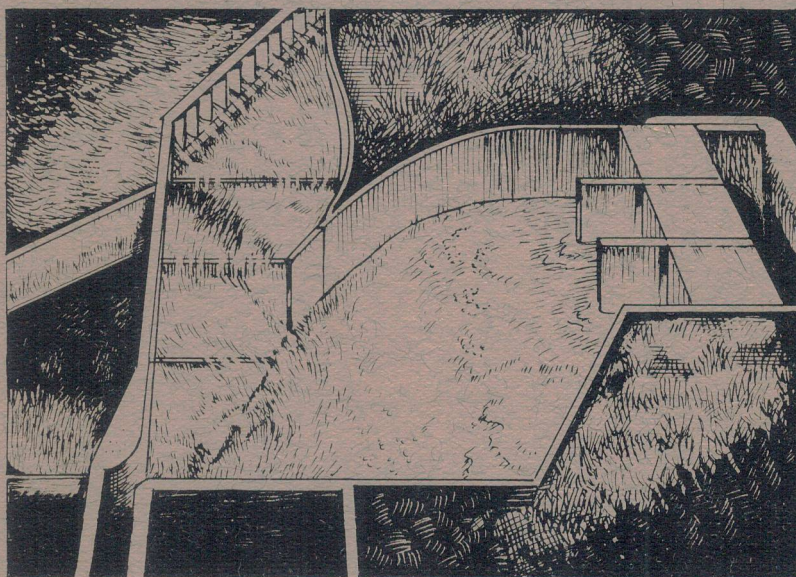


MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS

MEJORAMIENTO DE LA TOMA DEL
RIO ARAGUA
SISTEMA RIEGO TAIGUAIGUAY



LABORATORIO DE HIDRAULICA

SARDIMAR, C.A.

DICIEMBRE 1964

TOMA SOBRE EL RIO ARAGUA PARA ALIMENTACION

DEL EMBALSE DE TAIGUAIGUAY

MODERNIZACION DE LAS OBRAS DE TOMA

1. Introducción

Como se dijo en la Memoria relativa al proyecto de modernización de las obras de toma sobre el Río Turmero para la alimentación del Embalse de Taiguaiguay, ejecutado por SARDIMAR, C.A. para el Ministerio de Obras Públicas, el citado embalse se alimenta con las aportaciones directas del Río Minas y de la hoya en donde está ubicado, pero la más efectiva dotación se logra por la derivación de parte de las aguas de los Ríos Turmero y Aragua.

La proporción de estas aportaciones es la siguiente:

Del Río Turmero, mediante el canal Turmero-Aragua.	41%
Del Río Aragua, incluyendo los excedentes de riego de Suata.	26%
Río Minas y hoya directa.	33%
	100%

Aguas abajo de la población de Turmero (Edo. Aragua) y sobre el río del mismo nombre están construídas las obras de toma que alimentan el canal Turmero a Taiguaiguay.

Este canal se intercepta con el Río Aragua y no lo pasa en sífon o puente sino que vierte sus aguas al cauce del Aragua, para volverlas a tomar sumandole los aportes del Río Aragua y conducir las hasta el embalse de Taiguaiguay, mediante el canal Aragua-Taiguaiguay.

En la Foto Nº 1 se puede observar el azud de las obras de toma sobre el Río Aragua y en el fondo la desembocadura del canal Turmero Aragua, se comprende que cuando los arrastres del río Aragua atarquinan la

zona aguas arriba del dique, la posición de la desembocadura del citado canal hace que las aguas de éste tiendan a seguir en gran proporción hacia aguas abajo del Río Aragua y que la parte de este afluente, ya bastante limpio de arrastres, que sigue hacia las obras de toma se vuelva a cargar de los materiales sólidos depositados por las crecientes del Río Aragua y penetren por las obras de toma hacia el canal Aragua-Taiguaiguay. Esta situación se viene remediando en parte, con limpiezas periódicas hechas por medios mecánicos.

Uno de los objetivos del estudio de mejoramiento encomendado a SARDIMAR, C.A. fué lograr una disposición de las obras que solucionase este problema reduciendo a un mínimo la periodicidad de las limpiezas con medios mecánicos. También que se pudiese derivar las aguas del Río Aragua durante las crecientes, disminuyendo la cantidad de azolves que pasan al canal de toma mediante dispositivos ensayados sobre modelo y con la acción conveniente de la compuerta de limpieza.

En un principio se pensó que lo más indicado sería incorporar las aguas del canal Turmero-Aragua directamente al canal Aragua-Taiguaiguay sin que se vertieran al cauce del Río Aragua para volverlas a recoger mediante las obras de toma. Para esto era necesario proyectar una obra especial de paso que podría ser:

- a) Un puente canal
- b) Un canal cubierto paralelo al azud
- c) Un sifón

Se preparó un anteproyecto de la primera solución y se hicieron tanto los cálculos hidráulicos como los estructurales correspondientes. Se llegó a un puente canal de dos tramos en concreto armado de 29 m. de luz cada uno, formando una viga cajón de 2,50 m. de ancho por 1,80 de alto de dimensiones interiores. Este puente se calculó para también permitir el

paso de vehículos y se le estimó un costo de Bs 57.000,00.

Cuando el Ministerio entregó a SARDIMAR, C.A. la topografía del sitio, que mandó a ejecutar, se vió la imposibilidad de la construcción del puente, puesto que quedaba muy poco espacio libre entre el fondo del mismo y el nivel de las aguas máximas del río.

La solución b) no fué factible pues si se hacia próxima al azud obstaculizaba el paso en el canal de limpieza de la toma y si se hacía aguas arriba de ésta aumentaba su costo e introducía en el río un umbral alto con todos los inconvenientes del caso para el escurrimiento de las crecientes en el Río Aragua.

c) La solución de pasar las aguas del canal Turmero-Aragua mediante un sifón, fué debidamente estudiada, pero conducía a un elevado costo y modificaciones radicales en las obras ya construídas como sería destrucción parcial del edificio de compuertas de toma, pues no se creyó conveniente colocar la boca de salida del sifón en la cámara de antetoma.

Ante estas circunstancias se llegó a la solución que más adelante se analiza y la cual fué probada sobre modelo.

La Fig. Nº 1 muestra la posición relativa de los Embalses de Suata y de Taiguaiguay así como el canal Turmero-Aragua.

El dique derivador de la Curía permite tomar las aguas del Río Aragua para el llenado del Embalse de Suata, la capacidad máxima del canal de derivación será en un futuro de $15 \text{ m}^3/\text{s}$, así pues el mayor porcentaje del derrame de la cuenca del Aragua aguas arriba del punto de derivación será utilizado en el sistema de Suata y sólo las contadas crecientes que superen a este número verterán sobre las obras de retención de Suata.

Las aguas almacenadas en el Embalse de Suata, vuelven al Río Aragua ya reguladas y en la cantidad que se requiera para ser conducidas por el cauce del río hasta la toma de Olga Helena en San Mateo, de aquí parte el canal principal del sistema de riego de Suata.

El río entre San Mateo y la toma del canal Turmero-Taiguaiguay se nutrirá por los pequeños escurrimientos de la hoya intermedia así como los excesos en el riego de Suata y rara vez con los excedentes del propio embalse de Suata o con las aguas que no se quieran recibir en éste por estar lleno.

La condición del Río Aragua en la toma que nos ocupa es pues de gasto continuo uniforme pero muy pequeño y algunos picos de creciente como exceso de lo que no se pudo tomar en la Curia y lo que las máximas precipitaciones pueden formar en la hoya intermedia.

La capacidad máxima del canal Turmero-Aragua es de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ y la del canal Aragua-Taiguaiguay de $13 \text{ m}^3/\text{s}$. Es decir que si el canal primero nombrado viene con su dotación máxima (lo cual ocurriría rara vez) no se puede tomar del Aragua más de $3 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.- Hidrología

No se tienen registros hidrológicos en el sitio de la toma que nos ocupa. Solamente existen los de la Estación de Aforos de El Recreo en La Victoria ($10^{\circ} 13'$ de Latitud y $67^{\circ} 21'$ de Longitud).

La cuenca imbrífera del río hasta la estación de aforos mencionada es de 198 Km^2 y la hoya intermedia es de 66 Km^2 lo que daría un total de 264 Km^2 para el sitio considerado. Ante esta situación no sería lógico considerar solamente los datos registrados en El Recreo, y únicamente para dar una idea de las características hidrológicas del río y las demás que pueden pasar al sitio de aprovechamiento se copian a continuación los valores que al respecto aparecen en la publicación "Modernización del Dique de Derivación de Suata" (Laboratorio de Hidráulica. Sardimar, C.A. Noviembre de 1962, estudio ejecutado para el Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas).

Volúmenes escurridos durante los años hidrológicos

Desde el 1º de Abril al 31 de Marzo subsiguiente,
en millones de metros cúbicos.

AÑO	1940-41	1941-42	1942-43	1943-44	1944-45	1945-46
VOLUMEN LIQUIDO	16,440	12,638	35,414	35,447	51,644	33,311
AÑO	1946-47	1947-48	1948-49	1949-50	1950-51	1951-52
VOLUMEN LIQUIDO	26,305	14,969	32,754	20,810	61,519	41,520
AÑO	1952-53	1953-54	1954-55	1955-56	1956-57	1957-58
VOLUMEN LIQUIDO	30,687	29,369	46,317	44,327	41,790	

El volumen anual medio del período de diecisiete años, comprendido entre los años hidrológicos 1940-41 a 1956-57, es de 33,8 millones de metros cúbicos.

A continuación, se dá el año hidrológico y el mes de gasto líquido máximo, superior o igual a quince metros cúbicos por segundo, y los correspondientes gastos mensuales medios del mismo período de diecisiete años, a saber:

AÑO HIDROLOGICO	M E S	GASTO MAXIMO INSTANTANEO m ³ /s	GASTO MENSUAL MEDIO m ³ /s
1940-41	Julio	19,0	0,810
1941-42	Agosto	18,8	0,440
1941-42	Septiembre	49,8	1,490
1941-42	Octubre	36,6	0,890
1942-43	Junio	24,3	1,850
1942-43	Septiembre	60,0	1,700
1942-43	Octubre	25,4	2,190

AÑO HIDROLOGICO	M E S	GASTO MAXIMO INSTANTANEO m^3/s	GASTO MENSUAL MEDIO m^3/s
1942-43	Noviembre	23,0	2,460
1942-43	Diciembre	21,0	1,860
1943-44	Abril	17,7	0,760
1944-45	Septiembre	28,2	3,450
1944-45	Octubre	18,2	2,080
1944-45	Noviembre	23,5	2,830
1945-46	Junio	16,9	1,240
1945-46	Septiembre	22,6	2,200
1947-48	Septiembre	98,0	1,060
1947-48	Octubre	17,0	0,770
1948-49	Agosto	62,0	2,950
1948-49	Septiembre	76,0	1,630
1950-51	Mayo	19,7	1,430
1950-51	Agosto	20,1	2,430
1950-51	Septiembre	21,2	2,820
1950-51	Octubre	77,2	3,850
1950-51	Noviembre	64,0	3,350
1951-52	Septiembre	16,6	1,630
1952-53	Junio	16,8	0,890
1952-53	Noviembre	16,8	1,370
1953-54	Junio	29,5	1,220
1954-55	Agosto	168,0	3,000
1954-55	Octubre	45,7	1,960
1955-56	Septiembre	22,5	2,930
1955-56	Octubre	52,5	2,270
1955-56	Enero	20,8	1,930

AÑO HIDROLOGICO	M E S	GASTO MAXIMO INSTANTANEO m^3/s	GASTO MENSUAL MEDIO m^3/s
1956-57	Julio	25,2	1,150
1956-57	Agosto	70,0	2,180
1956-57	Septiembre	19,1	2,230
1956-57	Octubre	21,7	1,880
1956-57	Noviembre	36,5	1,930
1956-57	Diciembre	20,5	1,730
1956-57	Enero	18,0	0,690

El período que se analiza abarca doscientos cuatro meses, de los que sólo cuarenta aparecen con gastos máximos instantáneos que superan quince metros cúbicos por segundo.

Las ondas de creciente son de corta duración y poco frecuentes, como lo prueban los derrames mensuales que se corresponden con las fechas de gastos instantáneos, que en el cuadro precedente se expresan en gastos mensuales medios.

En los cuarenta meses de gastos máximos instantáneos, mayores o iguales que quince metros cúbicos por segundo, en sólo cuatro veces el gasto mensual medio supera tres metros cúbicos por segundo, siendo el más alto de $3,850 m^3/s$, registrado el mes de Octubre del año 1950.

Las fechas y los gastos diarios medios mayores de cinco metros cúbicos por segundo, del período Abril 1940 a Marzo 1954, se dan en el siguiente cuadro:

A Ñ O	M E S	D I A	GASTO DIARIO MEDIO m^3/s	GASTO MAXIMO INSTANTANEO DEL MES m^3/s
1941	Septiembre	10	7,050	49,8
1942	Junio	14	5,540	24,3
1942	Septiembre	28	15,400	60,0
1942	Septiembre	29	7,700	60,0
1942	Octubre	3	6,870	25,4
1942	Diciembre	13	6,420	21,0
1944	Septiembre	9	6,280	28,2
1944	Septiembre	17	11,500	28,2
1944	Septiembre	18	8,810	28,2
1944	Noviembre	15	5,820	23,5
1944	Noviembre	19	6,680	23,5
1945	Mayo	21	5,640	15,1
1948	Agosto	7	5,460	62,0
1948	Agosto	8	6,260	62,0
1948	Agosto	9	7,060	62,0
1948	Agosto	10	7,890	62,0
1948	Agosto	11	5,360	62,0
1950	Agosto	20	5,760	20,1
1950	Octubre	13	6,620	77,2
1950	Octubre	14	8,330	77,2
1950	Octubre	22	6,510	77,2
1950	Noviembre	16	5,110	64,0
1950	Noviembre	17	7,060	64,0
1950	Noviembre	18	5,110	64,0

En la Fig. 2 aparece la curva de duración de los gastos medios diarios en la Estación de Aforos de El Recreo, de esta curva se deduce el

gasto semipermanente es de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (el módulo del río es de $1,03 \text{ m}^3/\text{s}$), el máximo característico de $2,85 \text{ m}^3/\text{s}$ y mínimo característico de prácticamente cero m^3/s .

La máxima creciente según el Resumen de Datos Hidrométricos 1940-1962, de la Dirección de Obras Hidráulicas, tuvo un pico de $168 \text{ m}^3/\text{s}$ y ocurrió durante el mes de Agosto de 1954.

Las crecientes son de muy poca duración, como se puede ver en la Fig. 3 en donde se han agrupado algunos hidrogramas típicos.

3.- Características del río en la zona

a) Granulometría del material de fondo. La Fig. 4 muestra la línea de mezcla del material de fondo del río de una muestra tomada en las cercanías de las obras de derivación del canal Aragua-Taiguaiguay. Esta muestra se ha dibujado en coordenadas naturales y fué analizada en el Laboratorio de Geotécnica de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas.

La descripción que hace el citado Laboratorio de la muestra ensayada es la siguiente: Grava limpia, mal gradada, 52% de grava gruesa y fina, granos lajosos y sub-angulares. Duros. Tamaño máximo 5 cm. 48% de arena gruesa a fina. Sub-angular, dura, 0,1% de finos no plásticos grises. (G P).

