

Laboratorio de Hidráulica Aplicada

SALTO GRANDE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS

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

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LA SEGUNDA ETAPA DE DESVIO
MODIFICADA DEL RIO URUGUAY PARA LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

Dr. Raúl A. LOPARDO
Ing. Fernando J. ZARATE

Supervisión:

Dr. Moisés S. BARCHILON
Director

Dr. Alfonso PUJOL
Vicedirector

EZEIZA, marzo de 1976.

L.H.A. - 12-005-76

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

ESTUDIO SOBRE MODELO DE LA SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

MODIFICADA DEL RIO URUGUAY PARA LAS OBRAS DE SALTO GRANDE

Raul A. Lopardo, Fernando J. Zarate

Resumen: En el modelo tridimensional de las obras de Salto Grande, a escala 1:125 se analizan tres nuevas alternativas de cierre por enrocado de la segunda etapa de desvío, según la concepción del contratista de la obra. Se tienen en cuenta la hidrodinámica del río, el equipo disponible de la empresa y los materiales existentes en cantera.

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

Descriptores geográficos/institucionales: Salto Grande - río Uruguay

Ezeiza, marzo de 1976

INTRODUCCION

El presente informe sintetiza las tareas desarrolladas durante el estudio sobre modelo de la segunda etapa de cierre del río Uruguay para las obras de Salto Grande, solicitado por la Empresa Constructora Salto Grande S.A., adjudicataria de la construcción civil de la presa.

El Laboratorio de Hidráulica Aplicada ha completado los estudios sobre modelo de las obras de Salto Grande, habiéndose utilizado para el estudio aquí tratado el modelo general construido para desarrollar las investigaciones oportunamente convenidas con la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande.

La citada Comisión Técnica Mixta ha permitido contar con ese modelo a la empresa adjudicataria de las obras por nota.

La Empresa Constructora Salto Grande S.A., ha elaborado un plan de ensayos con actualización diaria, que se concretó en un lapso de 50 días corridos. El objeto fundamental de este estudio fue determinar la configuración más adecuada para la segunda etapa de cierre, de acuerdo con las características constructivas de la obra, las posibilidades de equipo de la empresa, la hidrodinámica del río y los materiales existentes en la zona.

COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO DE LAS OBRAS

La verificación del funcionamiento hidrodinámico de la segunda fase de desvío del río Uruguay para las obras de Salto Grande se efectuó sobre la configuración provista por la Empresa que se muestra en la Figura N° 1. Puede apreciarse allí, que los elementos de alivio estarán constituidos por:

- Doce venos de vertedero rebajados a cota + 6,50 m.
- Un grupo de descargador de fondo provisorio, compuesto por tres tubos.
- Un grupo descargador de fondo definitivo, compuesto por tres tubos.

Las seis unidades ubicadas sobre lado uruguayo, fueron construidas pero permanecerán cerradas durante esta etapa, en tanto el dique de tierra sobre margen uruguayo se reprodujo con su configuración definitiva (cota coronamiento + 39,00 m).

En la Figura N° 2 se muestran las secciones transversales de ambas ataguías que completan el cierre sobre margen argentina.

Las determinaciones hechas sobre modelo durante la serie de ensayos correspondientes a esta etapa, permitieron establecer la magnitud de las velocidades y los niveles finales para cada uno de los caudales ensayados. A fin de concentrar esta información de modo que resulten comparables los diferentes estados investigados se presentan en la Tabla N° 1 las mediciones efectuadas sobre puntos significativos de la cuadrícula (Figura N° 1).

Sobre la base de estos resultados se ha graficado en la Figura N° 3 la ley H-Q para la segunda etapa de desvío correspondiente al limnómetro L1 ubicado sobre el lecho del río, 600 m aguas arriba del eje de la presa.

Se ha prestado especial interés durante estas pruebas, a la zona constituida por las celdas tablestacadas que sirven de empalme al cierre entre las ataguías de materiales sueltos y la presa de hormigón, ya que estos elementos deberán resistir una acción dinámica muy intensa, principalmente los ubicados aguas abajo del vertedero rebajado, que recibirán tangencialmente la vena líquida acelerada. Se relevaron velocidades frente a la intercelda 27 bis - 28, ubicada a la salida del vano N° 8 del aliviadero por ser la zona más expuesta, detectándose para los gastos mayores los valores que a continuación se detallan.

Q m ³ /s	16.196	21.000	27.000
V intercelda m/s	8,93	9,92	10,94

Paralelamente se relevaron en forma expeditiva, mediante la instalación de tomas puntuales, las presiones resultantes en las celdas tablestacadas, habiéndose encontrado para un gasto de desvío de $Q = 27.000 \text{ m}^3/\text{s}$, que sobre la generatriz más saliente de la intercelda 27 bis - 28, la diferencia entre el nivel de agua y la presión hidrodinámica para un punto ubicado a cota + 6,50 m alcanzó valores de hasta 5,50 m. Esto pone de manifiesto los efectos de separación que sobre el flujo proyectado desde el vertedero ejerce el contorno de estructura tablestacada.

Para evitar los efectos antes detallados sobre las celdas tablestacadas ubicadas al pié del vertedero se rellenó la mitad de recha del vano N° 8 con su perfil final (cota + 17,00 m), habiéndose registrado en esas condiciones, para un caudal de $27.000 \text{ m}^3/\text{s}$, velocidades oscilantes que no superaban los 5 m/s en los puntos críticos, siendo la sobreelevación de aguas arriba de la obra, en el limnómetro L1, de 0,28 m.

En la Figura N° 4 se presenta el perfil de la superficie libre relevado contra las celdas tabicadas, para un gasto $Q = 27.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se han graficado además las presiones registradas sobre las celdas en los puntos que se indican en la figura.

En la Fotografía N° 1 se observa una vista general de las obras durante las pruebas de verificación de su comportamiento hidrodinámico.

Ensayo N°	1		2		3		4		5	
	Q=5.000m ³ /s		Q=10.000m ³ /s		Q=16.196m ³ /s		Q=21.000m ³ /s		Q=27.000m ³ /s	
Punto	cota	veloc. m/s	cota m	veloc. m/s	cota m	veloc. m/s	cota m	veloc. m/s	cota m	veloc. m/s
11 EE	11,81	0	15,30	0	19,10	0	22,10	0	25,54	1,62
11 AA	11,69	0	15,26	0	18,97	0	21,97	0	25,43	0,73
11 Q	11,49	1,28	15,01	1,63	18,68	1,71	21,75	1,83	25,08	2,14
11 L	11,22	1,90	14,86	2,37	18,45	2,70	21,49	2,94	24,89	2,94
11 E	11,48	1,38	14,98	1,69	18,69	1,84	21,73	1,90	25,18	2,00
11 Z	---	1,38	15,04	1,70	18,68	1,65	21,85	1,75	25,32	1,62
13 L	11,43	2,18	14,93	2,74	17,40	3,19	21,44	3,44	24,74	3,66
18 O	11,18	1,20	---	2,89	18,76	---	20,68	---	23,98	---
18 L	11,31	2,35	14,71	3,19	18,08	---	20,95	---	24,01	---
18 E	11,43	1,04	15,11	0,89	18,71	---	21,72	---	25,09	---
18 Z	10,82	2,27	14,84	2,64	18,46	---	21,58	---	25,00	---
32 AA	8,13	0	10,79	0	13,77	---	16,05	---	18,75	---
32 Q	8,24	0	10,90	0	13,72	---	16,21	---	18,82	---
32 L	8,53	3,04	11,16	3,83	13,97	---	16,43	---	18,88	---
32 E	8,59	2,42	11,23	0,84	13,75	---	16,29	---	19,03	---
32 Z	8,22	2,26	10,92	4,54	13,72	---	15,94	---	19,08	---
L1	11,54	---	15,06	---	18,82	---	21,77	---	25,19	---
L4	8,29	---	10,88	---	13,81	---	16,06	---	18,45	---
30 O	8,13	3,12	10,79	3,54	13,41	---	15,98	---	18,59	---

TABLA N° 1

ESTUDIO DEL CIERRE

Pruebas Preliminares

Las investigaciones realizadas apuntaron a la necesidad de conocer, para distintos flujos por el río, el comportamiento de las obras previstas y la factibilidad técnica-económica de producir el cierre de la brecha sobre margen argentina por donde actualmente escurre el río.

Para ello se fijaron tres caudales de ensayo equivalentes a 5.000 m³/s, 10.000 m³/s y 15.000 m³/s en el río.

La numeración que se da a los ensayos detallados a continuación, corresponden a la secuencia real que tuvieron las pruebas en el modelo.

Las pruebas N° 11 y N° 12, realizadas con $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$, tuvieron por finalidad definir la conformación del extremo aguas arriba de la ataguía longitudinal de primera etapa, rebajada a cota + 11,00. Las dos variantes ensayadas se presentan en la Figura N° 5 como A y B, resultando la A más favorable por poscer una mejor hidrodinámica, lo que se refleja para un mismo gasto, en el establecimiento de menores niveles de agua en el brazo a cerrar.

A continuación en la Prueba N° 13, se verificaron las condiciones resultantes de reproducir con enrocado entre 5 y 39 Kg de peso, la ataguía de aguas abajo hasta la línea N (Figura N° 6), o sea dejando una brecha de 50 m hasta las celdas tablestacadas.

Pudo observarse que se produce una fuerte erosión del pie de la ataguía que se movió hasta M (25 m-prototipo) en un lapso de 3 horas de ensayo, habiéndose repetido la prueba con una brecha de 200 m con pie de ataguía en 31 I. Los valores de velocidades y niveles relevados en el brazo a cerrar se presentan en la Tabla N° 2

TABLA N° 2

Punto cuadrícula	Brecha 50 metros		Brecha 200 metros	
	Tirante h (m) Cota	Velocidad (m/s)	Tirante h (m) Cota	Velocidad (m/s)
16 CC	9,026	3,69	8,626	3,03
16 AA	9,35	3,77	8,601	3,28
16 Y	8,813	3,70	8,613	3,33
16 W	8,751	3,87	8,576	3,44
16 U	8,625	3,93	8,450	3,26
24 CC	8,476	3,90	--	--
24 AA	8,463	4,08	--	--
24 Y	8,326	4,18	--	--
24 W	8,363	4,42	--	--
31 CC	8,263	3,82	8,288	3,17
31 AA	8,213	4,05	8,288	3,29
31 Y	8,176	4,12	8,201	3,45
31 W	8,115	4,35	8,138	3,69
31 U	8,238	3,95	8,213	3,35
31 N	8,250	3,10	8,188	2,78
31 M	8,238	4,04	8,326	2,45
L1	9,753	--	9,302	--

En la Prueba N° 14 se efectuó el cierre del río para un gasto $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$, mediante enrocado, dejando una brecha libre de 200 metros en la ataguía de aguas abajo de primera etapa (Figura N° 7).

El criterio de estabilidad aplicado en este caso, consistió en cambiar el tamaño de enrocado cuando se perdía el 10 % del material arrojado. En esa condición se cerró totalmente el brazo libre del río y se cuantificaron las pérdidas de material para las distintas clases utilizadas, resultando:

Piedra Clase	Intervalo Abarcado Kg	Pérdidas Totales Tn
1	5-39	---
2	39-314	195
3	314-1357	1797
4	1357-2515	1602
5	2515-3880	4125

Total: 7.719 Tn

En la Prueba N° 15, se verificó la posibilidad de cierre para un gasto $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ por el río con el mismo criterio de estabilidad que en el ensayo anterior. La configuración resultante se presenta en la Figura N° 8, pudiendo apreciarse allí que en este caso no se reprodujo la ataguía de aguas abajo. Las pérdidas registradas en este caso para los diversos tamaños utilizados fueron:

Piedra Clase	Intervalo Abarcado Kg	Pérdidas de Material Tn
3	314-1357	218
4	1357-2515	2715
5	2515-3880	6660

lo que resulta una pérdida total de 11.563 Tn.

Para apreciar la influencia del tamaño del enrocado en la magnitud de las pérdidas de material arrastrado por el flujo, se repitieron en la Prueba N° 16 las condiciones impuestas durante la Prueba N° 15, pero utilizando únicamente material clase 4. Una vez concluido el cierre se determinaron las pérdidas que resultaron de 11.152 Tn, similar al anteriormente obtenido.

La Prueba N° 17 se realizó para verificar la posibilidad de cerrar el río con enrocado clase 4 cuando el gasto es de 15.000 m³/s.

La configuración de las obras durante las operaciones de cierre se muestran en la Figura N° 9, habiendo resultado las pérdidas de 31.699 Tn de material arrastrado.

A continuación se efectuó la Prueba N° 18 con un caudal $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$, habiéndose materializado sobre la ataguía longitudinal un depósito de material, hasta cota + 15,00, que se utilizará en el prototipo para la construcción de los espigones de cierre (Figura N° 10). El enrocado utilizado corresponde a clase 4 (1357 Kg a 2515 Kg) habiéndose computado en este caso las pérdidas de material por tramo obteniéndose la siguiente distribución:

- Desde la línea de cierre 16 hasta la 27 de la cuadrícula 13.320 Tn.
 - Desde la 27 a la 31, 2265 Tn.
 - Desde la 31 hasta el fin del modelo 7070 Tn.
- Total 22.655 Tn.

La prueba N° 19 consistió en efectuar el cierre en la zona donde luego se implantará la ataguía de aguas abajo según se muestra en la Figura N° 11.

Esta prueba se realizó con piedra clase 4, siendo el caudal del río $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Las pérdidas relevadas alcanzaron a 13.890 Tn.

Teniendo en cuenta que la construcción de la ataguía de aguas abajo de segunda fase se realizará una vez completado el cierre aguas arriba, y habiéndose comprobado durante las pruebas que los depósitos de material arrastrado, forman una capa de material de grueso tamaño que funcionará como vía preferencial de filtración en la zona donde debía implantarse la ataguía impermeable, se buscó disminuir a valores aceptables la presencia de enrocado en dicha zona.

La solución adoptada consistió en la ubicación de dos muros rocosos sobre costa argentina construidos previamente del cierre hasta las líneas 16 CC y 29 CC respectivamente, produciéndose de esta manera una aceleración del flujo en la zona de la ataguía de aguas abajo lo que hace que el material rocoso arrastrado por el flujo forme allí depósitos menos voluminosos, ubicándose entre ambas ataguías o bien a continuación de la de aguas abajo.

A continuación se realizó la prueba N° 20 con un gasto $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ según la configuración que se muestra en la Figura N° 12. Las pérdidas totales resultaron para este caso de 24.121 Tn de piedra clase 4. En una tabla aparte se señalan los parámetros más importantes relevados durante el ensayo.

La prueba N° 21 tuvo por objeto verificar los niveles ocurridos en el interior del recinto de Etapa 1 cuando se crea una brecha de 200 m en la ataguía aguas arriba (Figura N° 13). Con los resultados obtenidos se trazó la curva HP1-Q que se presenta en la Figura N° 14, aclarándose que durante las pruebas la margen argentina se reprodujo con contorno fijo no erosionable.

Pruebas Definitivas

Durante los ensayos efectuados se fueron definiendo tres metodologías diferentes para la ejecución del cierre, presentando cada una de ellas características bien diferenciadas desde el punto de vista técnico-económico.

La denominada Alternativa 1 en la Figura N° 15 consiste en el avance de un espigón rocoso desde la ataguía longitudinal, produciéndose el cierre contra un morro previamente construido sobre margen argentina, con pié en línea CC de la cuadrícula, cuya función es la de proteger la zona erosionable de las altas velocidades que se desarrollan a medida que se cierra la brecha. Esta metodología presenta la ventaja de que el espigón que avanza lo hace desde la ataguía longitudinal, utilizándose el material rocoso de mejor calidad y granulometría para su construcción, como lo es el que se produce en la cantera ubicada en la margen uruguaya.

La Alternativa 2 de la Figura N° 15 consiste en la construcción simultánea de dos espigones que avanzan uno desde la ataguía longitudinal y el otro desde la margen argentina para encontrarse en el centro de la brecha. Este sistema presenta la ventaja de tener dos frentes de avance con lo cual se reducen proporcionalmente los tiempos de ejecución de la obra y se minimizan los riesgos de interrupción de tareas de cierre por una crecida dada la celeridad con que se efectuaría el mismo.

Una tercera metodología, que se presenta como Alternativa 3 en la Figura N° 15, consiste en el avance de un espigón rocoso desde la ataguía longitudinal, a una cota que se encuentra entre 2,0 m y 3,0 m por debajo de su coronamiento definitivo para el gasto de ensayo, de manera de llegar con él hasta aproximadamente la mitad de la brecha produciéndose entonces un nivel embalsado que alcance el coronamiento de dicho espigón. En esas condiciones

se retiran los equipos del espigón y se comienza a avanzar desde margen argentina con otro espigón a cota definitiva. Una vez que este segundo espigón encuentra al primero en el centro de la brecha original, se procede a sobre elevar desde la ataguía longitudinal, el espigón construido en primera instancia hasta llevarlo a su coronamiento definitivo, con idéntica cota que la dada al segundo espigón. Esta alternativa presenta varias ventajas como ser:

- Construir un espigón rocoso de poca altura con lo cual se puede avanzar más rápidamente.
- Efectuar el encuentro de las cabezeras de ambos espigones, que es la faz crítica del cierre, permitiendo que se produzca sobrepaso en un tramo de más de 200 m, por lo que se reduce el nivel de aguas arriba mejorando la estabilidad en la brecha crítica.
- La última etapa del cierre que se realiza sobre el espigón construido en primer término, puede hacerse con enrocado clase 4 ó aún clase 3, por no resultar comprometida su estabilidad, debido al alto índice de traba del espigón sumergido y a los pobres tirantes de escurrimiento por sobre el mismo.

A continuación se detallan resumidamente los ensayos realizados sobre las tres alternativas antes expuestas, consignándose el número de prueba por el orden en que fueron realizadas. Estos ensayos son los únicos realmente comparables ya que sus resultados se obtuvieron partiendo de idénticas configuraciones tanto para los espigones sobre margen argentina como para la ataguía longitudinal a cota + 11,00 con depósito distribuido a lo largo de las celdas a cota + 15,00. Además, en todos ellos se respetó estrictamente un mismo ritmo en el retiro de la ataguía de aguas abajo de primera fase.

Por cada prueba, se detallan los datos hidrodinámicos re-

levados, adjuntándose un gráfico de la configuración que representaban las obras en cada ensayo y las fotografías de los espectros de flujo obtenidos para distintas brechas (Tabla N° 3).

Siendo la cantidad de material arrastrado durante las operaciones de cierre un parámetro definitorio en este caso para la selección final de una alternativa, se han resumido en la Tabla N° 4 los valores resultantes para las distintas pruebas efectuadas, indicándose además las fotografías que muestran los depósitos aguas abajo del espigón de cierre.

Prueba N° 20 - Alternativa I
 Figura N° 10 - Piedra Clase 4
 $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Ancho Brecha m	Hembalse (L1) m	Vmed. Brecha m/s	Vmax. Brecha
140	12,71	4,63	4,87
112	13,00	4,93	5,16
75	13,30	5,42	5,47
50	13,79	5,71	--
25	14,31	6,09	--
0	15,28	--	--

Prueba N° 22 - Alternativa I
 Figura N° 11 - Piedra Clase 4 y 5
 $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Ancho Brecha m	Hembalse (L1) m	Vmed. Brecha m/s	Hag. arriba 11Z m
75	13,43	5,36	13,44
50 *	13,81	5,53	13,85
25	14,38	6,25	14,32
0	15,23	--	15,12

* A partir de Brecha = 75 m se cambió de piedra clase 4 a piedra clase 5

Prueba N° 23 - Alternativa 1
 Figura N° - Piedra Clase 4 y 5
 Q = 5.000 m³/s

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. Brecha m/s	Vmax. m/s	Hag.arriba 11 Z m
220	9,41	--	--	9,46.
110	10,25	4,38	4,77	10,22
75	10,60	4,70	5,00	10,59
50*	11,25	4,63	--	11,17
0	11,66	--	--	11,64

Prueba N° 24 - Alternativa 1
 Figura N° - Piedra Clase 4
 Q = 5.000 m³/s

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. Brecha m/s	Vmax. m/s	Hag.arr. 11 Z m
0	11,75	--	--	11,71

* A partir de Brecha = 75 m se avanza con piedra clase 5

Prueba N° 25 - Alternativa 1
 Figura N° - Piedra Clase 4
 Q = 15.000 m³/s

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	V. ax. m/s	Hag. arr. ll Z m
20	14,35	---	---	---
175	15,00	4,67	5,30	15,13
100	15,77	5,10	5,80	15,90
75	16,05	6,00	6,44	16,16
0 *	17,73	---	---	---

Prueba N° 26 - Alternativa 1
 Figura N° 12 - Piedra Clase 5
 Q = 10.000 m³/s

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Foto N°
125	12,813	4,63	5,37	---
75	13,188	5,33	5,75	---
50	13,800	5,79	6,11	13
25	14,213	6,14	---	14
10	14,525	6,14	---	15
0	14,780	---	---	8

* De brecha = 75 m en adelante se cerró desde ambas cabe-
 ceras a la vez

Prueba N° 27 - Alternativa 1
 Figura N° 12 - Piedra Clase 5
 $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Foto N°
125	9,900	4,04	4,94	--
75	10,300	4,67	5,36	--
50	10,713	4,97	5,11	16
25	11,063	5,51	--	17
10	11,288	5,36	--	18
0	11,538	--	--	2

Prueba N° 28 - Alternativa 3
 Figura N° 13 - Piedra Clase 5
 $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Foto N°	Hag. arr. 16 U m
165	12,640	4,12	4,83	--	12,50
25	13,750	4,40	--	19	13,61
50*	14,380	--	--	--	14,42
25*	14,42	--	--	20	14,44
10*	14,46	--	--	--	14,51
0	14,49	--	--	9	14,53

* Corresponde cierre final de brecha sobre espigón ya construido

Prueba N° 29 - Alternativa 3
 Figura N° 14 - Piedra Clase 5
 $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Foto N°	Hag. arr. 16 U m
125	10,065	3,97	4,97	---	10,00
25	10,715	3,98	---	21	10,62
50*	---	---	---	22	---
25*	---	---	---	23	---
0	11,18	---	---	---	11,09

Prueba N° 30 - Alternativa 2
 Figura N° 15 - Piedra Clase 5
 $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Hag. arr. 16 U m
75	10,265	---	---	10,19
50	10,552	4,55	4,60	10,42
25	10,828	4,64	---	10,71
0	11,19	---	---	11,14

* Corresponde cierre final de brecha sobre espigón ya construido

Prueba N° 31 - Alternativa 2
 Figura N° 16 - Piedra Clase 5
 Q = 10.000 m³/s

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Hag. arr. 16 U m
50	13,64	5,12	5,39	13,59
25	13,90	5,32	--	13,90
10	14,06	5,06	--	14,12
0	14,38	--	--	14,35

Prueba N° 32 - Alternativa 3
 Figura N° 17 - Piedra Clase 4
 Q = 10.000 m³/s

Ancho Brecha m	Hemb. (L1) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Hag. arr. 16 U m
250	11,84	--	--	11,12
175	12,55	--	--	12,50
25	13,74	4,70	--	13,71
0	14,56	--	--	14,42

Prueba N° 33 - Alternativa 3
Figura N° 18 - Piedra Clase 4
Q = 5.000 m³/s

Ancho Brecha m	Homb. (L ₁) m	Vmed. m/s	Vmax. m/s	Hag. arr. 16 U m
250	9,28	---	---	8,52
125	10,10	---	---	10,00
25	10,80	4,43	---	10,70
0	11,30	---	---	11,25

TABLA N° 3

Prueba	Q	Ancho brecha (m)	Alternativa	Foto N°
26	10.000	50	1	2
26	10.000	25	1	3
26	10.000	10	1	4
27	5.000	50	1	5
27	5.000	25	1	6
27	5.000	10	1	7
28	10.000	25	3	8
28	10.000	25*	3	9
29	5.000	25	3	10
29	5.000	50*	3	11
29	5.000	25*	3	12
31	10.000	50	2	13
31	10.000	25	2	14
31	10.000	10	2	15

* Cierre superior sobre espigón ya construído.

TABLA N° 4

Q	Alternativa	Piedra Clase	Peso Total Tn	Prueba N°	Foto N°	Fig. N°
5.000	1	4	6055	24	--	16'
5.000	1	5	4570	27	16	17
5.000	2	5	3769	30	17	20
5.000	3	4	4218	33	18	23
5.000	3	5		29	19	19
10.000	1	4	22655	18	20	10
10.000	1	5	14082	26	21	16
10.000	2	5	12426	31	20	21
10.000	3	4	12913	32	21	22
10.000	3	5	12968	28	22	18

CONCLUSIONES

Este estudio sobre modelo físico ha tenido por objeto la verificación y optimización hidráulica de la segunda etapa de desvío del río Uruguay para las obras de Salto Grande.

El análisis del comportamiento hidrodinámico ha mostrado que las celdas tablestacadas, que vinculan la ataguía de cierre con la obra de hormigón de primer etapa, estarán expuestas a flujos de alta velocidad capaz de crear campos de presiones adversos, según los resultados relevados durante los ensayos. Debe tenerse en cuenta que las mediciones de presión citadas se realizaron empleando tubos piezométricos y corresponden a valores medios, en tanto que la determinación de los esfuerzos totales sobre la estructura de las celdas sólo podría hacerse mediante el relevamiento del campo instantáneo de presiones con el uso de células electrónicas sobre un modelo a escala más generosa que el utilizado en estas investigaciones.

