

Laboratorio de Hidráulica Aplicada

SALTO GRANDE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

- CAPITULO V -

ESTUDIO HIDRODINAMICO DE LA ETAPA II DE DESVIO

Investigador Responsable:

Dr. Raúl A. LOPARDO

Investigador Asociado:

Ing. Fernando J. ZARATE

Supervisión:

Dr. Moisés S. BARCHILON

Dr. Alfonso PUJOL

EZEIZA, 9 de enero de 1974.

L.H.A.: 9-005-74

Ministerio de Obras y Servicios Públicos
Subsecretaría de Recursos Hídricos
Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

CAPITULO V - Estudio hidrodinámico de la etapa II de desvío

Raul A. Lopardo, Fernando J. Zárate

Resúme n: En el modelo general a escala 1:125 de Salto Grande y con la estrategia planteada por el proyectista se estudia experimentalmente el comportamiento del conjunto en segunda etapa de desvío (obras de alivio de desvío en margen uruguay, celdas de tablestacas en el río y ataguías granulares sobre margen argentina) para diversos caudales de derivación.

Descriptores: Cierres fluviales; Etapas constructivas; Aliviaderos; Modelos físicos.

Geográficos/Institucionales: Salto Grande - río Uruguay

Ezeiza, enero de 1974

I - OBJETIVOS DEL ESTUDIO

De acuerdo con el programa de ensayos presentado por la firma consultora MAIN y Asociados, este Laboratorio ha desarrollado las experiencias vinculadas con el funcionamiento de las obras de Salto Grande en condiciones de la segunda etapa de cierre.

Con parte de la obra ya construída sobre margen uruguay, y las ataguías granulares y celdas colocadas sobre margen argentina, se ha estudiado el funcionamiento hidrodinámico del conjunto, suponiendo a los efectos experimentales, que las ataguías granulares tienen contornos absolutamente rígidos e impermeables.

En esas condiciones de las obras, se analizaron estados del río que abarcan un amplio espectro de gastos, que partiendo de 1.000 m³/s llega hasta 27.000 m³/s, que es la máxima crecida considerada para las etapas constructivas de la presa.

El funcionamiento hidrodinámico del conjunto se analizó pues para los siguientes gastos del río Uruguay: 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 10.000, 15.000, 20.000 y 27.000 m³/s.

Las experiencias realizadas permitieron satisfacer los siguientes requerimientos de la firma consultora:

- conocimiento de los niveles de embalse para cada estado de régimen propuesto del río Uruguay.
- registro de velocidades en una serie de puntos prefijados, que constan en la figura N^o 1, para gastos de 1.000, 3.000, 5.000, 15.000 y 27.000 m³/s.
- espectros de escurrimiento, para gastos de 3.000, 5.000, 15.000 y 27.000 m³/s.

II - DETALLES TECNICOS DEL PROYECTO

A efectos de satisfacer el programa de ensayos para la segunda etapa de desvío del río, preparado por la firma consultora MAIN y Asociados, resultó necesario reproducir en el modelo general de las obras de Salto Grande los siguientes elementos:

- quince vanos del vertedero con cresta rebajada a cota + 9,00 m y lecho amortiguador a cota - 1,00 m, con diente final elevado hasta cota + 3,00 m.
- seis descargadores de fondo, en dos grupos de tres, sobre margen uruguayo.
- central sobre margen uruguayo sin funcionamiento.
- ataguías y celdas de cierre sobre margen argentino.
- muro de ala y terraplén de cierre sobre margen uruguayo.

Las dimensiones generales de las estructuras que conforman la segunda etapa de desvío se presentan en la figura N^o 1.

Los descargadores de fondo han sido reproducidos tomando como base la información obtenida de los planos de la firma consultora, habiéndose continuado hacia aguas abajo con un lecho amortiguador tentativo, que se detalla en la figura N^o 2.

El terraplén y muro de ala sobre margen uruguayo, como así también el pilar separador entre central y vertedero, han sido dimensionados por la firma consultora, suministrando a este Laboratorio los planos conjuntamente con el plan de ensayos, en fecha 9/11/73.

La ataguía de material granular tiene un ancho de coronamiento de 10 m, siendo sus taludes variables. La cota de coronamiento es + 23,00 m para el espigón de aguas arriba y + 20,50 m para el de aguas abajo. El cierre entre ataguías granulares se completa con una serie de celdas formadas por tablestacas metálicas, de 18 metros de diámetro.

III - DETALLES TECNICOS DEL MODELO

Los ensayos realizados para el comportamiento hidrodinámico de la segunda etapa de cierre del río se desarrollaron sobre el modelo general de las obras de Salto Grande, ya descrito en el Capítulo I, y cuyas escalas se transcriben a continuación:

$$e_L = 1:125 \quad (\text{escala de longitudes})$$

$$e_v = 1:11,18 \quad (\text{escala de velocidades})$$

$$e_Q = 1:174.693 \quad (\text{escala de gastos})$$

Los circuitos de distribución de caudales, dispositivos de medición sobre modelo, regulación de niveles, etc. han sido detallados en oportunidad de anteriores informes.

