

**SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS  
INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA  
Y TECNICA HIDRICAS**

**LABORATORIO DE HIDRAULICA  
APLICADA**

**ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE DESCARGA  
DEL ARROYO MALDONADO  
ALTERNATIVA DE OPTIMIZACION  
LHA-090-02-89**

**Por:**

**ing. BARRIONUEVO Héctor D.  
Investigador Asociado  
(C.I.H.E)**

**ing. BREA José Daniel.  
Investigador Asociado  
(L.H.A)**

**ing. HOPWOOD, Haroldo Juan  
Jefe de Estudios  
y Modelos Fluviales  
(L.H.A)**

**Ezeiza, Abril de 1989**

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS  
INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA  
Y TECNICA HIDRICA

LABORATORIO DE HIDRAULICA  
APLICADA

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE DESCARGA  
DEL ARROYO MALDONADO  
ALTERNATIVA DE OPTIMIZACION  
LHA-090-02-89

RESUMEN

El presente informe se refiere al estudio de optimización de la capacidad de descarga del Arroyo Maldonado en modelo físico, sin distorsión.

Se presentan los resultados de una serie de ensayos efectuados sobre una canalización con tabiques, simulando una alternativa de mejoramiento en la conducción

DESCRIPTORES

Temáticos: Esgurrimento a superficie libre, capacidad de descarga, canalización con tabiques, mejoramiento en la conducción

Geográficos e Institucionales: Arroyo Maldonado, Secretaria de Recursos Hidricos

EQUIPO DE TRABAJO.

Director Interino del  
Laboratorio de Hidráulica Aplicada: Dr. Raúl LOPARDO

Jefe de Estudios y Modelos Fluviales: Ing. Haroldo J. HOPWOOD

Investigador Asociado: Ing. José D. BREA

Investigador Asociado: Ing. Héctor D. BARRIONUEVO

Técnico de Modelo: Sr. Luis LARES

Técnicos de Fotografía: Sr. Norberto MULLE  
Srta. Beatriz MORENO

Dibujante: Sr. Roberto LOPEZ

Maquetista: Sr. Mártires MARTINEZ

Asistente Maquetista: Sr. Loreto AGUIRRE

Ayudante: Sr. Juan PERALTA

Los estudios sobre modelo fueron desarrollados en base a los programas de ensayos elaborados por la Secretaría de Recursos Hídricos, recibiendo durante los mismos la visita de las siguientes personas: Sr. Intendente de la Ciudad de Buenos Aires Dr. Facundo SUAREZ LASTRA, Sr. Secretario de Recursos Hídricos Ing. Martín LASCANO, Coordinador del estudio del Arroyo Maldonado Ing. Fernando PEREZ AYALA, consejeros vecinales, autoridades de Obras Sanitarias de la Nación.

## INDICE DE FIGURAS

- FIGURA N°1- CANAL DE ENSAYOS.
- FIGURA N°2- CURVA DE DESCARGA ALTURA-CAUDAL (CANALIZACION CON TABIQUES).
- FIGURA N°3- CURVAS DE DESCARGAS ALTURA-CAUDAL (PARA TABIQUES Y COLUMNAS).
- FIGURA N°4 Y N°5 - DIAGRAMAS DE VELOCIDADES.
- FIGURA N°6 Y N°7 - DISTRIBUCION DE CAUDAL.
- FIGURA N°8- ESQUEMA DEL CANAL DE ENSAYO RETIRANDO CUATRO TABIQUES.
- FIGURA N°9- ESQUEMA DEL CANAL DE ENSAYO RETIRANDO OCHO TABIQUES.
- FIGURA N°10- ESQUEMA DEL CANAL DE ENSAYO RETIRANDO DOCE TABIQUES.
- FIGURA N°11- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO CUATRO TABIQUES)
- FIGURA N°12- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO OCHO TABIQUES)
- FIGURA N°13- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO DOCE TABIQUES)
- FIGURA N°14- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO CUATRO TABIQUES).
- FIGURA N°15- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO OCHO TABIQUES).
- FIGURA N°16- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO CUATRO TABIQUES).
- FIGURA N°17- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO OCHO TABIQUES).
- FIGURA N°18- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO DOCE TABIQUES).
- FIGURA N°19- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO DOCE TABIQUES).
- FIGURA N°20- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO CUATRO TABIQUES).

- FIGURA N°21- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO OCHO TABIQUES).
- FIGURA N°22- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO DOCE TABIQUES).
- FIGURA N°23- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO CUATRO TABIQUES).
- FIGURA N°24- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO CUATRO TABIQUES).
- FIGURA N°25- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO OCHO TABIQUES).
- FIGURA N°26- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO OCHO TABIQUES)
- FIGURA N°27- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO DOCE TABIQUES)
- FIGURA N°28- DISTRIBUCION DE CAUDALE TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO DOCE TABIQUES).
- FIGURA N°29- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO CUATRO TABIQUES).
- FIGURA N°30- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO OCHO TABIQUES).
- FIGURA N°31- DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN (ENSAYO RETIRANDO DOCE TABIQUES).
- FIGURA N°32- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO CUATRO TABIQUES).
- FIGURA N°33- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO OCHO TABIQUES).
- FIGURA N°34- DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES (ENSAYOS RETIRANDO DOCE TABIQUES).
- FIGURA N°35- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO CUATRO TABIQUES).
- FIGURA N°36- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO OCHO TABIQUES).
- FIGURA N°37- DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES (ENSAYOS RETIRANDO DOCE TABIQUES).

## INDICE DE TABLAS

- TABLA Nº1- PARAMETROS PRINCIPALES DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.
- TABLA Nº2- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.
- TABLA Nº3- PARAMETROS QUE DISTINGUEN EL TIPO DE ESCURRIMIENTO
- TABLA Nº4- VALORES ALTURA-CAUDAL (CANALIZACION CON TABIQUES).
- TABLA Nº5- VALORES ALTURA-CAUDAL (CANALIZACION CON TABIQUES Y COLUMAS)

## INDICE DE FOTOS

- FOTO N°1- VISTA LONGITUDINAL DEL CANAL DE ENSAYO DEL ARROYO MALDONADO.(2183-33).
- FOTO N°2- VISTA LATERAL DEL CANAL DE ENSAYO DEL ARROYO MALDONADO. (2182-25)
- FOTO N°3- VISTA DE LAS PERTURBACIONES SUPERFICIALES EN EL CANAL DE ENSAYO DEL ARROYO MALDONADO. (2182-31).
- FOTO N°4- VISTA SUPERIOR DE LA REPARTICION DE CAUDAL LATERAL (2210-13).
- FOTO N°5- VISTA LATERAL DE LA DISTRIBUCION DEL CAUDAL LATERAL (2210-14).
- FOTO N°6- VISTA SUPERIOR-LATERAL DE LA REPARTICION DEL CAUDAL LATERAL. (2210-10).

## 1-INTRODUCCION:

En el marco de un programa de acciones que la Secretaria de Recursos Hídricos se encuentra realizando a fin de obtener soluciones a los problemas de inundación que se producen por desborde del emisario principal de la cuenca del Arroyo Maldonado, conducto diseñado para evacuar los excedentes pluviales, se solicitó al Laboratorio de Hidráulica Aplicada por nota S.R.H. N° 303/87 (Expediente N° 903229-INCYTH) la realización de los estudios sobre un modelo físico para determinar la curva de descarga, funcionando a pelo libre, en una canalización con tabiques longitudinales desarrollados a lo largo de la conducción uniendo las líneas de columnas.

El interés de éstos ensayos se fundamenta en evaluar una mejora en la capacidad de conducción respecto de los valores obtenidos en una canalización con columnas (Ref. N° 1) y poder contar con una alternativa hidráulica para un futuro proyecto de optimización.

El estudio realizado por los ingenieros R. Perazzo y A. Lagos figura en la bibliografía (Ref. N° 2) como un antecedente de mejoramiento de la capacidad de descarga en una conducción con tabiques respecto de las columnas.

Los ensayos fueron realizados para caudales variables entre 10 m<sup>3</sup>/s y 140 m<sup>3</sup>/s, con un tirante máximo de 5.10 metros. Cabe acotar que en la práctica el límite superior de los caudales viene dado por la altura de la conducción que es solamente de 3.5 metros respecto al punto más bajo de la sección transversal del conducto.

Durante la ejecución de los ensayos se analizaron otros aspectos del escurrimiento, tales como las perturbaciones superficiales (oleaje) y las distribuciones de velocidades.

Las magnitudes que se presentan en este informe están dadas en valor prototipo salvo aclaración expresa en sentido contrario. Los ensayos fueron realizados en escala 1:30, sobre un canal recto sin ningún tipo de singularidad, es decir: curvas, empalmes o derivaciones.

## 2-INSTALACIONES E INSTRUMENTAL:

El estudio se desarrolló en un canal ubicado en el Taller del Laboratorio de Hidráulica Aplicada (Fig. N° 1).

Este canal tiene una longitud de 10.5 metros, un ancho de 0.60 metros y una profundidad de 0.50 metros. La pendiente de fondo es de 0.0012 (modelada con un nivel PENTAX-M2S) y su capacidad de bombeo máxima es de 85 lts/s, lo que permite cubrir el rango de caudales de ensayo holgadamente.



Un dispositivo de quietamiento conformado por tubos plásticos de pequeño diámetro evita las perturbaciones al ingresar el agua al canal, ésta se distribuye en forma uniforme ingresando simultáneamente a los cinco sub-canales conformados por los tabiques y paredes laterales.

Para medir los niveles de superficie libre del escurrimiento se instalaron cuatro limnímetros de precisión OTT-R81 a cada uno de los cuales le correspondían cinco tomas de presión ubicadas en el centro de cada sub-canal. La ubicación de las tomas piezométricas puede observarse en la Fig. Nº 1.

El control de niveles de aguas abajo se efectúa mediante una compuerta de paso pequeño a los efectos de modificar la pendiente superficial del escurrimiento y lograr establecer un régimen uniforme. El sistema de alimentación y el circuito seguido por el agua se presenta en la Fig. Nº 1.

El aforo de los caudales se efectuó mediante un vertedero Rebhock rectangular para valores superiores a 50 m<sup>3</sup>/s, mientras que para gastos inferiores fue aforado con un vertedero triangular (en ambos casos se cumplieron las normas I.S.O. (Ref. Nº 3)

Una ventana de observación de 3.20 metros ubicada en el tramo medio del canal permite la correcta visualización del estado de escurrimiento en diferentes situaciones.

Para las mediciones directas de velocidad se utilizó un micromolinete Delft de laboratorio, ubicando la Hélice a 0.2 y 0.8 del tirante. Los valores obtenidos se promediaron y cada uno resultó de un número mínimo de tres lecturas integradas en 10 segundos (modelo).

Además se realizaron mediciones de la oscilación de la superficie mediante un medidor de alturas de olas Delft, de tipo resistivo, cuya señal fue registrada en papel en un graficador Gould de dos canales.

### 3-SEMEJANZA:

El equilibrio dinámico de un volumen de control en un corriente se establece bajo la acción de las siguientes fuerzas fundamentales: de gravedad, de inercia, viscosa, de energía superficial, y de rozamiento.

Tratándose de un escurrimiento a superficie libre, la viscosidad (para números de Reynolds en el modelo mayores a 1200) y la energía superficial pueden despreciarse.

En esas condiciones, modelo y prototipo serán hidrodinámicamente semejantes si, guardándose la similitud geométrica, se cumple la invariabilidad del número de Froude:

$$F^* = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

relación que liga velocidades y dimensiones lineales.

Designando eL a la escala de longitudes definida como longitud del prototipo dividida por la longitud homóloga del modelo, la condición de semejanza de Froude permite obtener la escala de velocidades eV, de tiempos eT, y la escala de caudales eQ utilizadas en el estudio.

Para el caso en estudio se adoptó una escala de longitudes eL=30, de la que resultan los siguientes valores de las restantes escalas.

$$\begin{aligned} eV &= eL = 5.48 \\ eQ &= eL^{5/2} = 4929.5 \\ eT &= eL = 5.48 \\ ey &= 1 \\ eF &= eL^3 = 27000 \end{aligned}$$

#### 4-ENSAYOS CON TABIGUES

##### 4-1-Metodología:

Todos los ensayos se efectuaron en régimen uniforme, a superficie libre, estableciéndose un caudal constante en el vertedero de aforo.

La medición de los tirantes, referidos al punto más bajo de la sección, se hizo a través de limnímetros de precisión, por diferencia de lecturas directa de superficie y fondo. Mediante el accionamiento de la compuerta y la lectura en los limnímetros se estableció un mismo tirante de agua a lo largo del canal, lo que implica una pendiente de la superficie libre igual a la pendiente de fondo (lo que se verificó en todos los casos y para cada uno de los sub-canales que conforman la conducción como consecuencia de la presencia de los tabiques longitudinales).

En tales circunstancias se registraron los principales parámetros que gobiernan el escurrimiento.

El detalle completo de los ensayos realizados, en valores modelo, figura en la Tabla N° 1.

##### 4-2-Ensayos:

Un esquema de la canalización con tabiques se presenta en la Fig. N° 1 y en las Fotos N° 1 y N° 2. Los tabiques del modelo son de acrílico que junto al enduido de las paredes y fondo del canal de ensayo respetan las condiciones de rugosidad del prototipo.

Los tabiques tienen una longitud de 5 metros, con una separación entre hileras de 3.60 metros y se enumeraron del (1) al (5) a partir de la margen izquierda.

Dado que el cálculo hidráulico de una canalización con tabiques no encierra mayores dificultades (puesto que la sección de pasaje y el radio hidráulico están perfectamente definidos), una vez establecido el régimen uniforme en el modelo, se registraron los principales parámetros que gobiernan el escurrimiento:

- \*i= pendiente superficial.
- \*h= tirante del escurrimiento.
- \*Q= caudal de ensayo.

para luego evaluar mediante la expresión de Chezy-Manning el coeficiente de rugosidad.

$$nt = \frac{1}{Q} (Rh)^{2/3} A (i)^{1/2}$$

Los resultados de los ensayos se presentan en la Tabla N° 2.

La semejanza entre modelo y prototipo es posible para un amplio rango de caudales si trabajan en régimen turbulento rugoso (éste tipo de régimen se desarrolla en prototipo), con números de Reynolds elevados de modo tal que el coeficiente de fricción no dependa de éstos.

Los tres tipos de escurrimientos liso, transición y netamente rugoso se distinguen a partir del tamaño de la relación adimensional  $KsV^*/\nu$  la cual es fácilmente reconocible como un número de Reynolds (Ref. N° 4), por lo que observando sus valores en la Tabla N° 3 vemos que los ensayos en modelo se desarrollan en régimen de transición ( $1 < KsV^*/\nu < 100$ ).

Siendo la escala de Reynolds  $eR=eL^{3/2}$ , el número de Reynolds en el prototipo resulta ser 164 veces mayor que en el modelo, esto da por resultado que en el modelo se obtuviera una rugosidad adicional que no es representativa de lo que ocurre en la realidad. Es por ello que se adoptó un valor de rugosidad conservativo a los efectos de evaluar la curva de descarga en situación del canal entabicado.

Consultando la bibliografía (Ref. N° 5) y analizando el estado de conservación del conducto prototipo, un valor razonable del coeficiente de rugosidad de Manning de  $n=0.0015$  fue adoptado.

De esta forma, a través de la expresión dada por Chezy-Manning, se evaluó la curva de descarga H-Q correspondiente al tramo ensayado. La misma se presenta en la Tabla N° 4 y Fig. N° 2.

En la Fig N<sup>o</sup> 3 y en la Tabla N<sup>o</sup> 5 se presentan los valores correspondientes a las curvas H-Q de la canalización con columnas y tabiques respectivamente. De los mismos se observa una mejora en la capacidad de conducción del entubado entabicado variable, entre 0% para caudales bajos hasta un 37.6% para un tirante de 3.45 metros que correspondería a la máxima capacidad de erogación a superficie libre (a partir del cual el escurrimiento entraría en una zona de transición entre régimen a superficie libre y a presión). En promedio, para el rango de caudales considerados, la mejora en la capacidad de conducción es del 25% con tabiques respecto de la alternativa con columnas.

#### 4-3-Oleaje en el canal:

Las perturbaciones superficiales (oleaje) medidas en modelo no superaron los 2 mm (en prototipo no es más que 6 cm), valor exiguo que en sí mismo no implica un limitación en el cálculo de la capacidad máxima del conducto.

En la Foto N<sup>o</sup> 3 se puede observar las perturbaciones originadas para  $Qr = 50$  m<sup>3</sup>/s.

#### 4-4-Medición de velocidades:

Se efectuaron mediciones de velocidades, en dos secciones consecutivas separadas 2 metros en modelo, mediante un micromolineté Delft de laboratorio de 15 mm de diámetro. Ubicando la hélice a 0.2 y 0.8 del tirante los valores obtenidos se promediaron y cada uno resultó de un número mínimo de tres lecturas integradas cada diez segundos (modelo).

Dado que el modelo (entubado entabicado) presenta una mayor resistencia que el que se observaría en prototipo como fuera explicado en el punto 4-2, la escala de velocidades es un poco mayor que la Froudiana  $v = (gL)^{3/2}$ .

En la Figs. N<sup>o</sup> 4 y N<sup>o</sup> 5 se presentan los diagramas de velocidades adimensionales referidos a la velocidad media del escurrimiento para el conducto entabicado al unir longitudinalmente los ejes de las columnas existentes.

Además en la Figs. N<sup>o</sup> 6 y N<sup>o</sup> 7 se puede observar la distribución del caudal a través del conducto para los dos casos ensayados.

Observando los valores de velocidad medidos se puede inferir que el escurrimiento prácticamente mantiene su velocidad media (un 97% de ésta) en los subcanales (2) y (4). En (1) y (5) el flujo circula con una velocidad menor que la media (90%), mientras que el subcanal central (1) presenta una velocidad 20% mayor.

Dado que la resistencia media al escurrimiento es la misma en los cinco subcanales que conforman el entubado y que se estableció un régimen uniforme, resulta evidente que la forma geométrica de la sección transversal (tirantes, áreas y perímetros mojados) es la responsable de la distribución de velocidades obtenida. Esto mismo puede apreciarse en la distribución de caudales obtenido.

## 5-ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCION DE UNA DESCARGA LATERAL.

### 5-1-Metodología:

El Arroyo Maldonado es un entubado que recibe los aportes de las distintas subcuencas que se desarrollan a lo largo del mismo. Estos aportes se manifiestan como descargas laterales al entubado.

Ante la necesidad de evaluar la distribución de una descarga lateral al entubado entabicado y el comportamiento general del escurrimiento, se procedió al estudio del mismo.

Para ello se plantearon dos alternativas; una de ellas consistía en considerar los tabiques perforados con orificios considerando distintos diámetros (0.60, 0.90, 1.20 metros). Así para cada uno de ellos, estudiar el comportamiento del flujo ante una descarga lateral creciente y su distribución por los cinco subcanales del entubado entabicado.

La otra posibilidad de estudio consistía en extraer del conducto, en principio, cuatro tabiques en sentido diagonal a partir de la desembocadura de la descarga lateral, a los efectos de lograr una mejor repartición del mismo a través de los subcanales que conforman el conducto (Fig. Nº 8). Establecido un caudal de régimen, se estudio el comportamiento del escurrimiento para distintos caudales laterales. Posteriormente se retiraron ocho tabiques (Fig. Nº 9) y se efectuaron los ensayos en la forma anteriormente mencionada. Finalmente se estudio el comportamiento del entubado entabicado, ante descargas laterales crecientes quitando hasta doce tabiques en la forma indicada en la Fig. Nº 10.

Frente a la dificultad constructiva, en obra, la alternativa de los tabiques perforados fue descartada y en vista de que el comportamiento del entubado extrayendo tabiques arrojaría resultados análogos, con una metodología económica es que se decidió estudiar la segunda alternativa.

El esquema general de la instalación y los dispositivos de ensayos se presentan en la Fig. Nº 1.

## 5-2-Ensayos.

El esquema de la canalización con tabiques es similar al descrito en el punto 4-2, con la diferencia que en este caso se extraen tabiques a los efectos de lograr una mejor distribución del caudal lateral descargado sobre el conducto entabicado.

Esta descarga proviene del tanque de nivel constante a través de una tubería equivalente a 2.10 metros de diámetro, que descarga en la margen derecha del entubado, y se regula mediante una válvula de control fino como se presenta en la Fig. N° 1 donde además se puede observar el esquema general del canal de ensayos.

Mediante el registro de velocidades, con un micromolineté Delft como se explicara en el punto 4-3, y de los tirantes en cada subcanal del conducto se establecieron los caudales pasantes por cada uno de ellos y la variación que experimentaban los mismos ante descargas laterales crecientes.

Los subcanales del entubado han sido numerados del 1 al 5 a partir de la margen izquierda, esto puede observarse en las Figs. N° 8, N° 9 y N° 10.

Para los distintos casos planteados el número de tabiques extraído condiciona la repartición del flujo de régimen, el lateral y los porcentajes obtenidos.

En las Fotos N° 5, N° 6 y N° 7 se puede observar desde distintas vistas un esquema tipo de los ensayos realizados para el caso en que se extrayeron cuatro tabiques.

Los resultados de los ensayos realizados y el comportamiento del escurrimiento son los siguientes:

Para caudales de régimen de 20 a 30 m<sup>3</sup>/s, en los tres casos estudiados, es decir, quitando cuatro, ocho y doce tabiques en la forma explicada anteriormente, la distribución general del caudal de régimen es bastante similar; un 30% por el subcanal central (3), un 18.8% por los subcanales (2) y (4), y un 16,2 por los subcanales (1) y (5). En las Figs. N° 11, N° 12 y N° 13 se presentan tales porcentajes.

De los ensayos realizados quitando 4 y 8 tabiques se observa que a medida que la descarga lateral va creciendo el subcanal (4) es el que recibe el mayor aporte, mientras que el (5) va perdiendo capacidad de transporte (Fig. N° 14 y Fig. N° 15). El resto de los subcanales presentan un porcentaje de distribución dependiente de cada caso en particular.

En las Figs. N° 16 y N° 17 se presenta la distribución del caudal total (caudal de régimen + caudal lateral) resultante, para ambos casos analizados.

Para el rango de caudales mencionados, los ensayos efectuados quitando 12 tabiques permiten inferir que, ante una descarga lateral los subcanales (3) y (4) son los que reciben el

mayor aporte, mientras que a medida que aumenta ésta se descargan el (4) y el (5) y crece el caudal del subcanal (3). (Fig. Nº 18).

Esto indica un comportamiento diferente a los dos casos citados anteriormente.

La Fig. Nº 19 muestra la distribución general del caudal ( $Q_r+Q_l$ ) transportado por el conducto principal.

Una constante de los tres casos analizados es la disminución paulatina del transporte del subcanal (5) a medida que aumenta la descarga lateral, mientras los (3) y (4) son los que transportan mayor caudal. Esto se puede observar en las Fig. Nº 16, Nº 17 y Nº 19.

Para caudales en régimen de 40 a 50  $m^3/s$ , para los tres casos en estudio, se observa una tendencia general que remarca una distribución media de 29% por el subcanal (3), 18.9% por el (2) y (4) y un 16.6% por (1) y (5). (Ver Fig. Nº 20, Fig. Nº 21 y Fig. Nº 22).

Para cada número de tabiques extraídos del conducto se observa un comportamiento de características particulares.

Para el ensayo realizado quitando 4 tabiques, ante una descarga lateral, se aprecia una mayor carga de los subcanales (4) y (5).

