

Laboratorio de Hidráulica Aplicada

SALTO GRANDE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TÉCNICA HIDRÁULICAS

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

- CAPITULO VIII -

AVANCE DE ATAGUIAS EN ETAPA II DE DESVIO

Investigador Responsable

Dr. Raúl A. LOPARDÓ

Investigador Asociado

Ing. Fernando J. ZARATE

Supervisión

Dr. Moisés S. BARCHILON

Dr. Alfonso PUJOL

EZEIZA, 8 de abril de 1974.

L.H.A.-9-008-74

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 VIII - Avance de ataguías en etapa II de desvío.

Raúl A. Lopardo, Fernando J. Zárate

Resumen: En el modelo general a escala 1:125 y según la estrategia del proyectista se estudiaron las condiciones de estabilidad de enrocados componentes de los espigones de cierre en segunda etapa de desvío y otros fenómenos hidráulicos vinculados con esa condición constructiva de la obra de Salto Grande.

Descriptores: Hidrodinámica de enrocados; Cierres fluviales; Etapas constructivas; Modelos físicos.

Geográficos/Institucionales: Salto Grande - río Uruguay

Ezeiza, abril de 1974

I. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

De acuerdo a la Nota OC/1586/74 enviada por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande a este Laboratorio, las investigaciones referentes al proceso constructivo de la segunda etapa de cierre, comprenden las siguientes condiciones de ensayo:

- Para un gasto del río de $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ materializar el cierre final con escollera de material suelto por avance de cabecera (end type) en toda su extensión, determinándose los tamaños de roca para cada estado de avance.
- Para un espigón compuesto por rocas sueltas de una tonelada de peso medio, investigar la posibilidad de cierre en los estados de $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$, atendiendo a que no sólo los estados de aguas bajas serán de interés para materializar el cierre en 2da. etapa de desvío. A ese efecto probar un método combinado, determinándose la progresiva en la cual debe interrumpirse la construcción de la atagüa por avance de cabecera y comenzar la elevación desde el cauce en capas horizontales de roca, volcada desde arriba simultáneamente en todo el estrechamiento.
- Determinar en cada caso el comportamiento hidráulico en la zona de desvío y los efectos que provoca en los vertederos y descargadores de fondo la presencia de un cordón rocoso hasta la cota + 9, que quedaría sin remover luego de la extracción de la atagüa.

II. DETALLES TECNICOS DEL MODELO

El estudio se desarrolló utilizando el modelo general, en escala 1:125, con su sistema de provisión y aforo de caudales y su equipo de medición y control de niveles de agua, ya detallados en anteriores capítulos.

En el modelo se encontraban funcionando los descargadores de fondo de la margen uruguaya y quince vanos de vertedero rebajado a cota + 9, en simulación de segunda etapa de cierre. La casa de máquinas se ha representado provisoriamente con su contorno sin presentar aberturas, y será reemplazada por el modelo adecuado posteriormente.

El modelo comprende todos los detalles de transiciones, incluyendo los muros de guías y los cilindros de tablestacado, todo dispuesto según consta en la figura Nº 1.

La investigación se desarrolla de acuerdo con la hipótesis de margen no erosionada. En efecto, a solicitud de MAIN y Asociados se ha mantenido la forma del cauce natural, en contorno fijo, sin computar las probables erosiones que sufrirá la margen argentina durante la primera etapa de cierre, cualitativamente estudiada según consta en el Capítulo II oportunamente remitido a la Comisión Técnica Mixta.

Dadas las condiciones rocosas del lecho del río Uruguay en la zona en estudio, se han realizado las experiencias a fondo fijo. Esta hipótesis no contempla la posible erosión del lecho a medida que se va cerrando el estrechamiento.

El estudio de estabilidad del enrocado ha sido desarrollado construyendo el espigón de avance con material suelto a escala.

Tal como se especificara en el Capítulo III es ampliamente justificada la ley de semejanza de Froude para la acción dinámica del escurrimiento sobre los bloques, con lo que el tamaño de granos en modelo guarda una relación idéntica a sus homólogos del prototipo que el resto de las longitudes lineales, siempre que el peso específico del material utilizado sea el mismo que el real.

La atagüfa se reprodujo en todos los casos con canto rodado, pero en todos los puntos críticos se verificó con basalto partido, de la zona de obra.

Se reprodujo el cordón rocoso a cota + 9 en la zona aguas arriba de los descargadores y vertederos, con los diámetros resultantes del estudio de estabilidad realizado para Etapa I de desvío.

III. METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS

Los ensayos realizados tuvieron las siguientes características:

- Medición de gastos de ingreso al modelo. Para los gastos de 6.000 m³/s y 10.000 m³/s se utilizó el vertedero aforador Rehbock. Para los gastos de 15.000 m³/s y 20.000 m³/s se combinó ese sistema con el general del laboratorio, con medición por diafragma.
- Reproducción del nivel de agua correspondiente a la ley altura-gasto. A ese efecto se opera la compuerta ubicada en el extremo de aguas abajo del modelo hasta lograr en el perfil 800, la lectura concordante con el gasto fijado.
- Registro del nivel de agua remansado por el cierre para distintos estados de avance. Para ello se utiliza el limnómetro ubicado 700 m aguas arriba del eje de presa (en prototipo).
- Registro de líneas de corriente en la zona estrechada. Para un gasto de 10.000 m³/s se fotografían las trayectorias de partículas que viajan con el escurrimiento desde un punto ubicado sobre el modelo.
- Medición de velocidades de escurrimiento. Se utilizan micromolinetes Delft (de precisión $\pm 2\%$) conectados a un multímetro digital que integra los valores cada diez segundos. En cada ensayo se relevaron velocidades en los extremos y en verticales intermedias del estrechamiento.
- El cierre por avance de cabeceras fue realizado con material granular uniforme, comenzando con rocas (en prototipo) de 0,60 m de diámetro. La construcción se ejecutó volcando lentamente las piedrecillas desde la superficie libre en el talud estable bajo agua, a efectos de respetar la operación constructiva. El ritmo de la operación fue constante en el modelo, no teniéndose en cuenta las discontinuidades que se producirán en la realidad entre aportes de camiones. Foto N° 1.
- El cambio de tamaño de enrocado era en todos los casos en el punto crítico de inestabilidad para el tamaño de piedra con que se desarrollaba el avance.
- En caso de método combinado, se comenzaba con piedras de tonelada de peso por avance de cabecera desde margen argentina hasta el punto de inestabilidad. En esas condiciones se iniciaba el método de recrecimiento uniforme en todo el estrechamiento restante.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

De los ensayos realizados según la metodología antes expuesta se obtuvieron los resultados que a continuación se detallan:

a) Ensayo con $Q_{rfo} = 6.000 \text{ m}^3/\text{s}$; Cierre por avance de cabeceras.

