

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 III -

Investigador Responsable:

Dr. Raúl A. LOPARDO

Investigador Asociado:

Ing. Fernando J. ZARATE

Supervisión:

Dr. Moisés S. BARCHILON

Dr. Alfonso PUJOL

EZEIZA, 31 de agosto de 1973.

L.H.A.-9-003-73

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 III - Avance de ataguías en primera etapa de desvío.

Raúl A. Lopardo, Fernando J. Zárate

Résúmen: En el modelo tridimensional a escala 1:125 de las obras de Salto Grande se efectuaron los ensayos se estudiaron las condiciones de estabilidad de los espigones de cierre de primera etapa de desvío, siguiendo el plan del proyectista. Complementariamente, se observaron los efectos que las celdas de tablestacas producen sobre el avance de los espigones y viceversa.

Descriptor: Hidrodinámica de enrocados; Cierres fluviales; Etapas de construcción; Modelos físicos.

Geográficos/Institucionales: Salto Grande - río Uruguay

Ezeiza, agosto de 1973

1

I - ESTUDIO DEL AVANCE DE ATAGUIAS

a) DETALLES TECNICOS DEL PROYECTO

De acuerdo con las condiciones de ensayo establecidas por la C.T.M. en su nota DT/731/73 del 29 de junio y las modificaciones introducidas en el Acta de Inspección del Modelo del 27 de julio, a solicitud conjunta de la propia C.T.M. y el representante de la consultora MAIN y Asociados, se programó una serie de investigaciones acerca del avance de las ataguías.

La construcción de las ataguías arranca de la margen uruguaya y se desarrolla progresivamente hacia el interior del río, analizándose el funcionamiento de las siguientes etapas parciales:

- * ataguías desarrolladas hasta 1000 m de distancia del punto fijo K.
- * ataguías desarrolladas hasta 1200 m de distancia del punto fijo K.
- * idem anterior con un cierre longitudinal entre espigones extremos.
- * ataguías desarrolladas hasta 1350 m de distancia del punto fijo K.

En cada una de las citadas etapas se requirió el estudio de velocidades en los puntos críticos, niveles de agua y redes de corriente para gastos líquidos de

- * $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- * $Q = 8.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- * $Q = 12.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

La atagüa propiamente dicha se compone en este estado de dos espigones de enrocado paralelos. Existiendo la necesi

2

dad de reproducir las dos ataguías granulares (aguas arriba y aguas abajo) en el modelo, se materializó el avance de cuatro espigones de enrocado, con el criterio de construcción simultánea.

Los espigones están dimensionados con un ancho de coronamiento de 4 metros y taludes 1:1,5 definidos de acuerdo con el proyecto original (1), con cota de coronamiento de 14 m (Nota C/532/73 de la C.T.M.).

Se estableció además el interés de conocer el tamaño del material granular para enrocado necesario en el cierre de las distintas etapas. En tal sentido se estableció la construcción progresiva de los espigones para determinar la estabilidad de los bloques con referencia al estado de avanzamiento alcanzado.

b) DETALLES TECNICOS DEL MODELO

El estudio se desarrolló utilizando el modelo general, en escala 1:125, ya detallado en el Capítulo I. Se recuerda que la escala de gastos líquidos es 1:174.693 y la de velocidades 1:11,18.

Las dimensiones de los espigones reprodujeron en escala 1:125 los valores del prototipo, y su ubicación responde a los datos provistos por el comitente respecto de los ejes fijos de referencia.

Dado el interés de conocer la estabilidad de los bloques al ataque de la corriente líquida, los espigones fueron representados por material granular suelto en el modelo.

(1) ACRES-HIDROSUD-APPISA: Contrato SG01, Vol. III, dibujo 1064, 1971.

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

- CAPITULO III -

Investigador Responsable:

Dr. Raúl A. LOPARDO

Investigador Asociado:

Ing. Fernando J. ZARATE

Supervisión:

Dr. Moisés S. BARCHILON

Dr. Alfonso PUJOL

EZEIZA, 31 de agosto de 1973.

L.H.A.-9-003-73

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 III - Avance de ataguías en primera etapa de desvío.

Raúl A. Lopardo, Fernando J. Zárate

Resumen: En el modelo tridimensional a escala 1:125 de las obras de Salto Grande se efectuaron los ensayos se estudiaron las condiciones de estabilidad de los espigones de cierre de primera etapa de desvío, siguiendo el plan del proyectista. Complementariamente, se observaron los efectos que las celdas de tablas producen sobre el avance de los espigones y viceversa.

Descriptor: Hidrodinámica de enrocados; Cierres fluviales; Etapas de construcción; Modelos físicos.

Geográficos/Institucionales: Salto Grande - río Uruguay

Ezeiza, agosto de 1973

1

I - ESTUDIO DEL AVANCE DE ATAGUIAS

a) DETALLES TECNICOS DEL PROYECTO

De acuerdo con las condiciones de ensayo establecidas por la C.T.M. en su nota DT/731/73 del 29 de junio y las modificaciones introducidas en el Acta de Inspección del Modelo del 27 de julio, a solicitud conjunta de la propia C.T.M. y el representante de la consultora MAIN y Asociados, se programó una serie de investigaciones acerca del avance de las ataguías.

La construcción de las ataguías arranca de la margen uruguaya y se desarrolla progresivamente hacia el interior del río, analizándose el funcionamiento de las siguientes etapas parciales:

- * ataguías desarrolladas hasta 1000 m de distancia del punto fijo K.
- * ataguías desarrolladas hasta 1200 m de distancia del punto fijo K.
- * idem anterior con un cierre longitudinal entre espigones extremos.
- * ataguías desarrolladas hasta 1350 m de distancia del punto fijo K.

En cada una de las citadas etapas se requirió el estudio de velocidades en los puntos críticos, niveles de agua y redes de corriente para gastos líquidos de

- * $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- * $Q = 8.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- * $Q = 12.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

La ataguía propiamente dicha se compone en este estado de dos espigones de enrocado paralelos. Existiendo la necesi

2

dad de reproducir las dos ataguías granulares (aguas arriba y aguas abajo) en el modelo, se materializó el avance de cuatro espigones de enrocado, con el criterio de construcción simultánea.

Los espigones están dimensionados con un ancho de coronamiento de 4 metros y taludes 1:1,5 definidos de acuerdo con el proyecto original (1), con cota de coronamiento de 14 m (Nota C/532/73 de la C.T.M.).

Se estableció además el interés de conocer el tamaño del material granular para enrocado necesario en el cierre de las distintas etapas. En tal sentido se estableció la construcción progresiva de los espigones para determinar la estabilidad de los bloques con referencia al estado de avanzamiento alcanzado.

b) DETALLES TECNICOS DEL MODELO

El estudio se desarrolló utilizando el modelo general, en escala 1:125, ya detallado en el Capítulo I. Se recuerda que la escala de gastos líquidos es 1:174.693 y la de velocidades 1:11,18.

Las dimensiones de los espigones reprodujeron en escala 1:125 los valores del prototipo, y su ubicación responde a los datos provistos por el comitente respecto de los ejes fijos de referencia.

Dado el interés de conocer la estabilidad de los bloques al ataque de la corriente líquida, los espigones fueron representados por material granular suelto en el modelo.

(1) ACRES-HIDROSUD-APPISA: Contrato SG01, Vol. III, dibujo 1064, 1971.

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

- CAPITULO III -

Investigador Responsable:

Dr. Raúl A. LOPARDO

Investigador Asociado:

Ing. Fernando J. ZARATE

Supervisión:

Dr. Moisés S. BARCHILON

Dr. Alfonso PUJOL

EZEIZA, 31 de agosto de 1973.

L.H.A.-9-003-73

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 III - Avance de ataguías en primera etapa de desvío.

Raul A. Lopardo, Fernando J. Zárate

Résúmen: En el modelo tridimensional a escala 1:125 de las obras de Salto Grande se efectuaron los ensayos se estudiaron las condiciones de estabilidad de los espigones de cierre de primera etapa de desvío, siguiendo el plan del proyectista. Complementariamente, se observaron los efectos que las celdas de tablas producen sobre el avance de los espigones y viceversa.

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

Geográficos/Institucionales: Salto Grande - río Uruguay

Ezeiza, agosto de 1973

1

I - ESTUDIO DEL AVANCE DE ATAGUIAS

a) DETALLES TECNICOS DEL PROYECTO

De acuerdo con las condiciones de ensayo establecidas por la C.T.M. en su nota DT/731/73 del 29 de junio y las modificaciones introducidas en el Acta de Inspección del Modelo del 27 de julio, a solicitud conjunta de la propia C.T.M. y el representante de la consultora MAIN y Asociados, se programó una serie de investigaciones acerca del avance de las ataguías.

La construcción de las ataguías arranca de la margen uruguaya y se desarrolla progresivamente hacia el interior del río, analizándose el funcionamiento de las siguientes etapas parciales:

- * ataguías desarrolladas hasta 1000 m de distancia del punto fijo K.
- * ataguías desarrolladas hasta 1200 m de distancia del punto fijo K.
- * idem anterior con un cierre longitudinal entre espigones extremos.
- * ataguías desarrolladas hasta 1350 m de distancia del punto fijo K.

En cada una de las citadas etapas se requirió el estudio de velocidades en los puntos críticos, niveles de agua y redes de corriente para gastos líquidos de

- * $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- * $Q = 8.000 \text{ m}^3/\text{s}$
- * $Q = 12.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

La ataguía propiamente dicha se compone en este estado de dos espigones de enrocado paralelos. Existiendo la necesi

2

dad de reproducir las dos ataguías granulares (aguas arriba y aguas abajo) en el modelo, se materializó el avance de cuatro espigones de enrocado, con el criterio de construcción simultánea.

Los espigones están dimensionados con un ancho de coronamiento de 4 metros y taludes 1:1,5 definidos de acuerdo con el proyecto original (1), con cota de coronamiento de 14 m (Nota C/532/73 de la C.T.M.).

Se estableció además el interés de conocer el tamaño del material granular para enrocado necesario en el cierre de las distintas etapas. En tal sentido se estableció la construcción progresiva de los espigones para determinar la estabilidad de los bloques con referencia al estado de avanzamiento alcanzado.

b) DETALLES TECNICOS DEL MODELO

El estudio se desarrolló utilizando el modelo general, en escala 1:125, ya detallado en el Capítulo I. Se recuerda que la escala de gastos líquidos es 1:174.693 y la de velocidades 1:11,18.

Las dimensiones de los espigones reprodujeron en esca la 1:125 los valores del prototipo, y su ubicación responde a los datos provistos por el comitente respecto de los ejes fijos de referencia.

Dado el interés de conocer la estabilidad de los bloques al ataque de la corriente líquida, los espigones fueron re presentados por material granular suelto en el modelo.

(1) ACRES-HIDROSUD-APPISA: Contrato SG01, Vol. III, dibujo 1064, 1971.

La resistencia de un bloque de enrocado a la acción dinámica del escurrimiento es una función directa de su peso propio y del coeficiente de forma.

Es indudable en tales circunstancias que las fuerzas predominantes en el fenómeno físico que interesa son las provenientes de la atracción gravitacional terrestre, justificándose ampliamente la ley de semejanza de Froude, con la que ha sido proyectado el modelo.

Debido a la condición precedente, el tamaño de bloques del modelo guarda una relación idéntica a sus homólogos del prototipo que el resto de las longitudes lineales, es decir 1:125, siempre que el peso específico del material utilizado sea el mismo.

A efectos de guardar el máximo de rigor en la semejanza expuesta, se obtuvo de la C.T.M. una muestra de basalto típico de la zona de obra, que fue molido en este Laboratorio.

Se observó que la rotura del basalto en piedrecillas de pequeñas dimensiones guardaba el mismo coeficiente de forma, indicando planos de rotura muy similares para diversos tamaños.