Los valores característicos son los siguientes:

$$d_{\text{medio}} = 10,8 \text{ mm}$$

$$d_{90} = 30,0 \text{ "}$$

$$d_{65} = 13,0 \text{ "}$$

$$d_{50} = 5,4 \text{ "}$$

$$d_{35} = 1,9$$

$$P. E = \gamma_s = 2,69$$

$$\gamma'_s = 1,69$$

b) Pendiente del fondo. . La pendiente del álveo del río en la zona considerada resulta en promedio de un 0,7^o/oo (ver Fig. Nº 5).

En la derivación para el Embalse de Suata en la Curía la pendiente media longitudinal del cauce es de $i_o = 7,53$ ^o/oo y el diámetro medio característico $d_o = 23$ mm.

De la expresión de Sternberg puede deducirse la siguiente igualdad que vincula las pendientes en dos tramos de río con los diámetros medios característicos respectivos

$$i_1 = i_o \left(\frac{d_1}{d_o} \right)^3$$

en nuestro caso

$$i_1 = 7,53 \left(\frac{10,8}{23,0} \right)^3 = 0,78 \text{ } ^\circ/\text{oo}$$

Este valor concuerda con el de 0,7 ^o/oo determinado en la Fig. Nº 5; sobre todo si se tiene en cuenta las inexactitudes involucradas tanto en las tomas de muestras como en la apreciación de las pendientes medias

De aquí, podría concluirse que el Río Aragua entre los puntos considerados presenta características de río evolucionado.

c) Sección transversal. Las secciones transversales, tomadas de la planialtimetría del río en la zona, presentan una gran variedad de formas y dimensiones sin poderse lograr una secuencia que permita determinar una sección media característica que sea representativa.

4.- Gastos sólidos de arrastre

La dificultad de poder identificar en las inmediaciones de la Toma Aragua-Taiguaiguay, un tramo base para el Río Aragua, por no existir secciones bien definidas como se dijo en 3-c); hace imposible la aplicación

de cualquier fórmula de arrastre y solamente puede decirse que los gastos sólidos de arrastre deberán ser bastante menores a los del mismo río en la toma de Suata, situada varios kilómetros hacia aguas arriba.

A los efectos de los modelos de derivación se consideró prudente suponer un arrastre igual al $0,5^0/00$ del gasto líquido y en algunos ensayos se llegó hasta el $1^0/00$.

5.- Ley de similitud en los modelos

Es sabido que en los modelos de hidráulica fluvial y en especial en los de tomas de derivación las fuerzas preponderantes son de la inercia y la gravedad, por lo tanto rige la Ley de Froude.

Sin embargo es necesario analizar el efecto de las otras fuerzas tales como viscosidad y tensión superficial puesto que no es el caso de considerar las fuerzas elásticas.

Con respecto al efecto de la tensión superficial se han elegido escalas que permiten tener para los estados de agua investigados tirantes mínimos mayores a los límites establecidos para poder descartar estas fuerzas.

El efecto de la viscosidad se analiza generalmente mediante el parámetro de Reynolds y se sabe que para valores altos de este número son despreciables los efectos de la viscosidad. Según Allen es suficiente que el número de Reynolds sea mayor a 1400, pero en el presente caso se ha preferido usar el criterio de la United States Waterways Experiment Station que es más conservador pues equivale a un número de Reynolds de 2174 para una temperatura del agua de 26^0 C. Se ha tenido cuidado de verificar la plena turbulencia en diferentes zonas del modelo.

El tamaño de las estructuras permite despreciar las pérdidas por fricción ante el valor de las pérdidas locales por singularidad, sin embargo se ha procurado utilizar acabados bien lisos con barnizado de la

madera alcanzando valores de $n = 0,0085$; como se ha podido medir en experimentos llevados a cabo en el Laboratorio antes citado, con madera de balsa barnizada con laca sintética.

El problema de la representación de los arrastres de fondo es por lo regular bastante difícil de resolver en los modelos fluviales puesto que es raro el caso en que los granulares que se puedan utilizar en el modelo están a escala sin llegar a alcanzar un estado de finura tal para los cuales no rijan las leyes de arrastre y más bien las de las masas pulverulentas.

Un expediente muy usado es el de la distorsión de escalas, pero en nuestro caso no es aconsejable tal distorsión pues bien lo hace notar Chauvin cuando dice "Otro inconveniente de la distorsión es que la escala de las velocidades verticales es diferente de la de las velocidades horizontales" y después agrega que el flujo en las tomas de agua y obras análogas está más o menos perturbado por tal distorsión y que sólo sería admisible en los cursos de agua relativamente anchos.

Es práctica corriente en los laboratorios de hidráulica cuando se ensayan modelos de tomas, el uso de granulares naturales de río de magnitud discreta sin que estén necesariamente a la misma escala geométrica del modelo pero interpretando los resultados por comparación con condiciones análogas y el estudio de los bancos formados, su movimiento y zonas locales de desmezcla.

Modelos hechos bajo estas bases han conducido a prototipos de magnífico funcionamiento y la sorprendente correlación que existe entre los resultados obtenidos en el modelo y las verificaciones del comportamiento del prototipo, reiteradamente logrado en variados problemas de hidráulica fluvial, justifican la seguridad de que los ensayos de modelos hidráulico-fluviales proporcionen la réplica del proceso fluvial principal con un elevadísimo coeficiente de certidumbre.

La granulometría del material de fondo en los lugares de las tomas del Río Turmero y del Aragua para el Embalse de Taiguaiguay, no ha permitido representarla a escala en el modelo como fué el caso de la toma de Suata, modelo ensayado anteriormente en nuestro Laboratorio para el Ministerio de Obras Públicas, lo que principalmente obligó a ejecutar de cada toma dos modelos a escalas diferentes es decir a escala 1:50 y 1:25.

En ambos modelos se usó el mismo material granular y la similitud de los resultados obtenidos en ellos permite llevar las condiciones al prototipo. No sólo fué semejante el comportamiento de los bancos aluvionales y su configuración para los diversos estados de agua, sino que las zonas de desmezcla locales se ubicaron en semejantes lugares con igual extensión.

6.- Modelos

De la Toma Aragua-Taiguaiguay se efectuaron los siguientes modelos:

- a) Representación de las obras actuales de toma a escala 1:50.
- b) Estudio de las modificaciones a las obras de toma actuales, escala 1:25.
- c) Representación de la solución definitiva en escala 1:50.
- d) Representación de la topografía del río aguas arriba de la toma y estudio de la solución para el paso de las aguas del canal Turmero-Aragua a escala 1:50.

El modelo de las obras actuales sirvió para indicar el funcionamiento de las mismas y poder usarlo como término de comparación con respecto al funcionamiento de las obras de mejora ensayadas.

Los modelos a diferentes escalas permitieron verificar la semejanza de los fenómenos estudiados.

En los ensayos referentes a la Toma Aragua-Taiguaiguay se usó

la arena cuya curva granulométrica se muestra en la Fig. 6 bajo la denominación "Arena tipo A", en estos ensayos y con base a los resultados observados en los modelos de la Toma de Turmero se creyó innecesario usar la arena tipo B.

Serie a.- Modelo testigo de las obras actuales a escala 1:50. Se comenzaron las series de ensayos con fondo granular plano a cota de la solera de la toma; luego se hizo pasar un ciclo de diversos gastos normales y de crecientes, adicionando el material granular de arrastre, obteniendo al fin la configuración de los bancos de equilibrio para el estado de aguas que primero se ensayó. Se obtuvo una disposición del fondo del río en la zona muy similar a la observada en el prototipo, disposición que persistió en su forma general cuando se ensayaron otros estados de agua.

La arena utilizada fué la tipo A como ya se dijo, y se suministró en proporciones que variaron del 0,5 al 1,0 por mil; es decir en cantidades mayores a la que trae el río en el prototipo. Se observó que la cantidad total de arrastre que penetró en cada experiencia por la toma, sumada a la que salió por las compuertas de limpieza fué proporcional a la dotación de gasto sólido, como era de esperarse, pero que las proporciones entre el gasto sólido que pasaba por la toma al del de la limpieza permanecía prácticamente uniforme, si se mantenía constante las respectivas relaciones del gasto líquido.

En la curva I de la Fig. 7 se muestra la relación entre

$$\frac{G_T}{G_L} \text{ y } \frac{Q_T}{Q_L} ; \text{ siendo}$$

G_T = Gasto sólido de arrastre que penetra en la toma.

G_L = Gasto sólido de arrastre que sale por la limpieza.

Q_T = Gasto líquido de toma.

Q_L = Gasto líquido de limpieza.

Se hizo funcionar el modelo para gastos de toma, en prototipo, de 5 y 13 m³/s.

La secuencia de los valores de $\frac{G_T}{G_L}$ en función de $\frac{Q_T}{Q_L}$ corresponde a lo medido en el modelo de la Toma de Turmero, lo cual era de esperarse dado lo parecido de ambas estructuras. El comportamiento de esta toma fué en un todo similar a la del Turmero: el banco aluvional se eleva rápidamente frente al umbral de toma y lo rebasa en casi toda su longitud produciéndose un activo paso de material sobre dicho umbral y hacia el canal de derivación.

Si se observa la curva I de la Fig. 7 se vé que para valores de $\frac{Q_T}{Q_L}$ mayores a 1,50 la cantidad de arrastre que penetra en la toma es mayor de la que sale por la limpieza, llegando a hacer el efecto de esta última prácticamente nulatorio.

También se ensayó el funcionamiento discontinuo de las obras de toma actuales con limpiezas periódicas; para lo cual una vez formado el banco aluvional se cerraban las tres compuertas de toma y se abría la de limpieza. En ningún ensayo se logró un funcionamiento conveniente, la alimentación de arrastres que aportaba el río durante las limpiezas era tal que no permitía el abatimiento efectivo del banco aluvional frente al umbral de toma.

Los ensayos se hicieron variando los gastos (con arrastres) del río y los provenientes del canal Turmero-Aragua (sin arrastres).

Cuando la dotación importante provenía del Canal Turmero-Aragua (por ejemplo 10 m³/s) y la del Río Aragua era pequeña (por ejemplo 3 m³/s) al principio de la operación pasaba material de arrastre hacia las compuertas de toma y seguía aguas abajo del canal Aragua-Taiguaiguay, después de un cierto tiempo se equilibraban los bancos y dejaba de haber suministro

propio de arrastre. Esta fué la mejor condición de funcionamiento observada. Sin embargo cuando este funcionamiento se efectuaba después de una operación de toma durante creciente, el atarquinamiento de la zona anterior al azud hacía que las aguas provenientes del canal Turmero-Aragua vertiesen en gran parte sobre el cimacio y no se lograba aunque pasase mucho tiempo que las aguas limpias del citado canal se abriesen un cauce efectivo detrás del azud.

Estas circunstancias llevaron a estudiar la solución que se describe en la Serie d).

Serie b.-

b-1) Se construyó un modelo a escala 1:25 adoptando la forma general y disposición de elementos del modelo final para la mejora de las obras de toma del Canal Turmero-Aragua sobre el Río Turmero, pero adaptándolo a las dimensiones y condiciones de la Toma Aragua-Taiguaiguay.

El ensayo de este modelo no dió los resultados óptimos perseguidos pues la necesaria alteración de dimensiones acarreaba, para ciertos estados de agua, mucha elevación del banco aluvional frente al umbral de toma.

b-2) Después de probar varios dispositivos se logró la depresión del banco aluvional introduciendo una nueva curvatura en el muro guía de antetoma; pero al hacer la operación de limpieza intermitente no se alcanzaba un eficiente efecto en la zona final del canal de antetoma, por lo cual hubo que desplazar hacia aguas abajo el vano en el muro separador que comunica con el canal de limpieza discontinua.

b-3) Se observa mucha altura del banco en la zona de la grilla de entrada por lo que se probó una nueva disposición acortando la longitud del muro separador, lográndose el efecto deseado, pero aumentaba entonces, la altura del banco frente al umbral de toma.

b-4) En estas condiciones se logra un magnífico funcionamiento después de ajustar en posición y altura los travesaños del canal de toma.

Se adopta esta solución como definitiva y se hace un ciclo completo de funcionamiento, tomando las mediciones pertinentes.

Los casos de funcionamiento ensayados fueron:

b-4-a) Gasto de toma 13 m³/s con limpieza continua y diversos gastos de limpieza.

Fotos Nos. 2, 3, 4 y 5.

b-4-b) Gasto de toma 10 m³/s. Limpieza continua con diferentes gastos.

Fotos Nos. 6, 7, 8 y 9.

b-4-c) Gasto de toma 5 m³/s. Limpieza continua con diferentes gastos. También se efectuó un ciclo de operación de toma con limpieza discontinua.

Fotos Nos. 10 y 11.

b-4-d) Gasto de toma 3 m³/s.

Toma bajo carga con limpieza discontinua.

Fotos Nos. 12, 13, 14 y 15.

La efectividad de las limpiezas discontinuas ensayadas para el caso de un gasto de toma de 5 m³/s fué similar a la observada en los modelos de la toma de Turmero.

La formación del banco aluvional para el caso de la toma de 3 m³/s fué tan lenta que no se creyó necesario esperar hasta la evolución total del banco para efectuar la operación de limpieza.

b-4-e) Toma de 13 m³/s durante una creciente. No se alteran las buenas condiciones de la toma observada para los otros estados de agua y más bien el movimiento helicoidal que se forma a la entrada del canal de toma define allí el banco dejándolo en mejores condiciones

para las operaciones de toma después de la creciente.

Serie c.- Se construyó un modelo a escala 1:50 de la solución definitiva. Ver Fotos Nos. 21 y 22

En este modelo se repitieron los ensayos descritos en b-4-a) á b-4-e) con perfecta semejanza en los resultados, tanto cualitativa como cuantitativamente (Ver Fig. 7).

Serie d.- La toma del canal Aragua-Taiguaiguay sobre el Río Aragua presenta la particularidad, como ya se dijo, de recibir en la margen derecha e inmediatamente anterior al azud los efluentes del canal Turmero-Aragua, las que vierten al cauce del río y son tomadas en la margen izquierda después de mezclarse con las aguas que pudiese traer el río Aragua.

Anteriormente se analizó este funcionamiento y se mencionaron las soluciones estudiadas para evitar los inconvenientes que presenta el estado actual de las obras.

La solución adoptada que consiste en entregar las aguas del canal Turmero-Aragua al cauce de este último río aguas arriba de las obras de retención fué llevada al modelo, para lo cual se representó en escala 1:50 la topografía del cauce en la zona (Foto Nº 16).

d-1) Se efectuaron una serie de ensayos, notándose que no se obtenía un cauce menor bien definido y estable que condujese de modo conveniente las aguas del canal Turmero-Aragua hacia las obras de toma. Fotos Nos. 17, 18, 19 y 20.

d-2) Se ensayó la colocación de un espigón transversal, colocado aguas abajo de la desembocadura del canal Turmero-Aragua a diferentes ángulos pero no dió buen resultado.

d-3) Se movió el espigón hacia aguas arriba, lográndose una buena solución después de ajustar su ángulo de incidencia, así como su altura, pendiente y longitud. Ver Fotos Nºs 21 y 22.

Esta solución tiene la ventaja de utilizar el efecto de la

caída de agua que introduce el espigón (cuando hay creciente en el Río Aragua) para formar y mantener un cauce al pié que sirve para conducir hacia la toma las aguas que provienen del Río Turmero. Además, las aguas normales del Río Aragua son conducidas por el paramento anterior del espigón hacia las obras de toma encauzándolas.

Durante las crecientes, el resalto después de la caída del agua a lo largo del espigón está controlado por la cresta del azud situado unos metros aguas abajo impidiendo socavaciones excesivas.