Al incrementarse la descarga lateral se observa el aumento del transporte del subcanal (5) (Ver Fig. Nº 23).

La repartición del flujo total (caudal de régimen más caudal lateral) se presenta en la Fig. Nº 24.

Para el ensayo efectuado quitando 8 tabiques del entubado principal se observa, que ante el incremento del caudal lateral hay una paulatina recarga en los subcanales (1), (2) y (3) mientras que en los (4) y (5) el caudal transportado disminuye (Ver Fig. Nº 25).

En la Fig. Nº 26 se presenta la distribución del caudal total para cada descarga lateral considerada.

Las Figs. Nº 27 y Nº 28 muestran los resultados obtenidos para los ensayos quitando 12 tabiques, la primera muestra la repartición del caudal lateral, acusando con el incremento de éste una descarga del subcanal (5) y un mayor aporte por los (3) y (4). La segunda muestra la distribución general del caudal total para cada caso analizado.

Los ensayos realizados extrayendo 4, 8 y 12 tabiques, para un rango de caudales de 50 a 70  $m^3/s$ , permiten establecer una distribución general media del caudal de régimen de 26.4% por el subcanal (3), 19.9% por (2) y (4) y un 16.9% por (1) y (5). Esto se presenta en las Figs. Nº 29, Nº 30 y Nº 31.

Los ensayos efectuados arrojan resultados que muestran una tendencia sistemática, donde a medida que se incrementa el caudal lateral se observa una disminución del transporte (en algún caso prácticamente no hay caudal transportado) por el subcanal (5), mientras que la mayor carga la recibe el (4), incrementándose el caudal transportado en los subcanales (3), (2), y (1) como se puede apreciar en las Figs. N° 32, N° 33 y N° 34.

En las Figs. N° 35, N° 36 y N° 37 se presentan las distribuciones del caudal total (de régimen más lateral) para cada caso estudiado.



## 6-CONCLUSIONES

\* El canal entabicado en un tramo recto sin desgarga lateral, para un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.015, tiene una capacidad de conducción máxima a superficie libre de 127 m<sup>3</sup>/s para un tirante de 3.45 m respecto del punto más bajo de la sección transversal.

\* Se obtiene una mejora de 37.6% en la capacidad máxima de erogación a superficie libre en el entubado entabicado respecto del conducto con columnas.

\* El diseño del Arroyo Maldonado con tabiques es tal que en un tramo recto no genera oleaje de importancia según pudo observarse en los ensayos realizados.

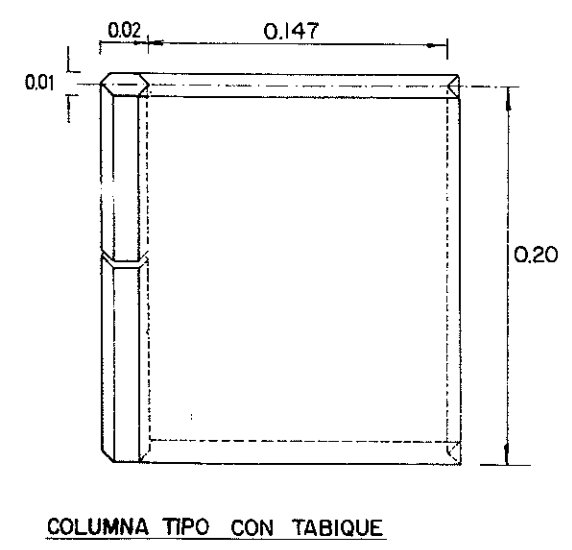
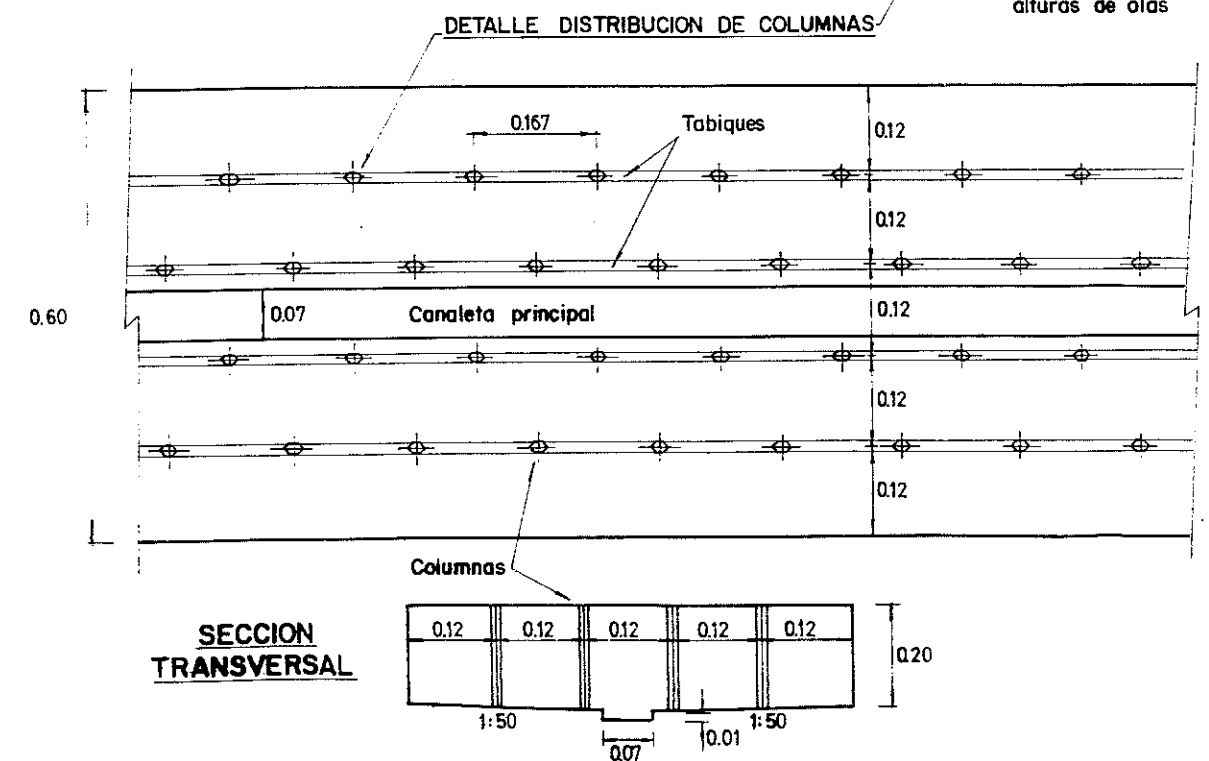
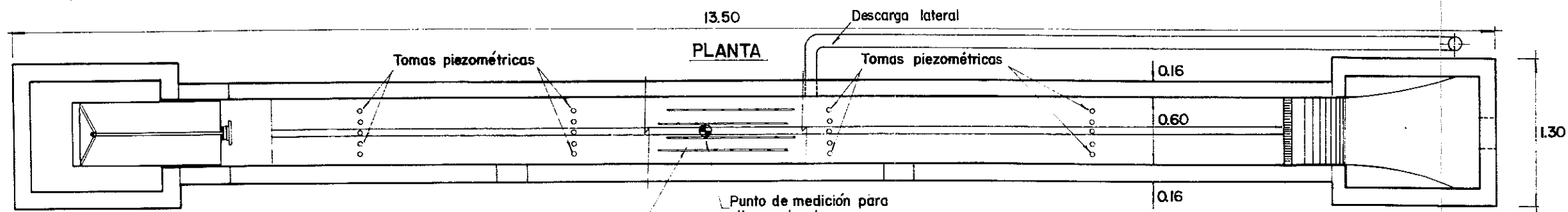
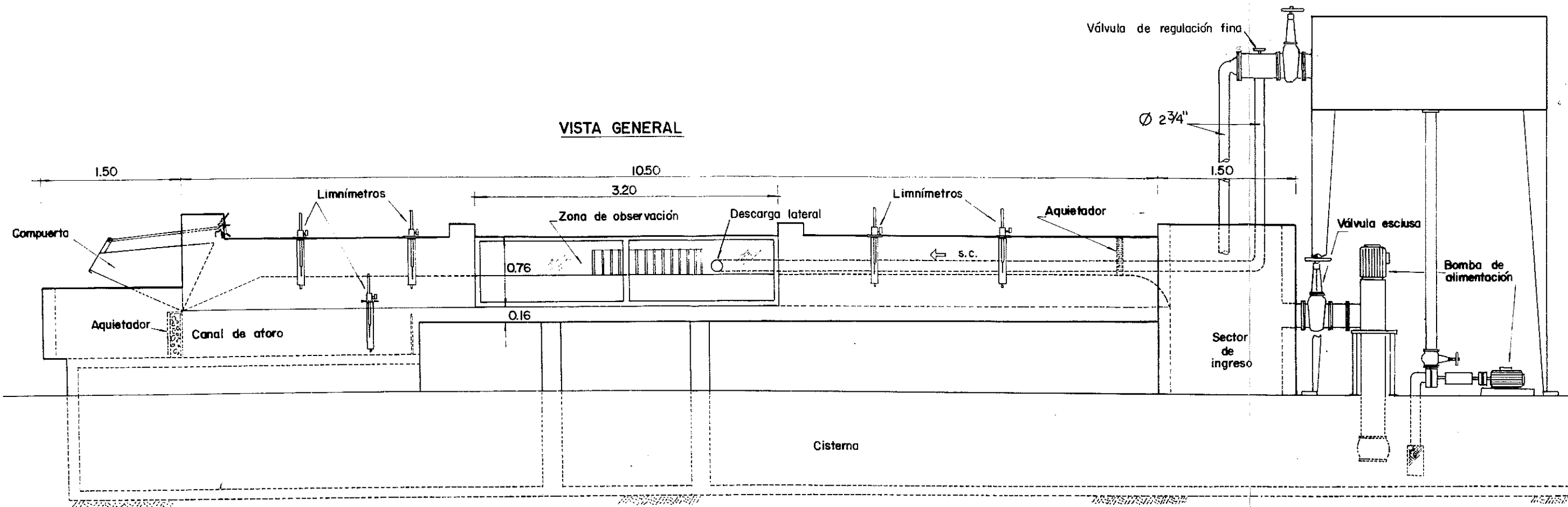
\* De las mediciones directas de velocidades resultó una distribución de caudales no uniforme, como se describe en el punto 4-3, con un máximo en el canal central.

\* De los ensayos efectuados de redistribución de aportes laterales dentro del entubado se concluyó que: es suficiente retirar cuatro (4) tabiques en una diagonal transversal al conducto. La remoción de una mayor cantidad de tabiques tiende a desmejorar la distribución de caudales.

## BIBLIOGRAFIA

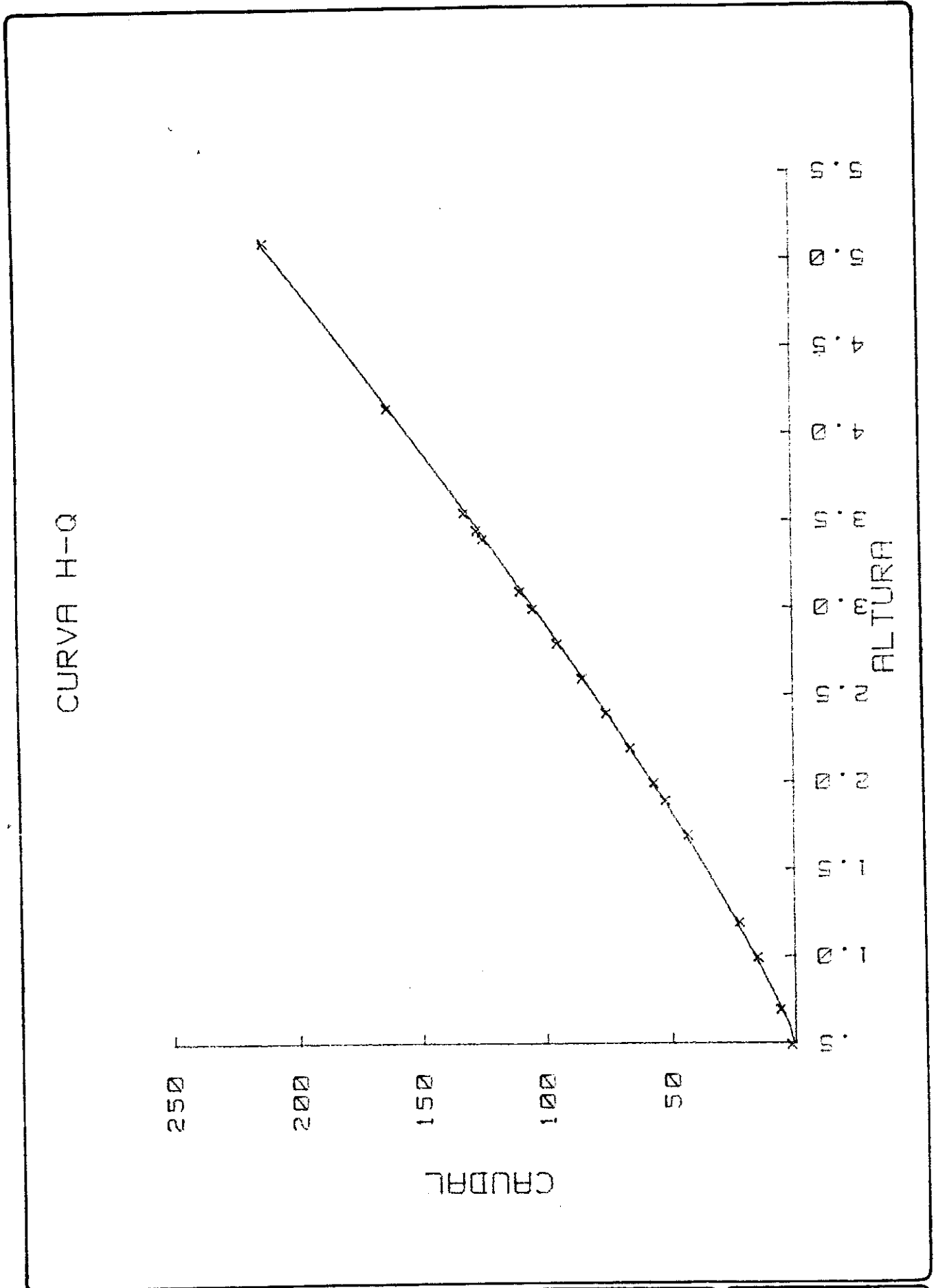
- (1) Daniel Barrionuevo, Daniel Brea, Juan Hopwood.  
Estudio de la capacidad de descarga del Arroyo Maldonado  
LHA-090-01-88.
- (2) Ings. Roberto J. Perazzo y Alberto A. Lagos. O.S.N  
Estudio del Movimiento Turbillonario, en canalizaciones  
rectangulares, producido por columnas que interrumpen  
una corriente de agua, y su comparación con tabiques  
longitudinales.
- (3) Normas I.S.O (International Organization For  
Standardization)
- (4) F. M. Henderson  
Open Channel Flow
- (5) Ven Te Chow.  
Hidráulica de Canales Abiertos  
México, 1982.
- (6) M. de Vries.  
Scale Models in Hidraulic Engineering-International  
Institute for Hidraulic and Environmetal Engineering  
Delft, Mayo 1977.
- (7) I.E. Idelcik  
Memento des Pertes de Charge.  
Eyrolles. Paris.

FIGURAS



**INCYTH**  
**LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA**  
**ESTUDIO MODELO FISICO ARROYO MALDONADO**

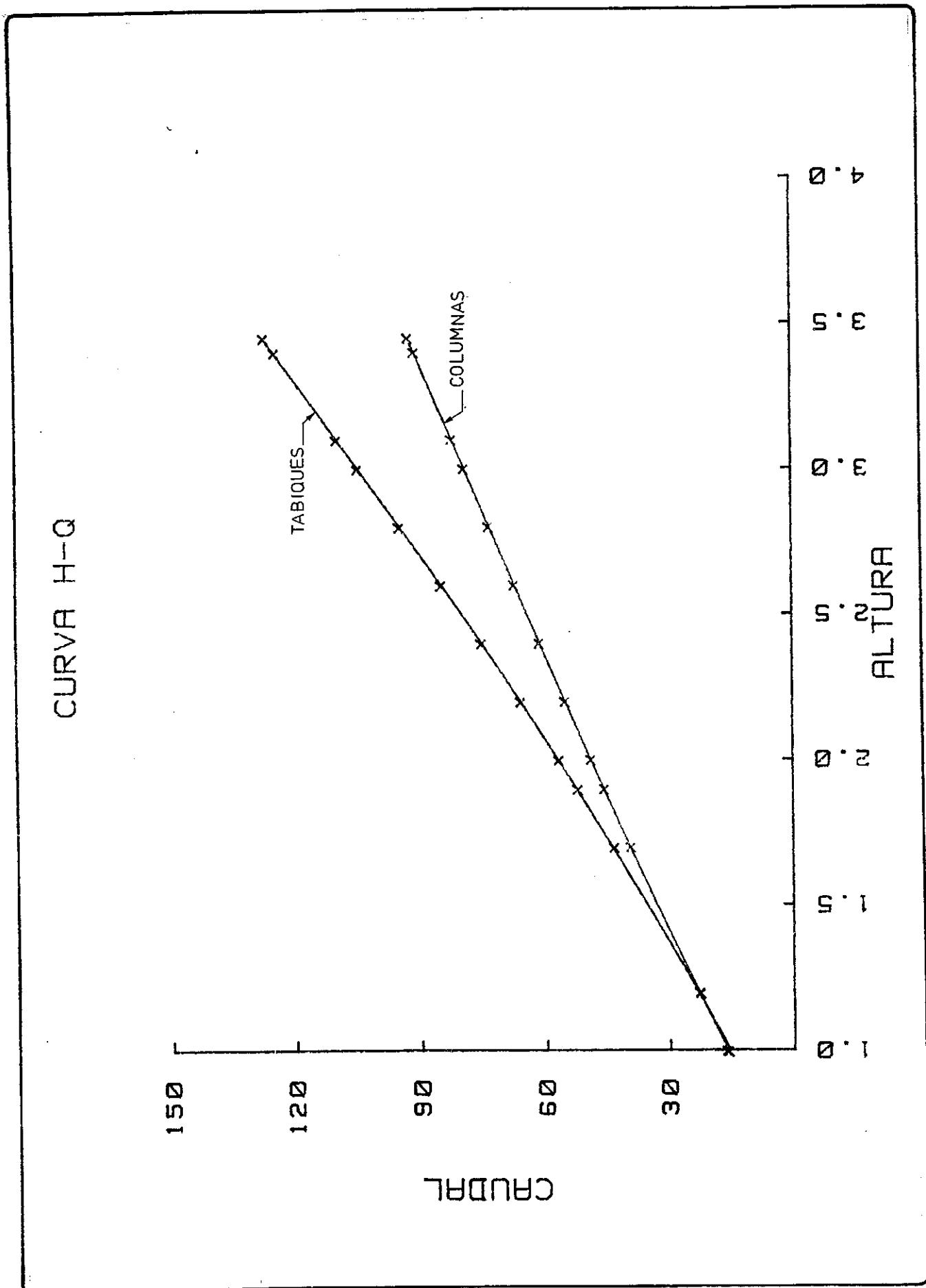
Figura Nº 1



FORM.LHA-3

CURVA DE DESCARGA ALTURA-CAUDAL (CANALIZACION CON TABIQUES)

Fig. N° 2

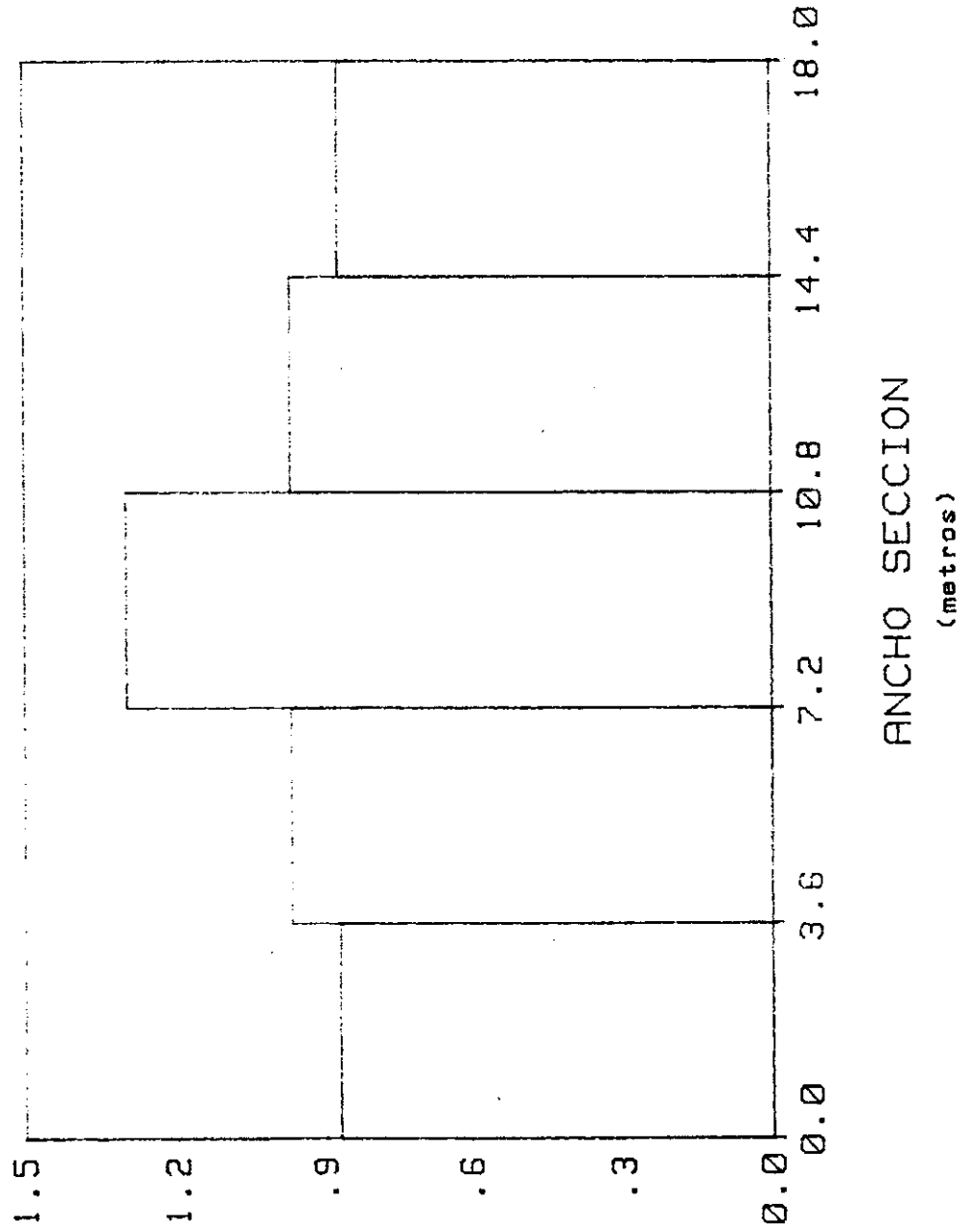


FORM.LHA-3

CURVAS DE DESCARGA ALTURA-CAUDAL (PARA TABIQUES Y COLUMNAS)