Si bien la cantidad de basalto molido disponible no permitió la reproducción integral de las ataguías con este material, se lo utilizó en todos los puntos críticos.

La mayor parte de las ataguías se reprodujeron con material granular (sea canto rodado, sea granza) que cubría la semejanza propuesta a menos del coeficiente de forma.

De todas maneras, ello era utilizado una vez que se probaba previamente la eficacia del basalto de la obra.

Se utilizaron dos rangos de tamaños de bloques de enrocado en el modelo, uno comprendido entre los tamices N^o 8 y N^o 4, y el otro, de mayores dimensiones, comprendido entre los tamices N^o 4 y 3/8".

4

El primero de los tipos representa en el prototipo un enrocado de piedras de 160 Kg. de peso en promedio, y se designará en este informe como tamaño R1 y el segundo (designado como R2) representa piedras que como mínimo presentan 300 Kg. de peso.

c) METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS

Los ensayos realizados tuvieron las siguientes características:

- medición de los gastos de ingreso al modelo. Todos los gastos (5.000 m³/s, 8.000 m³/s y 12.000 m³/s) se midieron por vertedero Rehbock.
- 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 m lectura de nivel concordante con el gasto que escurre.
- registro de la pendiente hidráulica del río para los distintos estados de avanzamiento. Se leen los limnómetros ubicados a lo largo del modelo determinándose así el perfil longitudinal de la superficie libre y consecuentemente la pérdida de energía localizada proveniente del efecto de cierre de la ataguía.
- registro de las líneas de corriente en la zona estrechada. Desde un punto ubicado sobre el modelo se fotografían las trayectorias de las partículas que viajan con el escurrimiento. Se utilizaron recortes rectangulares de cartulina, obteniéndose de los registros las redes de escurrimiento correspondientes.
- medición de velocidades de escurrimiento. Los instrumentos utilizados son micromolinetes Delft, con precisión del orden del 2% y cuyo indicador electrónico ha sido conectado a un multímetro digital que permite obtener valores digitales integrados en diez segundos. En cada ubicación de molinete se to-

5

man tres integraciones consecutivas de diez segundos y se adopta como velocidad en ese punto el promedio de las tres lecturas realizadas. Se midieron velocidades en coincidencia con los ejes de los espigones y en los puntos medios entre dichos ejes. En la zona del primer espigón aguas arriba, se determinaron velocidades en puntos de interés, ubicándose además en cada caso la velocidad máxima correspondiente.

- el avanzamiento de los espigones granulares fue ejecutado volcando lentamente las piedrecillas sobre el lecho hasta conseguir alcanzar la cota de coronamiento. Fotografía N^o 1. Los bloques se arrojaron prácticamente desde la superficie libre, para respetar la operación constructiva, que en el prototipo se realiza mediante camiones que los vuelcan desde el coronamiento sobre el talud del espigón. El ritmo de esta operación fue constante en el modelo, no teniendo en cuenta las discontinuidades que se producirán en la realidad entre los aportes de cada camión.
- se comenzó construyendo los cuatro espigones a la vez, con bloques tipo R1, hasta un punto ubicado a 1.000 m de distancia del mojón K, realizándose en ese estado todas las mediciones mencionadas. Se prosiguió luego con el avanzamiento simultáneo hasta 1.200 m de distancia del punto fijo K, repitiéndose las experiencias para dicho estado. Luego se ejecutó el cierre longitudinal, hecho lo cual se repitieron las mediciones y finalmente se concretó el avanzamiento del espigón A en forma individual hasta 1.350 m de distancia del mojón K con bloques del tamaño R2 reiterándose las medidas de interés. En todos los casos enumerados, se realizaron primero los ensayos con el máximo gasto ($Q = 12.000 \text{ m}^3/\text{s}$) verificando a intervalos sucesivos la estabilidad de los bloques de basalto bajo dichas condiciones, probado lo cual se rellenaba con los otros materiales disponibles.

d) RESULTADOS OBTENIDOS

De los ensayos realizados según la metodología antes expuesta se obtuvieron los siguientes resultados:

- Avance a 1.000 m del punto fijo K.

En esta etapa el cierre es de poca magnitud y el incremento de velocidades no es suficientemente importante como para comprometer en ningún caso la estabilidad del enrocado conformado con bloques del tamaño R1.

El perfil longitudinal de la superficie libre se presenta para los tres gastos de ensayo en la figura N° 2.

Tomando un perfil longitudinal (paralelo a la dirección del río) ubicado 20 metros hacia el centro del cauce desde el fin de los espigones construídos, se relevaron las velocidades en los puntos característicos, según el siguiente detalle:

Cuando el gasto que escurre es de $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ a 37.5 m aguas arriba del eje del primer espigón (espigón A - figura N° 1) la velocidad medida resultó de $0,87 \text{ m/s}$ y al aproximarse a $12,5$ metros del citado eje se incrementó a $1,10 \text{ m/s}$ llegando a 1.41 m/s sobre el propio eje. Luego la velocidad comienza a descender, yendo a $1,05 \text{ m/s}$ en el punto medio entre los ejes A y B (figura N° 1) y a $0,70 \text{ m}$ en el eje del espigón B. Ya en este punto la corriente principal está totalmente desviada por el efecto del cierre y puede notarse que el valor de la velocidad medida se reduce a la mitad de la existente frente al primer espigón. Para un punto ubicado en el medio entre los espigones B y C (es decir entre las dos ataguías definitivas) la velocidad mantiene el orden de magnitud anterior, siendo $0,63 \text{ m/s}$, aunque los valores en estas zonas afectadas por retrocesos son promedios de lecturas muy fluctuantes. Frente al eje C ya se ha reconstituído nuevamente parte del escurrimiento, midiéndose una velocidad de $1,19 \text{ m/s}$ que crece

aún a 1,33 m/s para el punto medio entre C y D descendiendo luego a 1,05 m/s frente al eje D por la nueva separación provocada. La máxima velocidad observada en todo el escurrimiento se produce en las vecindades del morro del espigón A, en la estela formada por su presencia en la corriente y alcanza en este caso a 1,69 m/s.

Cuando escurre un gasto de 8.000 m³/s el fenómeno es totalmente similar al señalado, con valores crecientes de velocidad hasta 1,61 m/s en el eje A y de 1,30 m/s en la zona de aguas abajo, entre los ejes C y D. La velocidad máxima medida, que como en todos los casos se encuentra sobre la estela en las vecindades del morro del espigón A, llega a 2,10 m/s.

El máximo gasto de ensayo previsto es 12.000 m³/s. En esas circunstancias el fenómeno hidrodinámico se repite, con una velocidad mayor en coincidencia con el eje A, que ya es de 2,10 m/s, pero no con una mayor velocidad en la zona de aguas abajo, donde sólo se midieron valores cercanos a 1,20 m/s. La máxima velocidad medida en este caso fue de 2,54 m/s.

En resumen:

Avance	Gasto	Velocidad eje A	Velocidad máxima
1000 m desde K	5000 m ³ /s	1,41 m/s	1,69 m/s
"	8000 m ³ /s	1,61 m/s	2,10 m/s
"	12000 m ³ /s	2,10 m/s	2,54 m/s

Del estudio fotográfico se desprende que la aceleración del movimiento en las cercanías del primer espigón coincide con la desviación de las líneas de corriente, que marcan un efecto de separación en la zona de la ataguía de aguas arriba (fotografía N^o 2).

También puede apreciarse (fotografía N^o 3) la distribución de trayectorias en la zona de ataguía de aguas abajo, justificándose los valores de velocidad antes mencionados. Se señala la presencia de remolinos en la región entre ataguías, que moti-

van las fluctuaciones de velocidad observadas por lectura de molinete. En esta zona el escurrimiento es de todas maneras su ficientemente lento.

- Avance a 1.200 m del punto fijo K

El perfil longitudinal de la superficie libre se ha representado para los tres gastos de ensayo en la figura N^o 3.

Avanzando con los espigones en forma simultánea para el máximo gasto de proyecto (12.000 m³/s) se pudo apreciar que los taludes bajo agua comenzaban a hacerse algo más tendidos y que en ninguna parte del tramo las piedrecillas eran arrastradas por la corriente. Se ha observado posteriormente (al continuarse la construcción del espigón A) que este cierre pone un límite al uso de bloques del tamaño R1.

Se repitieron las mediciones de velocidades detalladas en el avance a 1000 m del punto K, con los siguientes valores de interés:

Avance	Gasto	Velocidad eje A	Velocidad máxima
1200 m desde K	5000 m ³ /s	2,44 m/s	3,35 m/s
"	8000 m ³ /s	2,58 m/s	3,84 m/s
"	12000 m ³ /s	2,71 m/s	4,19 m/s

La velocidad puntual incidente sobre el enrocado en la zona de despegue es siempre un valor mayor que el existente sobre el eje A en el perfil longitudinal de referencia y algo menor que la máxima medida sobre la estela.

En este estado de avance el efecto de separación de los filetes líquidos se magnifica notablemente respecto de la etapa anterior, tal como puede apreciarse en la fotografía N^o 4. Debido a ese fenómeno, resultó imposible relevar valores de velocidad para los puntos ubicados aguas abajo del espigón A en el perfil longitudinal de referencia. Las fluctuaciones eran de tal importancia que el vector velocidad cambiaba de signo in-

virtuéndose el sentido de la corriente. En la citada fotografía N^o 4 se observa el movimiento en forma de remolino en la zona de "aguas muertas" con trazos muy cortos de los flotadores, indicando muy débiles velocidades.

Debido a lo expuesto, los espigones de aguas abajo aparecen como no comprometidos en cuanto a la estabilidad de sus enrocados por efecto del movimiento.

- Cierre longitudinal a 1.200 m del punto fijo K

Una vez completado el avance de los cuatro espigones hasta 1.200 m del punto fijo K se unieron los morros con un espigón longitudinal de cierre de las mismas características e igual tamaño de enrocado que los ya construídos.

El escurrimiento respeta las características hidrodinámicas del analizado previamente con los siguientes valores de velocidad medidos:

Avance	Gasto	Velocidad eje A	Velocidad máxima
1200 m desde K c/cierre long.	5000 m ³ /s	2,54 m/s	3,50 m/s
"	8000 m ³ /s	2,60 m/s	3,90 m/s
"	12000 m ³ /s	2,76 m/s	4,20 m/s

- Avance a 1350 m del punto fijo K

El perfil longitudinal de la superficie libre se ha representado para los tres gastos de ensayo en la figura N^o 4.

El cierre transversal adquiere ahora una gran influencia y la estela formada por la presencia del espigón A presenta a medida que se construye el mismo mayores condiciones de inestabilidad del enrocado.

