

**INSTITUTO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
DIVISION DE HIDROLOGIA**

**"METODO PARA ESTIMAR PICOS DE CRECIENTES APLICABLE
A CUENCAS DESPROVISTAS DE INFORMACION FLUVIOGRAFICA"**

**Hidr° Humberto Cartaya Di Lena
Hidr° Alfredo Quintero G.
Hidr° Jaime Ventura Rojas**

Caracas, Diciembre de 1968

Jalisco
16-11-1977

El presente trabajo ha sido impreso por la Sección de Estadística y Archivo
de la División de Hidrología

INSTITUTO NACIONAL DE OBRAS SANITARIAS
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
DIVISION DE HIDROLOGIA

"METODO PARA ESTIMAR PICOS DE CRECIENTES APLICABLE
A CUENCAS DESPROVISTAS DE INFORMACION FLUVIOGRAFICA"

Hidr° Humberto Cartaya Di Lena
Hidr° Alfredo Quintero G.
Hidr° Jaime Ventura Rojas

Caracas, Diciembre de 1968

INDICE

- 1). INTRODUCCION
- 2). ANALISIS DE FRECUENCIA
- 3). CORRELACION MULTIPLE
- 4). CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS
DE UNA CUENCA.
- 5). APLICACION DEL METODO DE CORRELACION
MULTIPLE A LA ESTIMACION DE CRECIENTES.
- 6). EJEMPLOS EN LA APLICACION DEL METODO
- 7). CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- 8). BIBLIOGRAFIA
- 9). ANEXOS

1. - INTRODUCCION.

Los métodos empíricos desarrollados por los Investigadores para su aplicación en diversos problemas de la Hidrología gozan en general de gran aceptación, unos más que otros, en especial cuando su aplicación está en conexión con la investigación de Crecientes en Cuencas que no poseen registro del escurrimiento y donde existe una urgencia promovida por limitaciones en el tiempo disponible para ejecutar determinados proyectos, y muchas veces el problema está vinculado exclusivamente con limitaciones de tipo económico.

El método que aquí se expone creemos es una herramienta útil de trabajo para los proyectistas de obras Hidráulicas que no disponen a menudo de información adecuada con respecto a la magnitud de las crecientes que se pudieran presentar en un sitio de su particular interés. Sobre todo, si además de la ausencia de la información fluviométrica no se dispone de un acopio estadístico de la precipitación, lo suficientemente denso, que permite la aplicación de ciertas técnicas, que como la del Hidrograma Unitario Sintético, obvian los inconvenientes producidos por la ausencia de datos en la escorrentía.

Este trabajo está basado en el método estadístico de correlación múltiple aplicado a varias de las características fisiográficas de una serie de Sub-cuencas afluentes del Río Tuy y a las cuales se ha supuesto climatológica y geologicamente homogéneas.

El método en cuestión, es similar al desarrollado en el Estado de Indiana, Estados Unidos (1), en el cual se ha ligado la magnitud de la Creciente de una frecuencia dada con las características fisiográficas de las respectivas cuencas, y que ha llevado a establecer relaciones de evidente utilidad en cuencas sin medición, teniendo dichas relaciones un carácter Regional. (4)

En nuestro caso, nos hemos limitado a correlacionar el Área de la cuenca y la pendiente media del cauce principal con crecientes de frecuencia de 25 años obtenidas por análisis de frecuencia. Está en preparación una correlación más amplia que incluye la forma del Hidrograma.

2. - ANÁLISIS DE FRECUENCIA.

Se seleccionaron nueve sub-cuencas afluentes del Rio Tuy cuya localización puede verse en el plano general de la zona que se anexa bajo el N°D-1.

La división de hidrología del INOS ha llevado un registro continuo de caudales en todas estas sub-cuencas y, el funcionamiento en el tiempo de las estaciones fluviográficas se ilustra en el Diagrama de barras de la Fig. 1; este Diagrama facilita la apreciación del período de registro más adecuado para el estudio de frecuencia subsiguiente.

En la Tabla N° 1 se dá la lista de las subcuencas que forman parte del estudio, y sus características fisiográficas que se han considerado en el análisis de correlación.

Se obtuvieron las crecientes máximas anuales para cada una de las subcuencas y para cada serie anual de datos y, se tabularon en orden decreciente. El período de retorno de cada evento se calcula mediante la relación:

$$T_r = \frac{n + 1}{m} \quad (a)$$

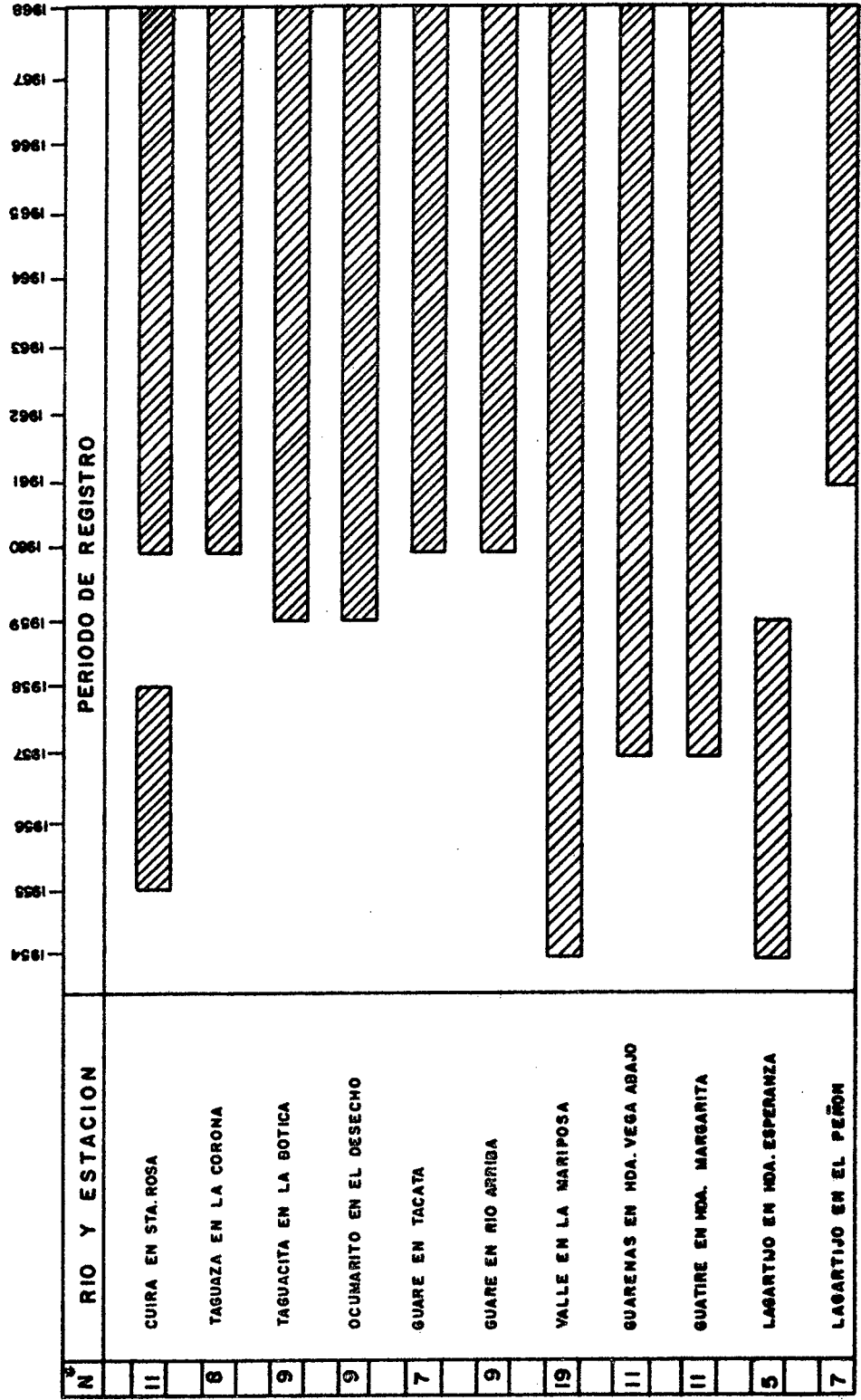
Siendo n el número de evento en cada serie parcial y m el orden de magnitud, asignándosele m=1 al evento mayor.

El análisis de valores extremos fué llevado a cabo por medio de una distribución Teórica doble exponencial, cuya deducción matemática puede encontrarse en las referencias indicadas (2).

Esta distribución se hace asintóticamente lineal en el infinito a medida que el número de eventos se incrementa indefinidamente. Para su utilización práctica se empleó el papel de probabilidades de valores extremos de Gumbell-Powell, en donde la serie de valores extremos aparece como una línea recta, permitiendo su extrapolación. La posición de Ploteo esta dada por la relación (a), y la línea de mejor ajuste se obtuvo por el método de los mínimos cuadrados. Se analizaron con anterioridad los períodos de retorno de los eventos ocurridos en el lapso de registro, ya que fue posible encontrar eventos cuyo período de retorno era mucho mayor el número de años de registro, trayendo como consecuencia una disminución en el verdadero período de retorno (3), por lo cual estos eventos fueron excluidos en el análisis final.

Las curvas de frecuencia así obtenidas se incluyen como Anexo B número 1 al 9. De estas curvas se dedujeron los gastos máximos que se pueda esperar sean igualados o excedidos para períodos de retorno de

FIG. 1 PERIODOS DE REGISTROS DE PICOS DE CRECIENTES ANUALES USADOS EN EL ESTUDIO DE FRECUENCIAS



* N = LONGITUD DEL REGISTRO EN AÑOS

T A B L A 1

Características Fisiográficas de las Sub-cuencas utilizadas
en el Estudio de Crecientes.-

SUB-CUENCA	AREA Km ²	PENDIENTE MEDIA mts/Km _T	LONGITUD DE CAUCE(L) Km	FACTOR FORMA F	ALTURA MEDIA mts.
CUIRA EN STA ROSA	546.3	5.1	55.0	2.08	491.0
TAGUAZA EN LA CORONA	192.4	11.1	26.9	1.72	457.6
TAGUACITA EN LA BOTICA	138.8	17.6	23.5	1.77	389.1
OCUMARITO EN EL DESECHO	115.0	24.6	16.8	1.38	420.3
LAGARTIJO EN EL PEÑON	242.2	12.0	31.2	1.77	440.8
LAGARTIJO EN HDA ESP.	318.7	6.1	53.6	2.66	440.8
GUARE EN TACATA	183.5	10.5	28.0	1.83	420.9
GUARE EN RIO ARRIBA	108.3	17.5	17.2	1.53	300.1
VALLE EN LA MARIPOSA	33.7	24.5	10.0	1.53	

2, 33, 10, 25, 50 y 100 años, cuyos valores numéricos se han indicado en la tabla n° 2.

3. - CORRELACION MULTIPLE.

El análisis de correlación Múltiple es una técnica Estadística que permite derivar los coeficientes de una ecuación en la cual intervienen numerosas variables. (6)

La Ecuación general empleada para expresar la relación entre las variables, es de la forma:

$$Y = C X^a Z^b \quad (1)$$

en la cual X y Z son las variables independientes, Y la variable dependiente, y C, a, b los coeficientes de la ecuación los cuales serán determinados por el método de los mínimos cuadrados.

La Ecuación (1) es llevada a la forma lineal mediante logaritmos:

$$\log Y = \log C + a \log X + b \log Z \quad (II)$$

un sistema de tres ecuaciones del tipo (II) es formado, en el cual a, b y logC son las cantidades desconocidas. Tales cantidades son obtenidas al resolver el sistema de ecuaciones de tal manera que la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores computados de logY con respecto a los valores observados de logY, sea mínima. (6)

4. - CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS DE UNA CUENCA. - DEFINICIONES. -

Entre las características físicas de una cuenca que influyen notoriamente, en una forma u otra, en la magnitud de las crecientes y de su desarrollo en el tiempo, cabe destacar entre otras, las siguientes:

- 1) Area de la Cuenca (A)
- 2) Longitud del cauce principal (L)
- 3) Pendiente media del cauce principal (S)
- 4) Factor Forma (F)
- 5) Densidad de Drenaje (D)
- 6) Elevación media (H)

T A B L A 2

Frecuencia y Magnitud en M³/seg. de las Crecientes de las sub-cuencas que forman parte del estudio de correlación múltiple. Datos obtenidos por análisis de valores extremos.

