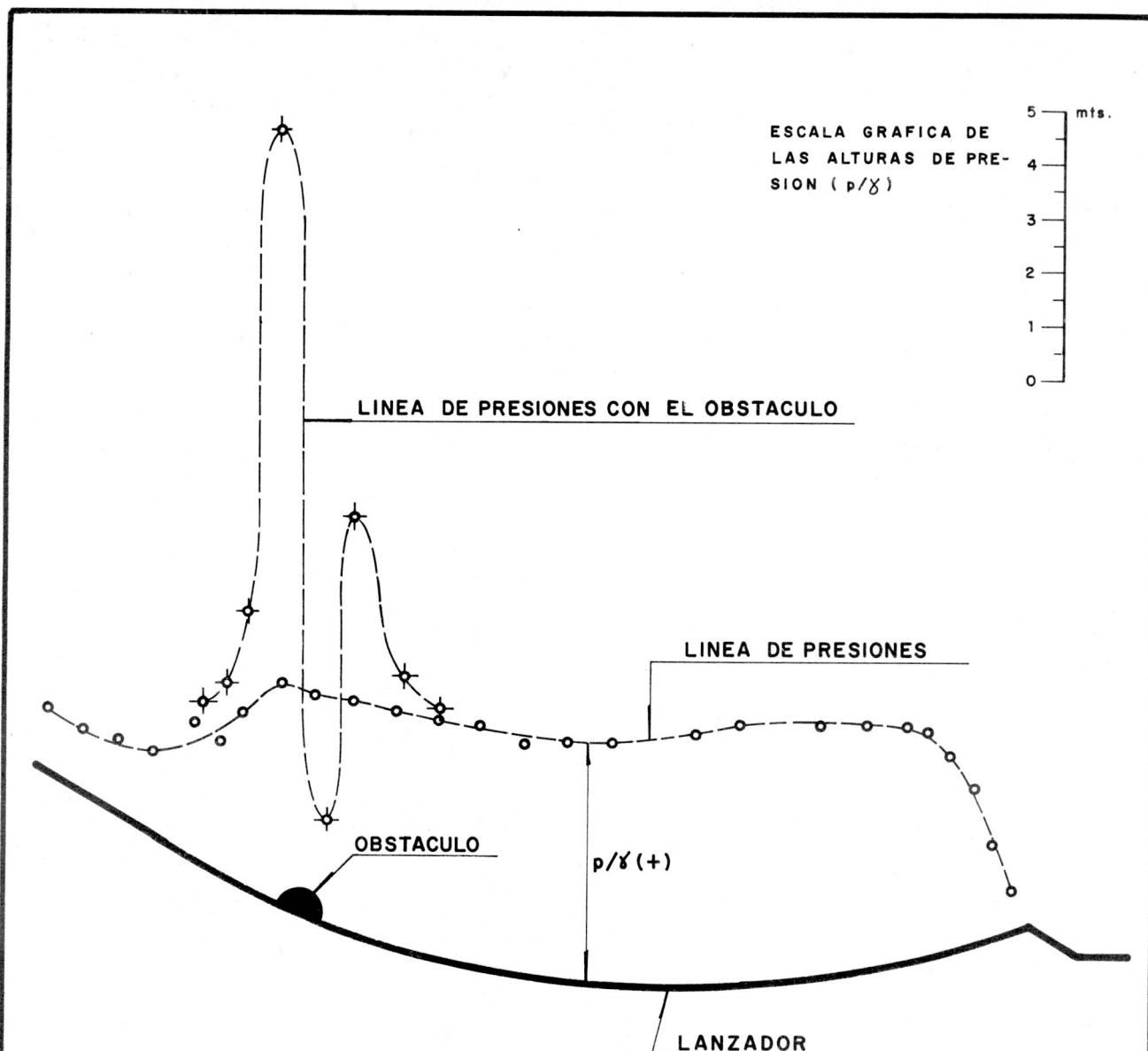




DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL CIMACIO

$Q_p = 332 \text{ m}^3/\text{seg.}$

PERFIL DEL CIMACIO ESC. 1:500



VARIACION EN LA DISTRIBUCION DE PRESIONES
CAUSADAS POR LA PRESENCIA DE UN OBSTACULO

$$Q_p = 332 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

4.4. Flujo de Descarga del Lanzador

Cuando el aliviadero comienza a funcionar se llena la concavidad del lanzador y se origina un resalto hidráulico, persistiendo esta condición hasta un caudal en el prototipo de 27 M³/seg. aproximadamente. A partir de este gasto el resalto es rechazado y el lanzador comienza a funcionar como tal.

Aunque la investigación cuantitativa de la erosión producida por el flujo de descarga en modelo de fondo móvil, no era un objetivo del presente estudio, se consideró, sin embargo, conveniente tener una idea cualitativa y preliminar de las zonas más afectadas por los efectos erosivos, para lo cual se representó el lecho del río con un material granular, delimitándose estas zonas para los diferentes caudales de trabajo.

La ubicación de la socavación puede verse en la figura N° 11 en donde aparecen dos sectores de erosión y uno de socavación local. Estos sectores se forman y aumentan a medida que se incrementa el caudal. La zona A es la primera en erosionarse, en forma diagonal al eje del río y avanzando progresivamente aguas abajo, como puede apreciarse en la figura.

La fotografía N° 1 muestra la topografía y el lecho del río aguas abajo del extremo del lanzador. Como puede observarse la estructura no está funcionando como tal sino que se encuentra ahogada con un gasto que representa en el prototipo un caudal de 21 M³/seg. equivalente a una frecuencia de 5 años. Las líneas de flujo salen paralelas al canal y a 30 mts. aproximadamente del lanzador comienza a desviarse hacia el lecho del río, incorporándose prácticamente a 90° con respecto al eje del canal. A unos 120 mts. según el canal la totalidad de la corriente

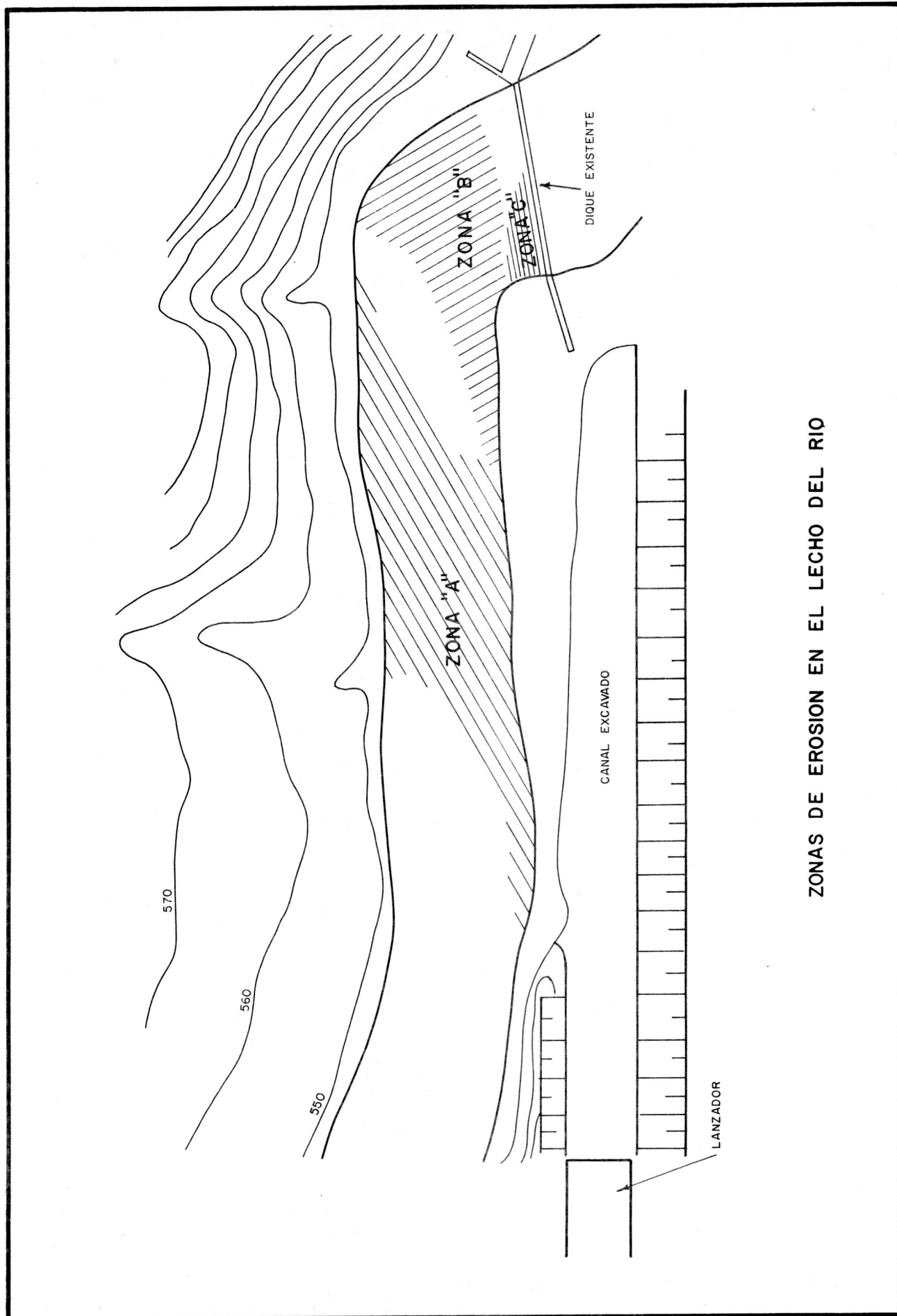
ha llegado al lecho en forma lateral. La erosión producida por este caudal es prácticamente inapreciable. Puede además observarse que no hay movimiento del agua en la zona más próxima a la presa, situación que se mantiene aún para el máximo caudal, como lo indica la fotografía Nº 7. En la fotografía Nº 2 el lanzador está funcionando para un caudal de 52 M³/seg. correspondiente a una frecuencia de 10 años. El flujo se mantiene en el canal por una longitud mayor en razón de la mayor velocidad, observándose que al final una fracción del gasto se incorpora al lecho aguas abajo del dique existente. Puede notarse en la fotografía que esta fracción es muy pequeña estimándose aproximadamente entre un 5% y 10% del caudal aliviado. La erosión en la zona A avanza en extensión y comienza la erosión en la zona B.

En las fotografías Nos. 3 y 4, correspondientes a los caudales de 79 y 106 M³/seg. y frecuencias de 25 y 30 años respectivamente, la tendencia es similar a las secuencias anteriores. Las líneas de flujo llegan al lecho formando un ángulo con su eje cada vez más agudo. La erosión en la zona A alcanza la margen derecha, y el agua en el lecho presenta gran turbulencia (Fotografía Nº 4). La erosión en la zona B progresa y se inicia la socavación de la zona adyacente al dique existente, por su margen derecha.

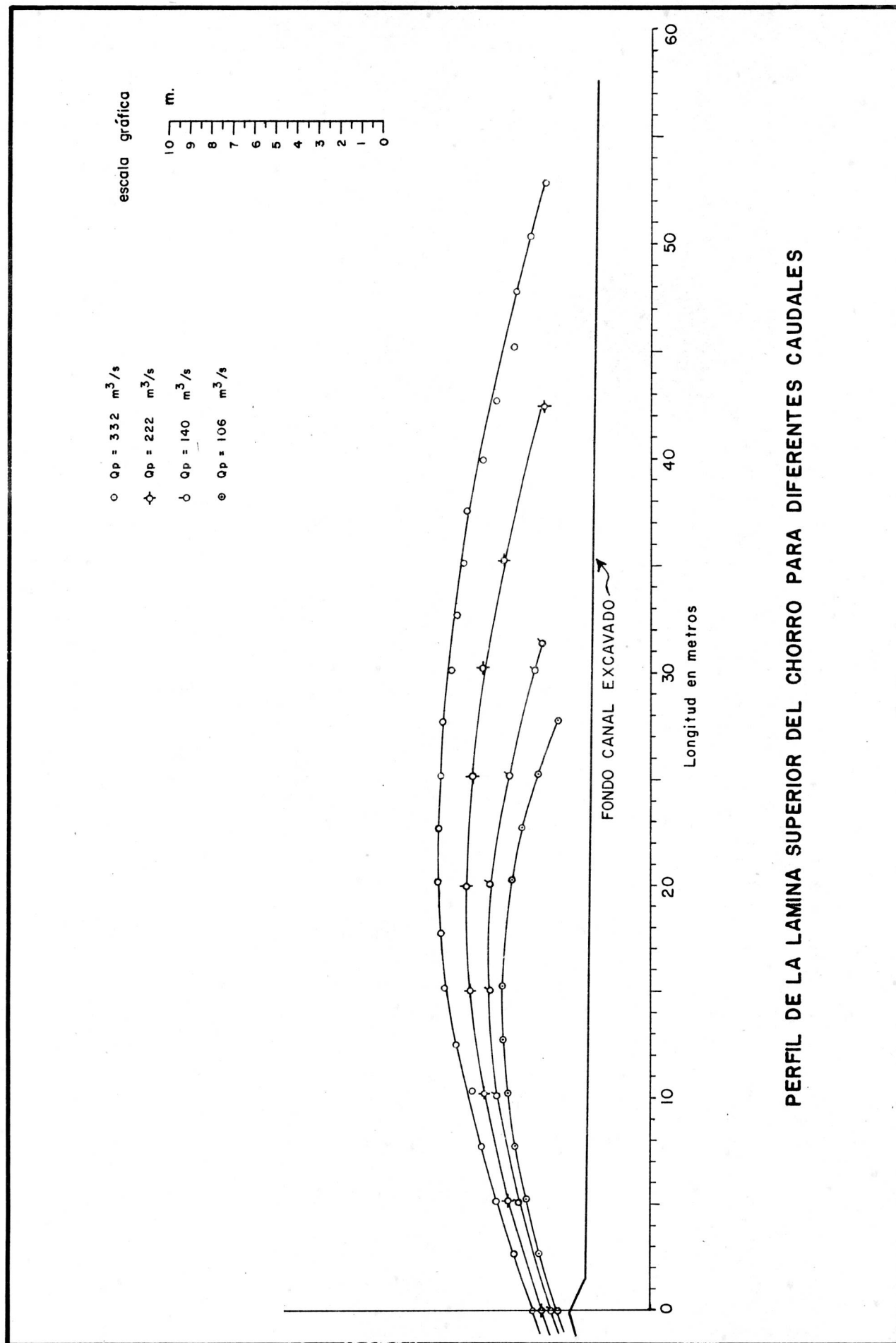
La erosión en las zonas A y B se diferencian de la correspondiente a la zona C, en que las dos primeras la erosión producida es de tipo general, por la acción del movimiento sobre un suelo granular, y como consecuencia, la zona erosionada es muy extensa. En la zona C sin embargo, la erosión es de tipo local y originada por vórtices que se generan por la interposición del dique. El flujo que produce esta socavación

localizada puede apreciarse en las fotografías Nos. 5 y 6, en donde al final del canal el agua llega al dique y erosiona el sector adyacente a su estribo derecho. Se observa, además que existe una fracción considerable del gasto que sigue por el canal y desborda en el lecho del río después del dique. Las líneas de flujo no se desvían lateralmente como en el caso de los caudales menores, causando gran turbulencia en la parte aguas arriba del dique y afectando considerablemente los niveles del agua en la margen derecha. En la figura Nº 12, está representada la geometría del chorro para diversos caudales, en donde puede notarse las longitudes que alcanzan sobre el canal, y los respectivos ángulos de incidencia.