Debido a esas condiciones, el basalto molido en el tamaño R1 no aparece como suficientemente seguro pues algunas partículas ya son arrastradas por la corriente. Por las razones expuestas se continuó la construcción del espigón A utilizando piedreci-

llas del tamaño R2, aunque relleno con las de menor tamaño una vez estabilizado el talud de aguas arriba con las mayores. Considerando factores de seguridad, el cambio de tamaño de piedra se realizó a partir de los 1.200 m desde el punto K, construyéndose toda esta última etapa de la forma antes descrita. Para esta fase final del cierre sólo se prolongó el espigón A de aguas arriba, sin prestar atención a los tres restantes. Las velocidades, que han ido creciendo a medida que se estrechaba la sección de escurrimiento, llegan para el máximo avance previsto a los siguientes valores:

Avance	Gasto	Velocidad eje A	Velocidad máxima
1350 m desde K	5000 m ³ /s	3,41 m/s	4,86 m/s
"	8000 m ³ /s	4,18 m/s	5,14 m/s
"	12000 m ³ /s	4,47 m/s	5,81 m/s

La velocidad aplicada en el enrocado, en la zona de probable inestabilidad está comprendida en cada caso entre las dos que se detallan, y es difícil estimar un valor exacto. Por ejemplo, para 5000 m³/s de gasto se detectó una velocidad de 4,20 m/s en la zona citada, coincidiendo con el movimiento de una partícula del tamaño R1 allí colocada; ello muestra que para velocidades máximas del orden de 4,50 m/s (o puntuales de 4,00 m/s en el enrocado) podría estimarse el arrastre del material R1. La fotografía N^o 5 muestra claramente la separación de los filetes líquidos y la dirección de la estela provocada por la presencia del espigón A.

e) CONCLUSIONES

Debido al efecto del cierre transversal, que gradualmente se ha provocado al escurrimiento el nivel de la superficie libre aguas arriba de la obra va creciendo con el avance

de los espigones. Siendo este nivel mayor cuanto mayor sea el gasto que escurre los máximos valores se han presentado en cada caso para $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

La cota de embalse, en esas circunstancias, relevada 700 metros aguas arriba del eje de presa, asciende desde 12,388 m para el inicial avance de 1.000 m a partir del punto K hasta 13,600 m para el estado final a 1.350 m del punto K. Siendo la cota de coronamiento de los espigones del orden de 14,00 m aparece como aconsejable analizar las posibilidades de incrementar la revancha,

La medición de velocidades características del escurrimiento efectuadas sobre el modelo muestran la evolución creciente de las mismas a medida que crecen los gastos y se desarrolla el avance. En la figura N° 5 se presenta la variación de la velocidad a 20 m de morro del primer espigón A sobre su eje constructivo y en la figura N° 6 la velocidad máxima del escurrimiento en función de esas dos variables.

A partir de esos gráficos puede estimarse para los distintos estados la forma adecuada de construcción ante las condiciones de escurrimiento allí planteadas.

En las experiencias realizadas sobre modelo se ha verificado que los taludes bajo agua se van haciendo más tendidos a medida que crecen las velocidades del escurrimiento. Si bien este punto no ha sido motivo de los ensayos previstos, se considera de interés dejar establecido que a partir de 1200 m del punto K los taludes bajo agua resultan así más tendidos que los del proyecto original, debiéndose prever un volumen algo mayor de enrocado.

De las distribuciones de líneas de corriente y perfiles de velocidad, analizadas a partir de fotografías como las expuestas en el presente informe y lecturas puntuales con molinete, se desprende que para las primeras etapas de avance los espigones de aguas abajo reciben el efecto de la corriente pero, ya para

1200 m del punto K prácticamente no son solicitados. El modelo permite aconsejar la utilización del mínimo tamaño ensayado R1 sin ninguna variante en todos los espigones con excepción del espigón A que es realmente el que recibe el efecto de la corriente líquida.

En cuanto al espigón A, hasta 1200 m del punto K se ha verificado la estabilidad del enrocado de tamaño R1 y a partir de este punto se ha cambiado al tamaño R2, con las consideraciones ya expresadas en el detalle de los resultados obtenidos.

De acuerdo al criterio de White (2) el tamaño de roca (dado por un diámetro que supone rocas esféricas) es función de la velocidad media del escurrimiento en la zona estrechada, el talud del enrocado y la profundidad de agua. Utilizando su expresión con el talud del proyecto se encuentran velocidades mayores que las detectadas sobre el modelo. Por ejemplo, rocas del tamaño R1 tendrían que ser arrastradas para velocidades medias del orden de 4,35 a 4,78 m/s, mientras que el ensayo ya prevé un fenómeno de arrastre incipiente para velocidades menores, siendo las máximas equivalentes a ese rango, y superando apreciablemente las condiciones teóricas, con valores desfavorables.

Por otra parte (3) se han detectado valores diferentes a los de la citada expresión teórica también por defecto, que confirman las investigaciones realizadas.

(2) WHITE, W.R.: A mathematical model for the analysis of river diversions, Proc. Instr. Civ. Engineers, Nº 55, 1973 Londres.

(3) Hydraulics Research Station: Closure of the Río Limay at El Chocón, H.R.S., Wallingford, Ex 507, Setiembre de 1970.

II - ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

a) INFLUENCIA DE LOS CILINDROS EN EL AVANCE DE ATAGUIAS

Todas las investigaciones realizadas acerca del avance constructivo de las ataguías de material granular suelto tuvieron como hipótesis inicial la carencia de cilindros de tablestacado metálico en el centro del río.

De acuerdo a lo explicitado por la CTM y asentado en las Actas de Inspección del modelo, el escurrimiento debía estar libre de esos elementos para el análisis de desarrollo progresivo de los espigones.

Sin embargo, y considerando la posibilidad de que para un cierto estado de avance ya podían haberse hincado en el lecho del río algunos de los citados cilindros, se convino en realizar un ensayo complementario en el que, estando presentes una serie de cilindros (especialmente los ubicados aguas arriba), se observará el escurrimiento en la zona de cierre y el posible cambio de las velocidades sobre el enrocado.

Este ensayo se programó a partir de la etapa en que los espigones ya habían alcanzado 1200 metros a partir del punto K, sin cierre longitudinal.

En esas condiciones, el efecto de los cilindros provoca naturalmente una bifurcación de la corriente y un incremento de la velocidad en la zona cercana al espigón A respecto del escurrimiento libre, al aumentarse la restricción transversal al pasaje de la corriente.

La experiencia fue desarrollada sólo para gasto máximo, $Q=12.000 \text{ m}^3/\text{s}$, relevándose velocidades que ascienden hasta 4,25 m/s, obviamente mayores que las medidas sin cilindros.

Para ese orden de velocidad, si bien se mantiene estable el enrocado del espigón A ya construido, algunas de las piedrecillas más pequeñas de basalto molido tienden a ser llevadas por la corriente cuando se depositan suavemente en el lecho. A pesar de la condición desfavorable, desde un punto de vista cualitativo, se logró concretar el cierre utilizando enrocado del tamaño R2 sin mayores problemas.

Sin embargo, el análisis de la red de escurrimiento, obtenida a partir de relevamientos fotográficos del tipo presentado en la fotografía N° 6, muestra que la presencia de los cilindros solicita en mucho mayor grado los espigones de aguas abajo, al no formarse el escurrimiento rotatorio entre ataguías. En este caso, habrá que atender la estabilidad de los cuatro espigones pues si bien las velocidades decrecen paulatinamente aguas abajo del espigón A, los valores se mantienen dentro del mismo rango y no pueden despreciarse.

b) INFLUENCIA DEL AVANCE DE ATAGUIAS EN LA COLOCACION DE LOS CILINDROS.

Otra de las investigaciones complementarias realizadas de acuerdo con las indicaciones de la C.T.M. fue la tendencia a conocer los valores de velocidad existentes en la zona donde se encuentran los cilindros para distintas etapas del desarrollo progresivo del espigón A.

En principio, esta investigación tiene por objeto apreciar en que condiciones de cierre es posible hincar el tablestacado en el centro del río sin que se produzcan velocidades de la corriente líquida que impidan o dificulten esa operación con medios convencionales.

Como primer ensayo, se fijó un gasto de 8000 m³/s, y se establecieron en el centro del río una serie de cilindros que incluyen la parte recta y los ubicados aguas arriba

(figura N^o 7a).

En esas condiciones se midió la velocidad máxima (que se produce en el punto 1 de la citada figura N^o 7a) para distintos estados de avance del espigón A, partiendo de su inexistencia y llegando a 1050 m del punto fijo K.

La figura N^o 8 muestra la evolución creciente de la velocidad a medida que progresa el cierre, llegándose a 3,04 m/s para el máximo realizado. No se completó el desarrollo del espigón A por considerarse que al llegar a 3 m/s de velocidad máxima en los cilindros la condición ya era suficientemente desfavorable.

Aunque la velocidad máxima es un valor representativo del escurrimiento y se encuentra muy cerca de los cilindros, se pensó en relevar velocidades en otros puntos y otras condiciones. Por ejemplo, si los cilindros colocados ya están construidos en su totalidad, es de interés conocer las velocidades en un punto tal como el 2 (figura N^o 7b) ya que para hincar el cilindro siguiente sus magnitudes afectan directamente.

Dentro del rango de variación de los valores medidos, y a pesar de fluctuaciones provocadas por el efecto de separación, puede estimarse en promedio que las velocidades en el punto 2 son un 13% menores que las graficadas en la figura N^o 8 para el punto 1.

Posteriormente, se supuso la existencia inicial de doce cilindros (figura N^o 7c), midiéndose la velocidad en el punto 3 que está en la zona de interés para hincar las tablas tacas del decimotercero.

En este caso, se produce el estado más desfavorable pues los valores medidos en el punto 3 son del mismo orden de magnitud que los obtenidos como máximos de velocidad en el punto 1. A pesar de considerarse como probables diferencias

de lectura circunstanciales por las fluctuaciones propias de la estela del escurrimiento, se midieron velocidades instantáneas hasta un 7% mayores que las graficadas en la figura N^o 8 para el punto 1, con un máximo leído de 3,27 m/s.

Finalmente, y siempre para el mismo gasto de 8000 m³/s se colocaron sólo los dos primeros cilindros (figura 7d) midiéndose las velocidades para el punto 4, en la estela de los mismos donde necesariamente debe hincarse el tercero.

Si bien el cierre es algo menor que en los casos precedentes, y las fluctuaciones del escurrimiento no permiten apreciar valores constantes, las velocidades resultan del orden de 18% menores que las graficadas en la figura N^o 8 para el punto 1, llegando a 2,50 m/s para el máximo desarrollo del espigón A.

Es interesante señalar que en caso de no haber cilindros la velocidad en el punto donde deben hincarse éstos es un 20% menor que la previamente citada. Ello indica que por el hecho de construir los mismos (tan sólo dos por ejemplo) la velocidad ya asciende en un veinte por ciento.

Antes de comenzar el cierre (y sin cilindros) ya la velocidad puntual para 8000 m³/s llega a 1,50 m/s en la zona media del escurrimiento.

Debido a los valores elevados de velocidad en la zona de cilindros que provoca el escurrimiento al ser cerrado, se repitió la experiencia para un gasto de 5000 m³/s, con el escurrimiento libre (sin cilindros) y el micromolinete instalado donde debe hincarse el primero.

Así fueron relevados los valores representados en la figura 9 con línea llena, que permiten evaluar la posibilidad constructiva de los cilindros para un gasto menor al anterior, y cercano al módulo del río.