- Se graficaron los niveles de embalse a medida que se reducía el ancho de pasaje hasta el cierre total (figura N° 2).
- Conocida la repartición de caudales entre las obras de desvío y la zona estrechada, se determinó analíticamente el gasto específico por metro de ancho en el estrechamiento.

donde:

Q_e : Gasto por el estrechamiento (m^3/s)

B_e : Ancho de pasaje (m)

q_e : Gasto específico en el estrechamiento ($\text{m}^3/\text{s.m}$)

La variación del gasto específico q_e con el ancho de pasaje B_e puede verse en la figura N° 2.

- Se determinó la velocidad media de pasaje en el estrechamiento (promedio de varias verticales) y se graficó en la figura N° 3, en función del ancho de pasaje B_e .
- Se determinaron los rangos de estabilidad para un diámetro de piedra dado, y se graficaron en función de B_e , según muestra la figura N° 3. La relación diámetro-peso de las rocas se presenta en la tabla adjunta.
- Durante este ensayo no se detectó movilidad del cordón rocoso a cota + 9 m que permanece sin remover luego de la extracción de la atagüa de Etapa I.

b) Ensayos con cierre combinado ($Q_{rfo} = 6.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$, $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$).

- Para todos los gastos ensayados con este método se determinó la repartición del flujo entre obras de desvío y zona estrechada, habiéndose elaborado con dichos resultados una curva que da la variación del gasto específico en función del tirante aguas arriba (figura N° 4).
- Del análisis realizado sobre la estabilidad del enrocado, durante los ensayos de cierre para $Q = 6.000$, 10.000 , 15.000 y $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ se obtuvieron los an-

chos límite de estrechamiento para avance por cabecera hasta los cuales la roca de diámetro equivalente $d_s = 0,90$ m resulta estable. Estos valores se graficaron en función del gasto por el río Q_r , obteniéndose la curva de la figura Nº 5.

Cuando se llega al ancho límite de estabilidad de la roca de una tonelada, para cada uno de los gastos ensayados, y se procede al recrecimiento uniforme desde el cauce, a fin de proveer la trabazón inicial a la piedra utilizada, se debió arrojar una primera hilada de roca de superior tamaño ($d=1,4$ $P \approx 3,65$ ton.) continuándose la construcción del espigón con piedra de una tonelada a partir de la segunda hilada.

- El espectro de líneas de escurrimiento se fotografió para $Q_r = 10.000$ m^3/s (foto Nº 2), pudiéndose apreciar en dicha foto la repartición de gastos entre desvío y estrechamiento.
- Se cuantificó volumétricamente la cantidad de piedra utilizada para el cierre total de Etapa II de desvío, habiéndose graficado dicho volumen en función del gasto del río, para todos los ensayos previstos con el método combinado, (figura Nº 6) en los que se ha utilizado roca de una tonelada de peso.
- Atendiendo a lo solicitado por MAIN y Asociados, se observó el comportamiento del cordón de enrocado, que permanece delante del vertedero y los descargadores una vez retiradas las ataguías de Etapa I de desvío. Se ha comprobado que para gastos de aporte del río de 10.000 m^3/s o mayores existe un movimiento de las piedras hacia las obras que se magnifica con el aumento del gasto del río (foto Nº 3).
- Se relevaron los valores de velocidad en ambos extremos del estrechamiento y en varias verticales intermedias, y se graficó la velocidad media en el estrechamiento para distintos niveles aguas arriba y cada uno de los gastos ensayados. (figura Nº 7).
- En la fotografía Nº 4 puede apreciarse la configuración adoptada por la ataguía una vez concluida, para $Q_r = 20.000$ m^3/s .

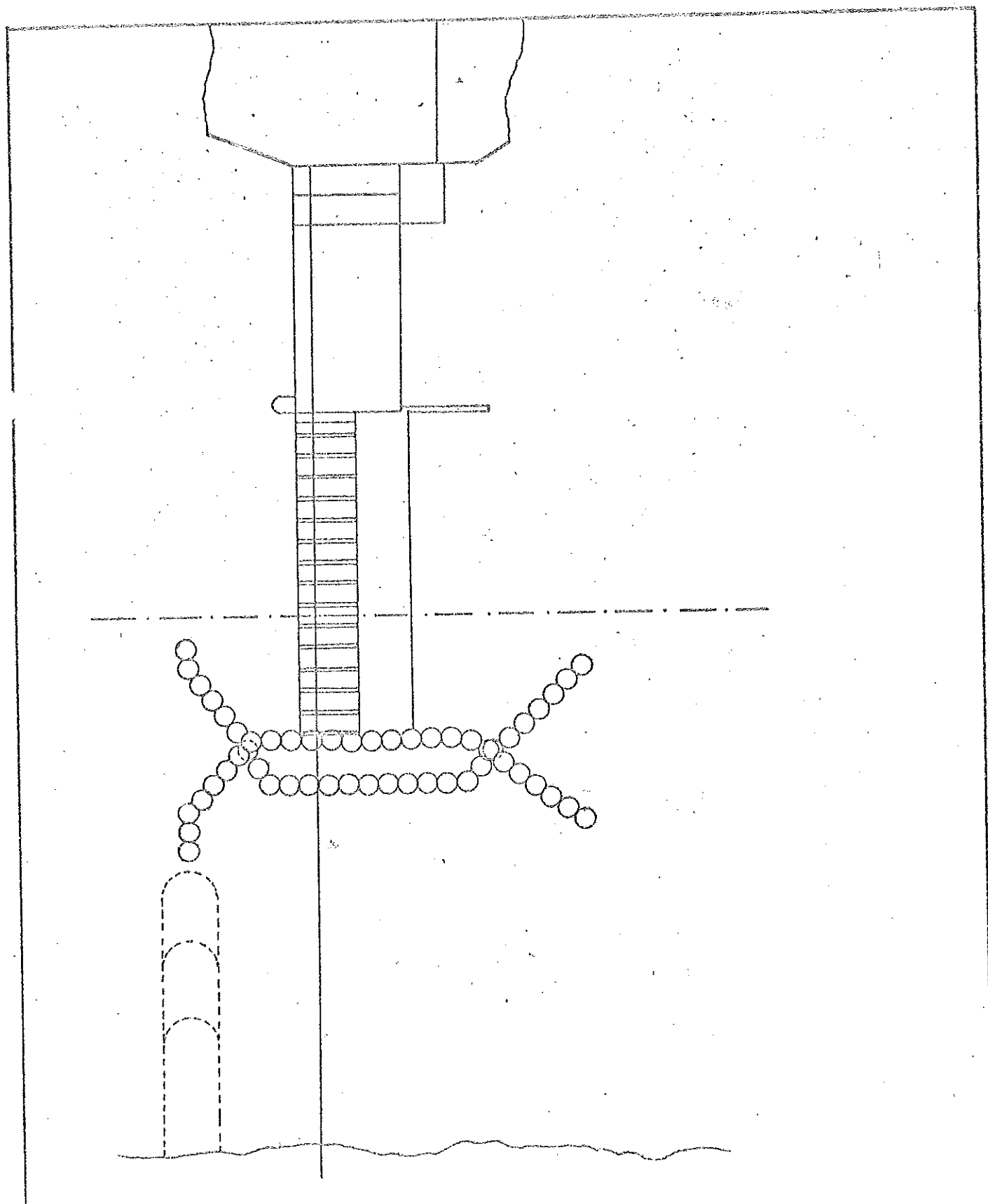
V. CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas sobre el proceso constructivo de la segunda etapa de desvío, permiten establecer lo siguiente:

- a) Mediante la utilización de un método combinado para la materialización del cierre, se consigue disminuir el tamaño de roca hasta piedras de diámetro $d_s=0,9$ m y P - 1 tonelada, lo que resulta conveniente.
- b) Cuando se llegue al ancho de estrechamiento que produce condiciones límites de estabilidad para la piedra utilizada, en avance por cabecera, deberá comenzarse el recrecimiento desde el fondo con una hilada de piedra de mayor tamaño (P - 3,65 ton) a fin de asegurar la estabilidad de la piedra de una tonelada durante el resto del cierre.
- c) El cordón de enrocado a cota + 9 m, que permanece delante de las obras, una vez retiradas las ataguías construidas para la primera etapa de desvío, resulta inestable para valores de $Q_p = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ o mayores, ya que las piedras se trasladan hacia los descargadores pudiendo alterar el funcionamiento normal de los mismos.
- d) Una vez concluido el ensayo para $Q_p = 20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ se han fotografiado dos secciones transversales del espigón, una en la zona donde el cierre se realizó por avance desde cabecera (foto N° 5) y otra del tramo ejecutado mediante recrecimiento desde el cauce (foto N° 6). En estas fotografías se puede apreciar como se incrementa el volumen de roca utilizado por el método de cierre por recrecimiento desde el cauce, respecto del método de avance de cabeceras. Se puntualiza que los requerimientos dados para la estabilidad de un tamaño de roca prefijado, hacen que, cuando se utiliza el método de recrecimiento uniforme desde el cauce, los diámetros necesarios resulten muy por debajo de los requeridos por el cierre con avance desde cabeceras.

Surge de lo expuesto, que la máxima economía en las condiciones de cierre estudiadas estará dado por el empleo de un método que combine los dos tipos de cierre.

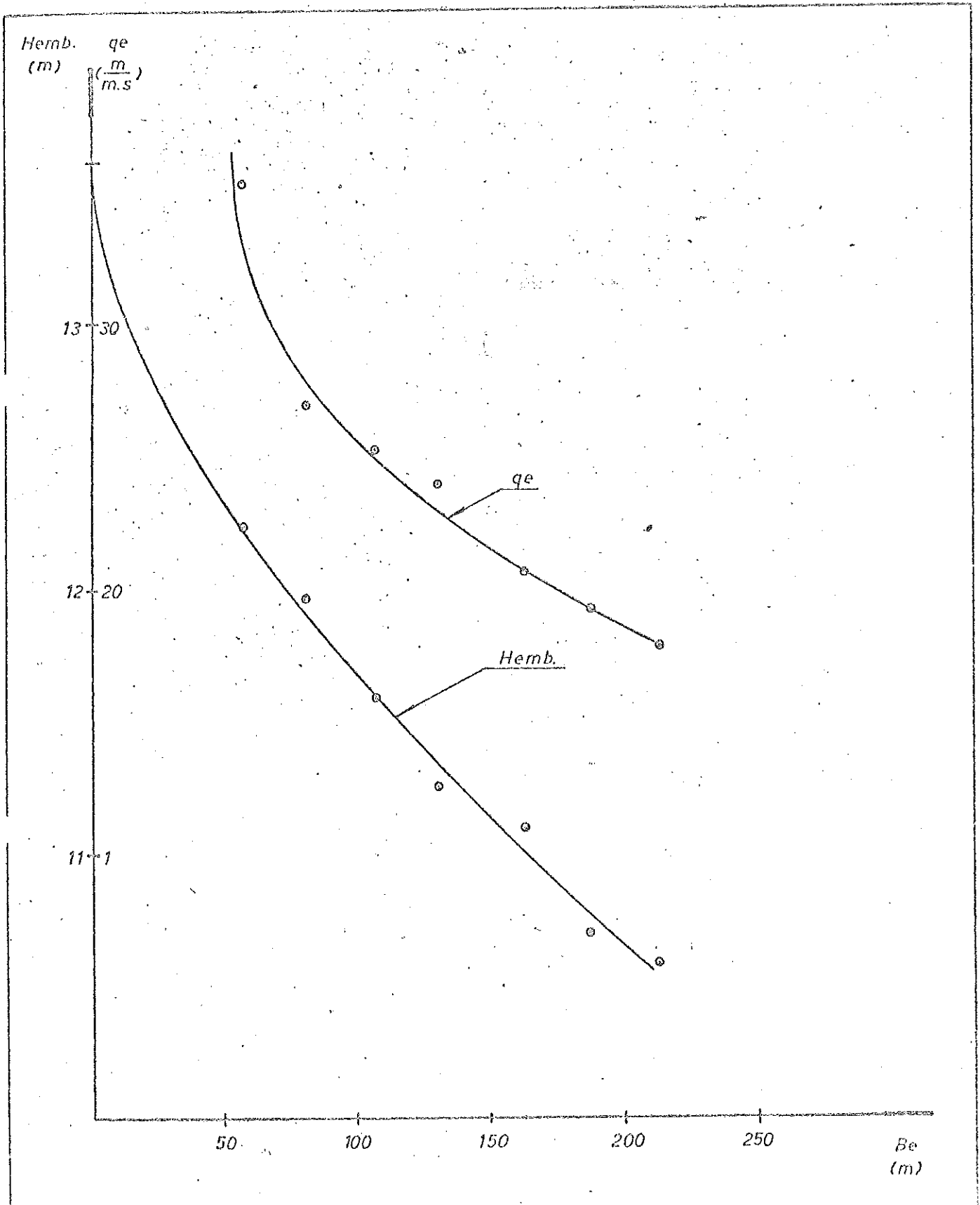
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
ESTUDIO MODELO DE SALTO GRANDE
AVANCE DE ATAGIAS