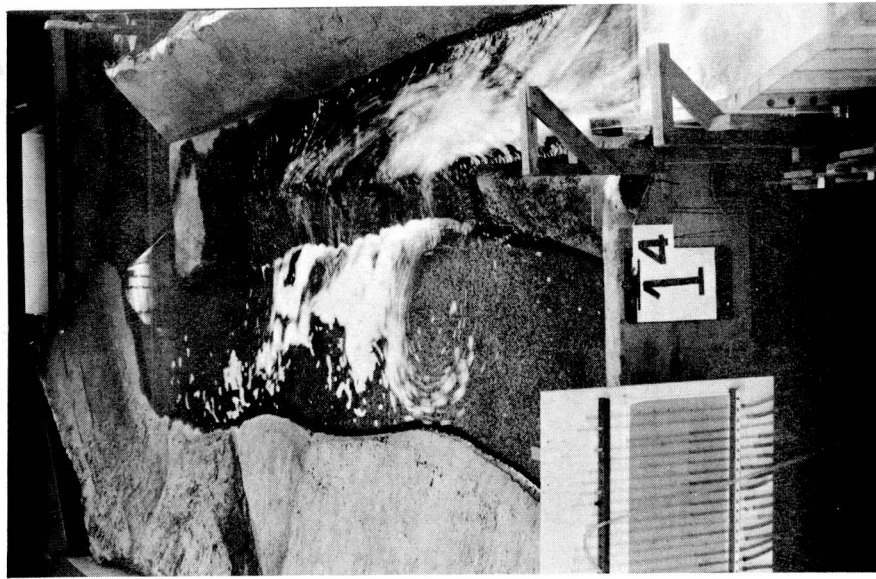
Si bien la magnitud de la erosión en el lecho del río no puede relacionarse con la que se producirá en el prototipo, se puede establecer que la configuración del fenómeno en la realidad será la misma que en el modelo, en cuanto a sus características generales y su ubicación.



ZONAS DE EROSION EN EL LECHO DEL RIO



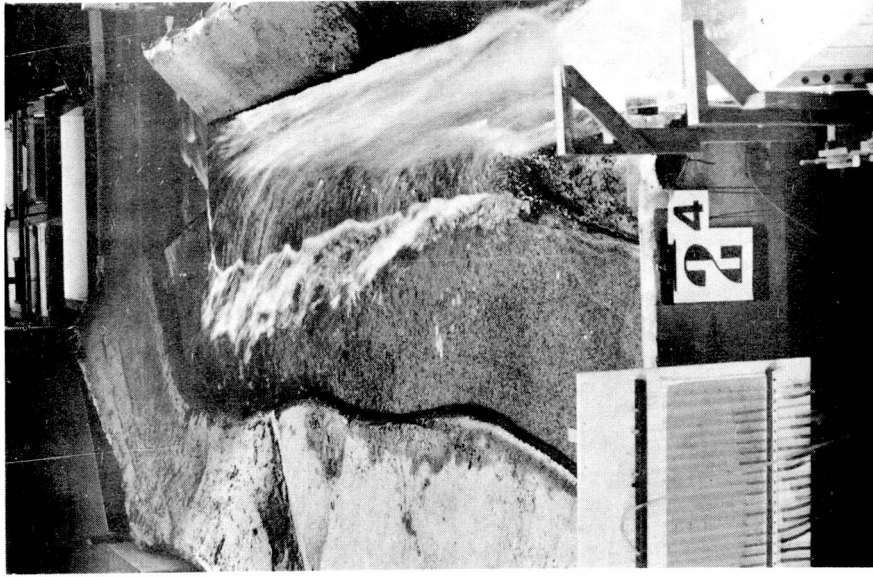
PERFIL DE LA LAMINA SUPERIOR DEL CHORRO PARA DIFERENTES CAUDALES



Fotografía : Nº 1

Caudal : 21 M³/seg.

Frecuencia : 5 años.



Fotografía : Nº 2

Caudal : 52 M³/seg

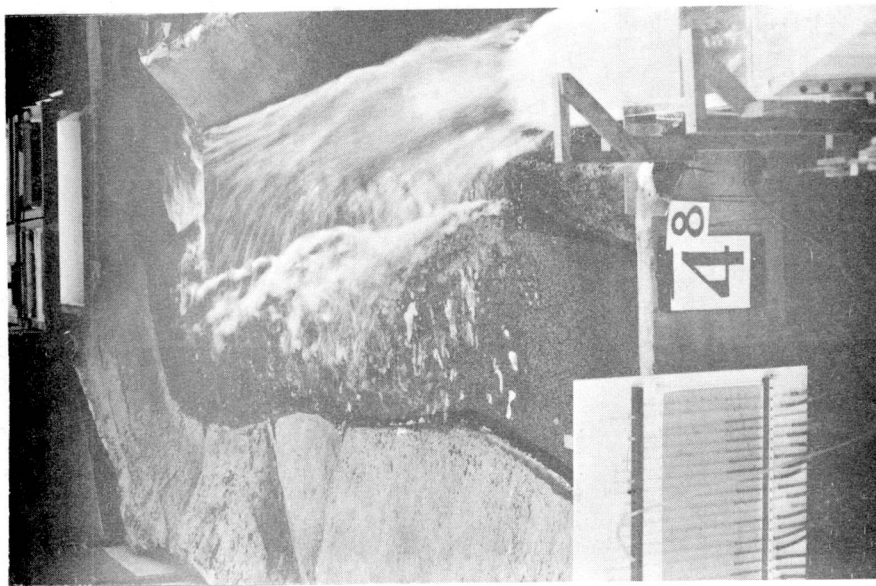
Frecuencia : 10 años



Fotografía : Nº 3

Caudal : 79 M3/seg.

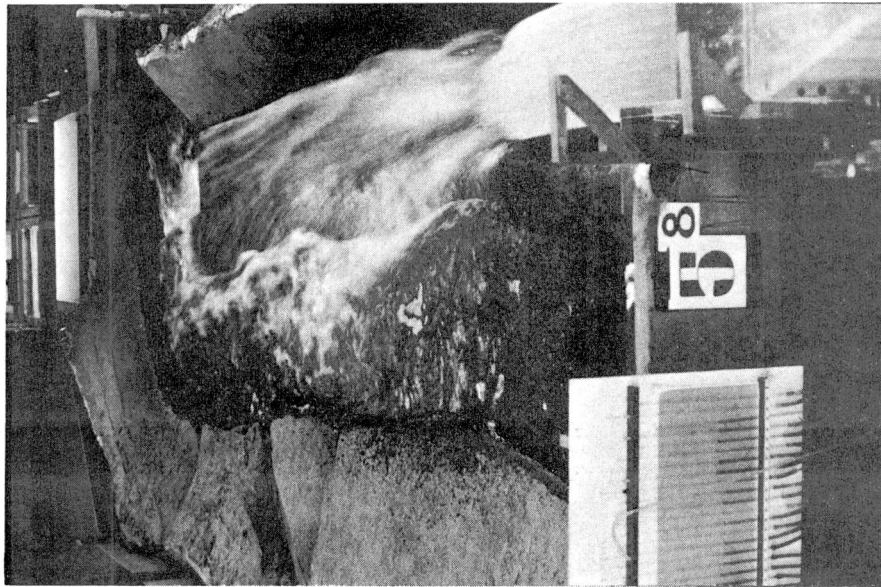
Frecuencia : 25 años



Fotografía : Nº 4

CAUDAL : 106 M3/seg.

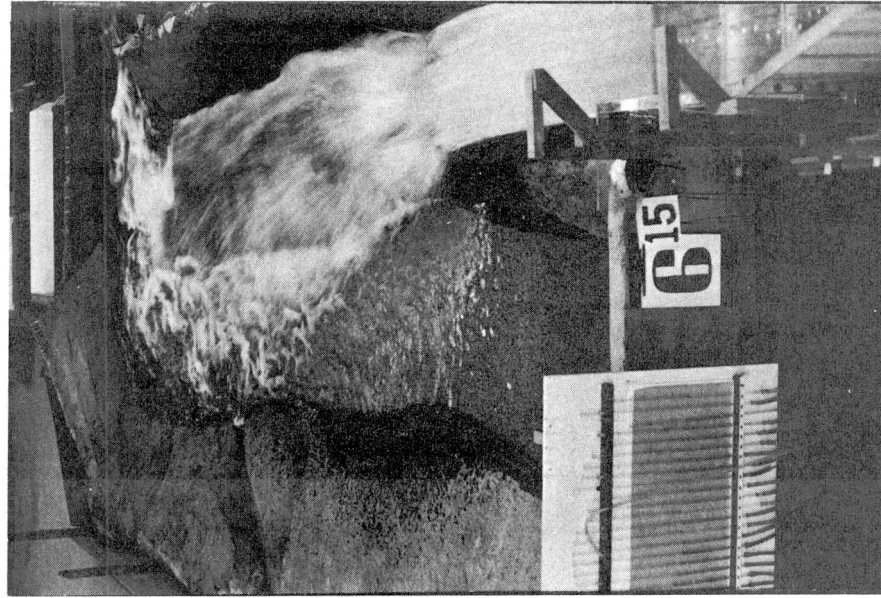
Frecuencia : 50 años



Fotografía : Nº 5

Caudal : 140 M³/seg.

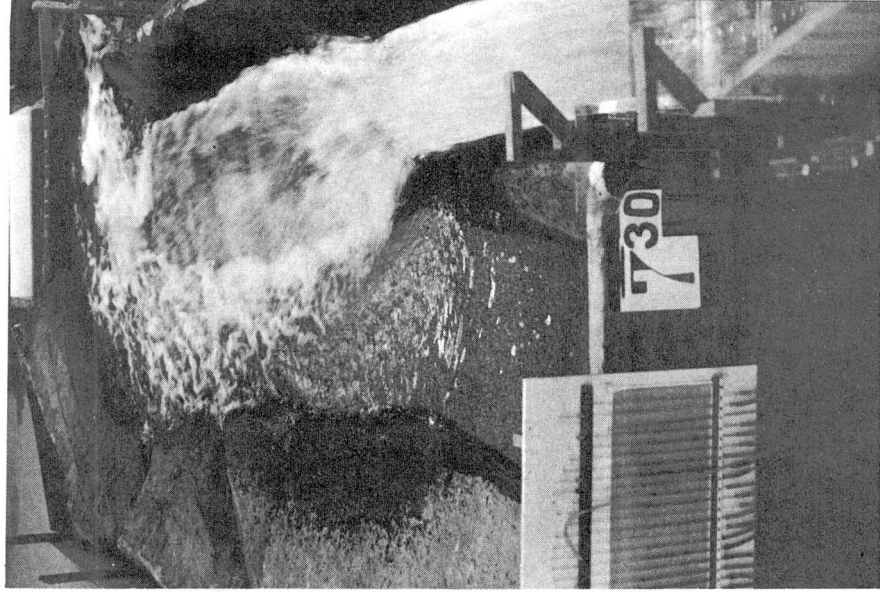
Frecuencia : 100 años.



Fotografía : Nº 6

Caudal : 222 M³/seg.

Frecuencia : 500 años.



Fotografía : Nº 7

Caudal : 332 M³/seg.

Frecuencia : CMP

5. CONCLUSIONES SOBRE LOS ENSAYOS EN EL DISEÑO PRELIMINAR

5.1. Canal de Aproximación y Transición

El comportamiento del flujo en el canal de aproximación y en la transición es satisfactorio. La pequeña variación del radio de curvatura del talud límite de la excavación, eliminó la ocurrencia del tren de vórtices mencionado en la descripción de los ensayos.

5.2. Curva de Caudales del Cimacio

La investigación experimental confirma la curva teórica de caudales del cimacio. Sólo en el rango del gasto máximo se observa una pequeña desviación de los resultados experimentales con relación a los previstos mediante el análisis teórico.

5.3. Condiciones de Presión y Perfil de Agua

El comportamiento del flujo en el cimacio, el canal rápido y el lanzador es satisfactorio en cuanto a la distribución de presiones y a la estabilidad del movimiento. Las presiones negativas del cimacio no llegan a los niveles de vaporización del agua para la temperatura media de la zona. Por otra parte, no se observa desprendimiento de la lámina en la curva vertical parabólica, y las presiones en el lanzador se mantienen dentro de límites aceptables desde el punto de vista del diseño estructural.

5.4. Acción del Flujo de Descarga en el Lecho

Para evaluar la importancia de los efectos aguas abajo se debería conocer el tipo y grado de las modificaciones que se podrían permitir en el lecho del río. Por otra parte, conviene mencionar la existen-

cia de dos circunstancias que no se representan en el modelo:

- La dispersión que tendrá el chorro por atrapamiento de aire.
- La erosión en el sitio de impacto del chorro con el canal excavado que se estima de reducida magnitud, en razón de la calidad de la roca existente.

A continuación se enumeran las principales conclusiones en relación a los efectos del flujo aguas abajo del aliviadero.

5.4.1 Para cualquier caudal, el agua que se encuentra en el lecho del río cercano al paramento aguas abajo de la presa, carece prácticamente de movimiento, lo cual permite concluir que no se producirá socavación en sectores adyacentes a la presa, garantizándose, desde este punto de vista, la estabilidad de la obra.

5.4.2. El flujo se desarrolla paralelamente al estribo derecho del dique existente y podría socavarlo por ambos lados a partir de caudales mayores de 52 M³/seg. aproximadamente, causando tal vez su colapso.

5.4.3. La repartición del flujo a lo largo del canal de descarga es muy irregular, y para gastos grandes sólo una pequeña fracción del caudal se incorpora lateralmente al lecho del río. En consecuencia, sería recomendable modificar la geometría del lanzador a fin de normalizar y orientar el flujo de salida hacia el lecho del río aguas arriba del dique existente.

6. MODIFICACIONES DEL LANZADOR

Con el propósito de normalizar el flujo de descarga del lanzador según las observaciones contenidas en el punto 4.4. de este Informe, se procedió al estudio experimental de diversas alternativas, tomando en consideración los siguientes criterios:

- Para la condición de diseño, los lanzadores no constituyen, en sí mismos, disipadores de energía. Su propósito fundamental es alejar lo más posible de la presa y de su propia estructura, la línea o zona del impacto de la lámina líquida que proviene del canal de alivio.

- La disipación de energía, esencialmente cinética, se inicia por la acción resistente del aire, y se completa, principalmente en el proceso de choque entre la lámina y las condiciones existentes aguas abajo. Por consiguiente, el diseño del lanzador debe asegurar una adecuada dispersión, para hacer más efectiva la acción del aire, y garantizar que la perturbación producida por el impacto, sea aceptable desde el punto de vista de la seguridad de la presa y obras conexas, y de las situaciones provocadas aguas abajo.

- Por alteraciones de la forma del lanzador, la trayectoria de la lámina se modificará tanto como sea necesario, a fin de localizar la zona de impacto en su sitio conveniente. Cuando sea posible, la pendiente

del chorro en el plano de incidencia se seleccionará de forma que las componentes verticales y horizontales de la velocidad originen las condiciones de flujo más aceptables.

- Debido a la acción del aire y a las variaciones de velocidad y profundidad del agua en el plano de salida de los lanzadores, las características de la trayectoria pueden determinarse con suficiente precisión sólo mediante estudios sobre modelo.

- Cuando las superficies del lanzador no pueden expresarse mediante relaciones geométricas simples, se complica el dimensionamiento y construcción del prototipo, a partir del modelo.

- Debe evitarse dentro del lanzador, la construcción de elementos que, aún cuando tiendan a mejorar el funcionamiento general de la estructura, aumentan la posibilidad de ocurrencia de la cavitación, en virtud de la alta velocidad que caracteriza al movimiento correspondiente.