Fig. N° 3

DISTRIBUCION DE VELOCIDADES  
 $Q_r = 49.9 \text{ m}^3/\text{s}$



VEL. /VEL. MEDIA

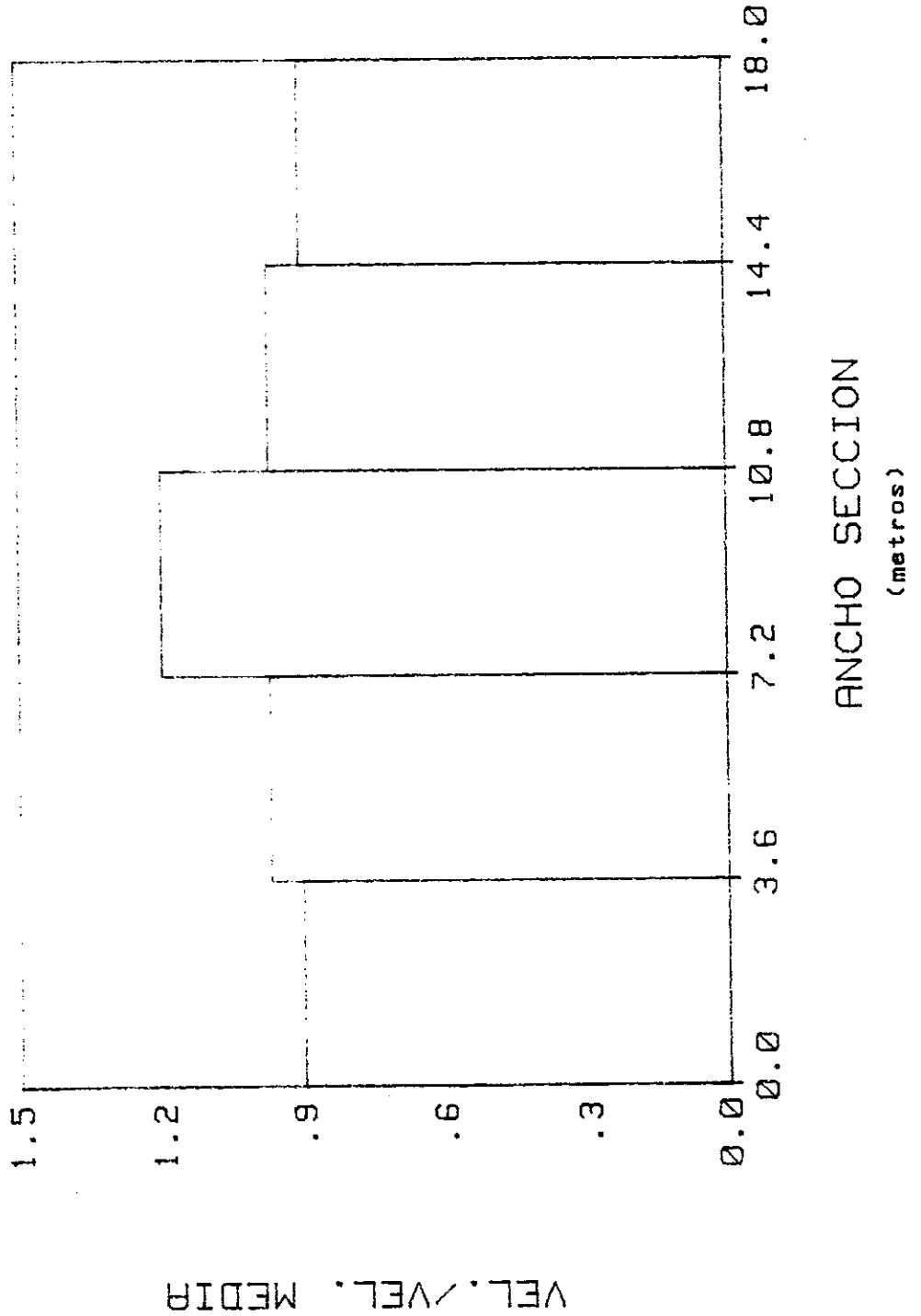
FORM.LHA-3

DIAGRAMA DE VELOCIDADES

Fig. N° 4

DISTRIBUCION DE VELOCIDADES

$Q_r = 107 \text{ m}^3/\text{s}$



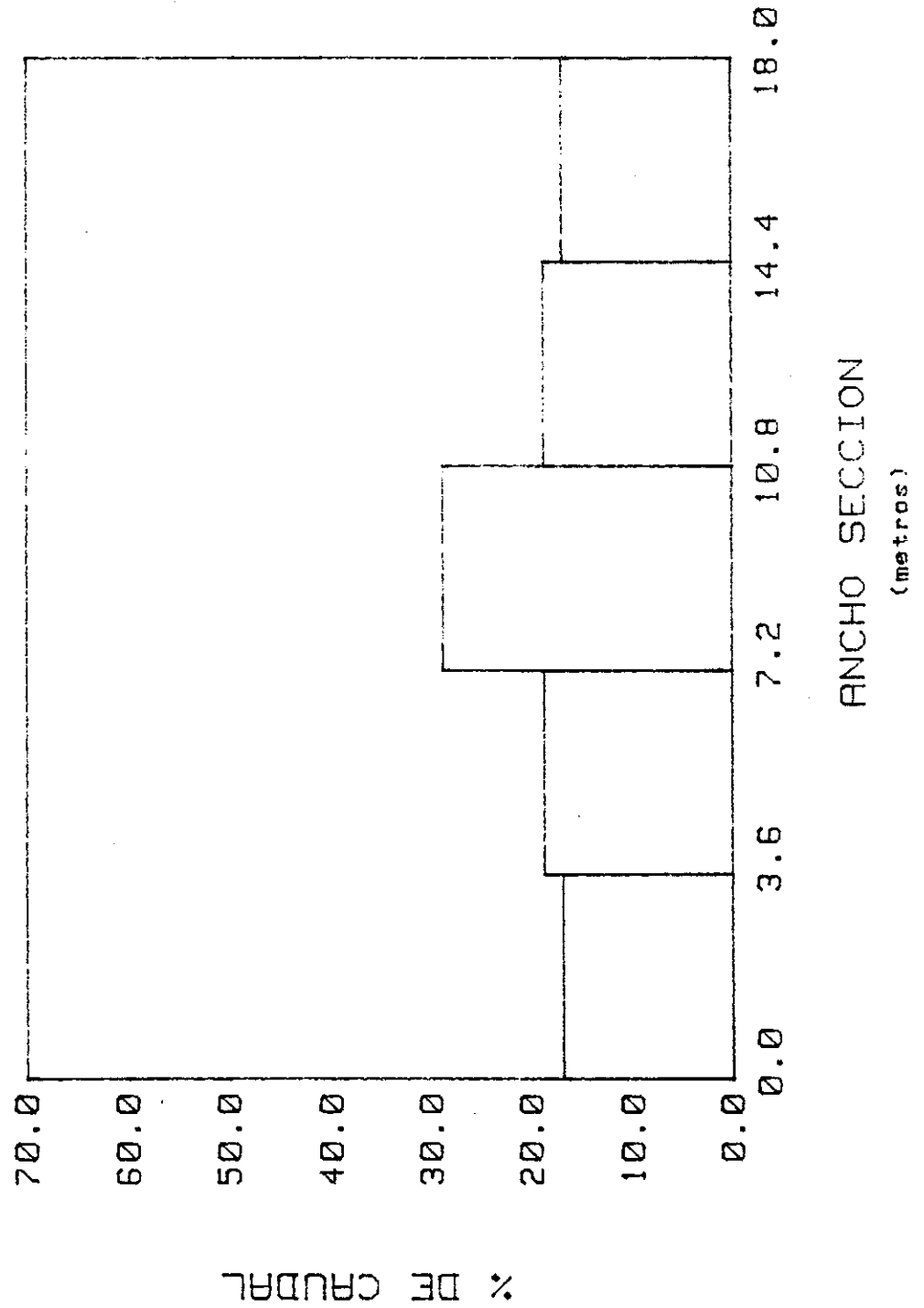
FORM.LHA-3

DIAGRAMA DE VELOCIDADES

Fig. N° 5



DISTRIBUCION DE CAUDALES  
 $Q_r = 49.9 \text{ m}^3/\text{s}$

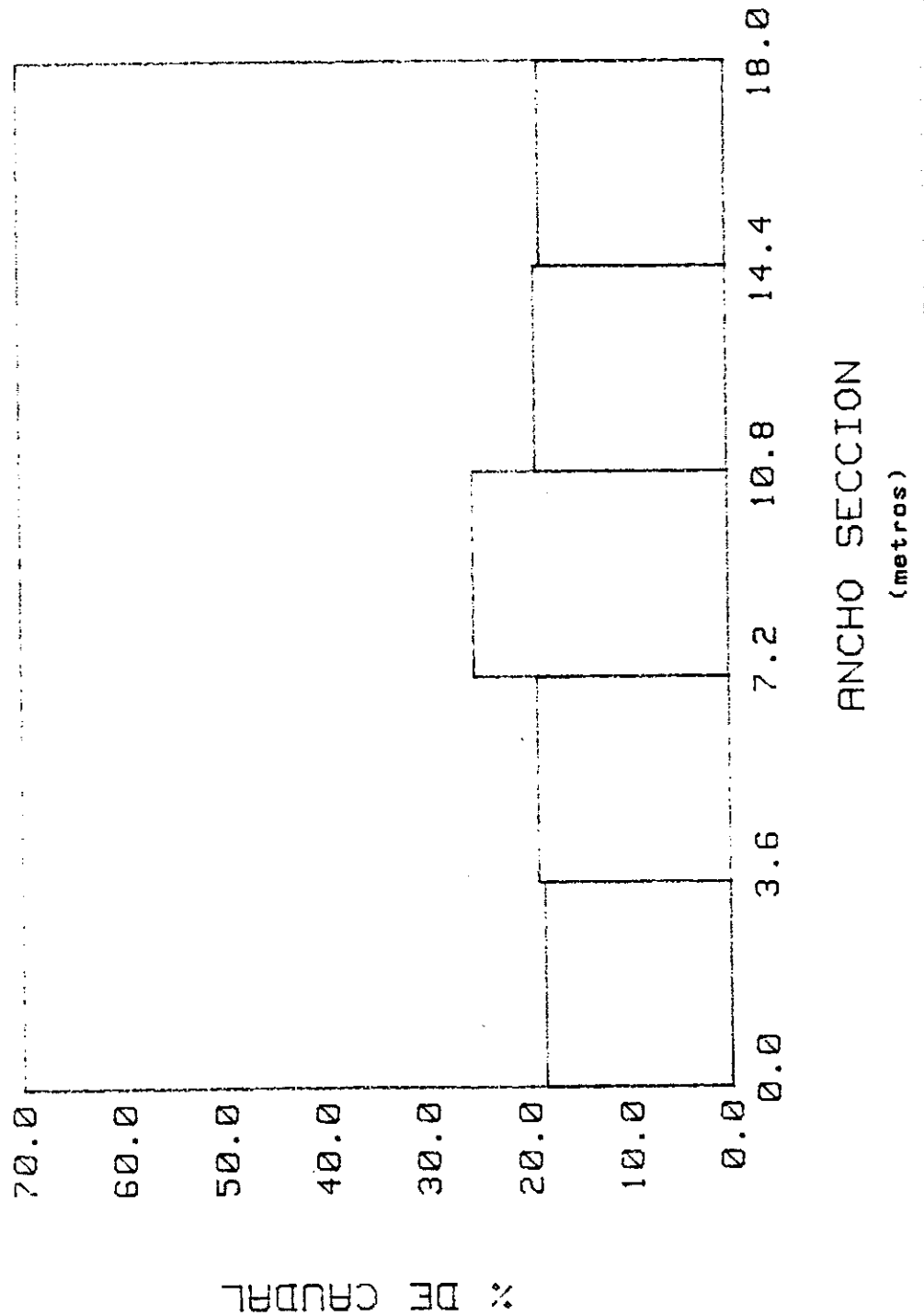


FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN

Fig. N°6

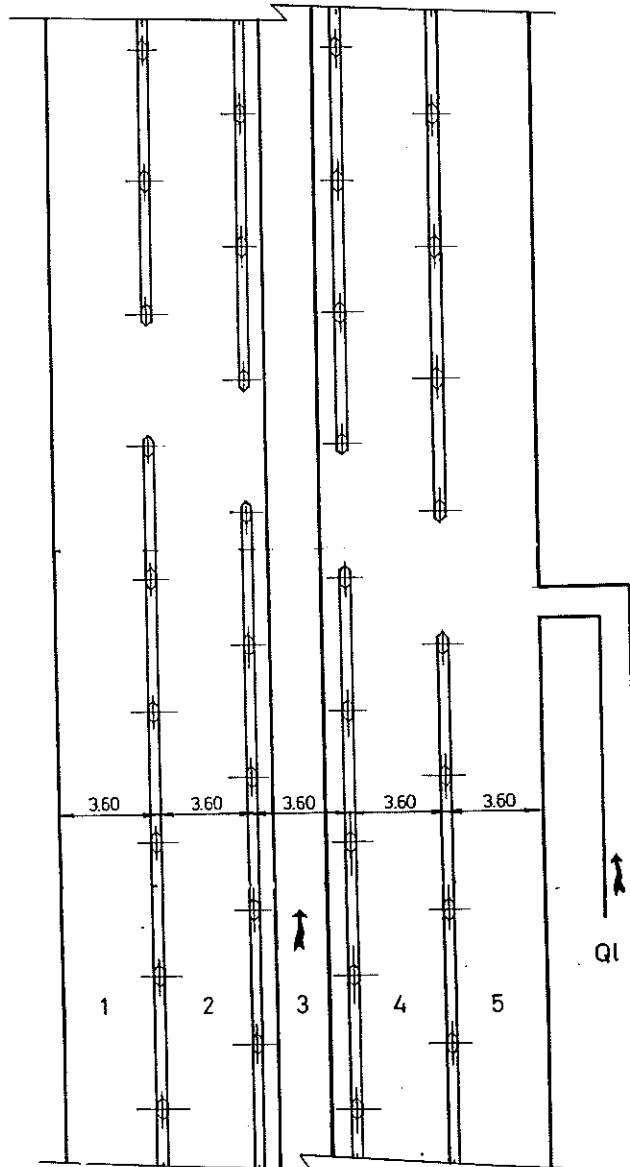
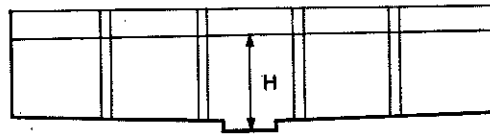
DISTRIBUCION DE CAUDALES  
 $Q_r = 107 \text{ m}^3/\text{s}$



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN

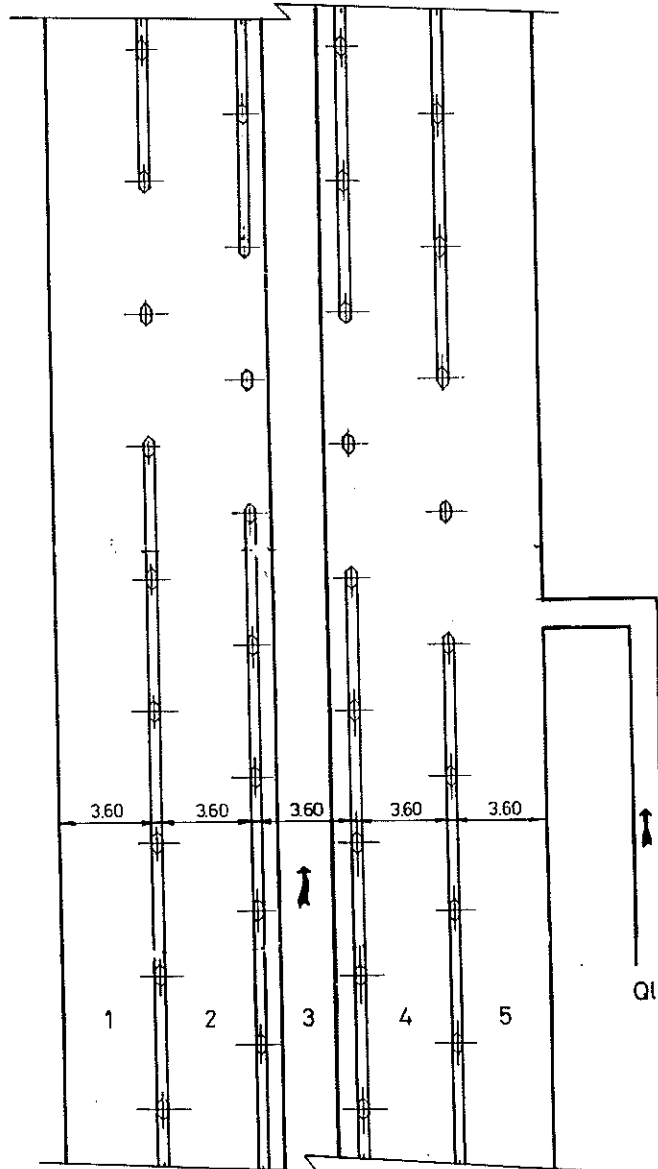
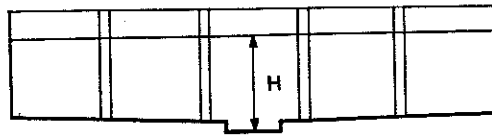
Fig. N° 7



FORM.LHA-3

ESQUEMA DEL CANAL DE ENSAYO RETIRANDO  
CUATRO TABIQUES

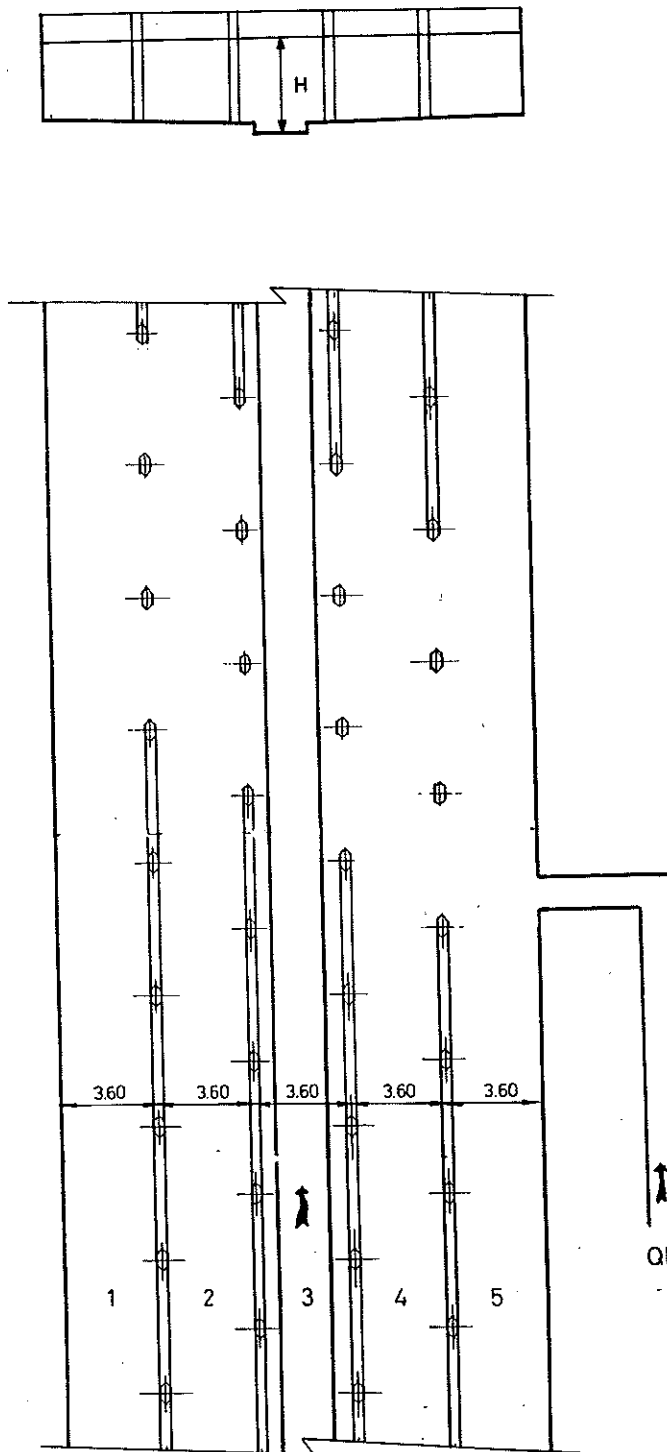
Fig. N° 8



FORM.LHA-3

ESQUEMA DEL CANAL DE ENSAYO RETIRANDO OCHO TABIQUES.

Fig. N° 9



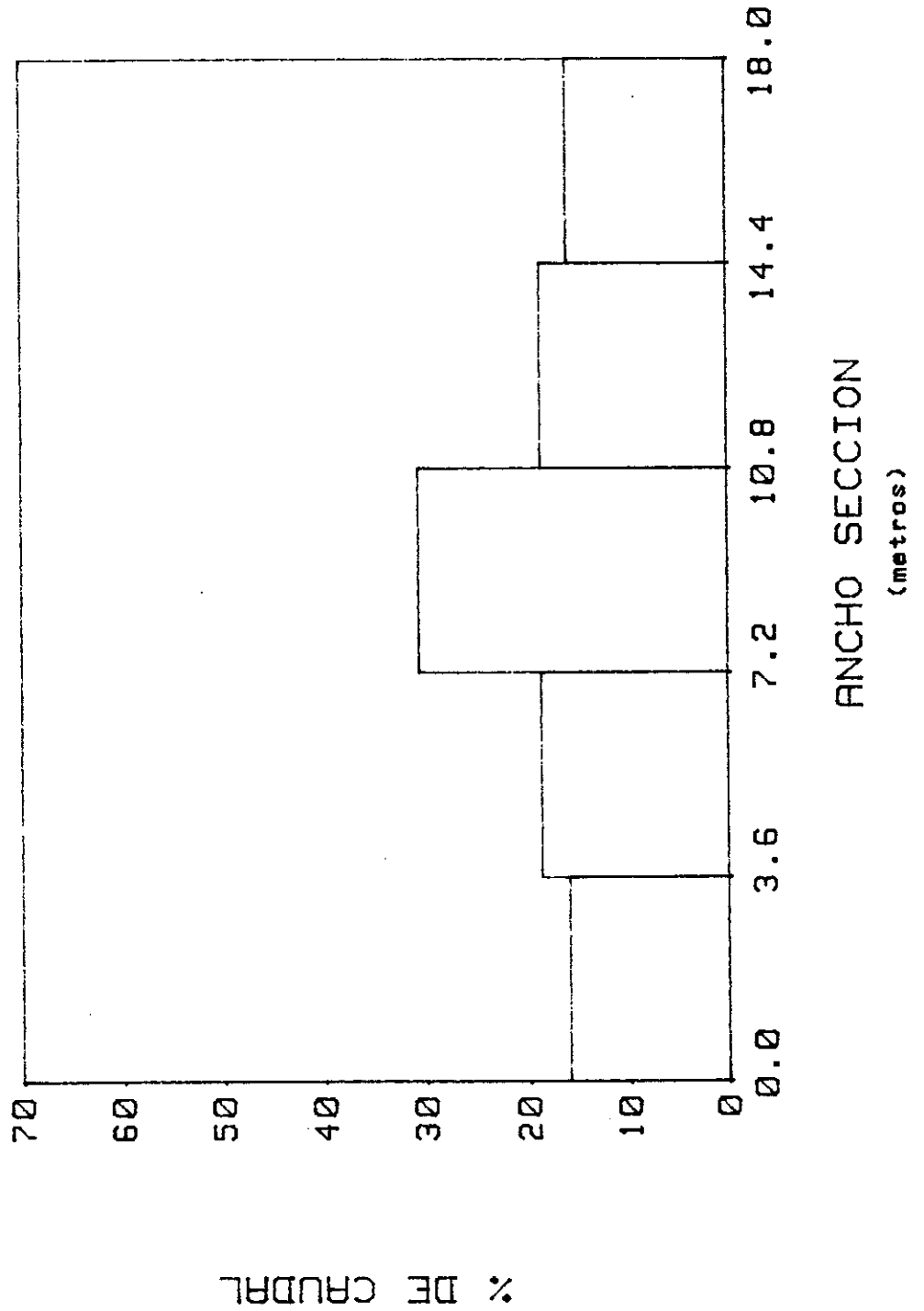
FORM.LHA-3

ESQUEMA DEL CANAL DE ENSAYO RETIRANDO DOCE TABIQUES.