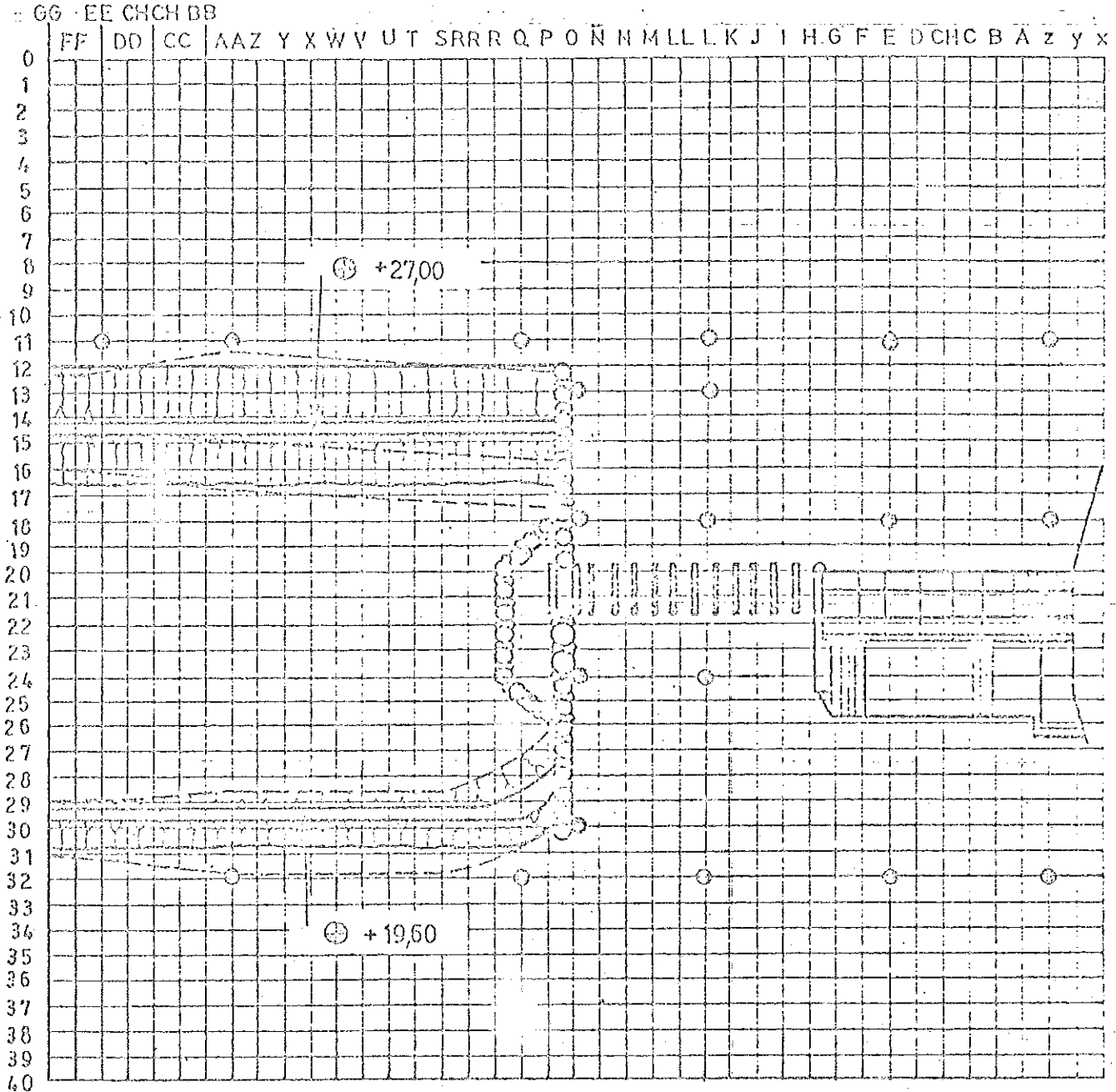
De los estudios dirigidos a optimizar la configuración del cierre y seleccionar la alternativa más ventajosa en el aspecto técnico-económico, se desprende que:

Comparando las velocidades medias y los niveles que se establecen en el brazo a cerrar para las tres alternativas de cierre ensayadas (Figuras N° 24 y N° 25), aparece como más favorable la alternativa 3, que presenta los valores menores de velocidades medias y niveles seguida por la 2 y la 1 en ese orden. Este resultado se fundamenta en la conformación geométrica de las alternativas, pudiendo apreciarse en la Figura N° 15 que mientras la alternativa 1, con avance exclusivo desde un lado va produciendo, a medida que se achica la brecha, una partición forzada del flujo de aproximación que induce una sobreelevación del ni-

vel de aguas arriba, la segunda alternativa comprende el estrechamiento progresivo de una brecha centralizada con una mejor hidrodinámica general. Por su parte la alternativa 3, que resulta la más ventajosa, al poseer un espigón con coronamiento rebajado, permite el sobrepaso del mismo a medida que disminuye la brecha, de donde resulta la conveniencia de su aplicación.

Para visualizar el comportamiento de las tres alternativas desde el punto de vista de las pérdidas de enrocado ocurridas durante el cierre, se ha realizado la Figura N° 26. Allí se aprecia que la alternativa uno resulta desfavorable por alcanzar las mayores pérdidas, en tanto la dos y la tres poseen volúmenes de material arrastrado muy semejante. Ello se explica teniendo en cuenta la influencia de la formación de "la cola" en la factibilidad de un cierre. Es sabido que el material arrastrado durante el cierre se deposita en las inmediaciones del filete de separación que nace en la cabecera del espigón; dichos depósitos en las etapas finales del cierre avanzan desde aguas abajo hacia aguas arriba hasta alcanzar la brecha, produciéndose entonces su obturación. De las alternativas ensayadas, la uno es la que presenta mayores dificultades por avanzarse desde un solo lado, lo que hace que los depósitos que obturan la brecha final, comiencen a gran distancia aguas abajo, debiendo perderse mucho material para alcanzar la zona del cierre. La alternativa dos, al poseer dos frentes de avance simultáneo, genera depósitos convergentes que facilitan el cierre rápido y con pocas pérdidas. La alternativa tres, al presentar avance por dos cabeceras no simultáneo adolece en este sentido, de las mismas desventajas que la alternativa uno, pero como el cierre final se efectúa sobre un espigón ya construido, se minimizan las pérdidas en esta etapa crítica, resultando el volumen transportado total similar al obtenido cerrando por alternativa dos.

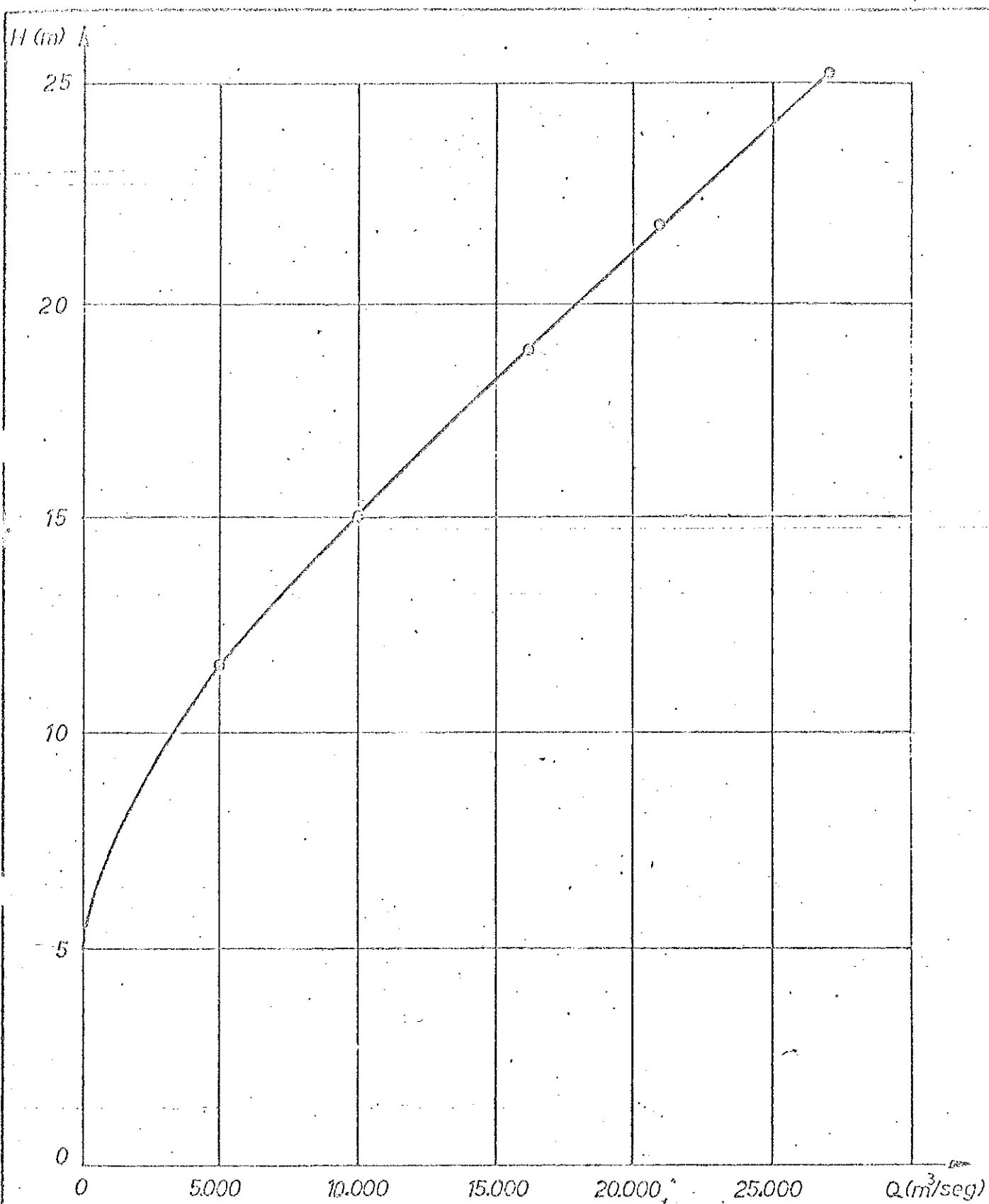
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



ESQUEMA DE LAS OBRAS Y PUNTOS DE MEDICION

FIGURA N^o 1

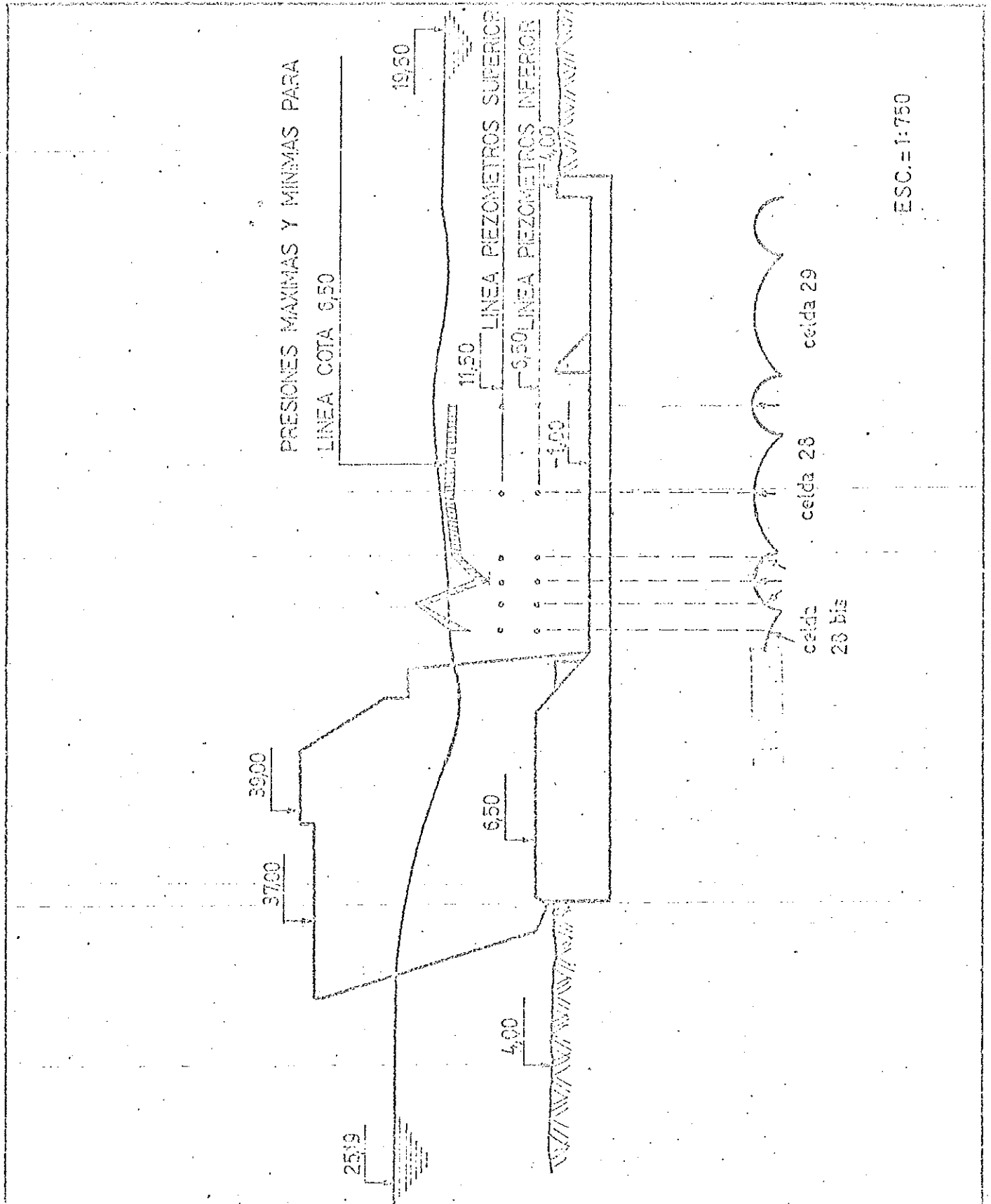
ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



LEY H-Q PARA L_1 UBICADO 600m AGUAS ARRIBA DEL
EJE DE PRESA

FIGURA N^o 3

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

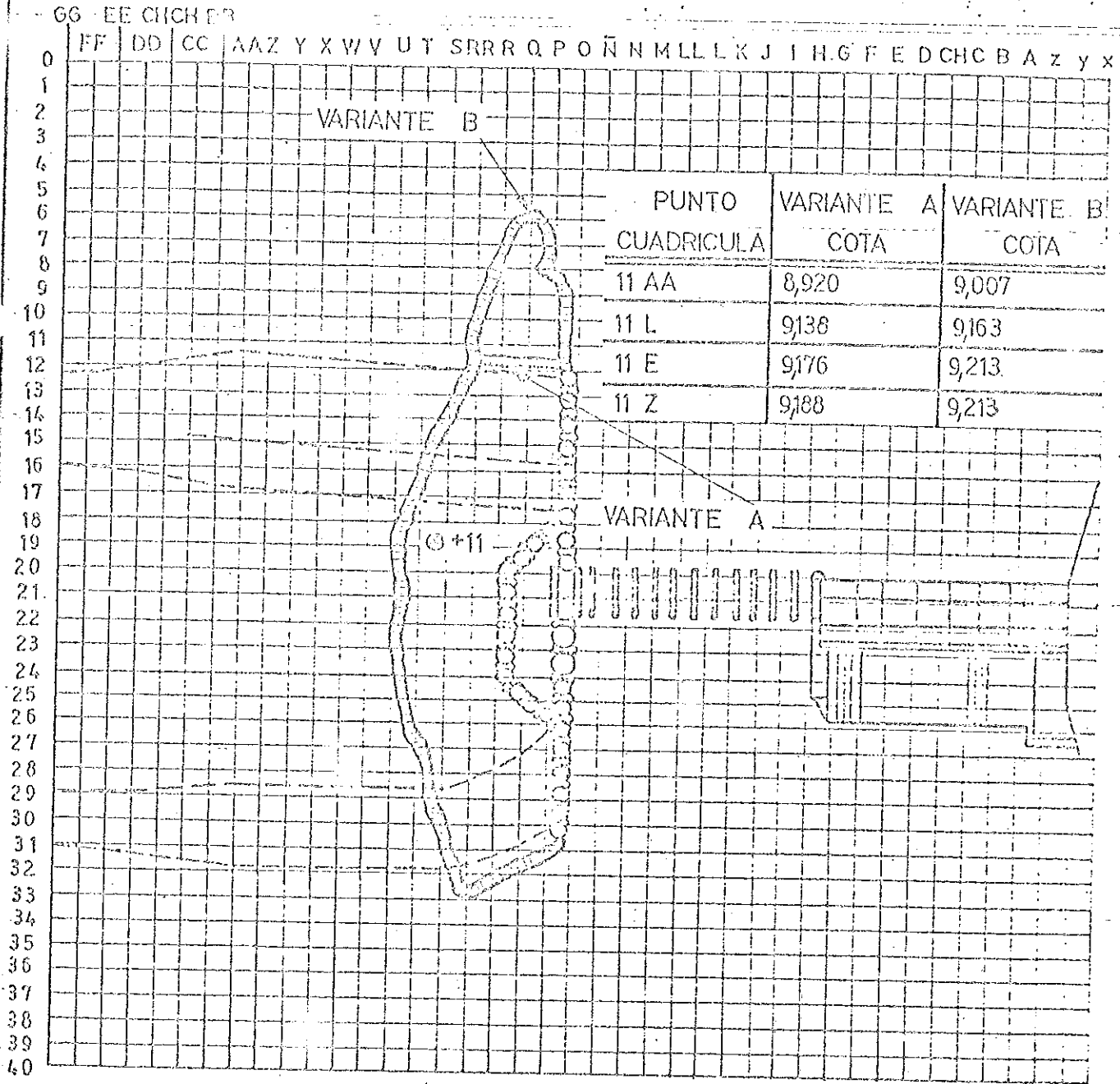


ESC. = 1:750

NIVEL DE AGUA Y PRESIONES CONTRA LAS CELDAS PARA
 $Q = 27.000 \text{ m}^3/\text{s}$

FIGURA N°4

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

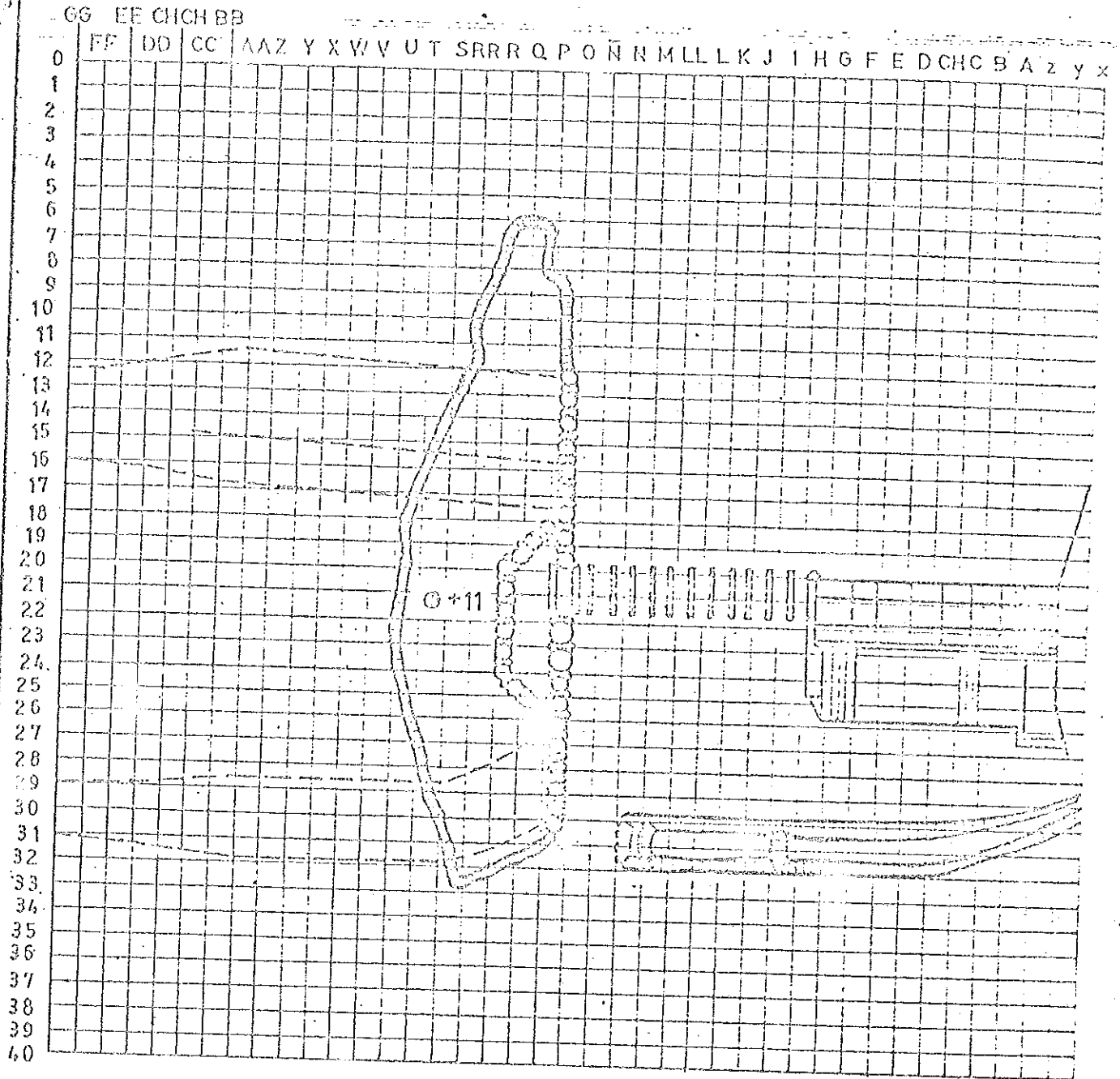


PRUEBA N^o 11 Y N^o 12

Q=5000m³/s

FIGURA N^o 5

LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

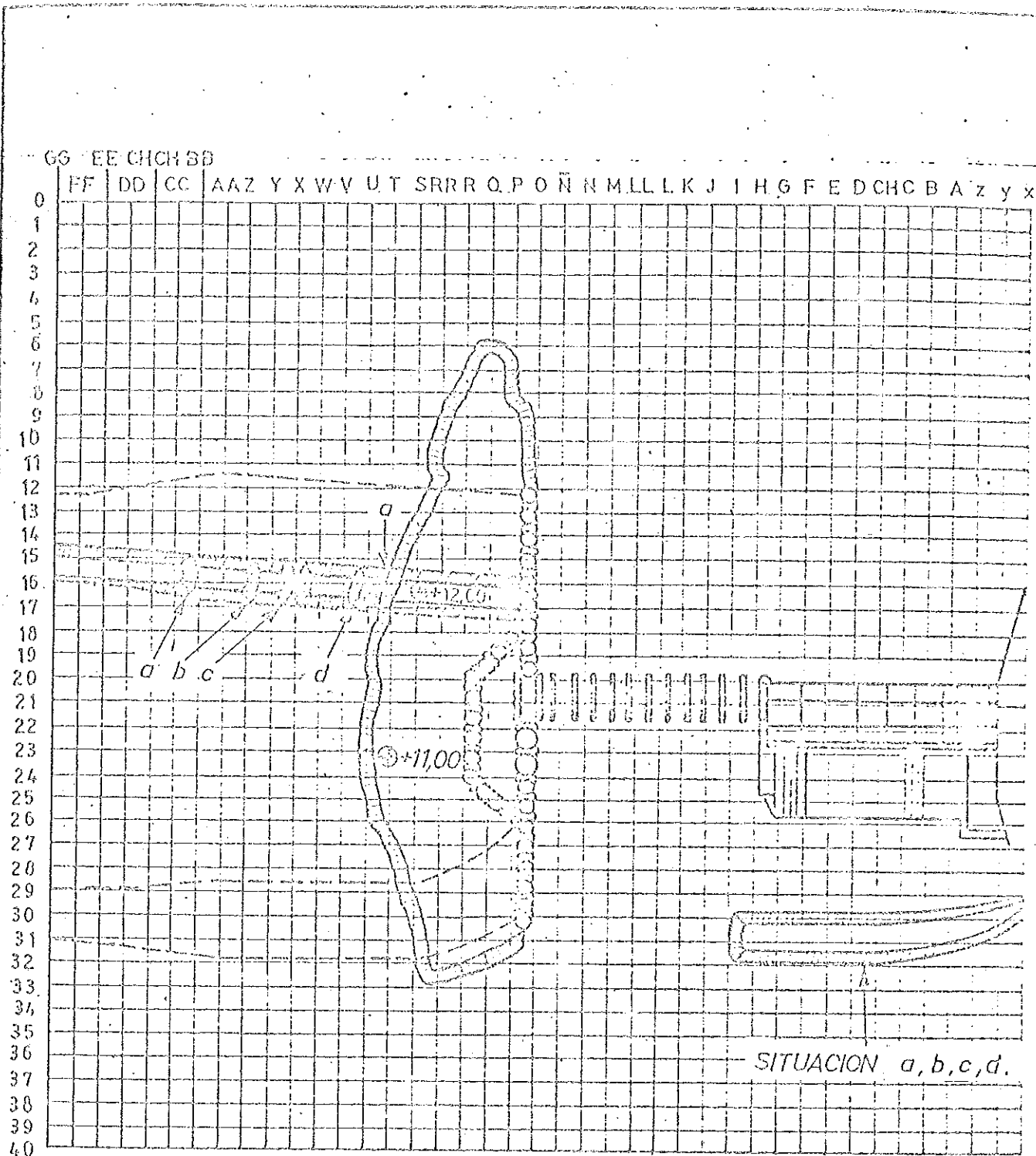


PRUEBA Nº 13

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

FIGURA Nº 6

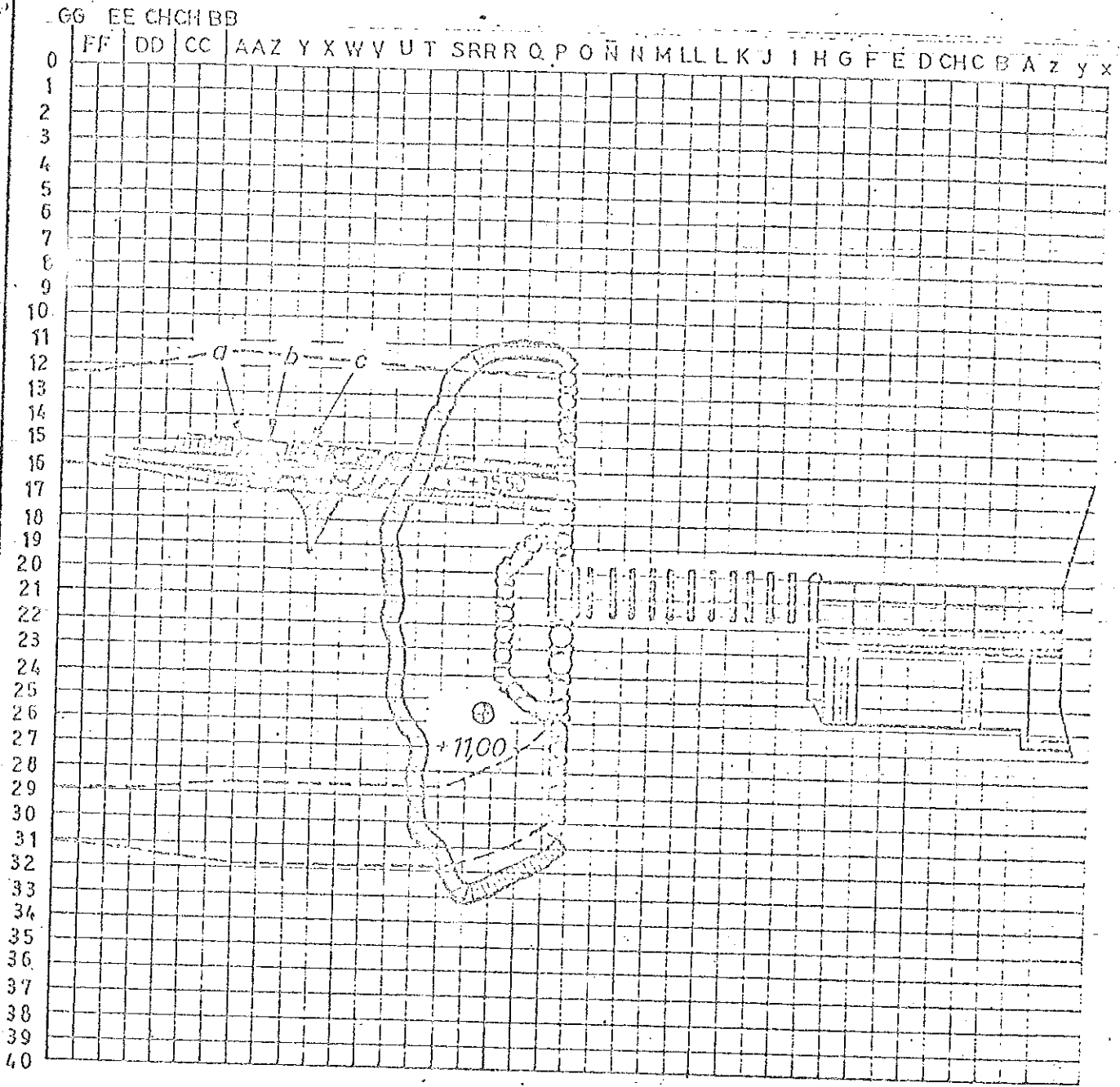
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



$Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE ALTERNATIVA

FIGURA Nº 7

ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



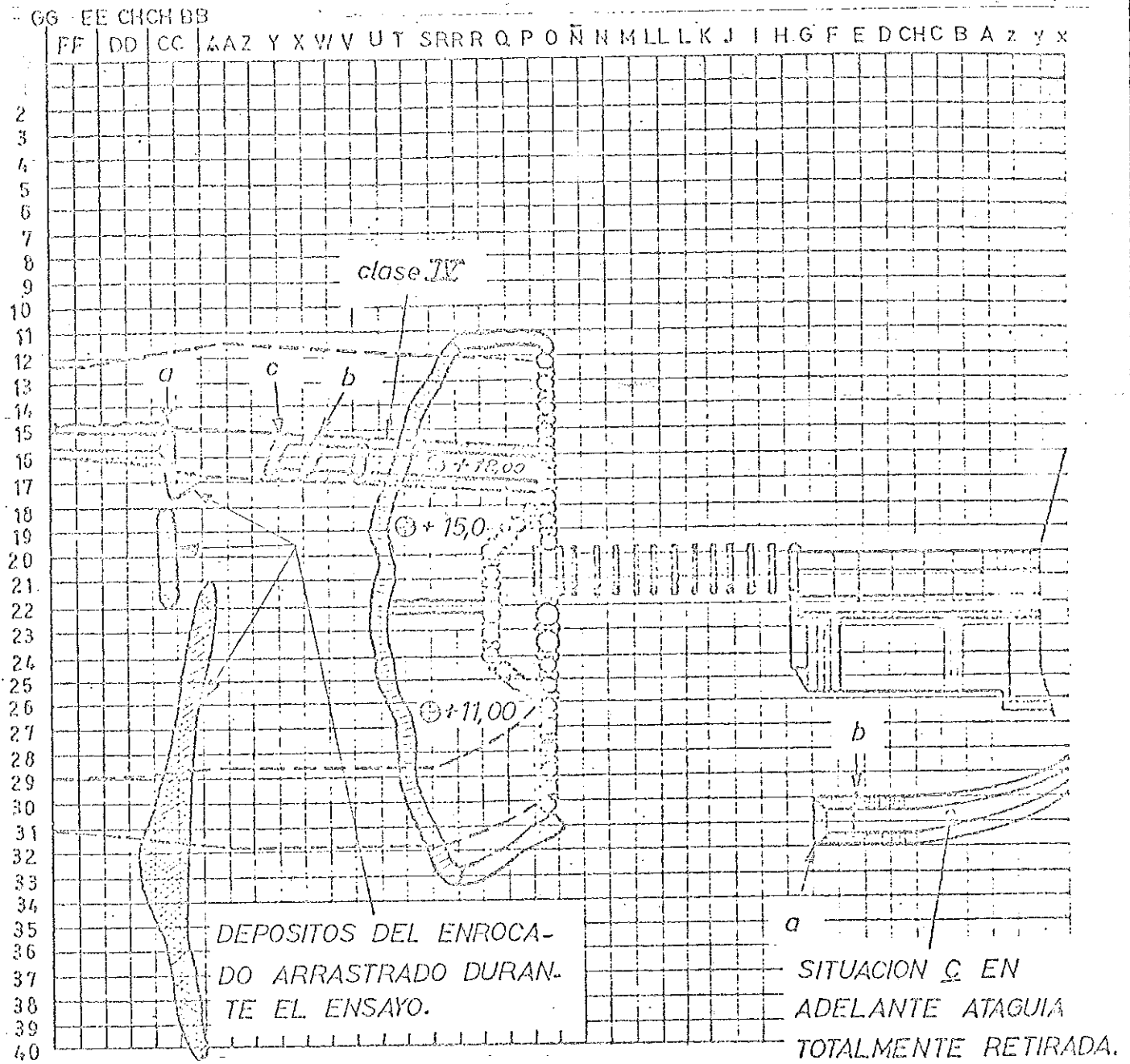
- a.. CLASE III 314-1357
- b.. " IV 1357-2515
- c.. " V 2515-3880

PRUEBA Nº 15

$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$
CIERRE ALTERNATIVA

FIGURA Nº 8

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

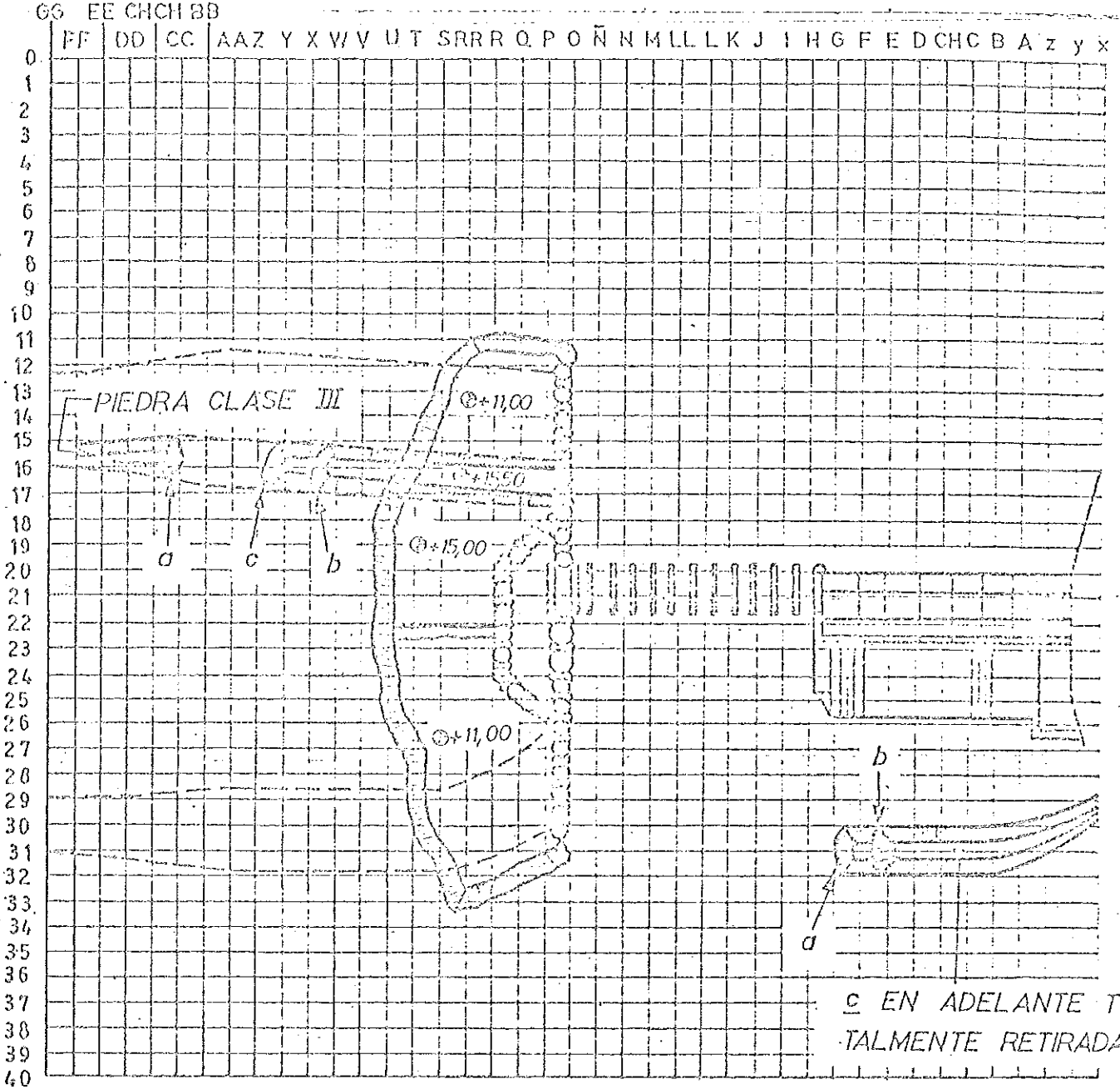


PRUEBA Nº 17.

$Q = 15000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE ALTERNATIVA 1 - PIEDRA CLASE 4

FIGURA Nº 9

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

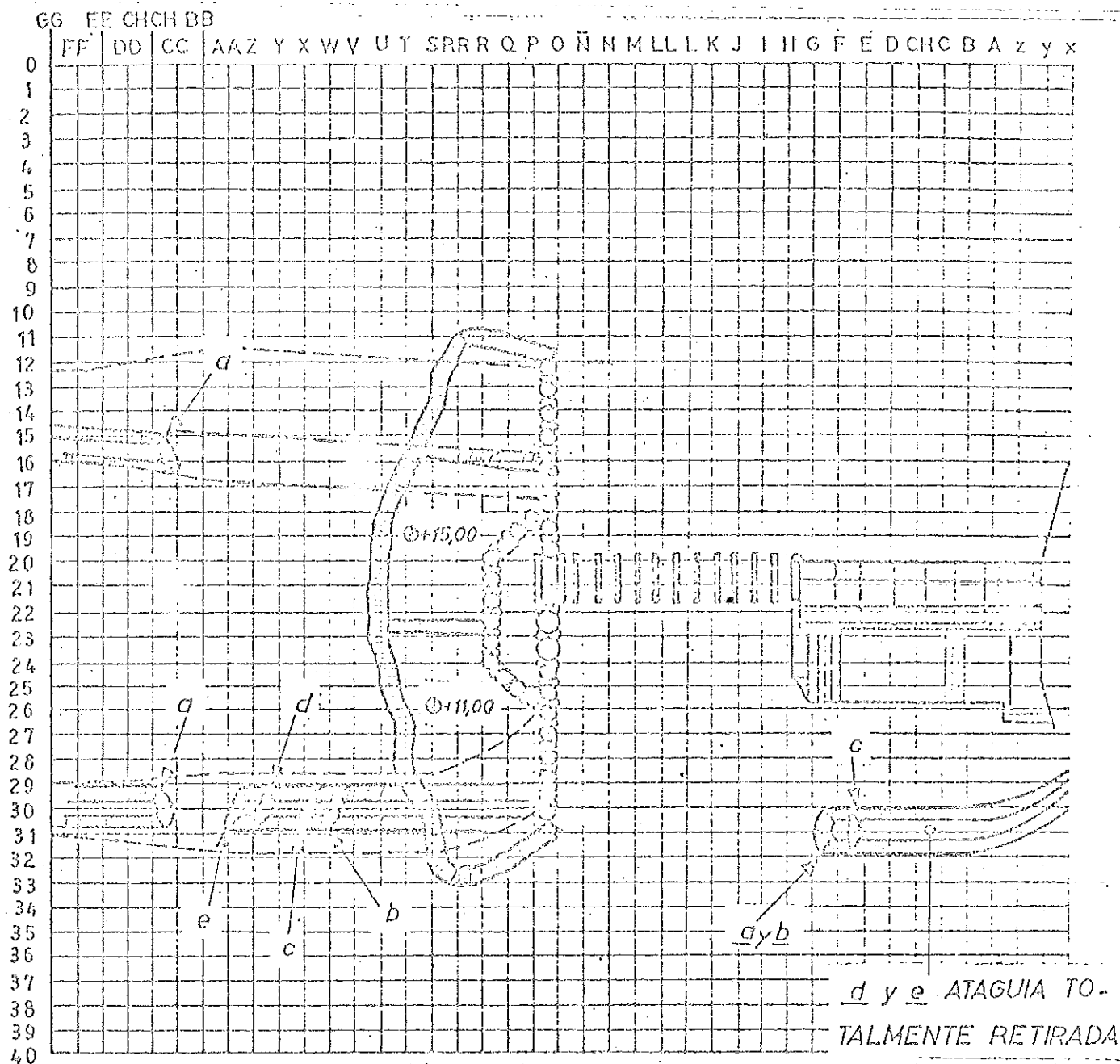


PRUEBA N° 10

$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE ALTERNATIVA 1 - PIEDRA CLASE 4

FIGURA N° 10

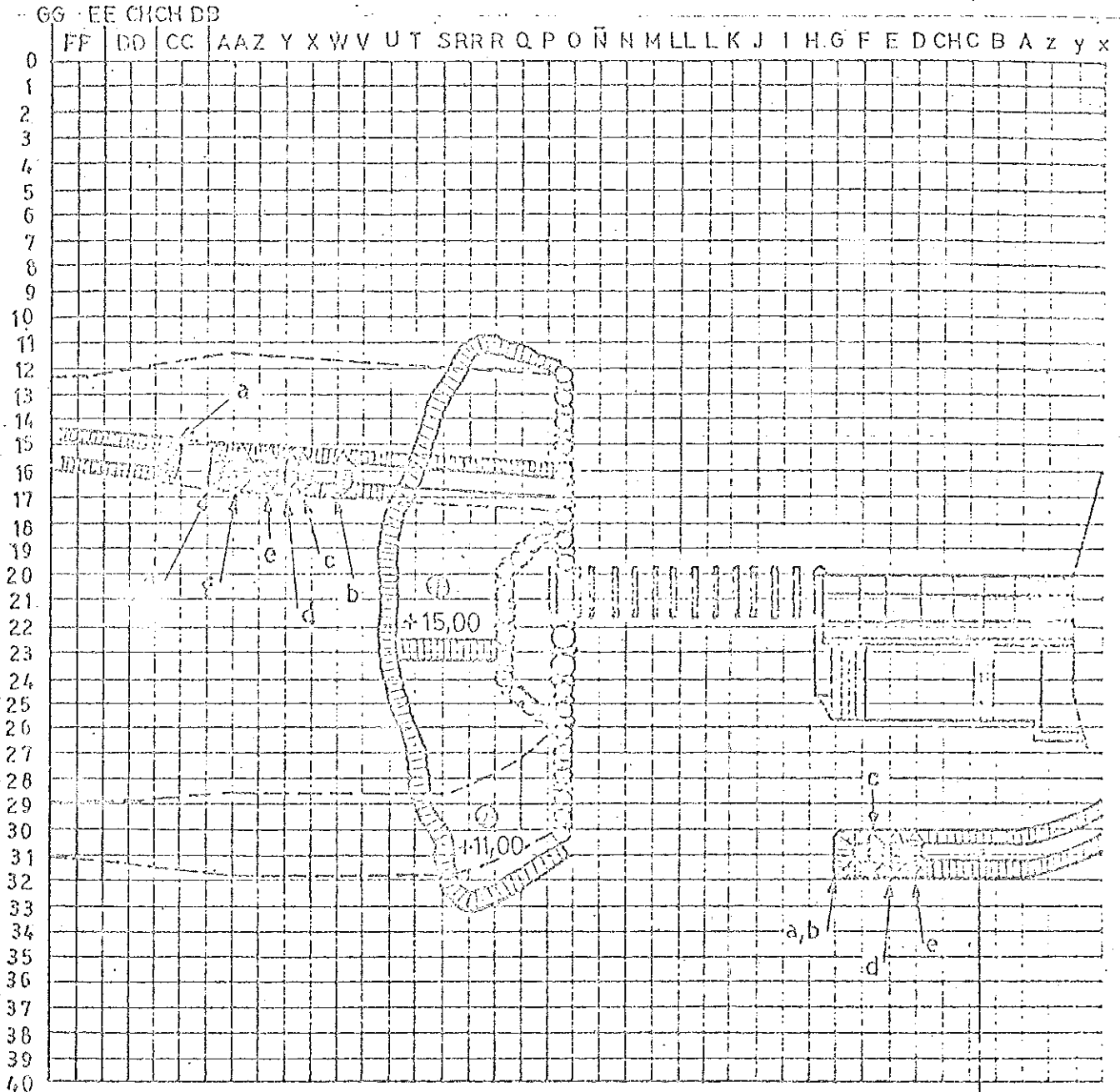
LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



$Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE AGUAS ABAJO-ALTERNAT 1-PIED. CLASE 4

FIGURA N° 11

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



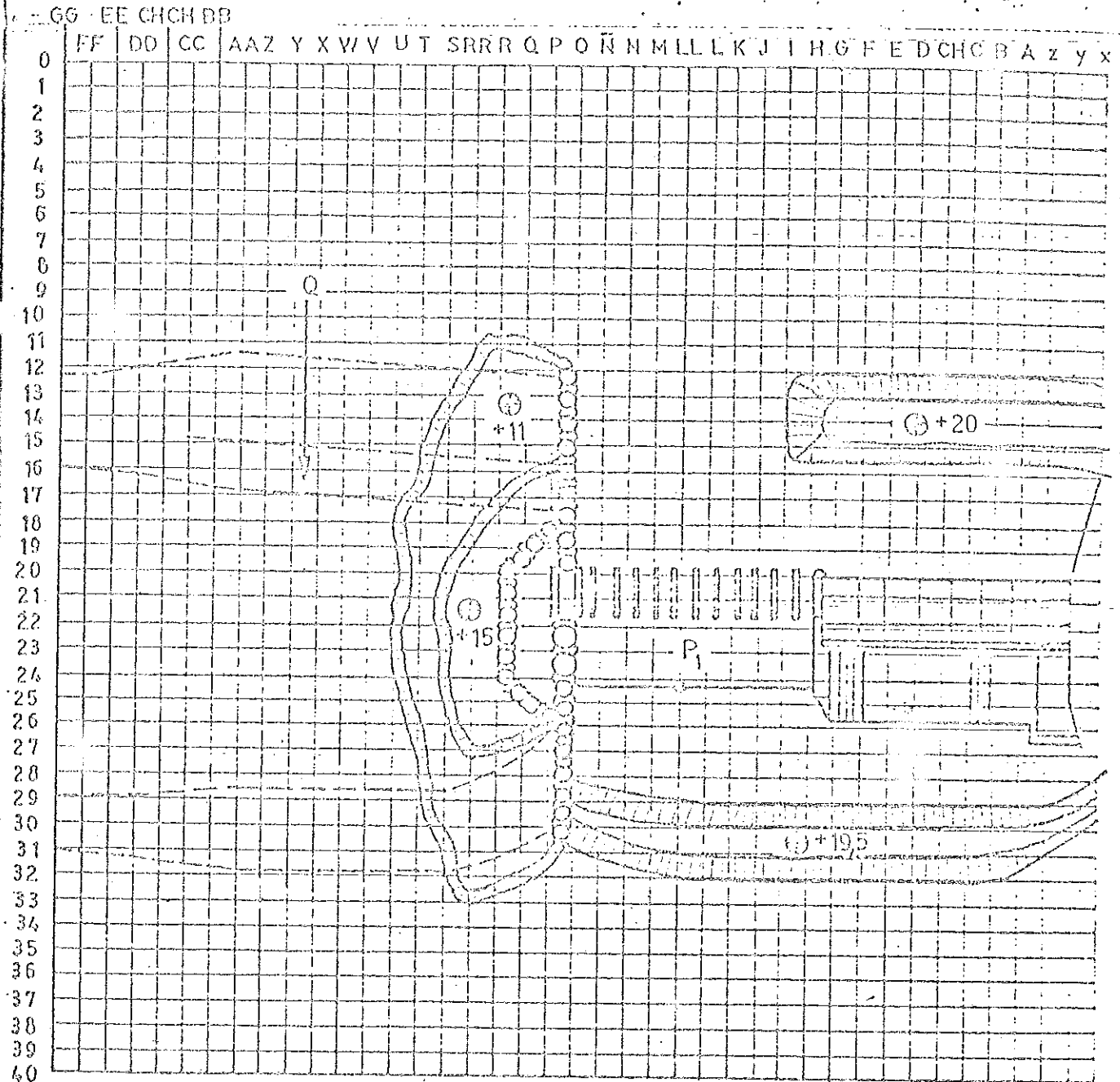
f. en adelante ataguía totalmente retirada.