- Debe procurarse que para el gasto máximo con funcionamiento ahogado del lanzador, las velocidades en el plano de salida sean aceptables en relación a las características del material adyacente aguas abajo, para prevenir erosiones localizadas al pie de la estructura.

6.1. Modificaciones Nos. 1, 2, y 3.

En estas alternativas se conservó el alineamiento recto de los muros del lanzador y se modificó el fondo del canal como se indica en

las figuras (13) (14) y (15). Realizados los ensayos, se verificó que las características del flujo no respondían a los objetivos y criterios propuestos en cuanto a las situaciones producidas aguas abajo. Efectivamente, para los mayores gastos, una parte considerable se incorporaba al lecho del río aguas abajo del dique existente y se sometía el talud derecho del terreno, adyacente al lanzador, a la acción erosiva de la lámina. En consecuencia estas soluciones fueron descartadas.

6.2. Modificaciones Nos. 4 y 5

La característica común de estas alternativas fué la desviación del lanzador con respecto al eje del canal de alivio. La modificación N° 4, que se muestra en la figura (16) fué descartada, en razón que se mantenía el flujo en condición de ahogamiento para un gasto demasiado grande (aproximadamente 60 M3/seg.) y la incorporación al terreno adyacente se realizaba con velocidades inadmisibles. La geometría de la modificación N° 5 (Ver figura N° 17), estaba definida de la forma siguiente:

- Fondo circular peraltado, ángulo de lanzamiento en el extremo izquierdo de 20° y ángulo de salida en el extremo derecho de 35°.
- Ancho aproximadamente constante e igual a 10 mts.
- Pared derecha circular con un ángulo de convergencia de 16° con respecto al eje del canal.

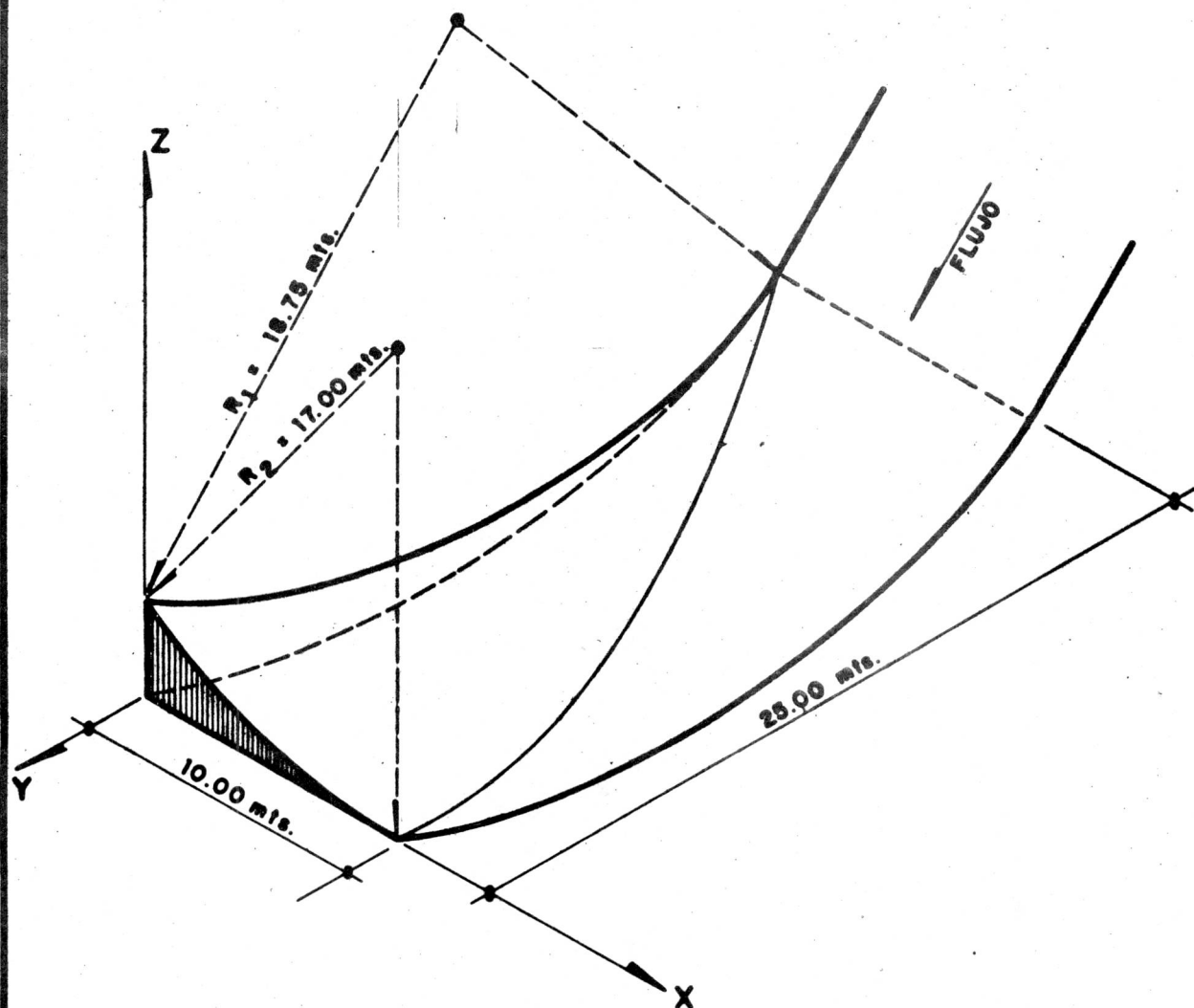
- Pared izquierda circular con un ángulo de divergencia de 16° .

6.2.1. Las características de su funcionamiento se resumen en las observaciones que se establecen a continuación:

- Con esta variante se logra efectivamente alejar el chorro del talud y confinar la zona de impacto en el lecho del río, para gasto máximo. Se nota, sin embargo, que la divergencia de la pared izquierda, con respecto a la dirección del flujo de aproximación, ocasiona un sector de baja velocidad, a la izquierda del plano de salida, y una zona de alta velocidad, y por lo tanto de congestionamiento de gasto en el sector adyacente a la pared derecha. En resumen, la distribución de velocidades resulta completamente asimétrica con relación al eje del plano de salida.
- Si bien es cierto que para el gasto máximo, la distribución asimétrica de la velocidad no tiene relevancia, puesto que la velocidad es suficientemente alta según la arista de salida del lanzador como para que la zona de impacto esté confinada al lecho del río; sin embargo, para gastos bajos, la línea de choque de la lámina se acerca peligrosamente a la estructura del lanzador por su sector izquierdo.
- La forma del fondo del lanzador, caracterizada por pronunciadas curvaturas, da origen a un funcionamiento inadecuado para gastos reducidos, puesto que, producido el ahogamiento para un gasto aproximado de

35 M3/seg., el movimiento de incorporación al lecho se verifica según el extremo izquierdo, cuyo vértice actúa como un vertedero triangular, originándose velocidades de salida inaceptables desde el punto de vista de la estabilidad de la estructura.

- En resumen, para los mayores gastos, con las modificaciones introducidas, se confina la zona de impacto al lecho del río y los límites del área socavada se mantienen considerablemente alejados de la presa, pero tienen como consecuencia un comportamiento poco satisfactorio del lanzador para los gastos menores.

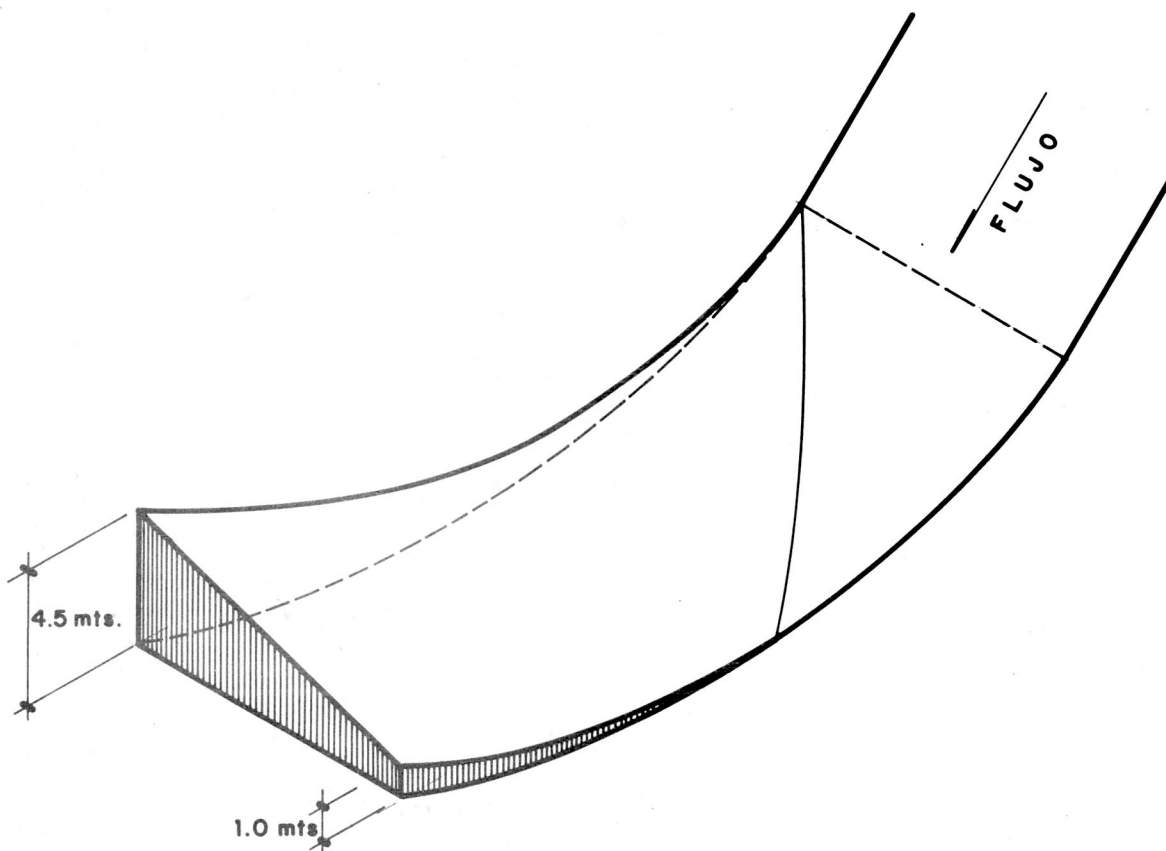


NOTA :