Fig. Nº 10

**ENSAYOS EFECTUADOS PARA UN RANGO DE CAUDALES  
DE 20 A 30 m<sup>3</sup>/s, RETIRANDO CUATRO, OCHO Y DOCE TABIGUES**

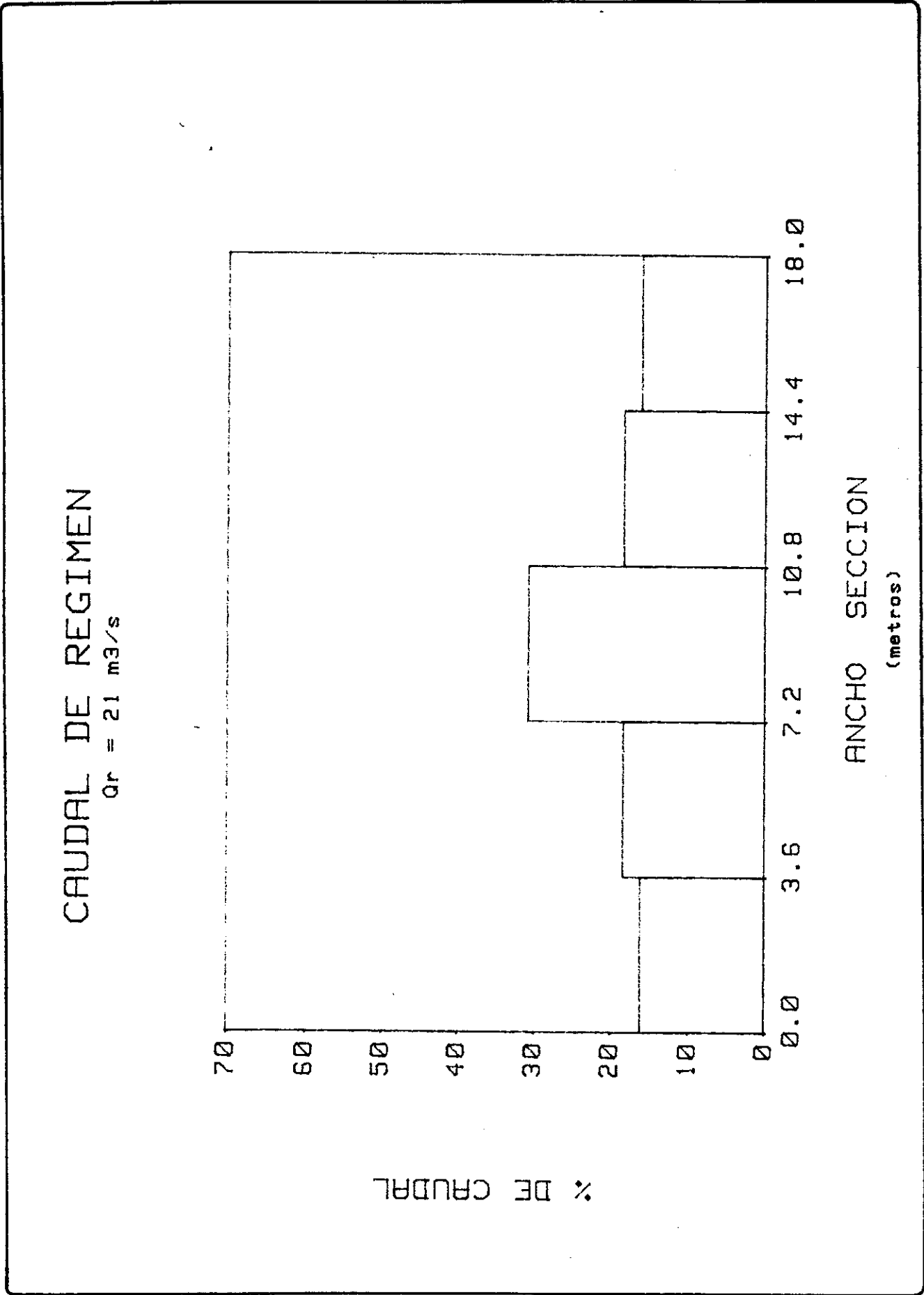
CAUDAL DE REGIMEN  
 $Q_r = 29.4 \text{ m}^3/\text{s}$



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
 (ensayos quitando cuatro tabiques)

Fig. N° 11



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
 (ensayo quitando ocho tabiques)

Fig. N° 12



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
(ensayos quitando doce tabiques)

CAUDAL DE REGIMEN  
 $Q_r = 21.5 \text{ m}^3/\text{s}$

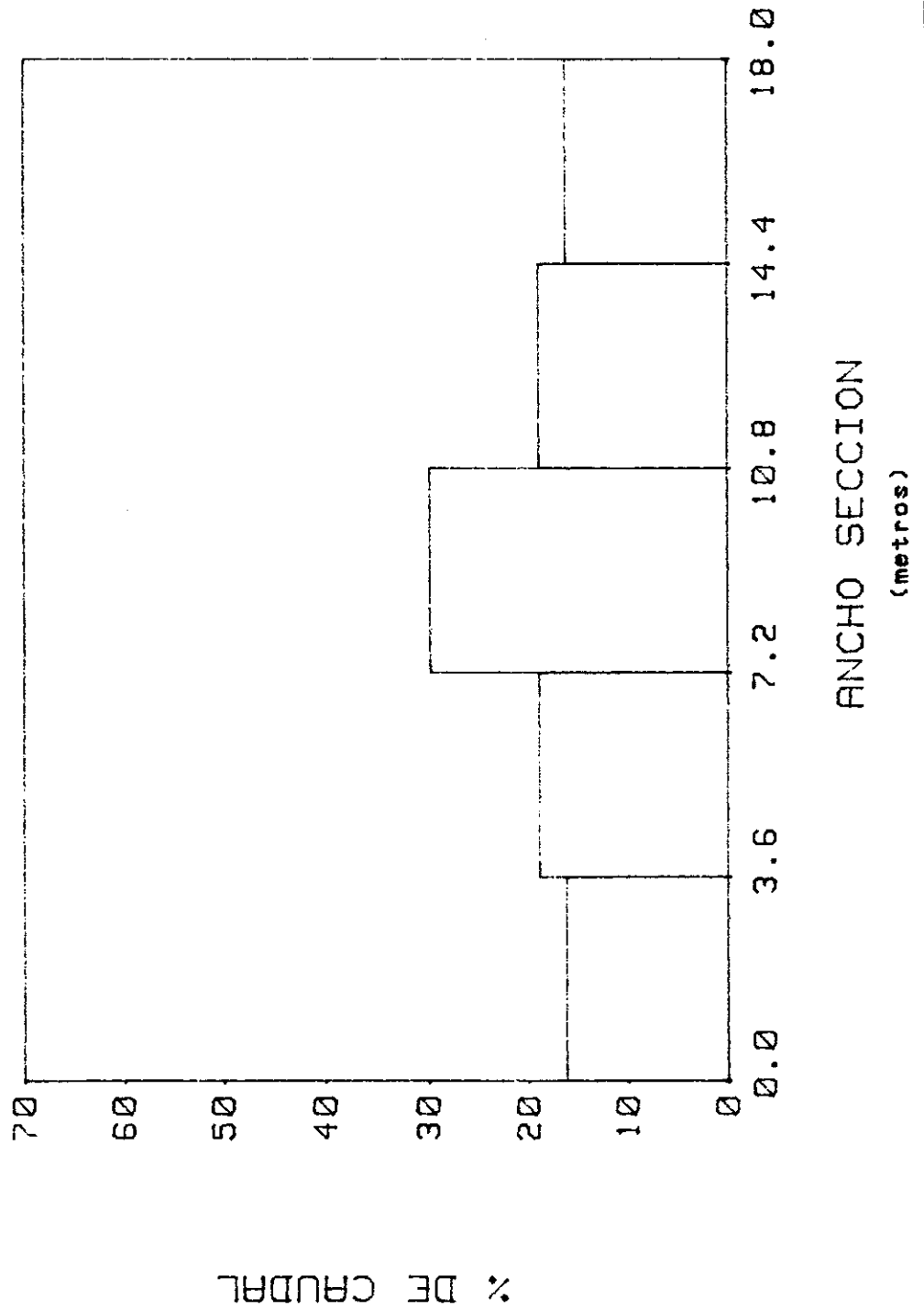


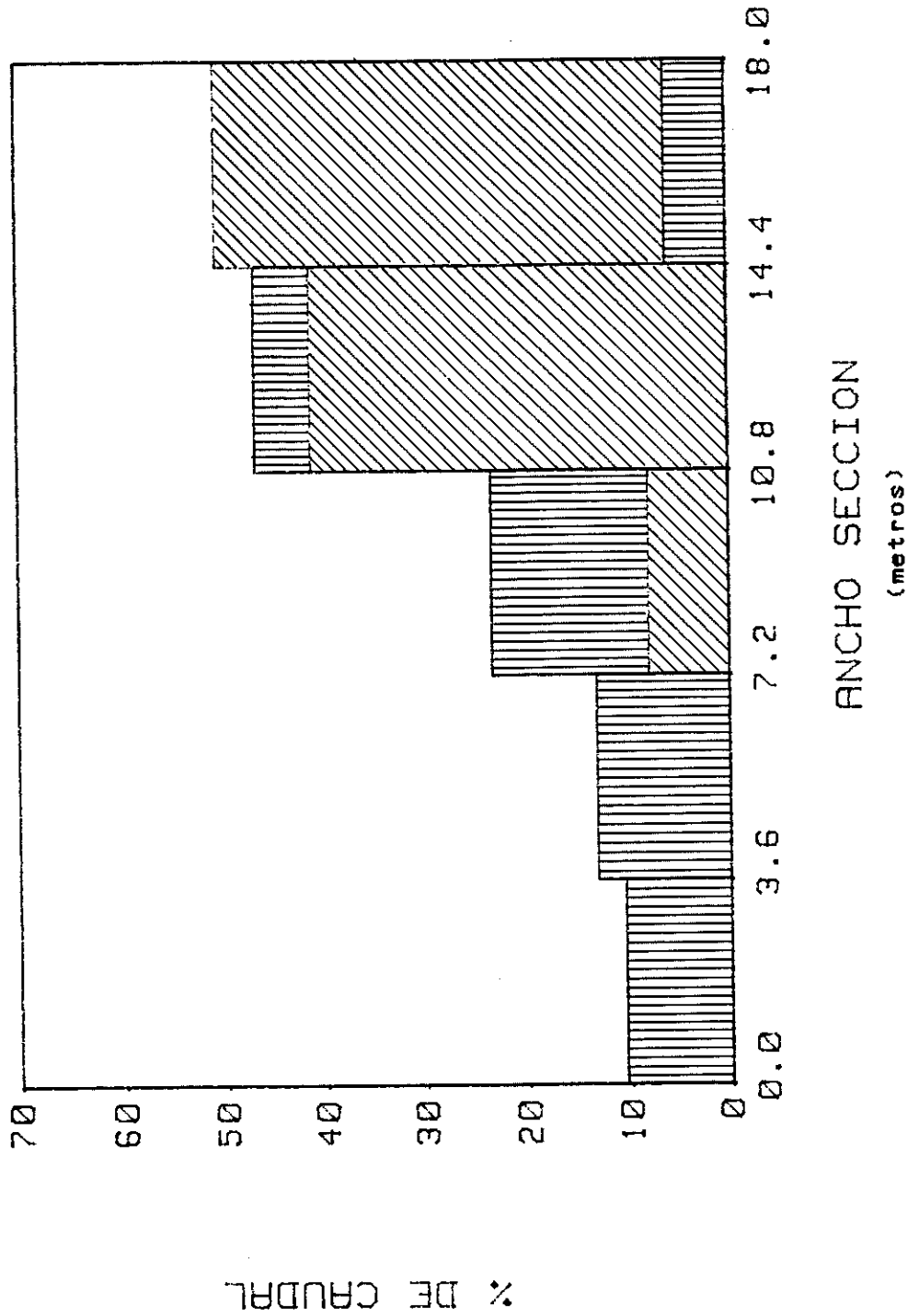
Fig. N° 13

FORM.LHA-3

CAUDALES LATERALES

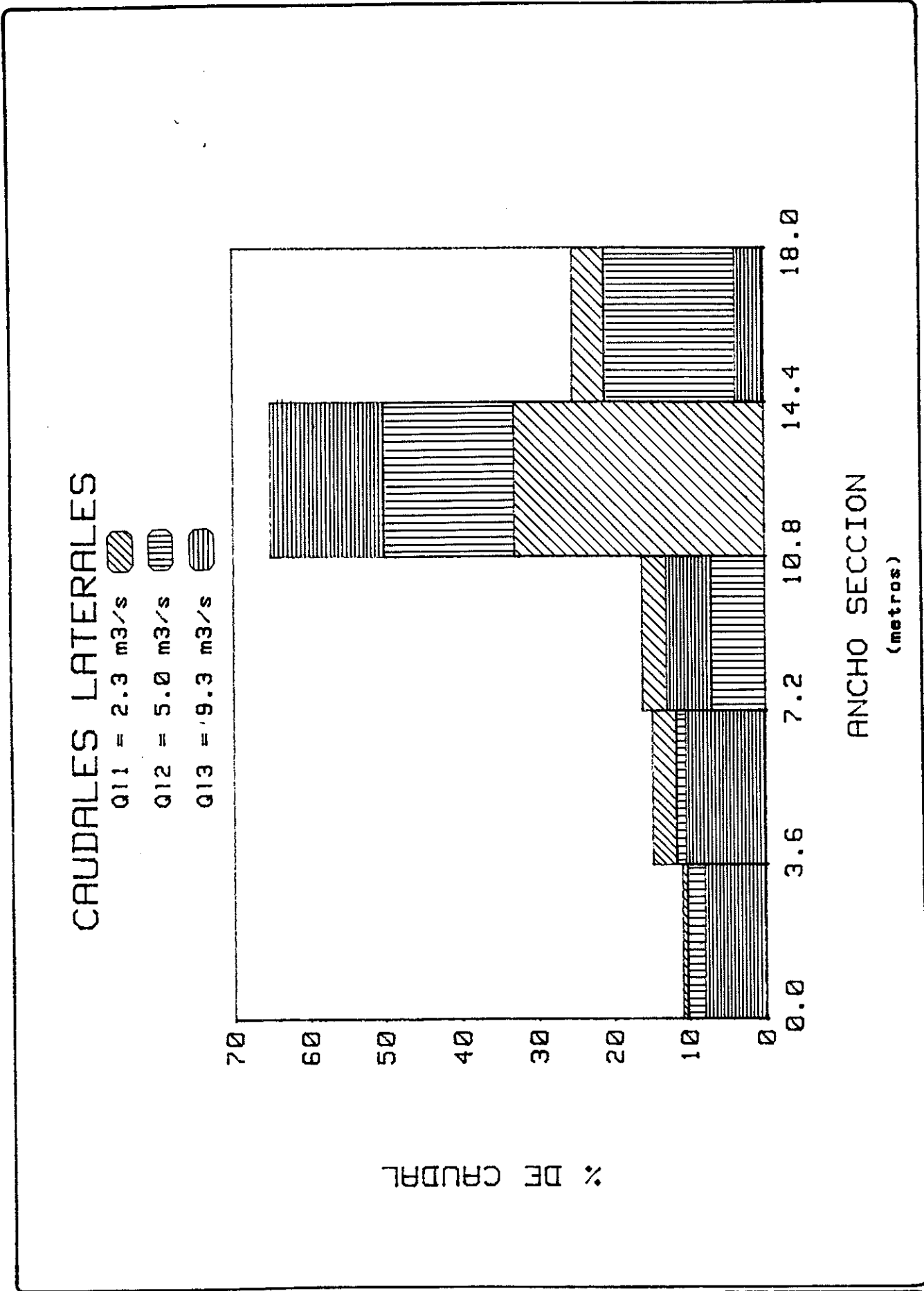
Q11 = 3 m<sup>3</sup>/s

Q12 = 9.7 m<sup>3</sup>/s



DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando cuatro tabiques)

Fig. N° 14



FORM.LHA-3

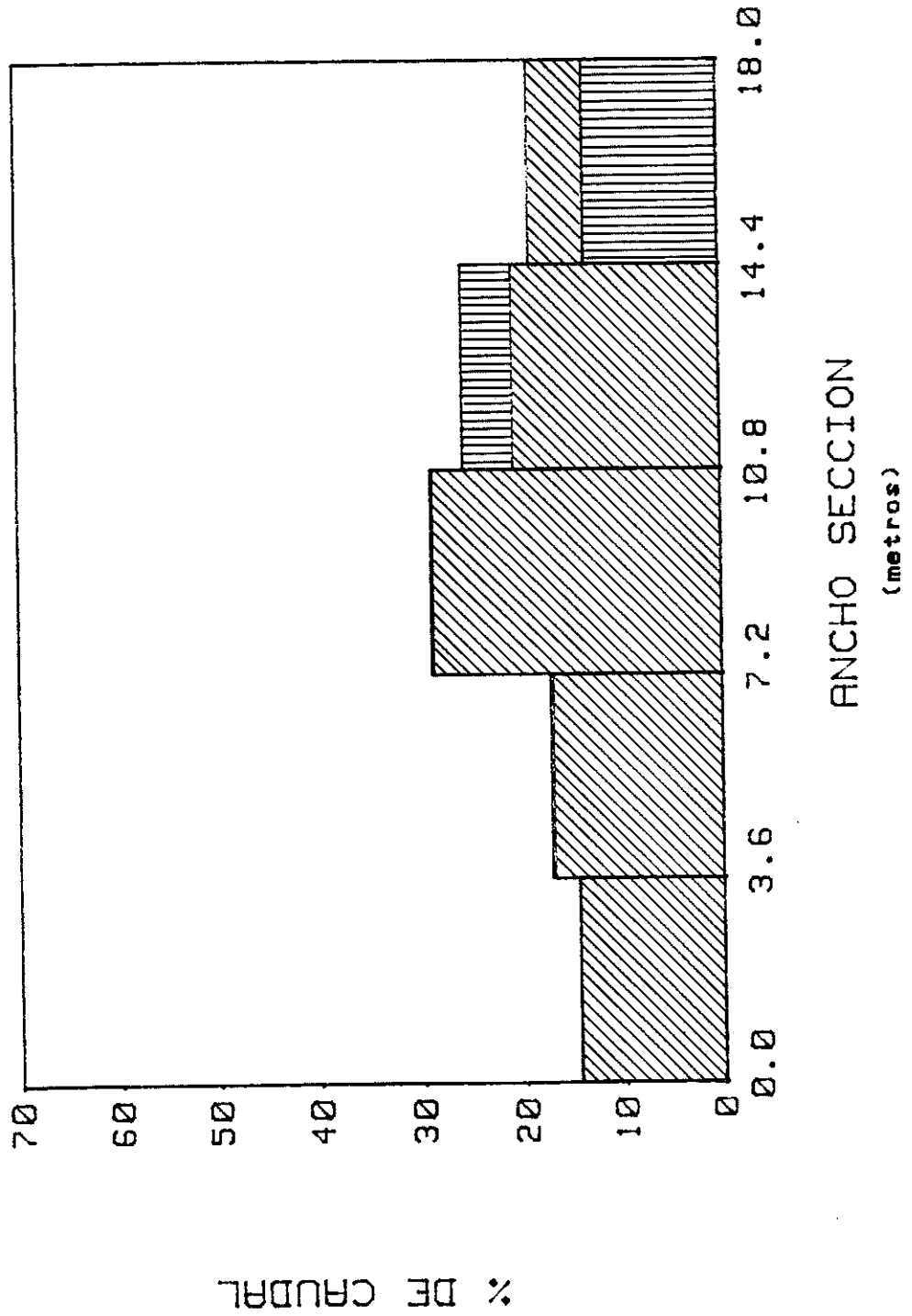
DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando ocho tabiques)

Fig. N° 15

CAUDALES TOTALES

Qt1 = 32.4 m<sup>3</sup>/s

Qt2 = 39.1 m<sup>3</sup>/s



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES  
(ensayos quitando cuatro tabiques)

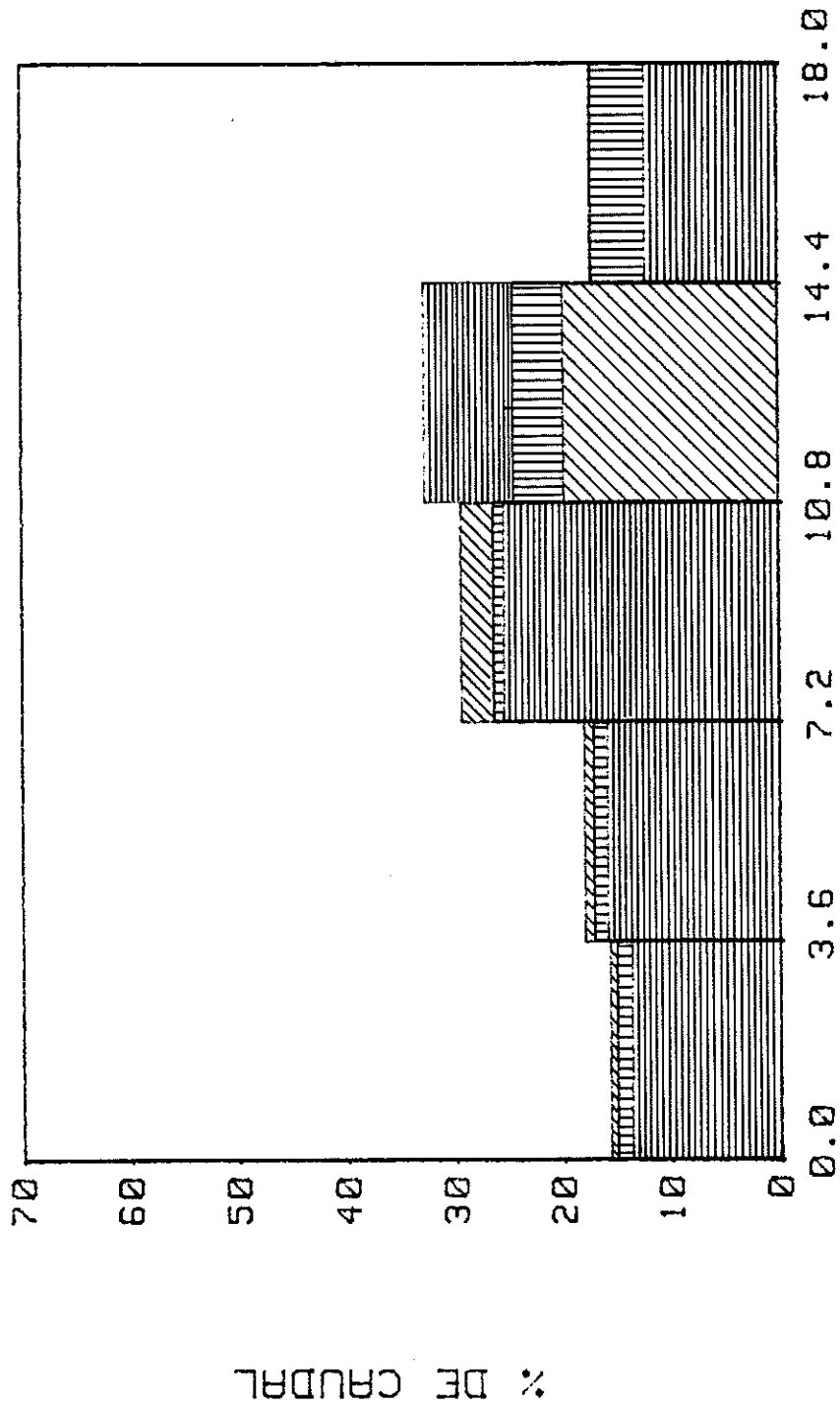
Fig. N° 16

CAUDALES TOTALES

Qt1 = 23.3 m<sup>3</sup>/s

Qt2 = 26 m<sup>3</sup>/s

Qt3 = 30.3 m<sup>3</sup>/s



ANCHO SECCION  
(metros)