PRUEBA N° 20

$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE ALTERNATIVA 1-PIEDRA CLASE 4 TODO

FIGURA N° 12

LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

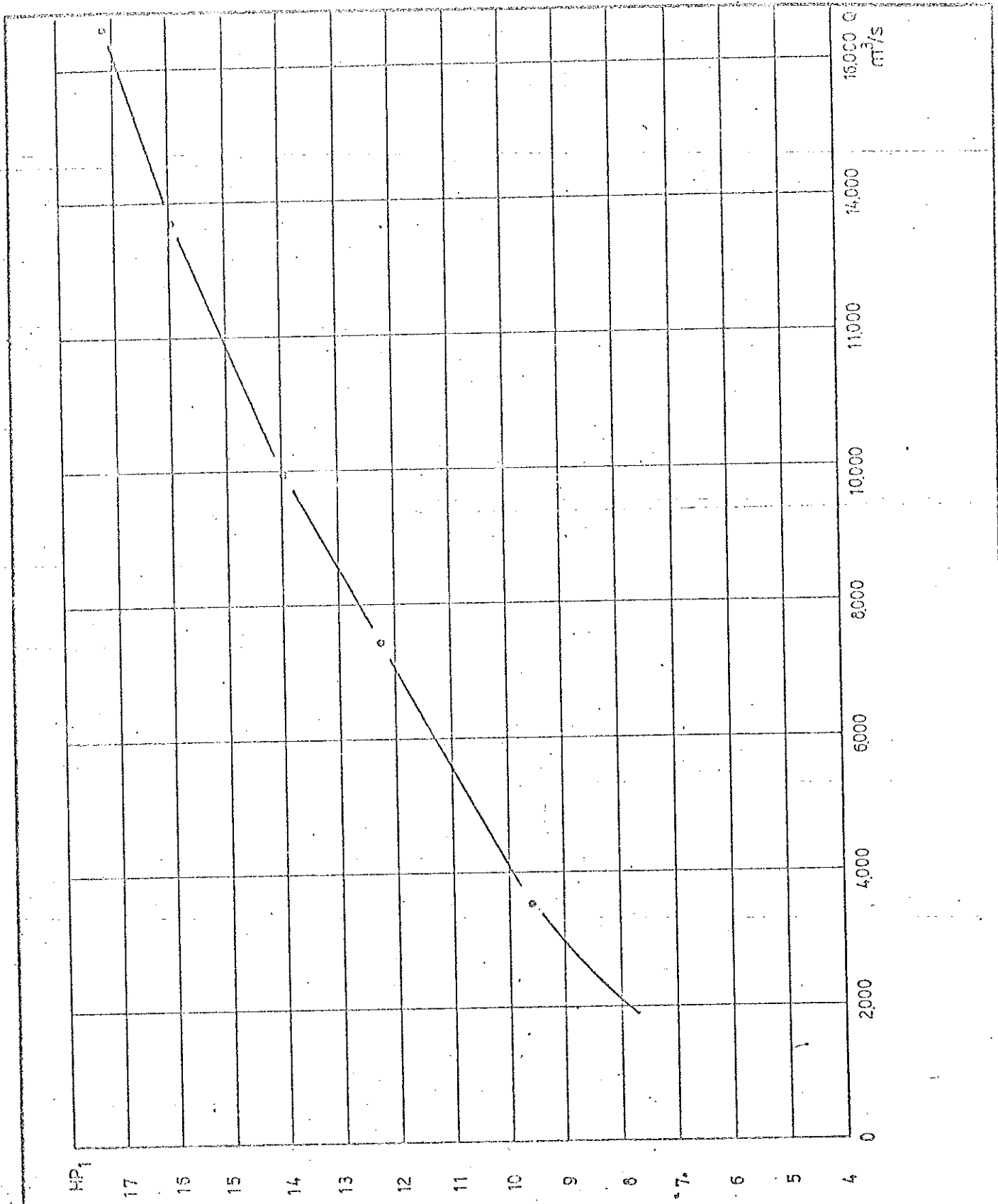


PRUEBA Nº 21

LEY HP₁-Q PARA RETIRO PARCIAL DE LA ATAGUIA DE AGUAS ARRIBA

FIGURA Nº 13

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 Estudio sobre modelo de Salto Grande
 Segunda etapa de desvio



Ley H-Q de primera etapa para configuración de fig. nº 13

FIGURA Nº 14

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

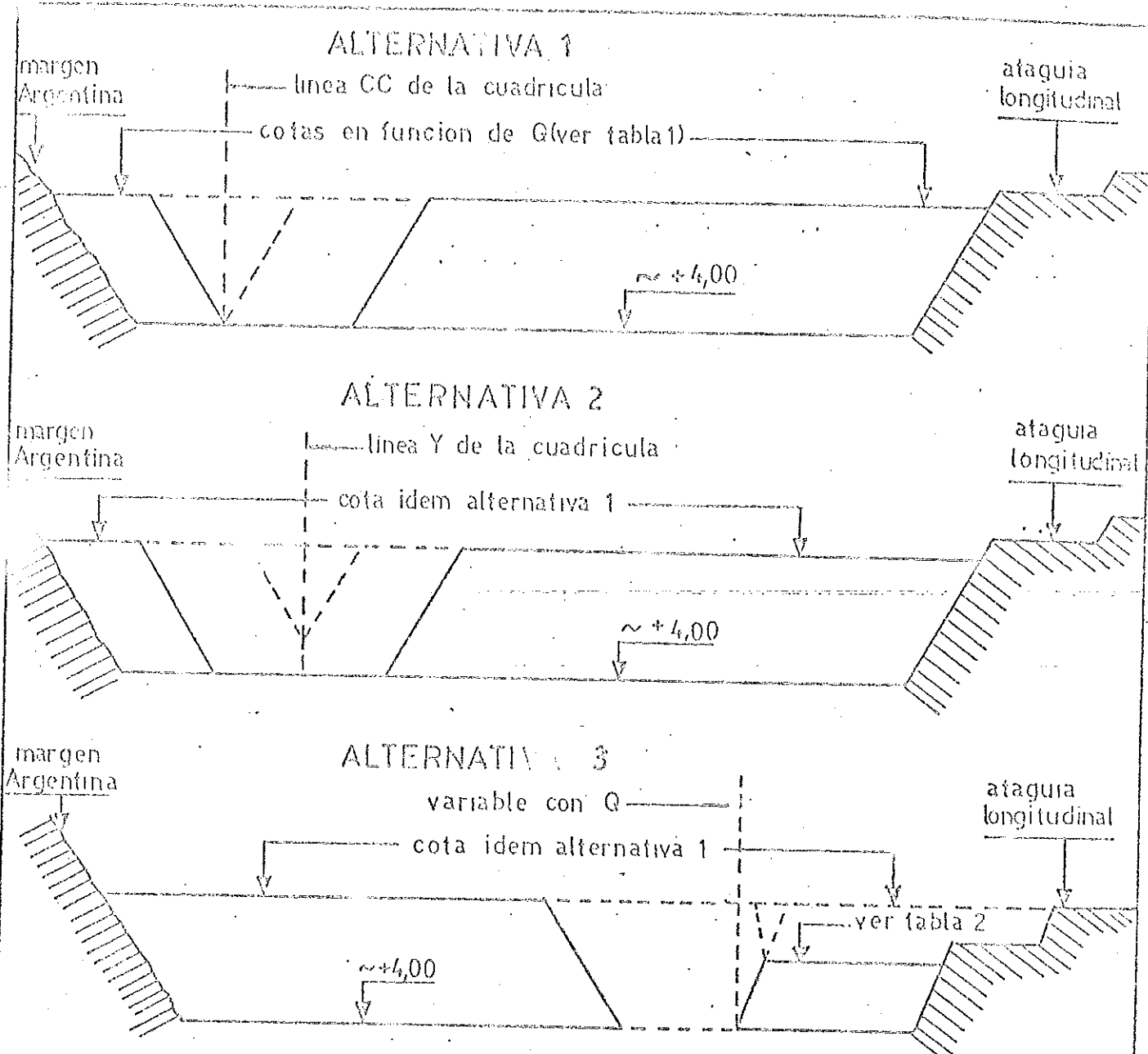


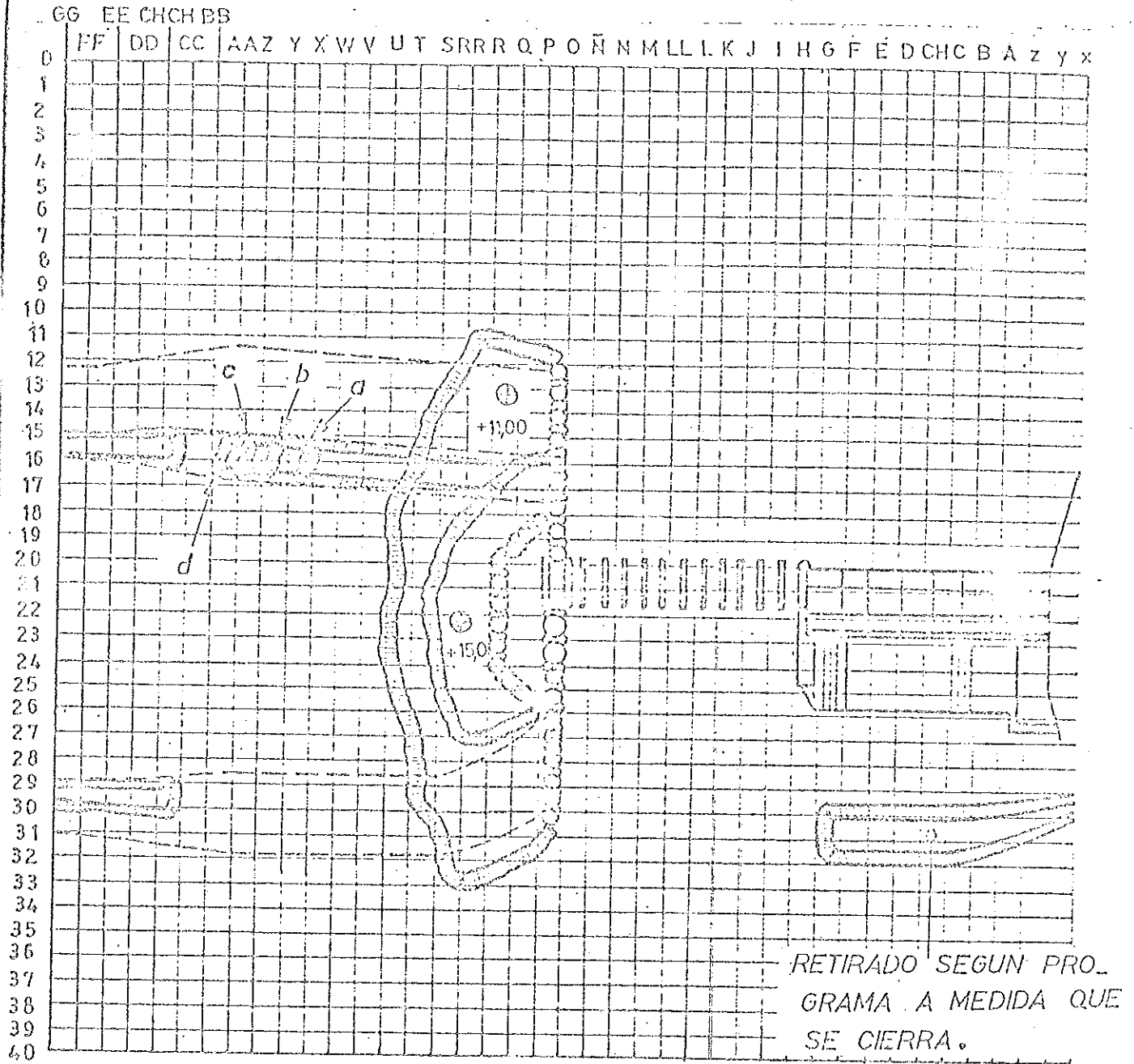
TABLA 1
 ALTERNATIVA 1

Q	cota
m ³ /s	m
5000	12,00
10000	15,00
15000	17,50

TABLA 2
 ALTERNATIVA 3

Q	cota
m ³ /s	m
5000	10,00
10000	12,50

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

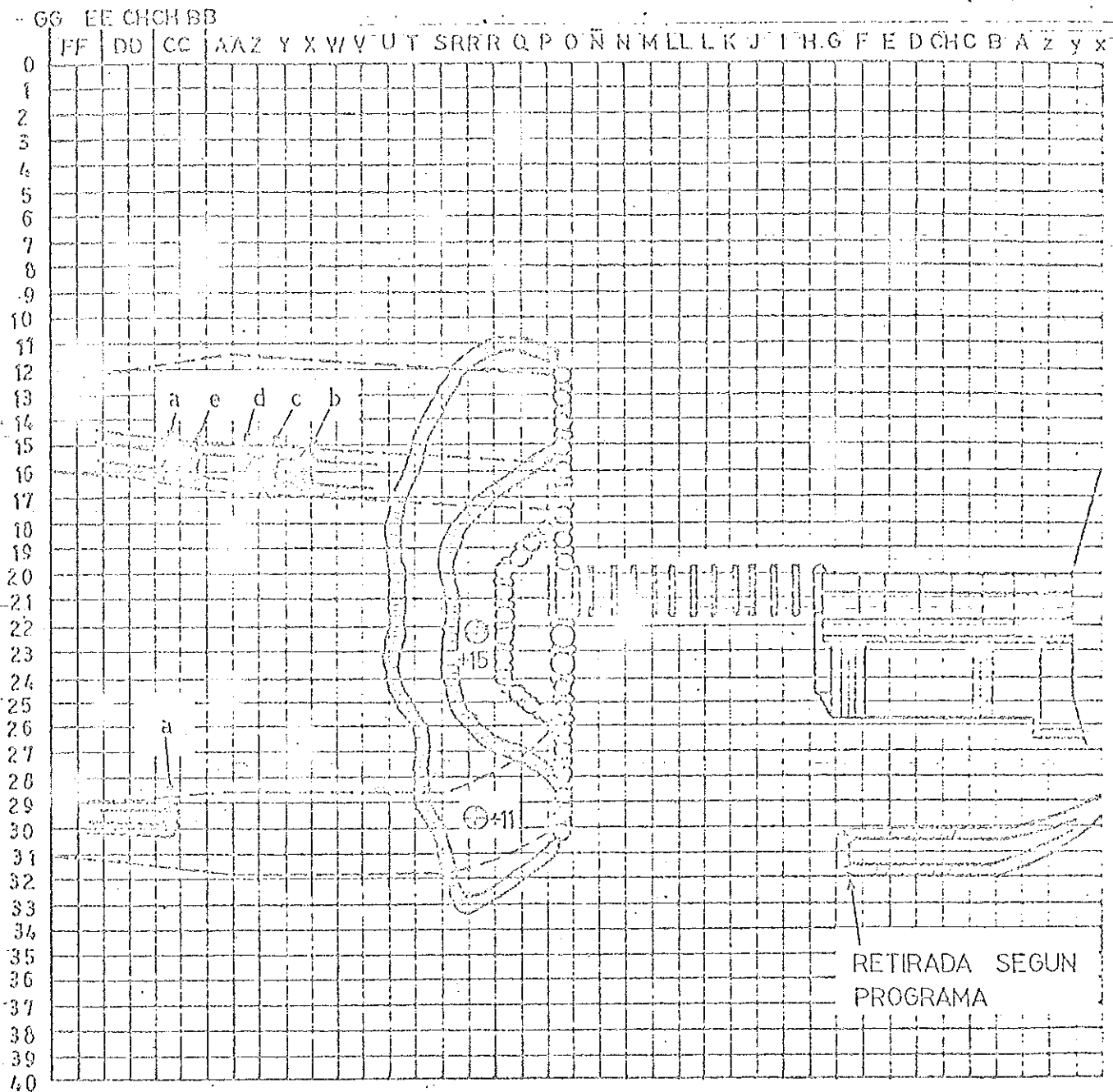


PRUEBA N° 22

$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE ALTERNATIVA 1 - PIEDRA CLASE 4 y 5

FIGURA N° 16

ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



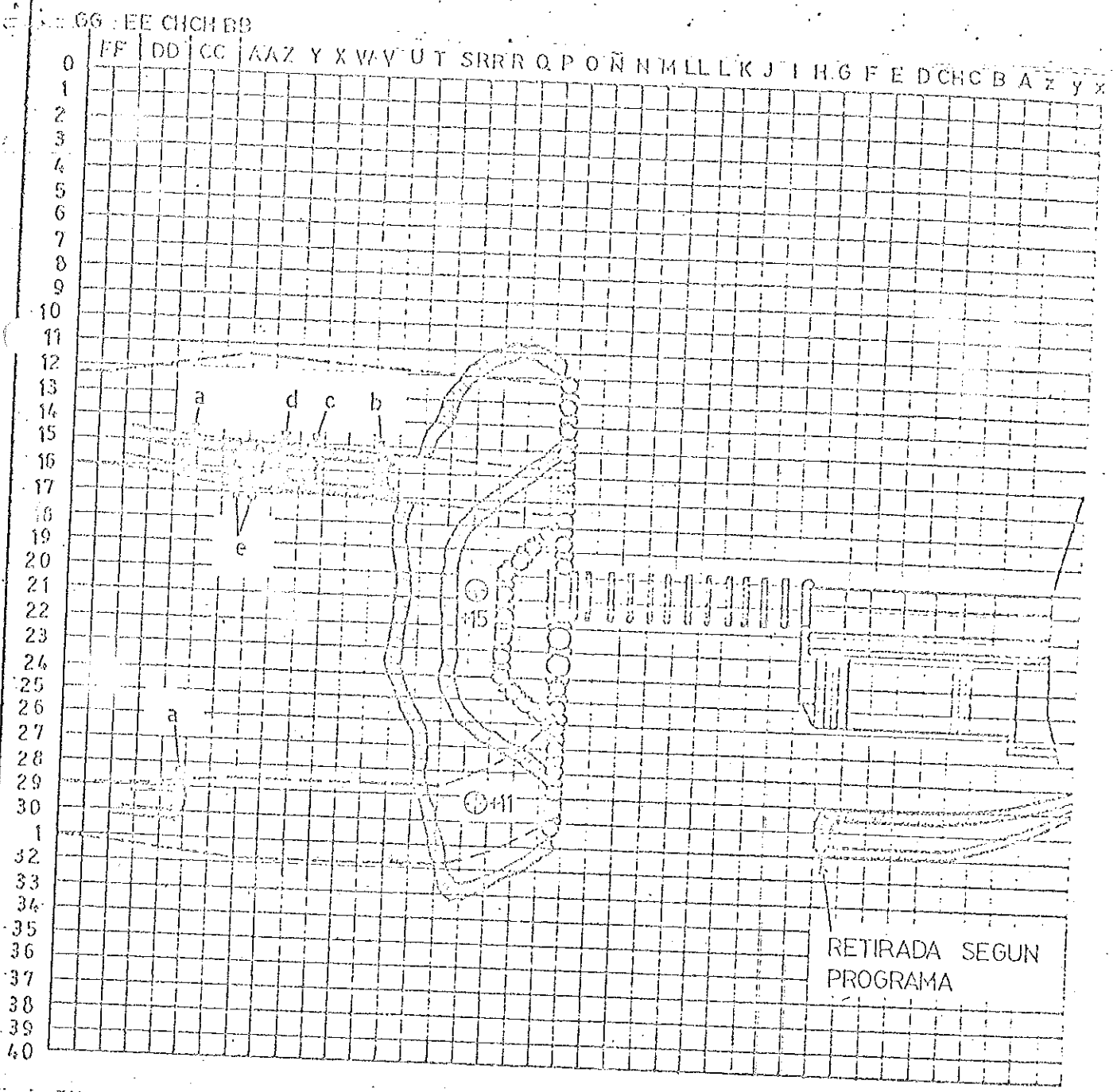
PRUEBA N° 23-PIEDRA CLASE 4 y 5

PRUEBA N° 24-PIEDRA CLASE 1

$Q=5.000 \text{ m}^3/\text{s}$
CIERRE ALTERNATIVA 1

FIGURA N° 16'

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

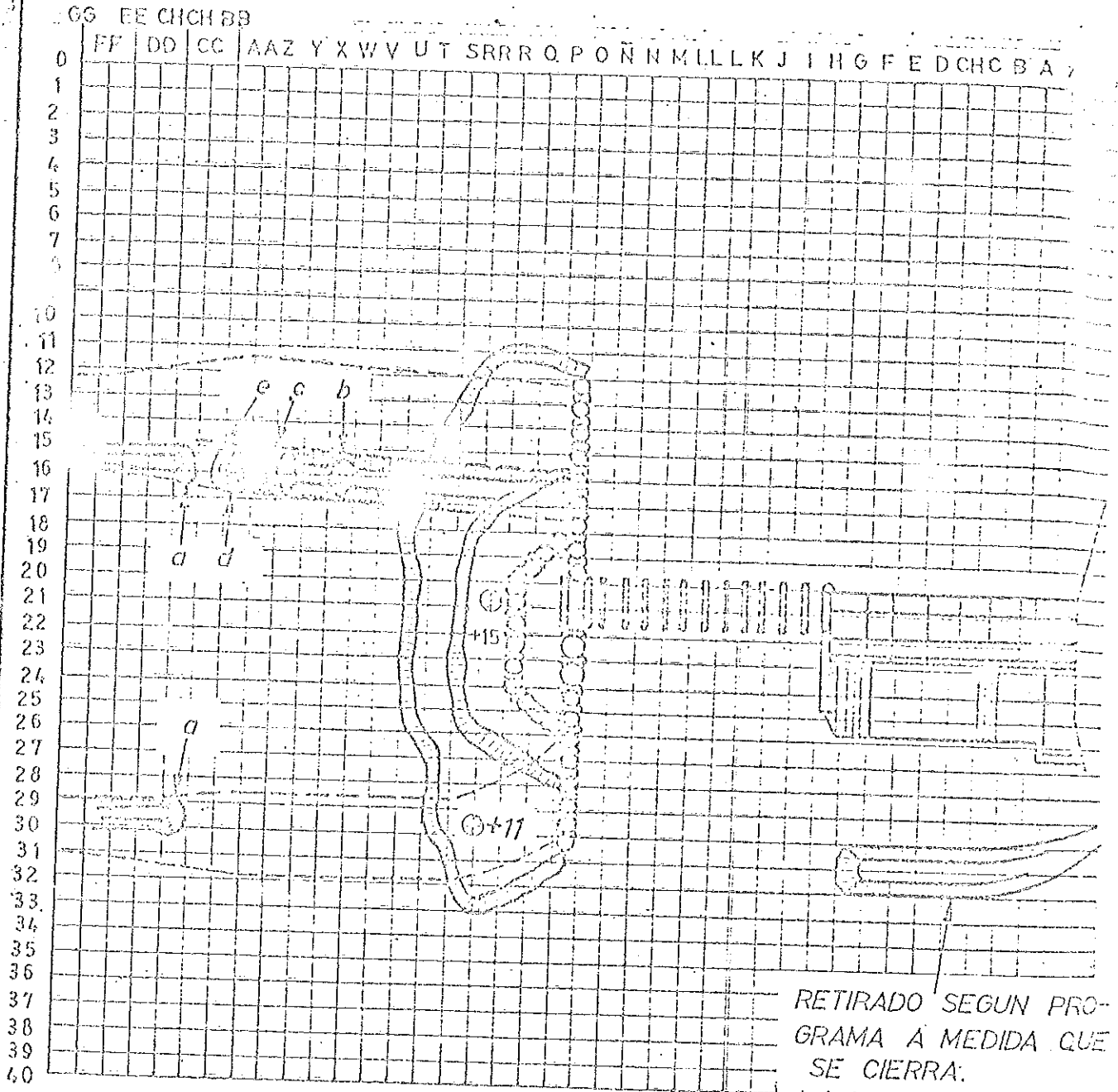


PRUEBA N° 25

$Q = 15.000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE MIXTO - PIEDRA CLASE 4

FIGURA N° 16'

INGENIERIA DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

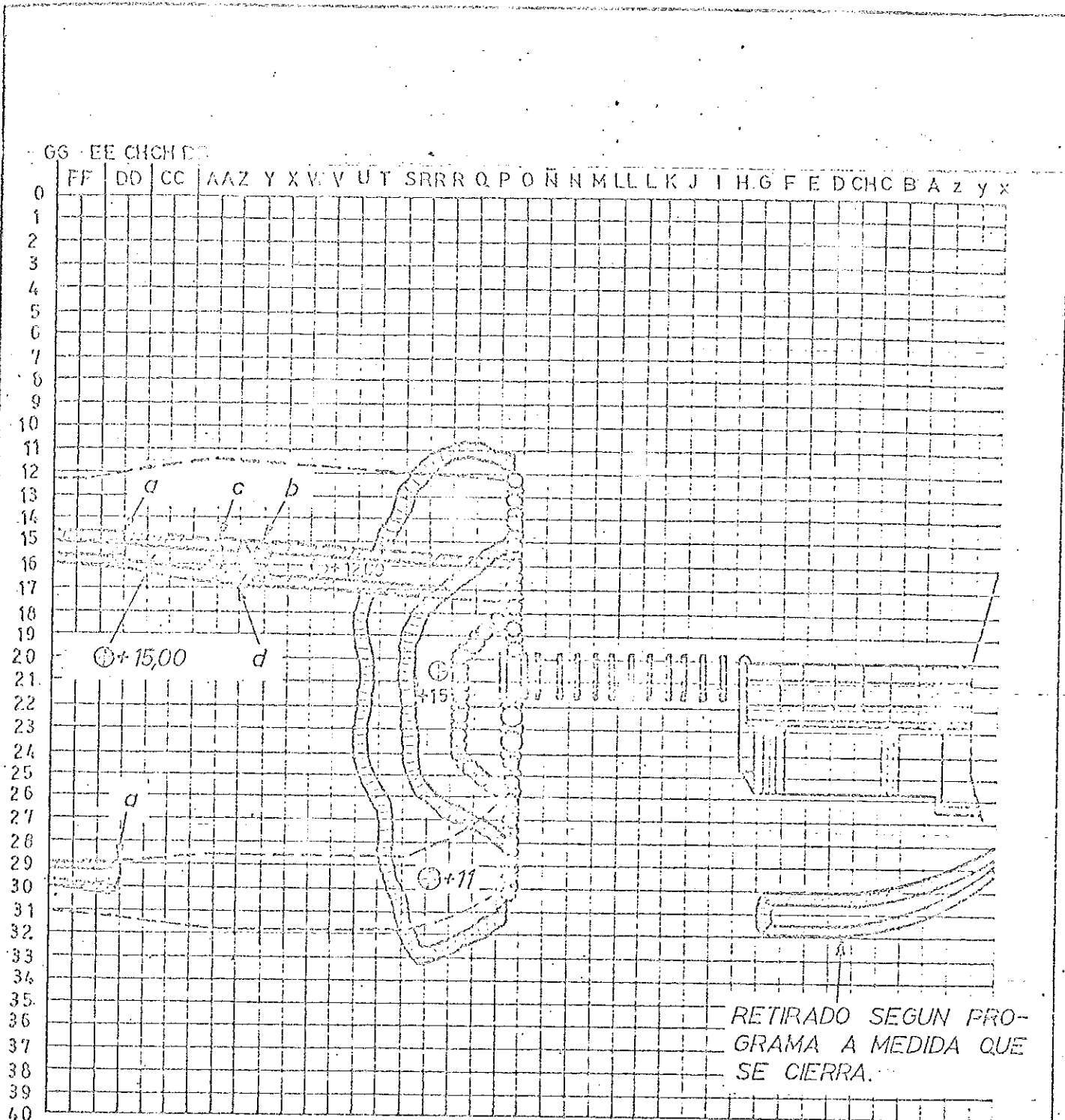


PRUEBA N°26 y 27

$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE ALTERNATIVA 1 - PIEDRA CLASE 5 TODO