El cierre sobre margen uruguay se materializó mediante un terraplén reproducido con mezcla de cemento y arena, resultando así rígido e impermeable.

La unión entre dicho terraplén y los descargadores de fondo está conformada por un muro de ala que fue reproducido mediante placas de fibrocemento que siguen la geometría dada para los distintos tramos del mismo.

Los descargadores de fondo fueron construídos con hormigón colado en molde de madera masillada, que daba forma a un conjunto de tres tubos descargadores. Los tubos propiamente dichos, que simulan una sección rectangular de 11 metros de alto por 6,5 de ancho, fueron confeccionados con aluminio de 1 mm de espesor.

Aguas abajo de los descargadores de fondo, se modeló con material suelto un tramo de la margen uruguay que estará expuesto a erosiones, como consecuencia de las altas velocidades de salida del agua en los tubos citados. Este ensayo tuvo carácter cualitativo.

La parte correspondiente a la central, donde debieran instalarse las turbomáquinas, fue reproducida provisoriamente con un muro rígido impermeable, ya que en la etapa en estudio no es posible el funcionamiento de la central.

El pilar separador entre central y vertedero fue reproducido en madera dura. Como este elemento estará posiblemente sujeto a modificaciones de forma para su optimización ha sido armado por ensamble de piezas intercambiables, que permiten los reemplazos con celeridad.

Las pilas fueron construídas en hormigón moldeado en hembras de madera masillada. Para evitar el deterioro de las recatas durante el proceso de desmolde se colocaron placas de aluminio plegado en cada una de ellas.

Aguas abajo del conjunto de obras que conforman la etapa en estudio se construyó un cuenco amplio, que relleno con material suelto permite la visualización de las posibles erosiones.

El método constructivo de ataguías granulares y cilindros es similar al empleado para el estudio hidrodinámico de la Etapa I de desvío, por lo que se encuentra ya detallado en el Capítulo II del Informe.

IV - METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS

La realización de la investigación solicitada a este Laboratorio, se concretó a través de las siguientes fases:

- Medición de los gastos de ingreso al modelo; en caso de ser menores a sus equivalentes en prototipo de $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$, fueron provistos por el circuito de recirculación con medición por vertedero Rehbock; para los gastos mayores se utilizó el circuito general de alimentación con aforo por diafragma.
- Reproducción del nivel de agua correspondiente según la ley altura-gasto para el perfil 800, mediante la operación de la compuerta de regulación instalada aguas abajo del modelo.
- Relevamiento del pelo de agua, por medición limnimétrica en los puntos previstos del modelo.
- Medición de velocidades de escurrimiento en los puntos de interés detallados en la figura N^o 1, utilizando un micromolinete Delft de alta precisión y obteniendo cada valor puntual como promedio de tres lecturas integradas durante diez segundos cada una.
- También se midieron en cada ensayo las velocidades máximas en la entrada y salida de los descargadores, como así también en otros puntos de interés.
- Registro de los espectros de flujo para gastos preestablecidos, por fotografía de las trayectorias de flotadores, tanto en la zona del aliviadero rebajado como en la zona de los descargadores.

Se manifiesta que por un mejor aprovechamiento del circuito de alimentación del modelo, se reemplazó el gasto propuesto de $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ por el de $14.500 \text{ m}^3/\text{s}$ ya que no influenciaba la calidad de los resultados y aumentaba la precisión de mediciones.

V - RESULTADOS OBTENIDOS

Los ensayos realizados según la metodología antes expuesta permiten presentar los siguientes resultados:

- Niveles de embalse con los que se establece el régimen para cada gasto, tabulados y graficados en la Figura Nº 3.
- Las mediciones de velocidad efectuadas de acuerdo con el programa fijado en los puntos denominados A, B, C y D están representadas en la Figura Nº 4. Debido a la repartición del escurrimiento, para los gastos de 1.000 y 2.000 m³/s se obtienen velocidades nulas para el punto A. Por otra parte, el nivel de agua con que se establece el régimen no permite para el menor gasto la medición de velocidades en el punto B, que ya puede registrarse para todos los otros gastos a partir de 2.000 m³/s. Debido también a los muy bajos tirantes establecidos sobre el terraplén de cierre sobre margen uruguayo, no es posible obtener velocidades para los puntos C y D cuando los gastos que escurren son inferiores a 14.500 m³/s.
- Los espectros de escurrimiento para los gastos solicitados se presentan en las fotografías 1, 2, 3, 4,
- Se analizó el comportamiento hidrodinámico del pilar separador entre tre central y vertedero en esta etapa constructiva, que se comporta satisfactoriamente hasta un gasto de 14.500 m³/s y presenta para los ensayos de 20.000 m³/s y 27.000 m³/s una deficiencia en el comportamiento geométrico de la nariz, cuyo efecto es una depresión de la lámina líquida en su contorno, con perturbaciones que ingresan al vano inmediatamente próximo del vertedero.
- El análisis de las erosiones sobre la costa uruguayo, aguas abajo de los descargadores, si bien se manifiesta desde los gastos bajos, se hace notable a partir de 14.500 m³/s, pudiendo observarse

una violenta remoción del material fino ubicado para el estudio cualitativo.