RIO	ESTACION	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)				
		2.33	10	25	50	100
CUIRA	STA ROSA	340	692	890	1028	1165
TAGUAZA	LA CORONA	205	330	402	450	505
TAGUACITA	LA BOTICA	145	274	348	400	452
OCUMARITO	EL DESECHO	98	259	354	419	485
LAGARTIJO	EL PEÑON	175	350	454	525	596
LAGARTIJO	HDA ESPERANZA	170	359	469	545	621
GUARE	TACATA	140	304	398	463	529
GUARE	RIO ARRIBA	110	260	339	397	450
VALLE	LA MARIPOSA	41	86	112	130	148

A continuación se define cada uno de estos términos

a) Area de la cuenca (A):

Se entiende por tal, a las zonas comprendidas dentro de la divisoria de agua y que drenan hacia la estación hidrométrica o hasta cualquier otro punto de concentración deseado. Se expresa en Km² y su determinación se hace sobre mapas de escala conveniente.

b) Longitud del cauce principal (L):

Se define como la longitud en Kms, a lo largo de dicho cauce comprendida entre el punto de concentración deseado y el punto más alejado en las cabeceras de la fuente.

c) PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL (S):

Es necesaria la determinación previa del perfil del río, desde sus cabeceras hasta el punto de concentración deseado.

Se divide la longitud L del cauce, en partes iguales y, se aplica la siguiente relación:

$$S = \left[\frac{N}{S_1^{-1/2} + S_2^{-1/2} + \dots + S_n^{-1/2}} \right]^2$$

siendo S₁, S₂, ... S_n las pendientes de los sucesivos intervalos. La pendiente media del cauce se expresa en mts/km. Se puede determinar también graficamente.

d) Factor Forma (F) :

Se define como la relación que hay entre la longitud del cauce principal y el diámetro del círculo de igual área que la cuenca, es decir:

$$F = \frac{L}{\sqrt{4A/\pi}}$$

e) Densidad de Drenaje (D) :

Se define como la relación que hay entre la longitud total de los canales de drenaje de la cuenca y el área de la cuenca; se expresa en Km/Km².

f) Elevación media (H) :

Si la elevación del punto de concentración es Z_0 y las sucesivas curvas de nivel son Z_1, Z_2 etc., entonces la altura media puede ser calculada midiendo el sector de cuenca encerrado por Z_1 , y también entre las curvas de nivel Z_1 y Z_2 , entre Z_2 y Z_3 etc... etc y llamando a estas áreas a_1, a_2, a_3 etc. La altura media se obtiene por la relación.

$$H = \frac{1}{A} (a_1 h_1 + a_2 h_2 + a_3 h_3 + a_n h_n)$$

siendo

$$h_1 = \frac{Z_1 + Z_0}{2} - Z_0 ; h_2 = \frac{Z_2 + Z_1}{2} - Z_0 , \text{ etc}$$

y n es el número de pequeñas áreas en las cuales es dividida la cuenca por las curvas de nivel.

5. - APLICACION DEL METODO DE CORRELACION MULTIPLE EN LA ESTIMACION DE CRECIENTES. -

La aplicación de la técnica estadística de múltiple correlación al Area (A) de la cuenca y a la pendiente media del cauce principal (S) y en la forma como se indica en el Capítulo 3, condujo a la siguiente relación:

$$Q_{25} = 1.452 A^{0.9} S^{0.373} \quad (\text{III})$$

En la cual Q_{25} representa la magnitud de la creciente en $M^3/\text{seg.}$ - cuyo intervalo de recurrencia es de 25 años.

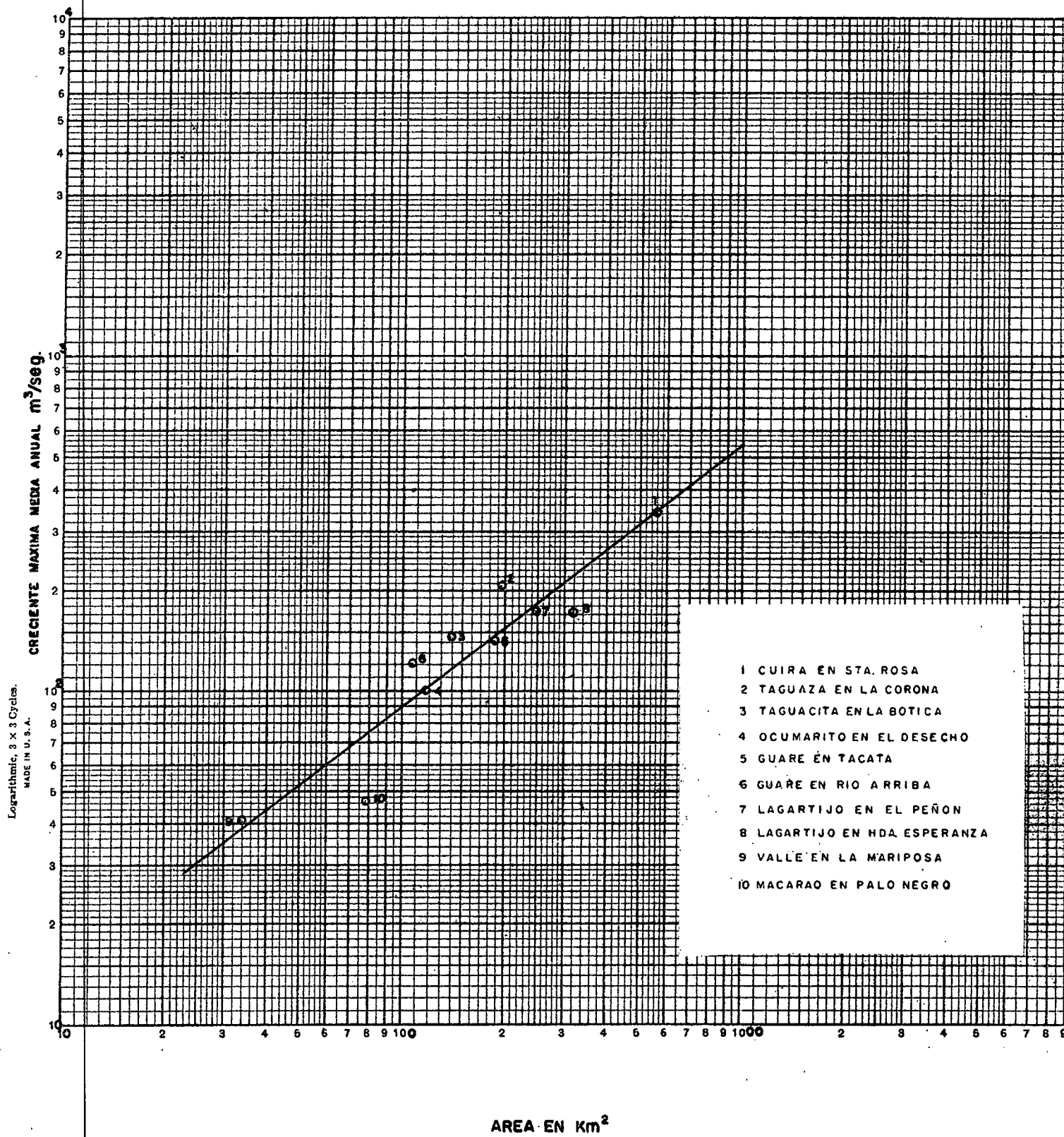
La precisión del método de correlación depende principalmente de tres factores: 1) del grado de correlación existente entre las variables utilizadas, 2) del tamaño de la muestra (número de cuencas) 3) de la longitud del período de registro del escurrimiento de que se disponga.

Como el área es el factor de mayor peso que afecta la magnitud de una creciente, se trató de probar el grado de correlación entre esta variable y la magnitud de la creciente máxima media anual obteniéndose la distribución que indica la Fig. 2, la cual es muy aceptable.

Generalmente se aceptan como más confiables las estimaciones provenientes del análisis de frecuencia. En base a este criterio (5) se han comparado los picos obtenidos por aplicación de la relación (III) con los resultados obtenidos por el análisis de frecuencia (capítulo 2). Tal comparación se indica gráficamente en la Fig. 3, donde las líneas finas representan una desviación media de $37.4M^3/\text{seg.}$

Para facilitar el empleo de la fórmula (III), se contruyó el nomograma que resuelve gráficamente a dicha ecuación (FIG. 4)

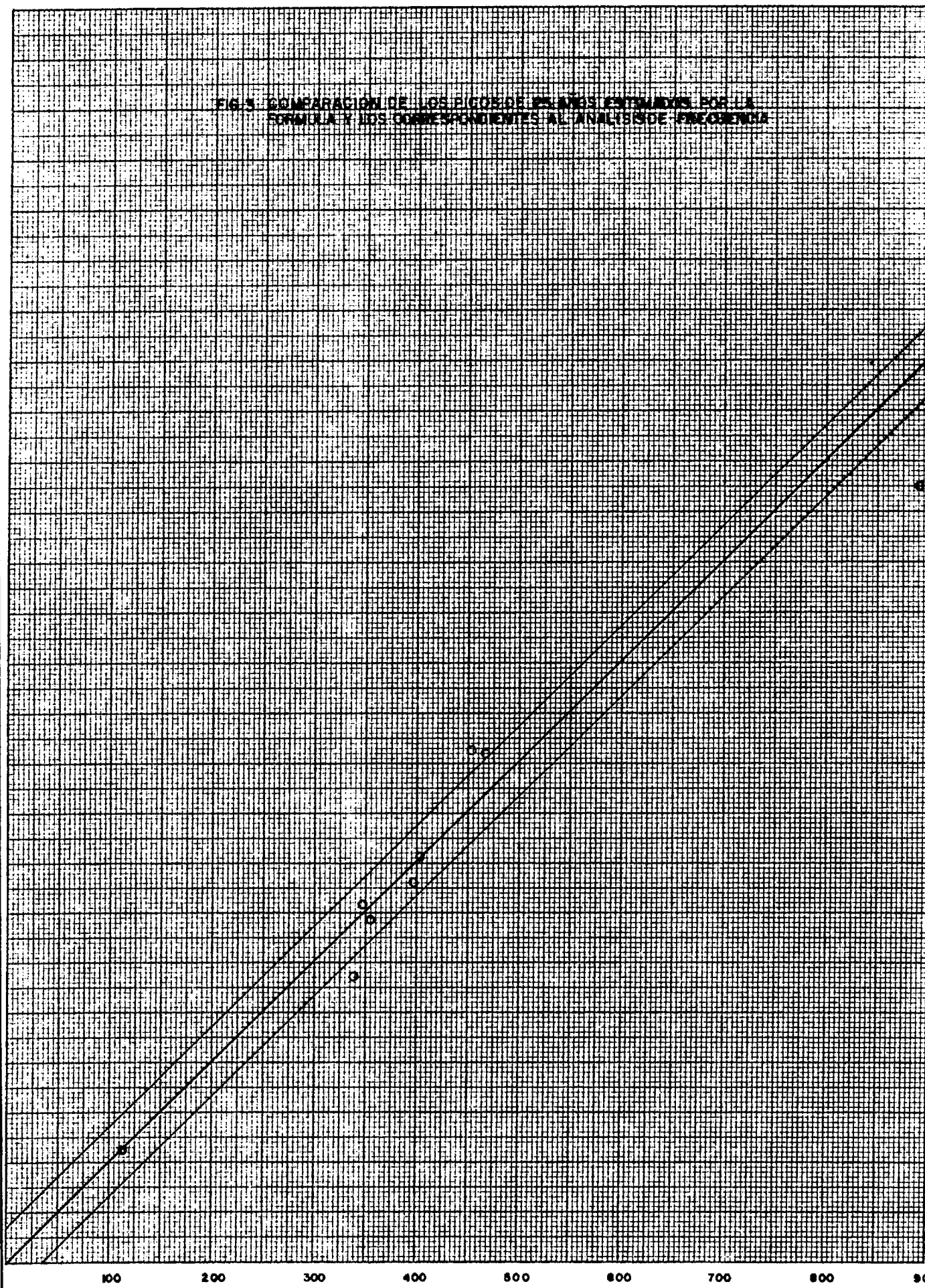
FIG. 2 RELACION ENTRE EL AREA DE LA CUENCA Y LA CRECIENTE MAXIMA MEDIA ANUAL



1 1/2" x 18" x 25" CM.
MADE IN U.S.A.
KEUFFEL & ESSER CO.