FIGURA N° 17

LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



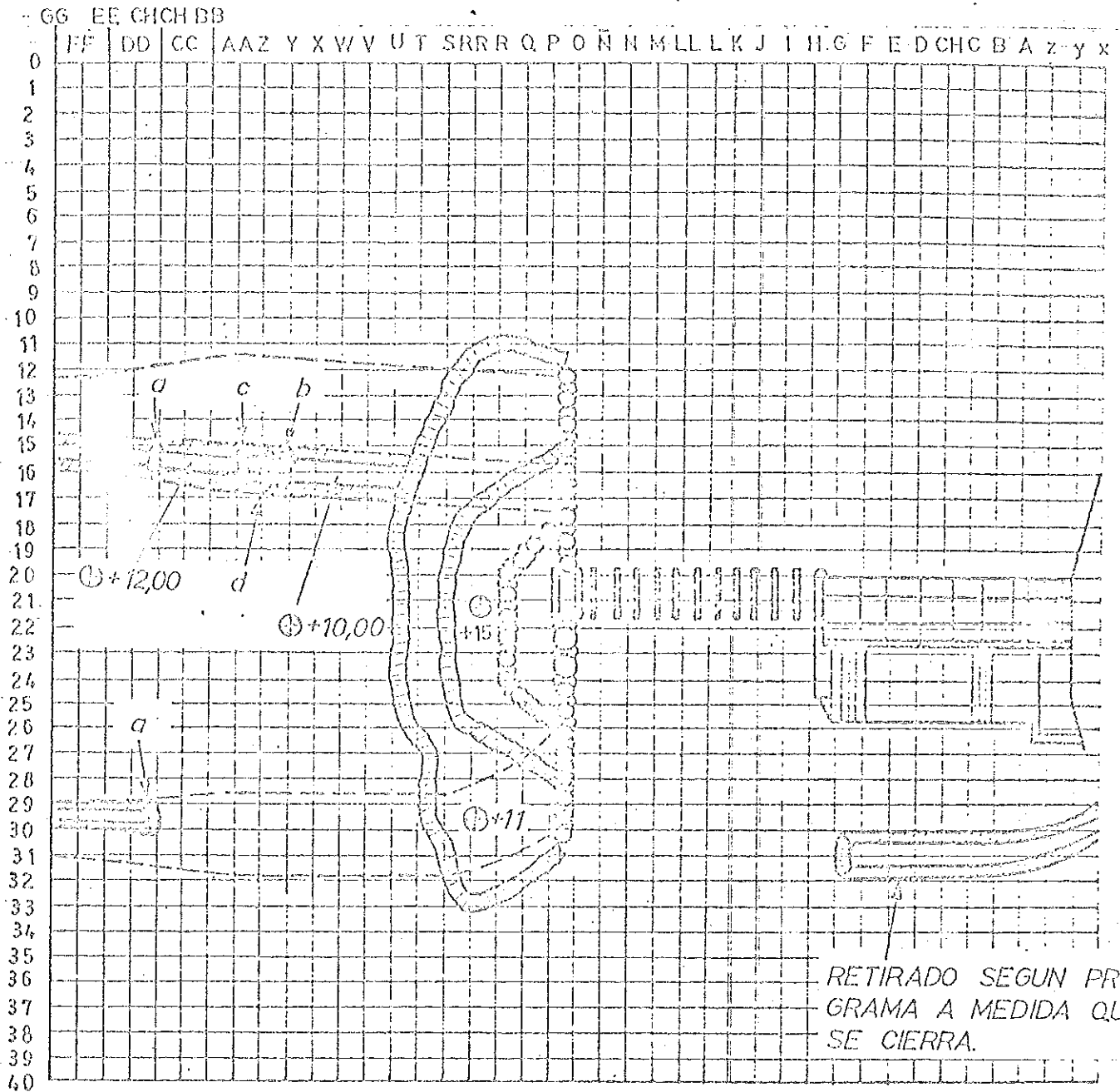
PRUEBA N° 28

$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$

CIERRE ALTERNATIVA 3 - PIEDRA (CASE 5 TODO

FIGURA N° 18

ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

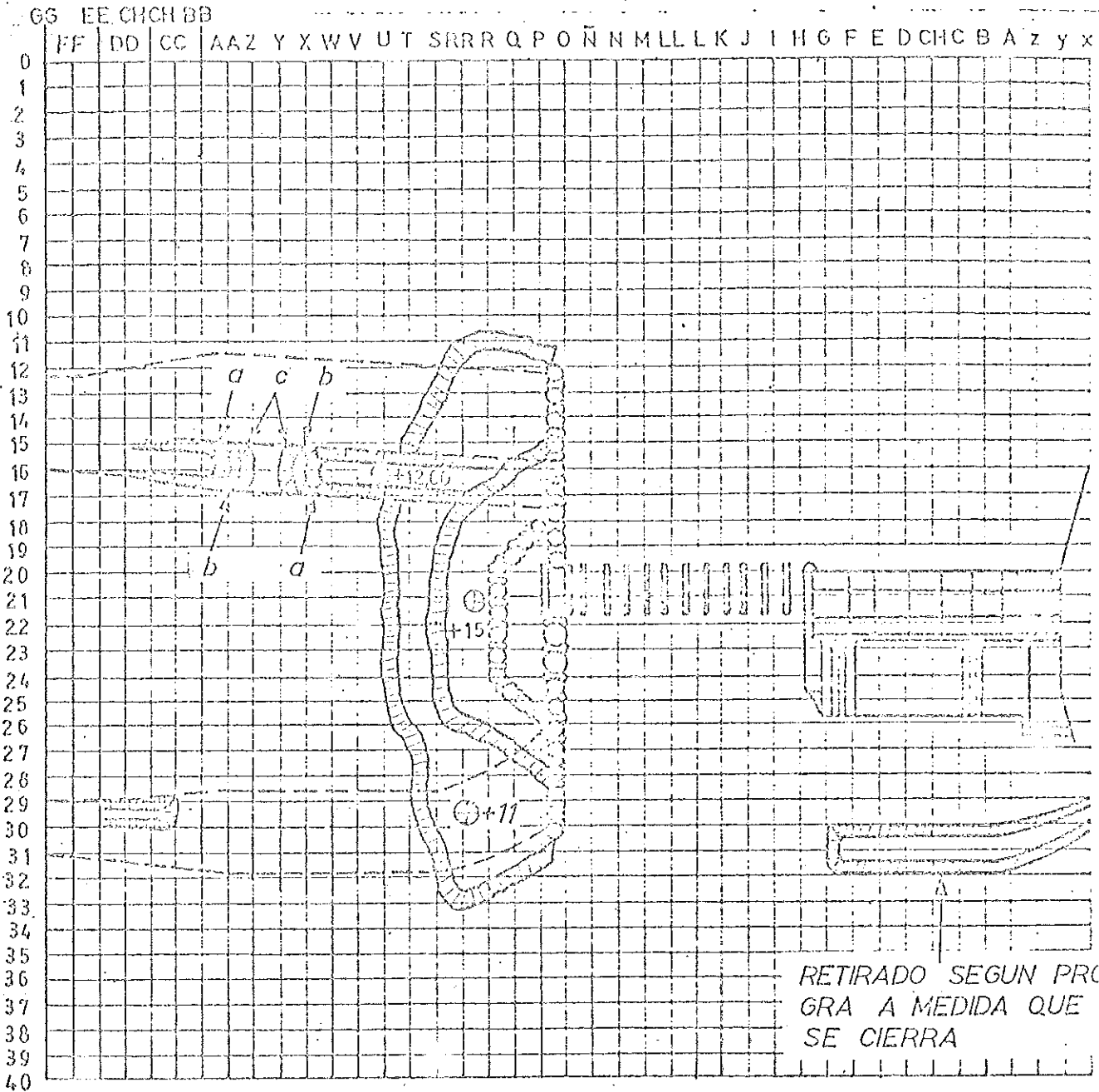


PRUEBA N° 29

$Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$
CIERRE ALTERNATIVA 3 - PIEDRA CLASE 5 TODO

FIGURA N° 19

LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



PRUEBA N^o 30

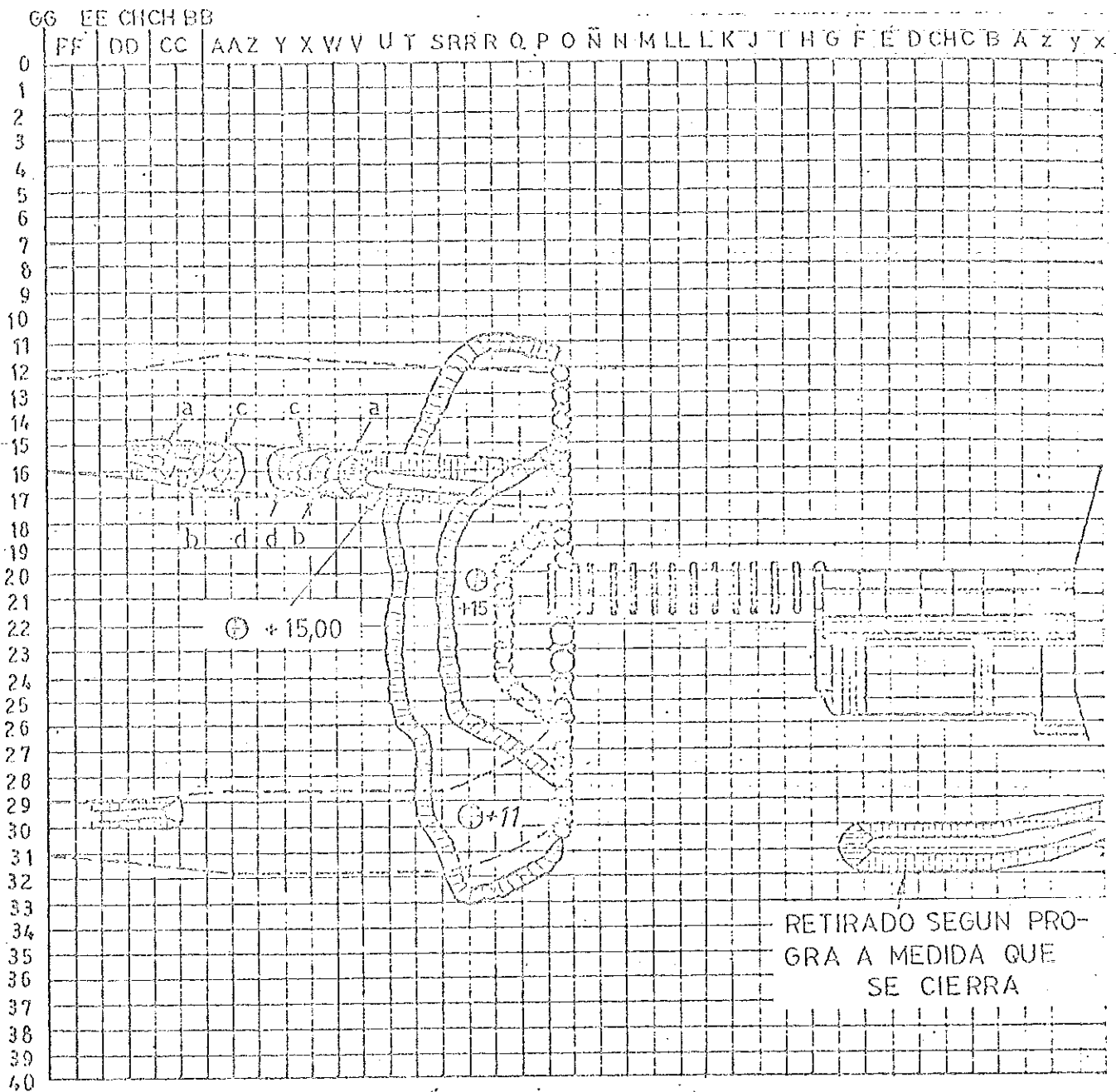
$Q = 5000 \text{ m}^3/\text{s}$

CIERRE ALTERNATIVO - PIEDRA CLASE 5 TODO

FIGURA N^o 20

ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE

SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

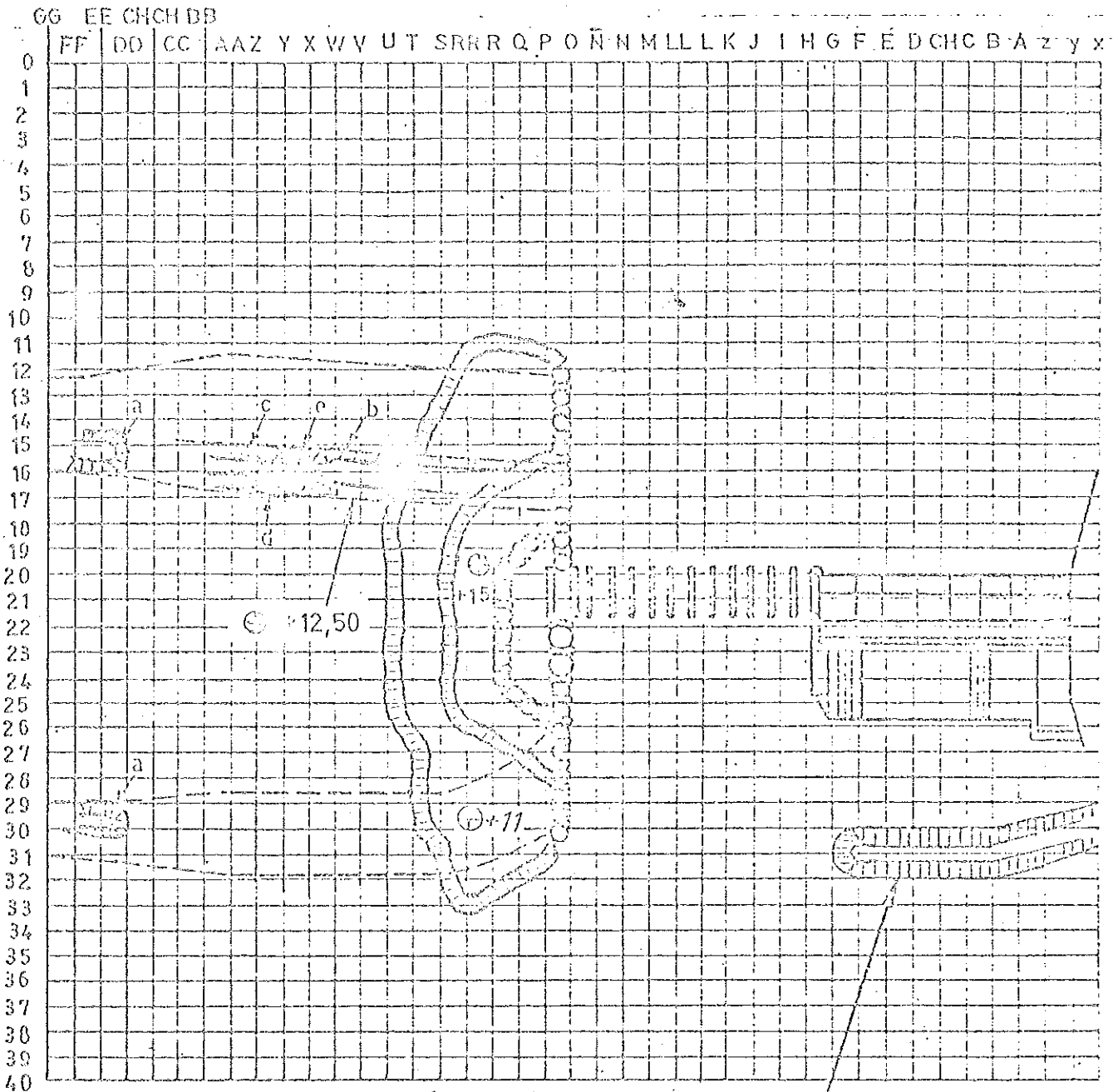


$$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$$

CIERRE ALTERNATIVA 2 PIEDRA CLASE 5 TODO

FIGURA Nº 21

LABORATORIO DE HIDRÁULICA APLICADA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



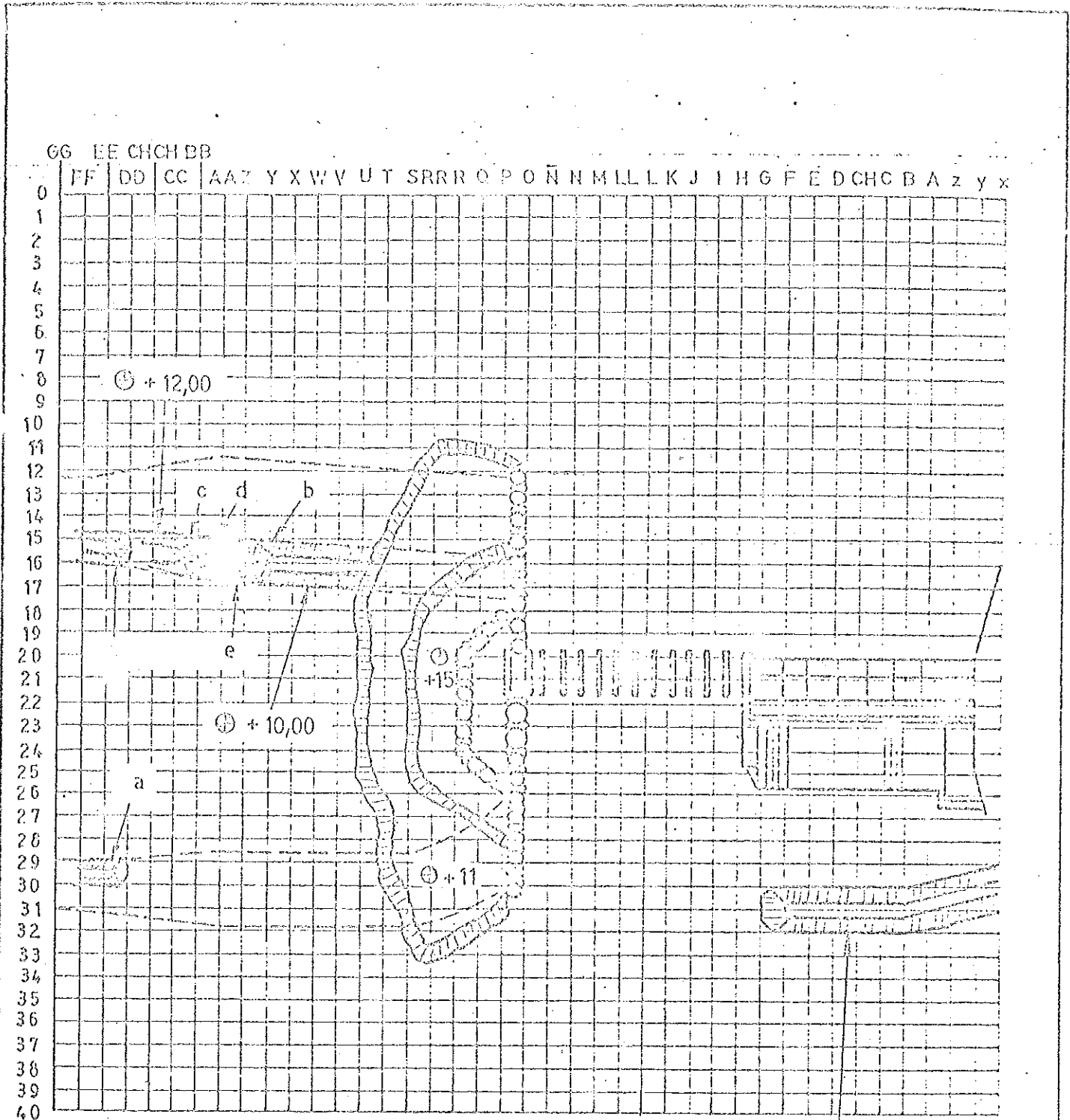
PRUEBA Nº32

RETIRADO SEGUN PRO-
 GRA A MEDIDA QUE
 SE CIERRA

$Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$
 CIERRE ALTERNATIVA 3 - PIEDRA CLASE 4. TODO

FIGURA Nº 22

ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



PRUEBA N° 33.

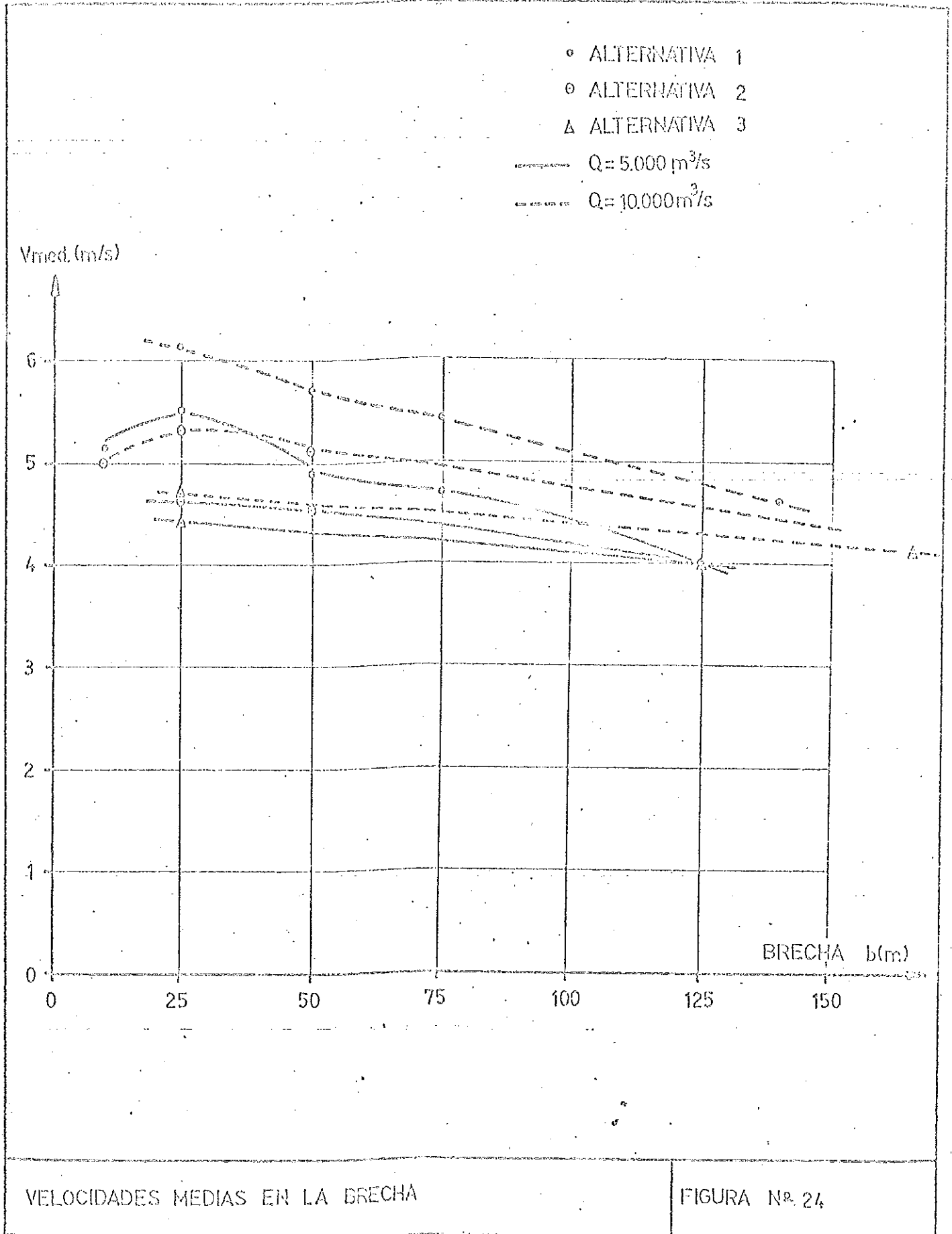
RETIRADO SEGUN PRO-
GRAMA. A MEDIDA QUE
SE CIERRA

$Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}.$

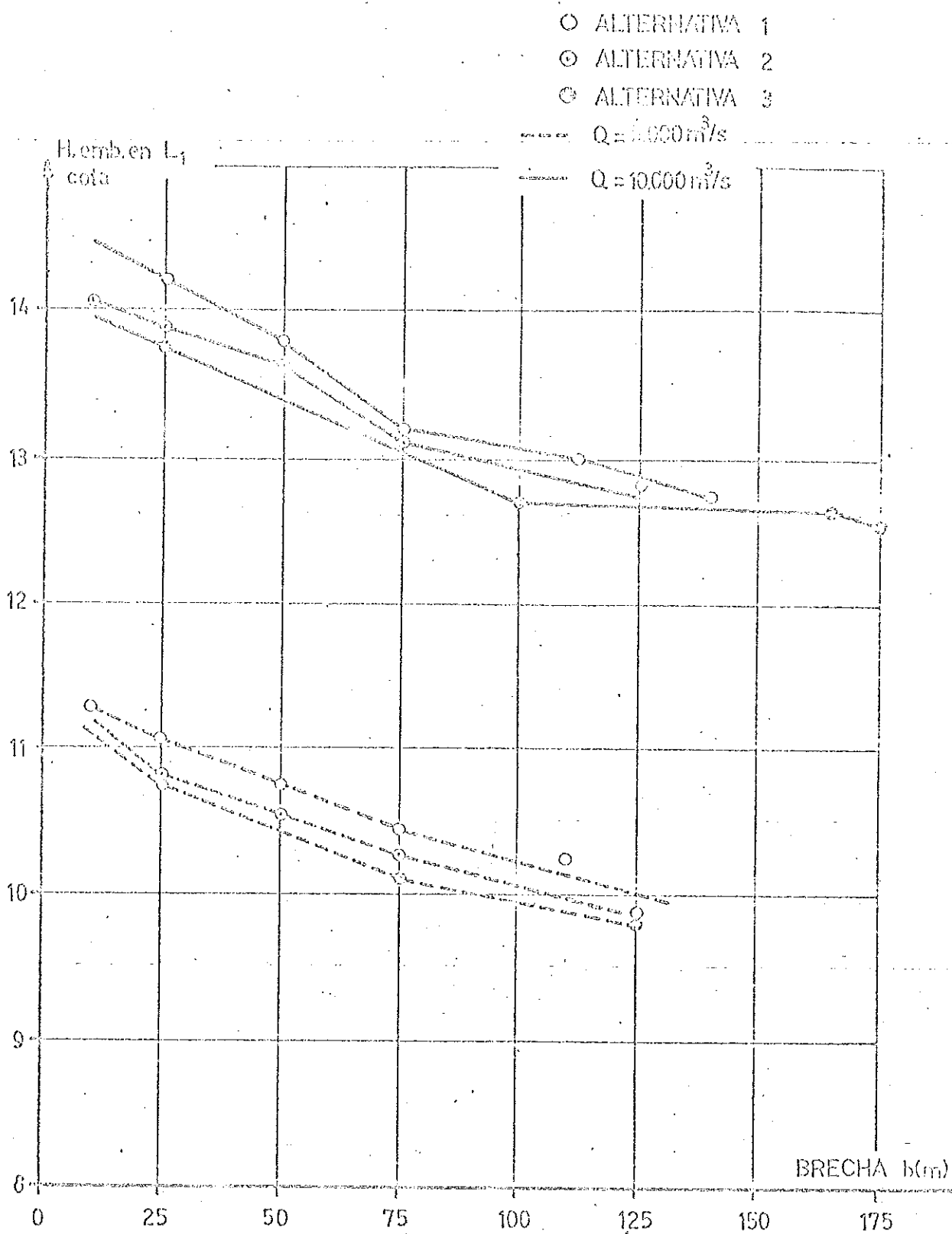
CIERRE ALTERNATIVA 3 - PIEDRA CL E 4 TODO