Esquema de las obras

FIGURA N° 1

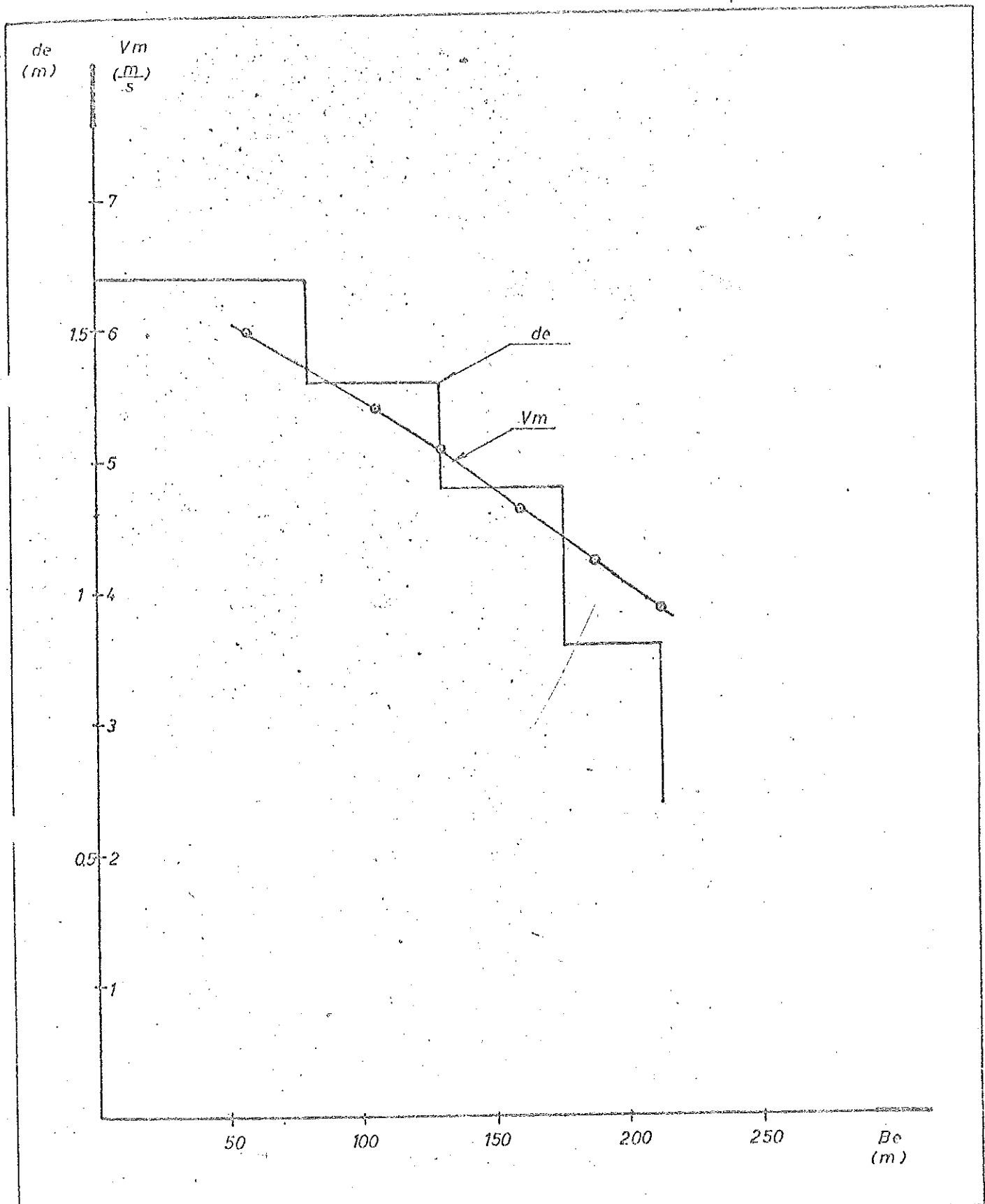
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO MODELO DE SALTO GRANDE
 AVANCE DE ATAGIAS



Curva Hemb. - Be y q_e - Be para $Gr = 6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y cierre transversal total

FIGURA N^o 2

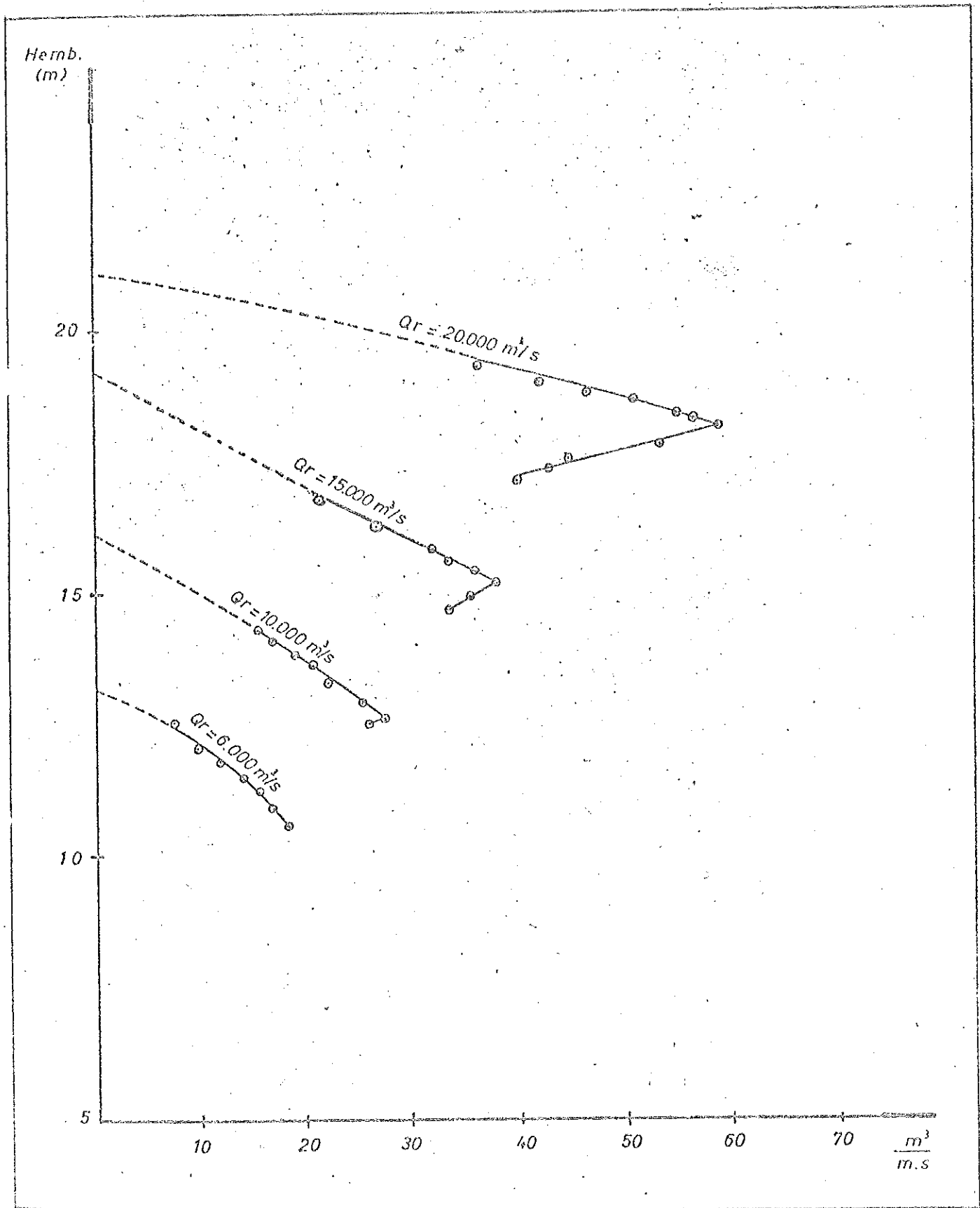
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO MODELO DE SALTO GRANDE
 AVANCE DE ATAGIAS



Curva $d_s - B_e$ y $V_{media} - B_e$ para $Q_r = 6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ y cierre transversal total