Q_{25} CALCULADO MEDIANTE FORMULA DEDUCIDA $M^3/SEG.$

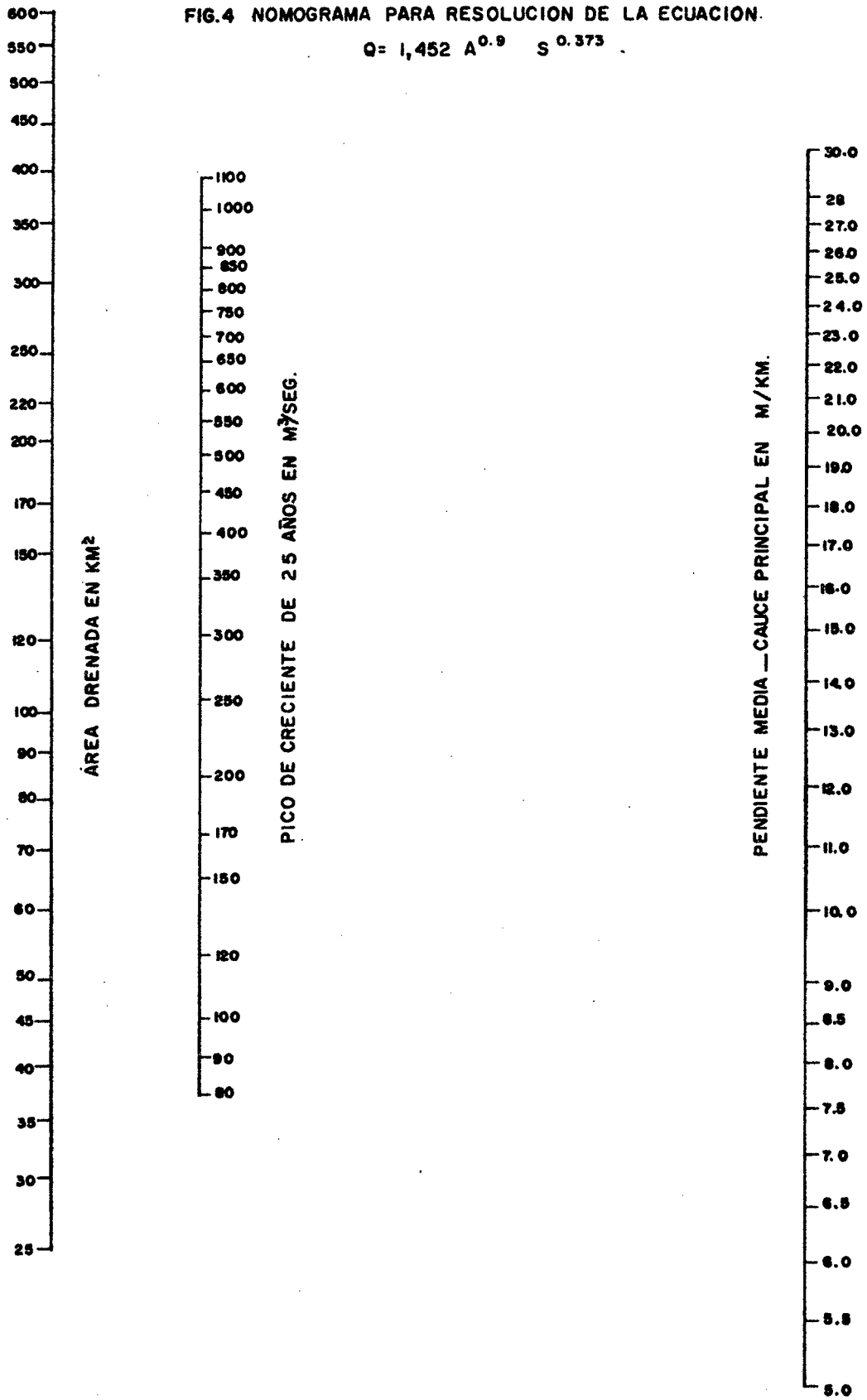
FIG. 5. COMPARACION DE LOS PIGOS DE PLANTAS ESTIMADOS POR LA FORMULA Y LOS CORRESPONDIENTES AL ANALISIS DE FRECUENCIA



Q_{25} (ANALISIS DE FRECUENCIA) $M^3/SEG.$

FIG.4 NOMOGRAMA PARA RESOLUCION DE LA ECUACION.

$$Q = 1,452 A^{0.9} S^{0.373}$$



Creemos que la relación obtenida puede ser aplicada en zonas de provistas de información hidrométrica y, similares tanto en sus características climáticas como geológicas, a la zona que sirve de base a éste trabajo. Los resultados que se obtengan pueden emplearse en la fase de anteproyecto de algunas estructuras tales como puentes, alcantarillas, aliviaderos, túneles de desviación etc. De todas maneras debe privar el criterio y experiencia del proyectista y no se pretende establecer algo definitivo.

Al aplicar la fórmula (III) debe cuidarse de que la zona en consideración caiga dentro del rango de valores con los cuales se han trabajado para obtener dicha relación. Es decir: será aplicable a áreas comprendidas entre 25 y 600 Km², con pendientes de cauce entre 5 y 30 mts/km.

A objeto de facilitar la comparación de alternativas, se ha creído conveniente presentar una relación gráfica entre la magnitud de las crecientes con frecuencia de 25 años, con crecientes de frecuencia mayor y menor. A tal efecto se elaboró la Fig. 5

6. - EJEMPLOS EN LA APLICACION DEL METODO.

Ejemplo (a) : "Se desea saber la magnitud del pico de la creciente de 10 años de frecuencia, del río Caramacate en "Las Ollas", con la finalidad de dimensionar el tunel de desviación de dicho río durante la construcción de la Presa proyectada inmediata al mencionado sitio."

Solución: El área drenada por el río Caramacate hasta el sitio de "Las Ollas" es de 42.3 Km², y la pendiente del cauce hasta el mismo sitio es de 23.5 mts/Km.

Utilizando la fórmula propuesta en el capítulo anterior y tomando logaritmos se tiene:

$$\log Q_{25} = 0.161967 + 0.9. \times 1.626340 + 0.373 \times 1.371068$$

$$\log Q_{25} = 2.137081$$

$$Q_{25} = 137.1 \text{ M}^3/\text{seg.}$$

Para pasar de la frecuencia de 25 años a la de 10 años hacemos uso de la Fig. 5 en la cual entrando con la magnitud de la creciente de 25 años en el eje de abscisas y desplazándose paralelamente al eje de las ordenadas hasta interceptar la recta para n = 10, leemos en el eje ordenadas Q₁₀ = 110 M³/seg. que es el valor buscado.

Utilizando el Nomograma (fig. 4) resolvemos rápidamente el primer paso. Basta unir los valores del área y la pendiente en los respectivos

Logarithmic, 3 X 3 Cycles.
MADE IN U. S. A.

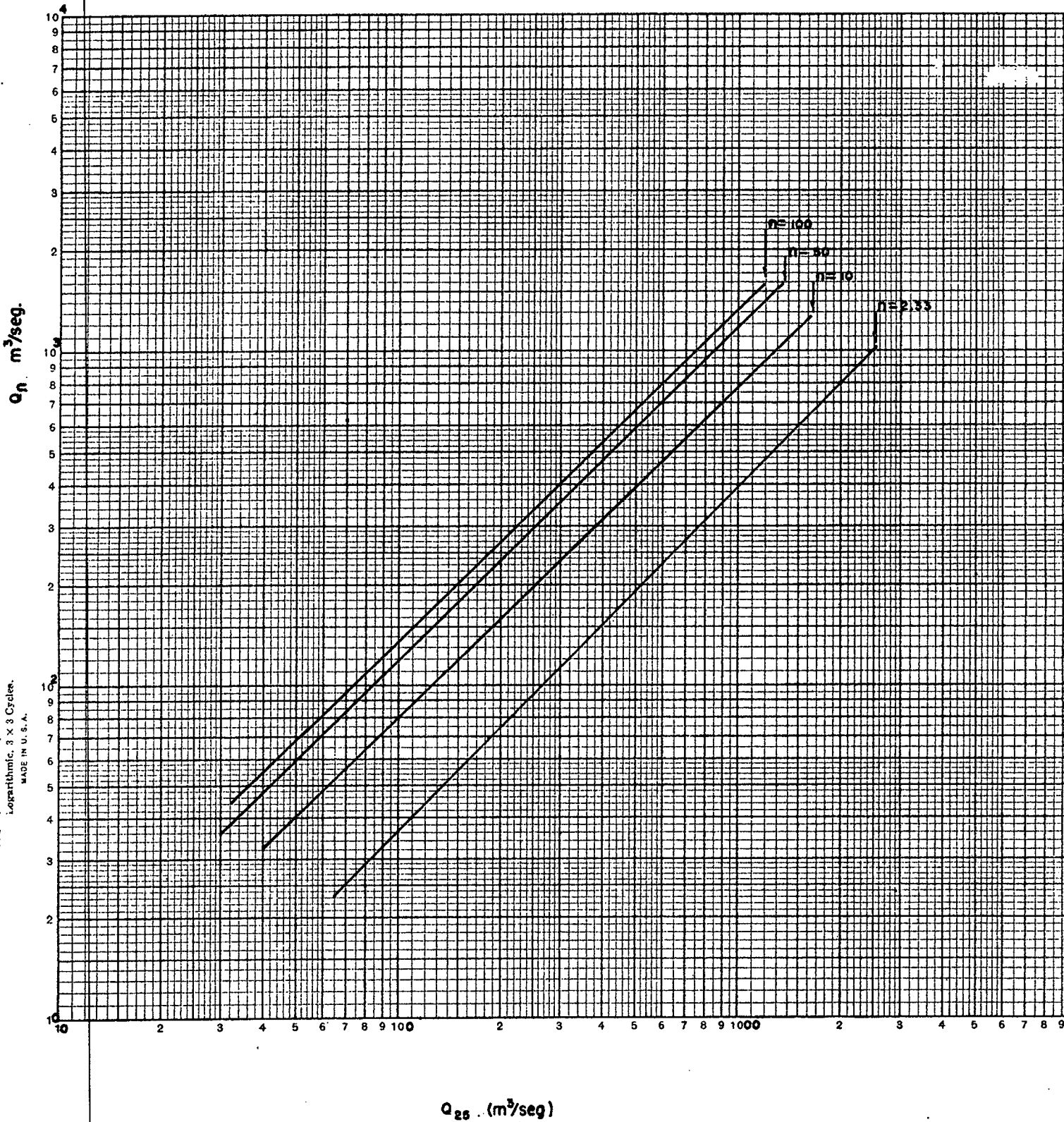


FIG. 5 RELACION ENTRE EL PICO DE 25 AÑOS Y EL DE OTRAS FRECUENCIAS

ejes mediante una recta, que intercepta el eje de Q_{25} en un punto cuyo valor leído en la escala es aproximadamente $14M^3/\text{seg}$. Se repite el paso segundo.

7. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7-a. Conclusiones.

1 : Se ha determinado las curvas de frecuencia de crecientes para varias sub-cuencas afluentes del río Tuy, mediante el análisis de valores extremos y ajustando los puntos por el método de los mínimos cuadrados.

2 : El método estadístico de correlación múltiple, aplicado al área de la cuenca y a la pendiente media del cauce principal, junto con las conclusiones alcanzados en el punto 1, condujo a establecer una relación empírica que permite estimar la magnitud del pico de crecientes con frecuencia de 25 años.

3 : La aplicación de la relación obtenida, es válida en zonas de características climáticas y geológicas similares a la de la zona estudiada y cuidando en todo caso de que los valores del área de la cuenca y de la pendiente del cauce se mantenga dentro del rango con que se ha trabajado.

4 : Es posible pasar de la magnitud del evento estimado con frecuencia de 25 años, a frecuencias diferentes, mediante el uso de un gráfico de trabajo anexo.

7-b. Recomendaciones.

1 : Se recomienda extender a otras regiones el estudio aquí realizado, con la finalidad de contar con relaciones sencillas que simplifiquen la estimación de picos de crecientes en la fase de anteproyectos viales e hidráulicos en las diferentes regiones del País.

2 : Sistematizar y ampliar la medición de picos de crecientes en todos aquellos cursos de agua de singular importancia por medio de instalación de medidores de máxima y, en lo posible utilizar las alcantarillas como medio de estimar picos.

3 : Con lo anterior, será posible en el futuro, lograr correlaciones con un grado de confiabilidad mayor de el aquí obtenido, ya que se contará con muestras más amplias.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Wu, I.P., Delleur, J.W., and ... "Determination of peak discharge and desing Hidrographs for small Watersheds in Indiana". Indiana flood control and Water resources commission, Indiana State Highway commission and Pardue University, 1964
- 2) Nash, J.E., ... "Applied flood Hydrology", Cap. 6 River engineering and Water conservation works, Edited by R. Berkeley, 1966.
- 3) Hershfield, D.M., and Kohler, M.A., ... "An empirical appraisal of the Gumbel extreme value procedure". Journal of Geofhysical Research, Vol 65 n° 6, pag. 1737 1746 - 1960
- 4) Ken, K.M. ... "A method for Estimating volume and rate of runoff in small water sheds". U. S. Department of Agriculture -soil conservation service. SCS-149, january 1968.
- 5) Larson, C.L. ... "A two-fhase approach to prediction of peak rates and frecuencies of Runoff for smallungaged Watersheds". Stanford University, Ph. D., 1965 Engineering, Civil.
- 6) Davies, O.L. ... "Métodos Estadísticos aplicados a la investigación y la producción". Aguilar, 1960.
- 7) Dale S. Davis ... "Nomography and Empirical Equation" Reinhold publishing Corporation, 2ª edición, 1962.

9). - LISTA DE ANEXOS.