FIGURA N° 23

ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



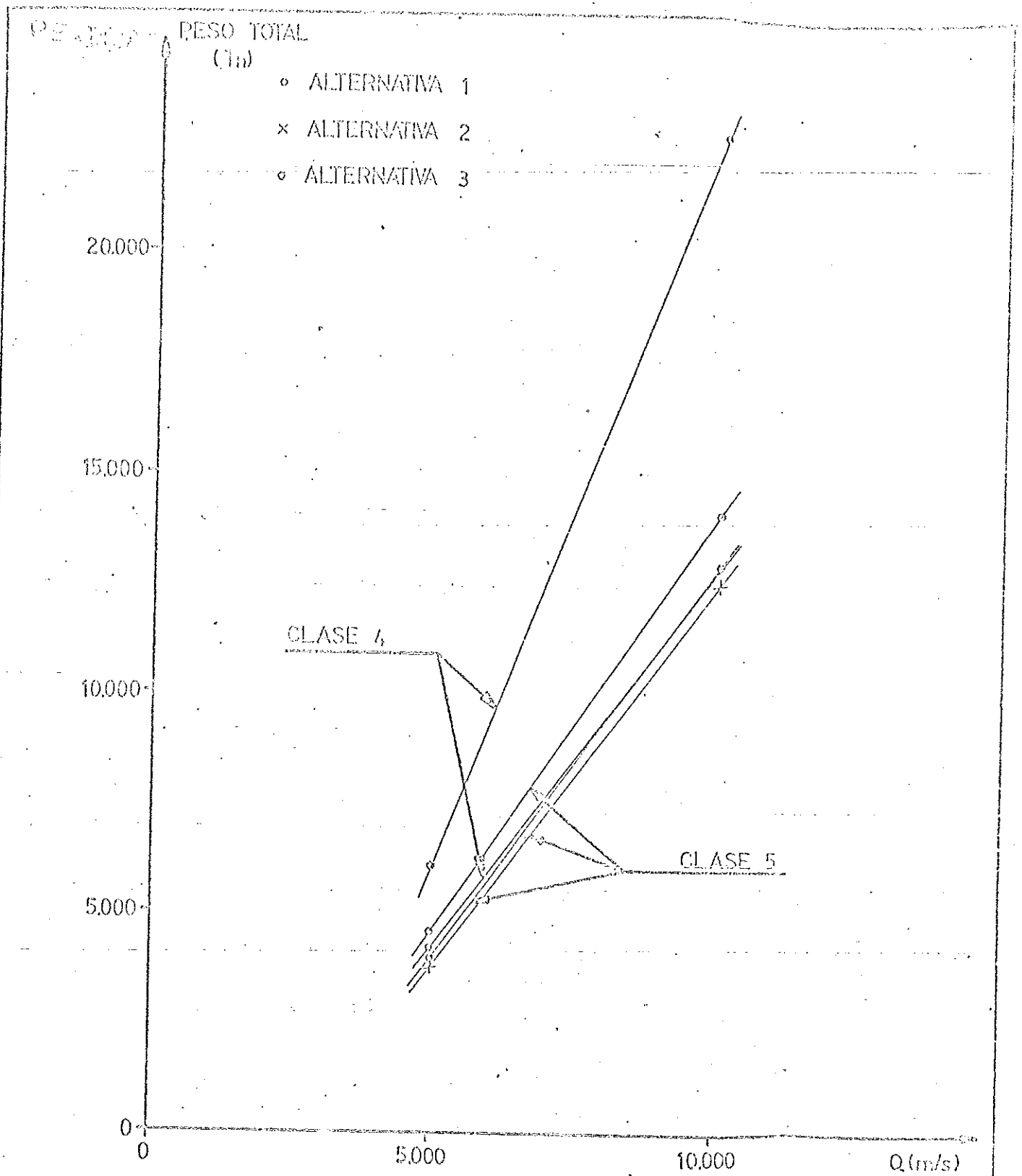
ESTUDIO DEL TERCERA ETAPA
 ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
 SEGUNDA ETAPA DE DESVIO



NIVELES EMBALSADOS DURANTE EL CIERRE

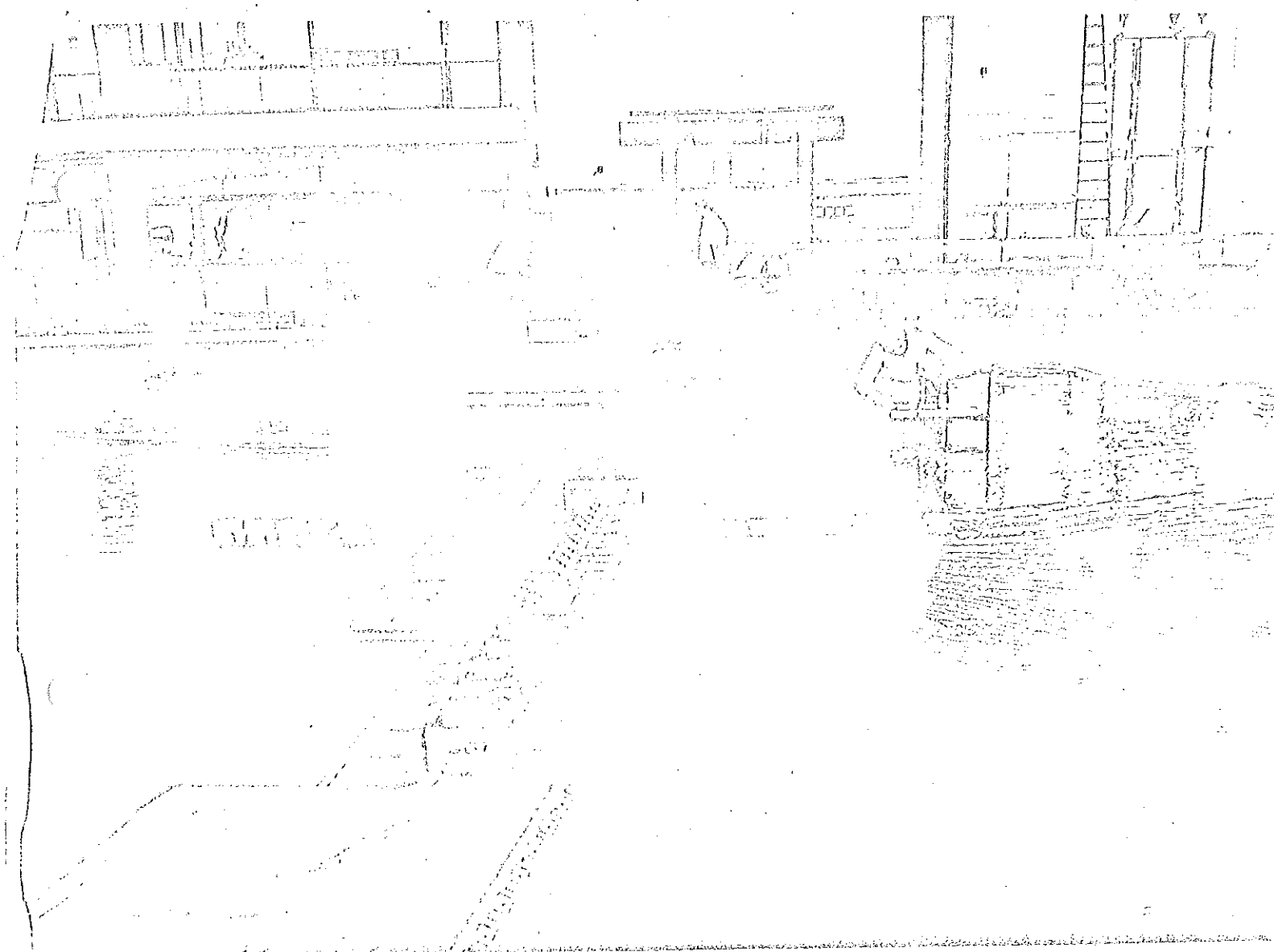
FIGURA Nº 25

LABORATORIO DE MECANICA APLICADA
ESTUDIO SOBRE MODELO DE SALTO GRANDE
SEGUNDA ETAPA DE DESVIO

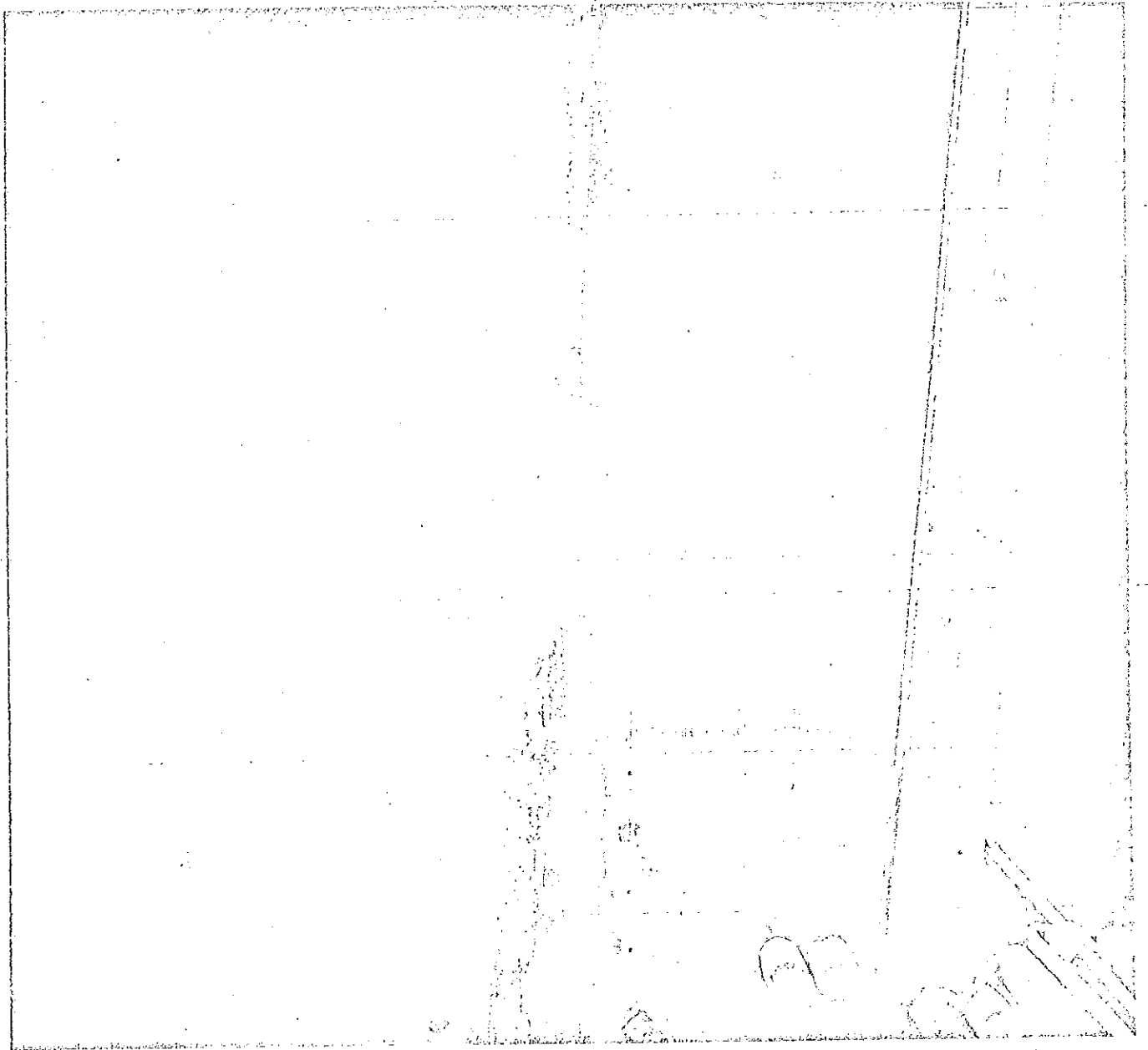


MATERIAL ARRASTRADO DURANTE EL CIERRE

FIGURA Nº 25



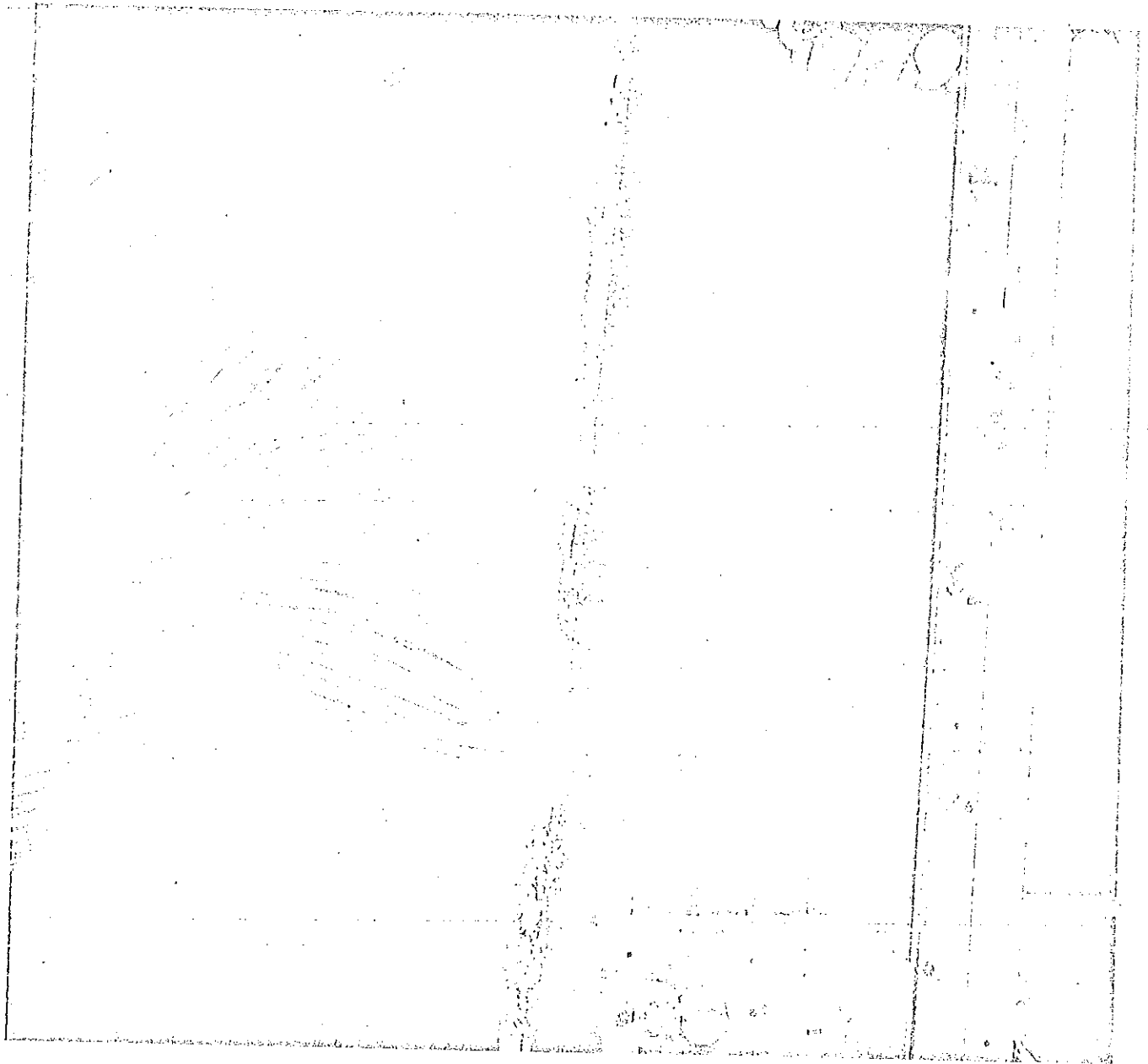
Fotografía N° 1: Vista general de las obras.



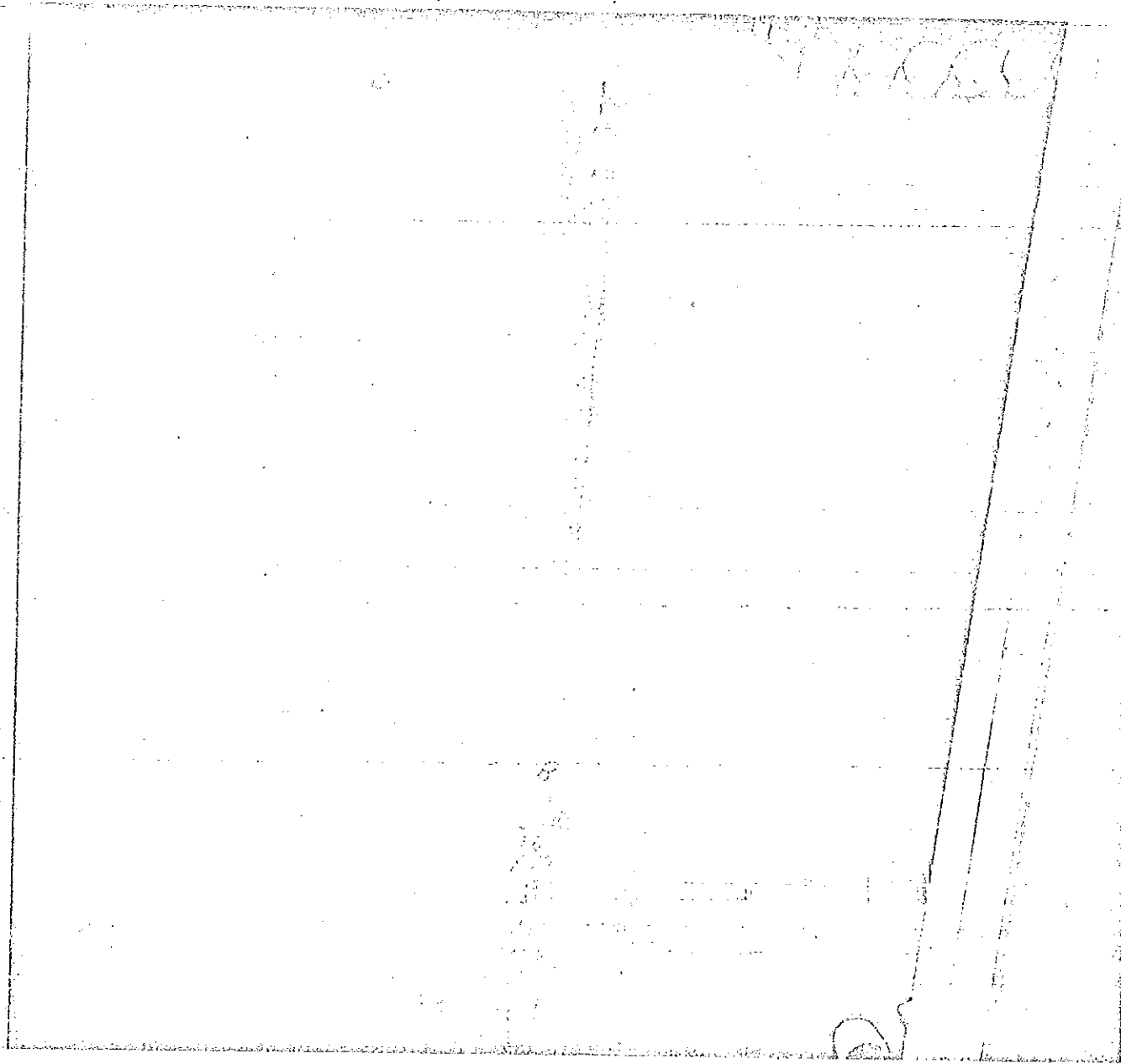
Fotografía N° 2: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 1. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=50m. Prueba 26.



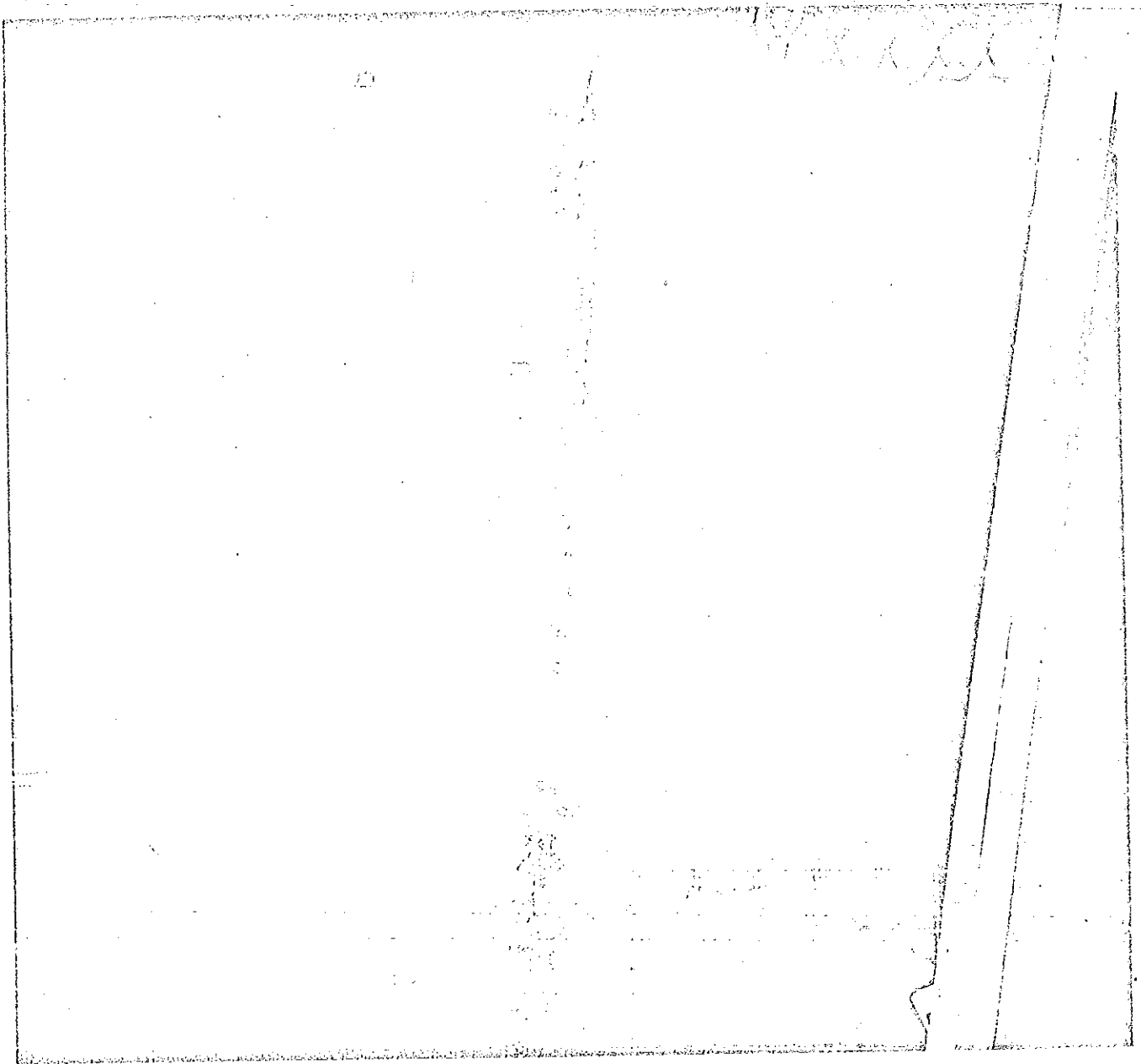
Fotografía N° 3: Espectro de aproximación. Cierre por
Alternativa 1. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=25m. Prueba 26.



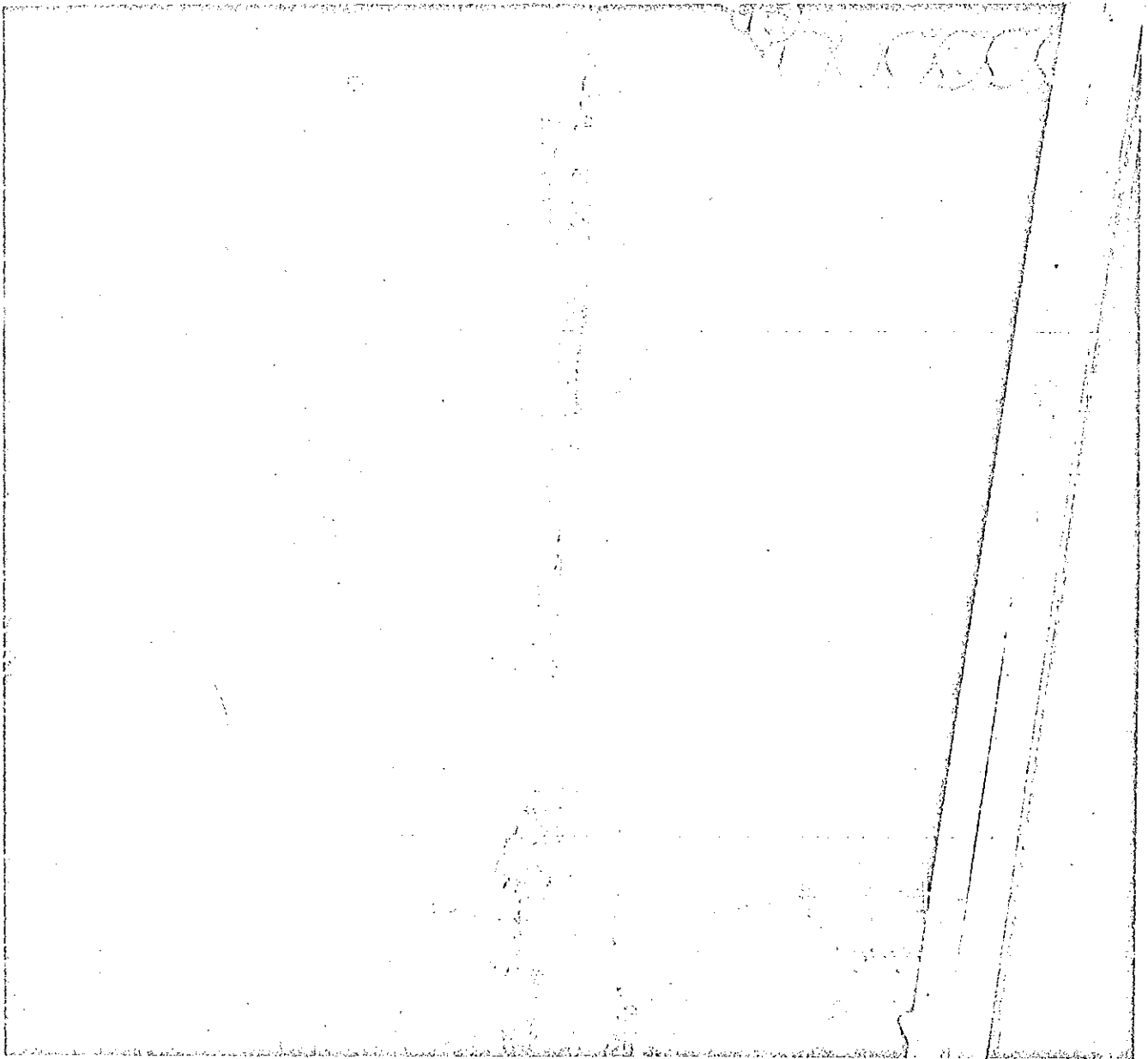
Fotografía N° 4: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 1. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brech = 10m. Prueba 26.