En la tabla siguiente se indican algunos de los estados de agua ensayados y se señalan los números de las fotografías correspondientes.

Caso	Gasto en el Río Aragua	Gasto del canal Turmero-Aragua	Nº de la fotografía
d-3-2	Creciente	0	23 y 24
d-3-b	15 m ³ /s	10 m ³ /s	25 y 26
d-3-c	15 m ³ /s	0	27 y 28
d-3-d	10 m ³ /s	3 m ³ /s	29 y 30
d-3-e	7 m ³ /s	7 m ³ /s	31 y 32
d-3-f	3 m ³ /s	10 m ³ /s	33 y 34
d-3-g	3 m ³ /s	0	35 y 36
d-3-h	0	3 m ³ /s	37 y 38

d-4) En el talud izquierdo frente al espigón la concentración de los filetes líquidos que se provocó en la zona con el objeto de encauzar en todos los casos las aguas hacia las obras de toma, aumenta la fuerza de arrastre en la berma natural del río; por lo tanto se estudió en el modelo una protección a base de enrocamiento contra el talud.

Se ensayaron piedras de diverso peso llegándose a que las de 50 Kg. son estables para cualquier estado normal previsible de aguas.

7.- Análisis del funcionamiento de los modelos

En la Fig. 7 se han dibujado una serie de puntos representativo de los experimentos expresando la relación $\frac{G_T}{G_L}$ en función de $\frac{Q_T}{Q_L}$ cuya notación ya fué definida en el Nº 6. En el gráfico se ha dibujado una curva media representativa y como puede verse se obtuvieron magníficos resultados.

En la Fig. 7 también se ha dibujado como término de comparación la curva correspondiente a la toma de Bartley ensayada sobre modelo por el Bureau of Reclamation de los Estados Unidos (Hydraulic Lab. Report. Nº Hyd-384); y así mismo la curva que representa el funcionamiento del modelo testigo de las obras actuales de derivación (curva I de la Fig. 7).

La curva de la Fig. 8 muestra la relación entre el gasto sólido de arrastre que puede pasar al canal de derivación en la toma actual (G'_T) y el que pasaría por la toma modificada conforme al proyecto de mejoras ensayado en modelo (G_T) en función de la relación $\frac{Q_T}{Q_L}$.

La curva señala que las obras de toma actuales permiten el paso al canal de derivación de una cantidad de material de arrastre mayor a quinientas veces del que pasaría por las obras de toma modificada según el proyecto de mejoras propuesto.

8.- El Proyecto de modernización

La cota de la cresta del azud construído resultó baja, así pues hubo que llegar hasta la cota del tablero que el Ministerio tuvo que colocar para suplementar el efecto de retención del azud. Estas tablas podrán quedar (haciéndoles las reparaciones necesarias) o en un futuro sustituir las mediante el relleno de concreto que se indica en los planos, obteniendo una obra permanente que requiere menor conservación.

En el proyecto de obras de mejoramiento se ha procurado conservar en lo posible las estructuras actuales como puede verse al comparar los planos elaborados con los de la estructura original.

El proyecto consta esencialmente de:

- a) Un muro separador insumergible que crea un canal de toma. Este muro sirve de apoyo, hacia aguas arriba, a la reja o grilla inclinada que servirá para contener los grandes sólidos flotantes; y se une hacia aguas abajo con el edificio de compuertas de limpieza. En el muro se ha dispuesto un vano que comunica con el canal de limpieza discontinua.
- b) Un canal de limpieza discontinua adyacente al muro separador el cual está gobernado por una compuerta radial.
- c) El canal de toma está limitado, enfrente al muro separador, por un muro deflector insumergible y a continuación por un umbral cóncavo de toma que termina al lado de la compuerta pequeña para limpieza continua.
- d) El umbral de toma hace verter las aguas en una ante-toma que es la misma de las obras actuales.
- e) El edificio de las compuertas de toma en nada se modifica. La compuerta de limpieza actual se suprime.
- f) Se han dispuesto en el canal de toma unas trabas normales al sentido general de la corriente, cuya disposición se estudió cuidadosamente para producir el máximo efecto perseguido.
- g) La desembocadura del canal Turmero-Aragua se traslada hacia aguas arriba y se proyecta en el cauce del río un muro deflector en esviaje a manera de espigón semi-sumergible.

- h) Se proyecta un enrocamiento de protección con piedras de 50 Kg. en la margen izquierda en la zona frente al extremo del espigón.

9.- Normas para el funcionamiento de la toma.

De los ensayos realizados se ha obtenido la información necesaria para elaborar ciertas normas para la operación efectiva de la toma.

Pueden distinguirse los siguientes casos de funcionamiento.

A) Derivación durante crecientes.- Se ajustarán las compuertas de toma de manera a derivar el máximo gasto de que es capaz el canal de derivación ($13 \text{ m}^3/\text{s}$) y se abre completamente la compuerta pequeña de limpieza continua. Al terminar la creciente es conveniente hacer una limpieza del canal de toma abriendo completamente la compuerta grande de limpieza intermitente. Después se ajustarán las compuertas para toma según el estado de agua correspondiente.

B) Gasto en el río mayor a $13 \text{ m}^3/\text{s}$.- Se operará la toma con limpieza continua. Primero se regularán las compuertas radiales de toma hasta limitar el gasto de derivación al máximo tolerable en el canal ($13 \text{ m}^3/\text{s}$) el excedente se dejará pasar por la pequeña compuerta de limpieza continua; el gasto que erogué esta compuerta no deberá ser menor a $1/8$ del gasto de derivación.

C) Gasto en el río menor o igual a $5 \text{ m}^3/\text{s}$.- Se derivará bajo el régimen de limpieza discontinua para lo cual deberán permanecer cerradas las dos compuertas de limpieza siendo recomendable ajustar las compuertas de toma para derivar bajo carga teniendo cuidado de que no vierta agua sobre el azud.

Si el gasto está alrededor de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ deberán hacerse dos limpiezas diarias (cada 12 horas) de la manera siguiente:

- 1º Se cerrarán las compuertas de toma.

2º Cuando el agua comience a verter sobre el azud se abrirán completa y rápidamente las dos compuertas de limpieza.

3º El tiempo que dure la operación de limpieza será el necesario para que se deprima notablemente el banco aluvional en el canal de toma. Se estima este tiempo en 15 minutos.

4º Una vez terminada la operación antes citada se cerrarán las dos compuertas de limpieza y se abrirán las compuertas de toma ajustándolas al estado de agua correspondiente.

Si el gasto es igual o menor a los $3 \text{ m}^3/\text{s}$ se podrán hacer más largos los lapsos entre limpiezas.

D) Gasto del río entre 13 y $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Podrá operarse la toma con limpieza continua o discontinua siguiendo los procedimientos descritos, de acuerdo con lo que resulte más conveniente.

Una vez aforadas en sitio la compuerta de limpieza continua y las de toma podría prepararse, con vista a las normas de funcionamiento aquí descritas, una instrucción sencilla y precisa para el tomero.

E) Gasto en el río menor a $3 \text{ m}^3/\text{s}$ y efluente del canal Turmero-Aragua entre 0 y $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Se operará con limpieza discontinua.

En este caso seguramente la cantidad de arrastres será mínima, lo que permite espaciar la operación de limpieza a una vez semanalmente. No debe prolongarse más este lapso, pues es conveniente mover todas las compuertas con esa periodicidad como mínimo.

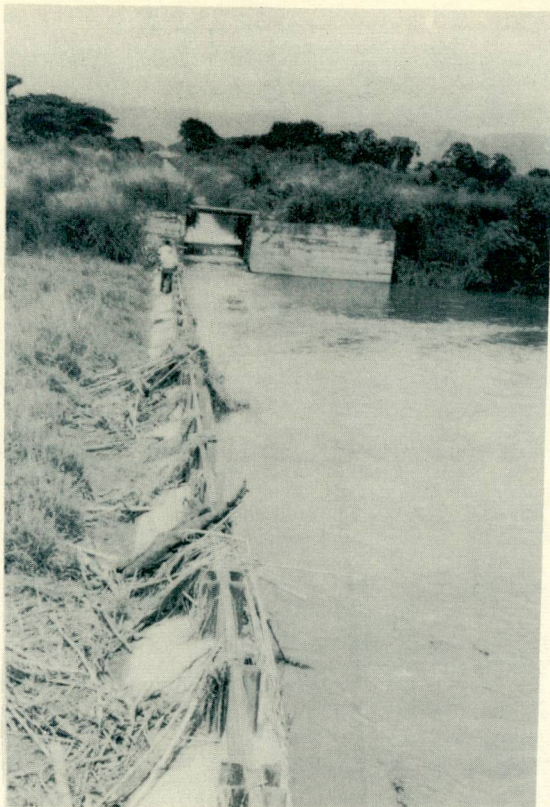


Foto No 1.-

Azud sobre el Río Aragua.
Vista tomada desde las obras
de toma. Al fondo obsérvese el
canal Turmero-Aragua.

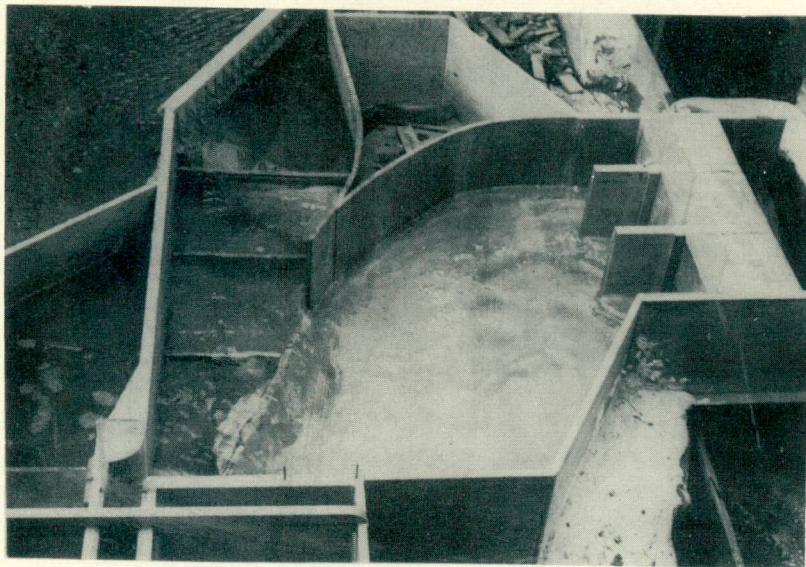


Foto No 2.-

Toma de $13 \text{ m}^3/\text{s}$



Foto No 3.-

Toma bajo carga de $13 \text{ m}^3/\text{s}$

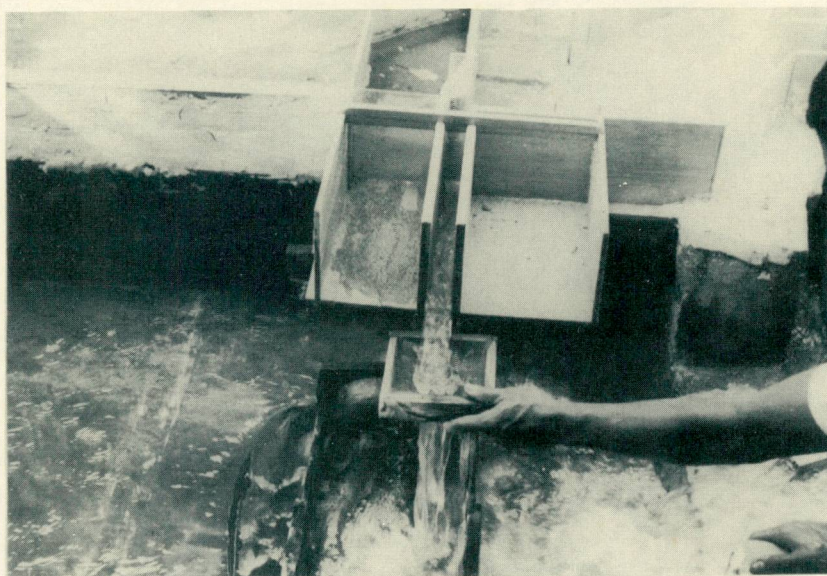


Foto No 4.-

Toma de $13 \text{ m}^3/\text{s}$. Obsérvese los arrastres a la salida del canal de limpieza continua.

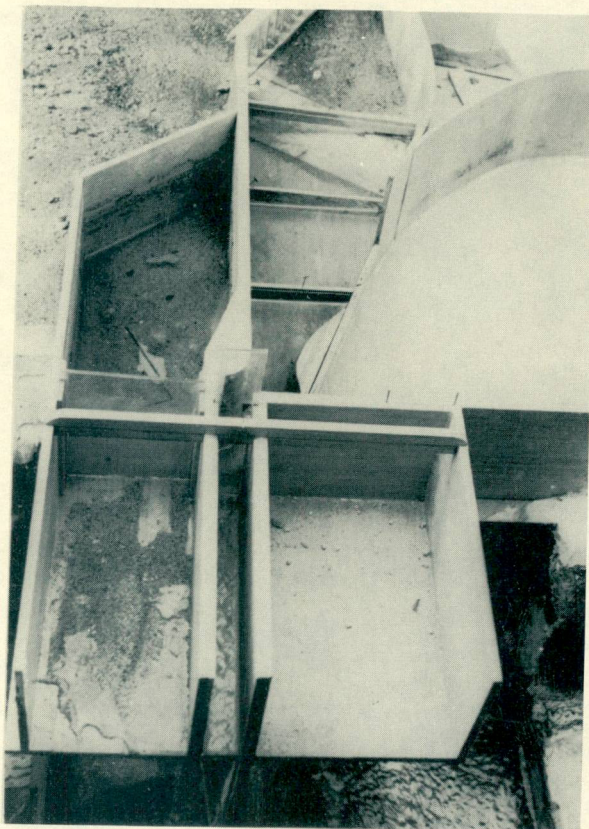


Foto No 5.-

Situación del fondo después de una
operación de toma de $13 \text{ m}^3/\text{s}$ con limpie-
za continua.