ANEXO A :

- A-1 CURVA DE GASTOS DEL RIO LAGARTIJO EN EL PEÑON.
- A- 2 IDEM DEL RIO LAGARTIJO EN HDA ESPERANZA.
- A- 3 IDEM DEL RIO GUARE EN TACATA.
- A- 4 IDEM DEL RIO GUARE EN RIO ARRIBA.
- A- 5 IDEM DEL RIO TAGUAZA EN LA CORONA.
- A- 6 IDEM DEL RIO TAGUACITA EN LA BOTICA.
- A- 7 IDEM DEL RIO CUIRA EN STA ROSA.
- A- 8 IDEM DEL RIO OCUMARITO EN EL DESECHO.
- A- 9 IDEM DEL RIO VALLE EN LA MARIPOSA.

ANEXO B :

- B- 1 CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIENTE DEL RIO LAGARTIJO EN EL PEÑON.
- B- 2 IDEM DEL RIO GUARE EN TACATA.
- B- 3 IDEM DEL RIO VALLE EN LA MARIPOSA.
- B- 4 IDEM DEL RIO TAGUAZA EN LA CORONA.
- B- 5 IDEM DEL RIO OCUMARITO EN EL DESECHO.
- B- 6 IDEM DEL RIO LAGARTIJO EN HDA ESPERANZA.
- B- 7 IDEM DEL RIO GUARE EN RIO ARRIBA.
- B- 8 IDEM DEL RIO TAGUACITA EN LA BOTICA.
- B- 9 IDEM DEL RIO CUIRA EN STA ROSA.

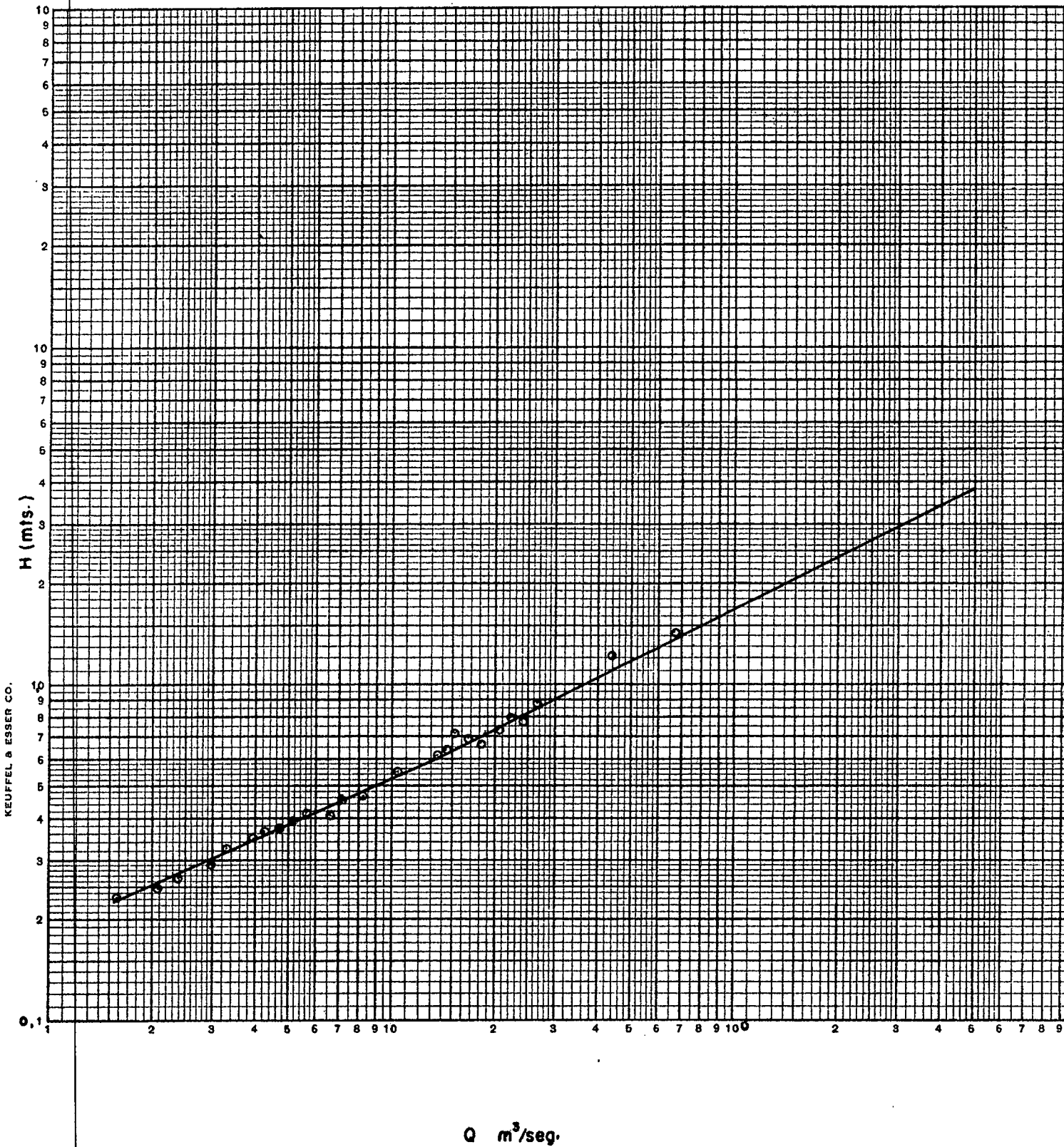
ANEXO C :

- C- 1 PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO GUARE EN RIO ARRIBA.
- C- 2 IDEM DEL RIO VALLE EN LA MARIPOSA.
- C- 3 IDEM DEL RIO OCUMARITO EN EL DESECHO.

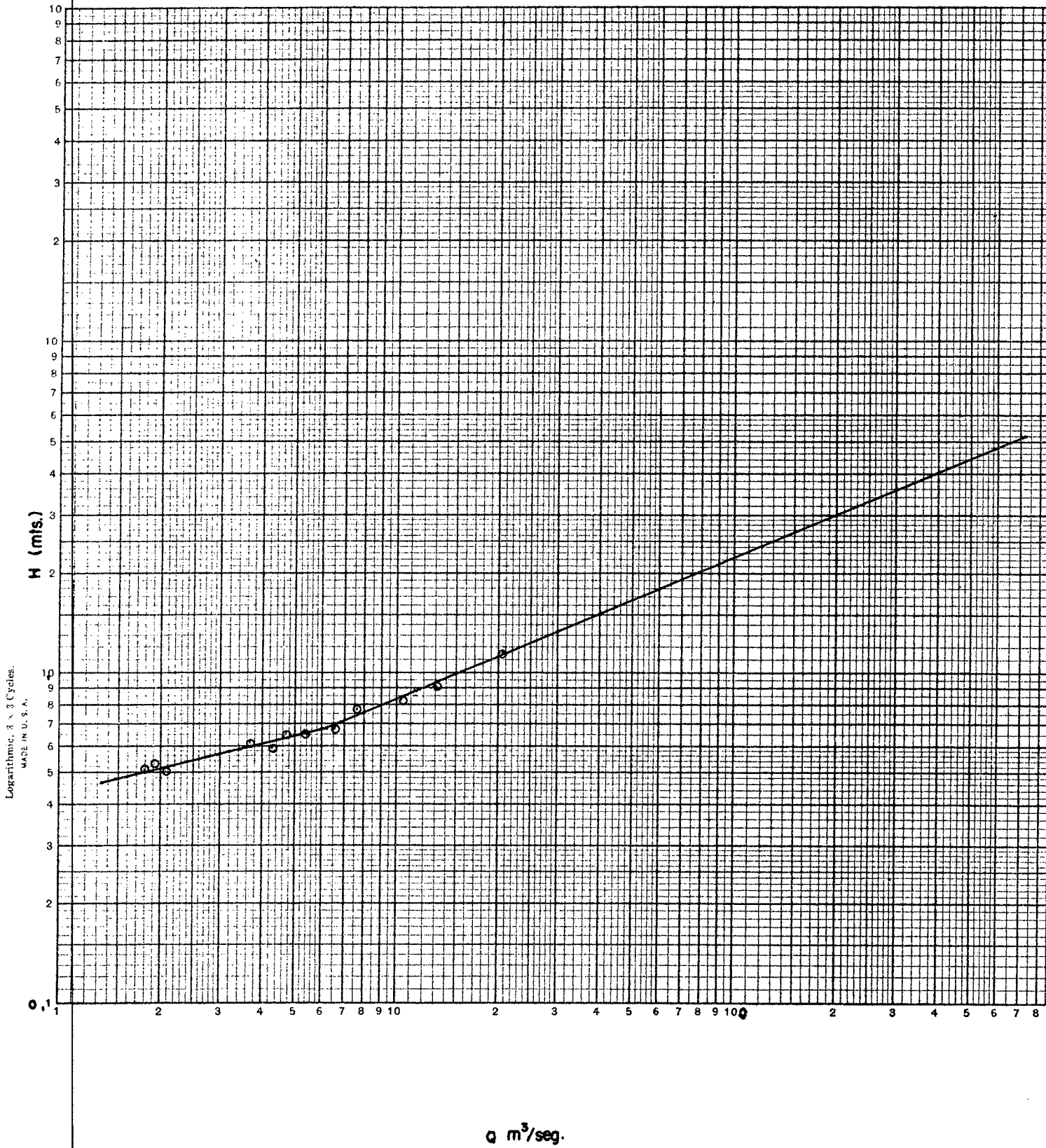
ANEXO D :

- D- 1 PLANO GENERAL DE LA ZONA ESTUDIADA.