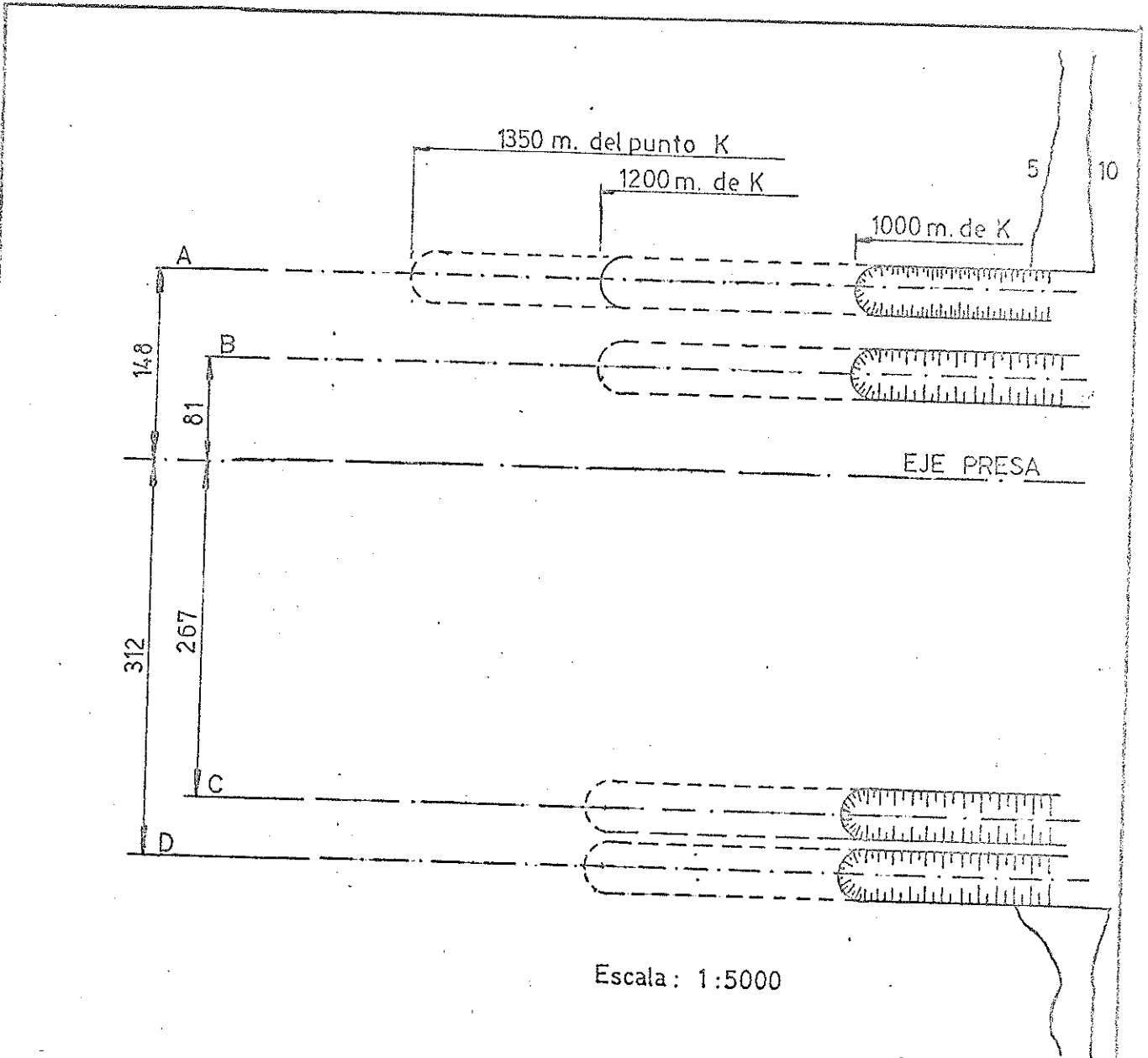
A partir de las conclusiones obtenidas para $8000 \text{ m}^3/\text{s}$ se extrapolaron las curvas para máxima velocidad (en el punto 1) y para el caso de dos cilindros (en el punto 4) representándose con línea punteada en la citada figura.

En todos estos ensayos se prescindió de analizar el efecto del escurrimiento sobre el espigón A, de acuerdo con las condiciones convenidas.

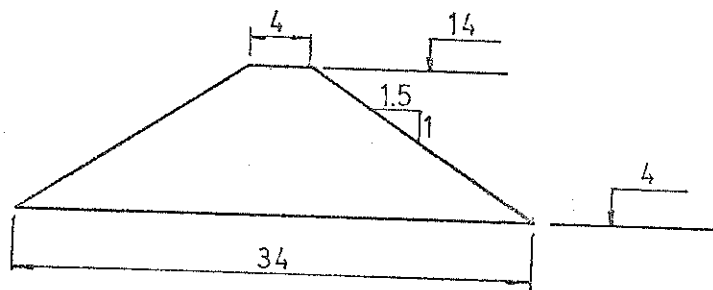
LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