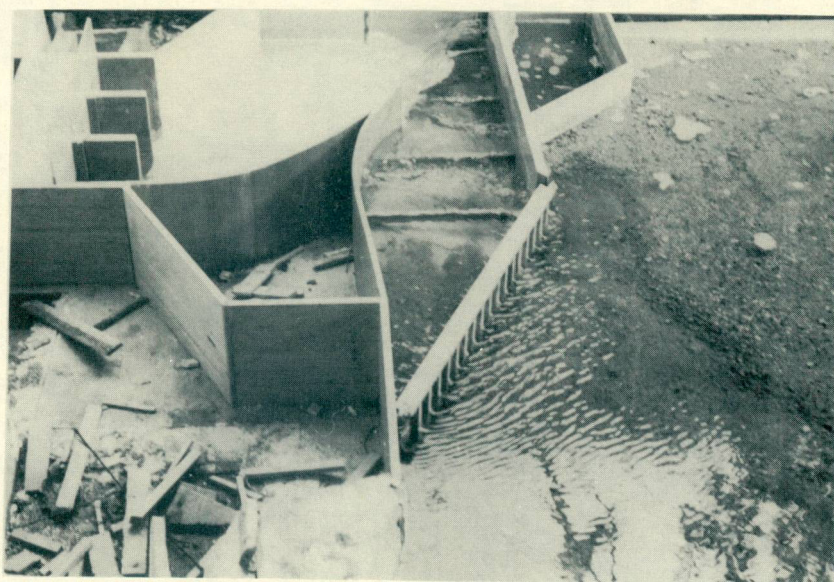


Foto No 6.-
Toma de $10 \text{ m}^3/\text{s}$

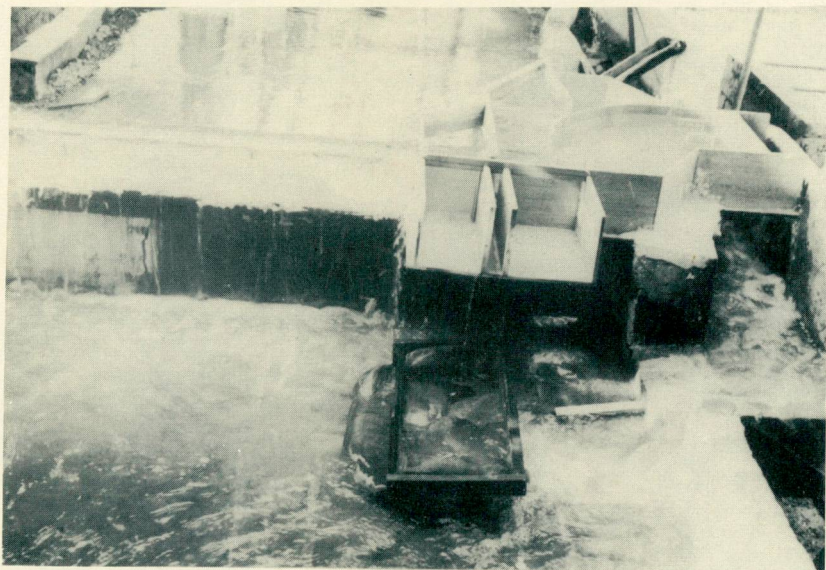


Foto No 7.-

Toma bajo carga de $10 \text{ m}^3/\text{s}$

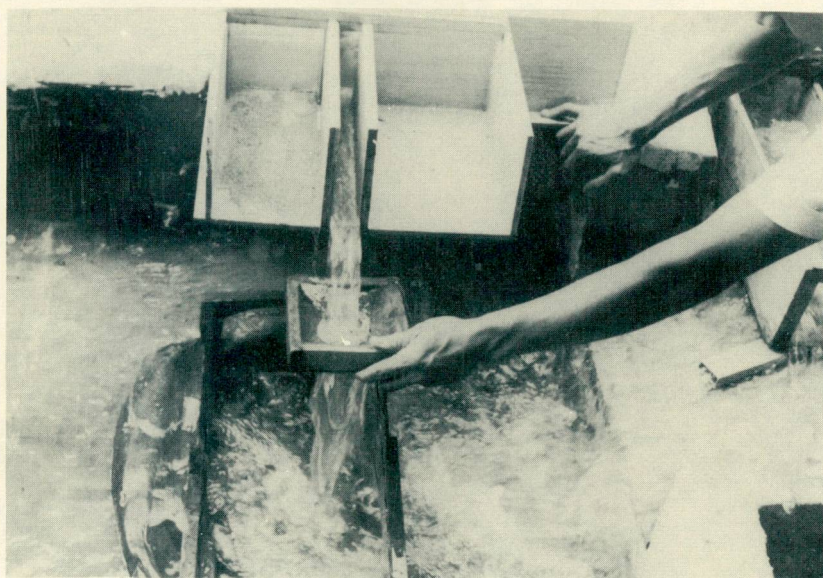


Foto No 8.-

Toma de $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Obsérvese el arrastre a la salida del canal de limpieza continua.

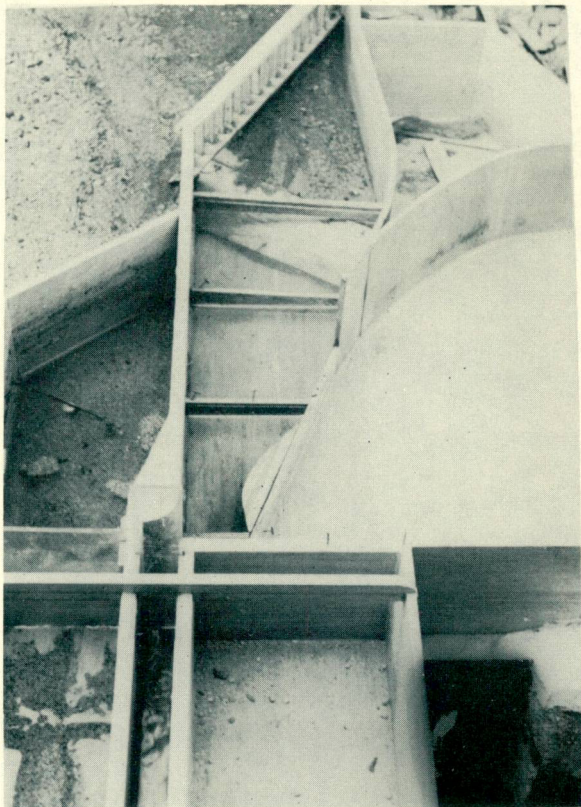
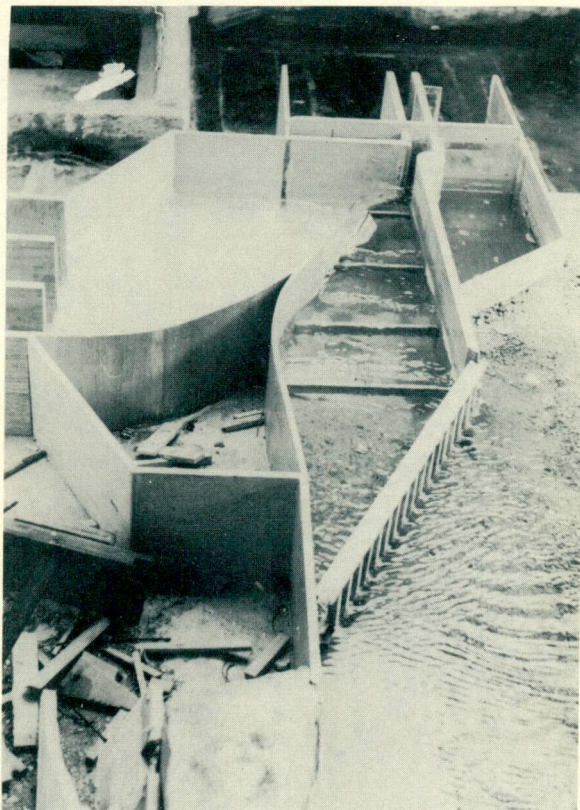


Foto No 9.-

Aspecto del fondo después de una operación de toma de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ con limpieza continua.

Foto No 10.-

Toma de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ con limpieza continua.



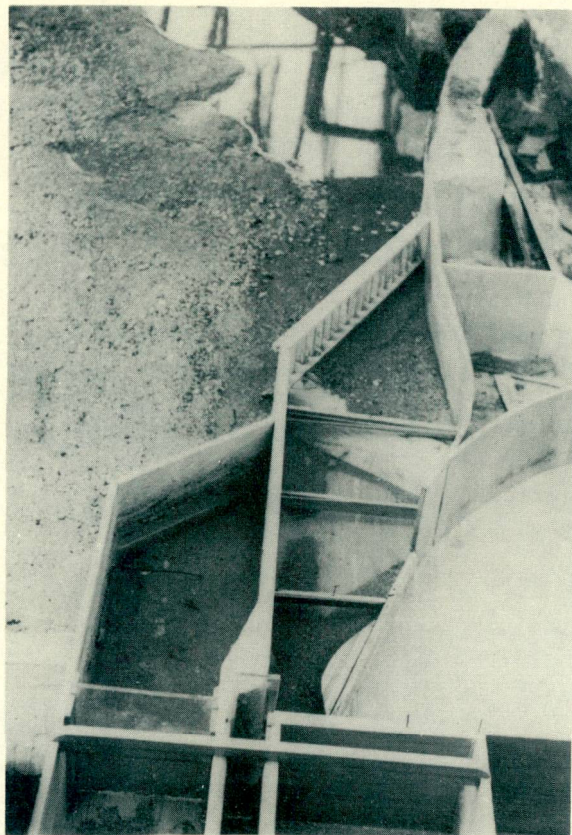


Foto No 11.-

Aspecto del fondo y bancos aluvionales después de una operación de toma de 5 m³/s con limpieza continua.

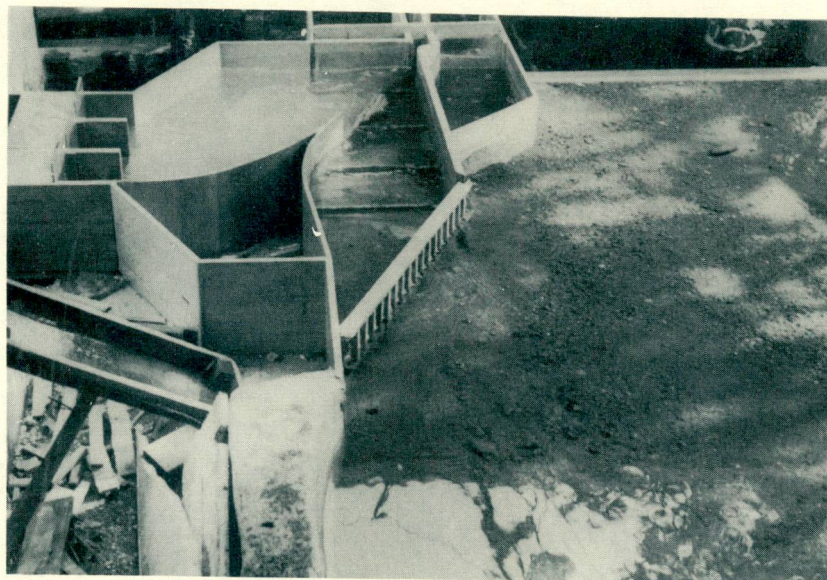


Foto No 12.-

Toma de 3 m³/s con limpieza discontinua.

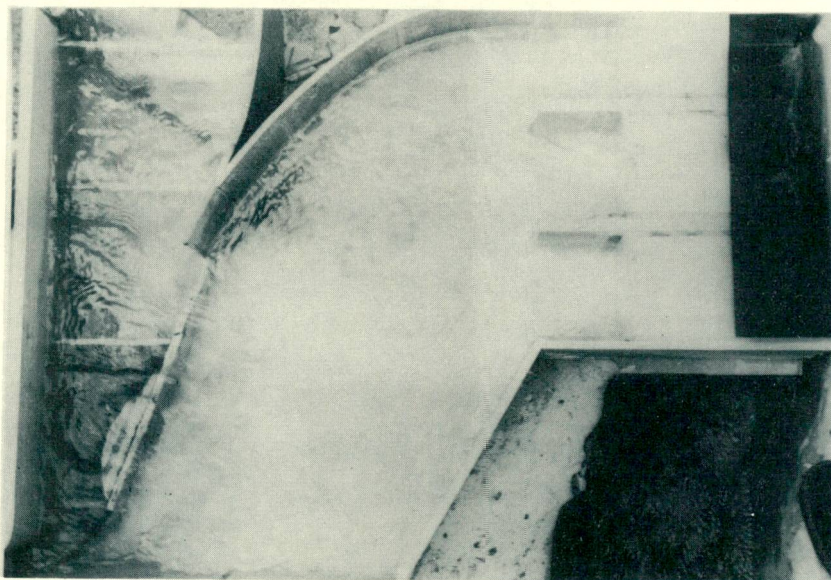


Foto No 13.-

Otro aspecto de la toma de $3 \text{ m}^3/\text{s}$,
con limpieza discontinua.

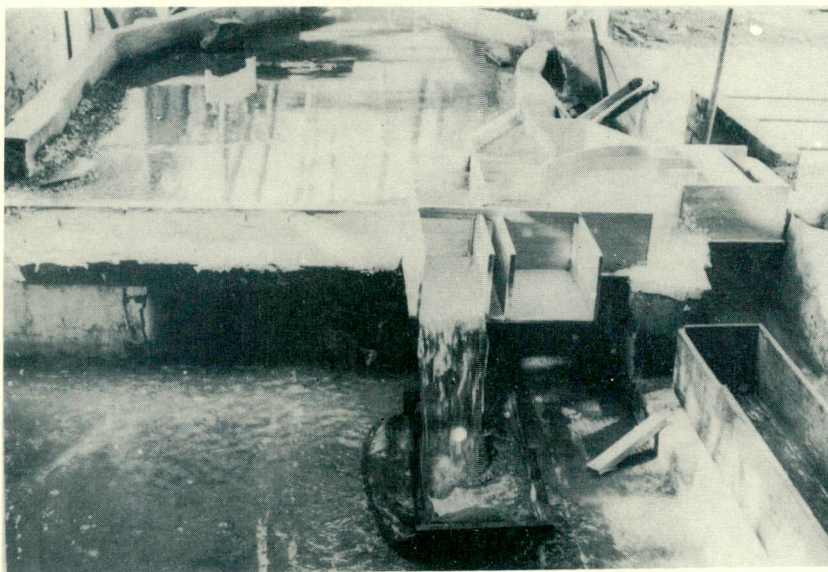


Foto No 14.-

Limpieza discontinua. Se cierran las
compuertas de toma y se abre la de limpieza.
Comienzo de la operaci3n.

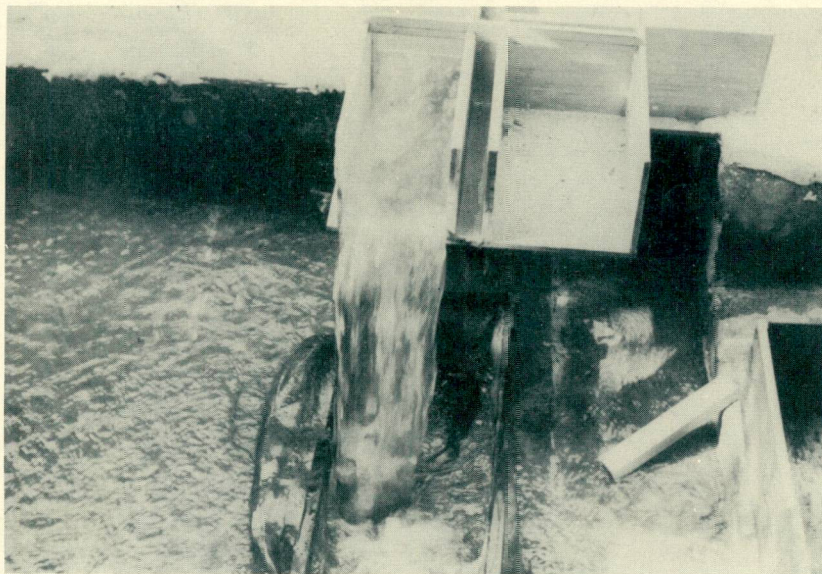


Foto No 15.-

Fin de la operación de limpieza
discontinua.



Foto No 16.-

Representación de la topografía
de la zona a escala 1:50. Momento en que
se coloca el modelo de las obras de toma.