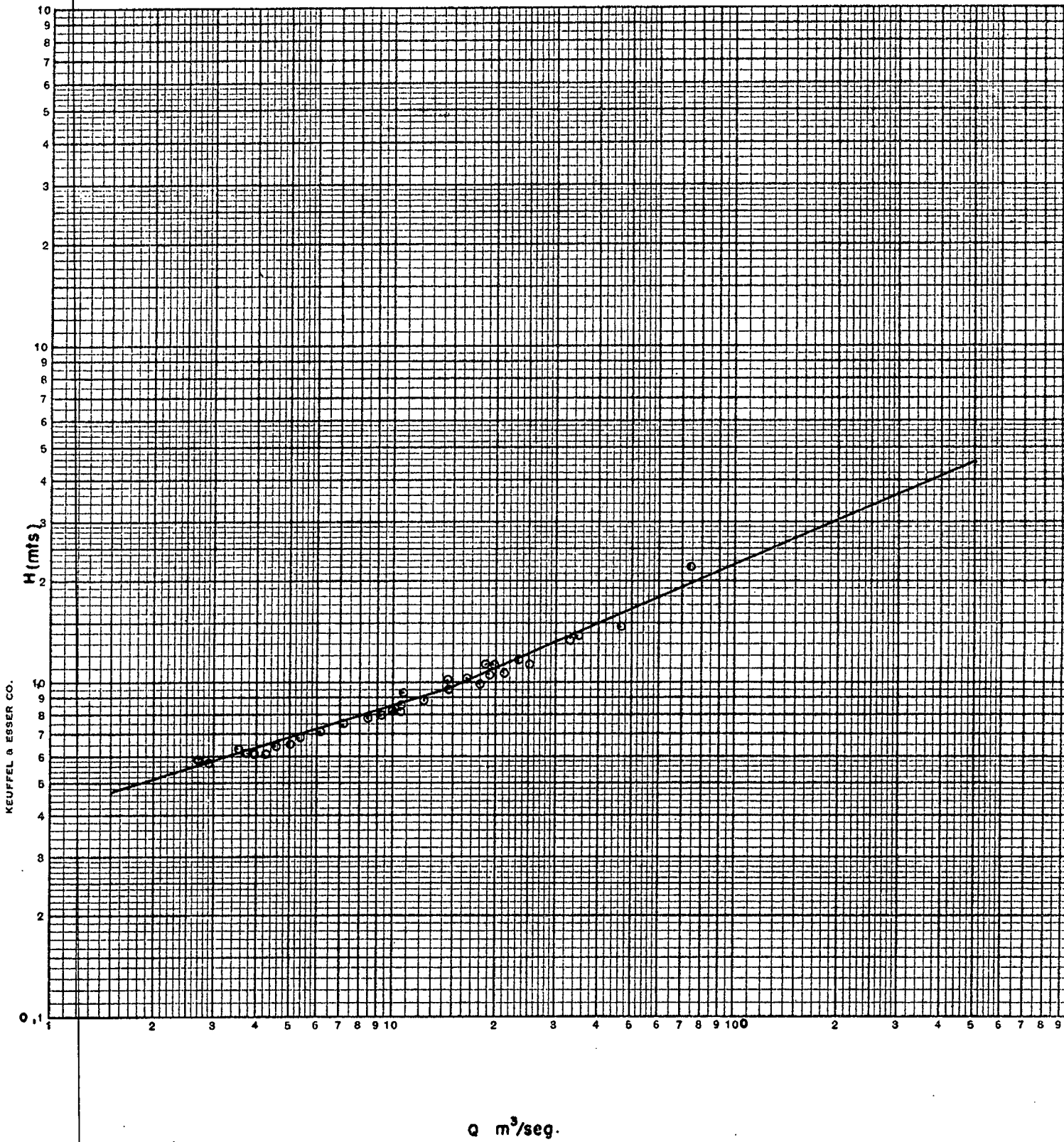
RIO LAGARTIJO EN EL PEÑON
RELACION ALTURA DE MIRA - GASTO



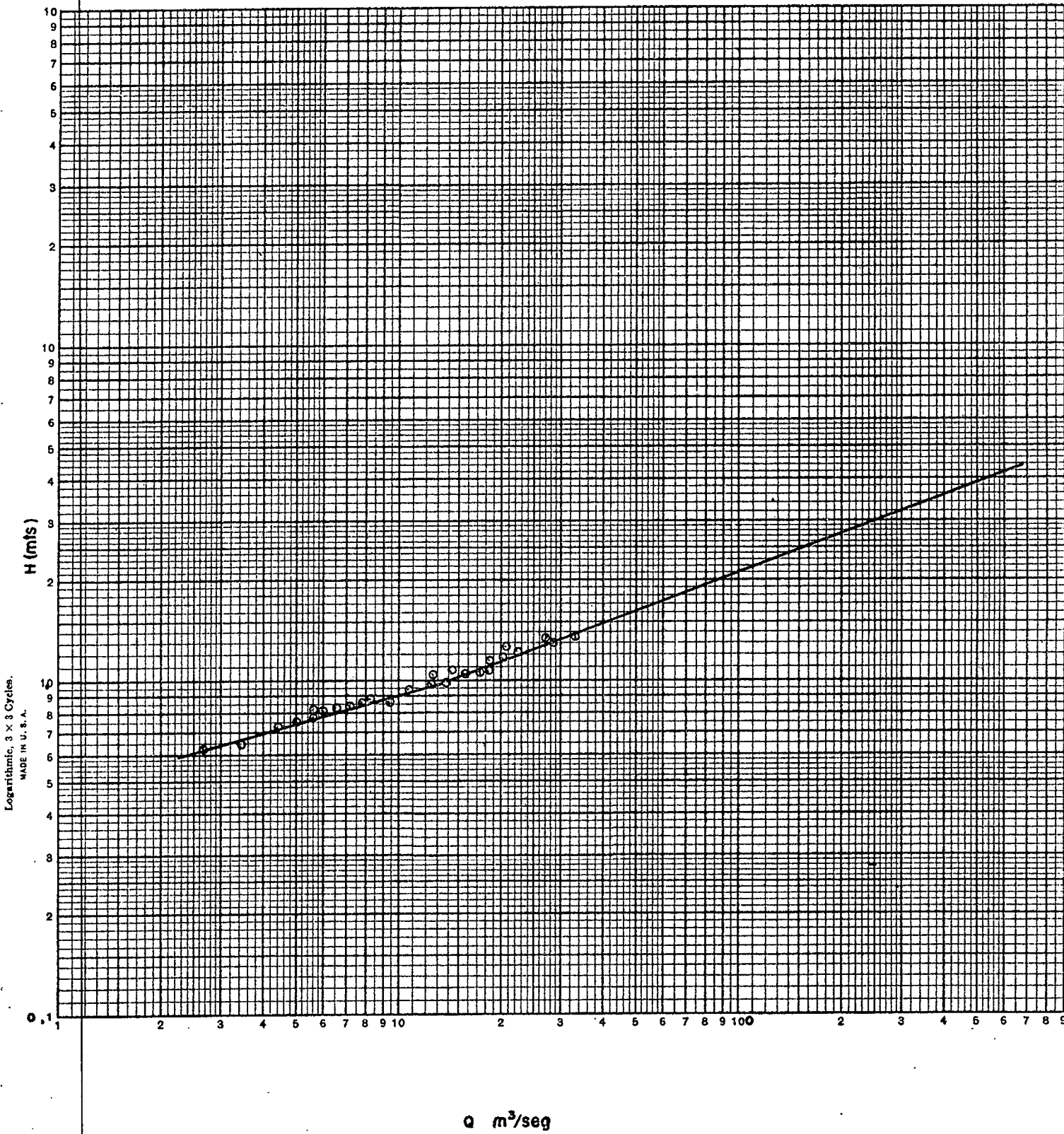
RIO LAGARTIJO EN HDA. ESPERANZA
 RELACION ALTURA DE MIRA — GASTO



RIO GUARE EN TACATA
 RELACION ALTURA DE MIRA — GASTO

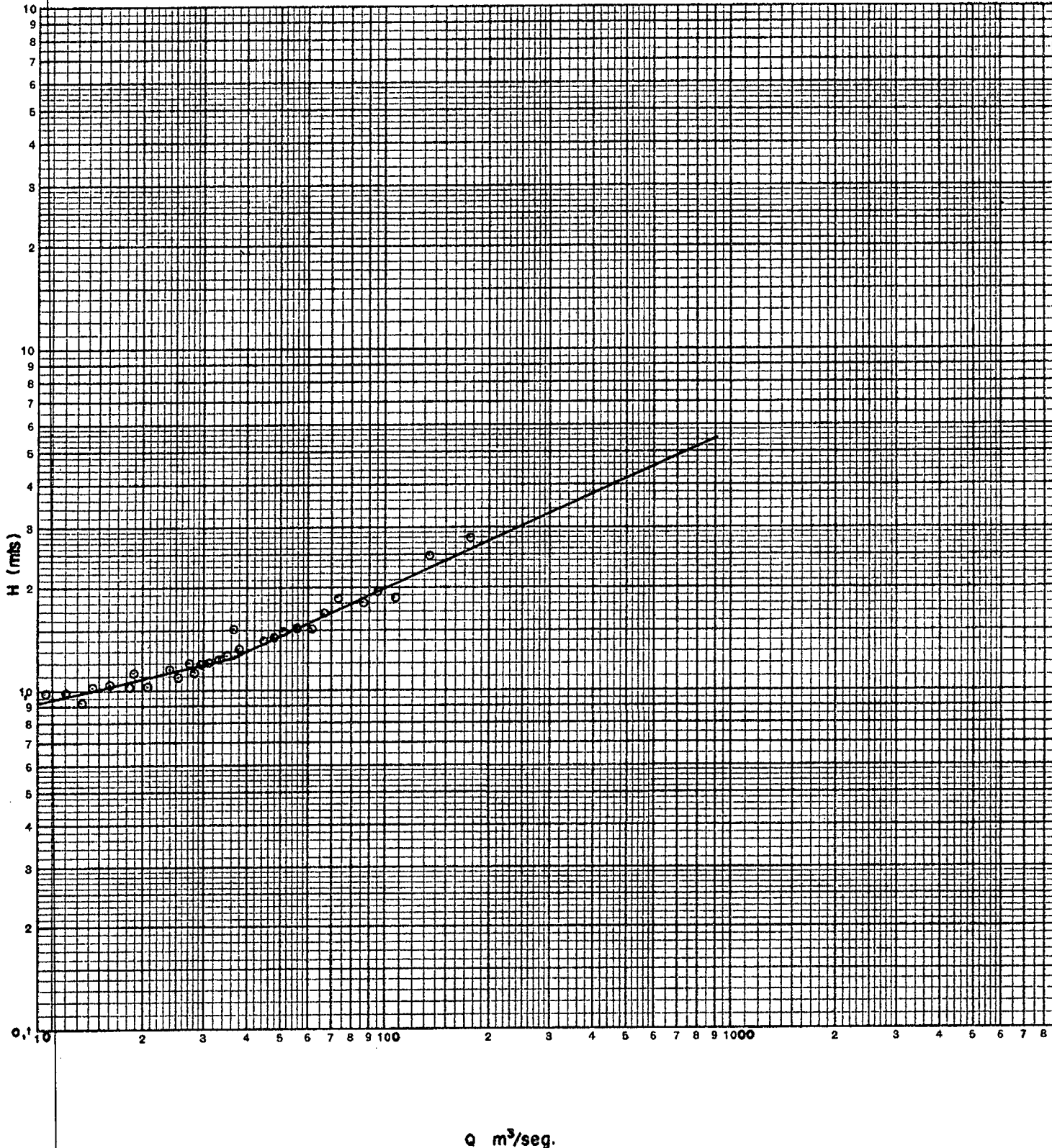


RIO GUARE EN RIOARRIBA
 RELACION ALTURA DE MIRA GASTO

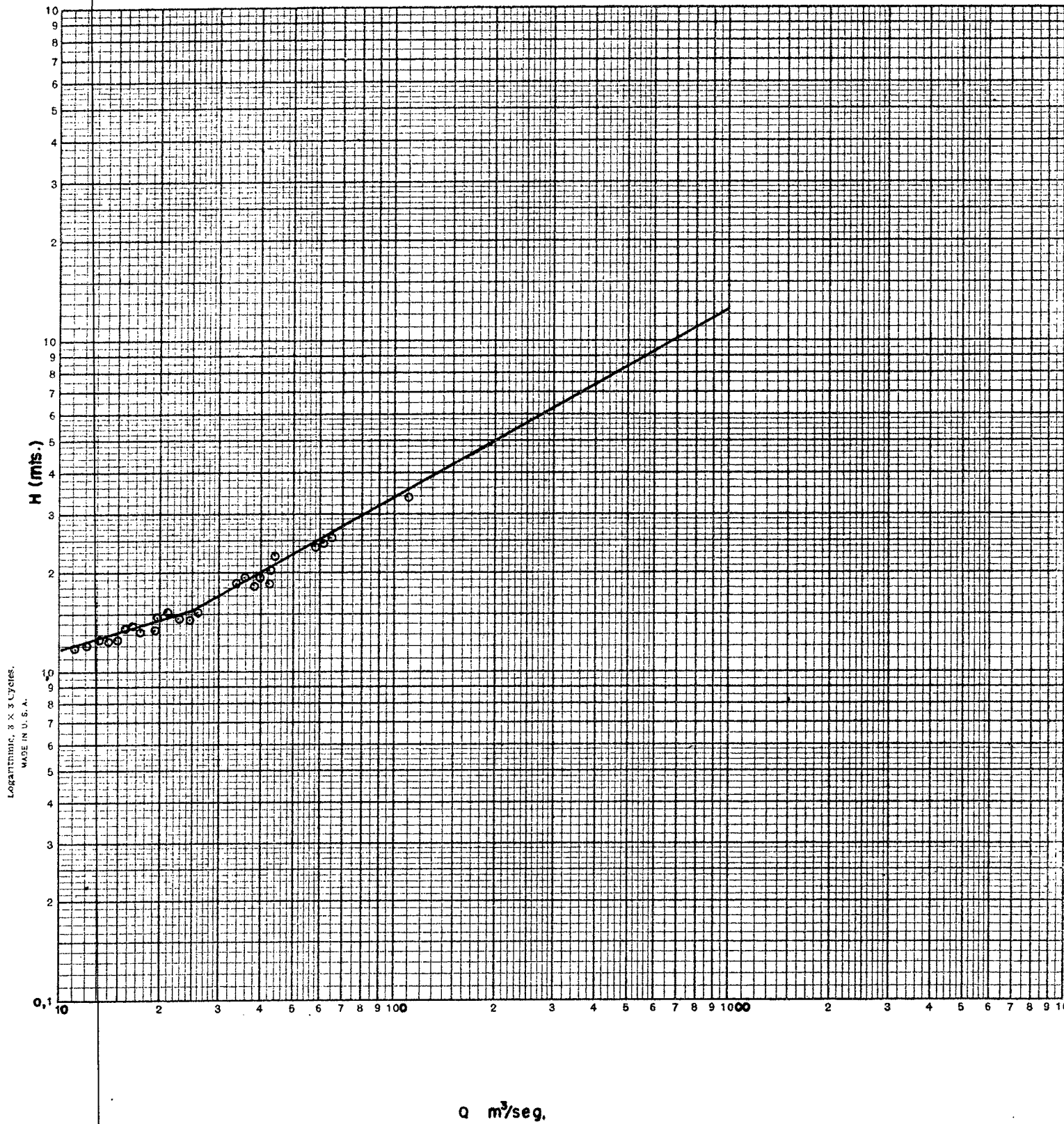