FIGURA N° 3

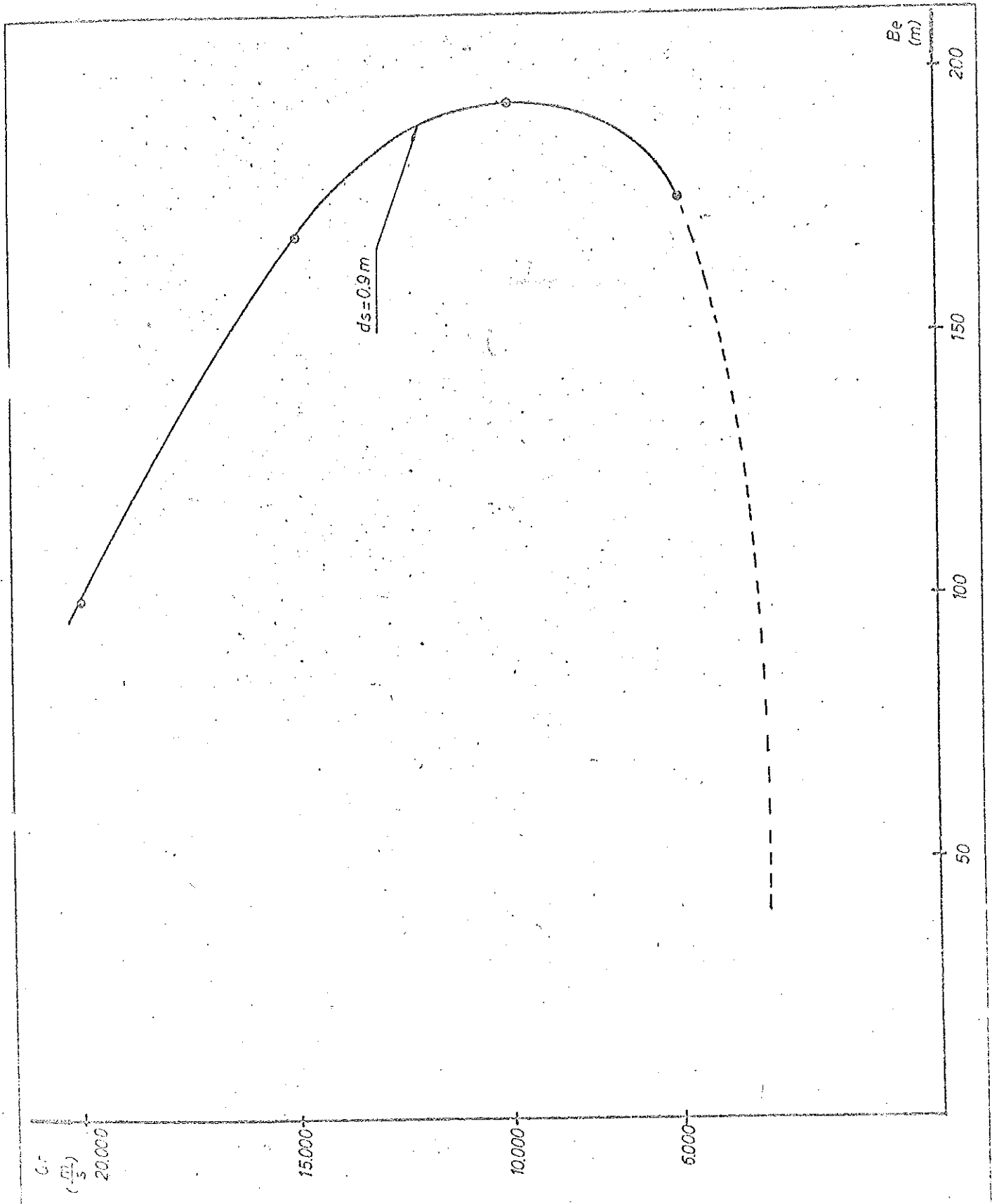
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO MODELO DE SALTO GRANDE
 AVANCE DE ATAGIAS



Curva demb. - qe para todos los gastos ensayados con metodo combinado

FIGURA N^o 4

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO MODELO DE SALTO GRANDE
 AVANCE DE ATAGIAS



Curva $Q_r - B_e$ para roca cuyo diámetro $d_s = 0.9m$
 ensayos para cierre combinado

FIGURA N° 5

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO MODELO DE SALTO GRANDE
 AVANCE DE ATAGIAS