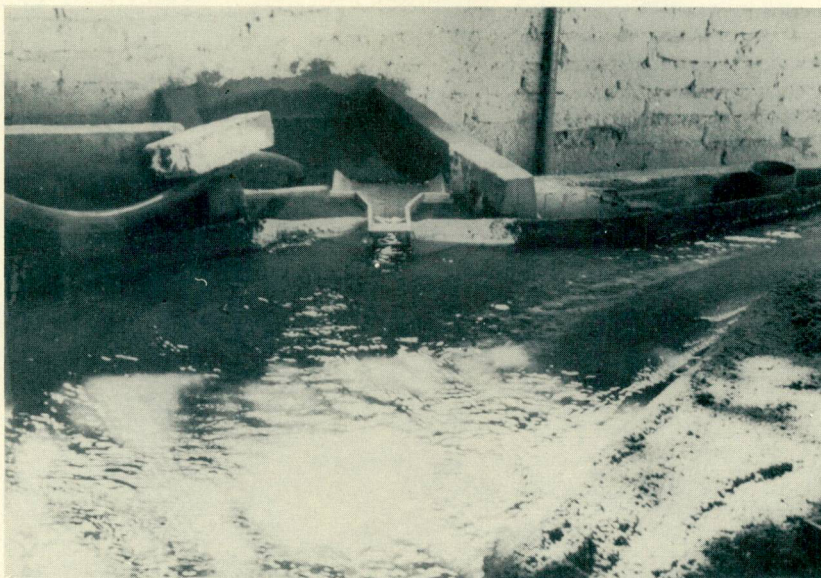


Foto No 17.-

Vista de la nueva desembocadura del canal Turmero-Aragua. Paso de una creciente. Todavía no se ha colocado el espigón.



Foto No 18.-

Vista del fondo después del paso de la creciente.

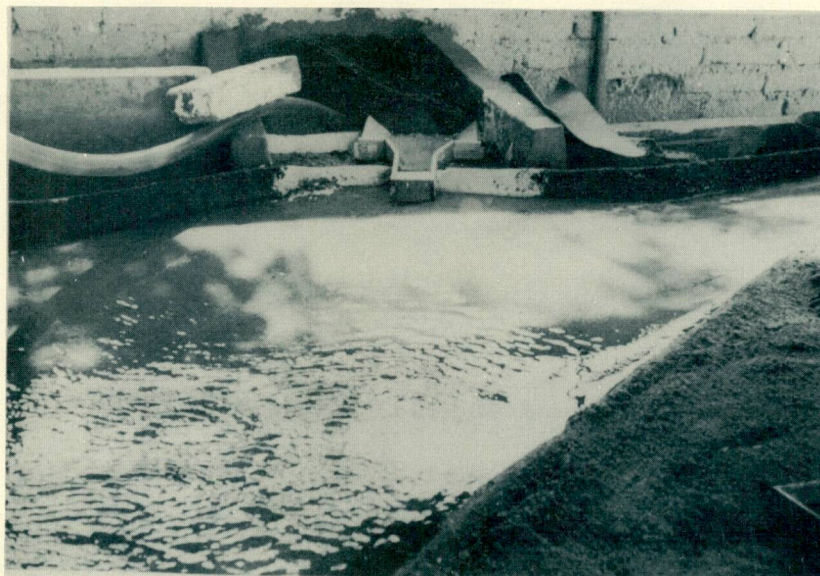


Foto No 19.-

Gasto del canal Turmero-Aragua 10 m³/s
Gasto del Río Aragua 3 m³/s.

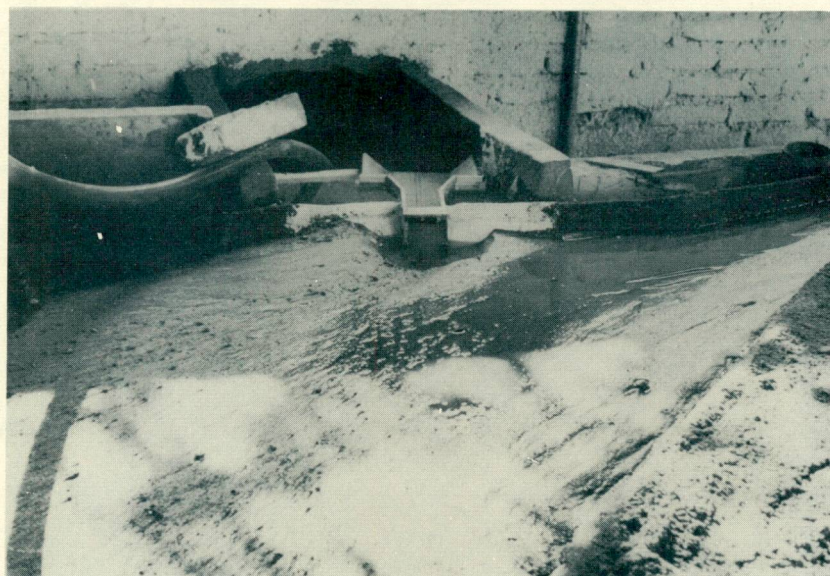


Foto No 20.-

Situación del fondo después de la operación de toma en las condiciones indicadas en la Foto No 19.

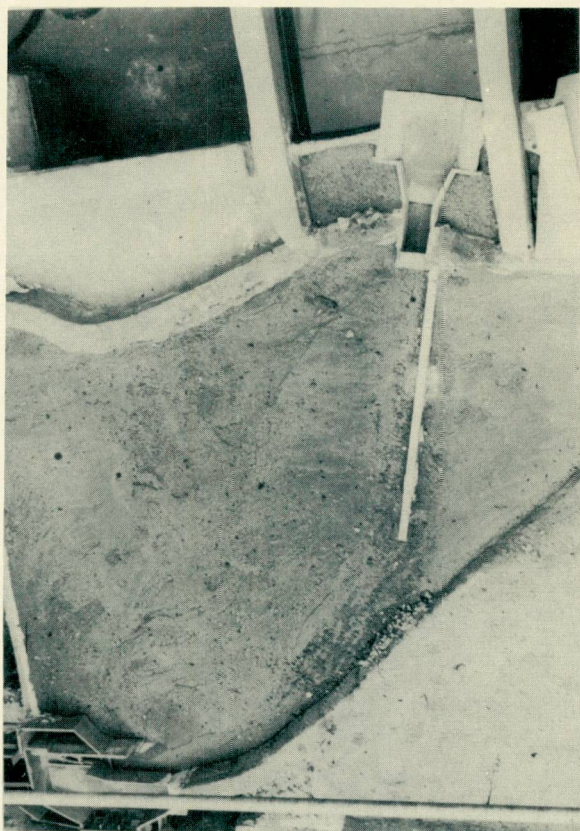


Foto No 21.-

Vista general mostrando la posición del espigón. Nótese a la izquierda el modelo definitivo de las obras de toma a escala 1:50; así como la escollera de protección en la margen izquierda frente al extremo del espigón.

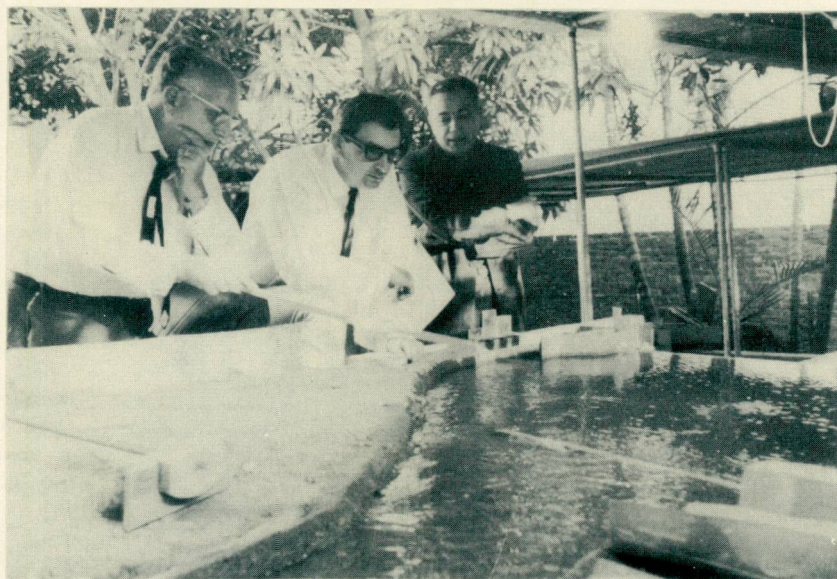


Foto No 22.-

El Ing. Enrique Angulo, de la Dirección de Obras Hidráulicas, observa el funcionamiento del espigón.

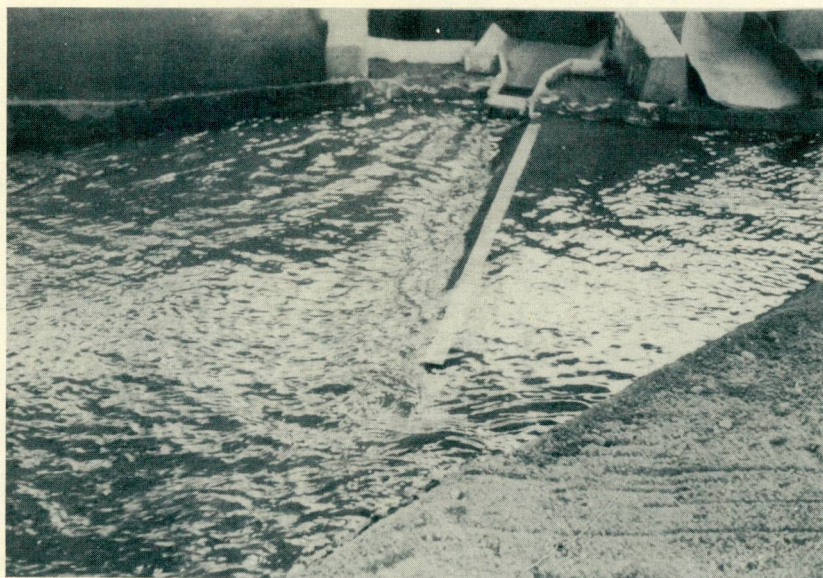


Foto No 23.-

Caso de una creciente normal. Nótese el resalto ahogado aguas abajo del espigón.



Foto No 24.-

Situación del fondo después del paso de la creciente. Obsérvese el encauzamiento que provoca el espigón.

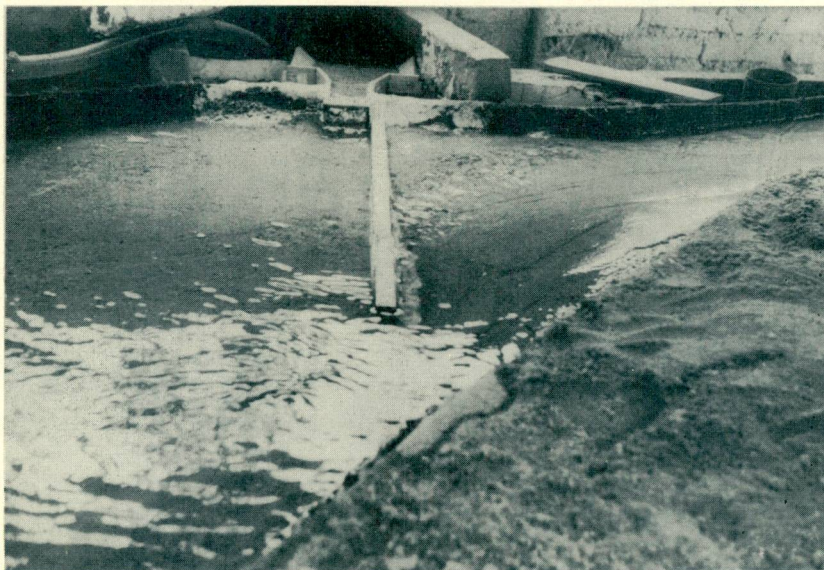


Foto No 25.-

Gasto Río Aragua $15 \text{ m}^3/\text{s}$.
 Gasto canal Turmero-Aragua $10 \text{ m}^3/\text{s}$.



Foto No 26.-

Situación del fondo después del caso
 de la Foto No 25. Nótese el franco encauzamiento
 hacia las obras de toma.

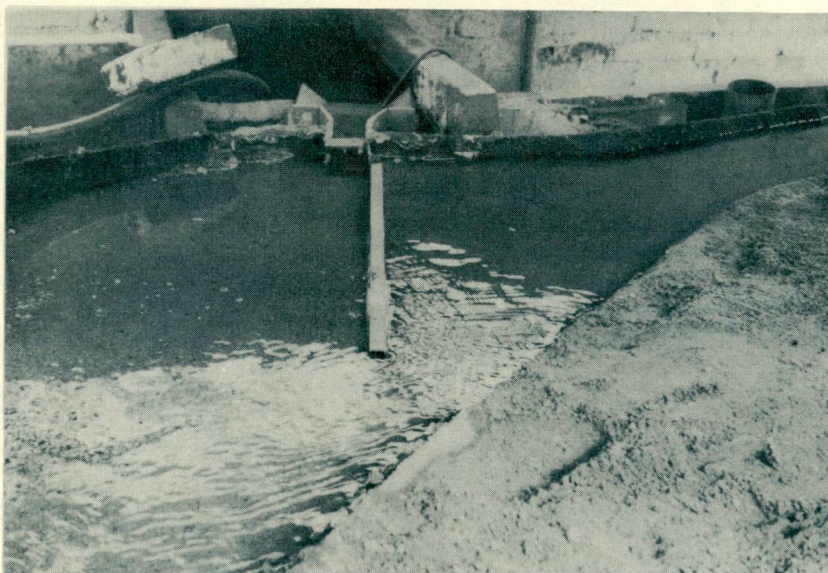


Foto No 27.-

Gasto Río Aragua 15 m³/s. Gasto
Canal Turmero-Aragua 0.



Foto No 28.-

Situación del fondo después del caso
de la foto No 27.

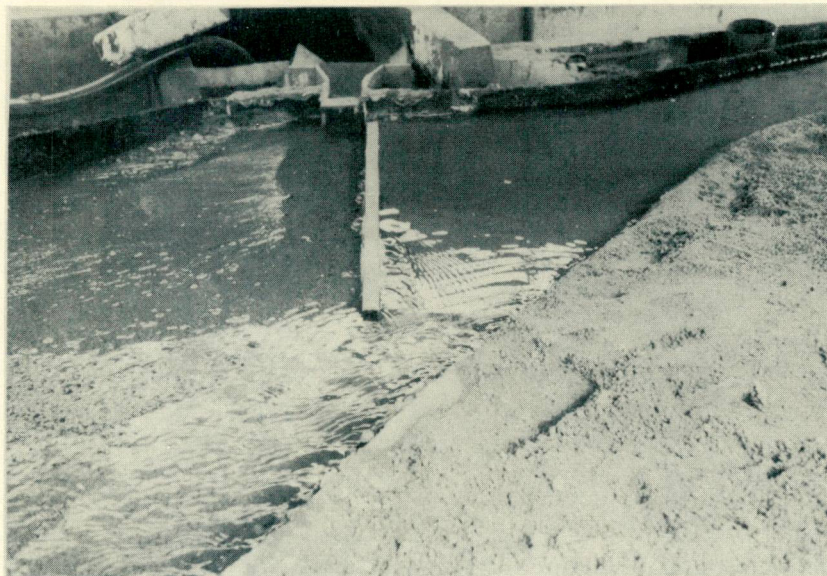


Foto No 29.-

Gasto Río Aragua 10 m³/s. Gasto canal Turmero-Aragua 3 m³/s.