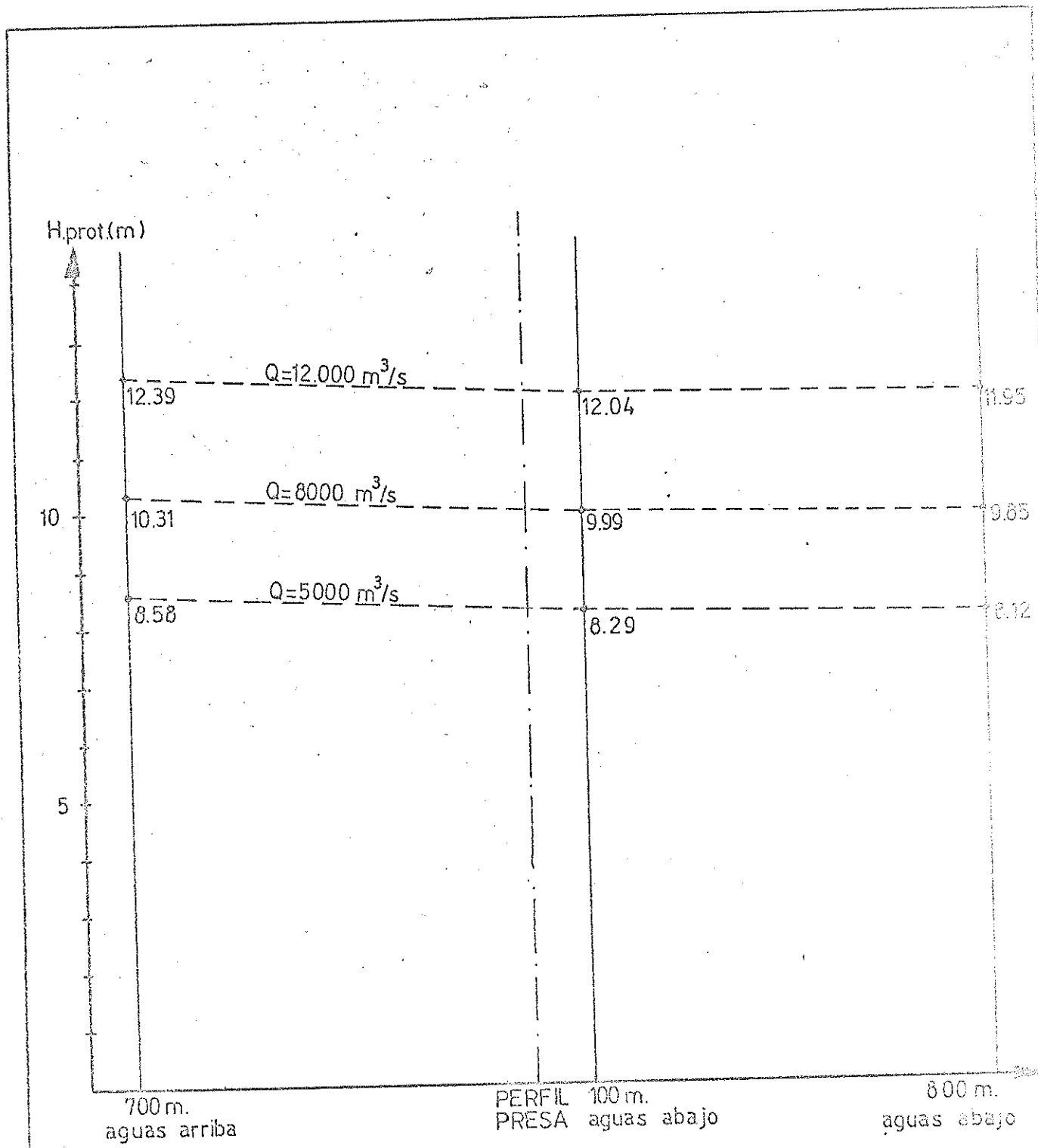
Estudio sobre modelo de Salto Grande

Avance de ataguía - Etapa 1



Escala : 1:5000



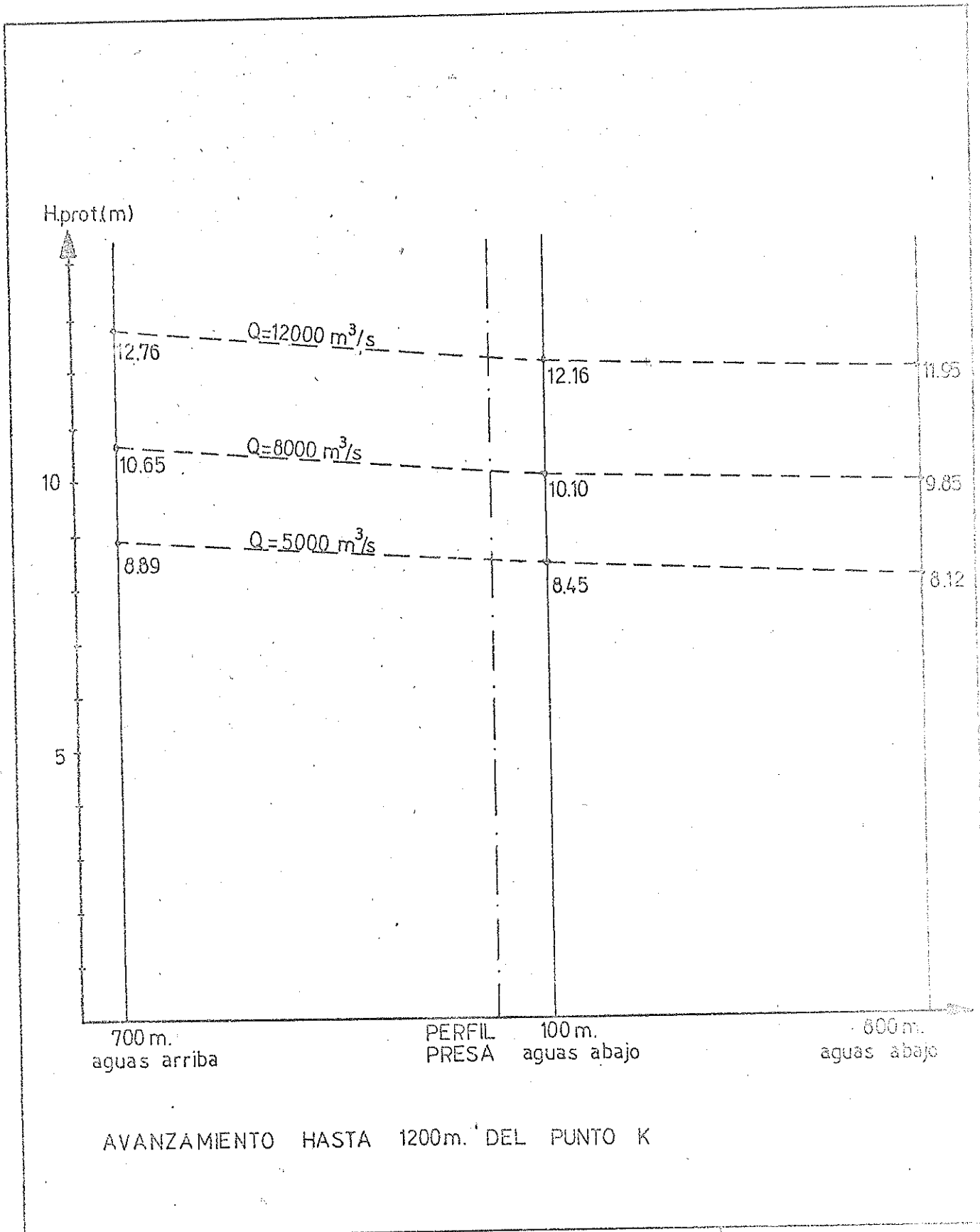


AVANZAMIENTO HASTA 1000 m. DEL PUNTO K

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

Avance de ataguía-Etapa 1



AVANZAMIENTO HASTA 1200m. DEL PUNTO K

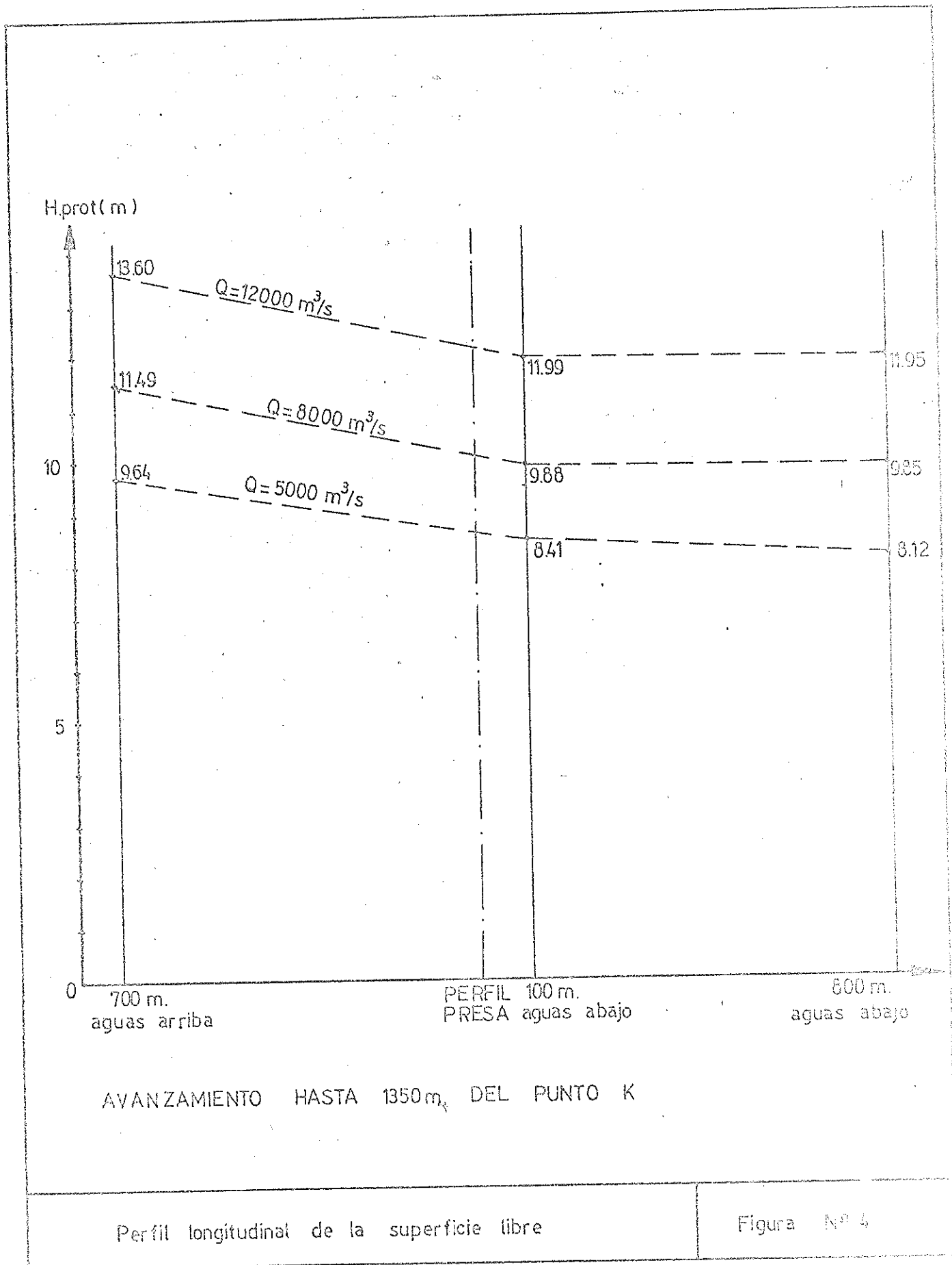
Perfil longitudinal de la superficie libre