- La erosión aguas abajo de los descargadores también aparece como importante cuando se llega al gasto de $14.500 \text{ m}^3/\text{s}$. De los ensayos realizados se podría estimar como insatisfactoria la disipación de energía a la salida de los citados descargadores.
- Para los gastos de 20.000 y $27.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (especialmente este último) aparece un efecto de perturbación del escurrimiento sobre los dos vanos del vertedero que encuentran el cierre sobre margen argentina, debido a la alteración del escurrimiento provocada por los cilindros de aguas arriba que deflecan el flujo hacia el centro.
- Se observaron las condiciones de entrada a los descargadores para los gastos de ensayo, detectándose para los valores máximos vórtices de eje vertical que incorporan aire a los tubos descargadores perturbando algo su funcionamiento.

VI - CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de los perfiles de agua se desprende la necesidad de incrementar la cota de ataguías propuesta hasta 25,00 m, tal como se anticipara en el estudio bidimensional del vertedero rebajado confirmándose la curva de funcionamiento allí verificada.

Para gastos muy bajos, cuando el escurrimiento se produce casi totalmente mediante los descargadores de fondo, existe una corriente lateral hacia la costa uruguaya, que desaparece al incrementarse el funcionamiento del vertedero y se invierte para gastos muy elevados, tanto que la nariz del pilar de separación central-vertedero funciona, desde el punto de vista hidrodinámico, de un modo deficiente. A pesar de marcarse el detalle de la nariz de este pilar, se estima conveniente que las pruebas definitivas se realicen con el vertedero y central (ahora cerrada) funcionando.

Dado que la disipación del cuenco ubicado aguas abajo de los descargadores de fondo resulta insuficiente para los gastos de cierre, es necesario que los proyectistas presenten para el ensayo definitivo variantes al esquema propuesto.

Los valores de velocidad detectados no aparecen como comprometidos en los puntos estudiados. Las velocidades medidas a la salida de los descargadores confirman su alto rango, predecible por cálculo.

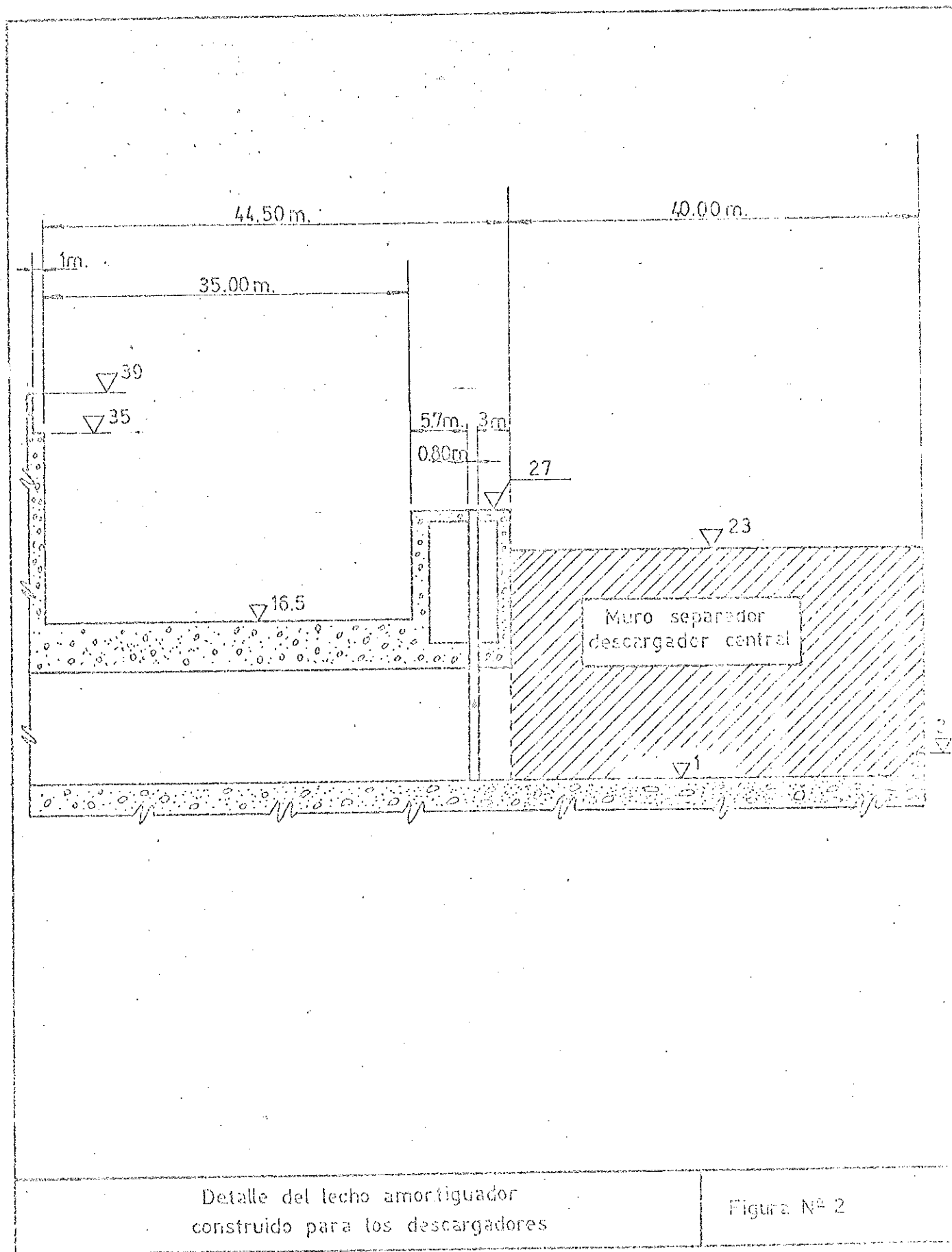
Colaboradores:

Técnico de Modelo:	Angel R. RISOLI
Técnico Proyectista:	Juan PETELIN
Fotógrafo:	Norberto MULLE
Dactilógrafa:	Susana TRILLO
Dibujante:	Gustavo ANDINO

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

Obras de desvío - Etapa 2



ESTUDIO SOBRE MODELO DE LAS OBRAS DE SALTO GRANDE - CAPITULO V

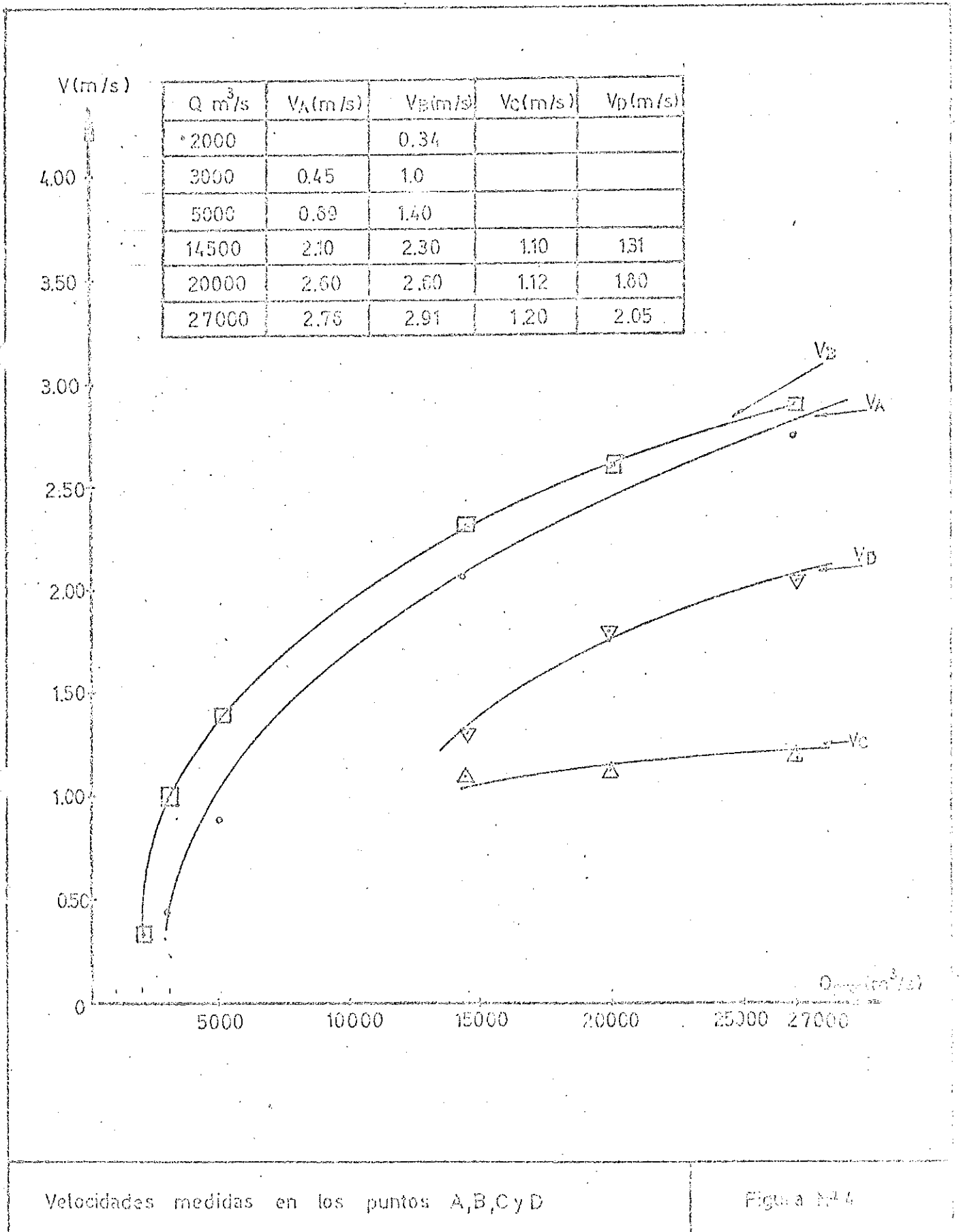
FIGURA Nº 3 Ley $H_{emb} - Q$ para etapa II de desvío