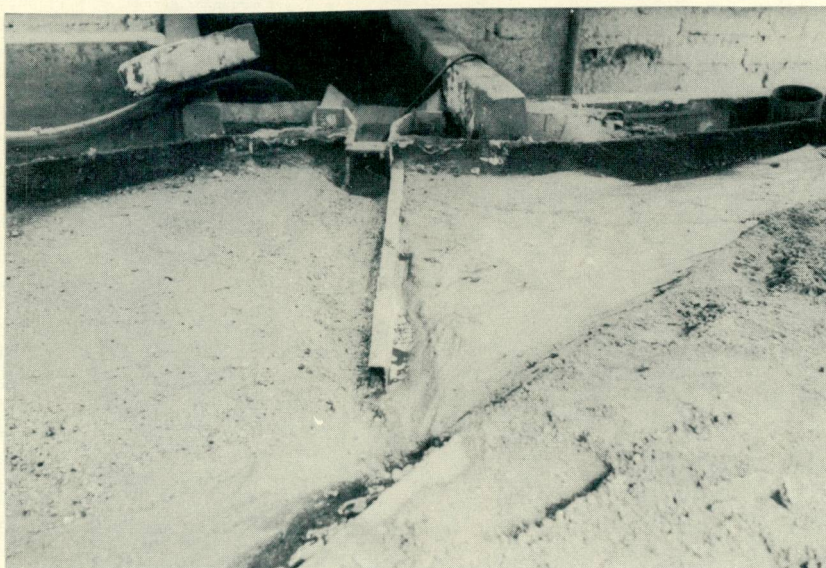


Foto No 30.-

Situación del fondo después del caso de la foto No 29.

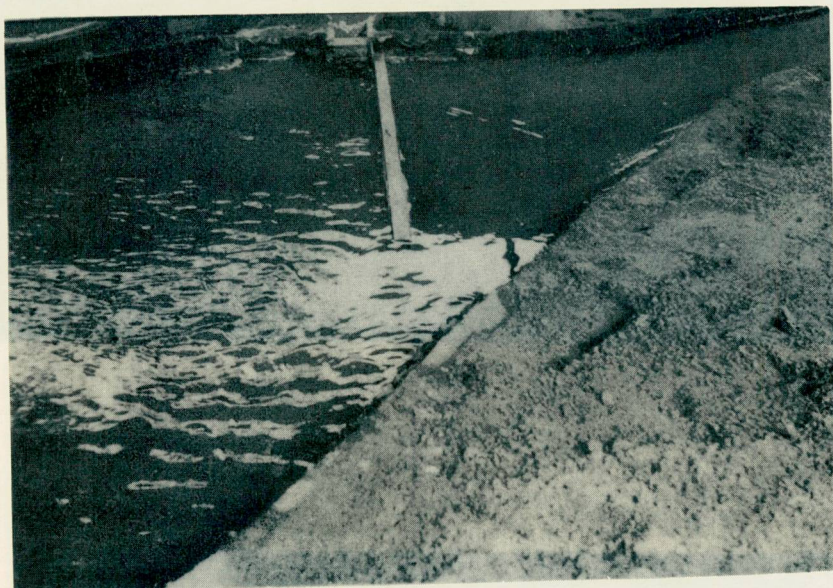


Foto No 31.-

Gastos en el Río Aragua y en canal Turmero Aragua iguales a 7 m³/s en cada uno.



Foto No 32.-

Situación del fondo después del caso de la Fig. No 31.



Foto No 34.-

Situación del fondo después del caso de la Foto No 33. Obsérvese la escollera de piedras de 50 Kg. frente al tramo del espigón.

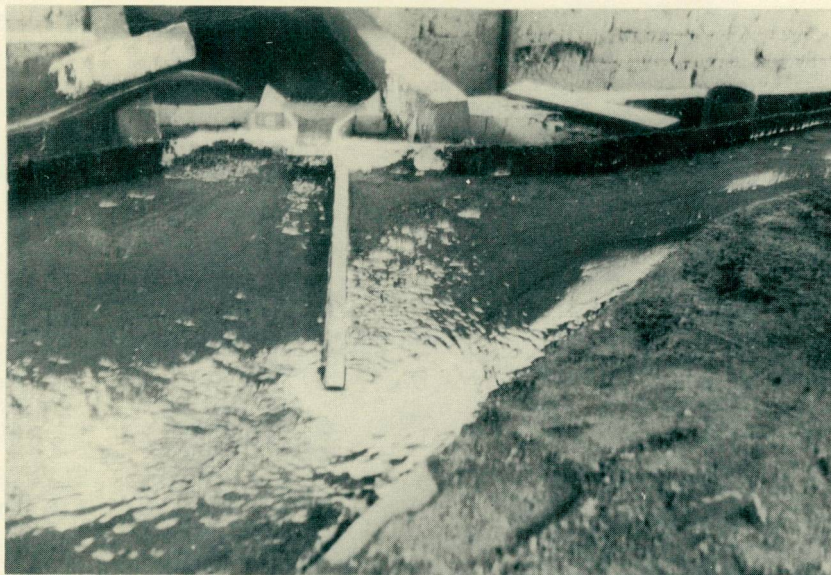


Foto No 35.-

Gasto Río Aragua 3 m³/s. Gasto canal
Turmero-Aragua 0.

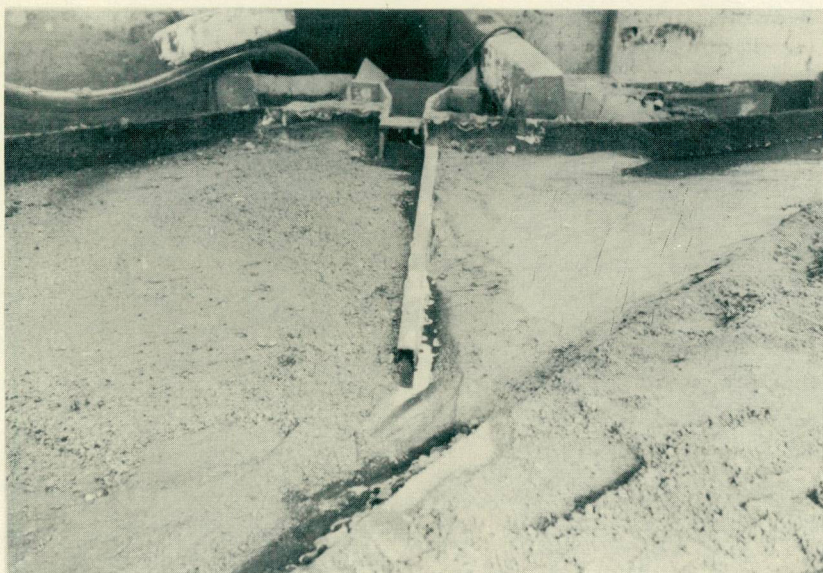


Foto No 36.-

Situación del fondo después del caso
de la foto No 35.

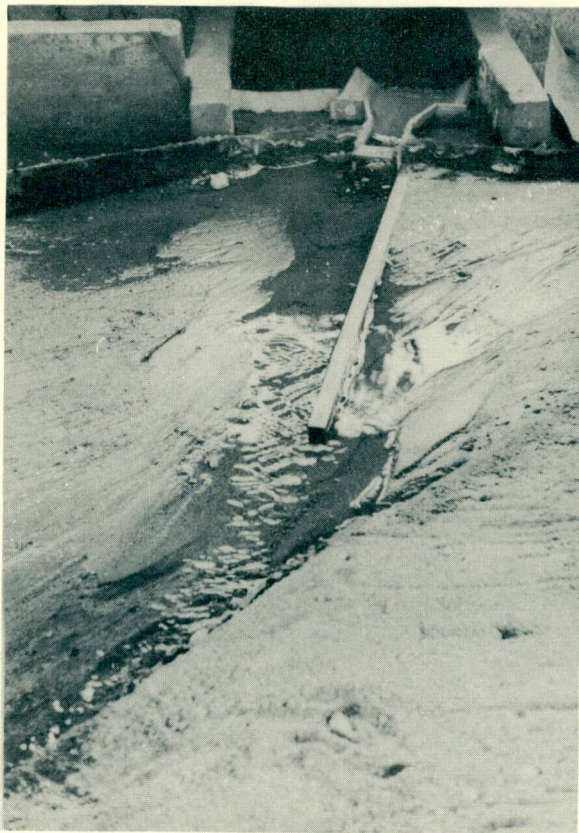


Foto No 37.-

Gasto Río Aragua 0. Gasto
canal Turmero-Aragua 3 m³/s.



Foto No 38.-

Situación del fondo después del caso
de la Foto No 37.

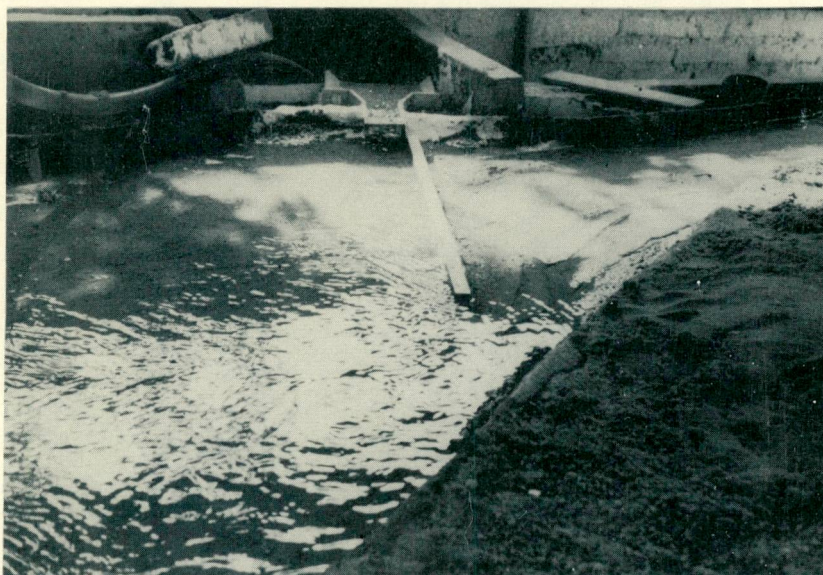


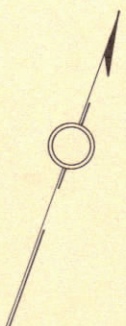
Foto No 33.-

Gasto Río Aragua 3 m³/s. Gasto
canal Turmero-Aragua 10 m³/s.

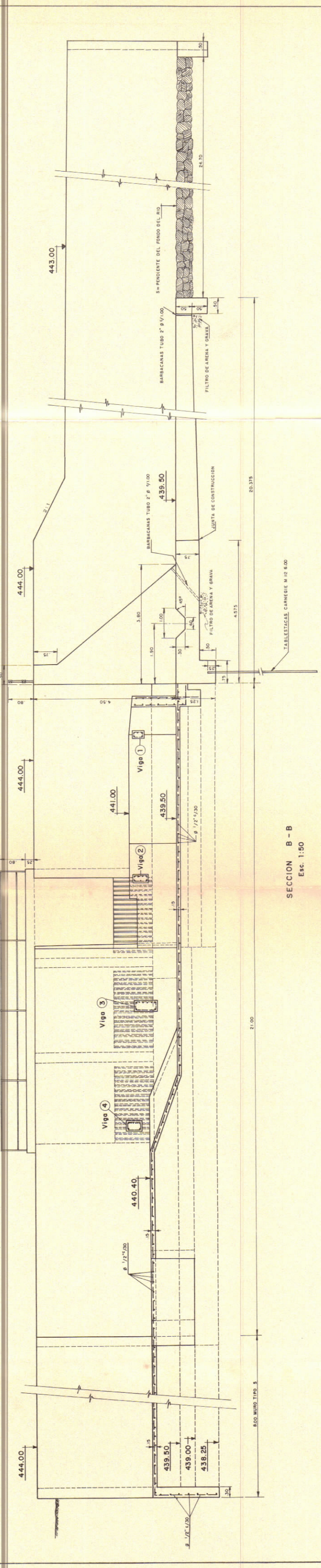
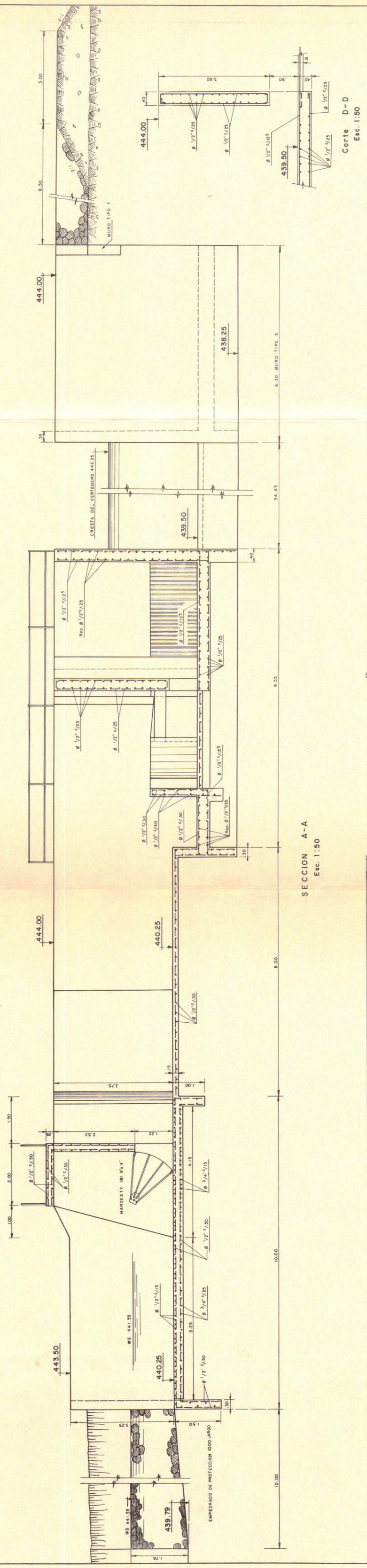


Foto No 34.-

Situación del fondo después del caso de
la Foto No 33. Obsérvese la escollera de piedras
de 50 Kg. frente al tramo del espigón.

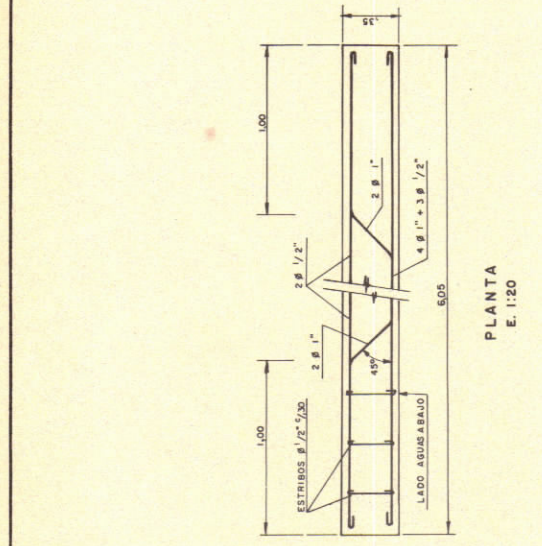


NOTA: La calidad del concreto armado es de $R_{C28} = 210 \text{ Kg/cm}^2$
Coeficiente R de trabajo admisible $= 2,5 \text{ Kg/cm}^2$



REPUBLICA DE VENEZUELA	
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS	
DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS	
PROYECTO:	
SARDIMAR C.A.	
TOMA SOBRE EL RIO AREQUIA	
SISTEMA DE PISO TIGUAYAN	
MEJORAMIENTO DE LA OBRA DE DERIVACION	
SECCIONES Y CORTE	
FECHA:	3-4-1984
PROYECTISTA:	1:50
REVISOR:	5
APROBADO:	5

NOTA: La calidad del concreto armado es de
No. 20 - 210 Kg/cm²
Coeficiente ϕ_c de trabajo admisible
2.5 Kg/cm²

[illegible]

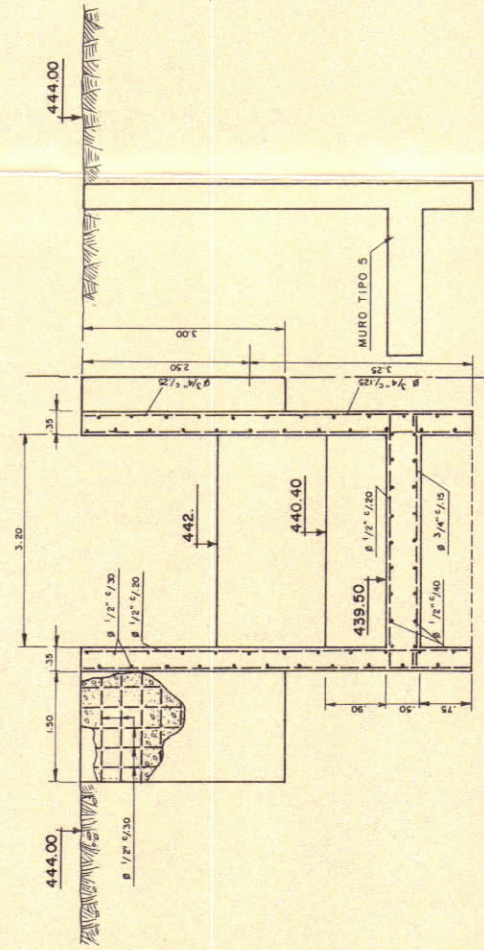
Three architectural cross-sections (A-A, B-B, C-C) of a building foundation. The drawings show the structural details of the foundation walls, including reinforcement bars, dimensions, and construction details like filters and joints.