RIO TAGUAZA EN LA CORONA
 RELACION ALTURA DE MIRA — GASTO

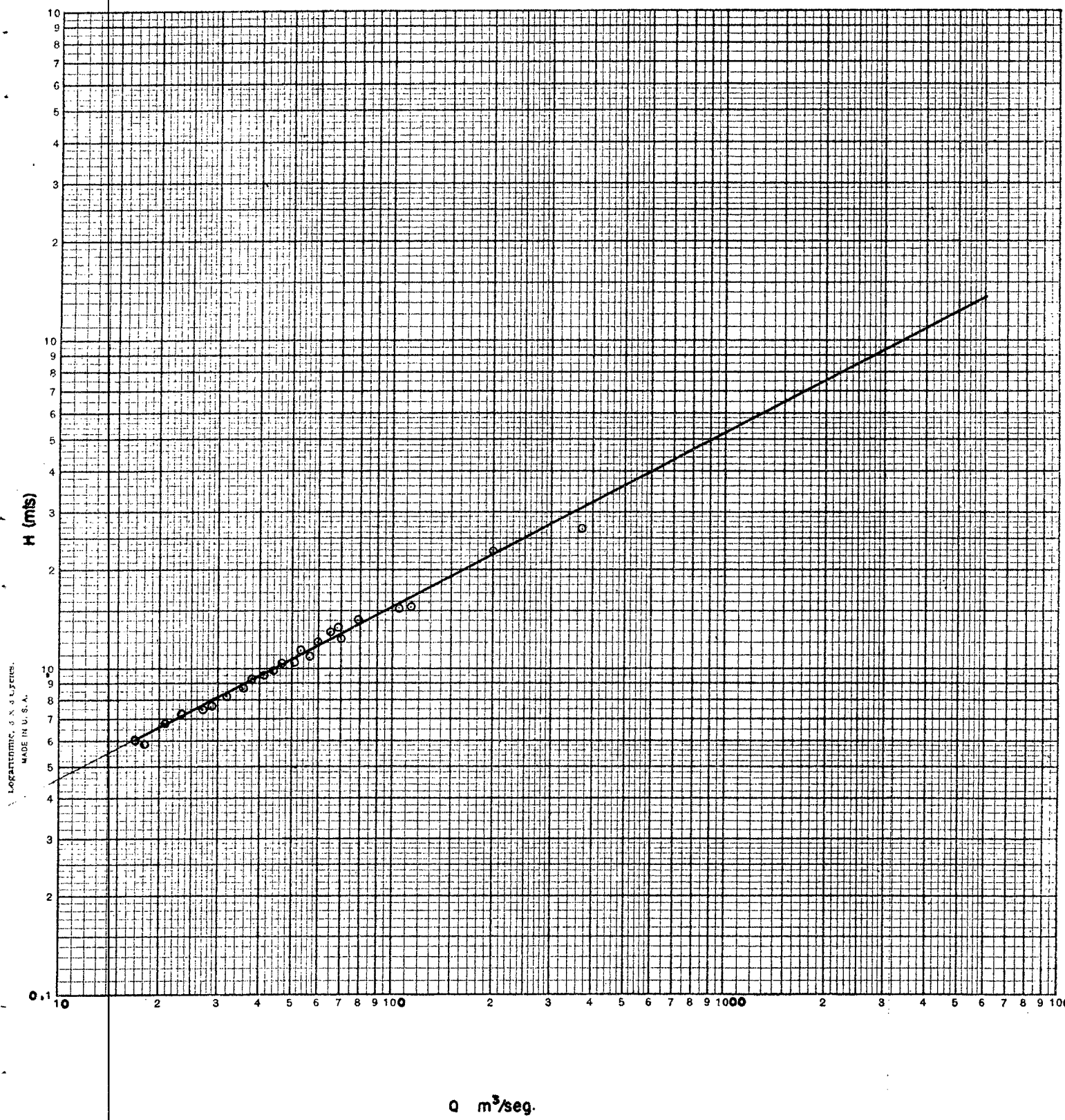
102 3 X 3 CYCLES
 KEUFFEL & ESSER CO.
 MADE IN U.S.A.



RIO TAGUACITA EN LA BOTICA
 RELACION ALTURA DE MIRA ← GASTOS

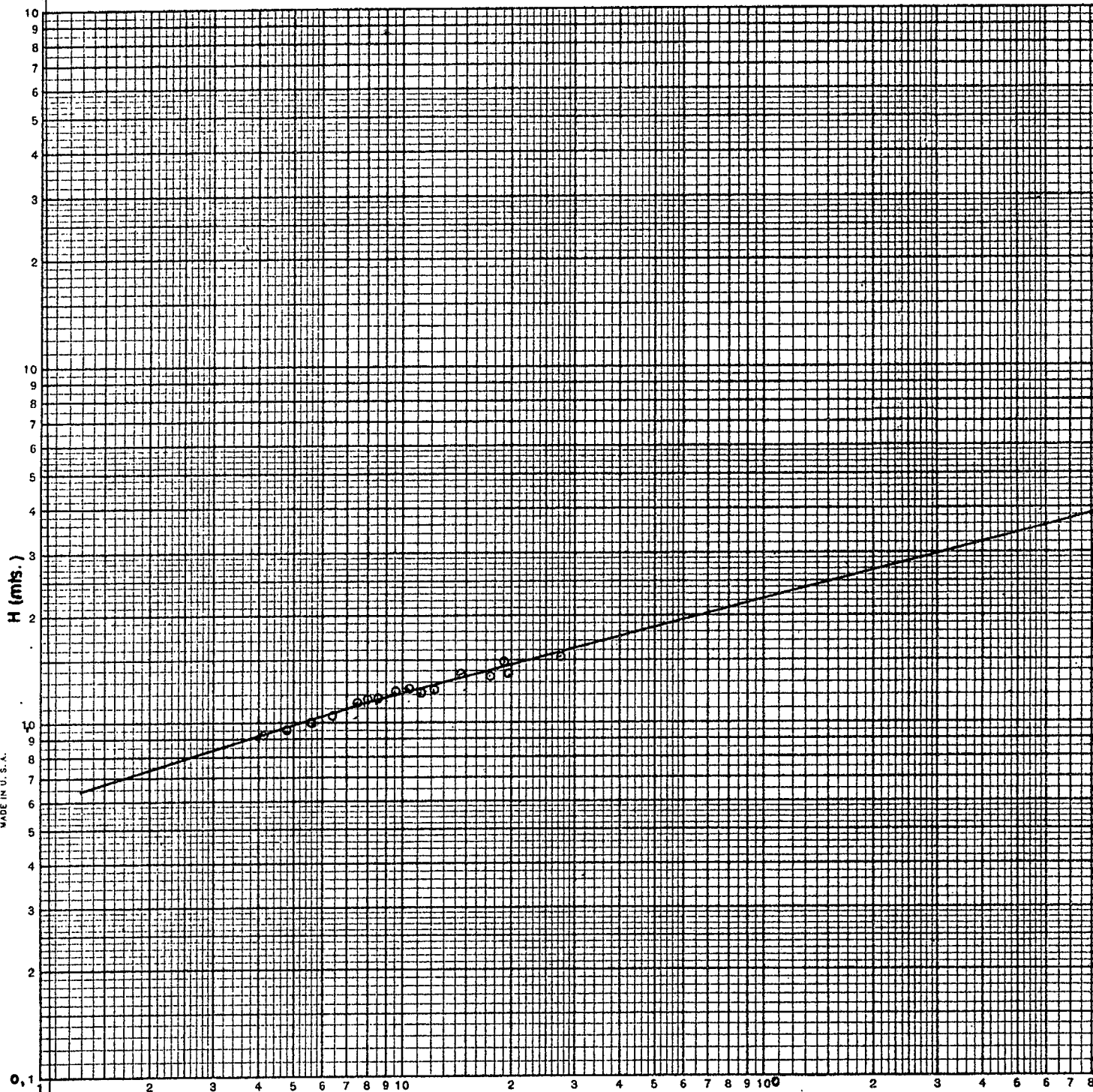


RIO CUIRA EN STA. ROSA
 RELACION ALTURA DE MIRA ← GASTOS



Logartimic, 3 X 3 Cycles.
 MADE IN U.S.A.