Figura Nº 3

LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

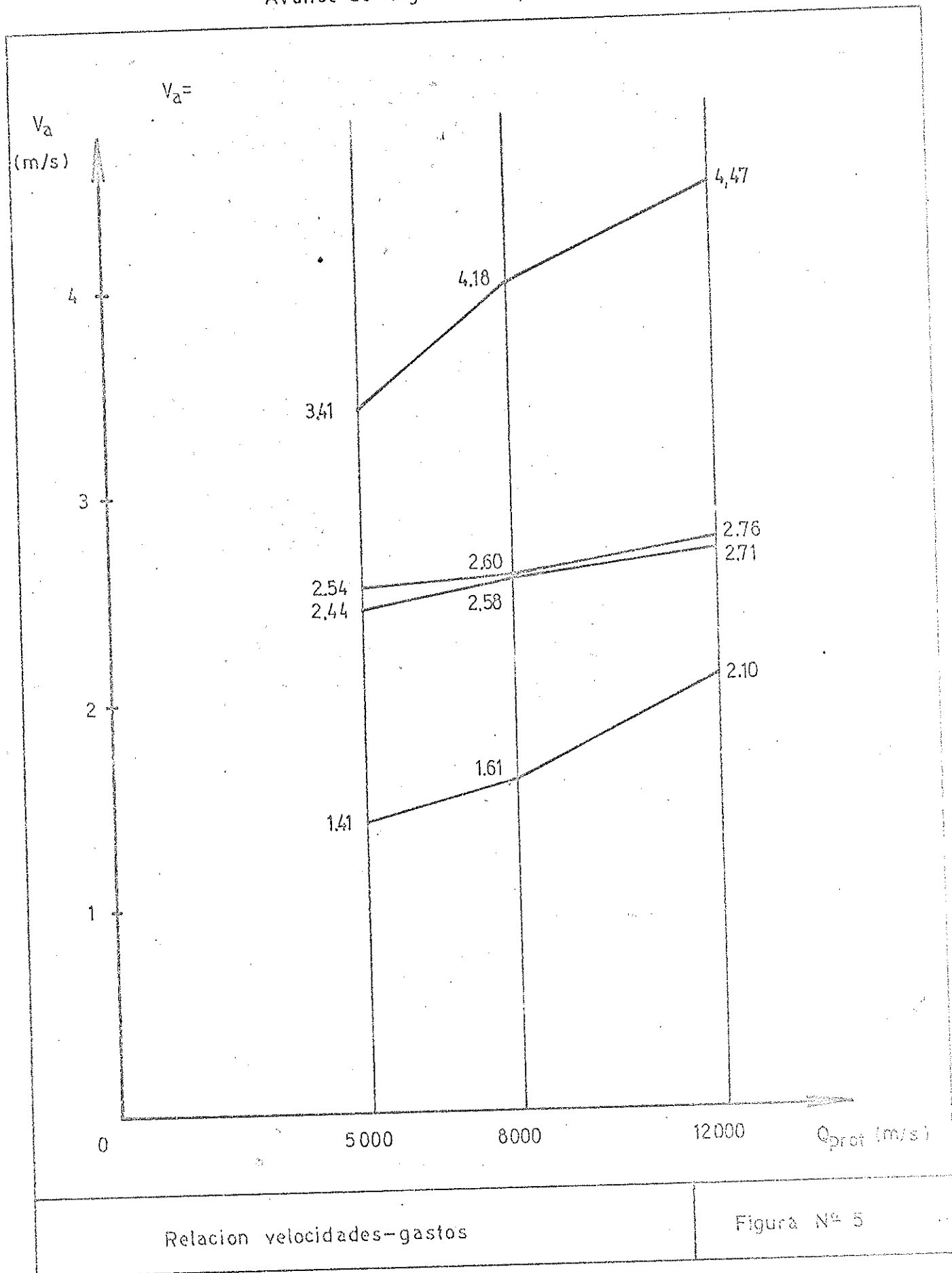
Avance de ataguía-Etapa 1



LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

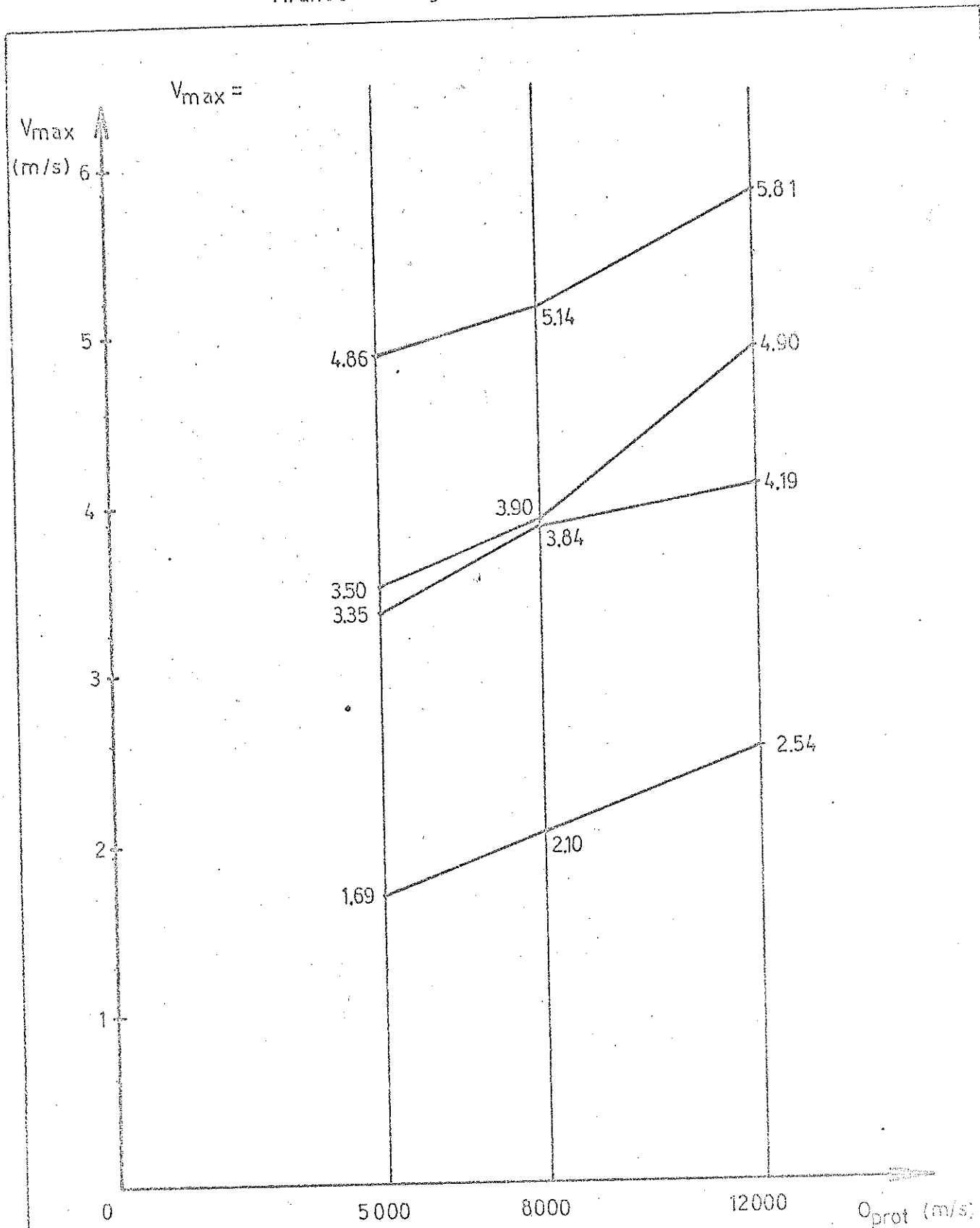
Estudio sobre modelo de Salto Grande

Avance de ataguías - Etapa 1



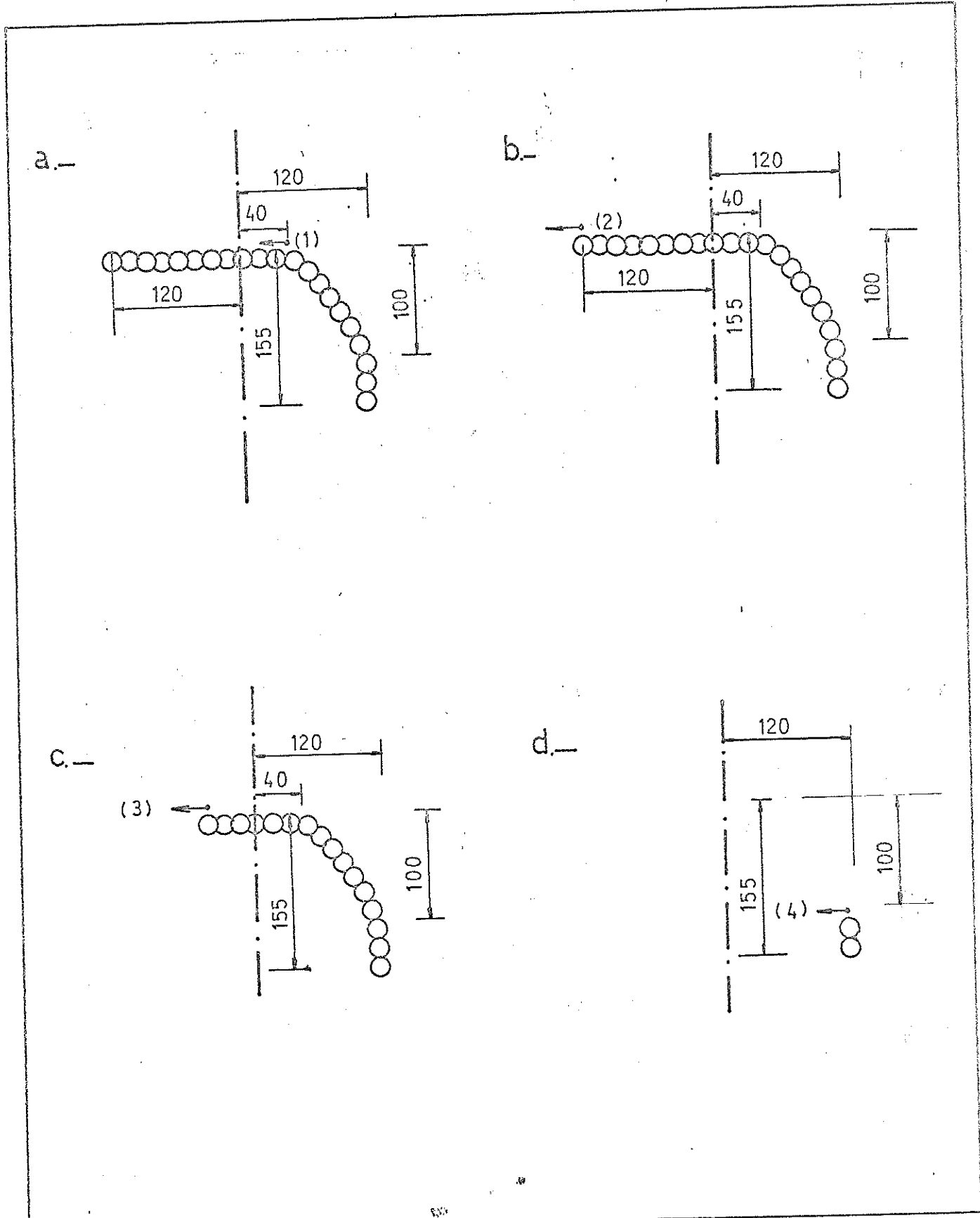
Relacion velocidades-gastos

Figura N° 5



Relacion velocidades-gastos

Figura Nº 6



Aforos de velocidad para los estudios complementarios

Figura N° 7

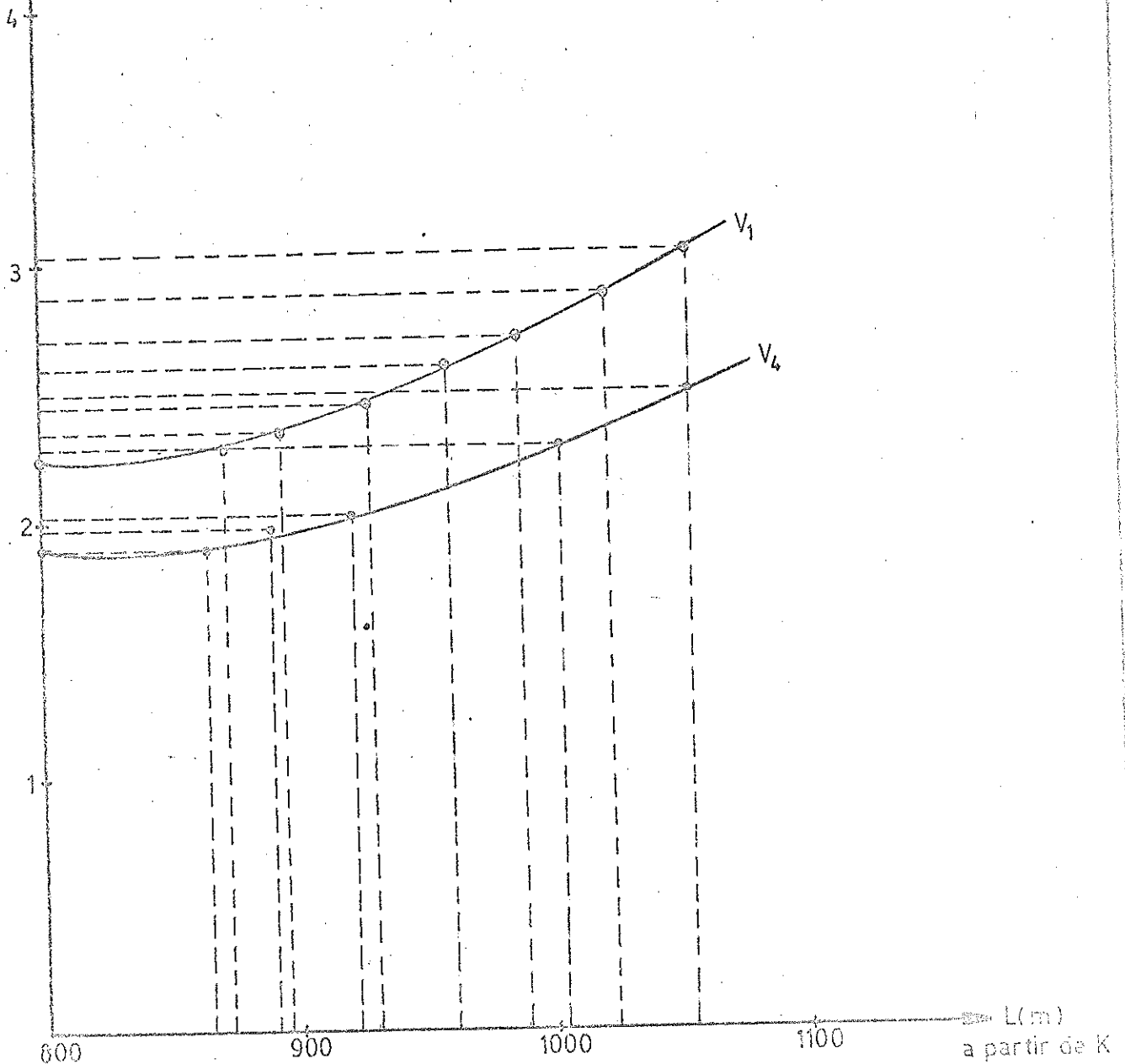
LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA APLICADA

Estudio sobre modelo de Salto Grande

Avance de ataguía-Etapa 1

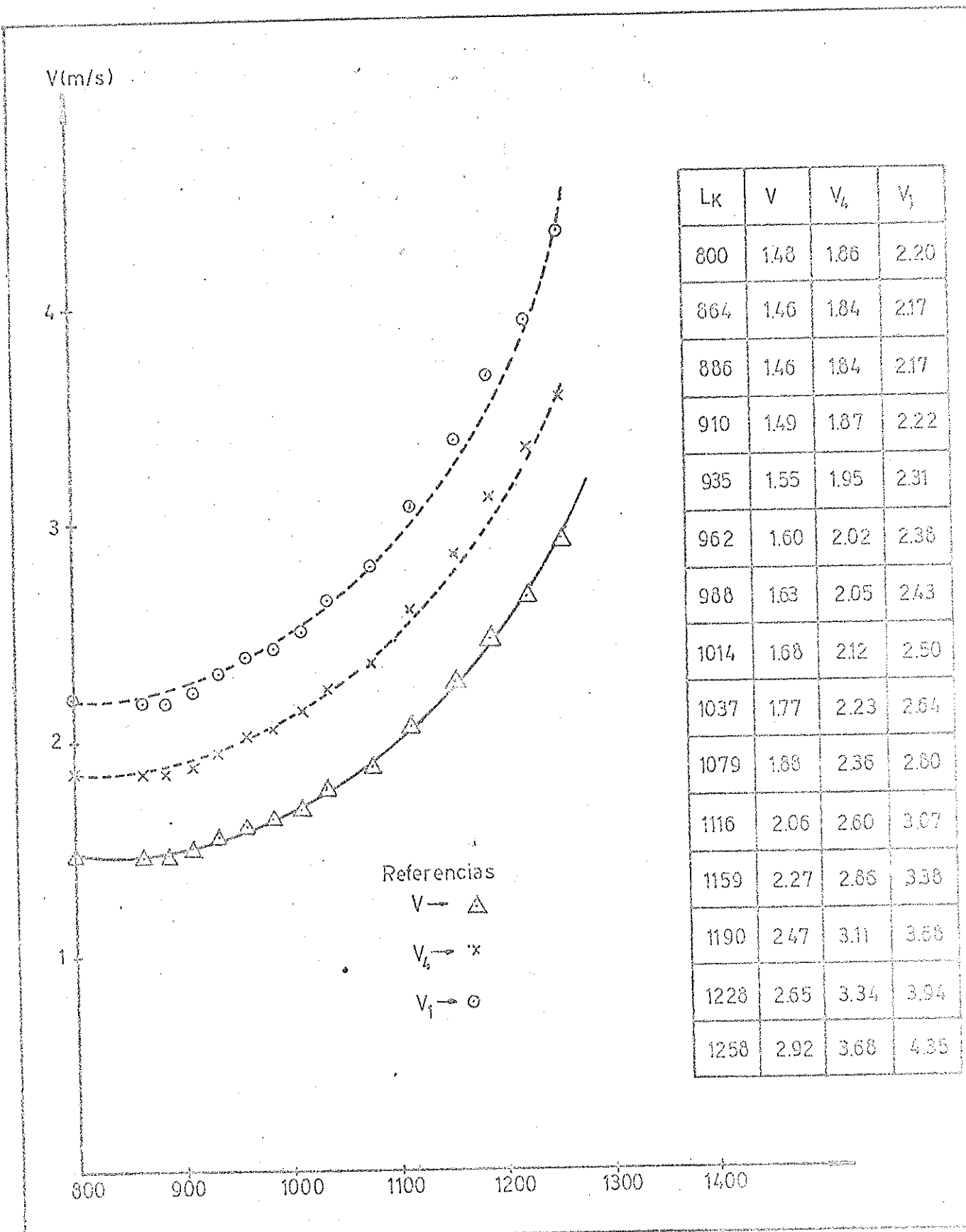
V(m/s)

L _K	800	872	896	929	960	988	1022	1054
V ₁	2.24	2.28	2.35	2.45	2.60	2.71	2.8	3.04
L _K	800	864	890	922	1004	1054		
V ₄	1.90	1.89	1.97	2.02	2.28	2.49		