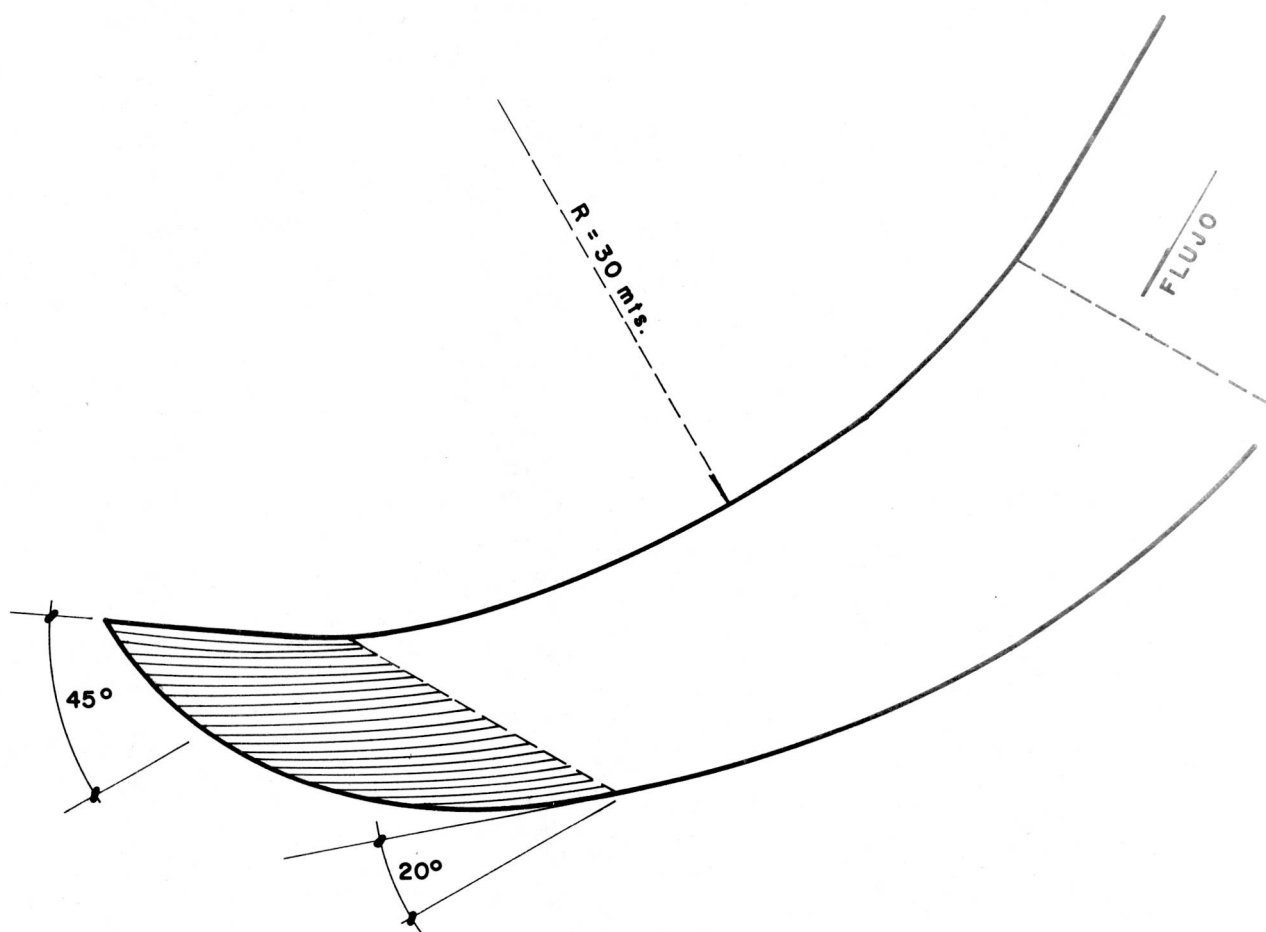
EL RADIO R_1 ESTA CONTENIDO EN EL PLANO ZY
EL RADIO R_2 EN EL PLANO XZ

ESQUEMA DE LA MODIFICACION N° 1

SIN ESCALA



ESQUEMA DE LA MODIFICACION N° 2
SIN ESCALA

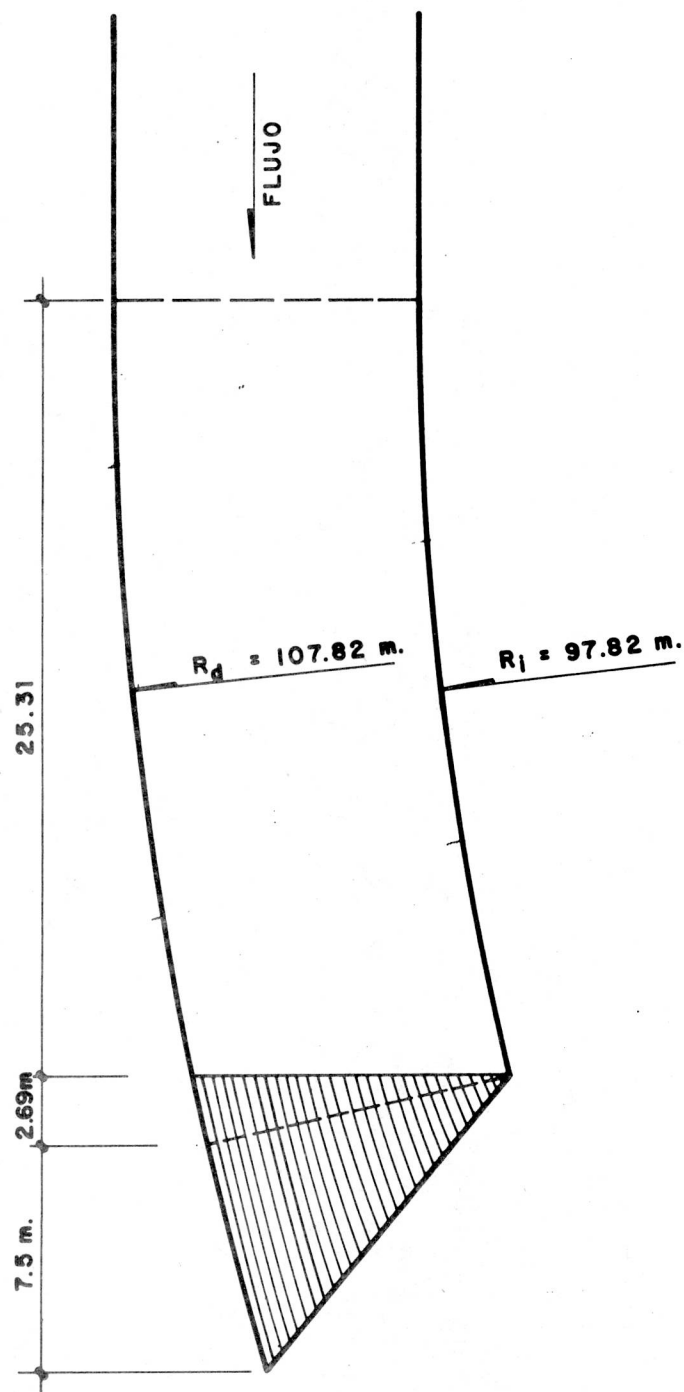


NOTA

ANGULO DE LANZAMIENTO VARIABLE ENTRE 20° EN LA ESQUINA IZQUIERDA Y 45° EN LA DERECHA

ESQUEMA DE LA MODIFICACION N° 3

SIN ESCALA

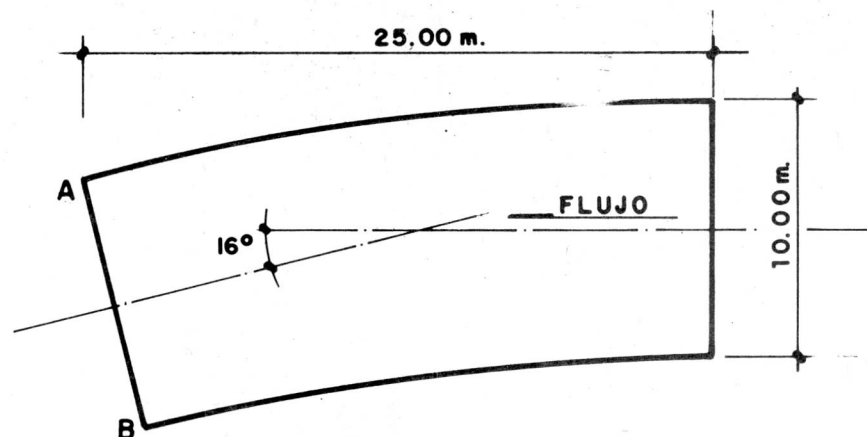


NOTA :

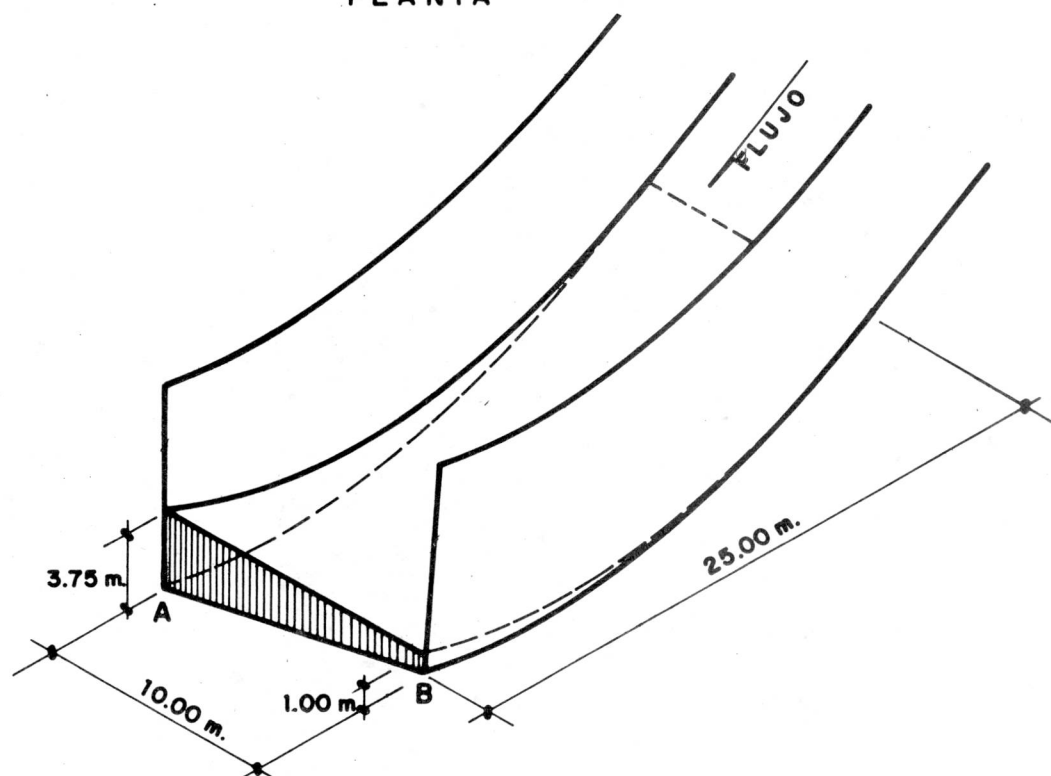
SALIDA DEL LANZADOR DESVIADA 16° CON RESPECTO AL EJE DEL CANAL DE ALIVIO. FONDO SIN PERALTE Y ANGULO DE LANZAMIENTO VARIABLE ENTRE 20° (ESQUINA IZQUIERDA) Y 35° (ESQUINA DERECHA)

PLANTA DE LA MODIFICACION N° 4

SIN ESCALA



PLANTA



ISOMETRIA

NOTA :

SALIDA DEL LANZADOR DESVIADA 16° CON RESPECTO AL EJE DEL CANAL DE ALIVIO. PERALTE EQUIVALENTE A UNA VARIACION DEL ANGULO DE LANZAMIENTO DE 20° (ESQUINA IZQUIERDA) A 35° (ESQUINA DERECHA)

ESQUEMA DE LA MODIFICACION N° 5

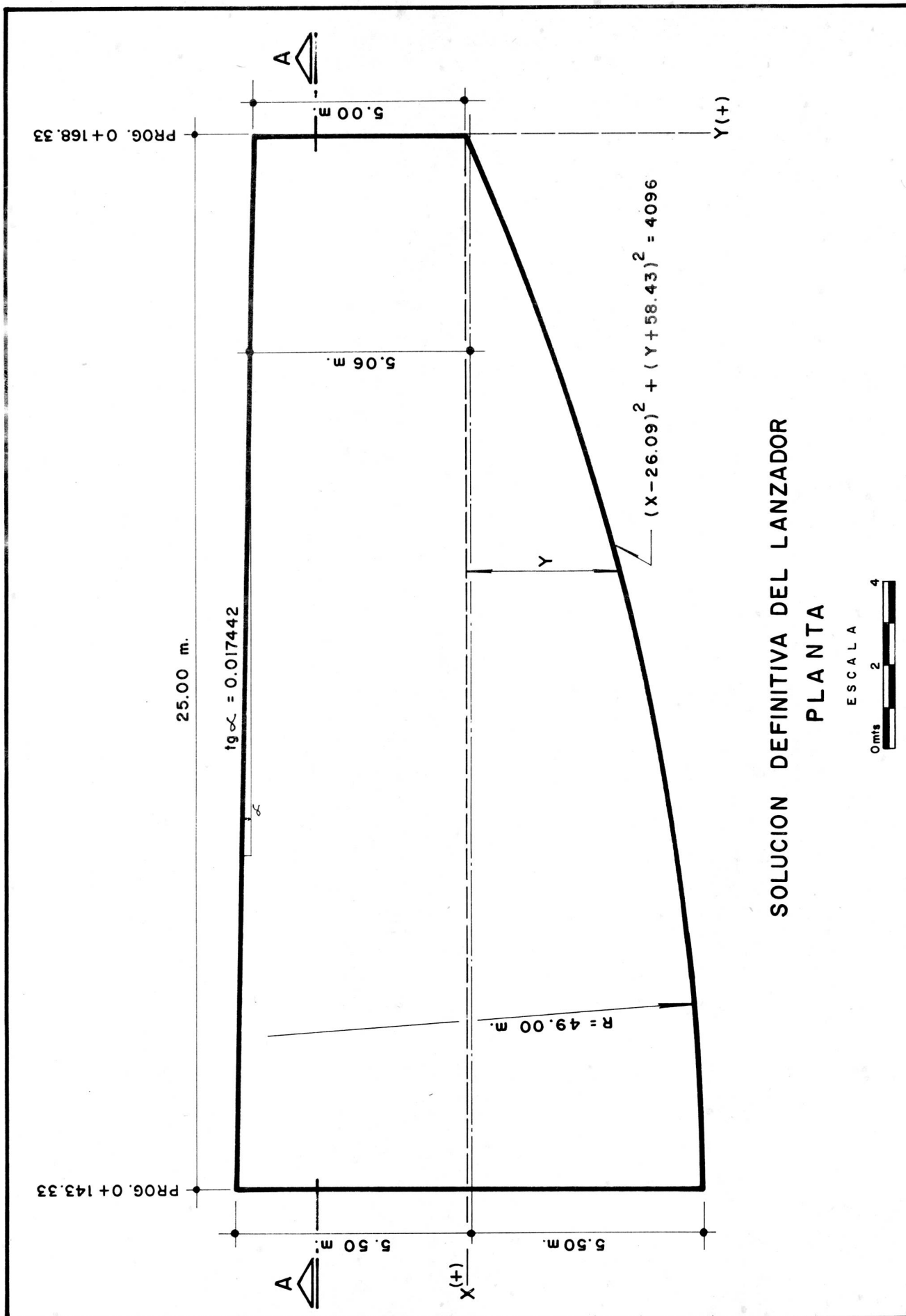
SIN ESCALA

7. GEOMETRIA DEFINITIVA DEL LANZADOR

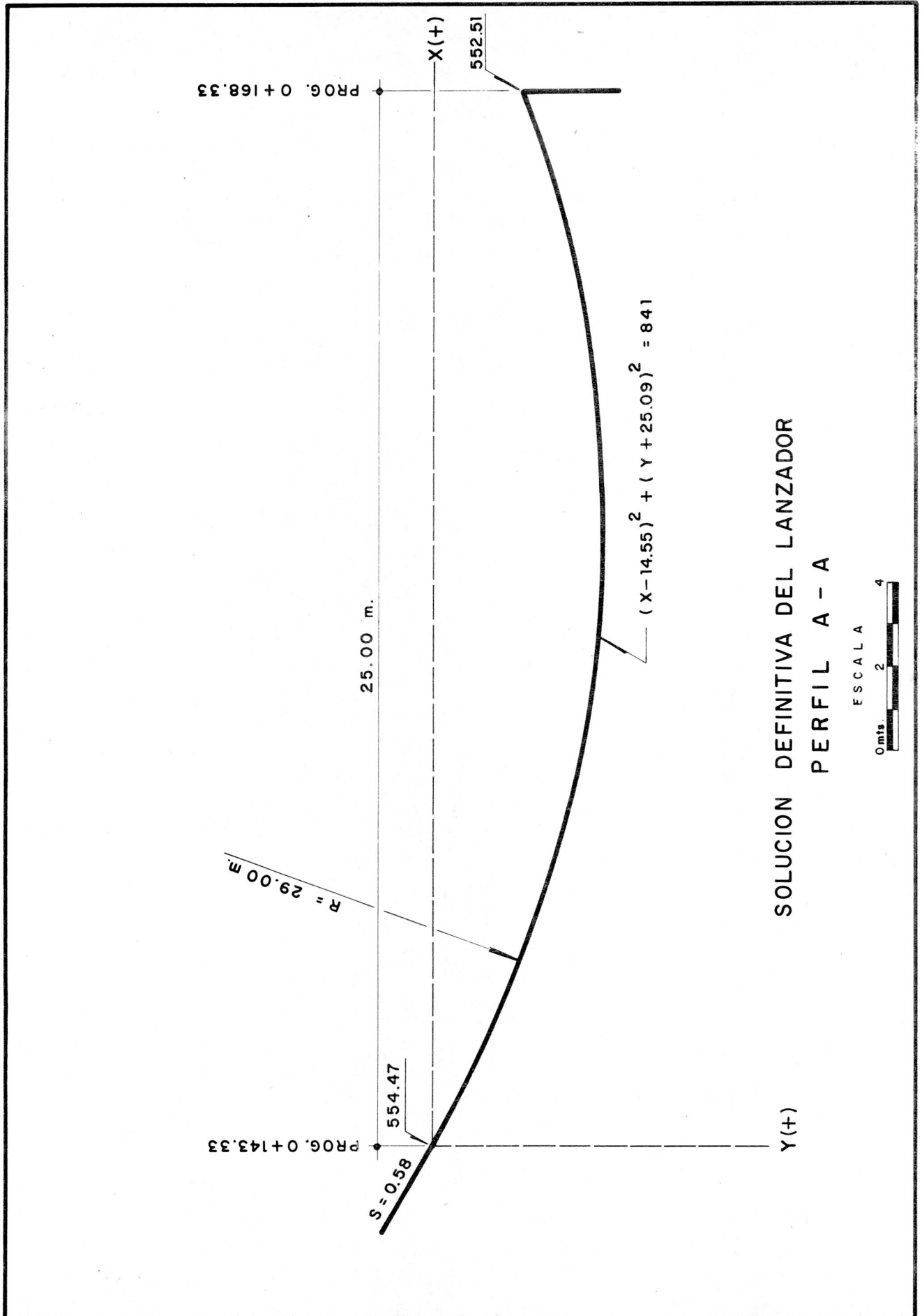
El comportamiento hidráulico de la modificación Nº 6 fué considerado satisfactorio y se adoptó como solución definitiva para el lanzador del aliviadero de la presa. Su forma se presenta en las figuras Nos. (18) y (19), y a continuación se indican las principales hidráulicas y geométricas de esta alternativa:

- El muro lateral izquierdo es recto y con el mismo grado de convergencia que las paredes del canal de aproximación. El radio de curvatura seleccionado para el muro lateral derecho hace posible la desviación del chorro del talud natural, y, conjuntamente con el efecto de lanzamiento, determinan, para los gastos mayores, una zona de impacto localizada en un sector del lecho del río, convenientemente alejado de la presa.
- Las dimensiones de la sección de salida y la dirección del flujo de aproximación logran el efecto de uniformizar la distribución de las velocidades hasta tal grado que la línea de impacto de la lámina para los gastos medianos se ubica suficientemente alejada del pié de la estructura y en el estrato rocoso de la excavación aguas abajo. El ángulo de lanzamiento es constante e igual a 21° y la arista de fondo en la salida es horizontal. En consecuencia, se corrige el flujo irregular de incorporación al lecho para los gastos de ahogamiento, cuyo máximo es del orden de 28 M³/seg. Para este caudal las velocidades en el canal excavado aguas abajo varían entre 2.5 m/s y 3 m/s, estimándolas aceptables en razón de la naturaleza geológica del material adyacente a la estructura.