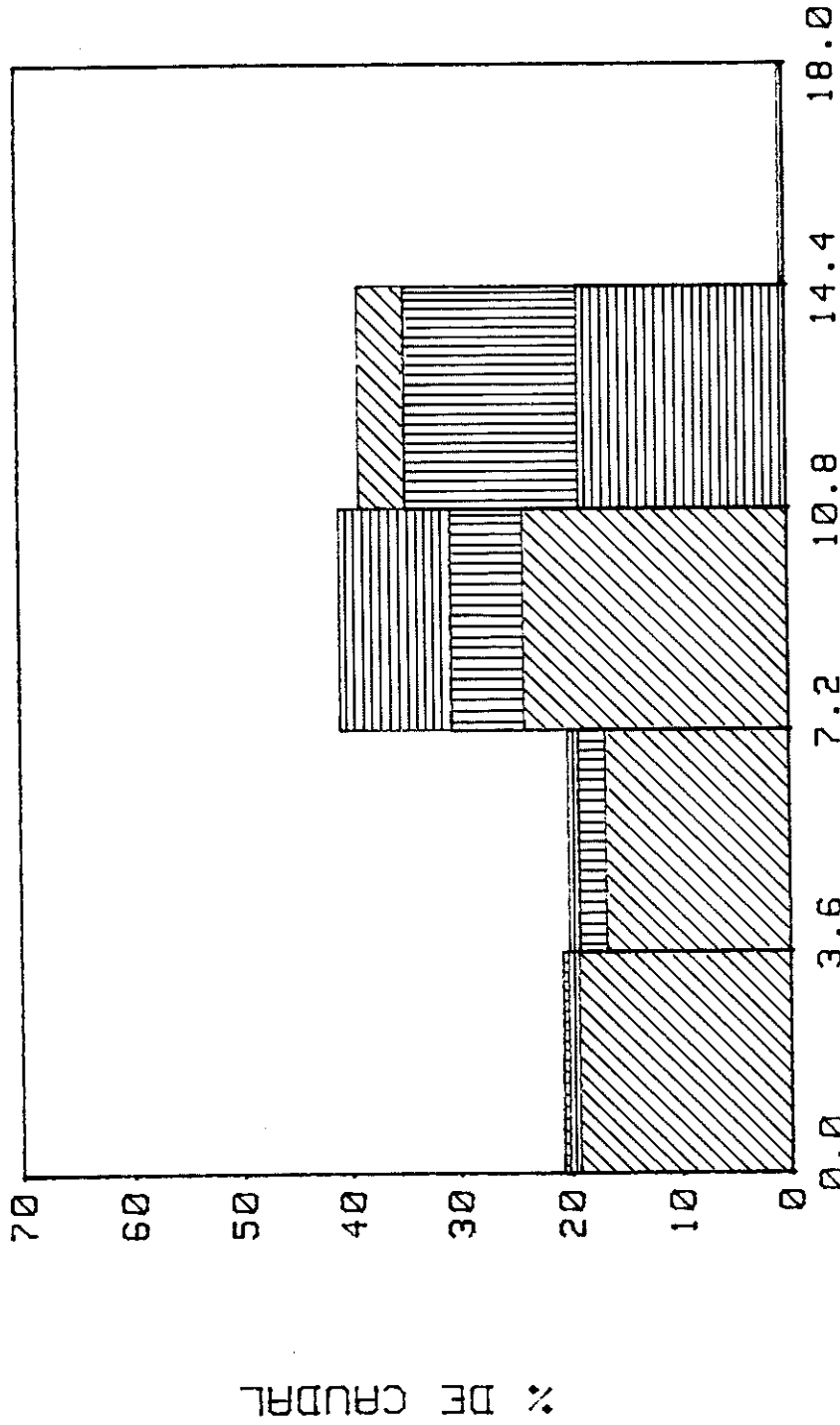
% DE CAUDAL

CAUDALES LATERALES

Qt1 = 3.7 m<sup>3</sup>/s

Qt2 = 6.5 m<sup>3</sup>/s

Qt3 = 12.4 m<sup>3</sup>/s



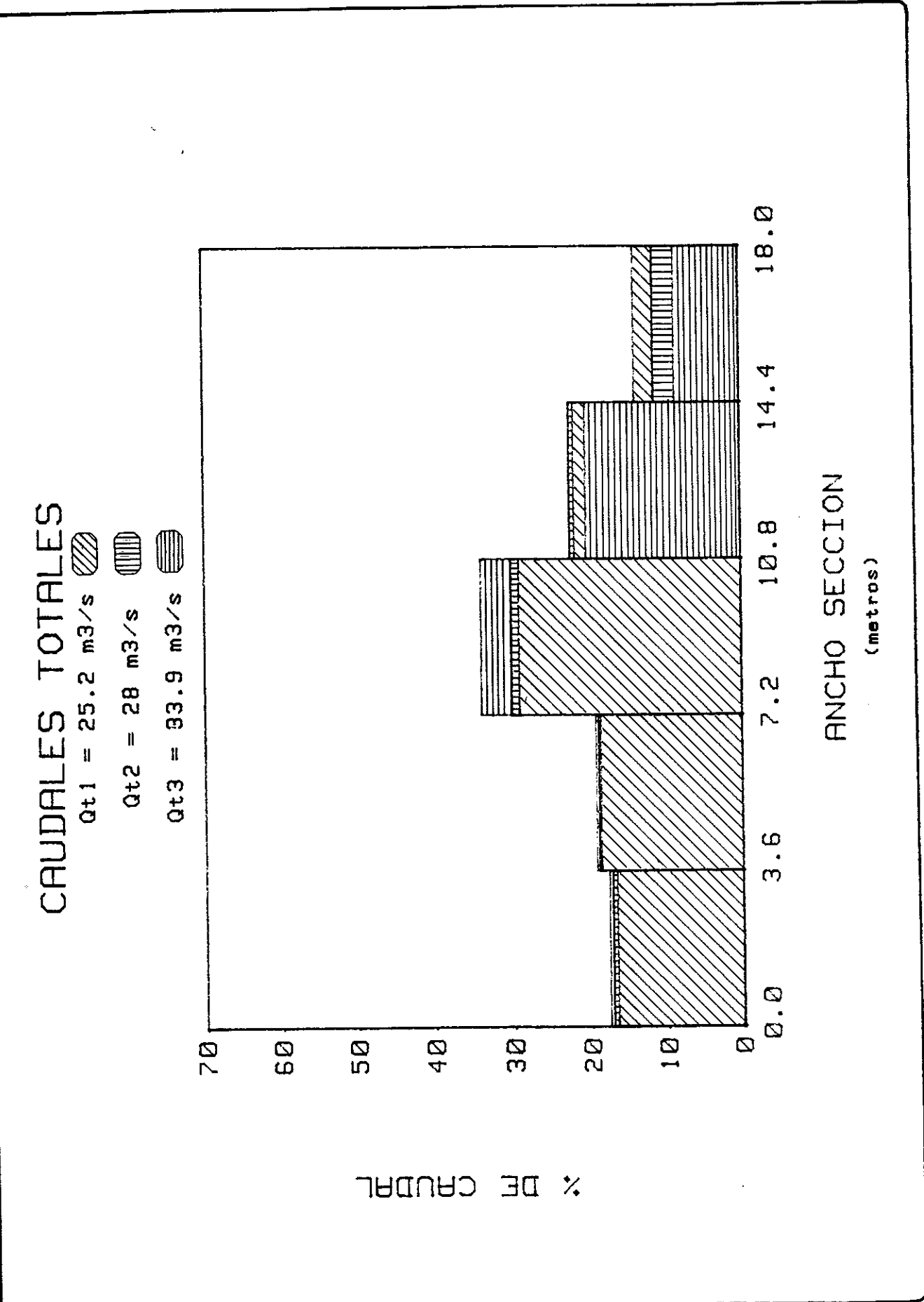
ANCHO SECCION  
(metros)

FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando doce tabiques)

Fig, N° 18

FORM.LHA-3



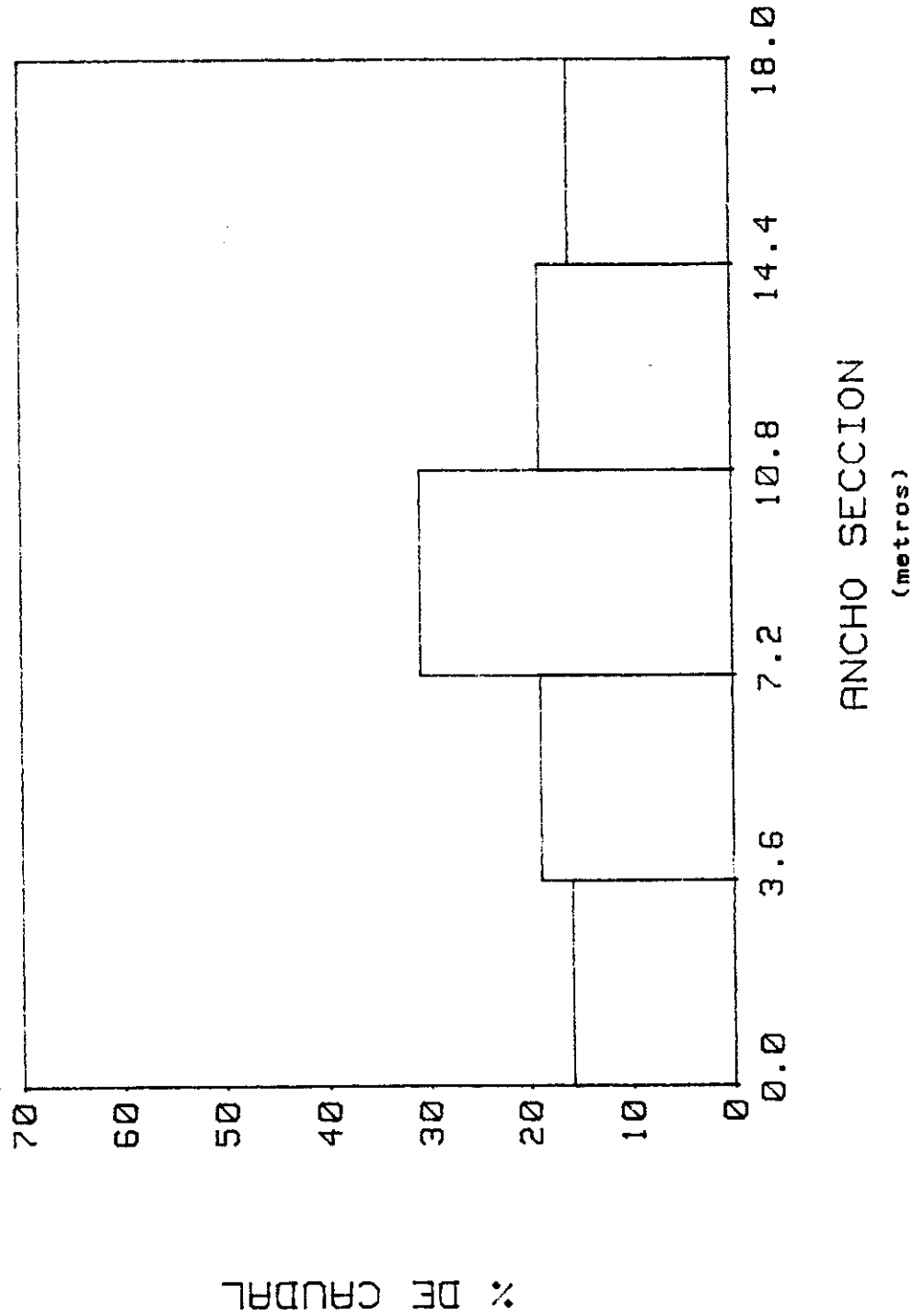
DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES  
(ensayos quitando doce tabiques)

Fig. N° 19

**ENSAYOS EFECTUADOS PARA UN RANGO DE CAUDALES  
DE 40 A 50 m<sup>3</sup>/s, RETIRANDO CUATRO, OCHO Y DOCE TABIQUES**



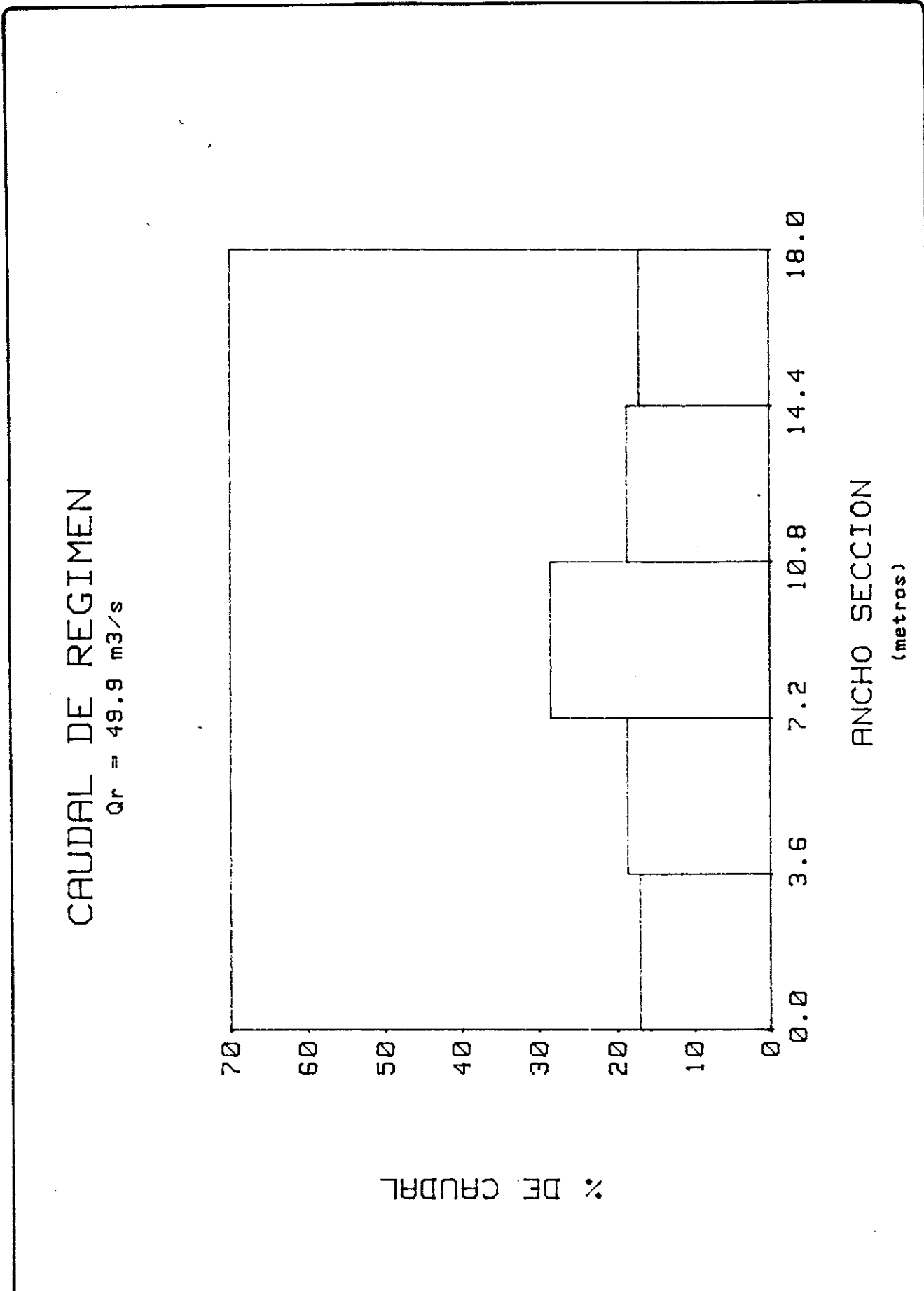
CAUDAL DE REGIMEN  
 $Q_r = 42.4 \text{ m}^3/\text{s}$



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
 (ensayos quitando cuatro tabiques)

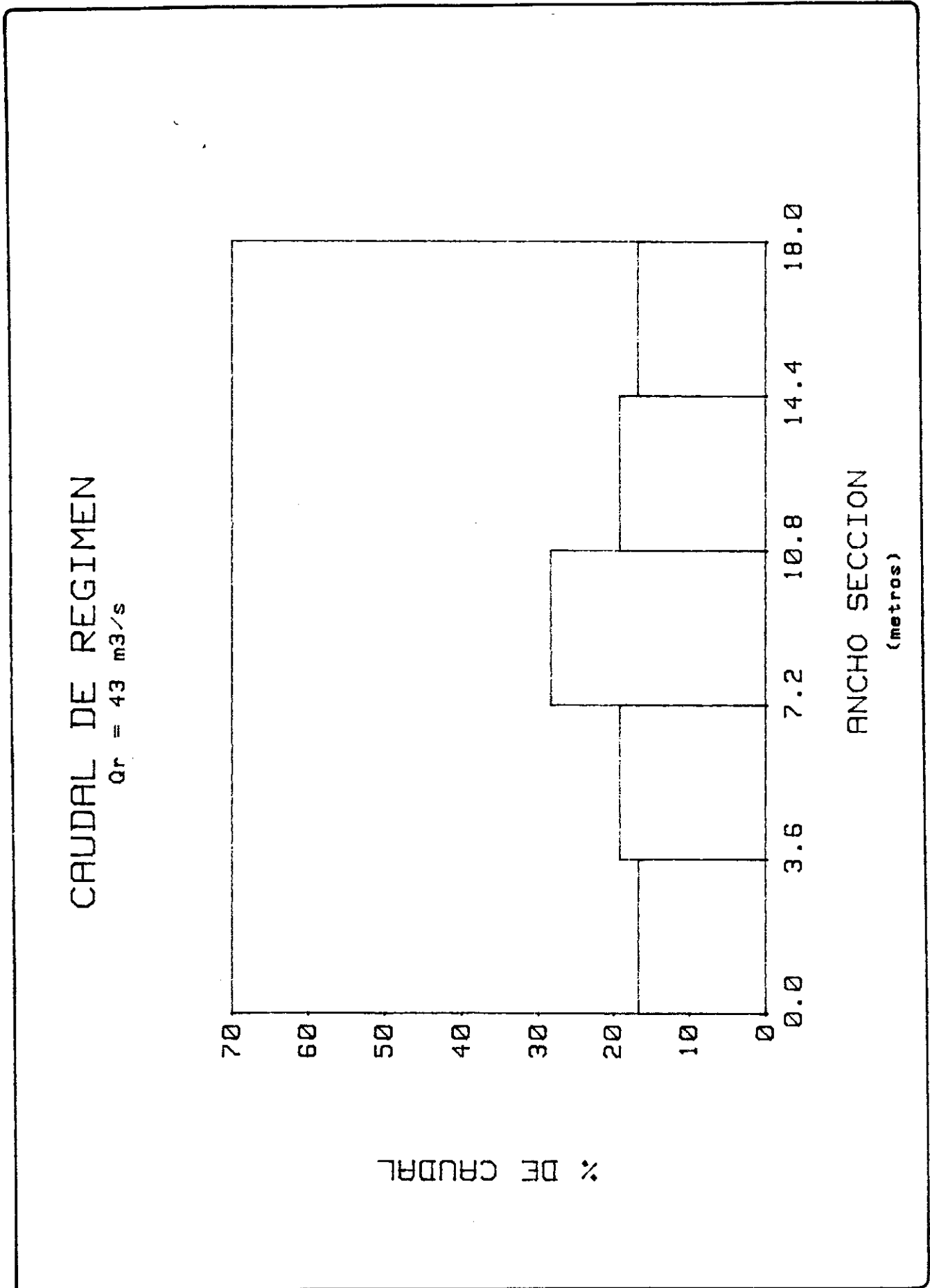
Fig. N° 20



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
 (ensayos quitando ocho tabiques)

Fig. N° 21



FORM.LHA-3

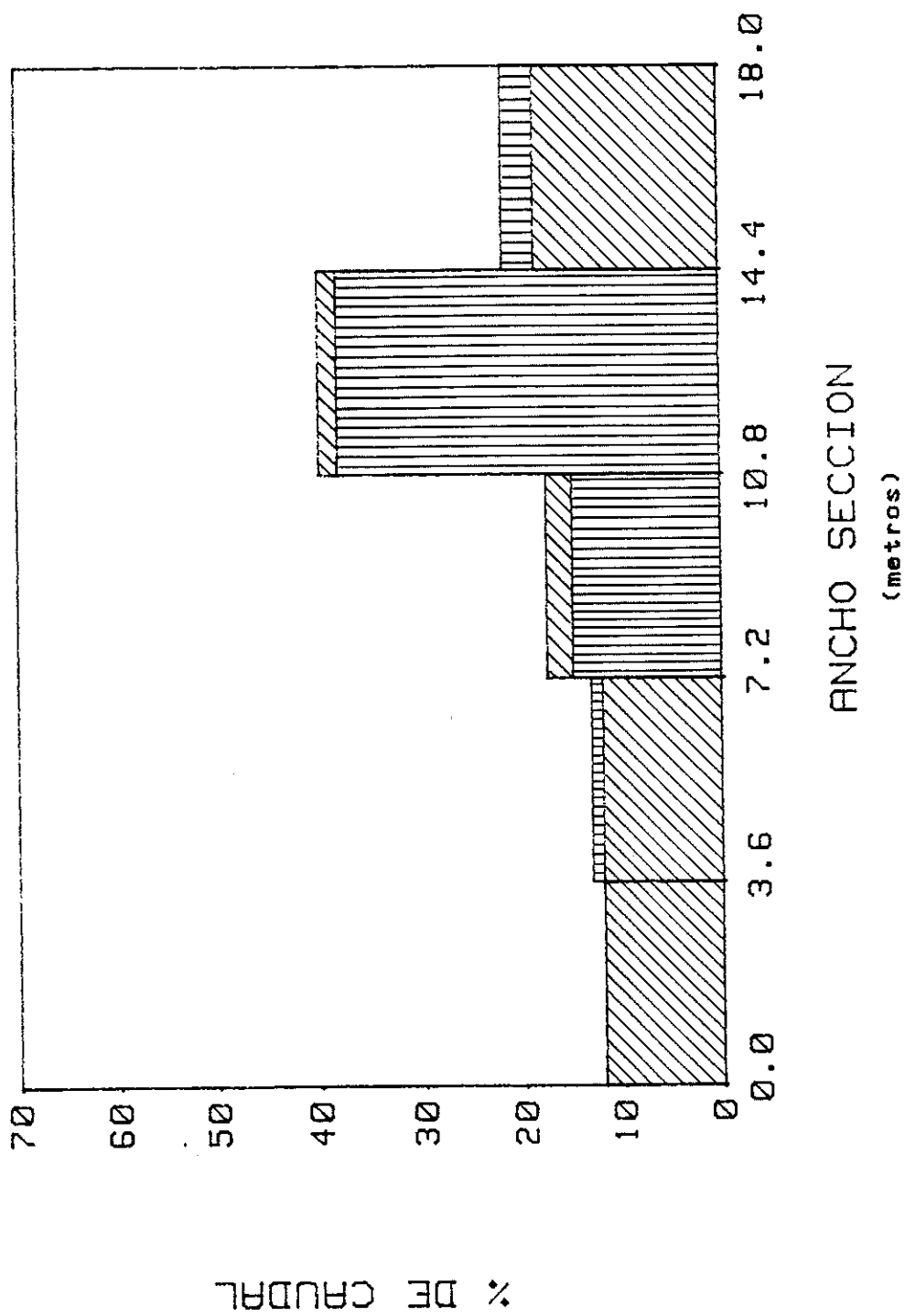
**DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN**  
 (ensayos quitando doce tabiques)