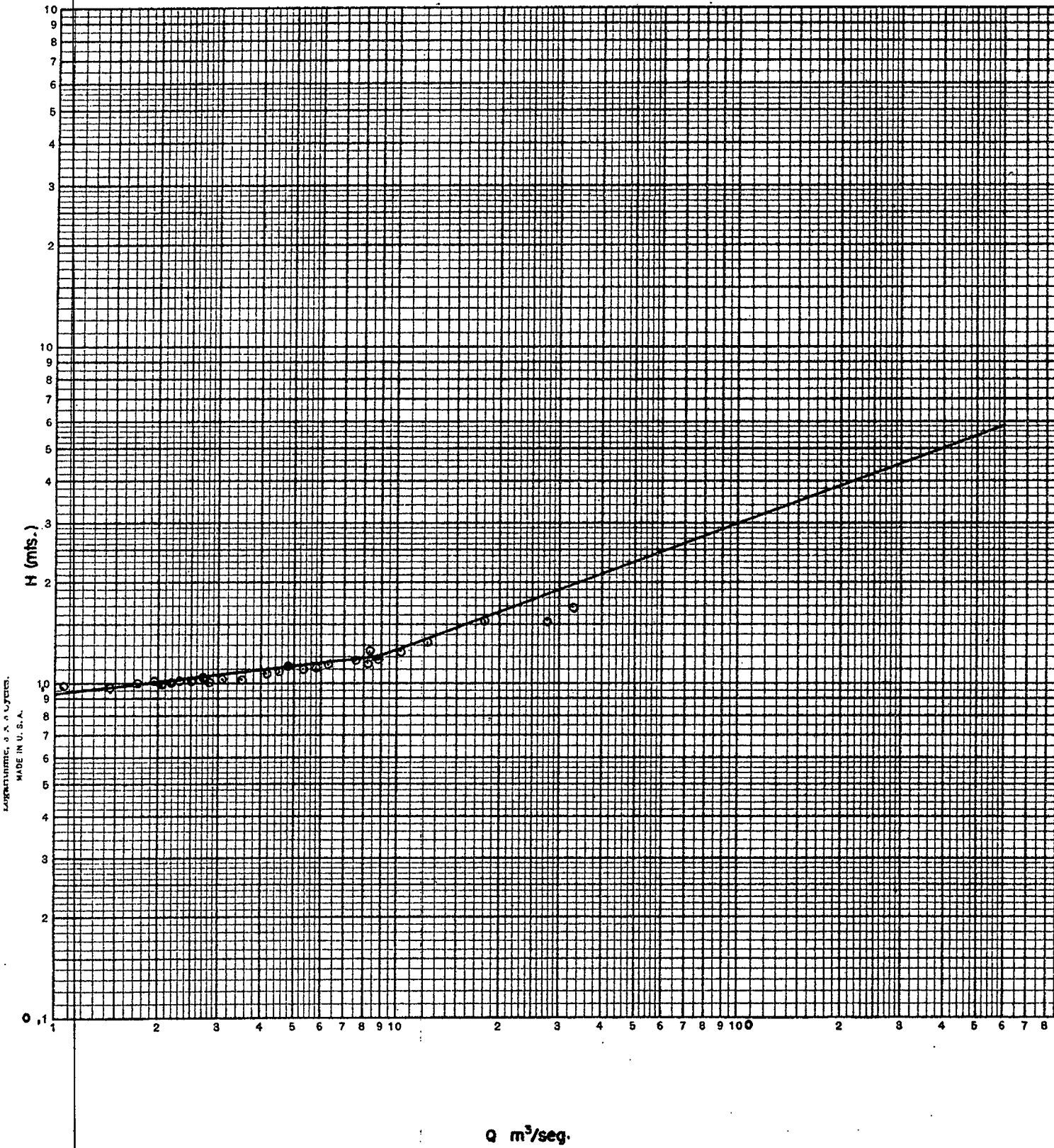
RIO OCUMARITO EN EL DESECHO
 RELACION ALTURA DE MIRA ↔ GASTO

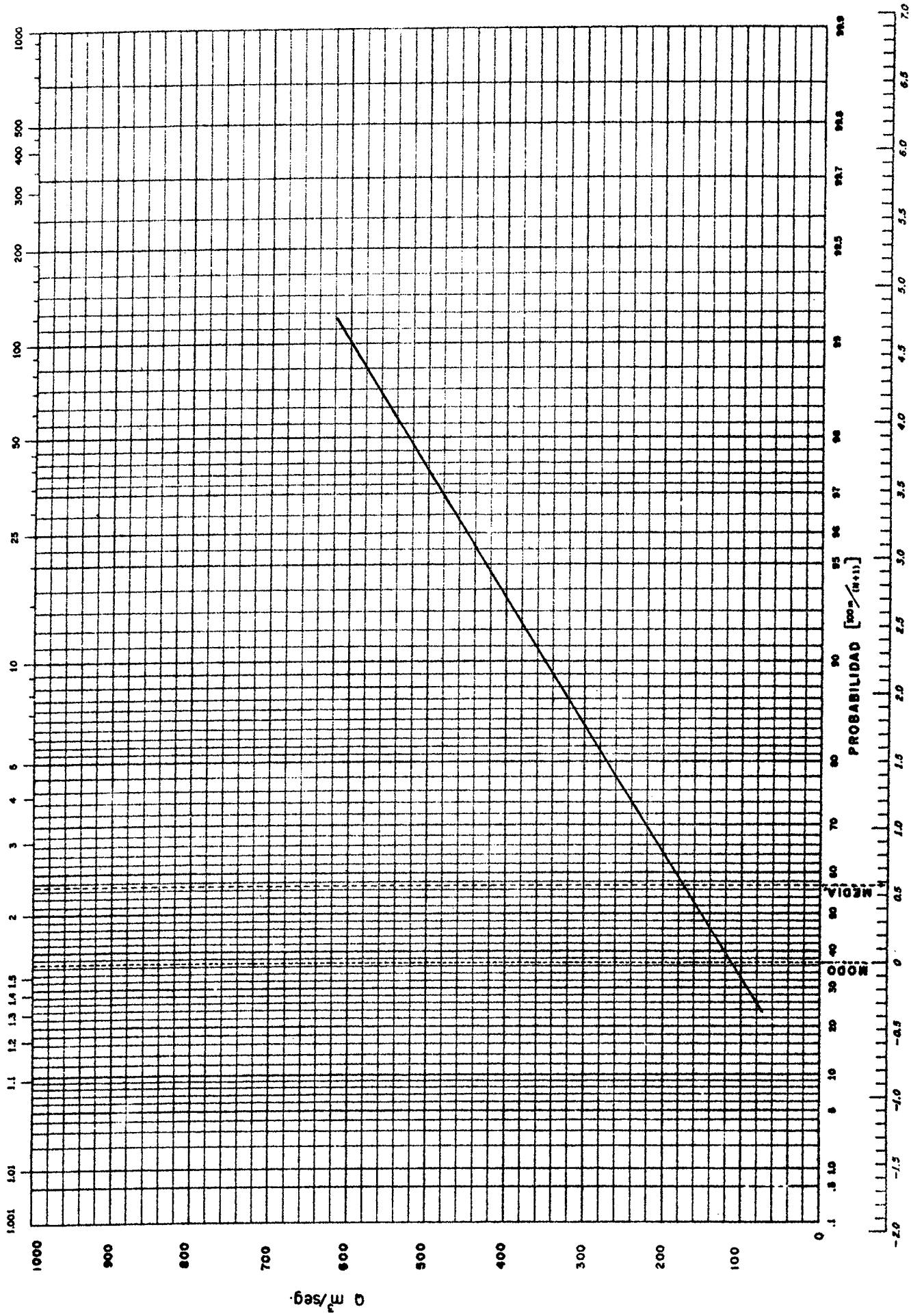


KEUFFEL & ESSER CO., N. Y. NO. 369-120
 Logarithmic, 3 X 3 Cycles.
 MADE IN U.S.A.

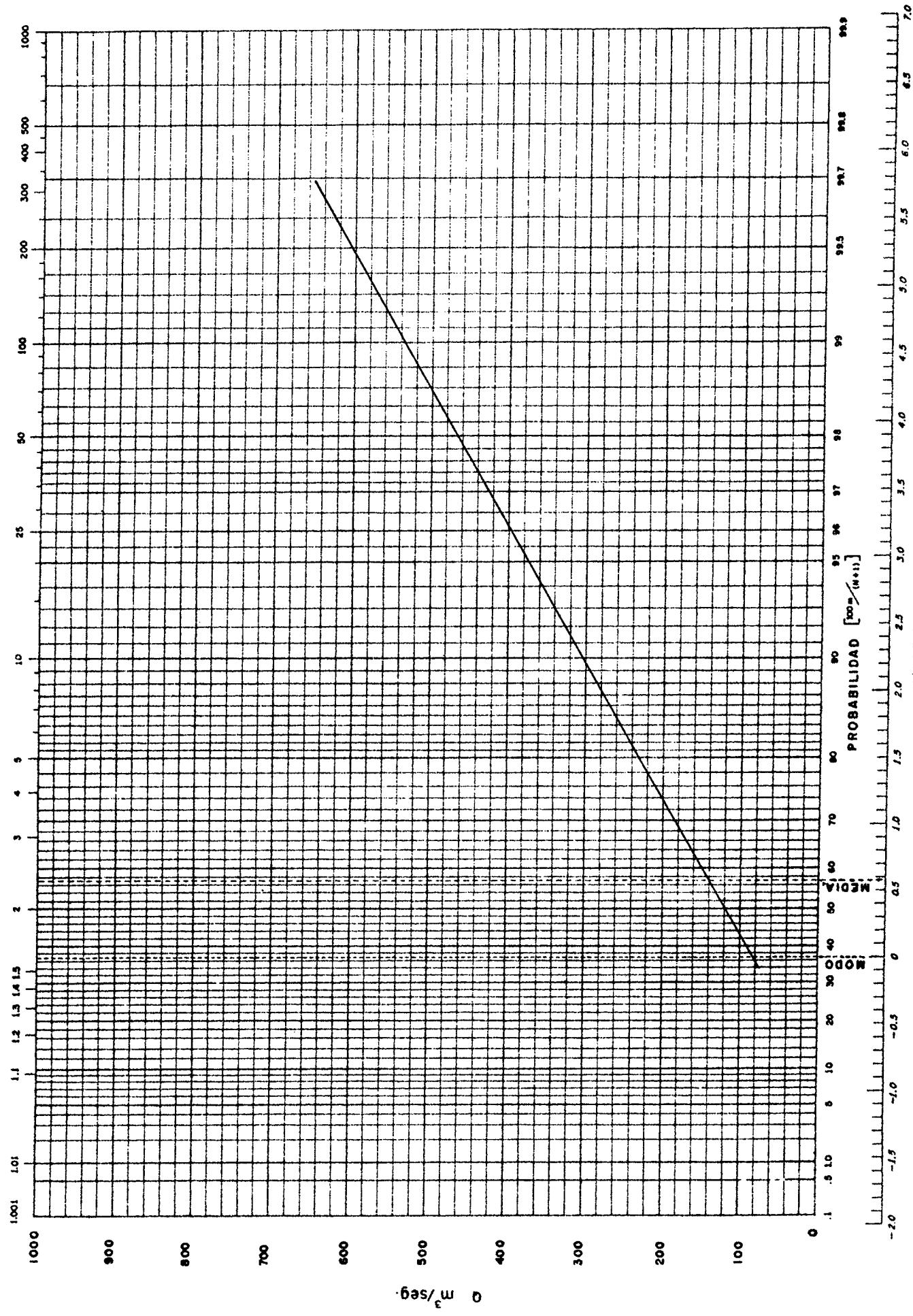
Q m³/seg.

RIO VALLE EN LA MARIPOSA
 RELACION ALTURA DE MIRA - GASTO.