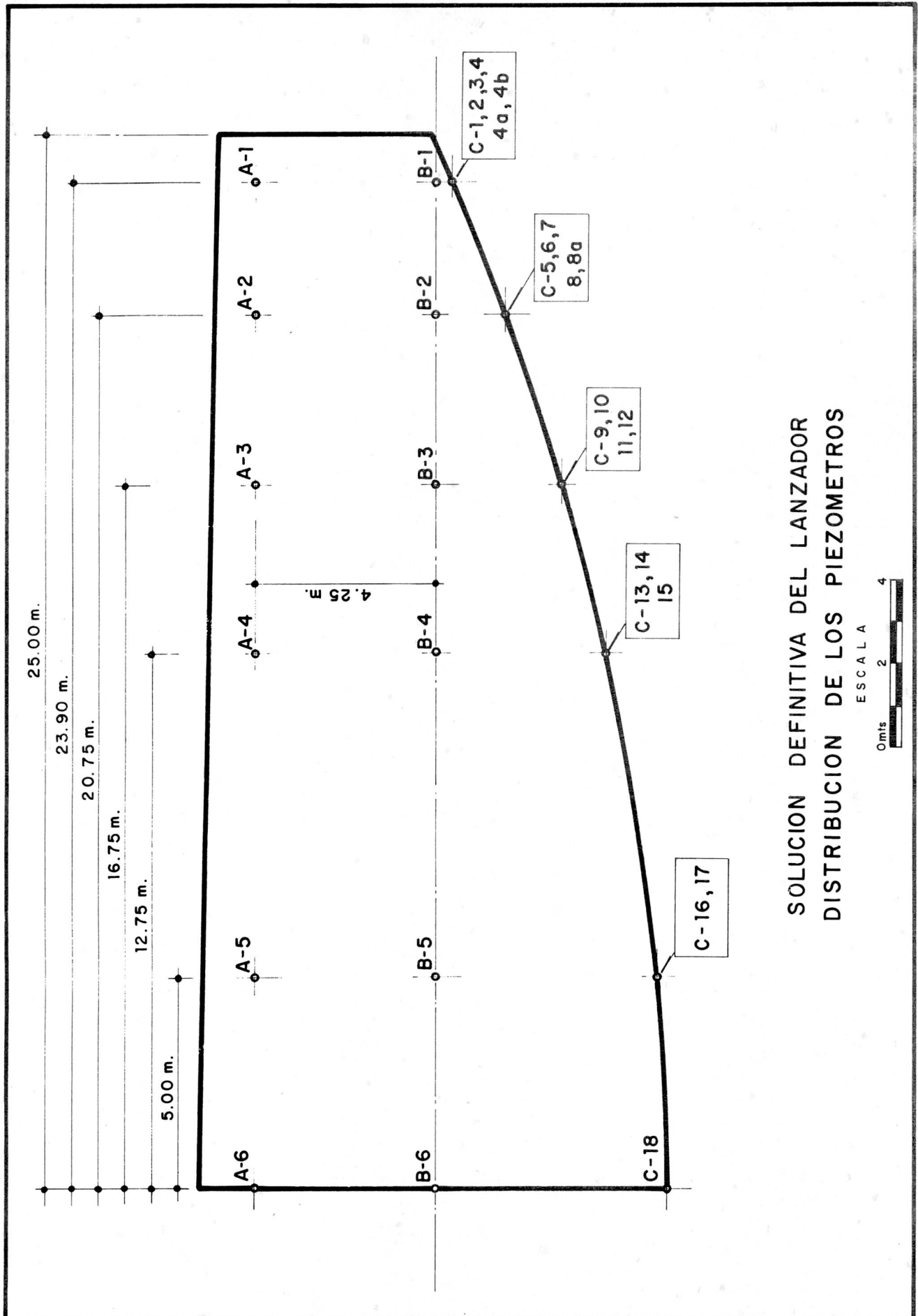
- Para ningún caudal se observa movimiento del agua en el lecho del río y hacia arriba del lanzador, estimándose, por consiguiente que la socavación será prácticamente nula en las zonas próximas a la presa.
- La forma del lanzador resulta expresable mediante relaciones geométricas sencillas, como se indica en las figuras Nos. (18) y (19), lo cual facilitó el dimensionamiento del prototipo a partir del modelo y simplificará el proceso de construcción de la estructura.
Se incluye en la figura Nº 35 un plano de conjunto del aliviadero, elaborado por el proyectista, incorporando las modificaciones propuestas por el Laboratorio.
- En las figuras Nos. (21 a 34), se presentan las curvas de distribución de alturas de presión según el fondo del lanzador, así como también los perfiles del agua. De tales gráficos podrá observarse que los rangos de la presión se mantienen dentro de límites razonables en relación al diseño estructural del lanzador. En la tabla Nº 3, se muestran las alturas de presión según diversas generatrices del muro lateral derecho.
- Las condiciones de flujo en el lanzador para diversos caudales de trabajo se muestran en las fotografías Nos. 1 a 7 de la solución definitiva.