Fig. N° 22

CAUDALES LATERALES

Q11 = 9.4 m<sup>3</sup>/s

Q12 = 14 m<sup>3</sup>/s



FORM.LHA-3

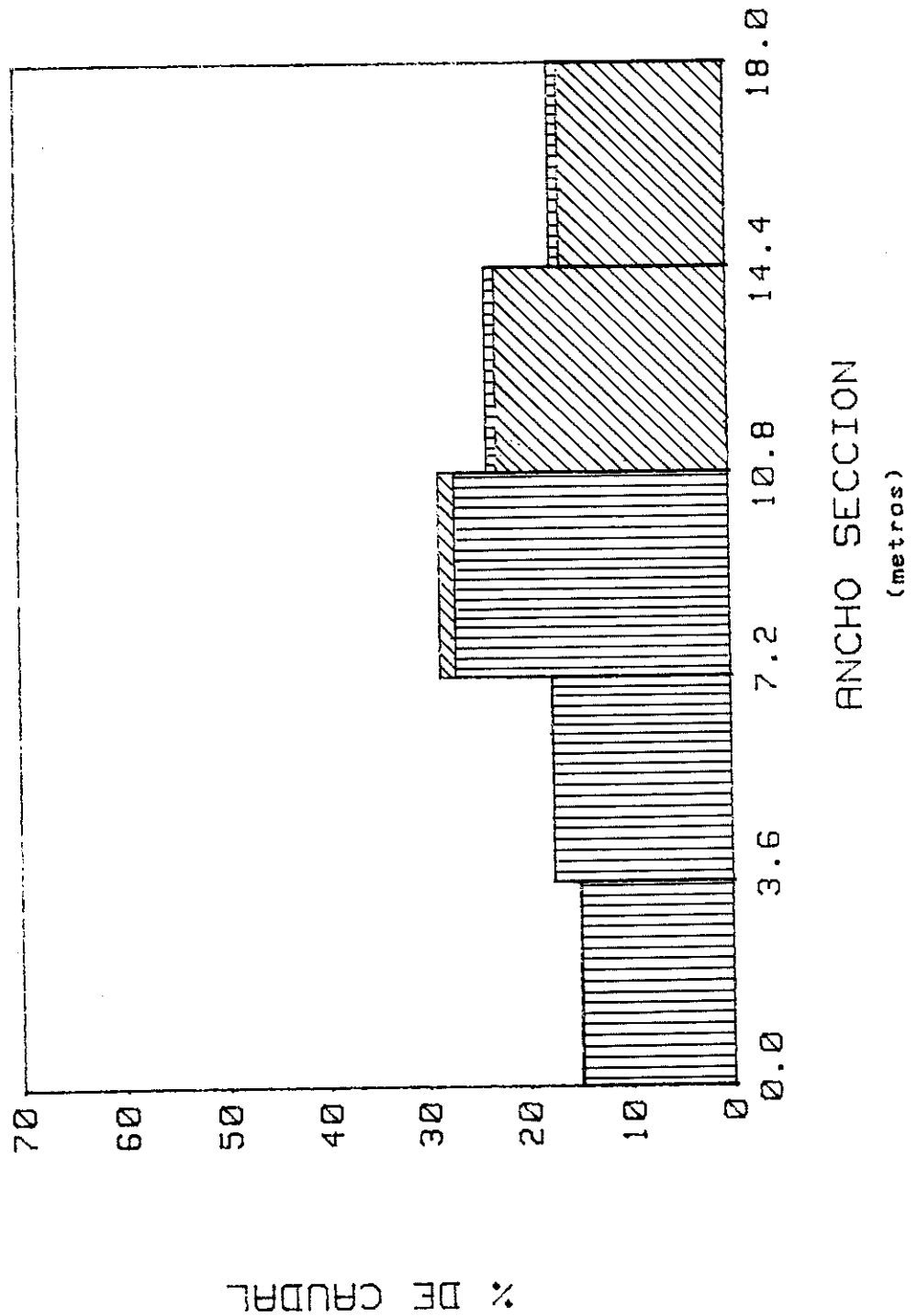
DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando cuatro tabiques)

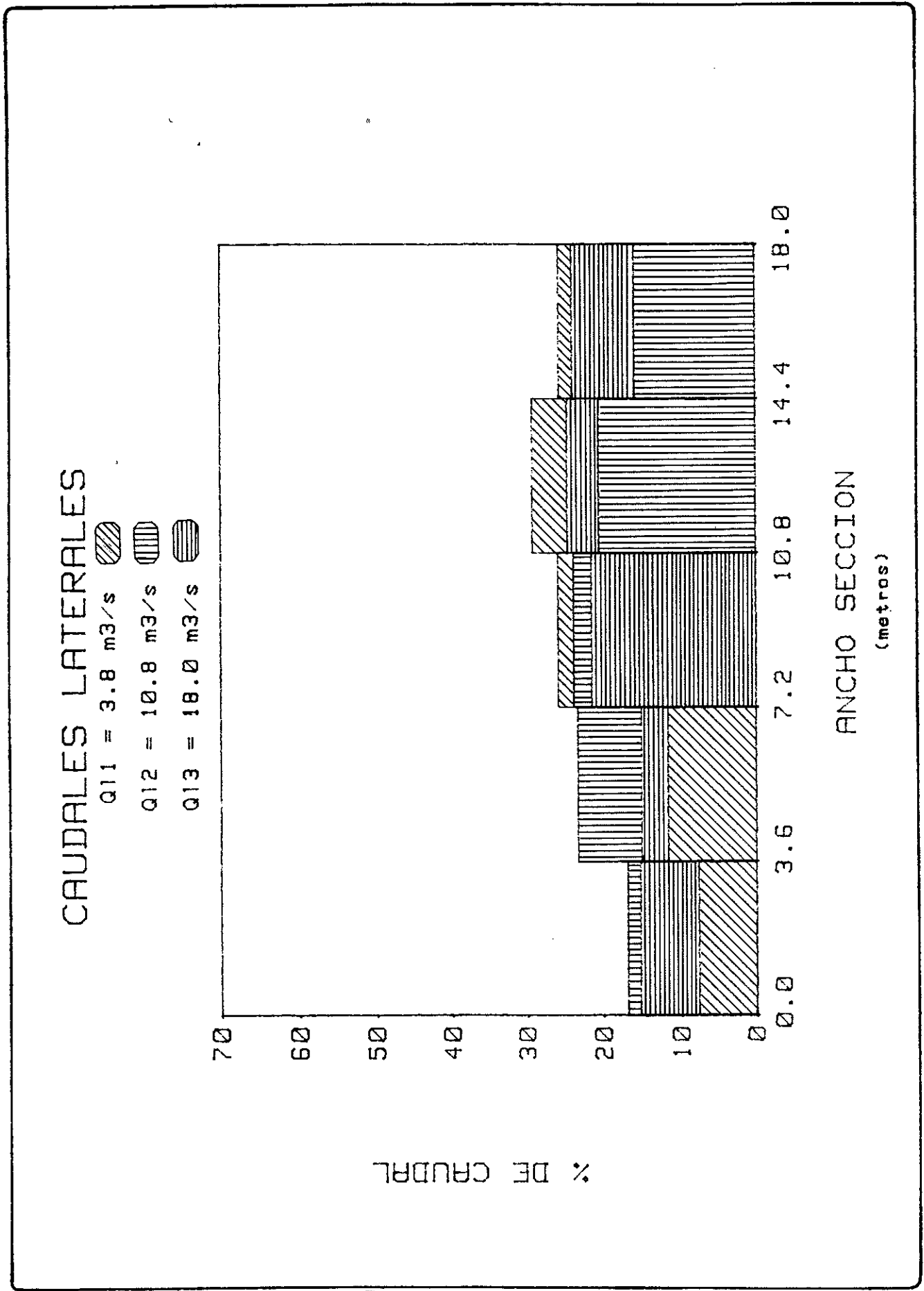
Fig. N° 23

CAUDALES TOTALES

Qt1 = 51.8 m<sup>3</sup>/s

Qt2 = 56.4 m<sup>3</sup>/s

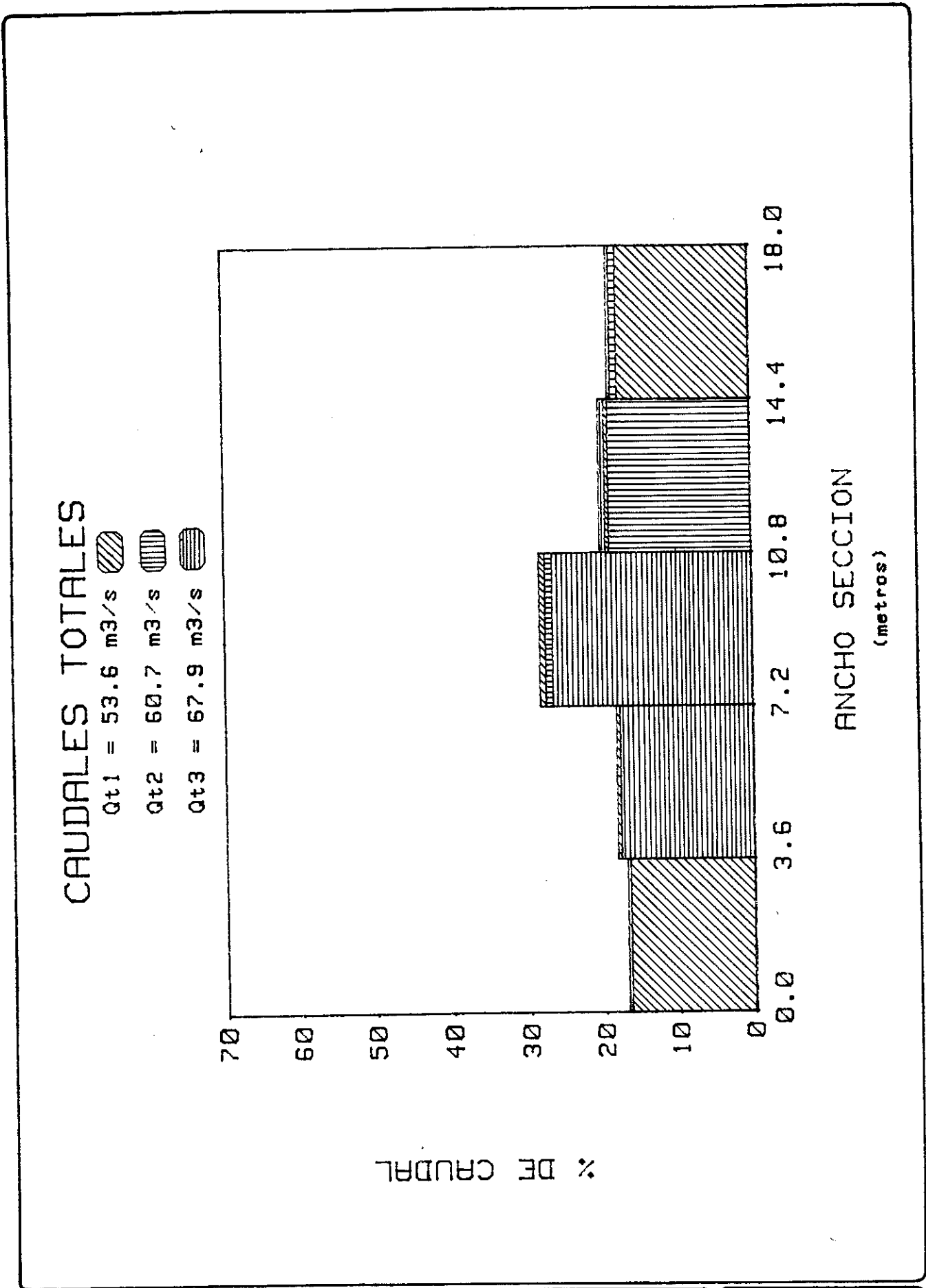




FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando ocho tabiques)

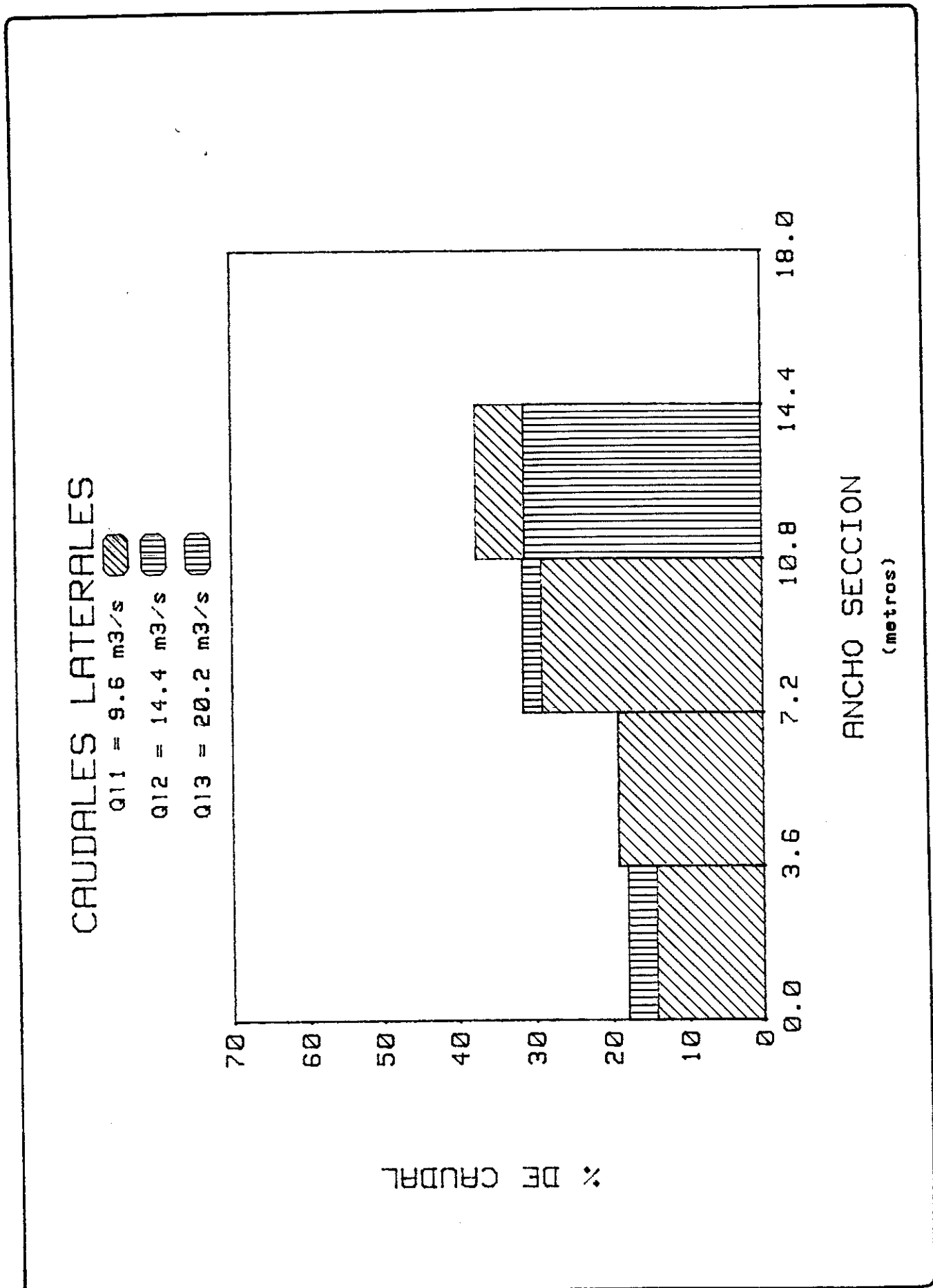
Fig. N° 25



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES  
(ensayos quitando ocho tabiques)

Fig. N° 26



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando doce tabiques)

Fig. N2 27



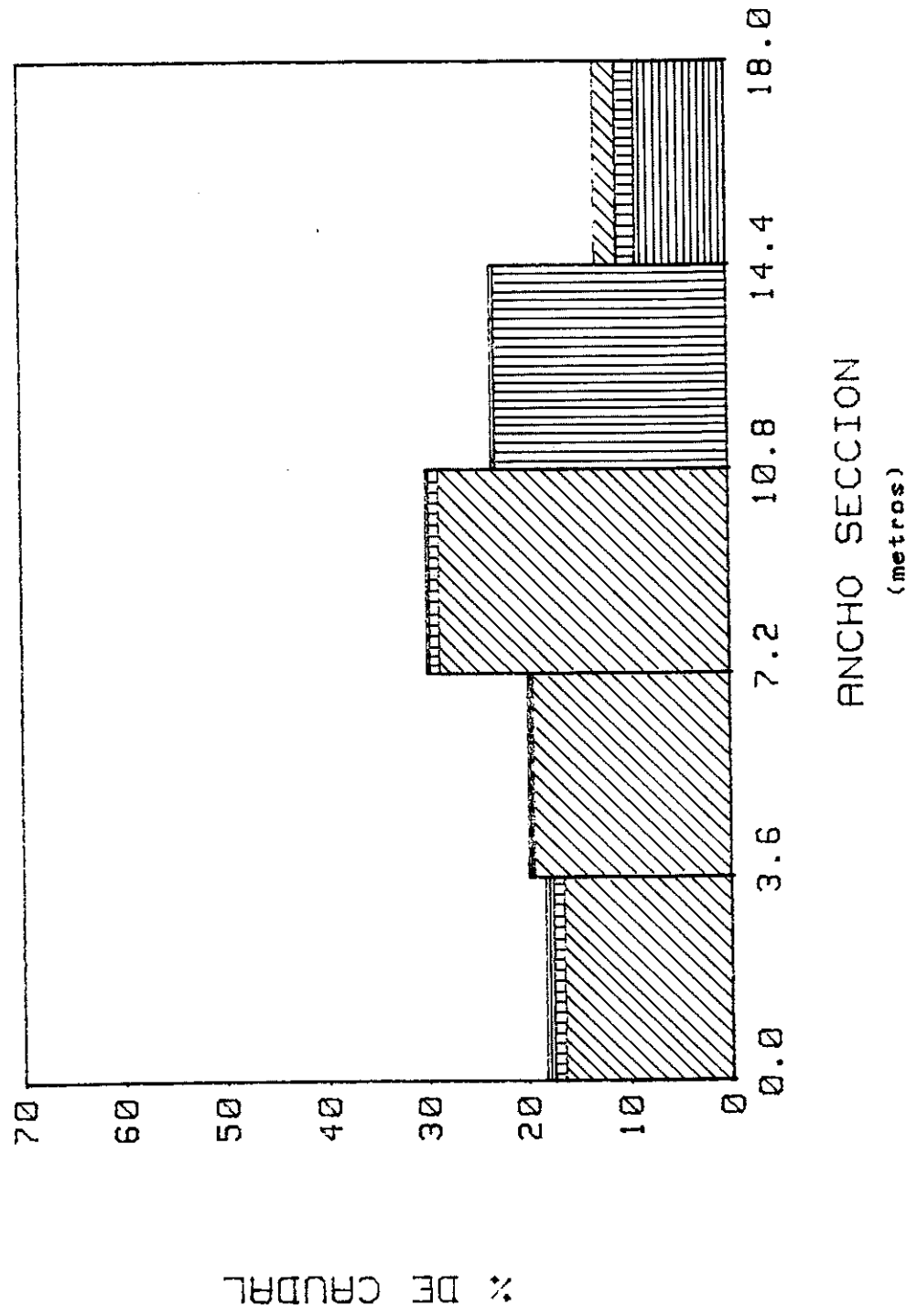
FORM.LHA-3

CAUDALES TOTALES

Qt1 = 52.5 m<sup>3</sup>/s

Qt2 = 57.3 m<sup>3</sup>/s

Qt3 = 63.1 m<sup>3</sup>/s



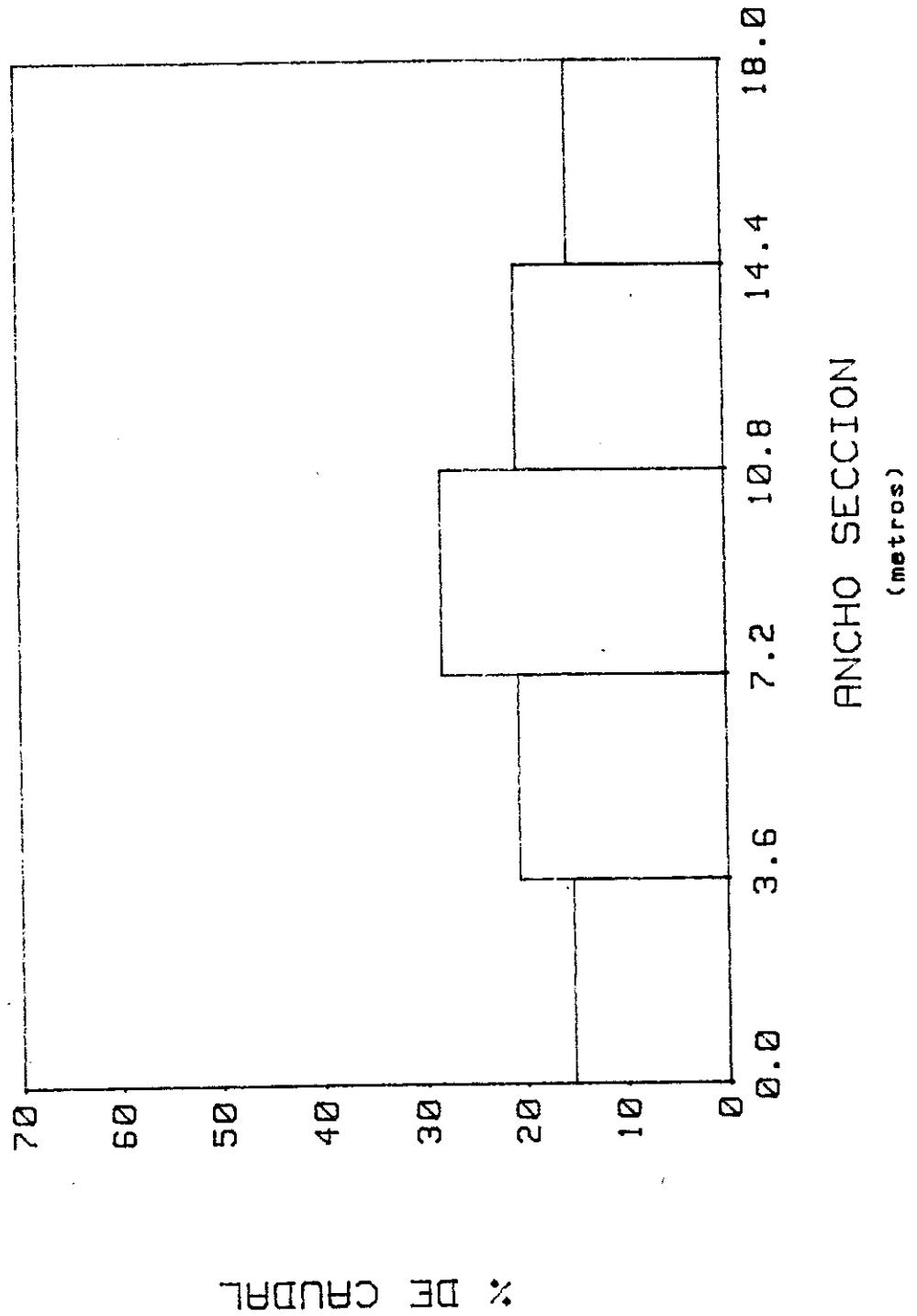
DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES  
(ensayos quitando doce tabiques)