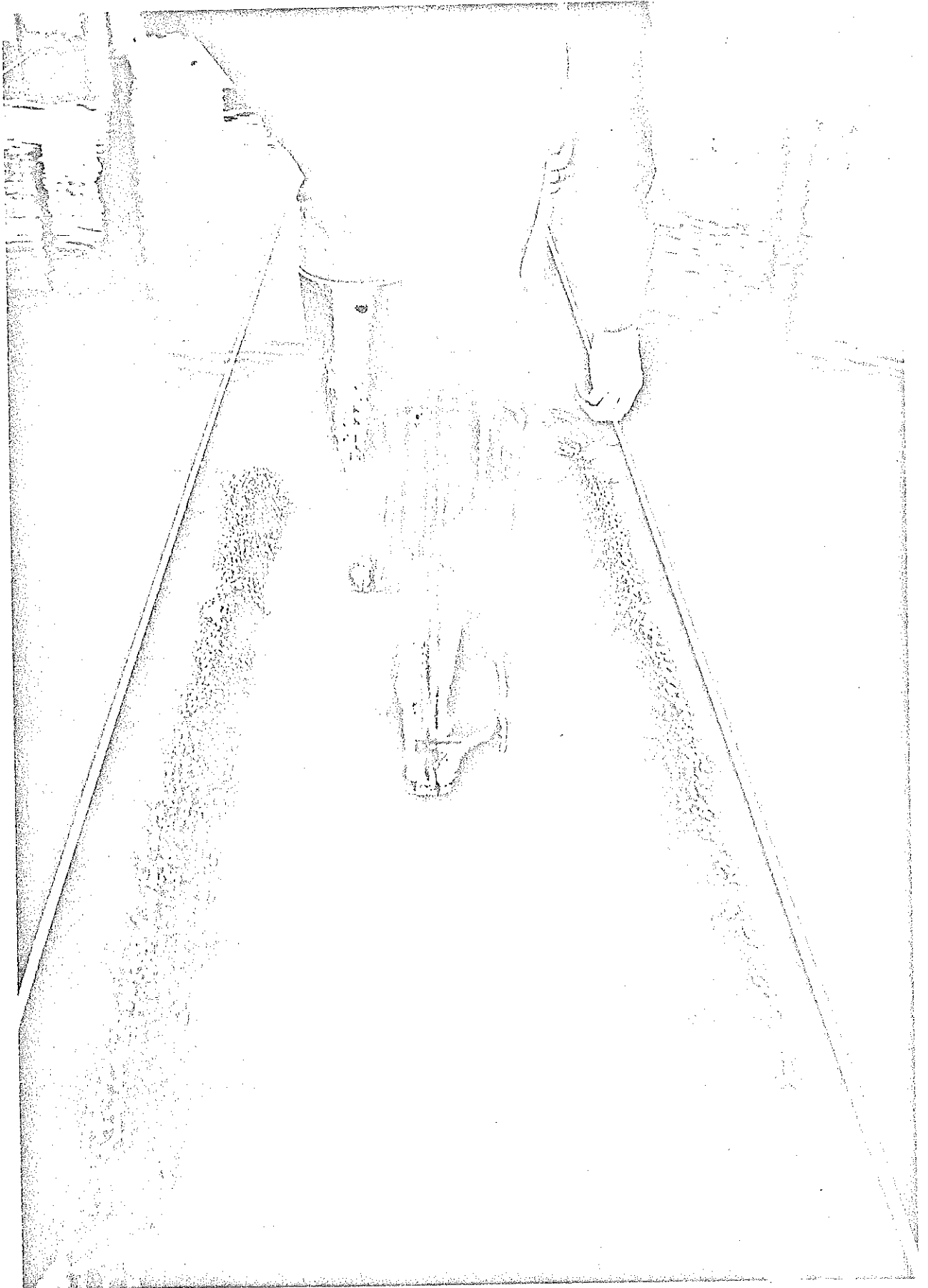
Velocidades puntuales para $Q=8000 \text{ m}^3/\text{s}$

Figura N° 8

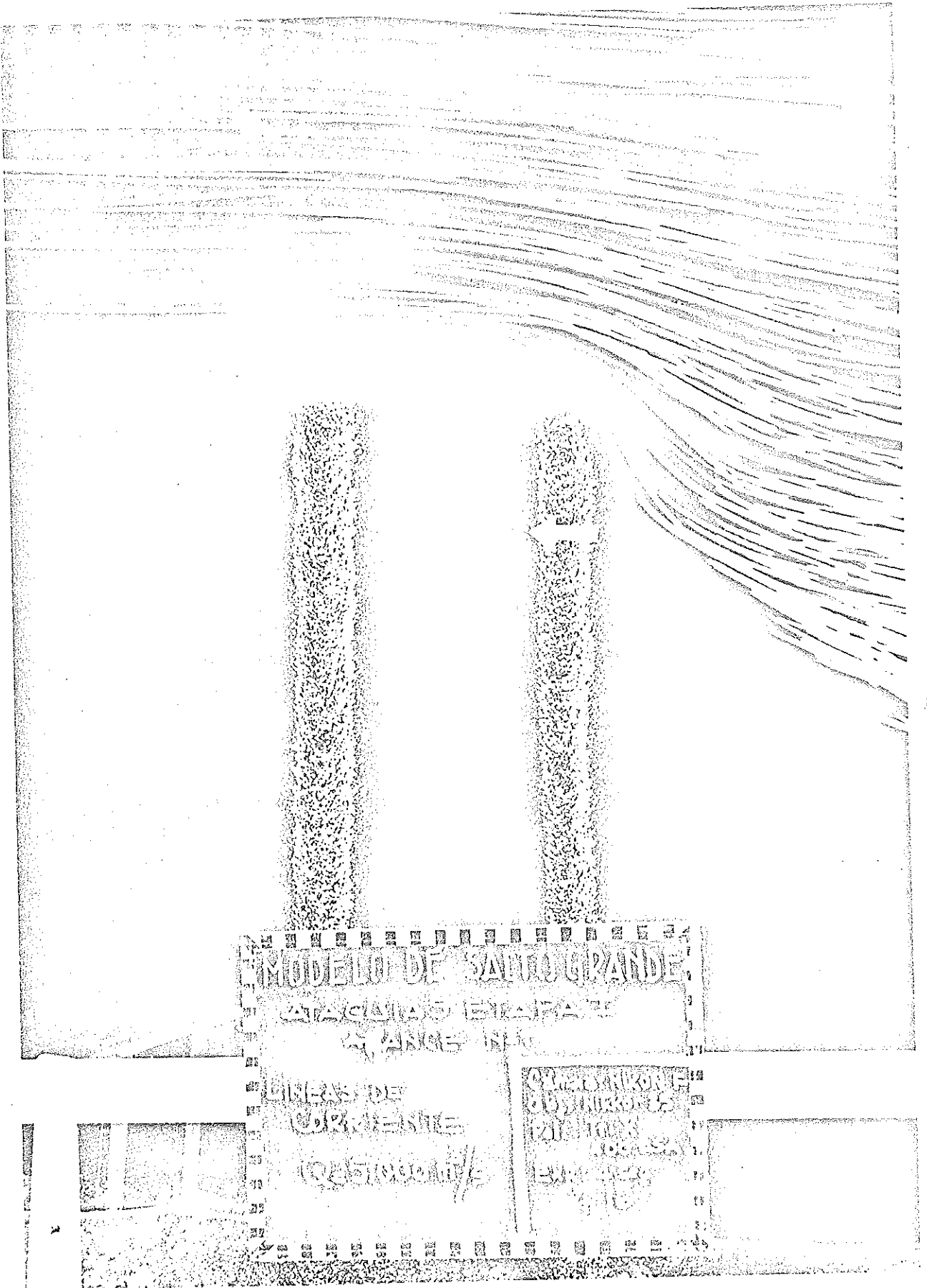


Velocidades puntuales para $Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$