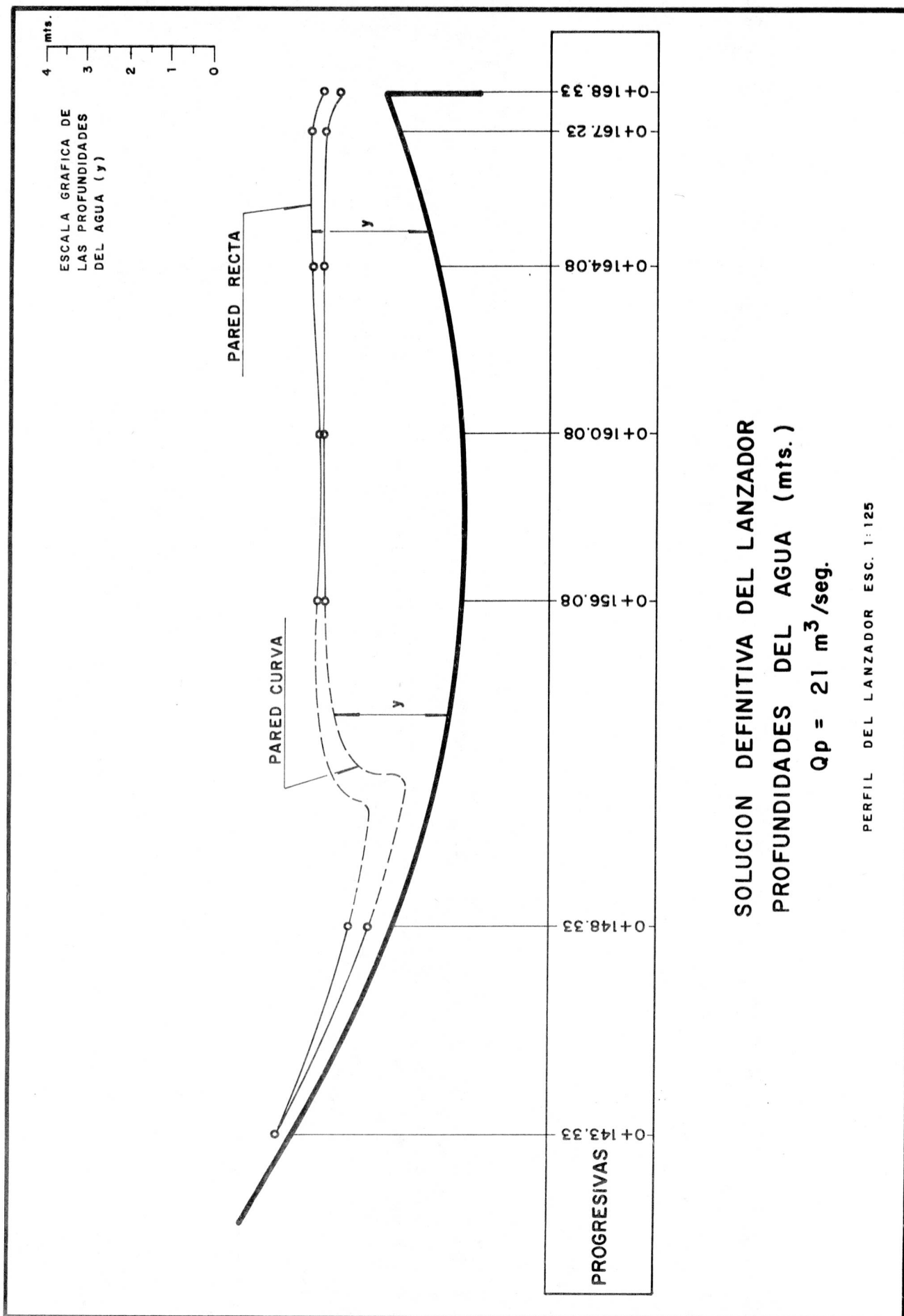
SOLUCION DEFINITIVA DEL LANZADOR
PLANTA

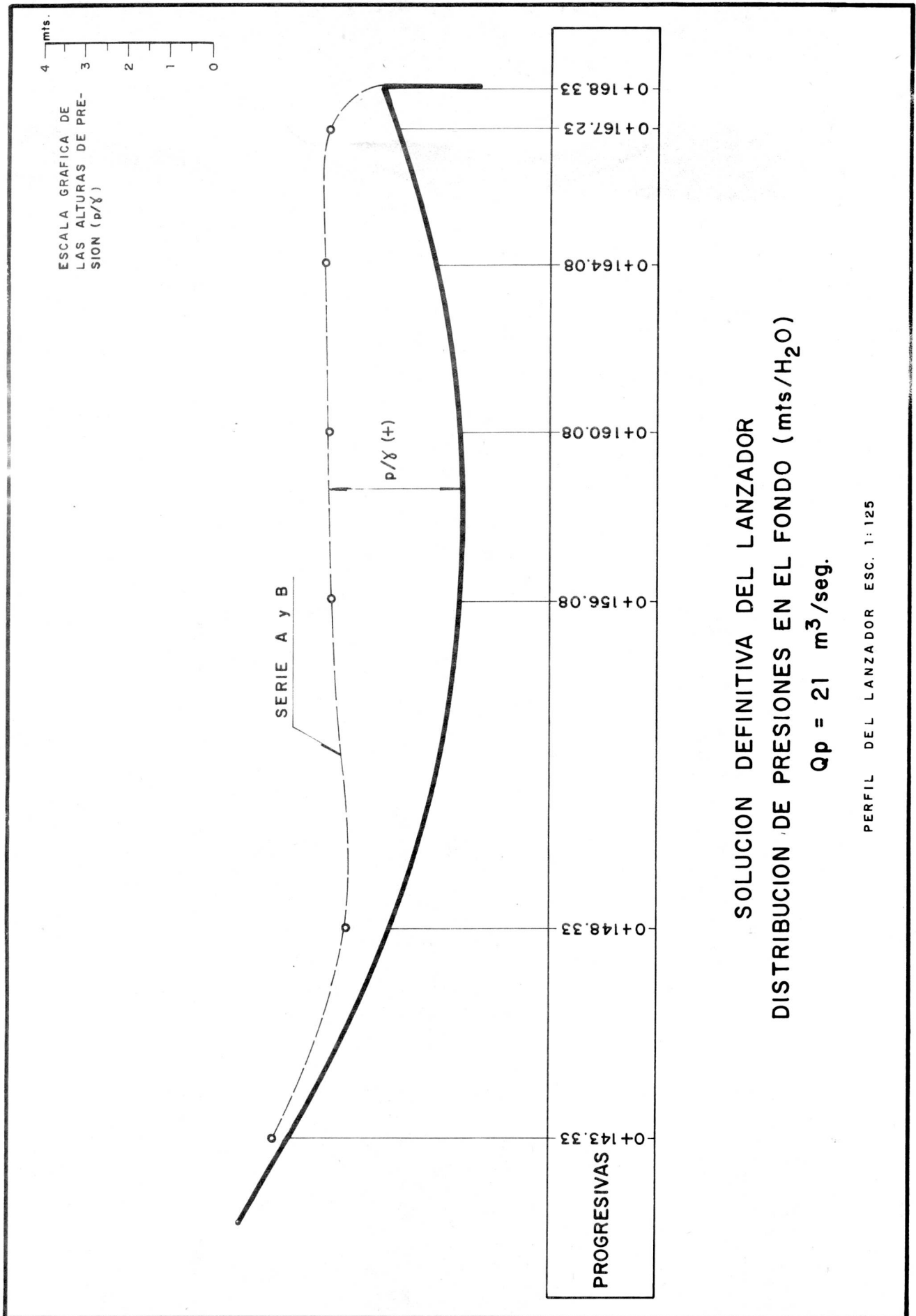


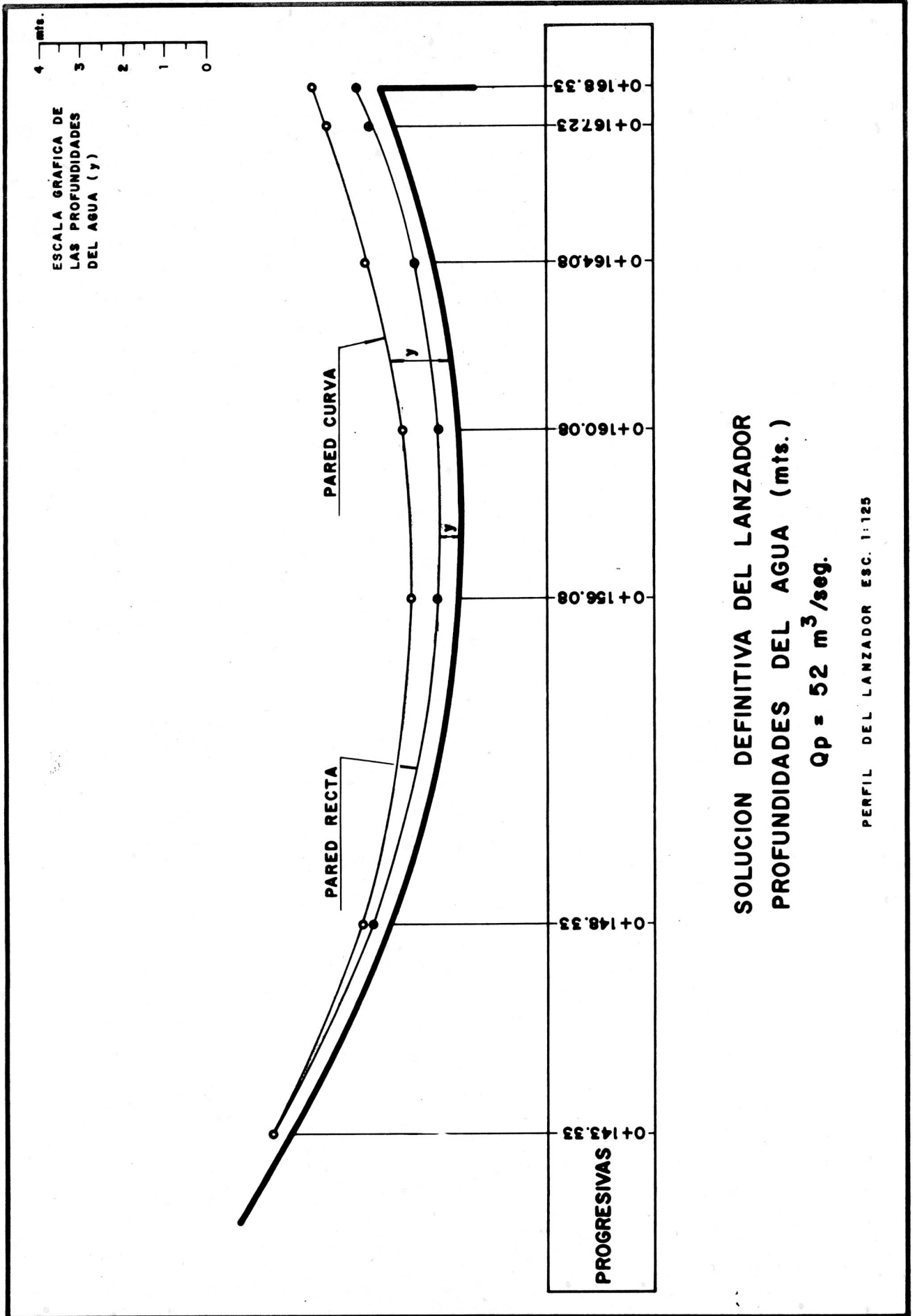
SOLUCION DEFINITIVA DEL LANZADOR
PERFIL A - A

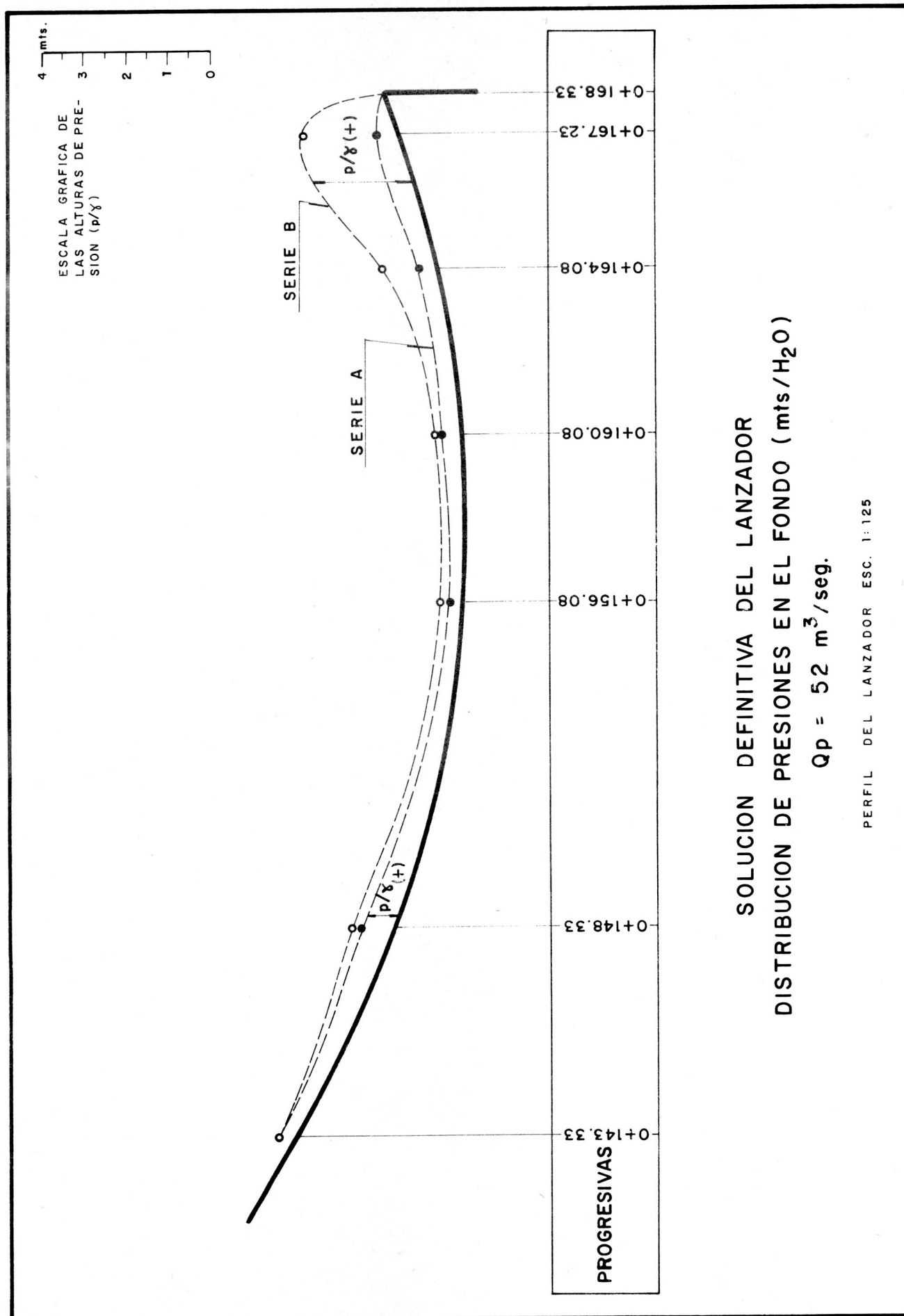


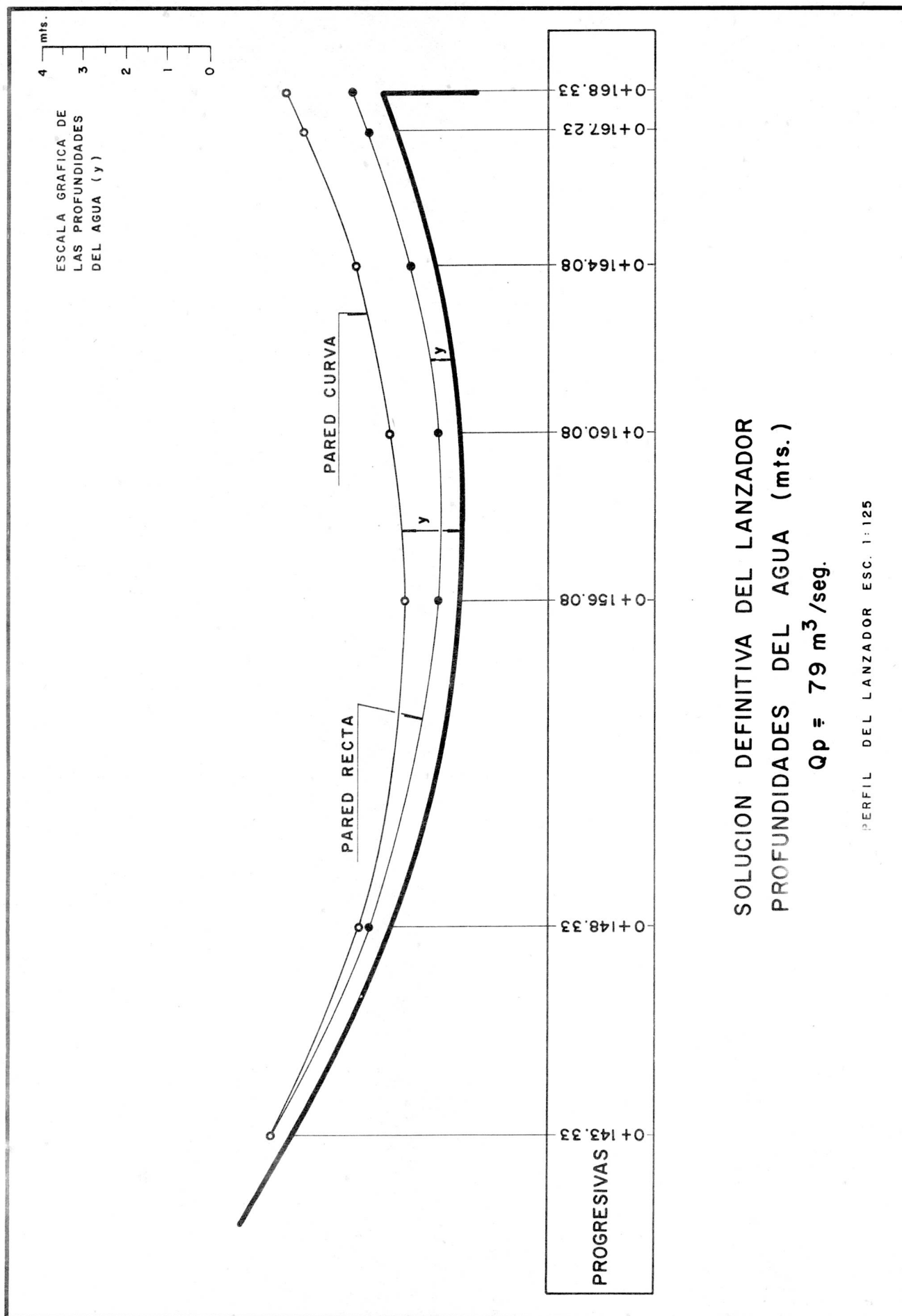
SOLUCION DEFINITIVA DEL LANZADOR
DISTRIBUCION DE LOS PIEZOMETROS

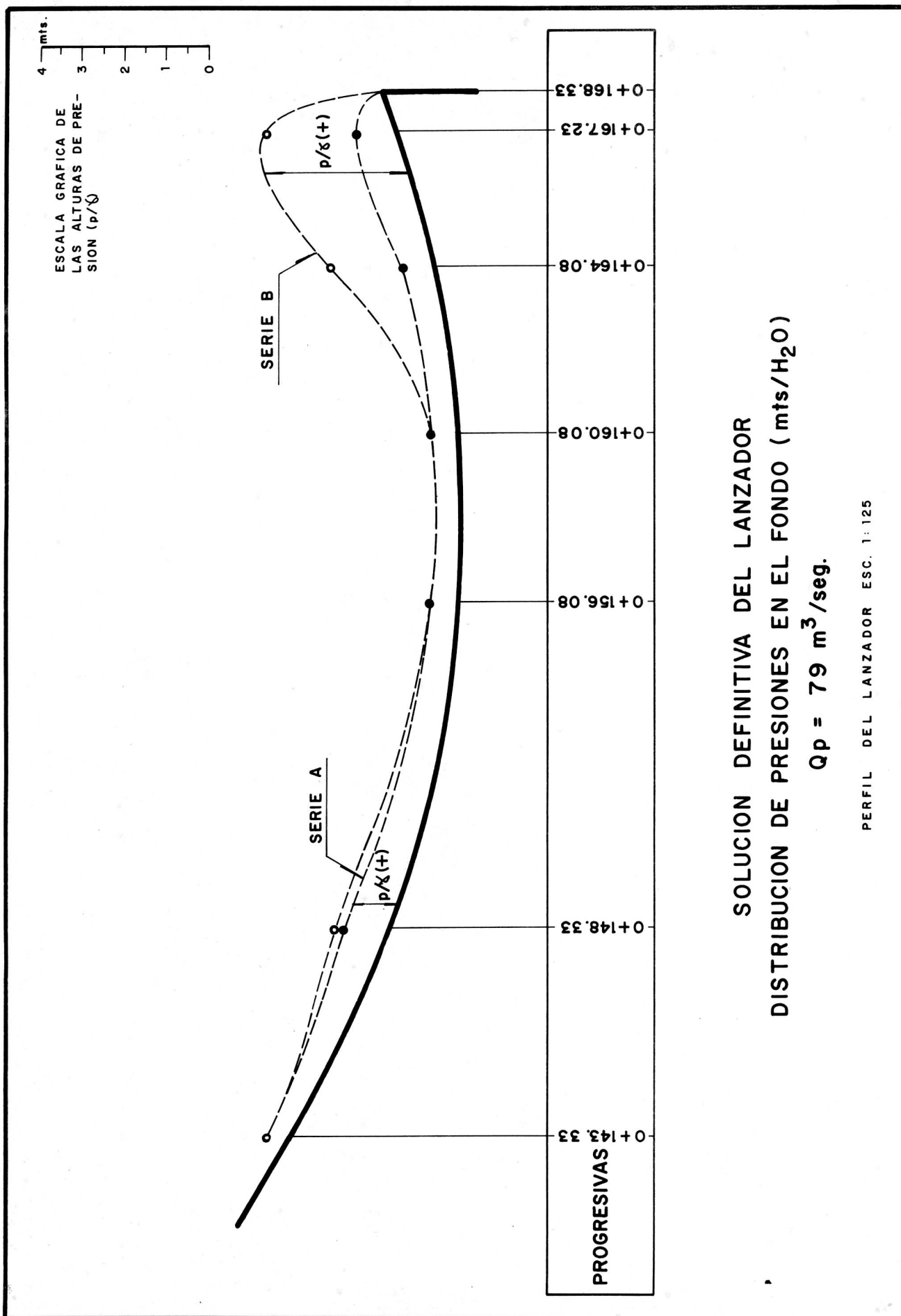


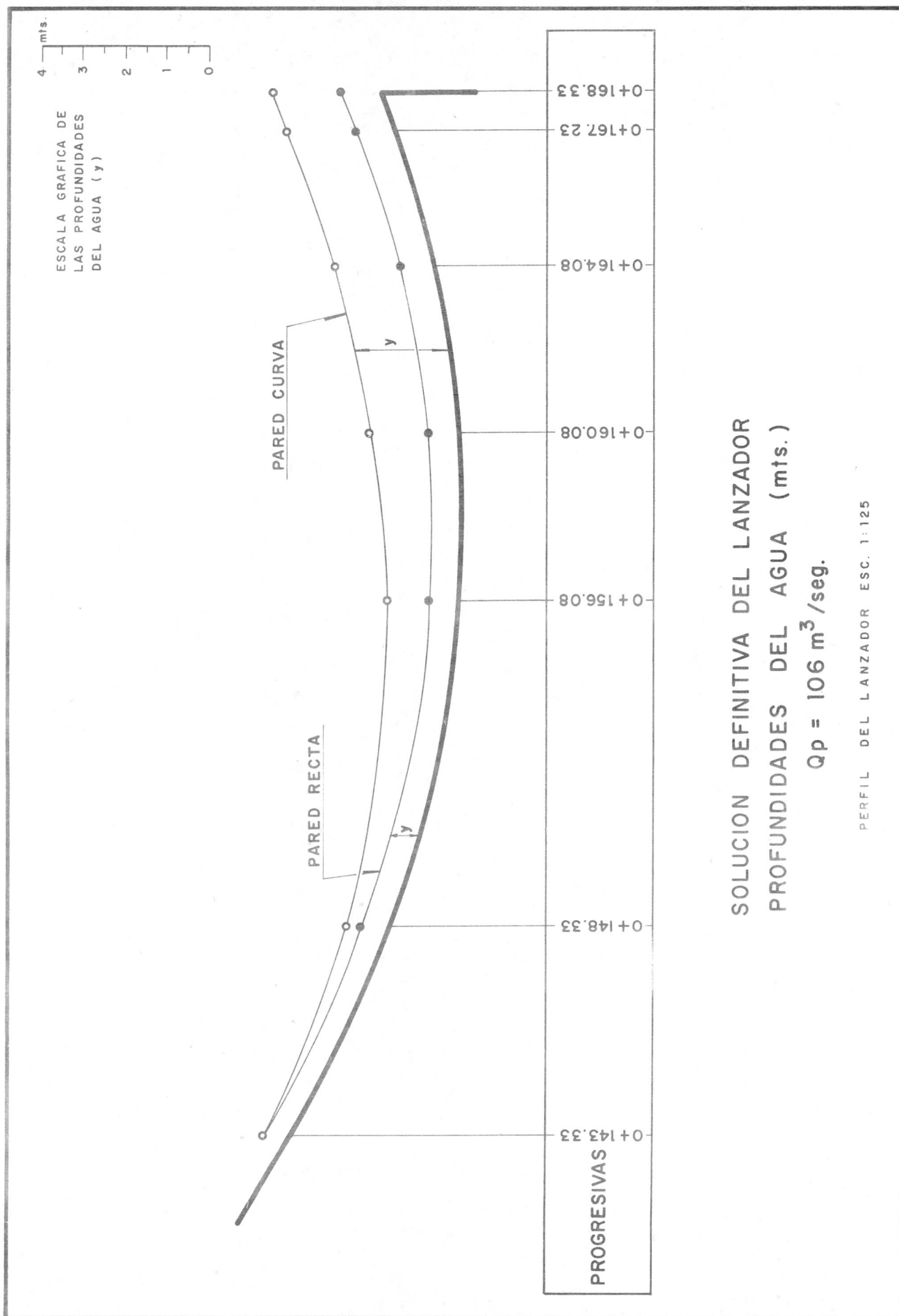


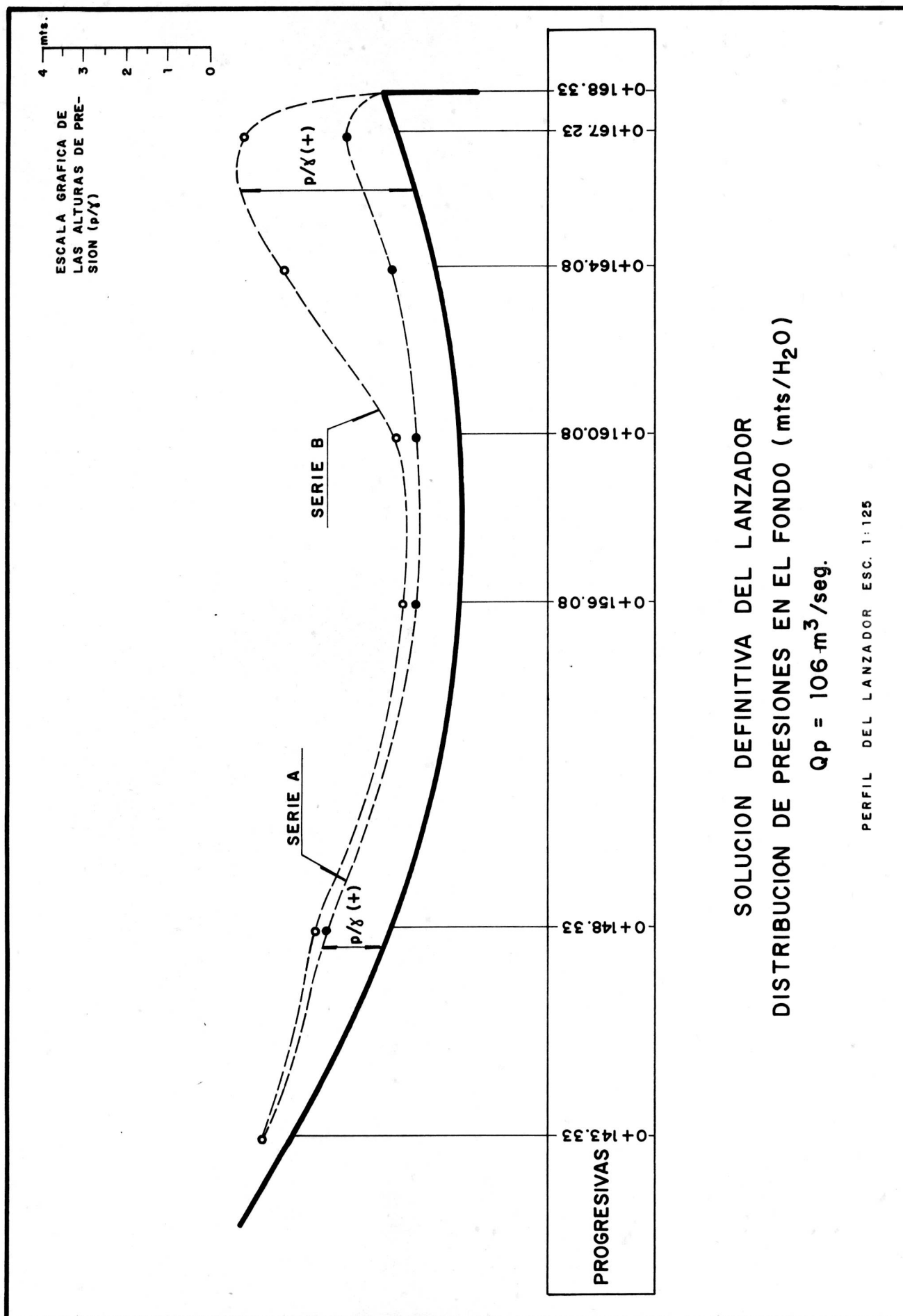


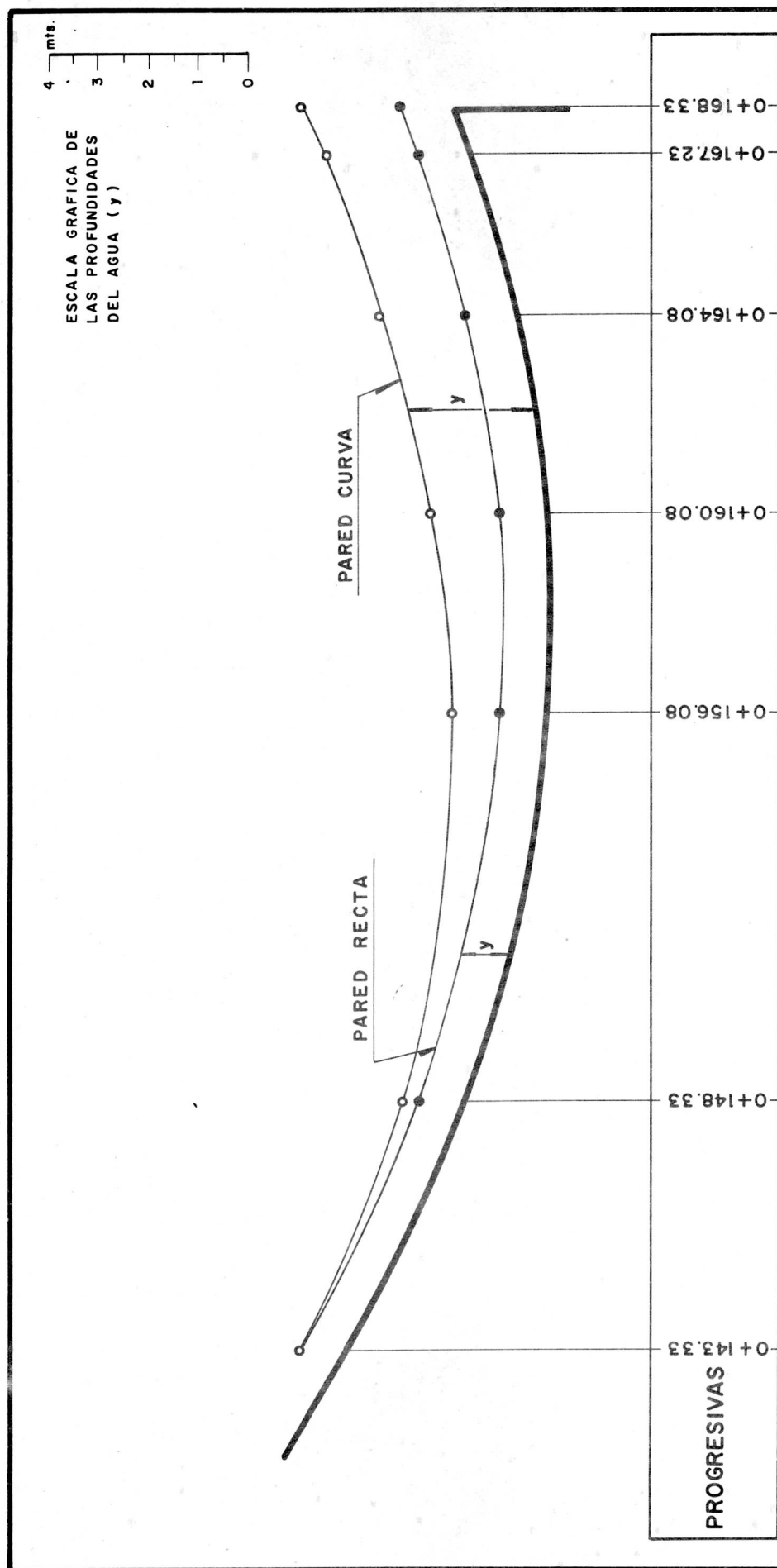








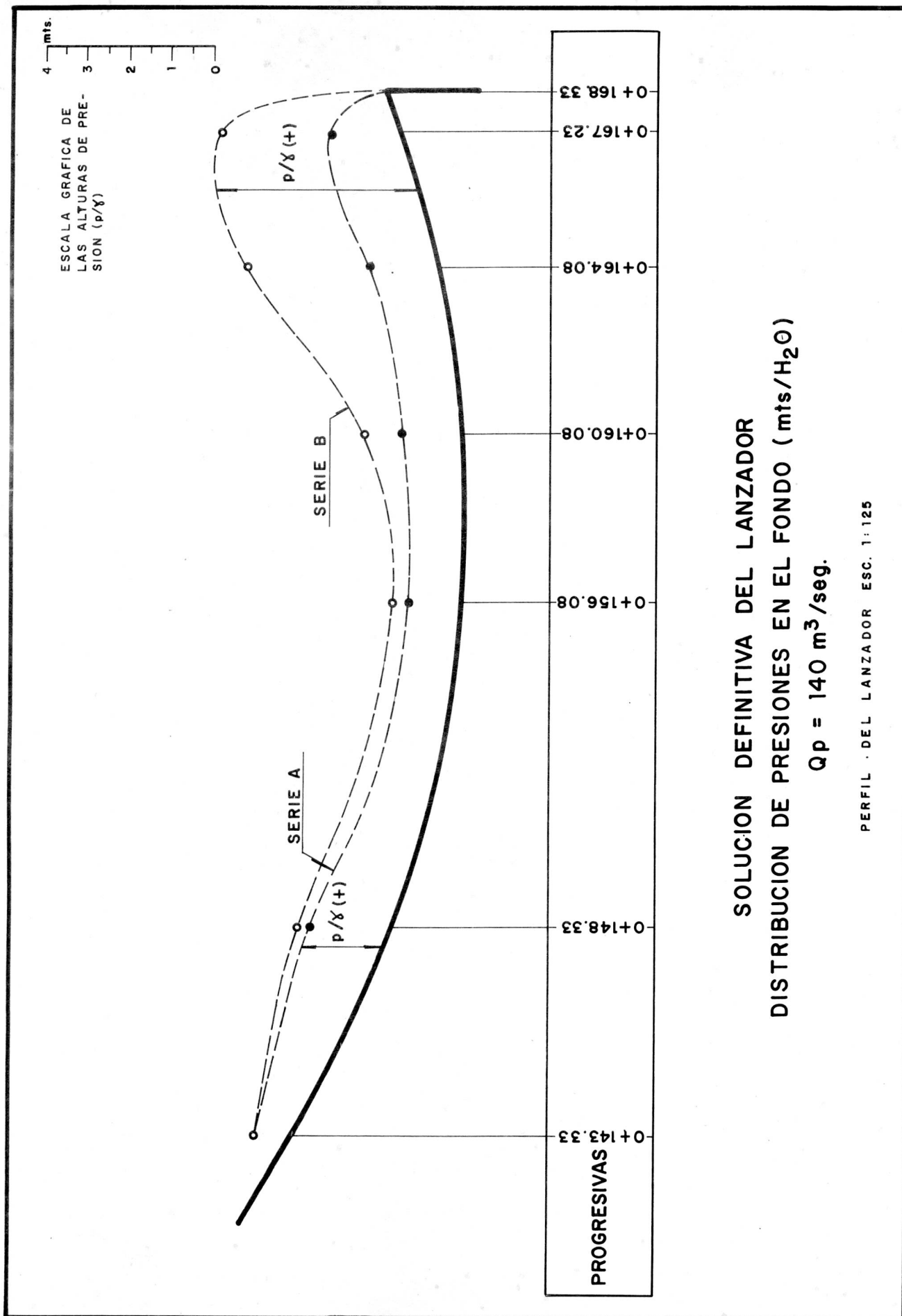


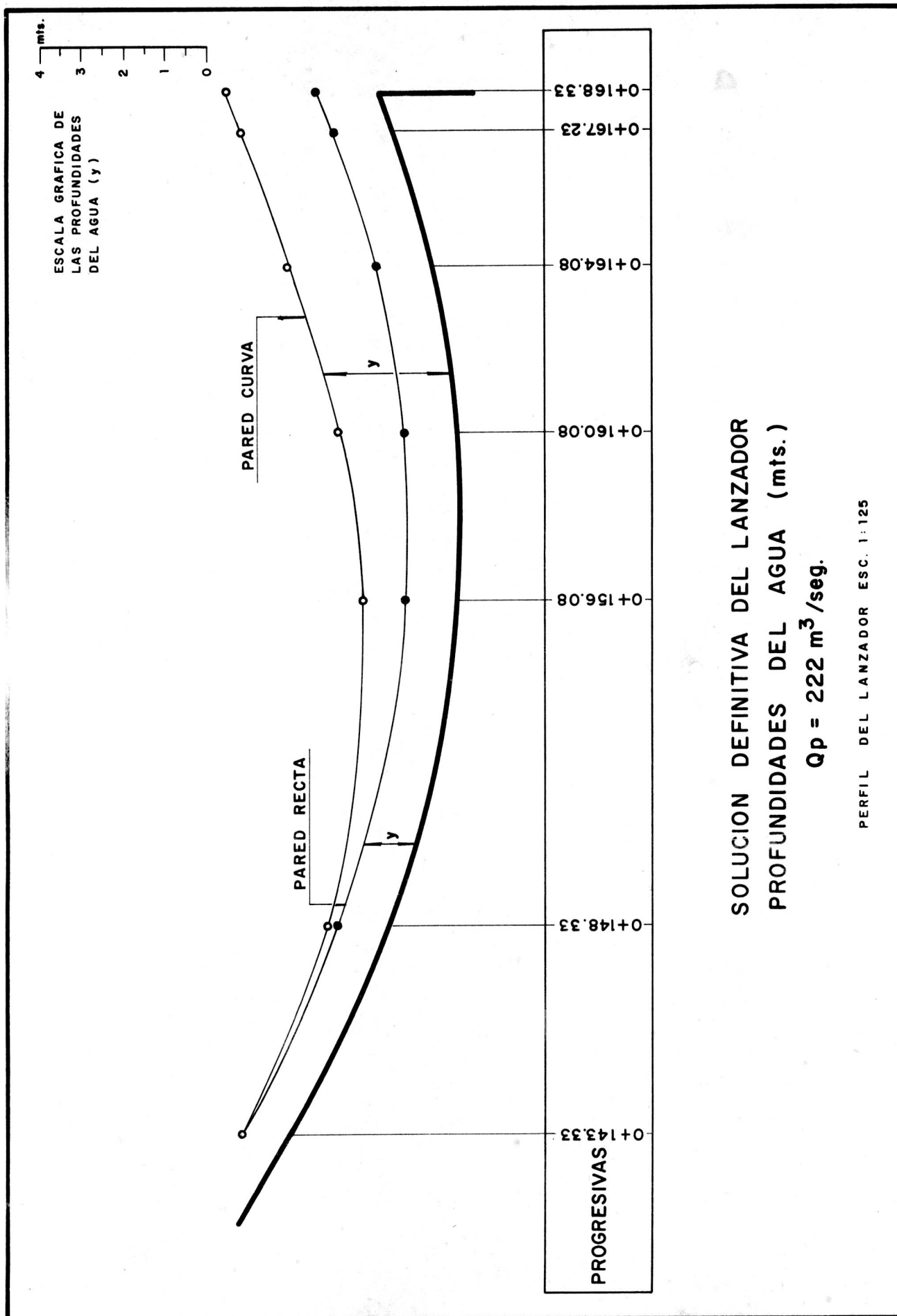


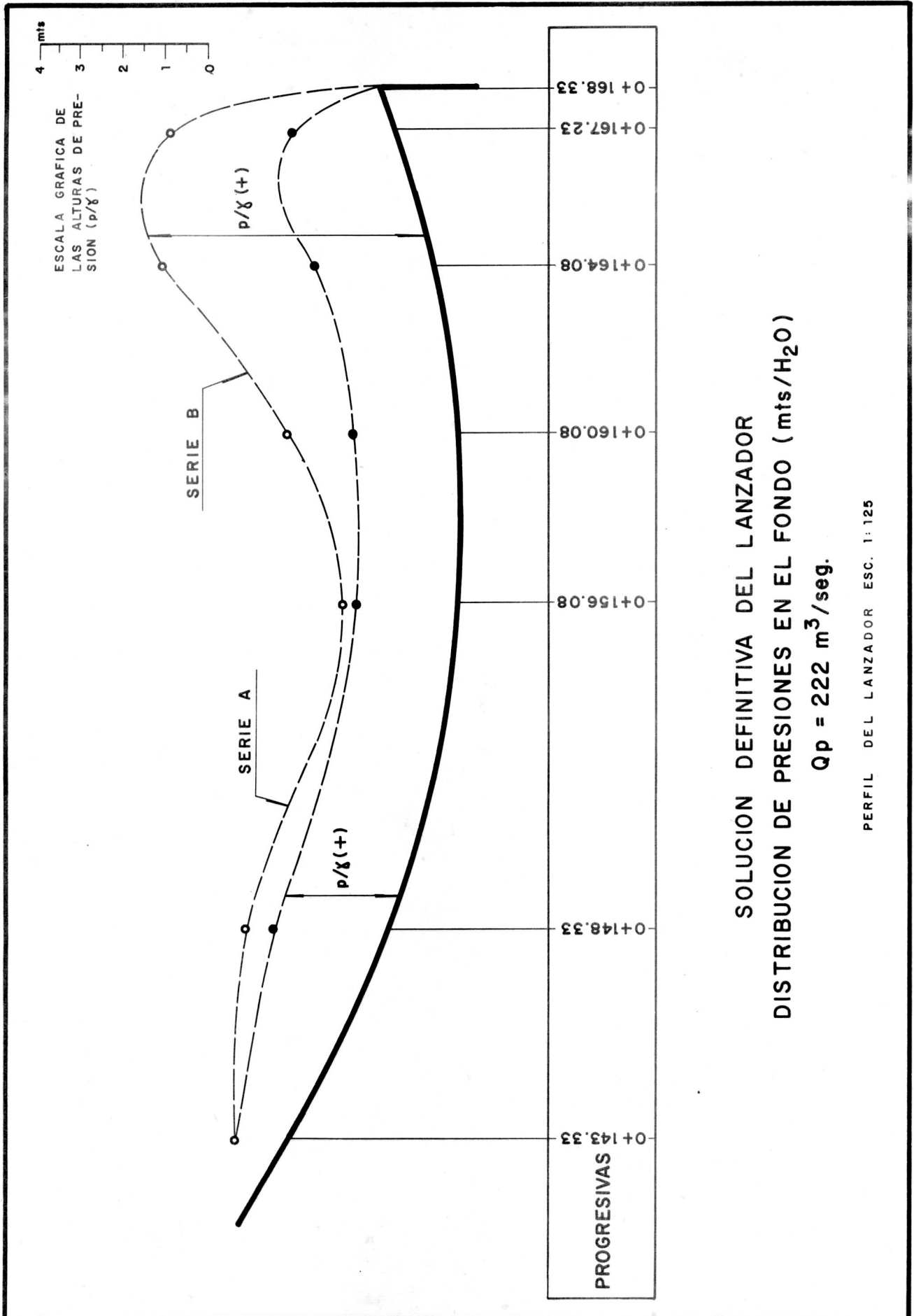
SOLUCION DEFINITIVA DEL LANZADOR
 PROFUNDIDADES DEL AGUA (mts.)

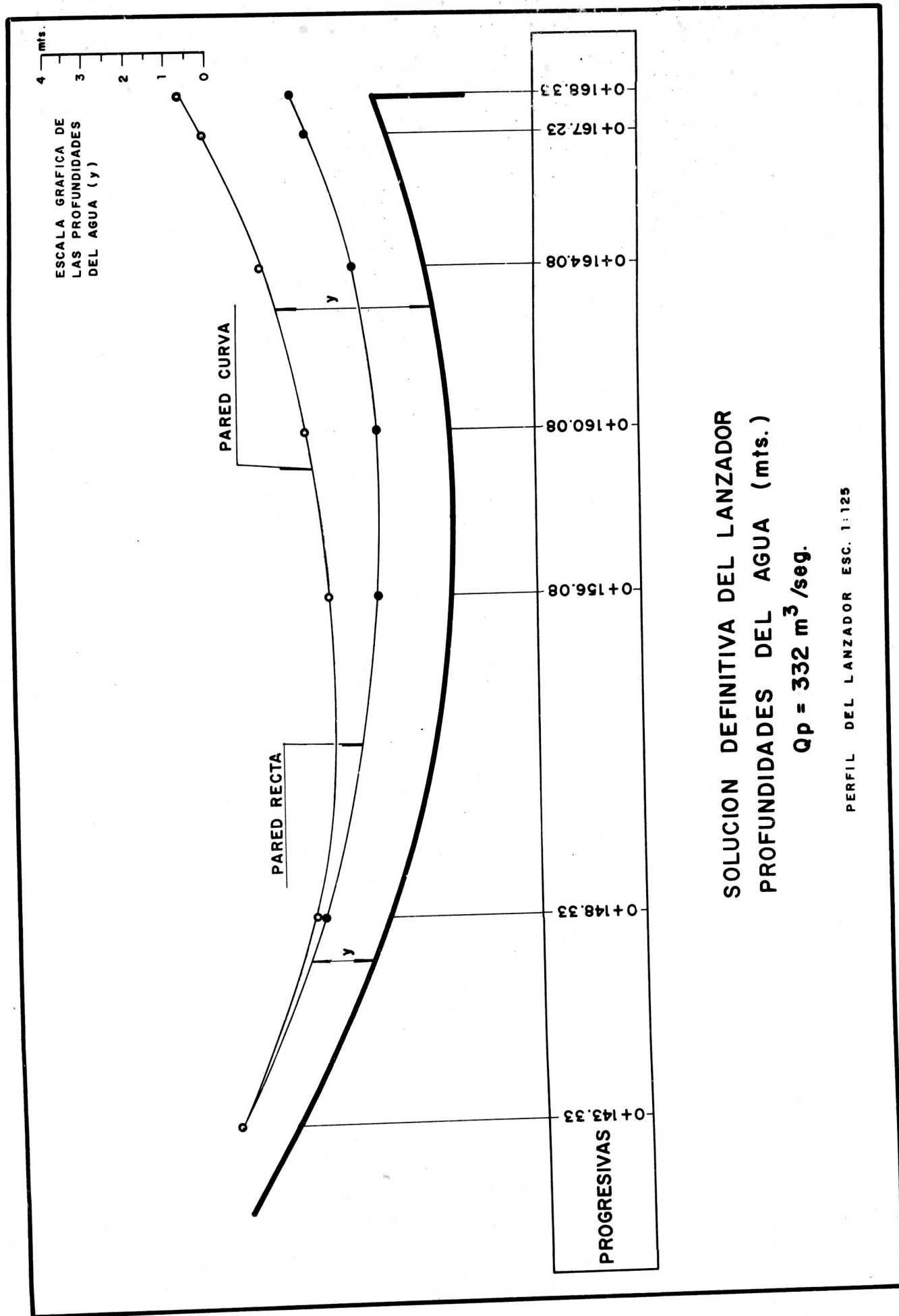
$Q_p = 140 \text{ m}^3/\text{seg.}$

PERFIL DEL LANZADOR ESC. 1:125











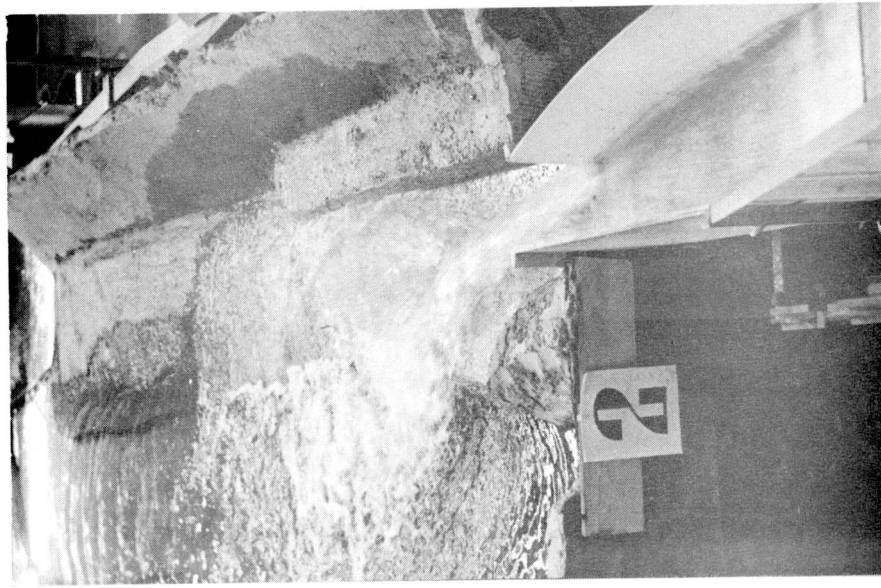
LANZADOR
SOLUCION DEFINITIVA



Fotografía: N° 1

Caudal : 21 M3/seg.

Frecuencia: 5 años



Fotografía: N° 2

Caudal : 52 M3/seg.

Frecuencia: 10 años

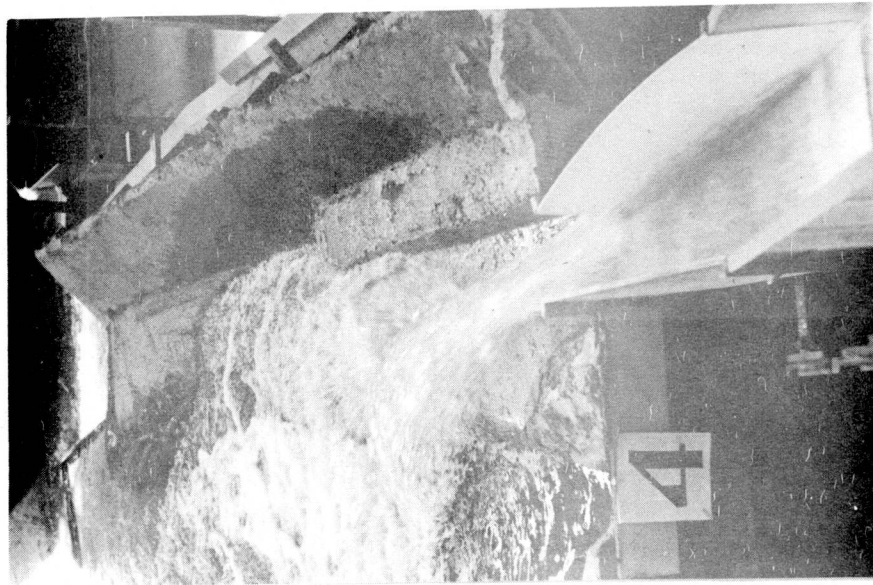
LANZADOR
SOLUCION DEFINITIVA



Fotografía: N° 3

Caudal : 79 M³/seg.

Frecuencia: 25 años



Fotografía: N° 4

Caudal : 106 M³/seg.