Fig. N° 28

**ENSAYOS EFECTUADOS PARA UN RANGO DE CAUDALES  
DE 50 A 70 m<sup>3</sup>/s, RETIRANDO CUATRO, OCHO Y DOCE TABIGUES**

CAUDAL DE REGIMEN

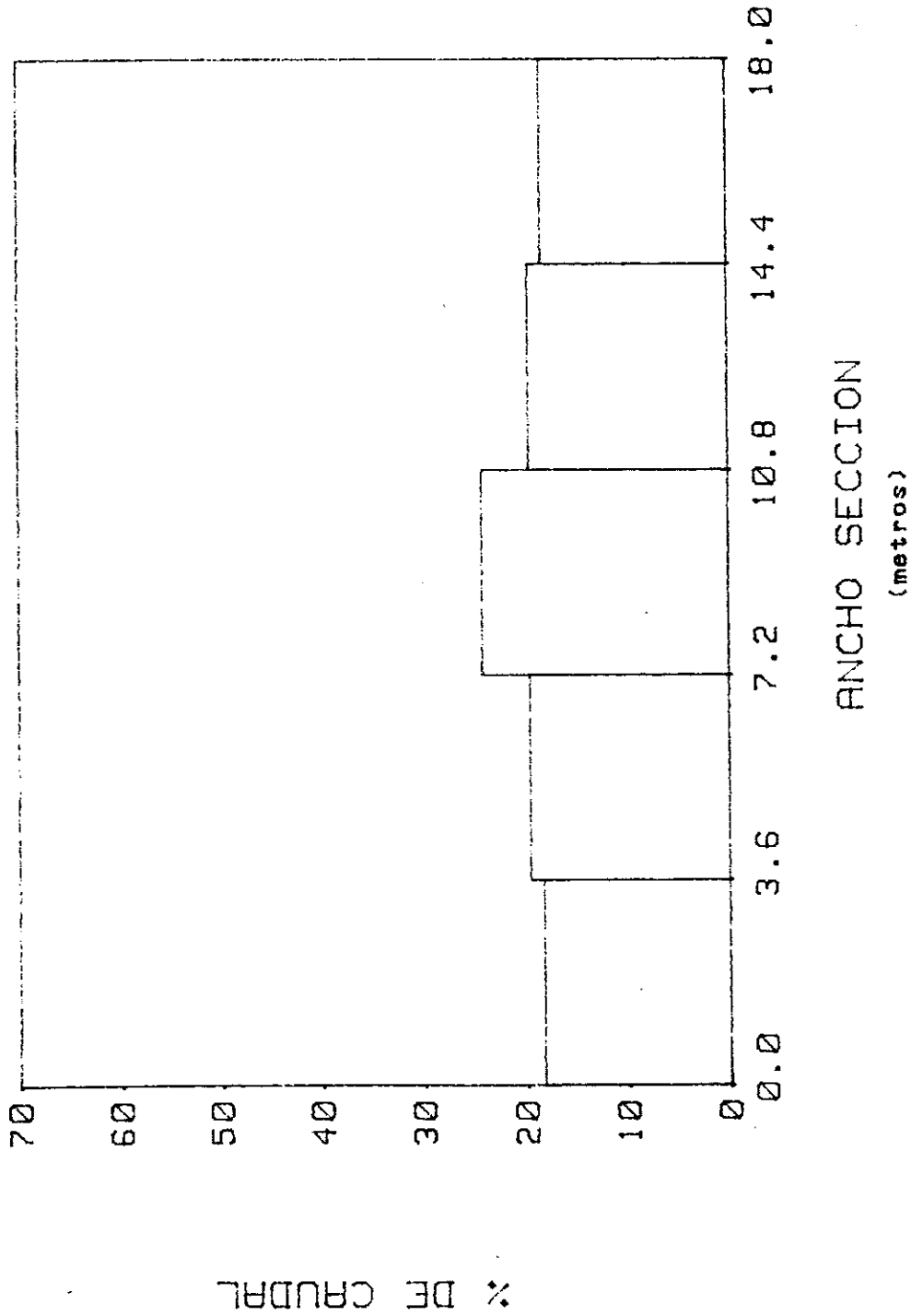
$Q_r = 65.9 \text{ m}^3/\text{s}$



DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
(ensayo quitando cuatro tabiques)

Fig. N° 29

CAUDAL DE REGIMEN  
 $Q_r = 63 \text{ m}^3/\text{s}$

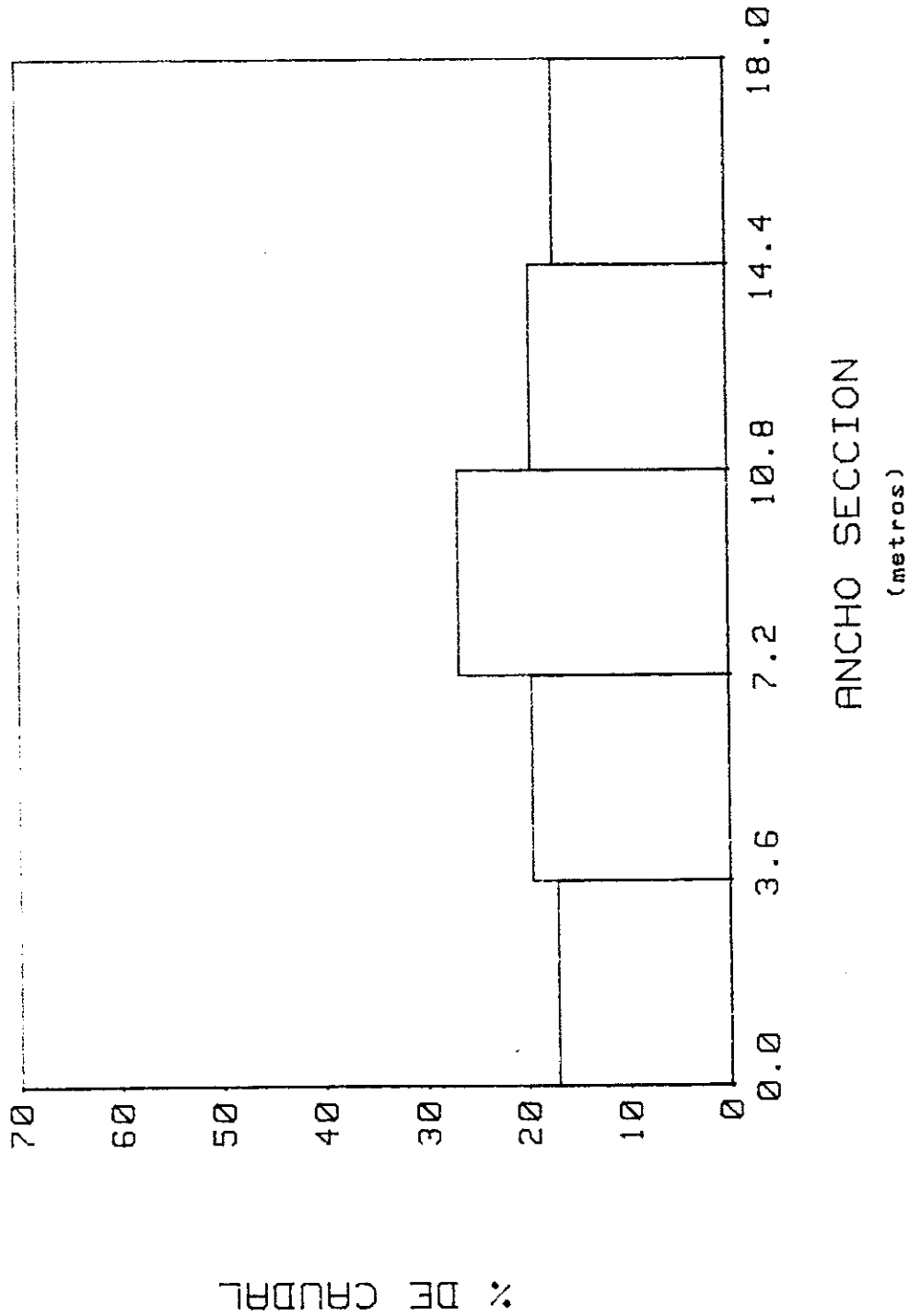


FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
 (ensayo quitando ocho tabiques)

Fig. N° 30

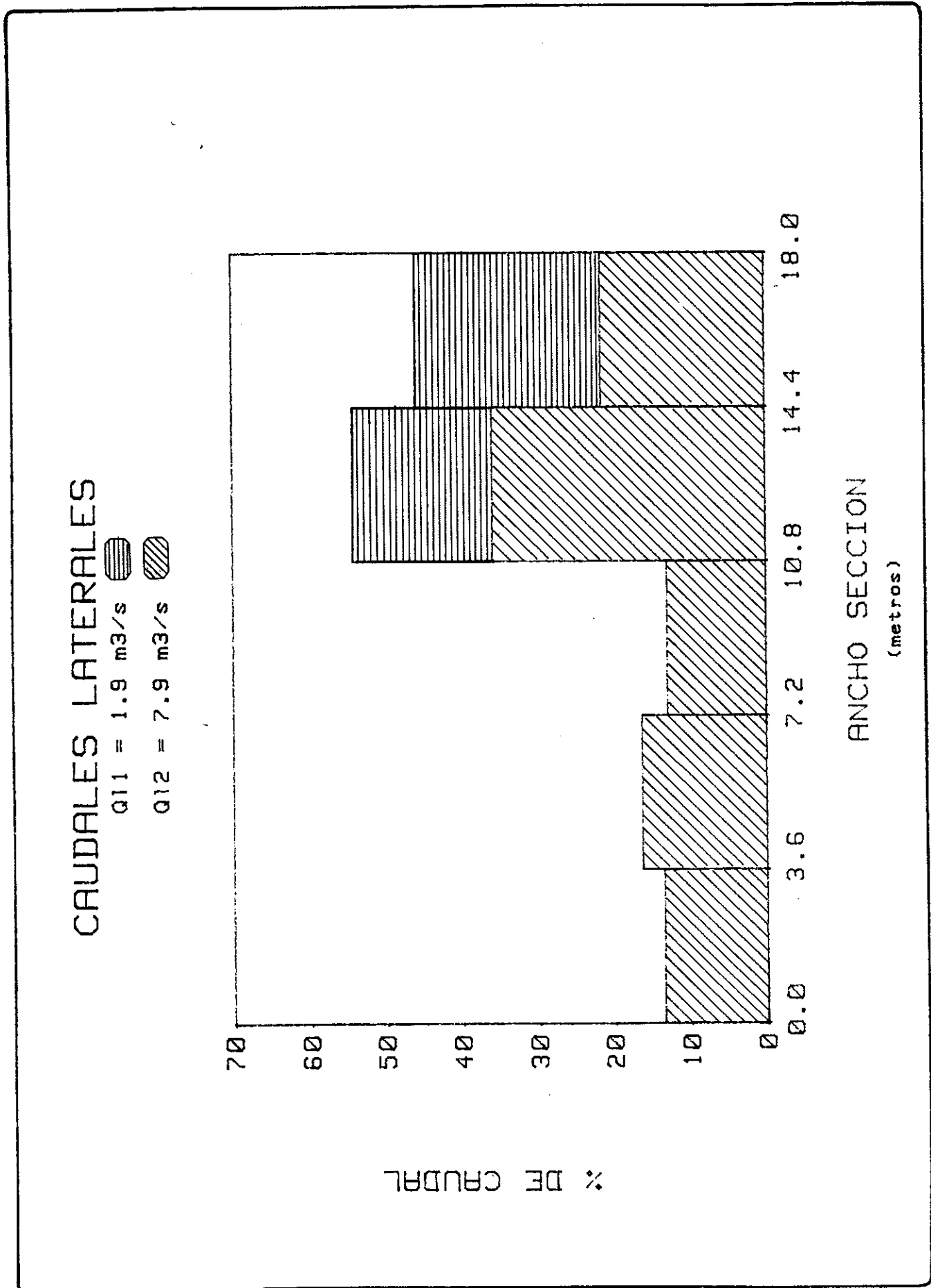
CAUDAL DE REGIMEN  
 $Q_r = 56.3 \text{ m}^3/\text{s}$



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DEL CAUDAL DE REGIMEN  
 (ensayo quitando doce tabiques)

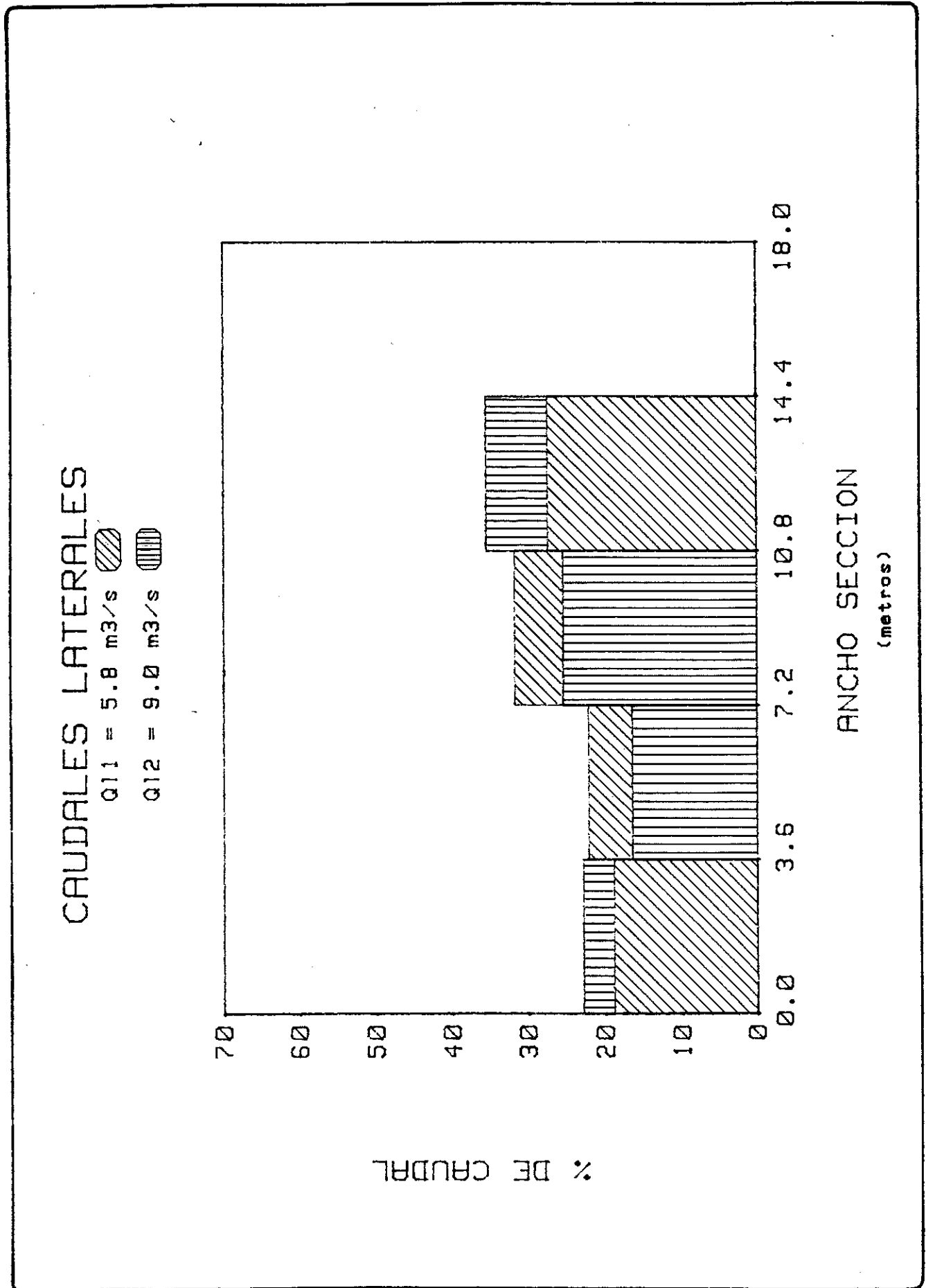
Fig. N° 31



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando cuatro tabiques)

Fig. N° 32



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando ocho tabiques)

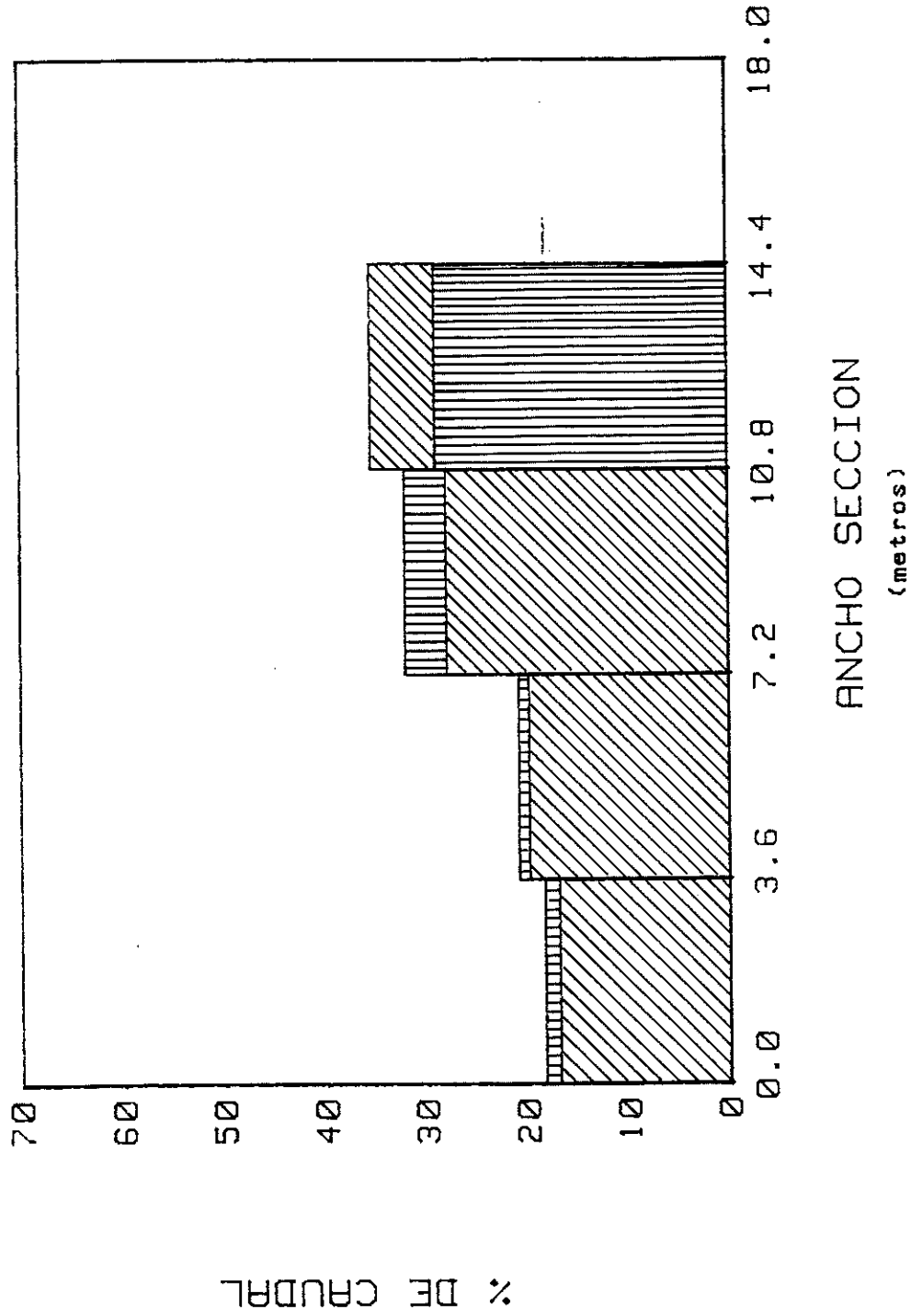
Fig. N° 33

FORM.LHA-3

CAUDALES LATERALES

Q11 = 8.2 m<sup>3</sup>/s

Q12 = 13.8 m<sup>3</sup>/s



DISTRIBUCION DE CAUDALES LATERALES  
(ensayos quitando doce tabiques)