(Original consultar en la Biblioteca del Laboratorio de hidráulica aplicada)

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

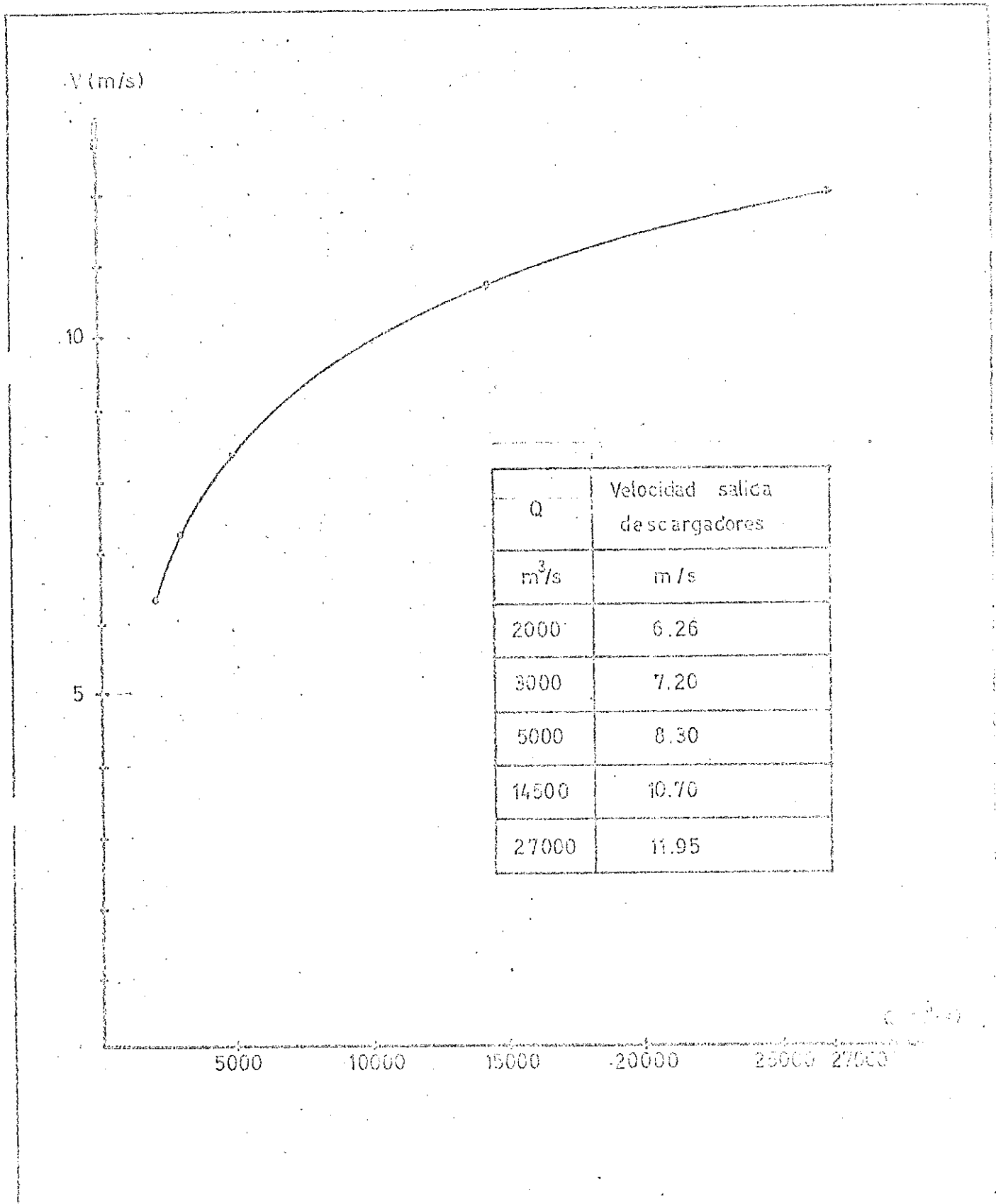
Obras de desvío-Etapa 2



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