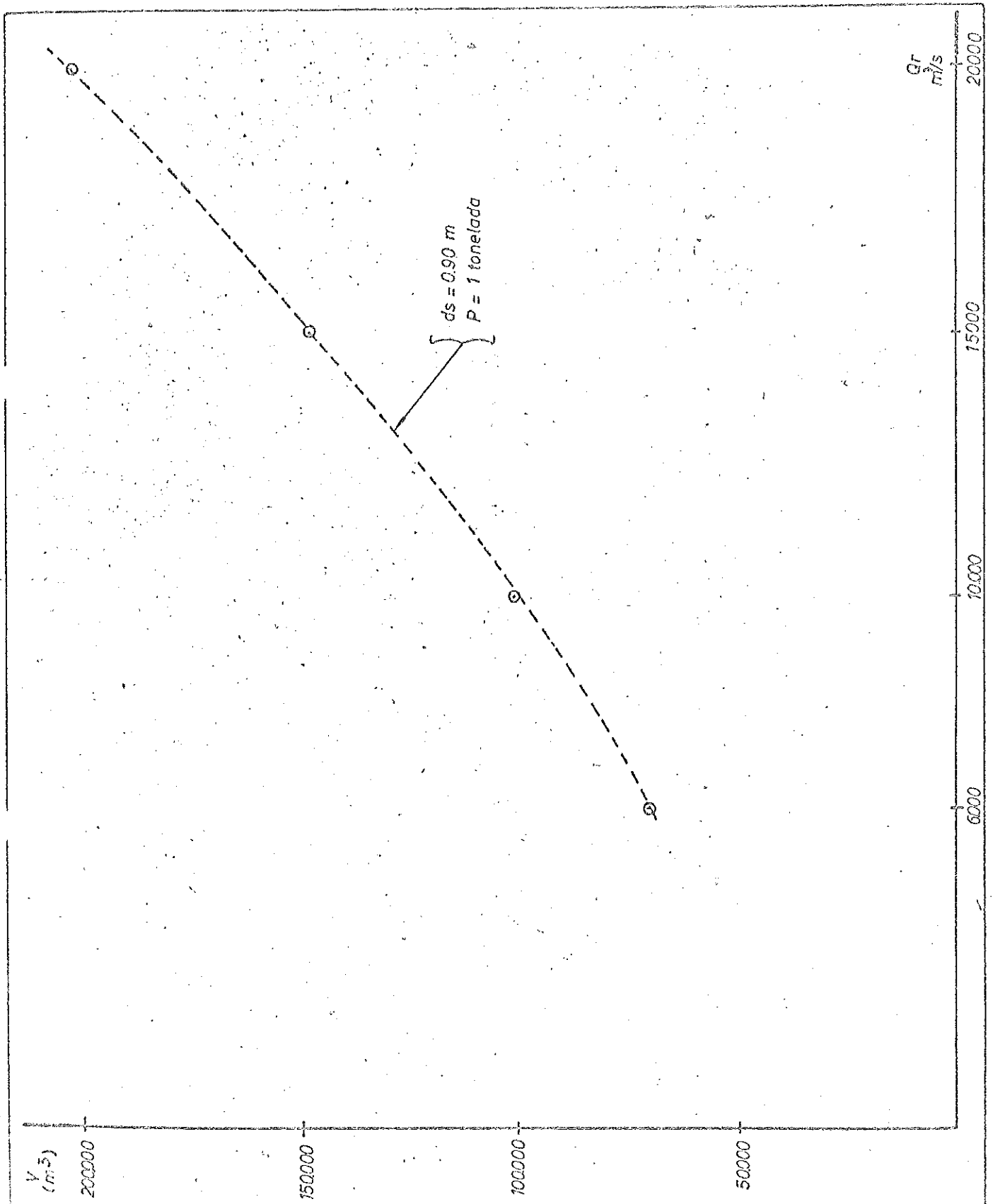
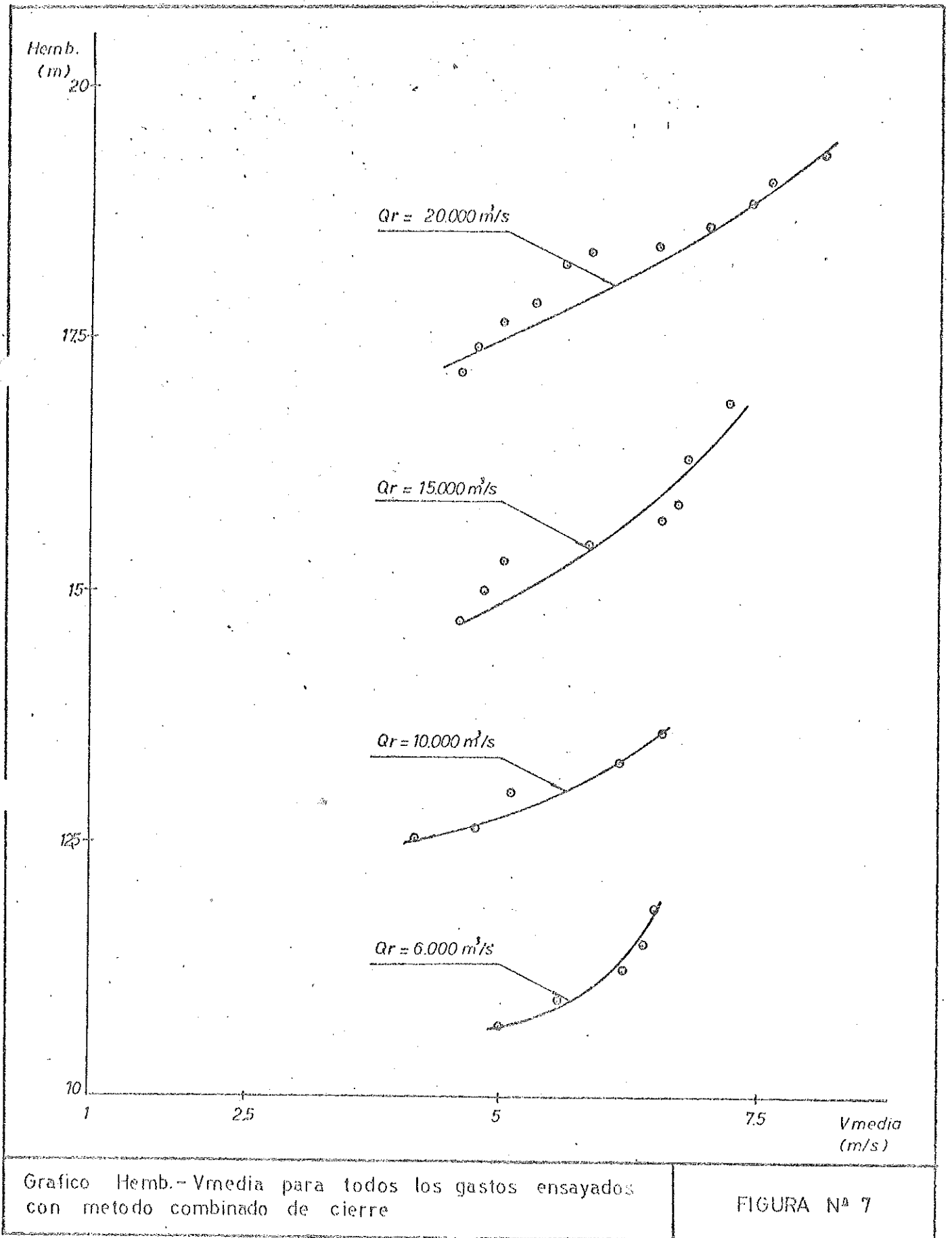


Grafico de volúmenes — Qrio para cierre combinado con piedra de una tonelada

FIGURA N° 6

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO MODELO DE SALTO GRANDE
 AVANCE DE ATAGIAS