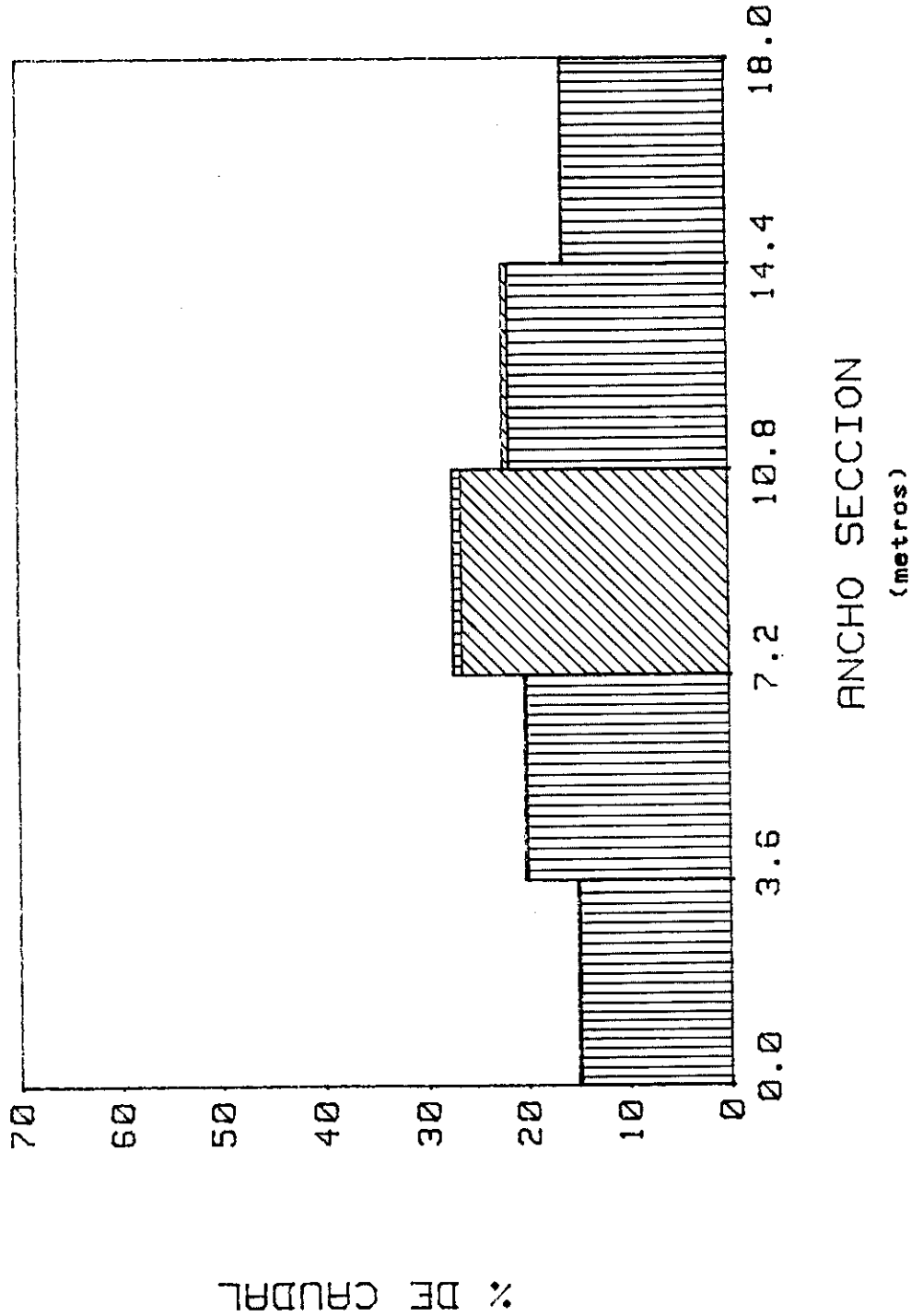
Fig. N° 34



CAUDALES TOTALES

Qt1 = 73.8 m<sup>3</sup>/s

Qt2 = 68.0 m<sup>3</sup>/s



FORM.LHA-3

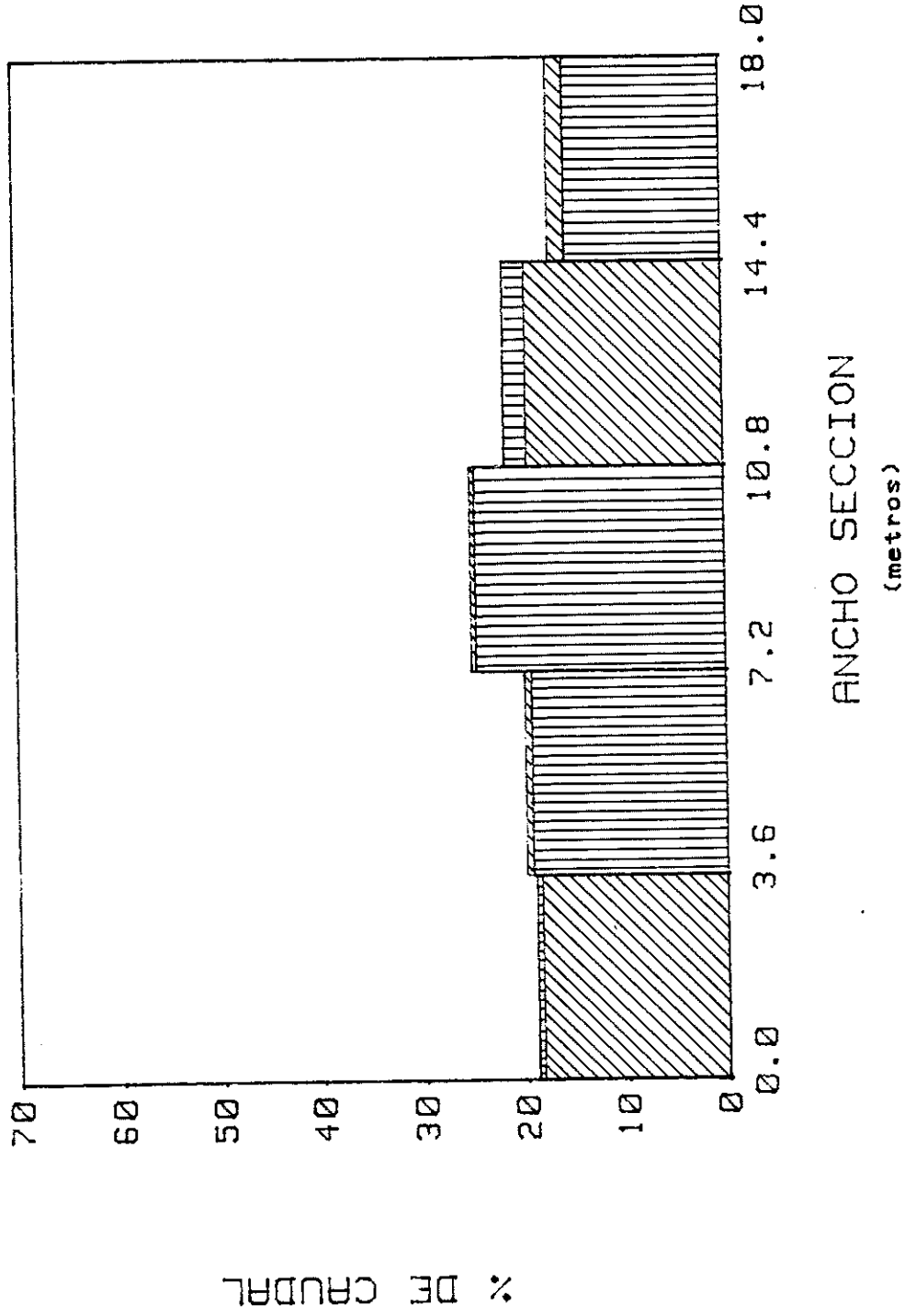
DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES  
(ensayos quitando cuatro tabiques)

Fig. N° 35

CAUDALES TOTALES

Qt1 = 68.7 m<sup>3</sup>/s

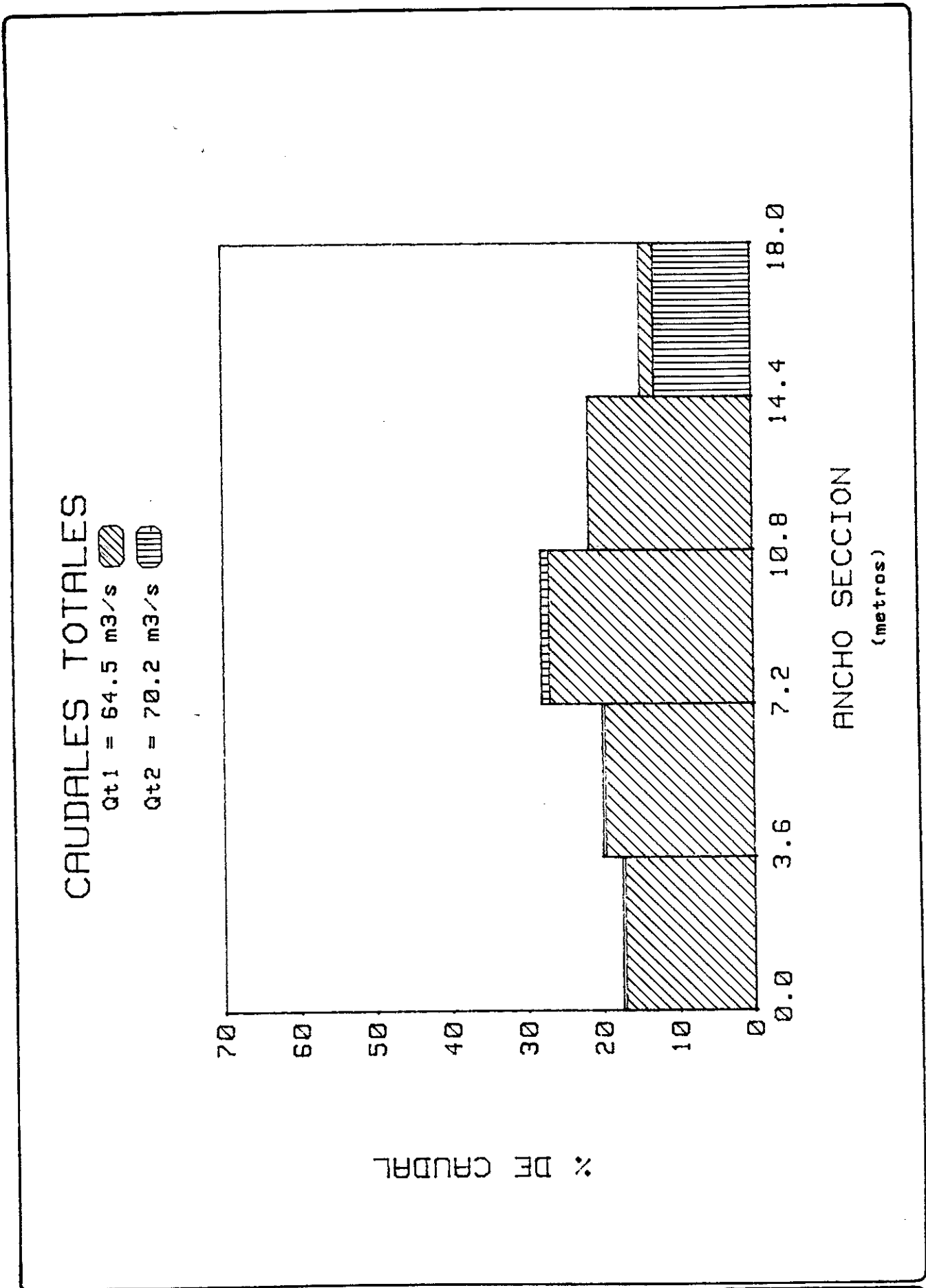
Qt2 = 71.7 m<sup>3</sup>/s



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES  
(ensayos quitando ocho tabiques)

Fig. N° 36



FORM.LHA-3

DISTRIBUCION DE CAUDALES TOTALES  
 (ensayos quitando doce tabiques)

Fig. N° 37

IABLAS

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE DESCARGA DEL ARROYO MALDONADO

ENSAYO No	CAUDAL (l/s)	TIRANTE (cm)	VELOCIDAD (m/s)	FROUDE	REYNOLDS del escurrimiento
1	5.74	5.33	0.24	0.34	23045.72
2	13.84	8.93	0.32	0.34	40727.00
3	12.73	8.13	0.32	0.36	39799.39
4	8.82	6.67	0.28	0.35	31177.68
5	6.86	6.27	0.24	0.30	25140.19
6	6.95	5.97	0.26	0.34	26198.60
7	2.34	3.63	0.17	0.28	11330.36
8	29.06	13.80	0.41	0.35	62820.33
9	30.31	15.67	0.37	0.30	59483.36
10	32.30	16.07	0.39	0.31	62155.23
11	33.38	17.00	0.38	0.29	61457.71
12	10.07	7.27	0.29	0.35	33792.12

# INCyTH-LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

## VALORES EN PROTOTIPO

H(m)	Q(m <sup>3</sup> /seg)	NR	RE	$\bar{\eta}$
1.600	28.31	0.0224	23045.72	0.3374
2.680	68.24	0.0188	40727.00	0.3386
2.440	62.73	0.0200	39799.39	0.3634
2.000	43.46	0.0204	31177.68	0.3518
1.880	33.80	0.0219	25140.19	0.3041
1.790	34.24	0.0208	26198.60	0.3354
1.090	11.53	0.0243	11330.36	0.2794
4.140	143.24	0.0177	62820.33	0.3522
4.700	149.43	0.0193	59483.36	0.3005
4.820	153.23	0.0187	62155.23	0.3077
5.100	164.57	0.0186	61457.71	0.2910
2.180	49.63	0.0192	33792.12	0.3471

FORM.LHA-3

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Tabla N° 2

h (cm)	Rh (cm)	n	V* (cm/s)	δ (cm)	Ks (cm)	$\frac{V* \cdot Ks}{\sqrt{h}}$
3.63	1.71	0.013	1.42	0.08	0.16	22.6
5.33	2.38	0.013	1.67	0.07	0.16	27.0
5.97	2.57	0.012	1.74	0.06	0.70	11.4
6.27	2.66	0.012	1.77	0.06	0.09	16.6
6.67	2.76	0.011	1.80	0.06	0.06	10.2
8.13	3.09	0.011	1.90	0.06	0.05	9.3
8.93	3.24	0.010	1.90	0.06	0.04	8.2
15.7	4.00	0.010	2.10	0.05	0.05	10.8
16.1	4.10	0.010	2.20	0.05	0.04	8.9
17.0	4.12	0.010	2.20	0.05	0.03	5.1
7.30	2.90	0.011	1.84	0.06	0.04	6.2
13.8	3.90	0.010	2.13	0.05	0.03	5.8

Referencias

h= tirante referido al punto más bajo de la sección transversal.

Rh= radio hidráulico.

n= coeficiente de rugosidad de Maninng.

V\* (velocidad de corte)=  $\sqrt{gRh}$

δ = espesor de la capa límite.

Ks= rugosidad superficial.

$\frac{V* \cdot Ks}{\sqrt{h}}$  = Número adimensional.

√

LEY H-Q

H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0.5	1.73
0.7	6.19
1.0	15.49
1.2	22.80
1.7	43.43
1.9	52.32
2.0	56.87
2.2	66.14
2.4	75.61
2.6	85.24
2.8	95.00
3.0	104.88
3.1	109.86
3.4	124.94
3.45	127.47
3.55	132.54
4.15	163.30
5.10	212.86



INCyTH-LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

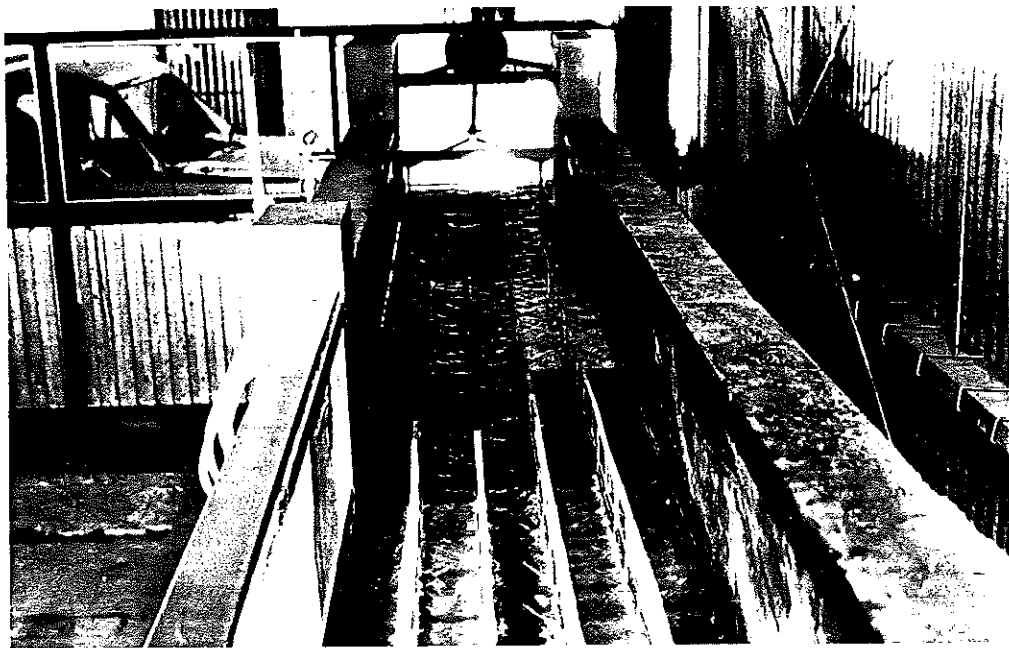
H (m)	Q <sub>col</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>tab</sub> (m <sup>3</sup> /s)	%
1.0	16.4	16.0	-
1.2	22.9	22.8	-
1.7	39.3	43.4	10.4
1.9	45.8	52.3	14.2
2.0	49.0	56.9	16.1
2.2	55.3	66.1	19.6
2.4	61.5	75.6	22.9
2.6	67.6	85.2	26.0
2.8	73.7	95.0	29.0
3.0	79.6	104.9	31.7
3.1	82.5	109.9	33.1
3.4	91.2	124.9	37.0
3.45	92.6	127.5	37.6

FORM.LHA-3

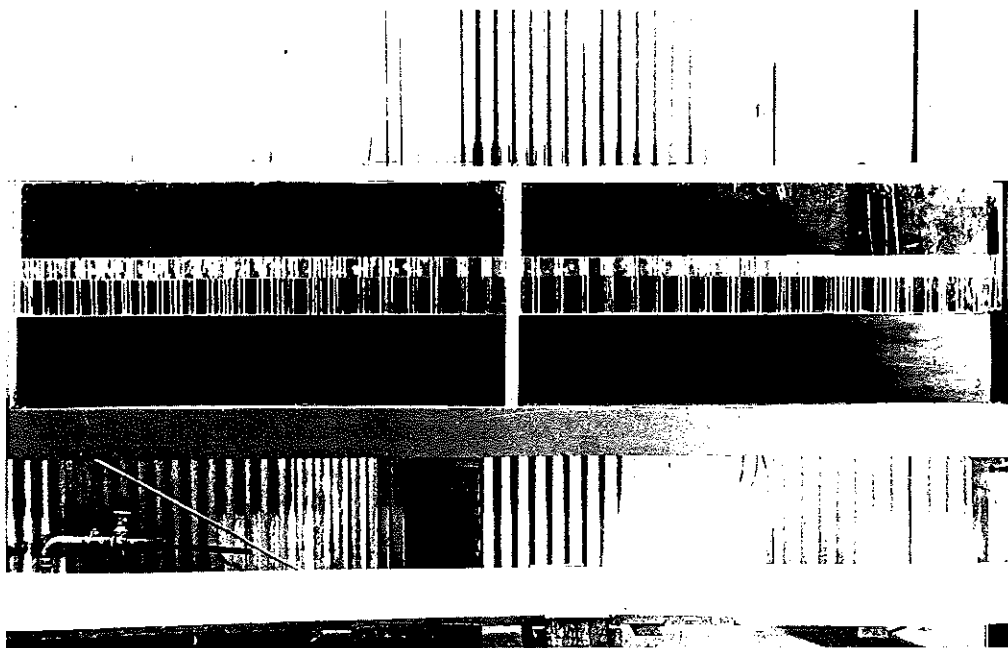
VALORES ALTURA-CAUDAL (CANALIZACION CON TABIQUES Y COLUMNAS)

Tabla N° 5

FOI OS



**FOTO Nº 1- VISTA LONGITUDINAL DEL CANAL DE ENSAYO DEL  
ARROYO MALDONADO. (2183-33).**



**FOTO Nº 2-VISTA LATERAL DEL CANAL DE ENSAYO DEL  
ARROYO MALDONADO. (2182-25)**



FOTO Nº 3-VISTA DE LAS PERTURBACIONES SUPERFICIALES EN EL  
CANAL DE ENSAYO DEL ARROYO MALDONADO.(2182-31).



FOTO Nº 4-VISTA SUPERIOR DE LA REPARTICION DEL  
CAUDAL LATERAL. (2210-13)

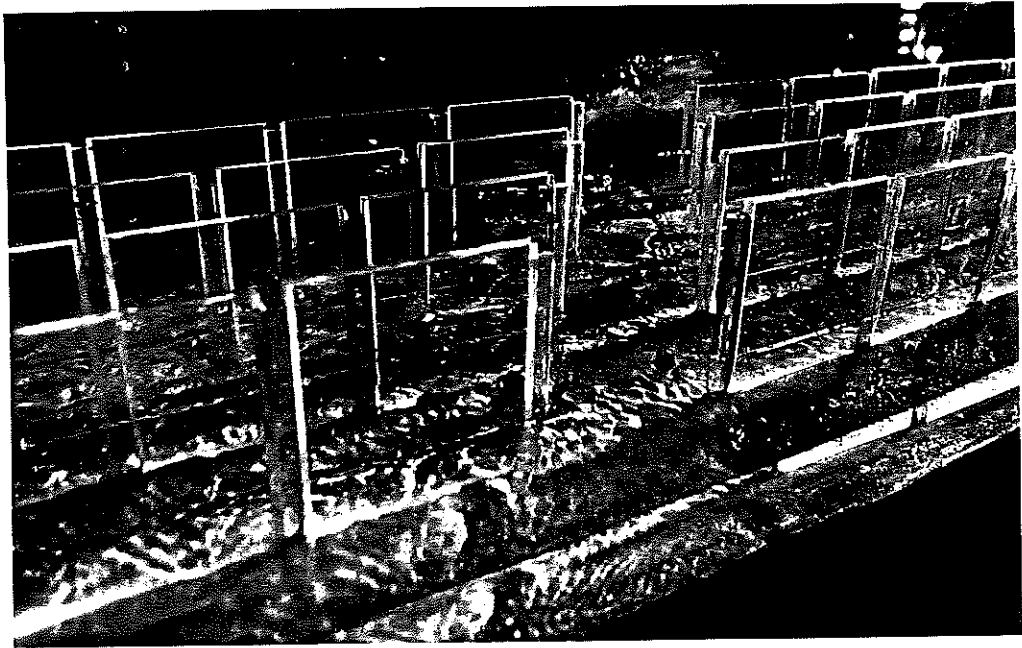


FOTO Nº 5-VISTA LATERAL DE LA DISTRIBUCION DEL CAUDAL LATERAL. (2210-14).

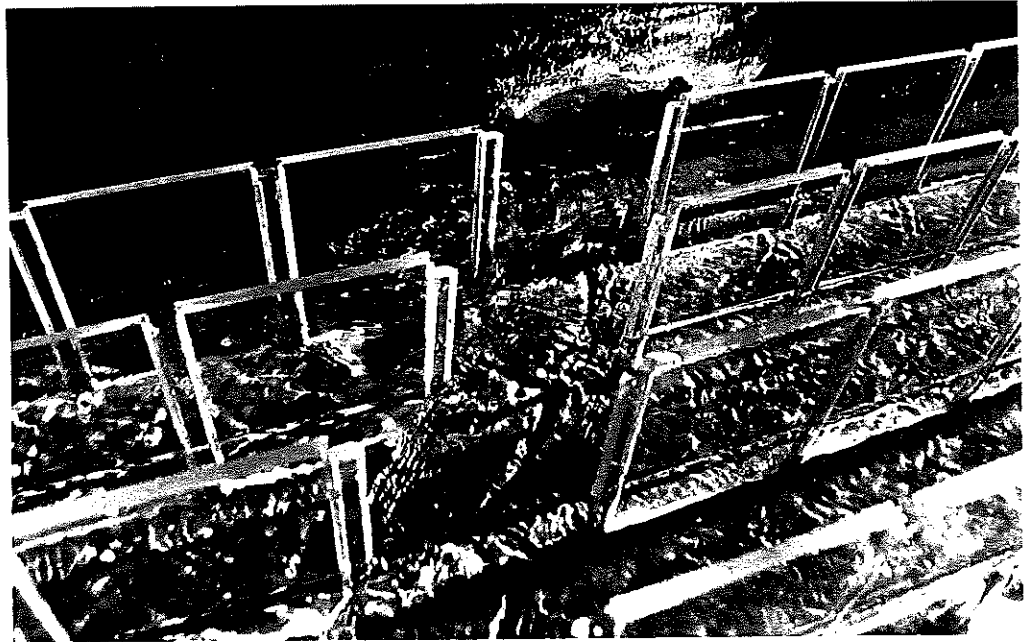


FOTO Nº 6-VISTA SUPERIOR-LATERAL DE LA REPARTICION DEL CAUDAL LATERAL. (2210-10)