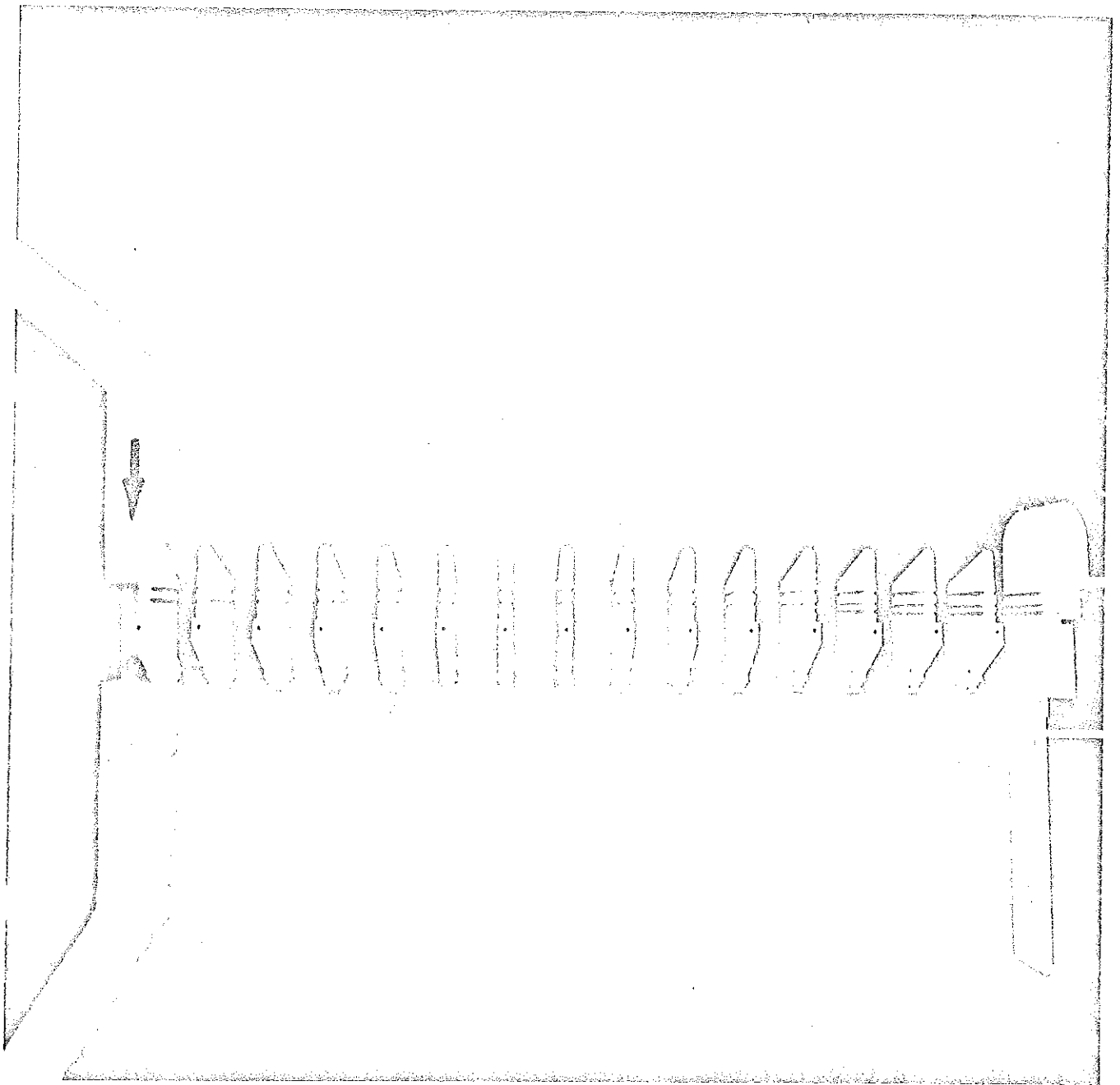
Estudio sobre modelo de Salto Grande

Obras de desvío - Etapa 2



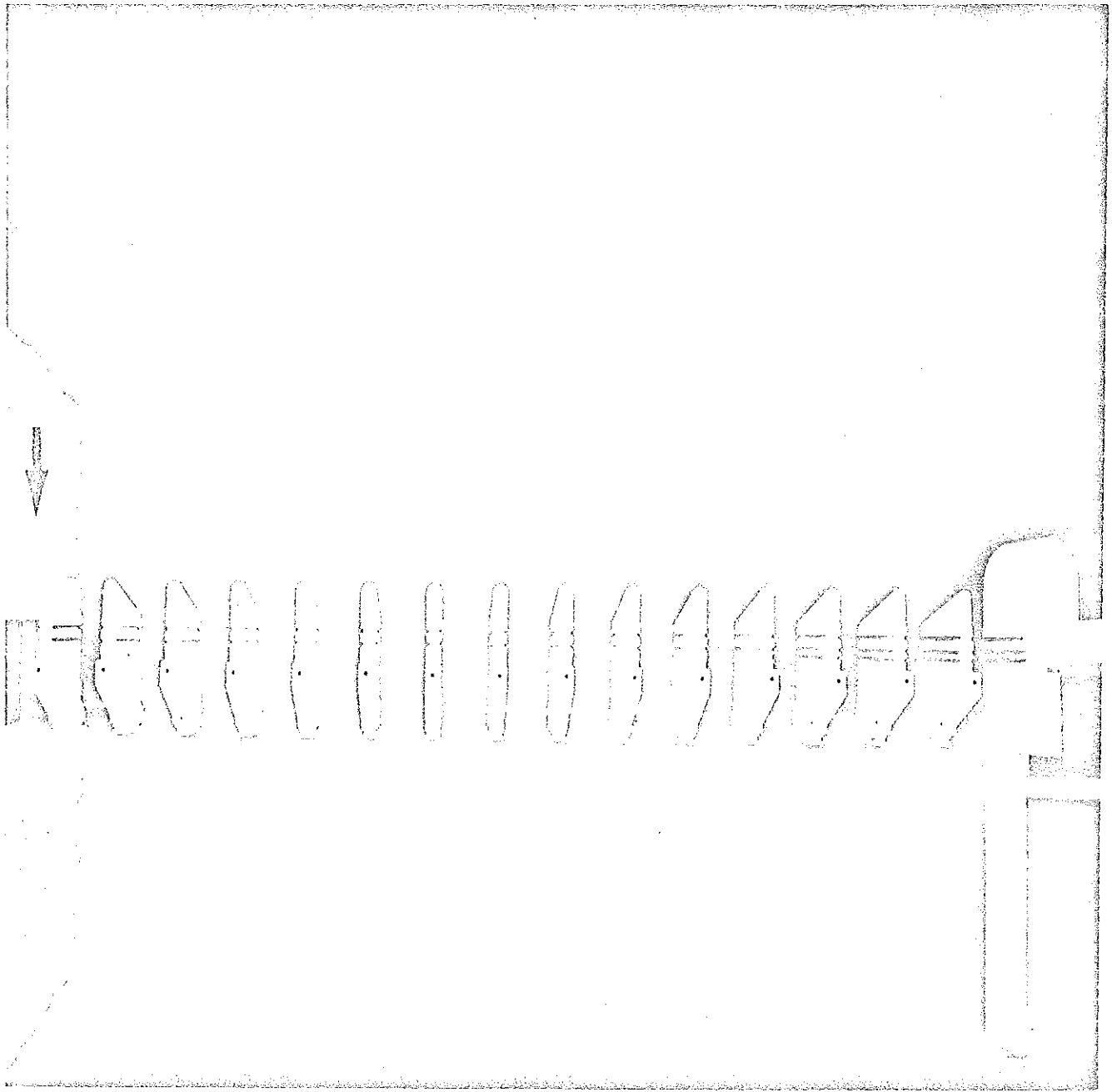
Velocidades máximas medidas a la salida de los descargadores de fondo