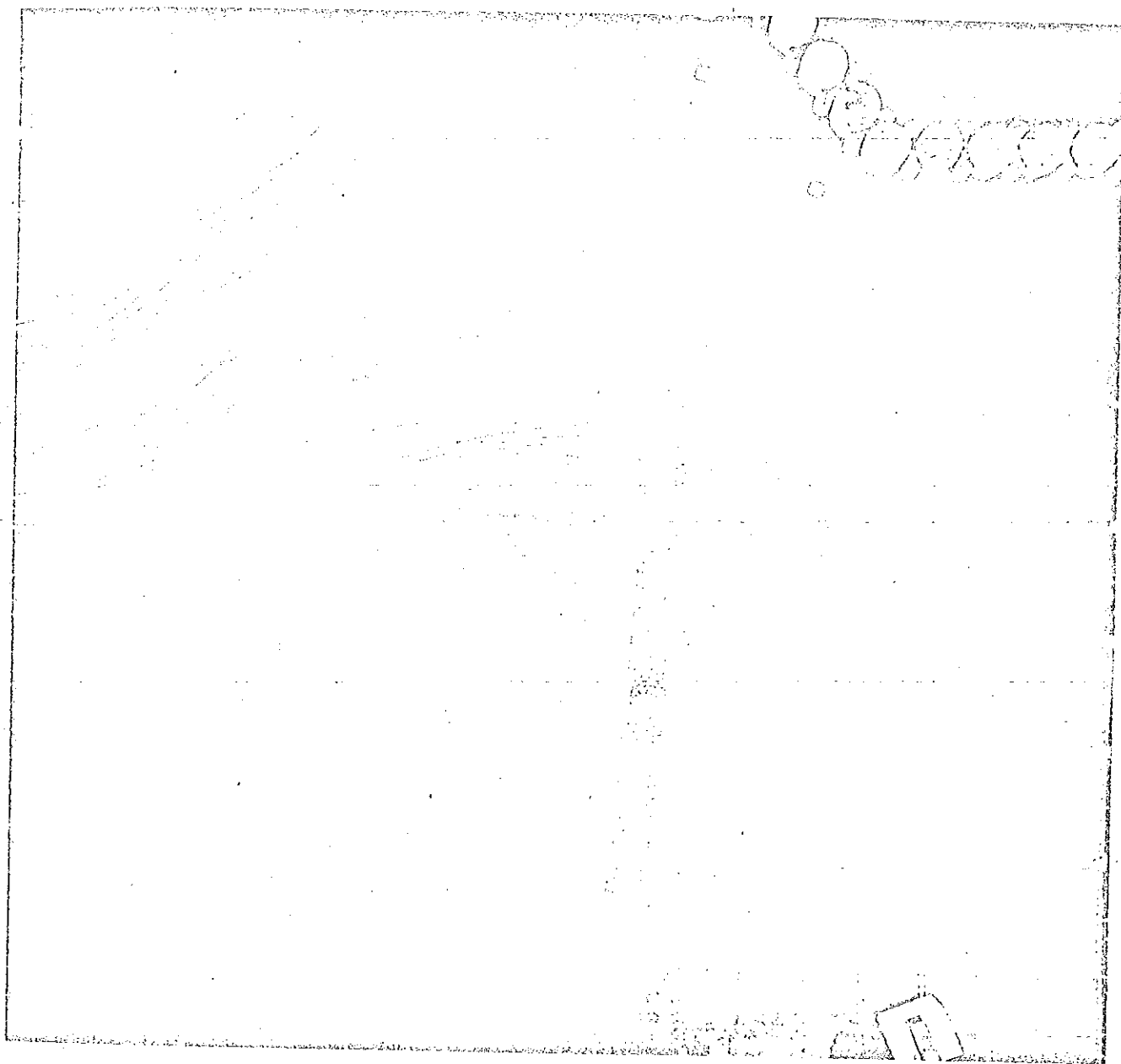
Fotografía N° 5: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 1. $Q=5.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=50m. Prueba 27.



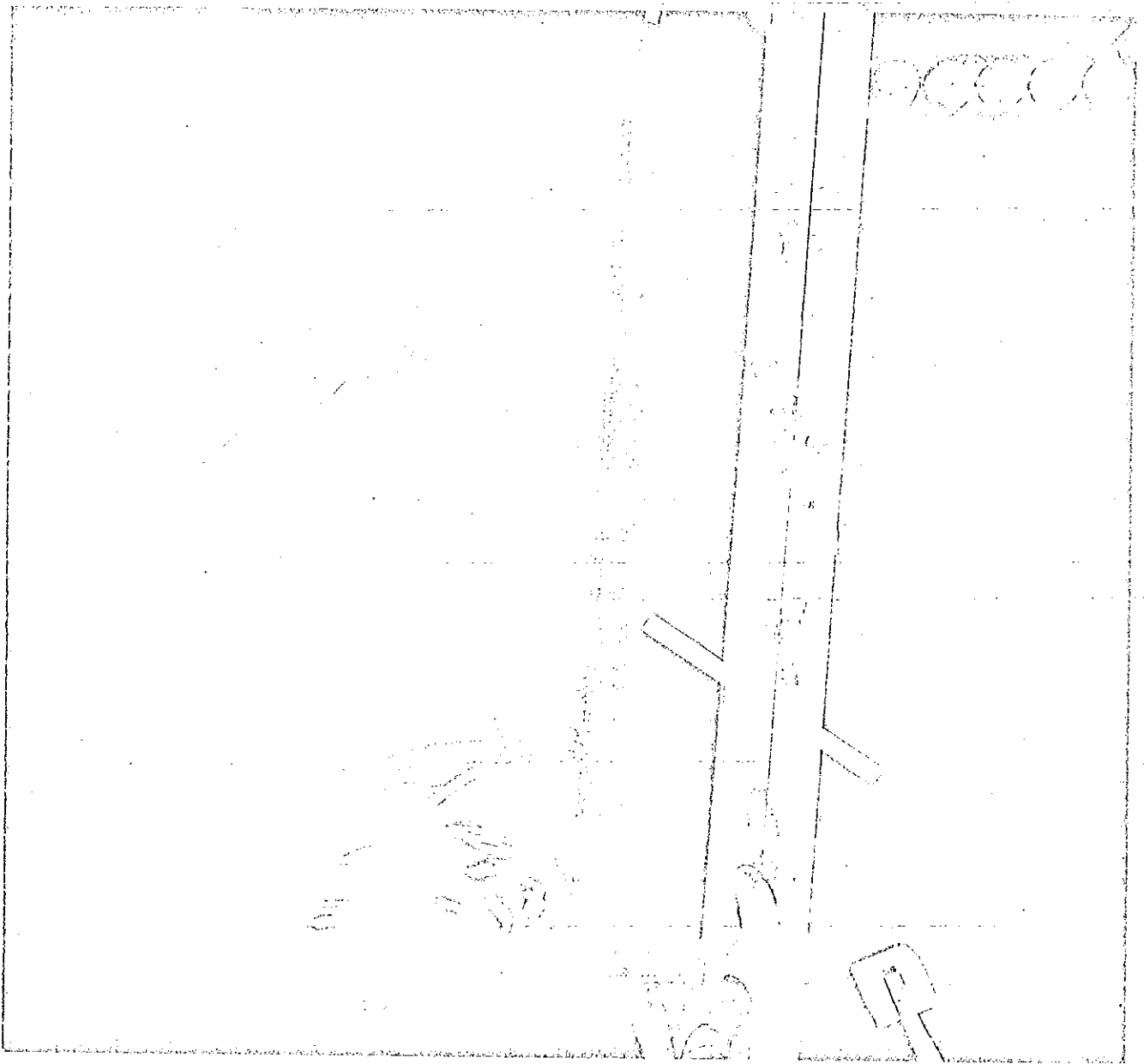
Fotografía N° 6: Espectro de aproximación. Cierre por
Alternativa 1. $Q=5.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=25m. Prueba 27.



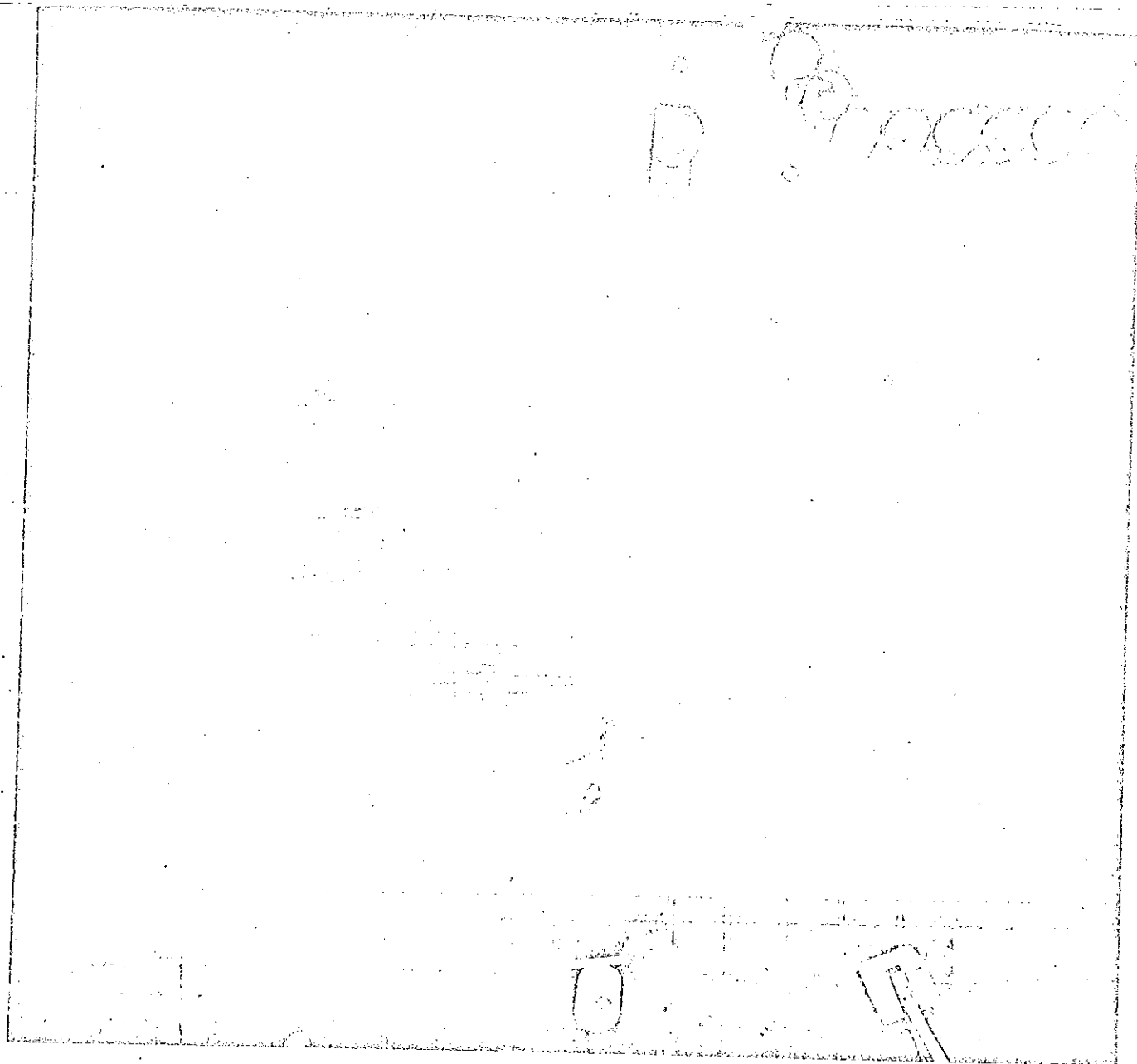
Fotografía N° 7: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 1. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=10m. Prueba 27.



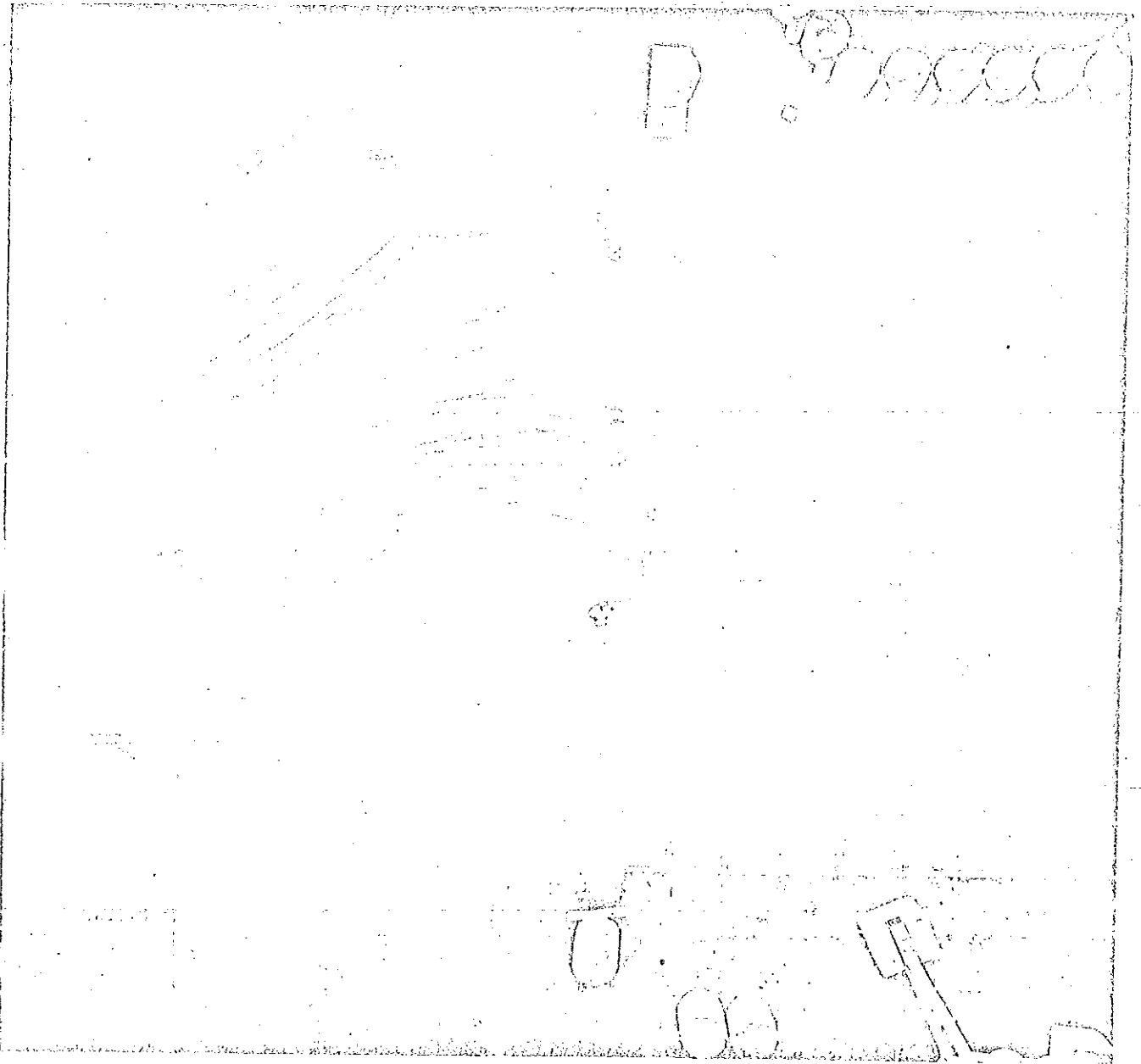
Fotografía N° 8: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 3. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=25m. Prueba 28.



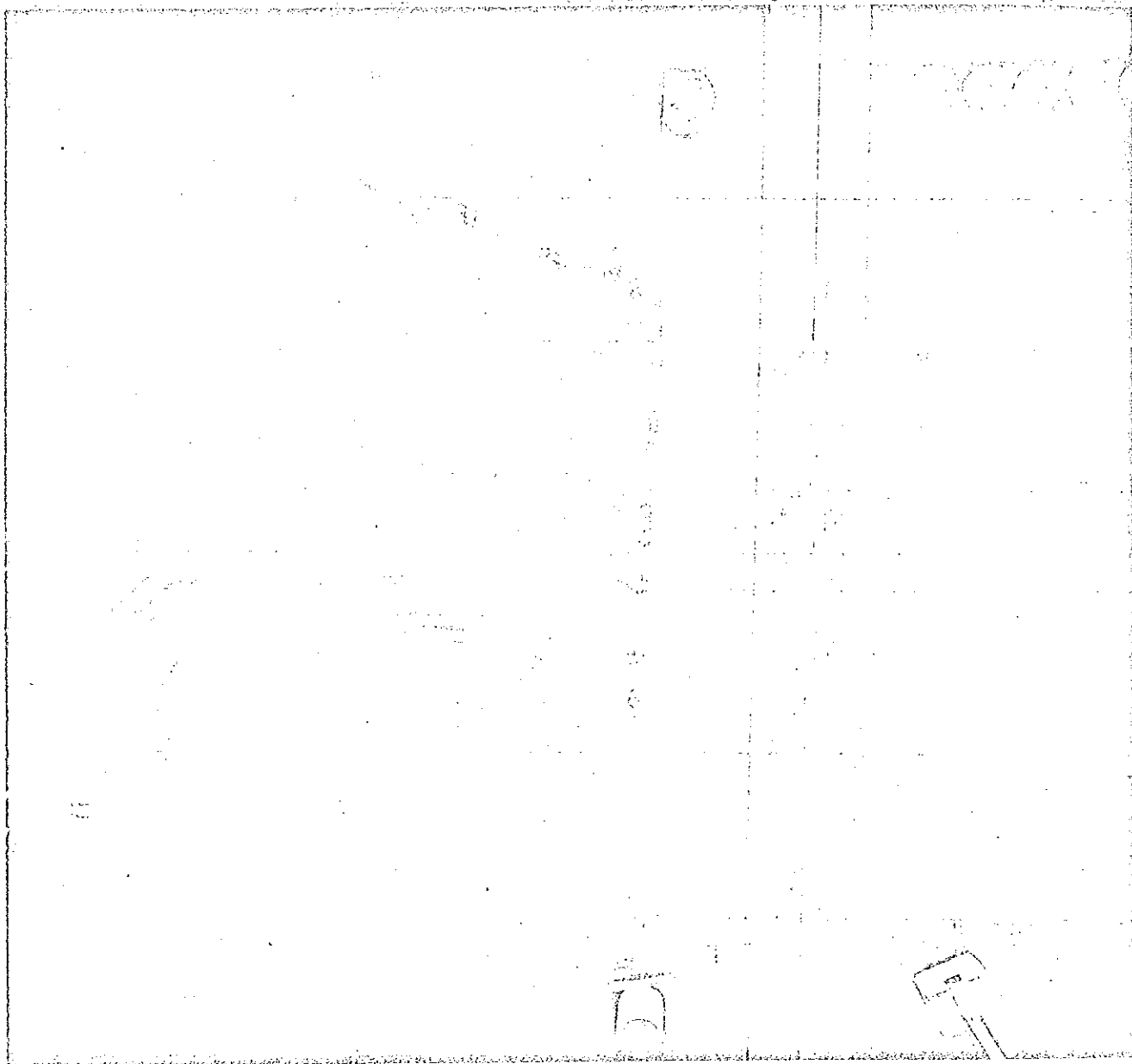
Fotografía N° 9: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 3. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha superior=25m. Prueba 28.



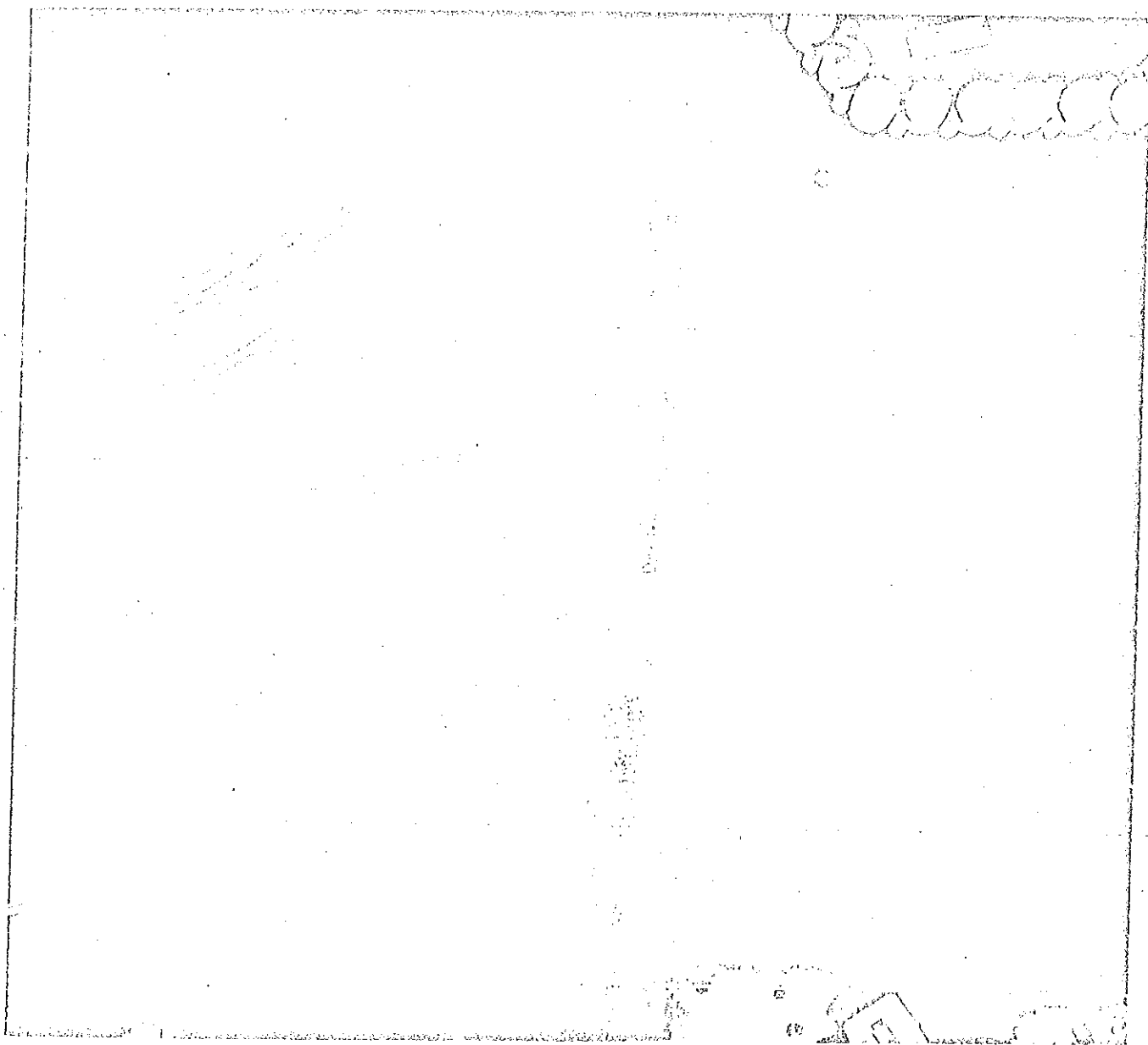
Fotografía N° 19: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 3. $Q=5.000$ m³/s. Brecha=25m. Prueba 29.



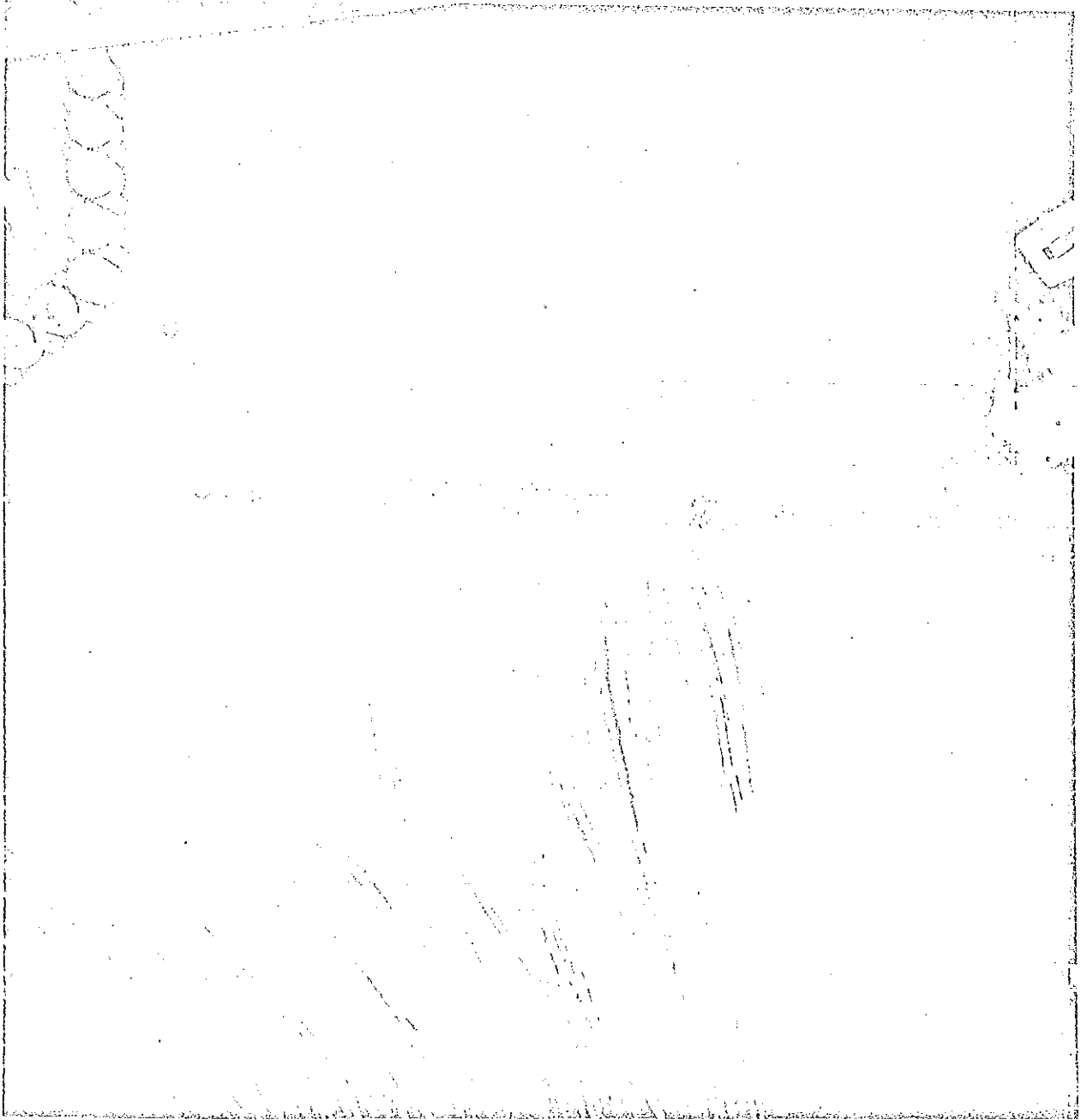
Fotografía N° 11: Espectro de aproximación. Cierre por
Alternativa 3. $Q=5.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha superior=50m.
Prueba 29.