Frecuencia: 50 años

LANZADOR
SOLUCION DEFINITIVA



Fotografia: N° 5
Caudal : 140 m³/seg.
Frecuencia: 100 años



Fotografia: N° 6
Caudal : 222 m³/seg.
Frecuencia: 500 años



Fotografia: N° 7
Caudal : 332 m³/seg.
Frecuencia: CMP

TABLA Nº 3

ALTURAS DE PRESION SEGUN GENERATRICES DEL MURO LATERAL DERECHO (MTS/H2O)										
PIEZOMETRO	COTA CON RESPECTO AL FONDO (MTS)	CAUDALES (M3/seg)								
		21	52	79	106	140	222	332		
C-1	0,02	1,53	1,53	2,35	3,00	3,63	4,60	5,85		
C-2	0,86	0,71	0,11	0,49	0,91	1,34	2,01	2,93		
C-3	1,55	0,24		-0,19	-0,09	0,29	0,76	1,54		
C-4	2,55					-0,53	-0,75	-0,05		
C-4a	3,18						-0,20	-0,10		
C-4b	3,68							-0,55		
C-5	0,02	2,37	1,00	1,90	2,87	3,57	5,12	7,35		
C-6	0,55	1,85	1,17	2,22	3,15	4,17	5,44	7,30		
C-7	1,28	1,10	0,28	-0,13	0,60	1,37	3,00	5,10		
C-8	2,28	0,12				0,28	-0,73	1,40		
C-8a	2,93						-0,16	1,22		
C-9	0,05	2,98	1,80	2,88	3,78	4,65	6,63	8,78		
C-10	0,53	2,43	1,18	2,28	3,13	3,98	5,85	8,05		
C-11	1,03	1,85	0,20	-0,08	0,73	1,57	3,45	6,15		
C-12	2,00	0,90			-0,23		0,53	3,22		
C-13	0,05	2,92	1,30	2,25	3,00	3,67	5,40	8,05		
C-14	0,53	2,35	0,70	1,57	2,38	3,12	4,70	6,95		
C-15	1,77	1,05						1,40		
C-16	0,02	0,81	1,06	1,63	2,31	2,88	5,17	6,43		