Figura N°5



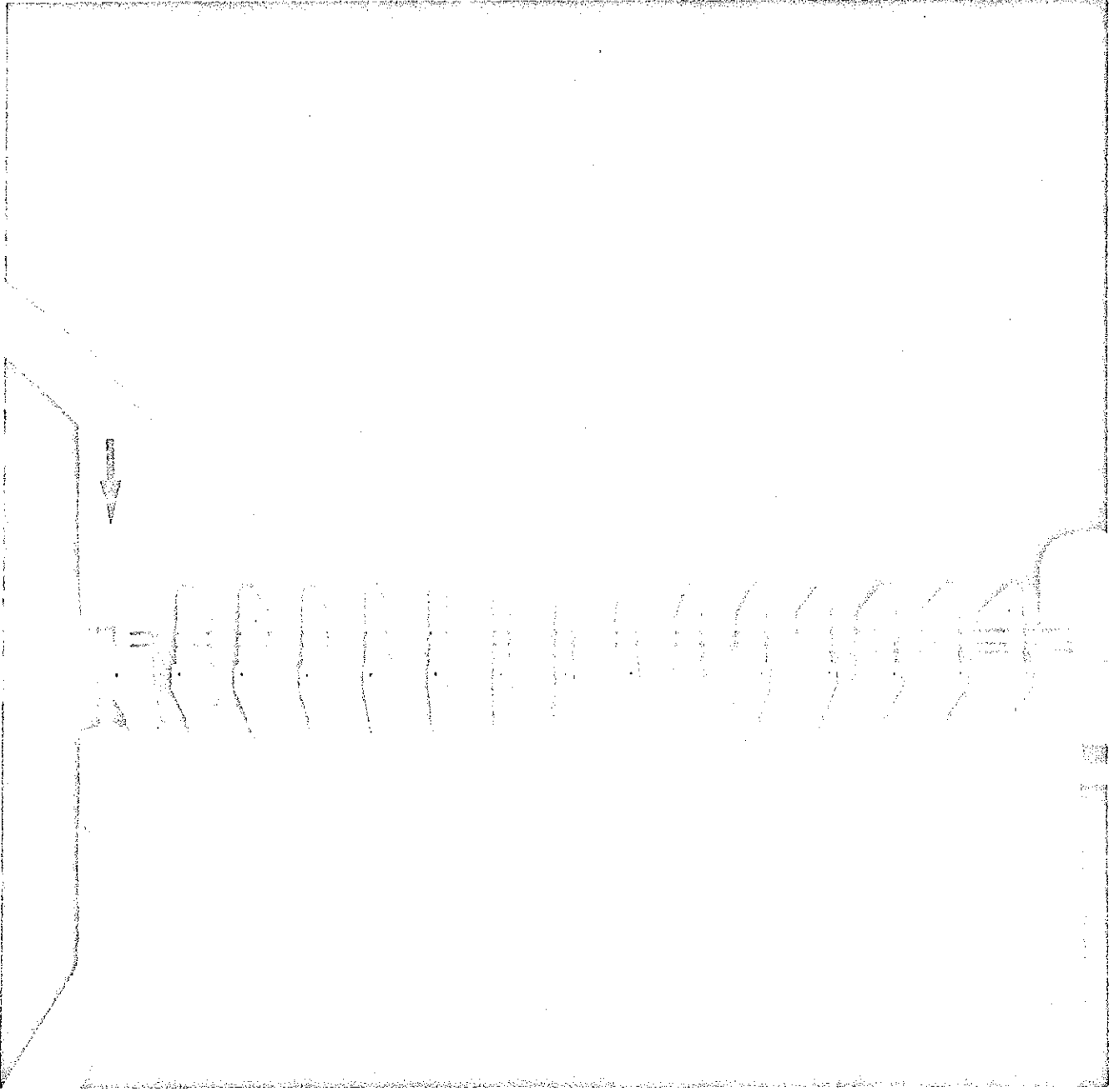
Red de corriente $Q = 3.000 \text{ m}^3/\text{s}$