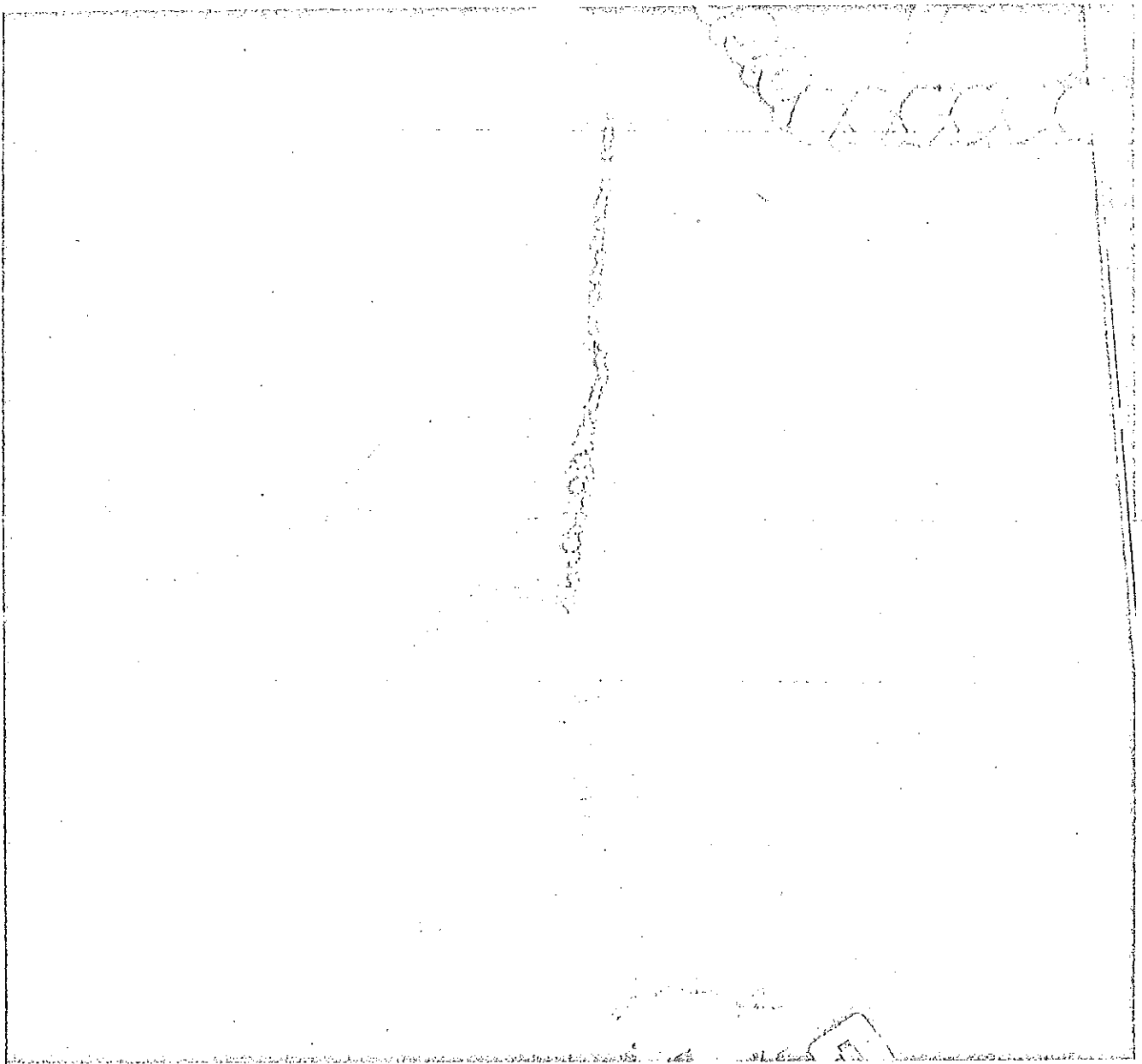
Fotografía N° 12: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 3. $Q=5.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha superior=50m. Prueba 29.



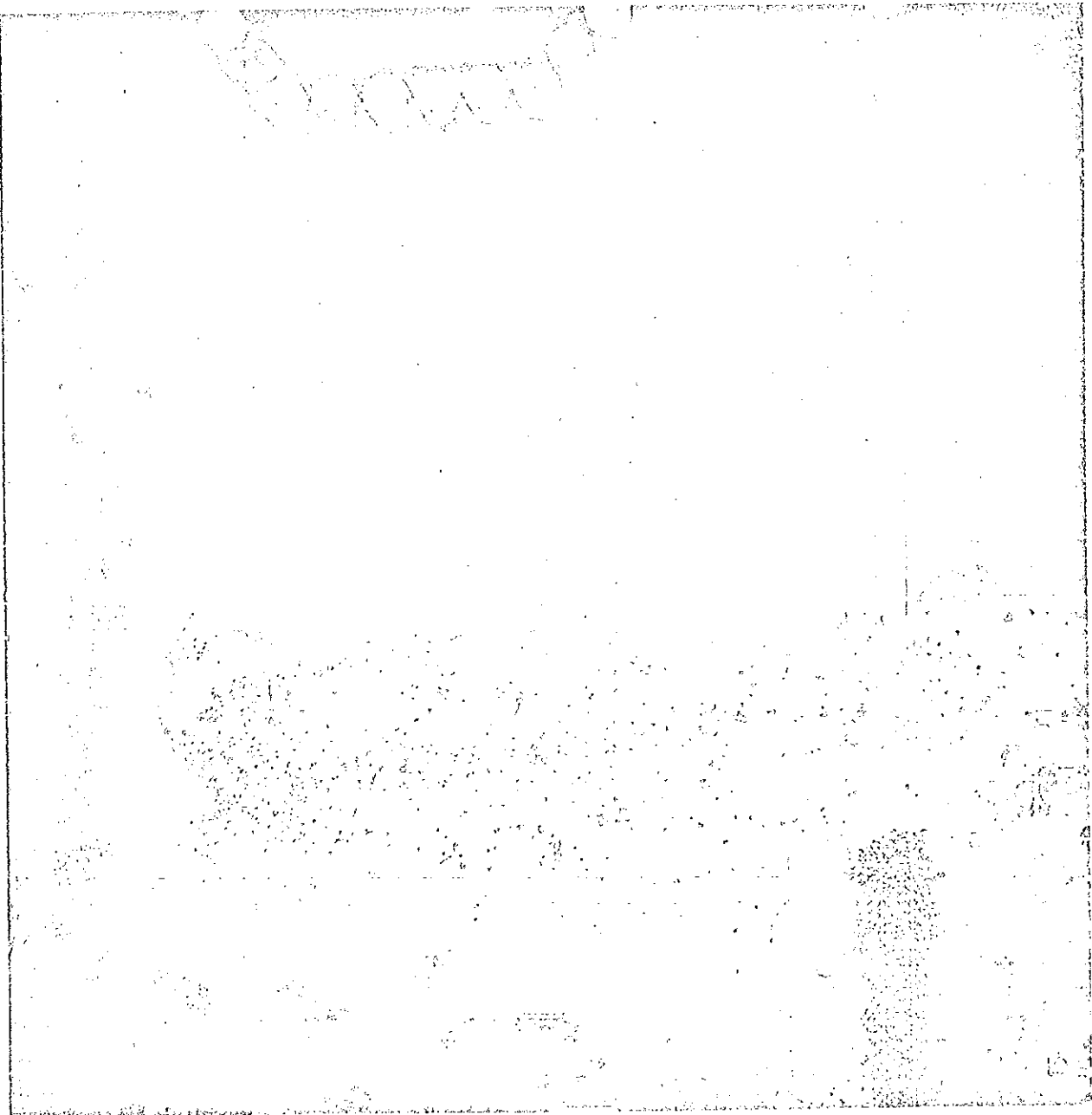
Fotografía N° 13: Espectro de aproximación. Cierre por
Alternativa 2. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=50m. Prueba 31.



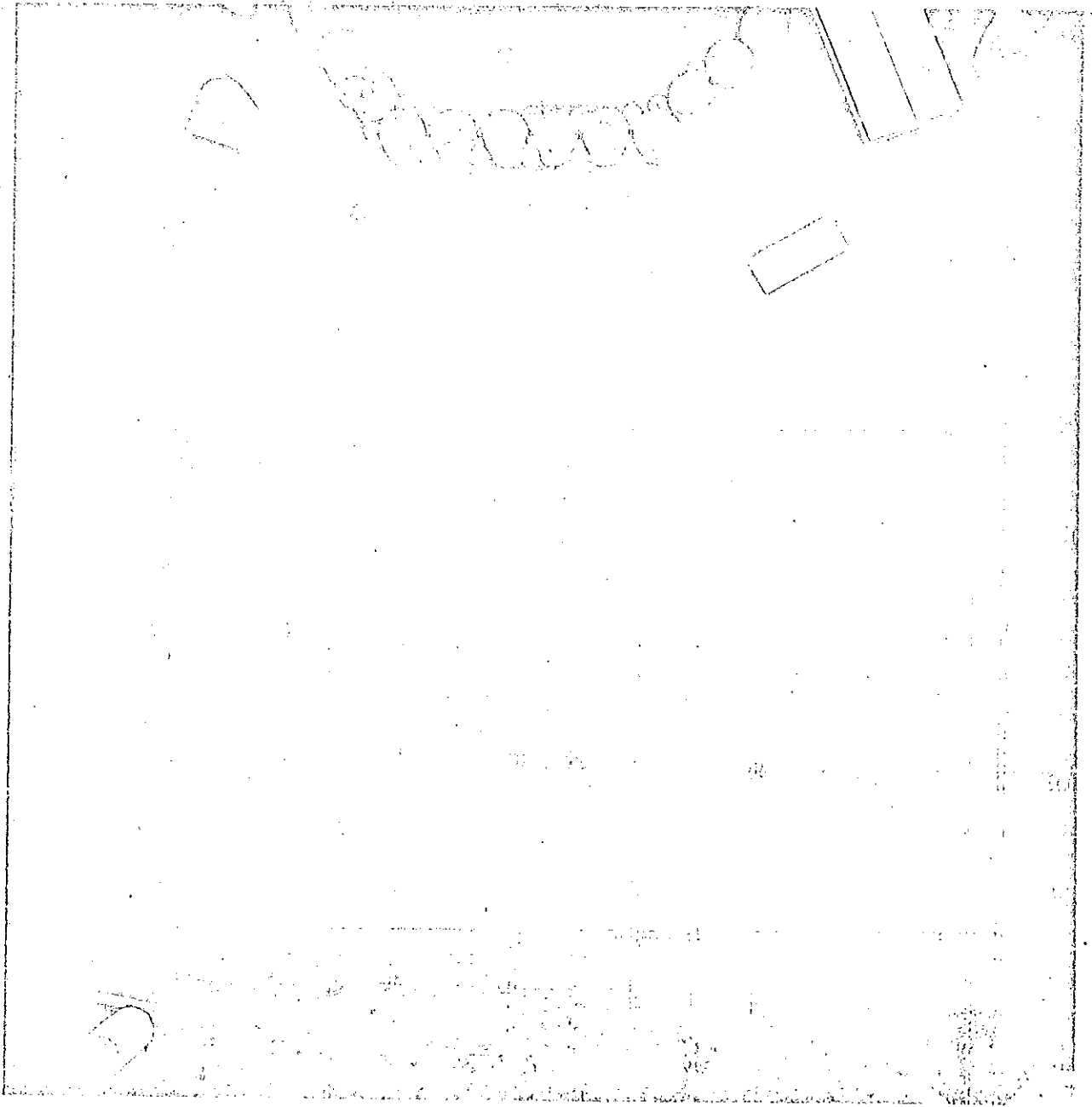
Fotografía N° 14: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 2. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=25m. Prueba 31.



Fotografía N° 15: Espectro de aproximación. Cierre por Alternativa 2. $Q=10.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Brecha=10m. Prueba 31.



Fotografía N° 16: Material arrastrado. Prueba 27.
Q=5.000 m³/s. Cierre por alternativa 1. Piedra clase 5.



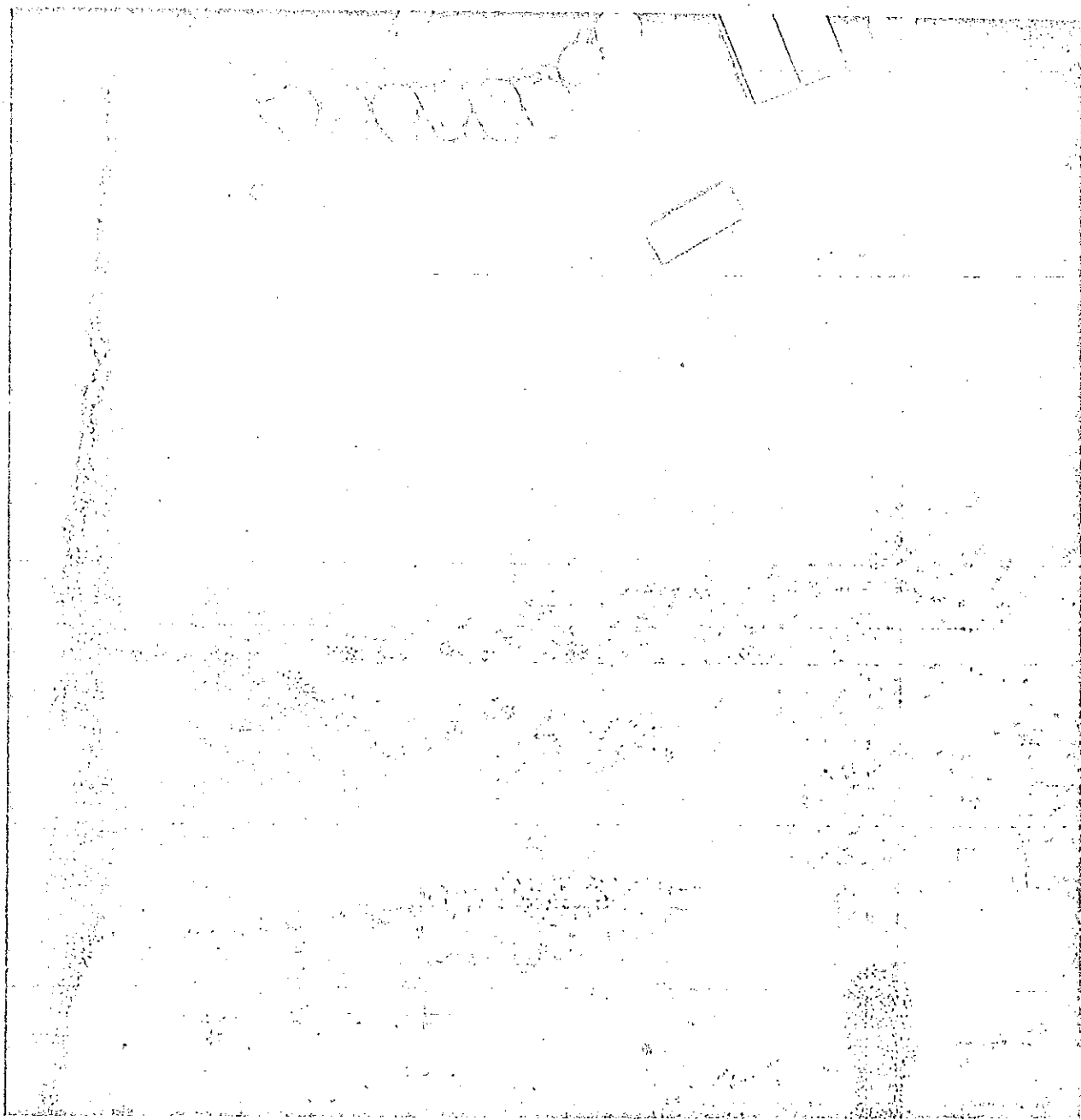
Fotografía N° 17: Material arrastrado. Prueba 30.
Q=5.000 m³/s. Cierre por Alternativa 2. Piedra clase 5.



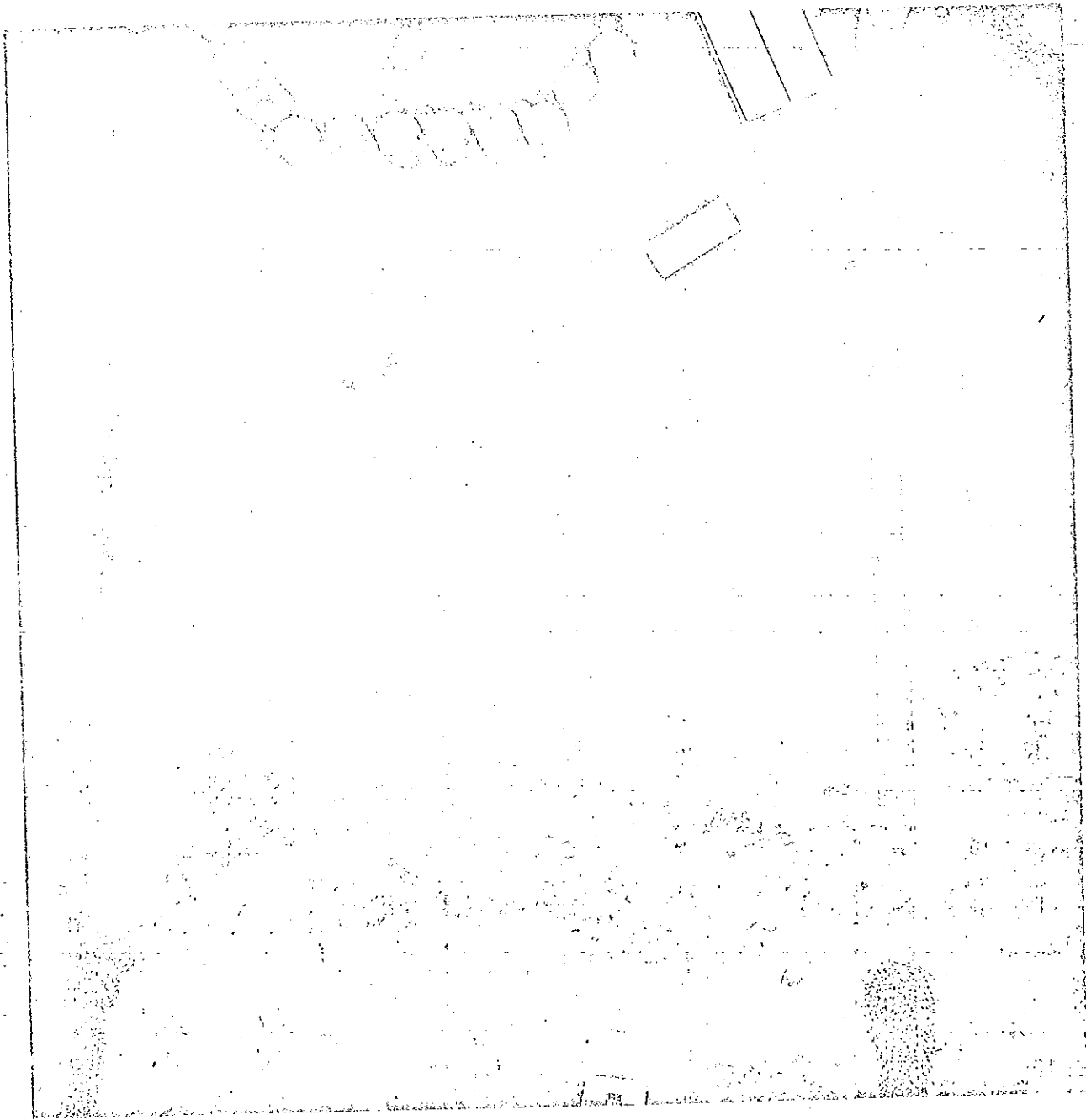
Fotografía N° 18: Material arrastrado. Prueba 33.
Q=5.000 m³/s. Cierre por Alternativa 3. Piedra clase 4.



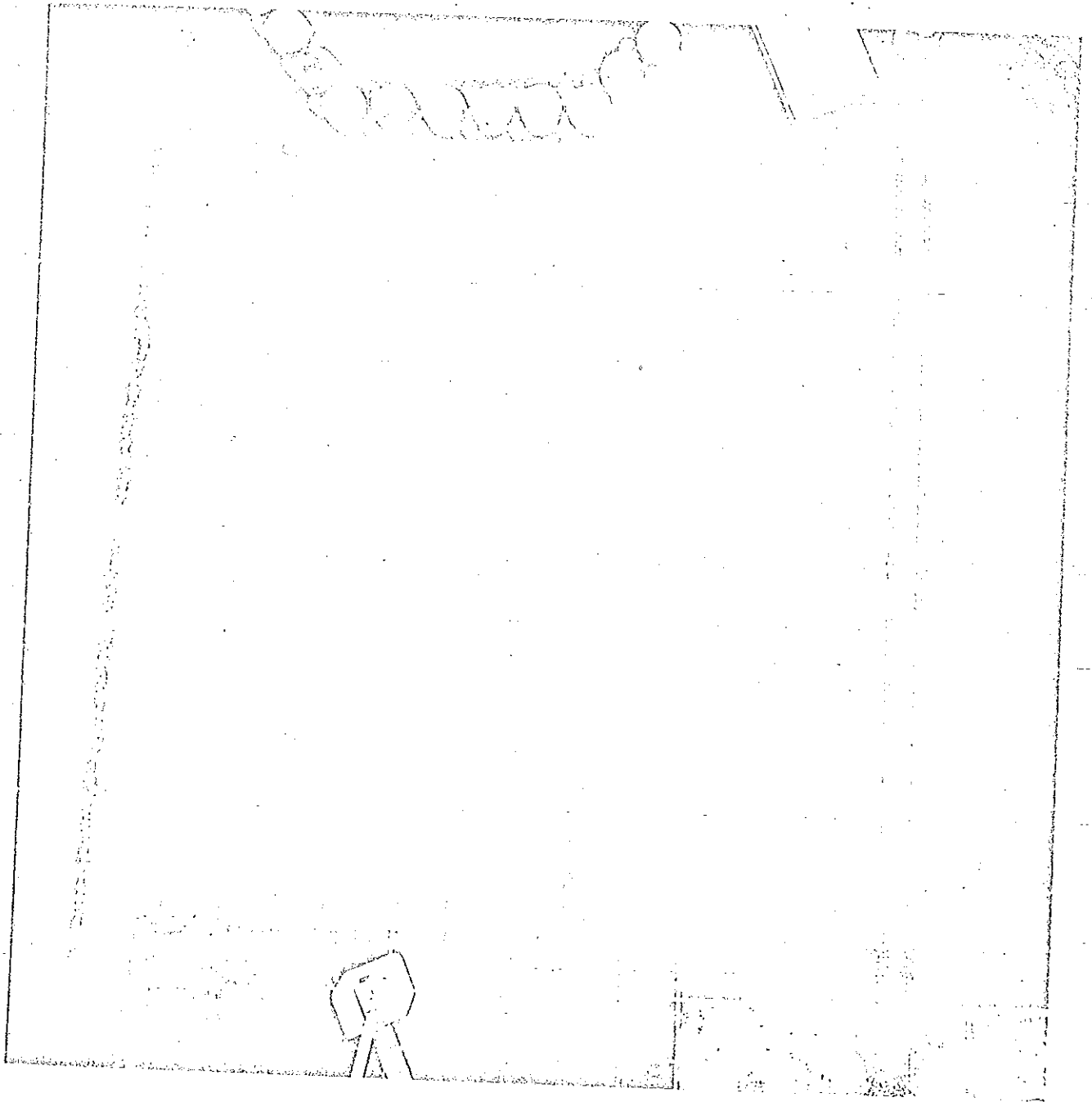
Fotografía N° 19: Material arrastrado. Prueba 29.
 $Q=5.000 \text{ m}^3/\text{s}$, Cierre por Alternativa 3. Piedra clase 5.



Fotografía N° 20: Material arrastrado. Prueba 31.
Q=10.000 m³/s. Cierre por Alternativa 2. Piedra clase 5.



Fotografía N° 20: Material arrastrado. Prueba 32.
Q=10.000 m³/s. Cierre por Alternativa 3. Piedra clase 4.



Fotografía N° 29: Material arrastrado. Prueba 28.
Q=10.000 m³/s. Cierre por Alternativa 3. Piedra clase 5.