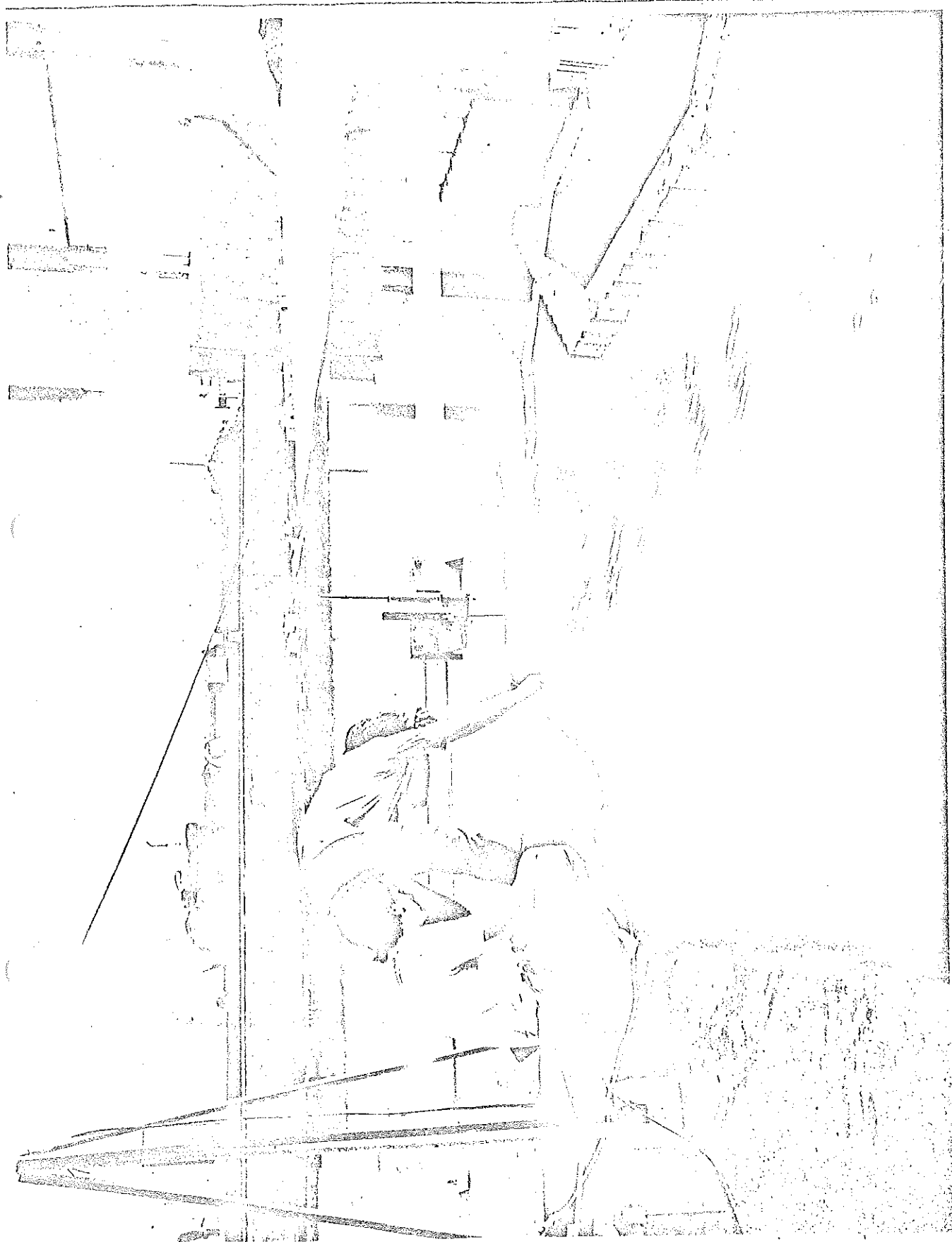


FOTO N° 1

Proceso constructivo del espigón de enrocado.

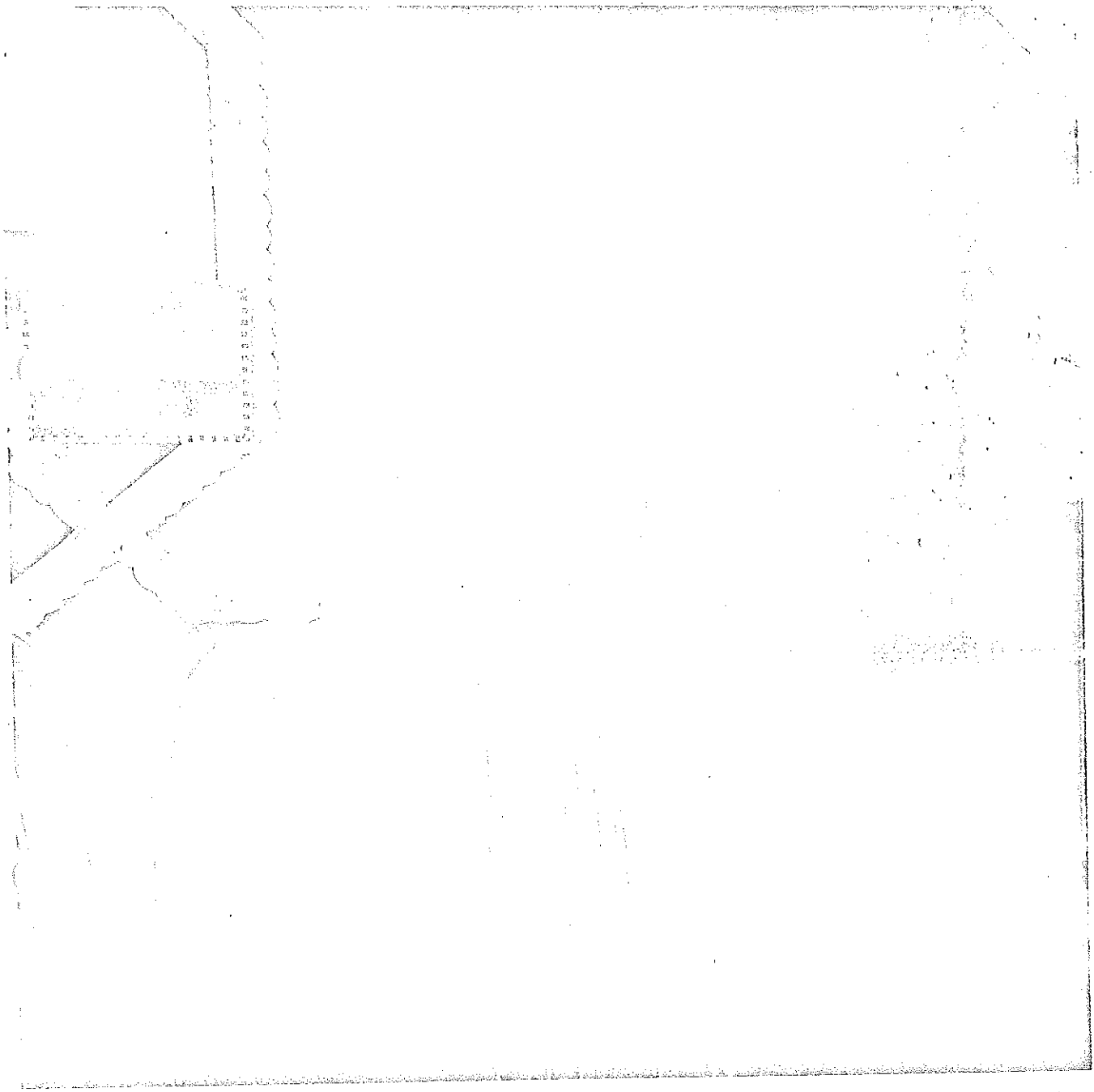


FOTO N° 2

Espectro del escurrimiento durante el cierre para $Q_r = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



FOTO N° 3

Visualización de la inestabilidad del cordón de enrocado a cota + 9 m.
para $Q_r = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