FOTO 1



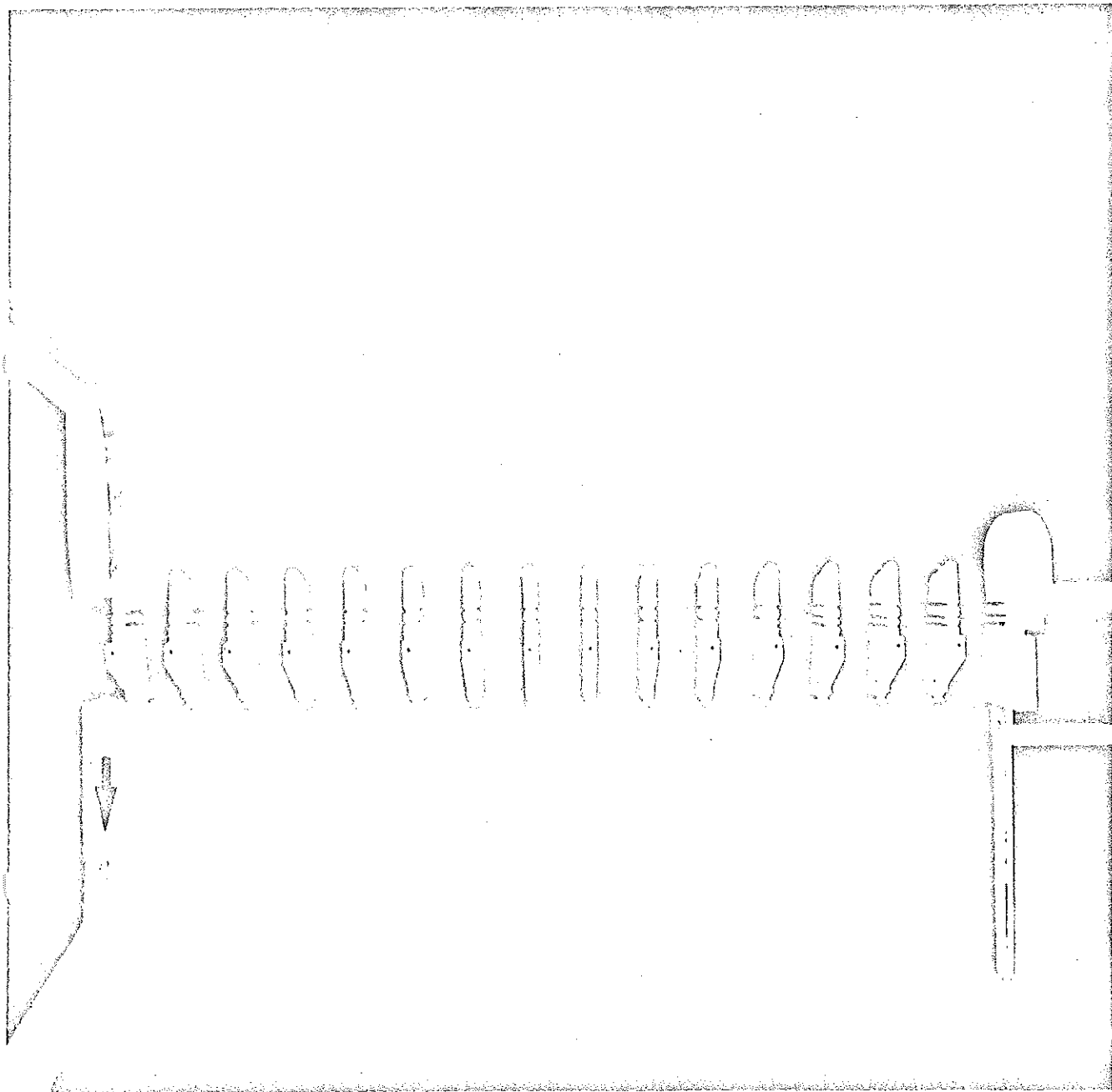
Red de corriente $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$

FOTO 2



Red de corriente $Q = 14.500 \text{ m}^3/\text{s}$

FOTO 3



Red de corriente $Q = 27.000 \text{ m}^3/\text{s}$

FOTO 4