C-17	0,48		0,05	0,11	0,41	0,96	2,11	4,56		
C-18	0	0,30	0,33	0,43	0,60	0,85	1,20	1,30		

+ VER UBICACION EN LA FIGURA Nº 20

NOTA: LAS ALTURAS DEL AGUA EN EL MURO DERECHO SE PRESENTAN EN LAS FIGURAS

8. REFERENCIAS

- (1) ESSAIS EN MODELE REDUIT DU SAUT DE SKI DE L'EVACUATEUR DE CRUES DU BARRAGE D'ALTO RABAGAO (PORTUGAL), José Rodriguez de Almeida, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Portugal. I. A. H R. XI Congress.
- (2) IMPROVED TUNNEL-SPILLWAY FLIP BUCKETS, T. J. Rhone, A. J. Peterka, JHYD, Paper 2316, December 1.959 A.S.C.E.

RECONOCIMIENTO

Los Ingenieros Antonio J. de Guruceaga, José Durand y Pablo Ceballos de la Oficina Proyectista, hicieron valiosas críticas y aportaron ideas para la ejecución de los estudios.

El Ingeniero Fernando Abecasis del Laboratorio Nacional de Portugal, visitó el Laboratorio durante la ejecución de los estudios y sostuvo un interesante intercambio de ideas con los autores.

Por último, pero no por ello menos importante el Ingeniero José Najul, Jefe del Departamento de Estudios y Proyectos del I.N.O.S. para la época de iniciación del estudio, prestó una amplia y decidida colaboración en la resolución de los problemas administrativos inherentes a la contratación.