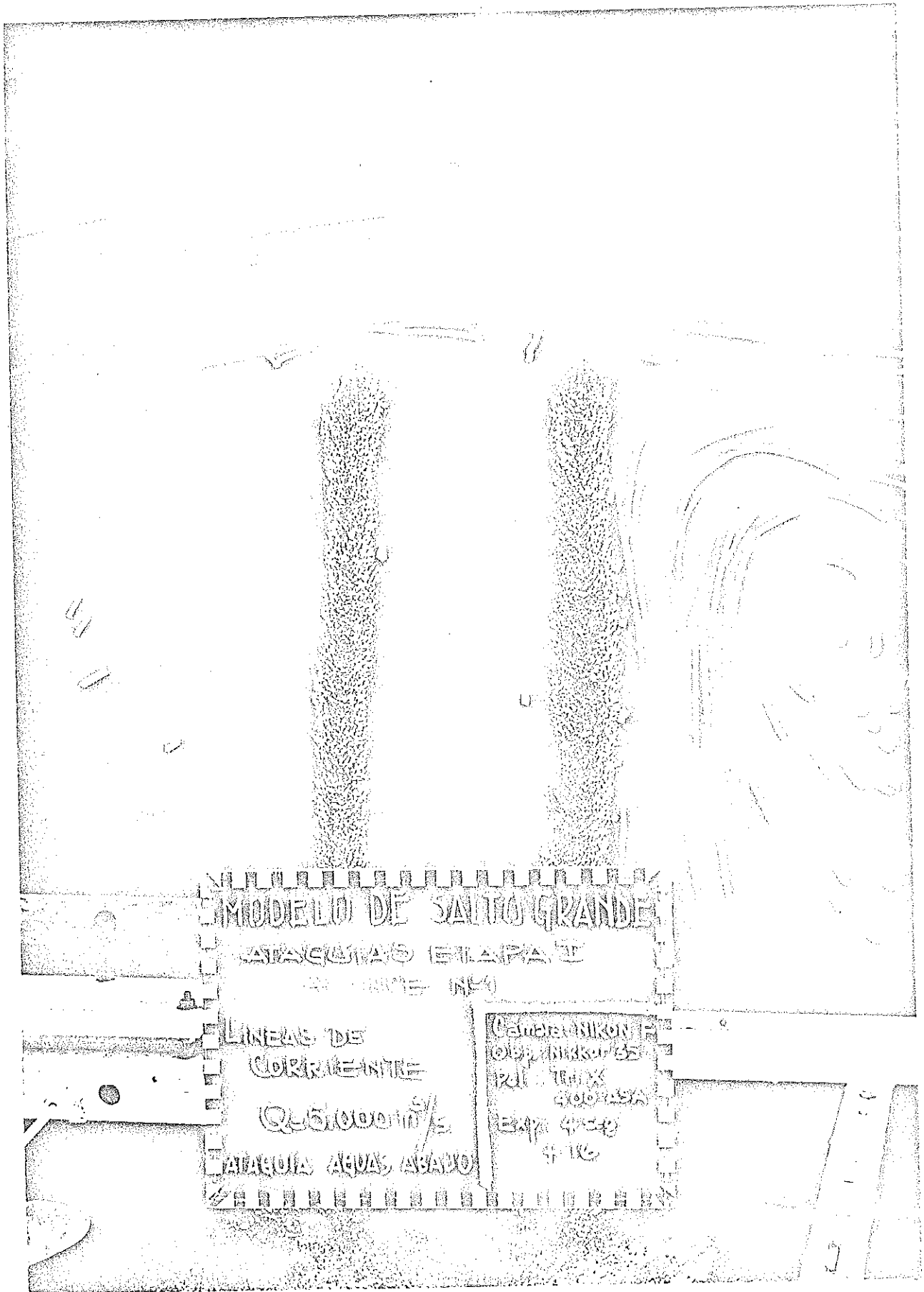
Figura N° 9



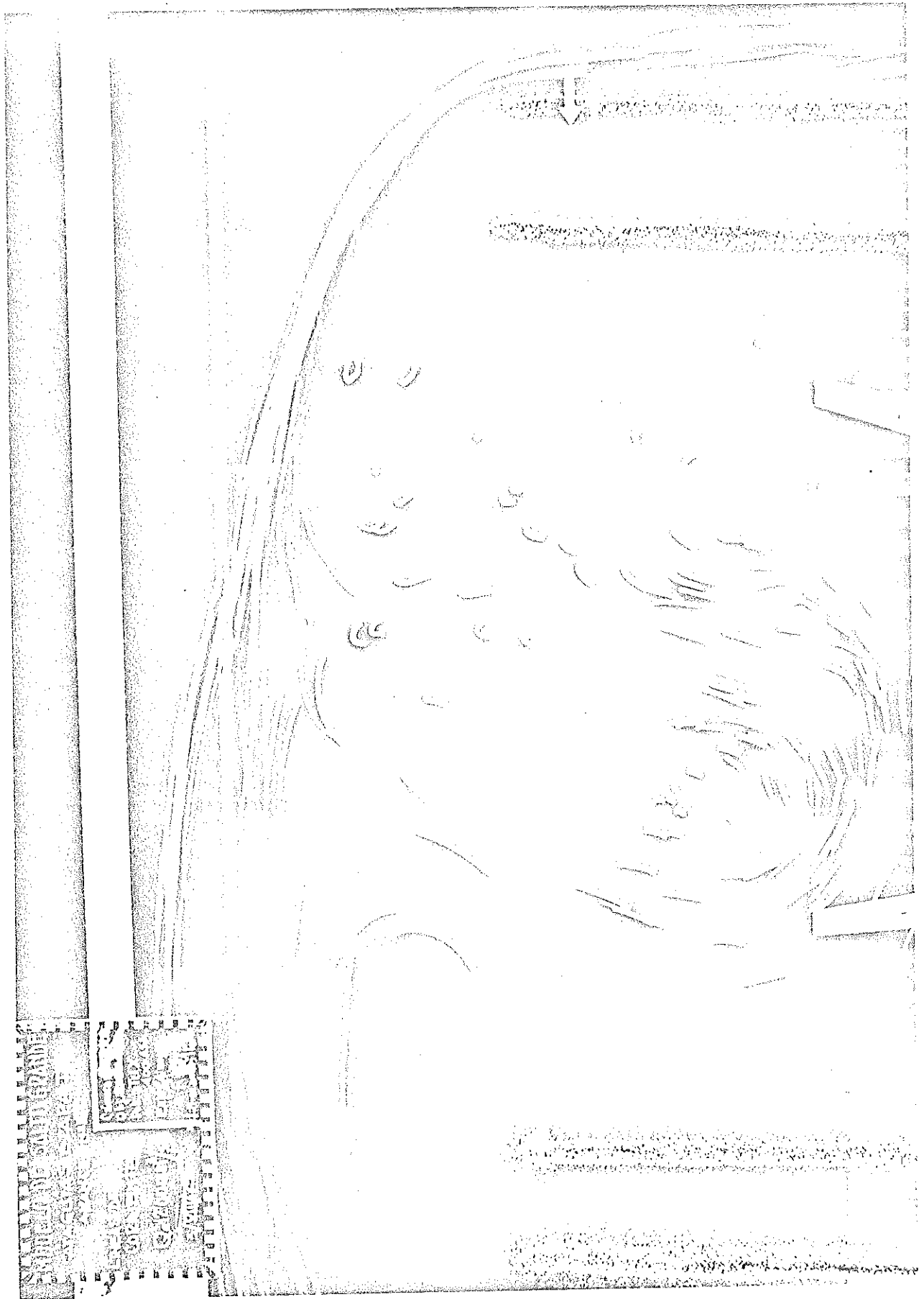
FOTOGRAFIA N° 1: DESARROLLO CONSTRUCTIVO DE ESPIGONES GRANULARES



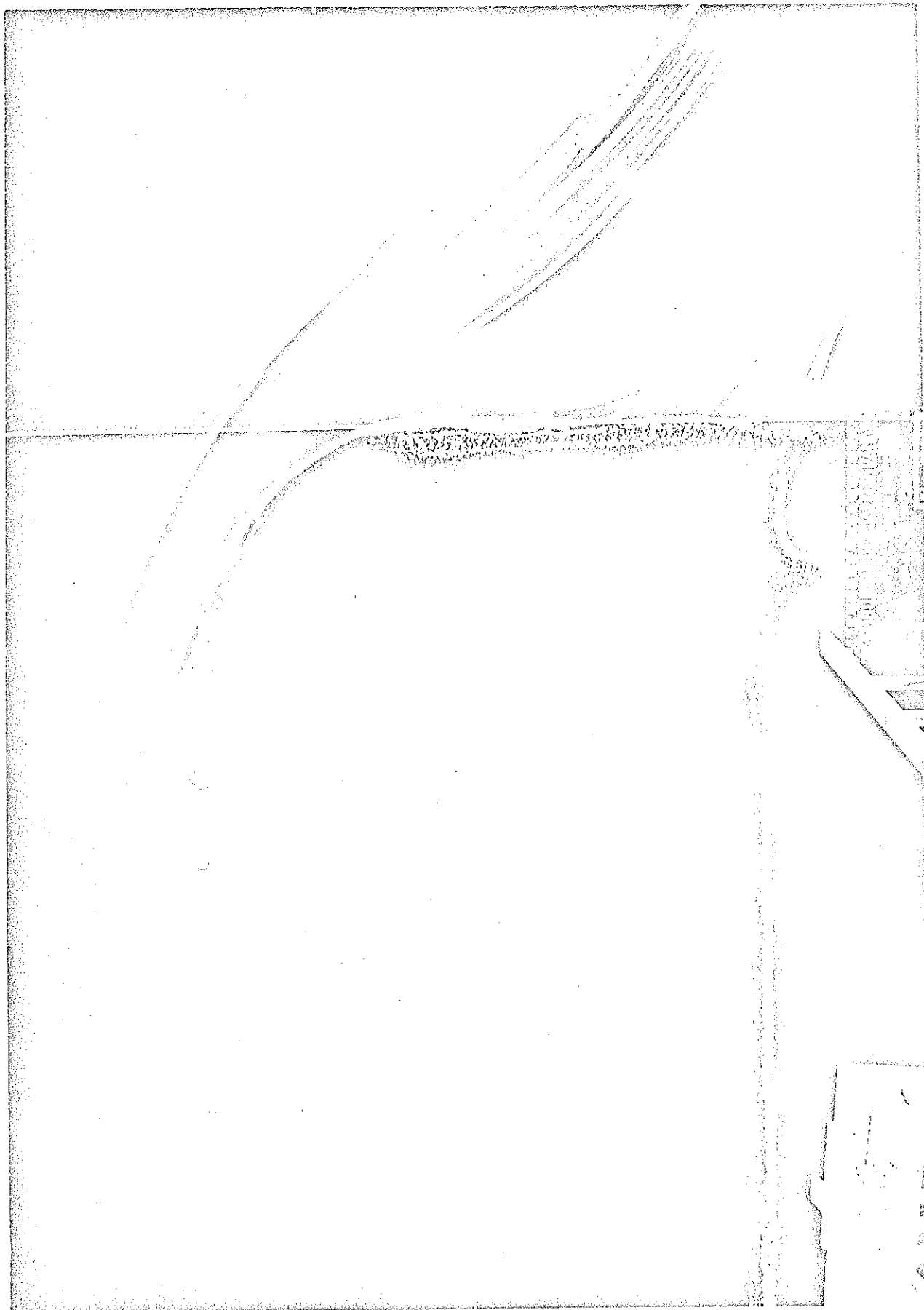
FOTOGRAFIA Nº 2: RED DE CORRIENTE PARA AVANCE A 1000 m DEL PUNTO K. ATAGUAS AGUAS ARRIBA.



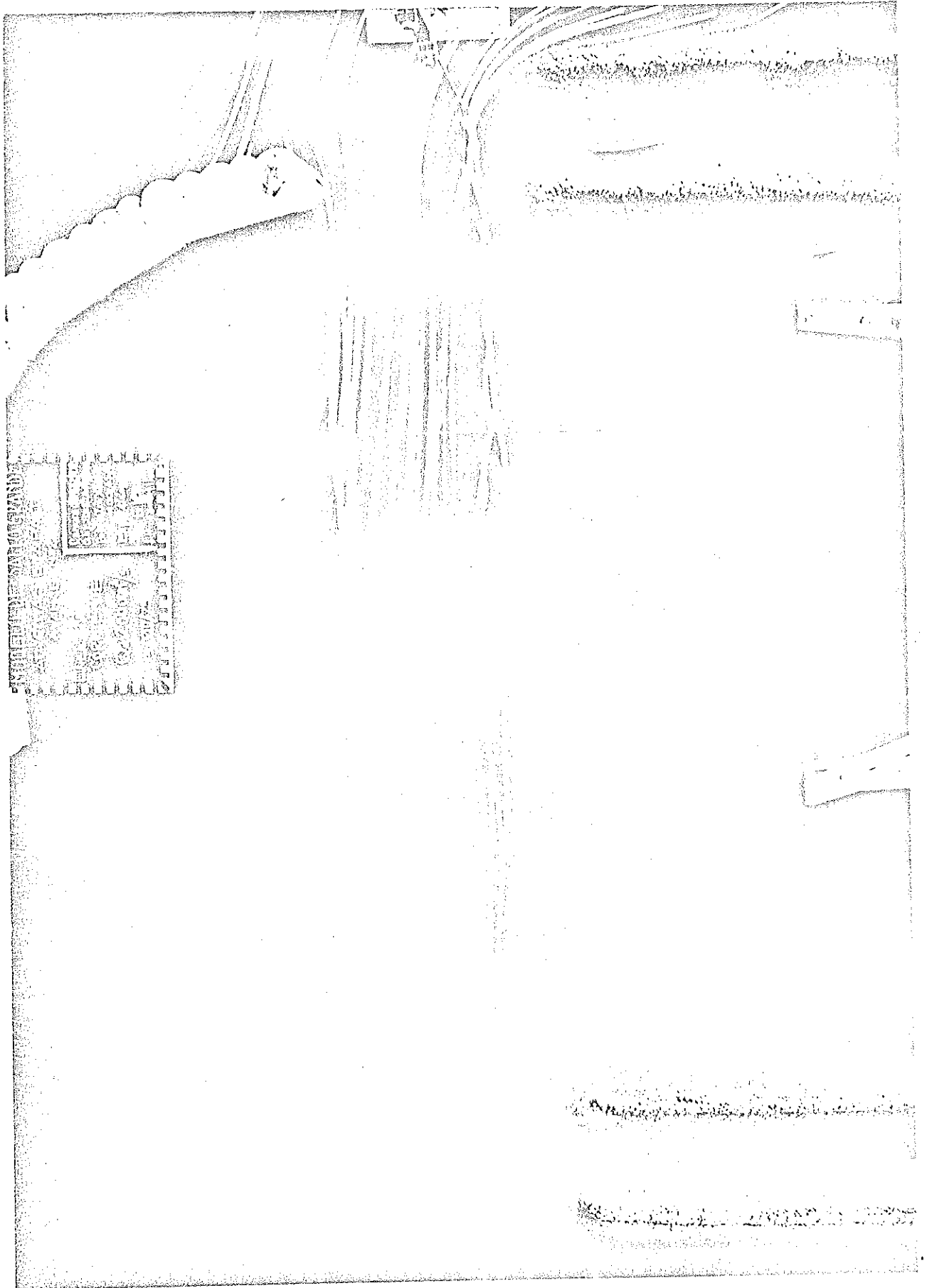
FOTOGRAFIA Nº 3: RED DE CORRIENTE PARA AVANCE A 1000 m DEL PUNTO X.
ATAQUIA AGUAS ABAJO.



FOTOGRAFIA Nº 4: RED DE CORRIENTE PARA AVANCE A 1200 m DEL PUNTO K.



FOTOGRAFIA Nº 5: RED DE CORRIENTE PARA AVANCE A 1350 m DEL PUNTO K.



FOTOGRAFIA Nº 6: EFECTO DE LOS CILINDROS PARA AVANCE A 1200 m DEL PUNTO K.