CORTE A-A
E. 1:50

CORTE B-B
E. 1:50

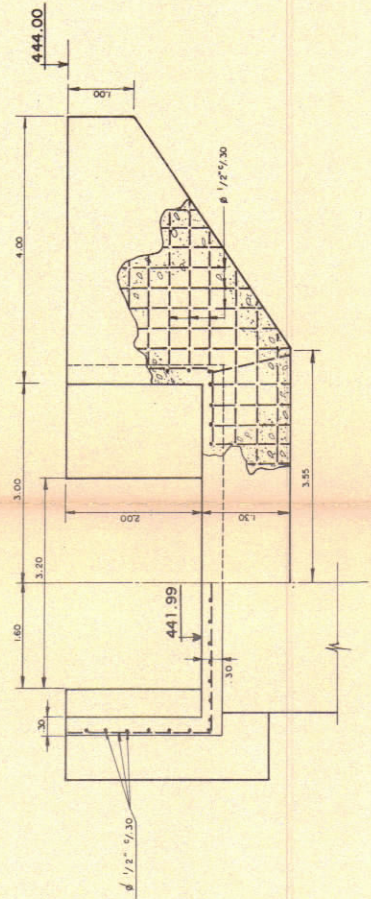
CORTE C-C
E. 1:50

REPUBLICA DE VENEZUELA MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS		TONIA, SOBRE EL RIO SARAGUA SISTEMA DE RIEGO TIGUAIRUY MEJORAMIENTO DE LA OBRA DE DERIVACION		PLAN N° 9	
PROYECTO: SARDIMAR C.A.		ESTUDIOS DETALLES		FECHA: 3 - 4 - 1965	
V. S.		C.M. 44 M.P.		TOTAL HOJAS: 5 REP.	
INDICADAS		DETALLE DE:		INDICADAS	



SECCION A-A
E = 1:50

CONCRETO ARMADO	72.15 M ³
CEMENTO	58 SACOS
GRAVA	64 M ³
ARENA	32 "
CAB ¹ /2"	2123kg.
CAB 3/4"	2144 ml.
CAB 1"	1012 "
CAB 1 1/2"	2247 "



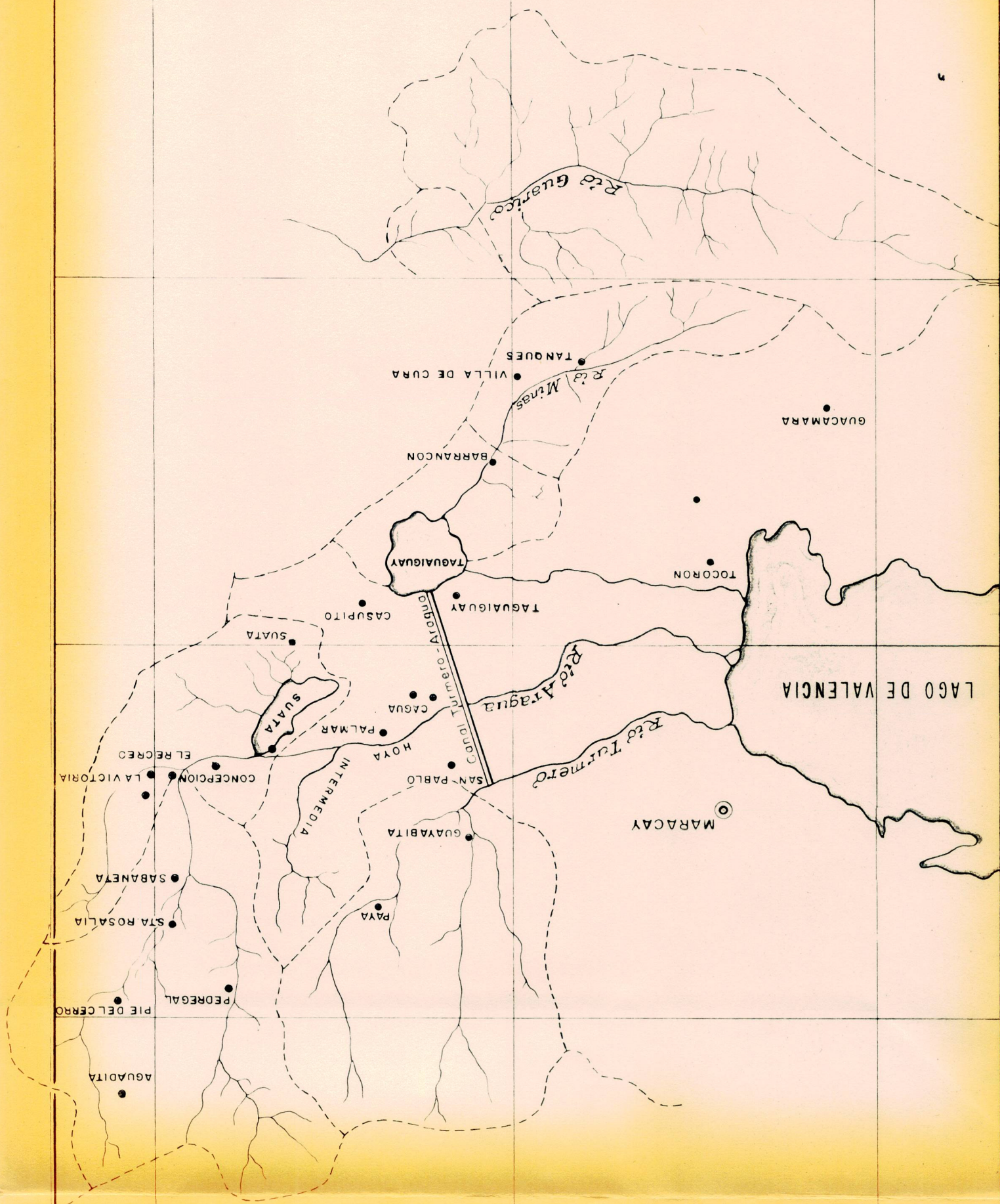
SECCION C - C
E = 1:50

REPUBLICA DE VENEZUELA MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS		TOME, SOBRE EL RIO ARAGUA SISTEMA DE PIEDO TENDIQUAY MEJORAMIENTO DE LA OBRA DE DERIVACION PLANTA Y SECCIONES		1654.8"
PROYECTUAL SARDIMAR CA.	V. S. S.	C. M. 44 M. P.	SERVIC. TOTAL TOTAL INICIAL 2 MAP.	2
			TENDIQUAY 21'-5" 1.384 1:50	

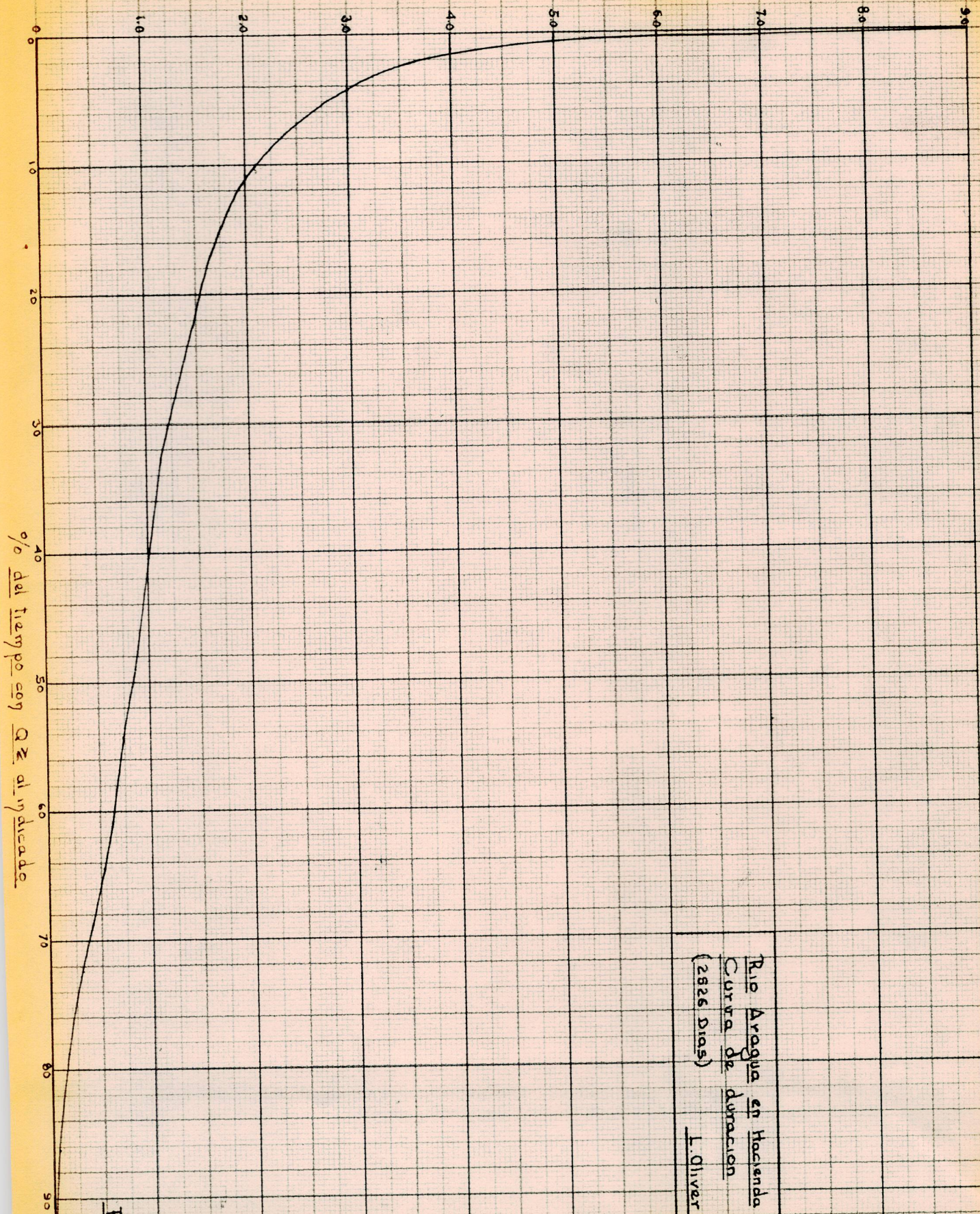
MAPA DE LOS SISTEMAS SUATA Y TAGUAIGUAY

Figura Nº 1

ESCALA 1:250.000



Can 1/2



Rio Aragua en Hacienda El Retiro
Curva de duracion
(2826 dias)

Figura N° 2

RIO ARAGUA EN HACIENDA EL RECREO

- AVENIDA DEL DIA 11 Y 14 DE AGOSTO DE 1948
- AVENIDA DEL DIA 11 Y 12 DE AGOSTO DE 1956
- AVENIDA DEL DIA 25 Y 26 DE NOVIEMBRE DE 1956