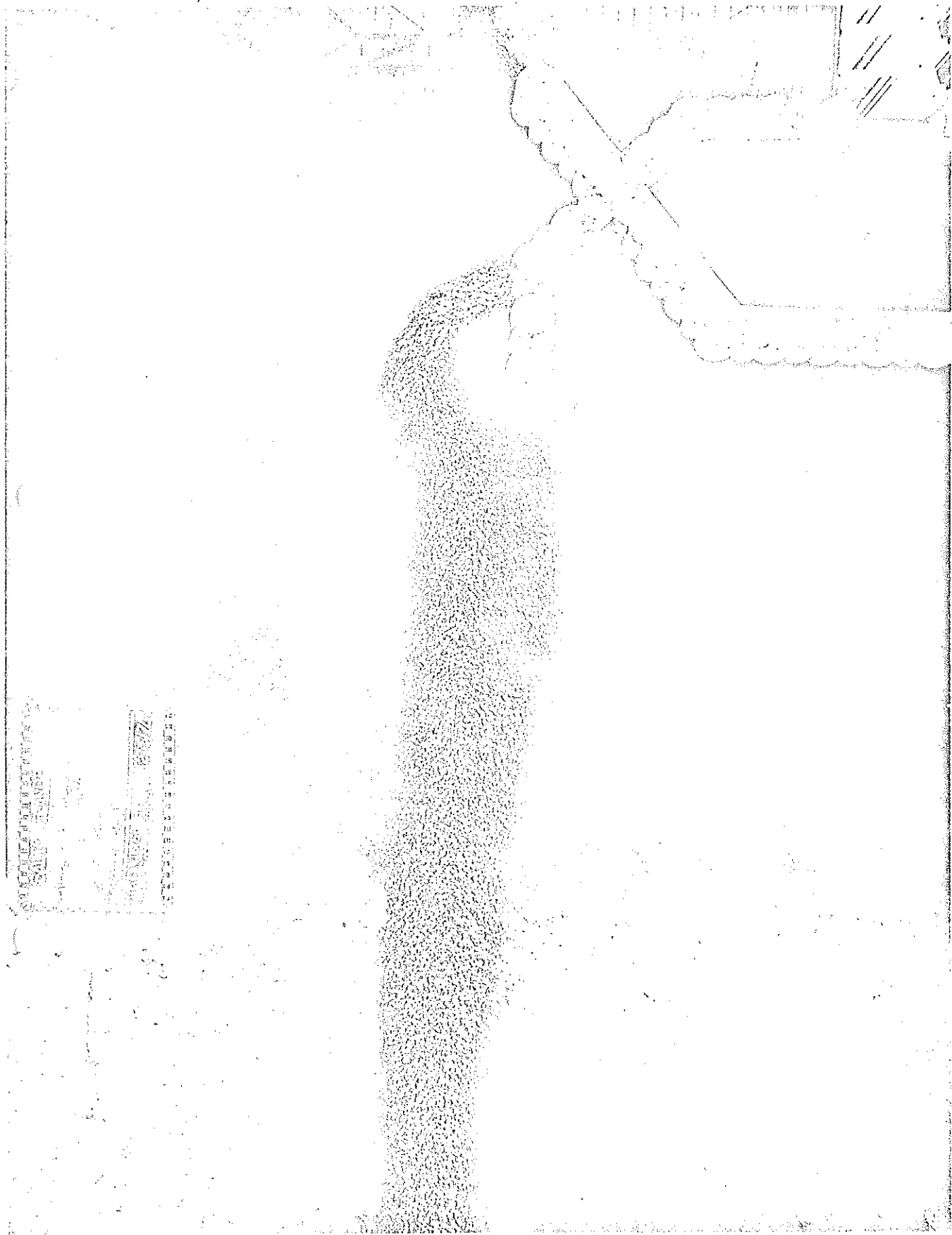


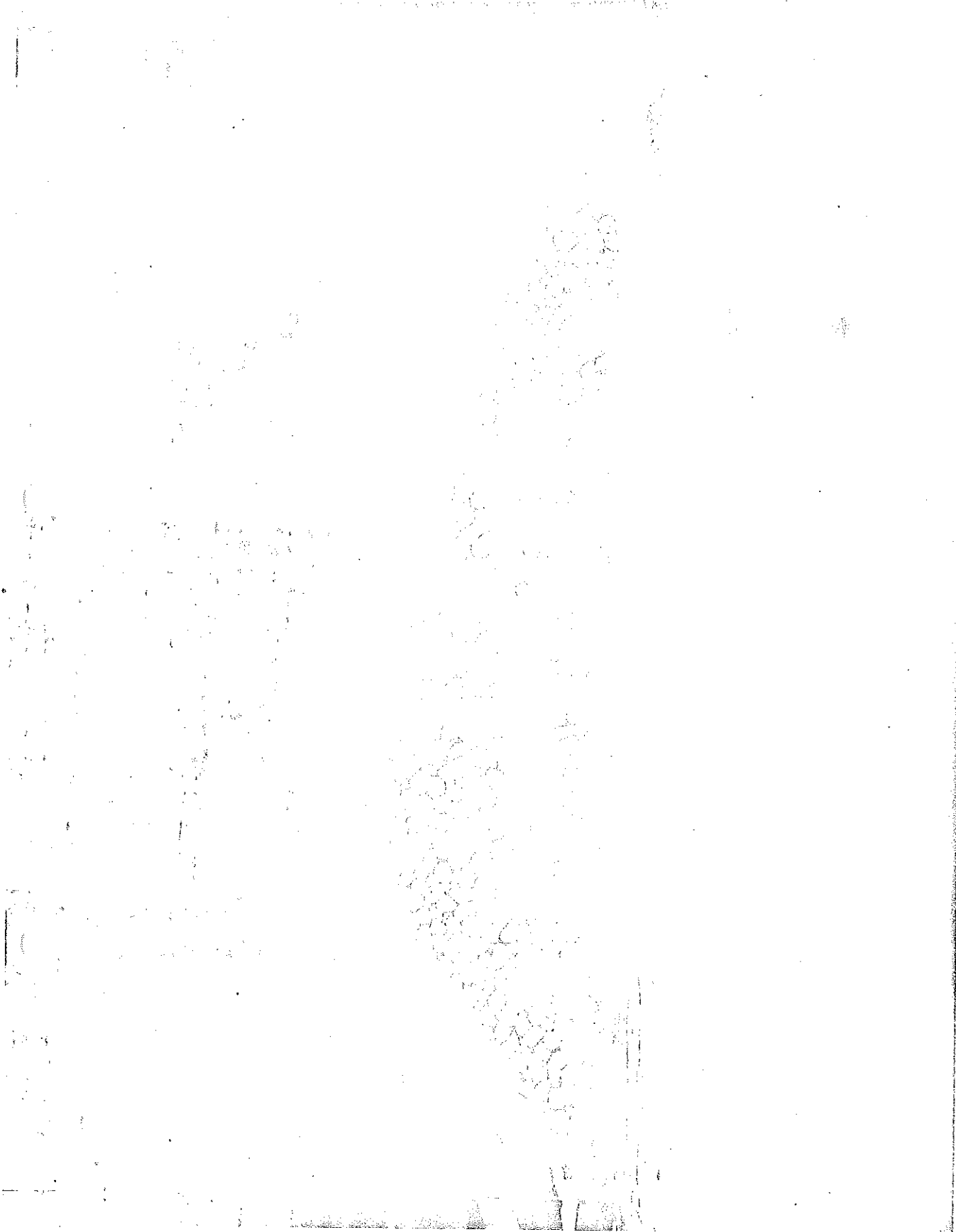
FOTO N° 4

Forma final del cierre para $Q_Y = 20.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

$Q_F = 20.000 \text{ m}^3/\text{s}$

FOTO N° 3

Sección transversal del cordón de enrocado construido mediante avance desde cabecera.



$Q_r = 20.000 \text{ m}^3/\text{s}$

FOTO N° 6

Sección transversal del cordón de enrocado construido mediante recrecimiento desde el cauce.

Colaboradores:

Técnicos de Modelo:	Angel R. PISOLI
	Jorge L. SANTURIO
Fotógrafo:	Norberto MULLE
Dactilógrafa:	María E. N. de ARANCIO
Dibujante:	Daniel MONTENEGRO