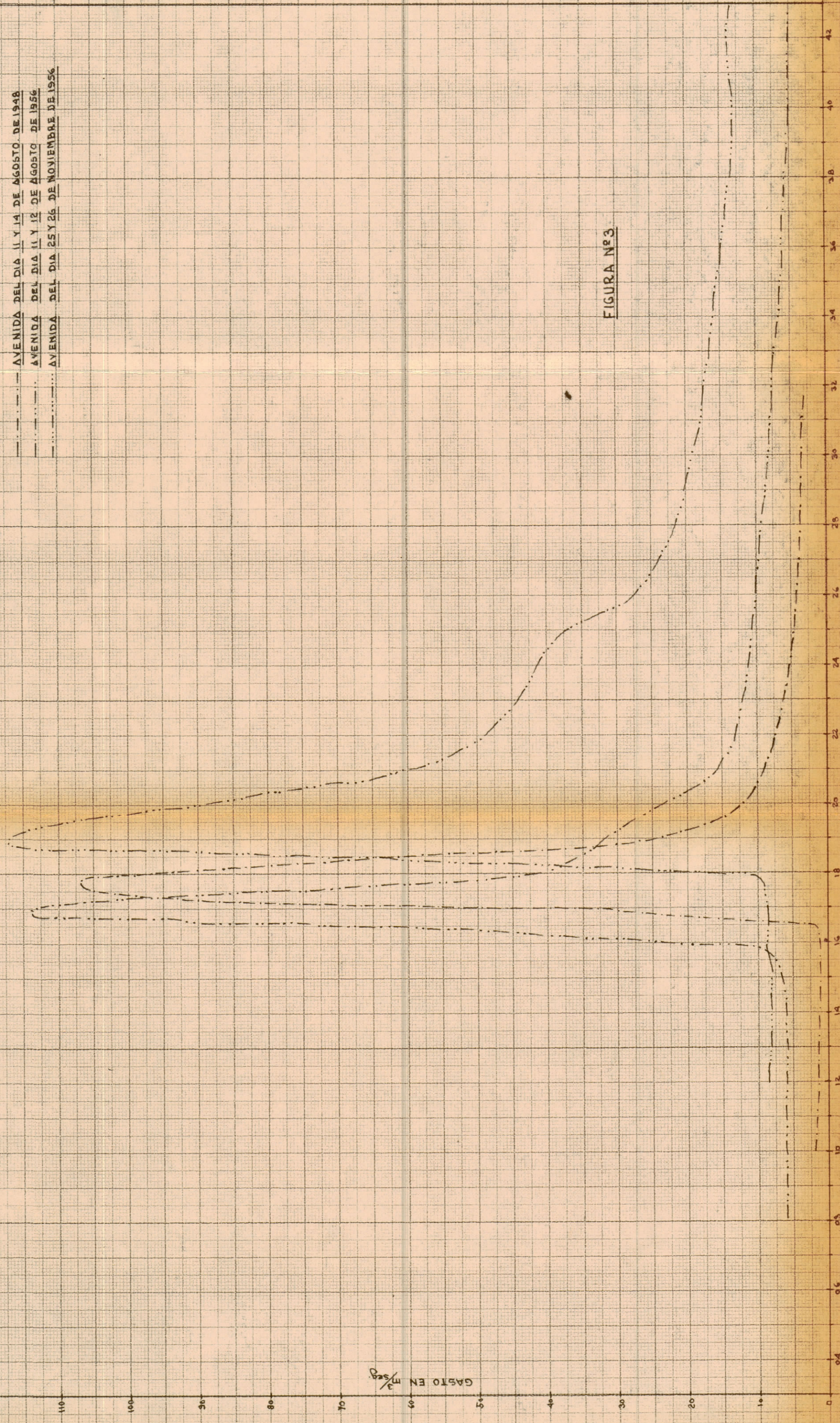


FIGURA Nº 3

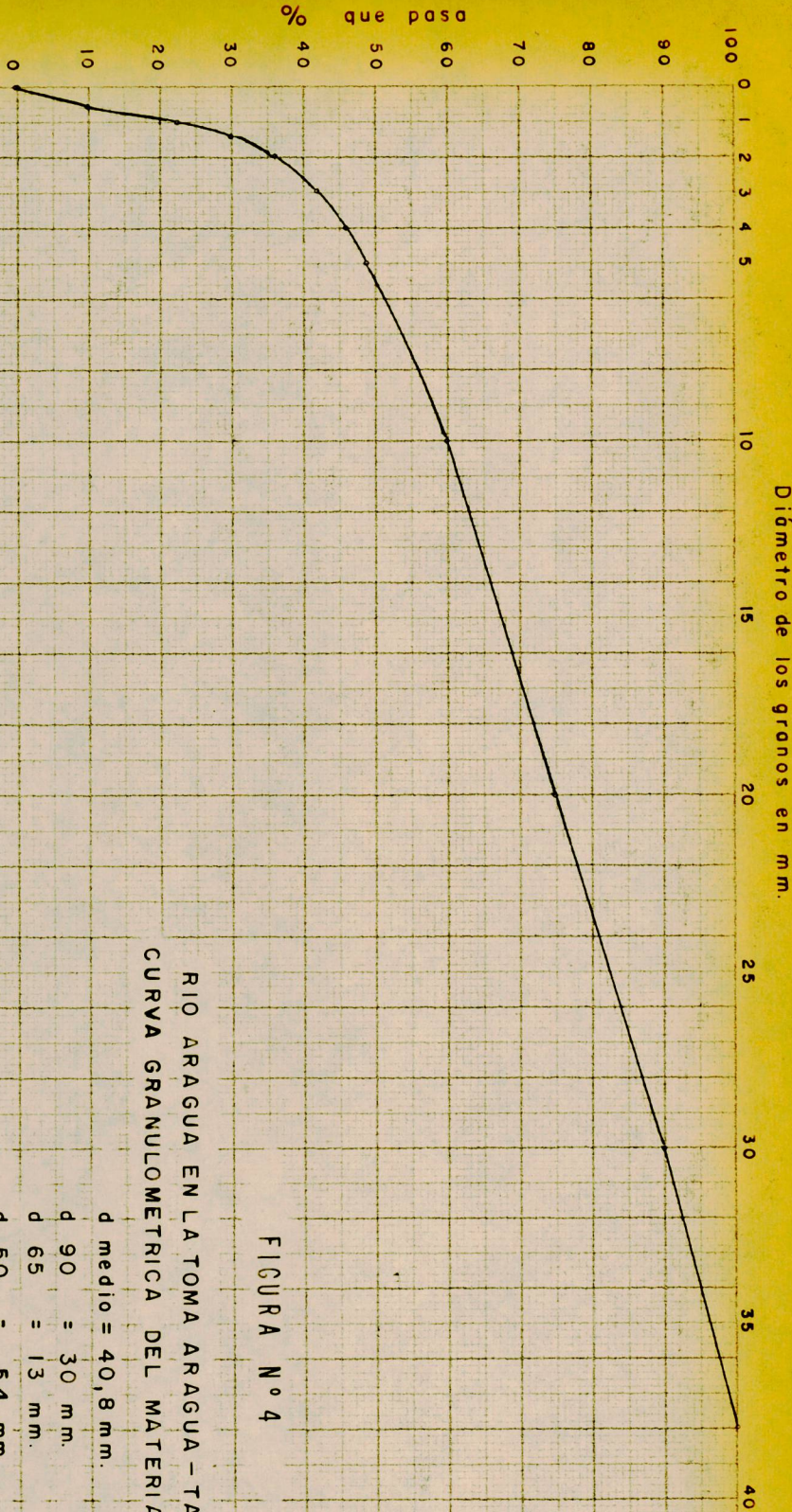


FIGURA N° 4

RIO ARAGUA EN LA TOMA ARAGUA - TAIGUAIGUAY
CURVA GRANULOMETRICA DEL MATERIAL DE FONDO

d medio = 40,8 mm.
 d 90 = 30 mm.
 d 65 = 13 mm.
 d 50 = 5,4 mm.
 d 35 = 1,9 mm.
 PE = 2,69

FIGURA N° 5

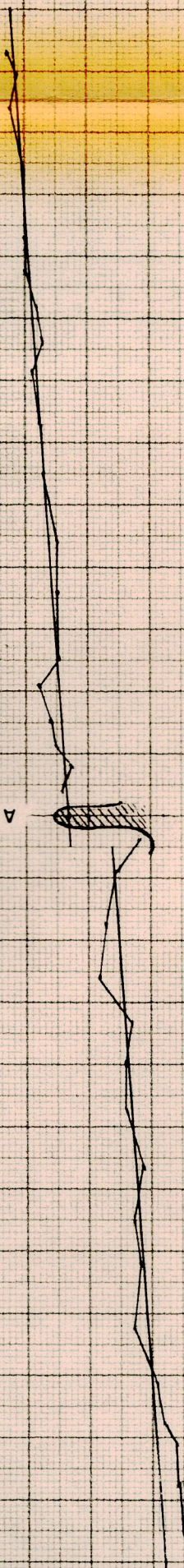
RIO ARAGUA EN LA TOMA ARAGUA - TAIGUAIGUA Y

PERFIL DEL ALVEO

PENDIENTE MEDIA $i = 0,7 \text{ ‰}$

AZUD

41,00
40,00
39,00

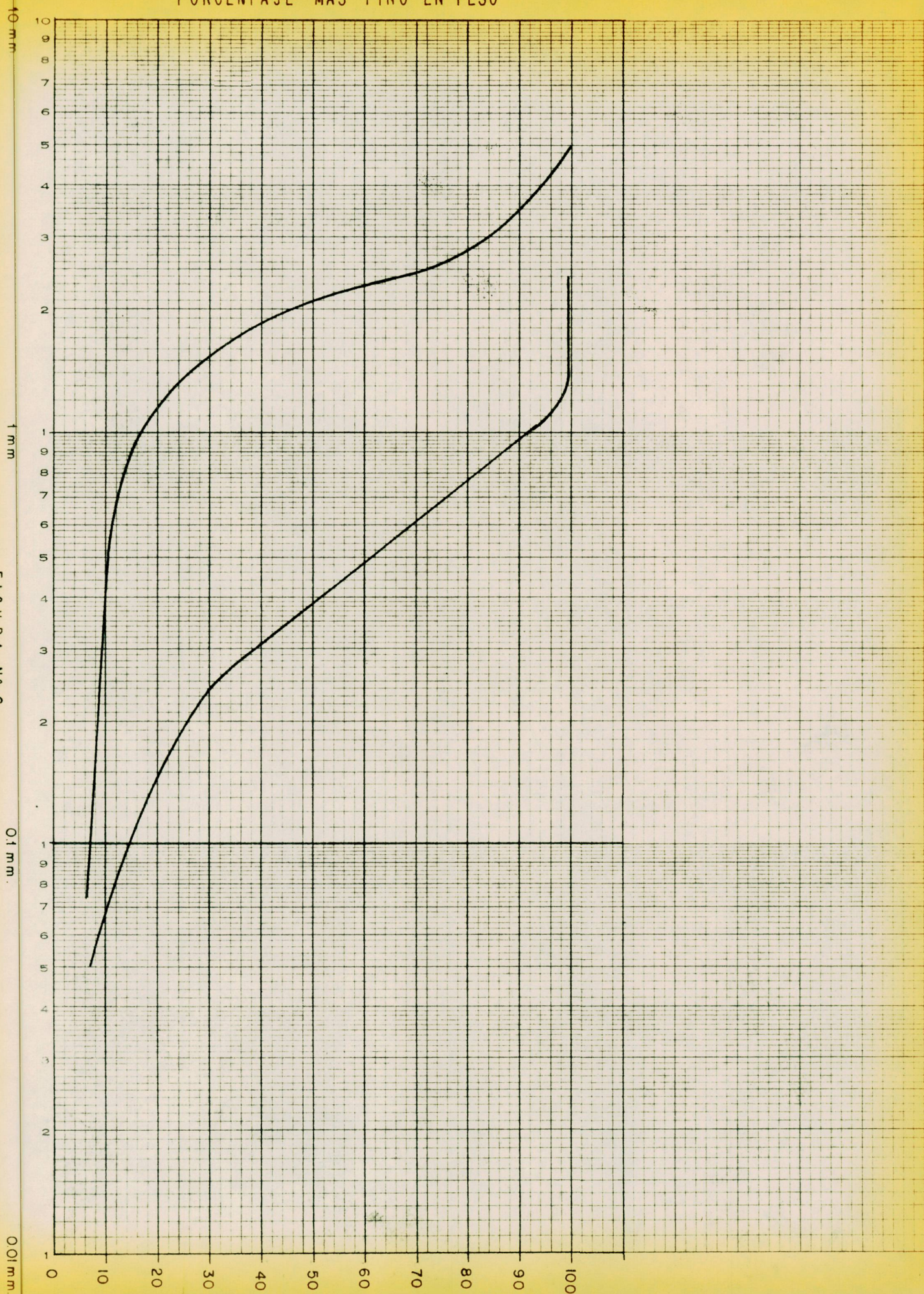


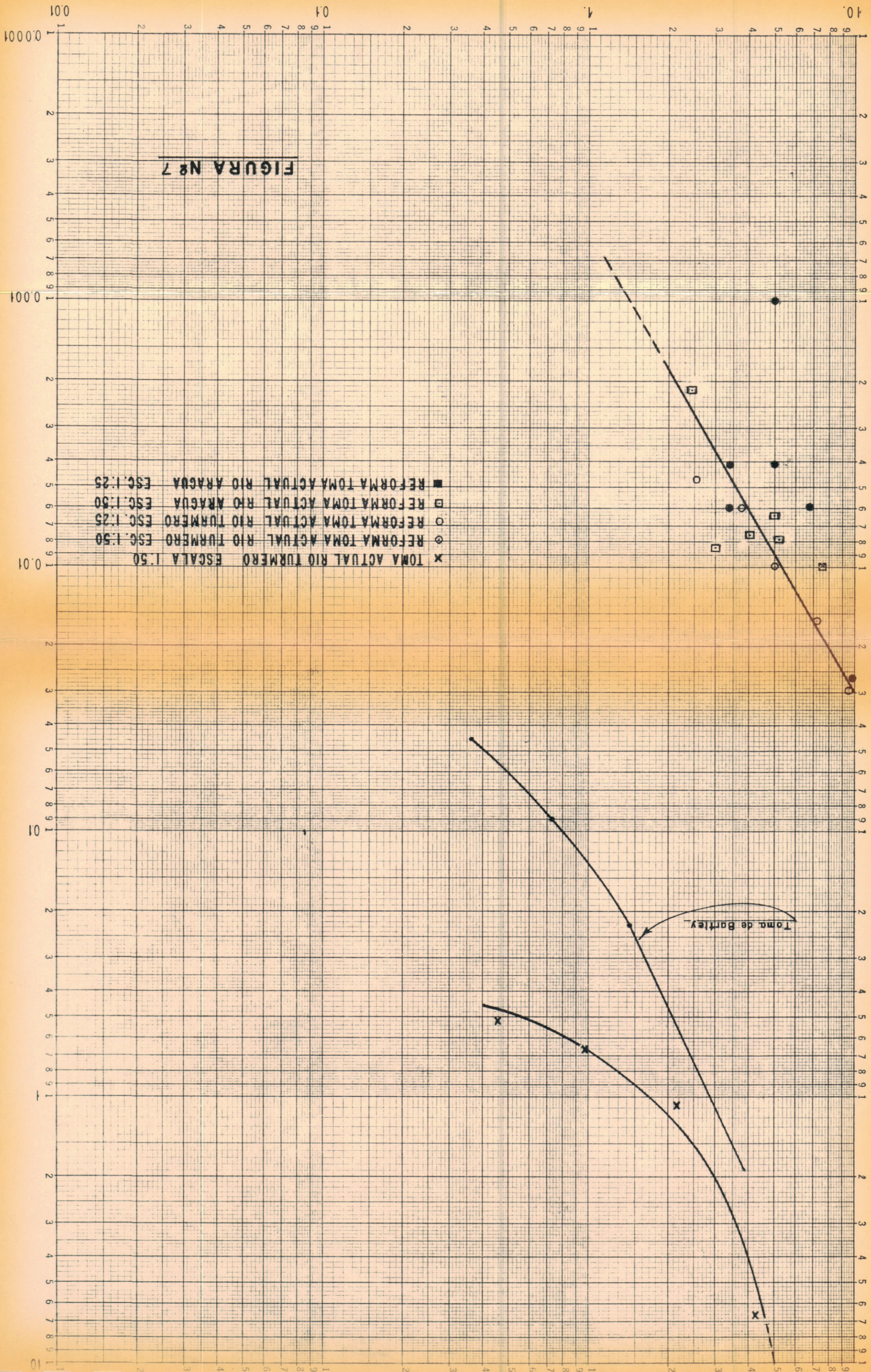
PORCENTAJE MAS FINO EN PESO

EUGENE DIETZGEN CO.
MADE IN U.S.A.

FIGURA Nº 6

10. 340-L312 DIETZGEN GRAPH PAPER
SEMI-LOGARITHMIC
3 CYCLES X 12 DIVISIONS PER INCH





Comparación entre funcionamiento
Toma propuesta y Toma actual

RIO TURMERO

RIO ARAGUA

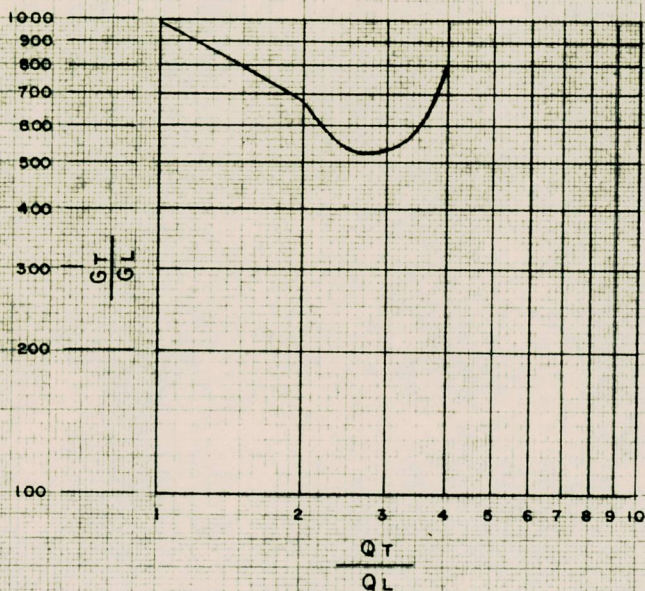


FIGURA Nº 8