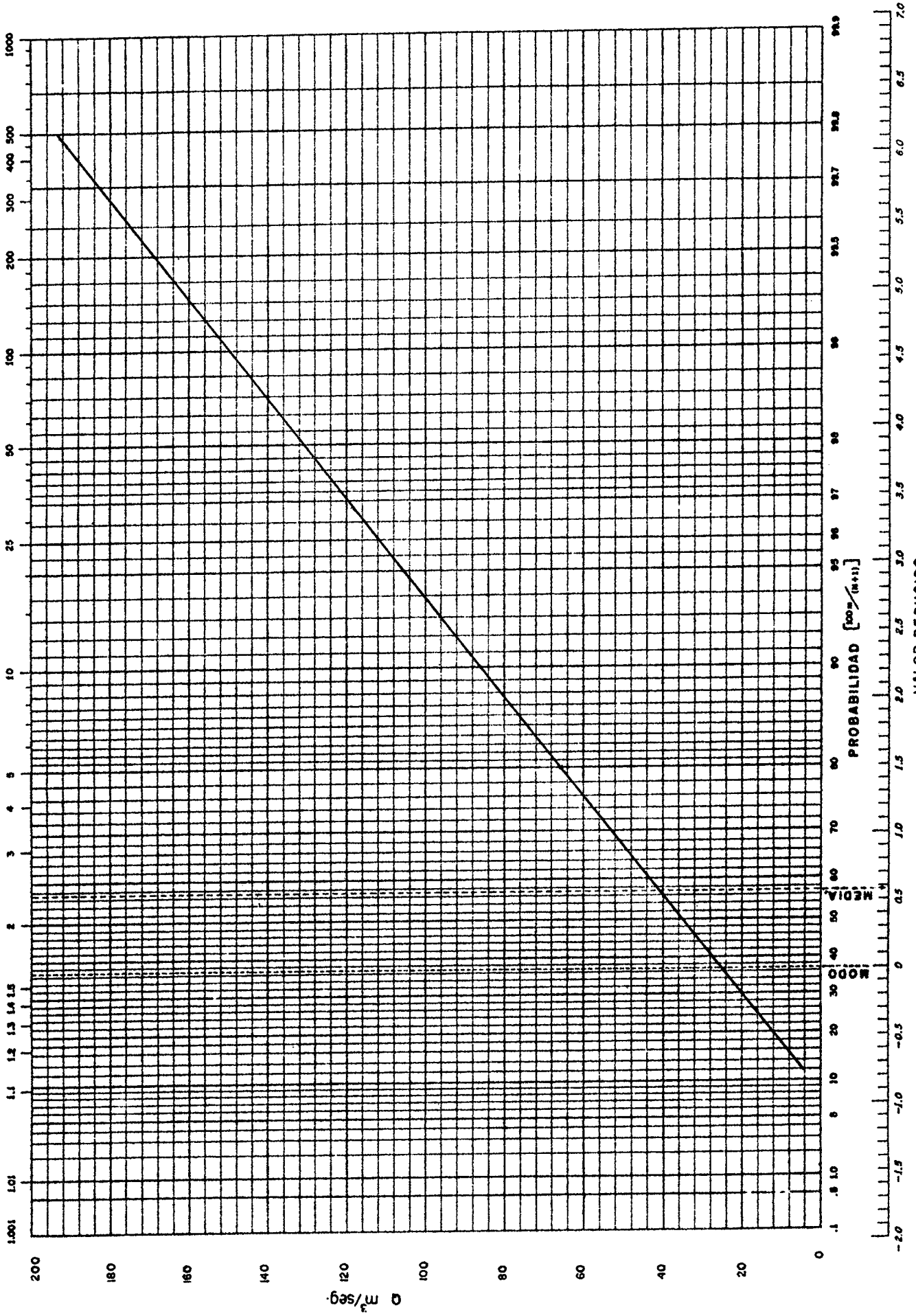




PAPEL DE PROBABILIDAD EXTREMA RIO GUARE EN TACATA
 CURVA DE FRECUENCIA DE CRECIENTES

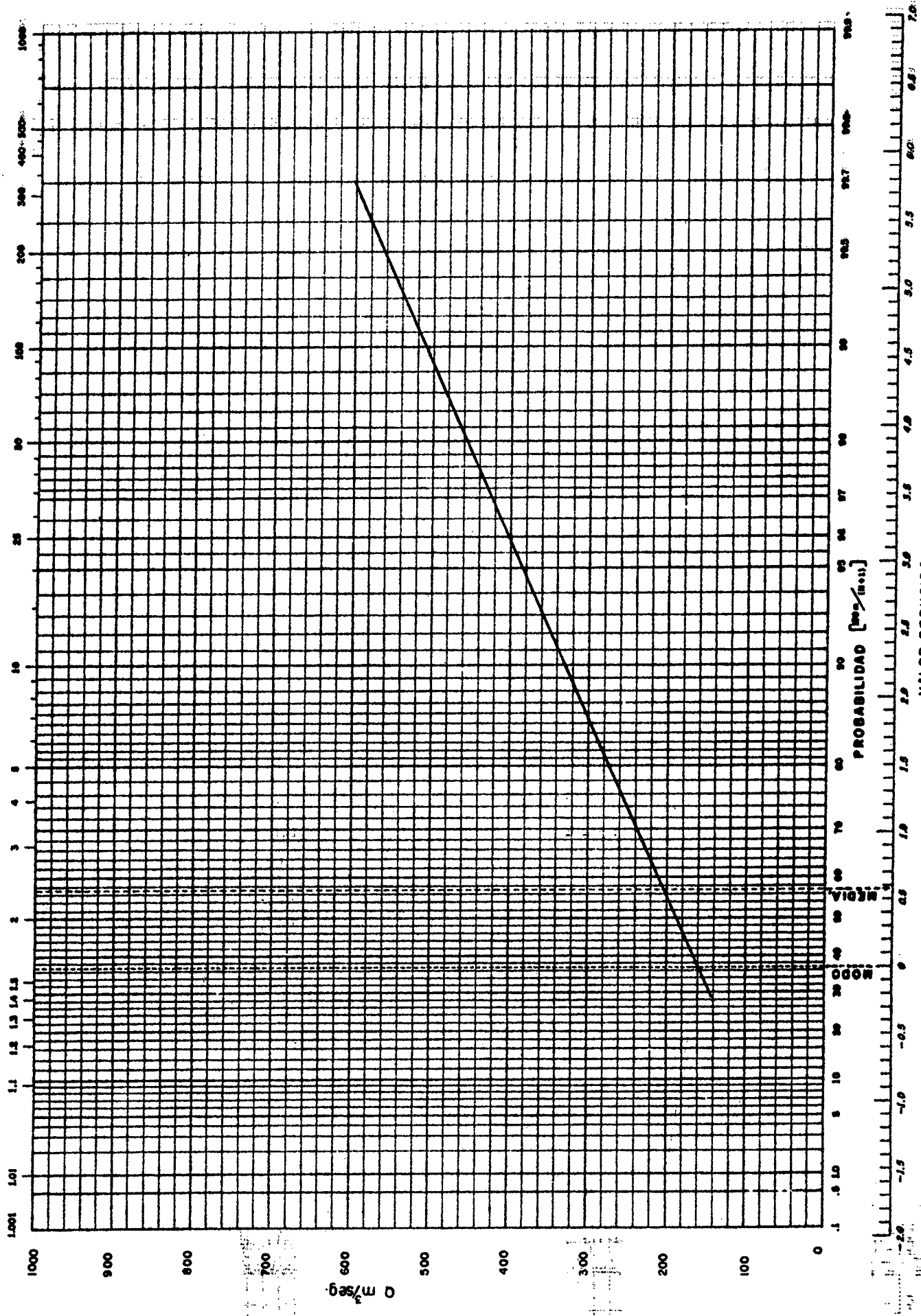


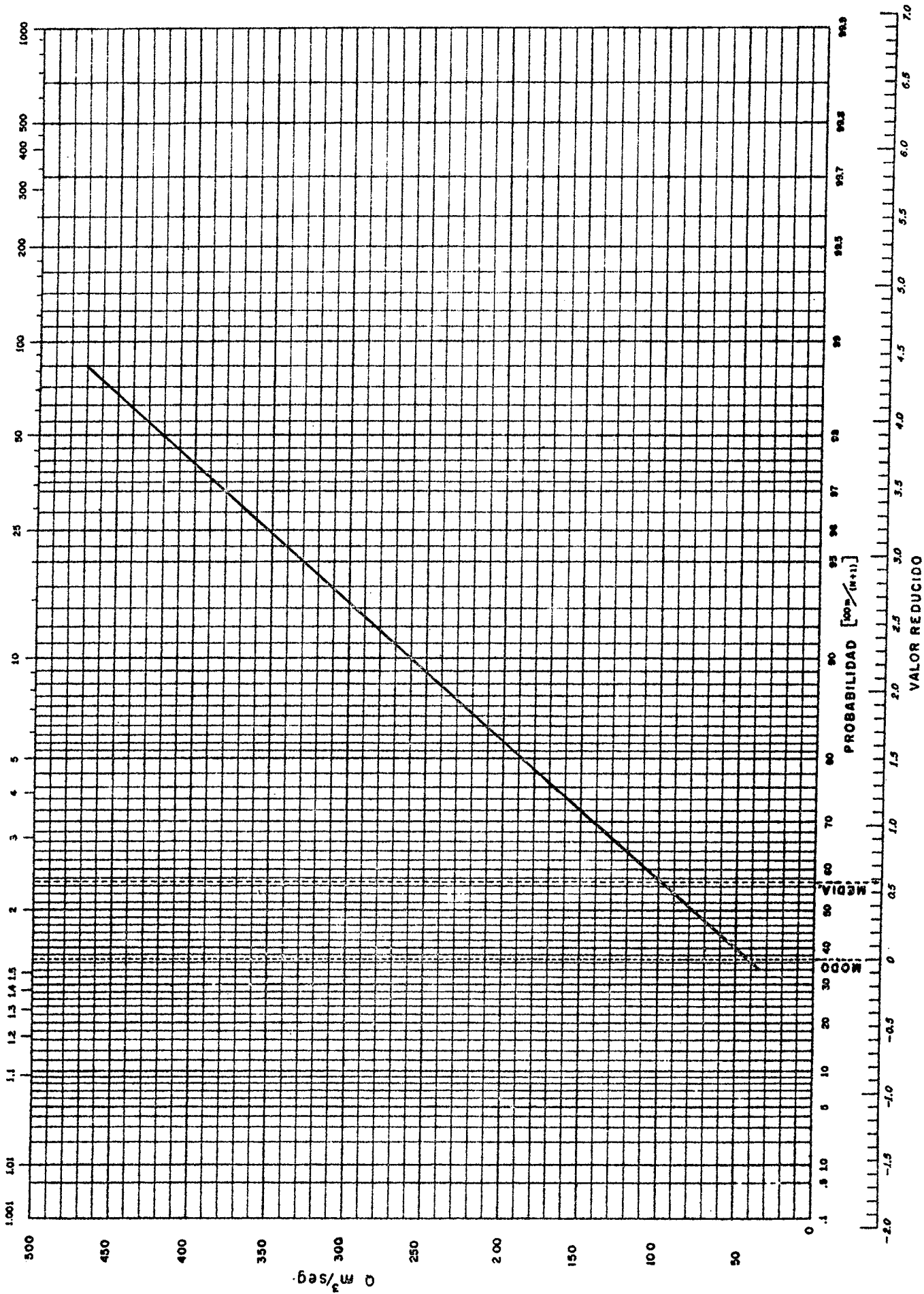
PERIODO DE RETORNO (años)

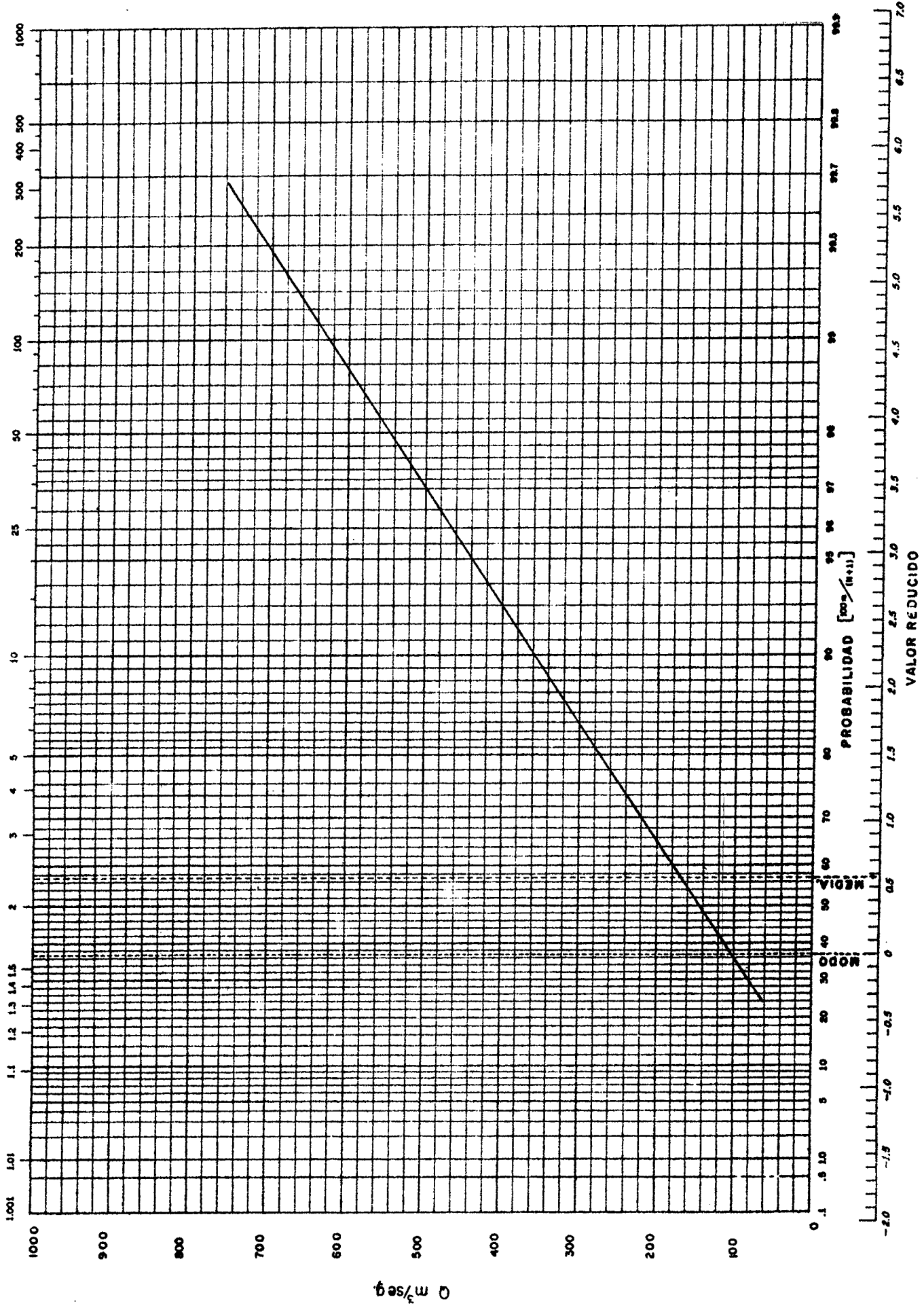


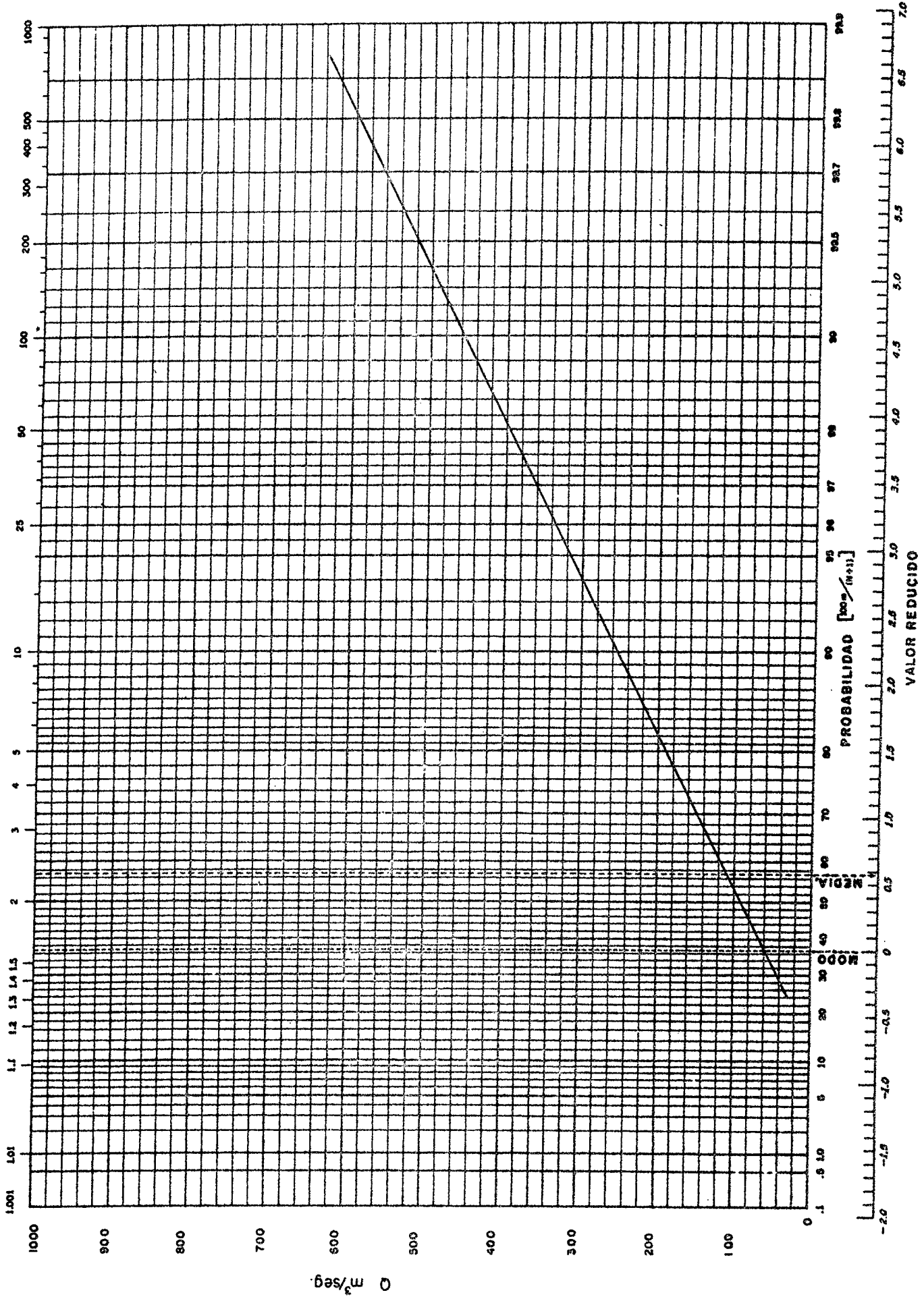
PROBABILIDAD $\left[\frac{100}{n+1} \right]$

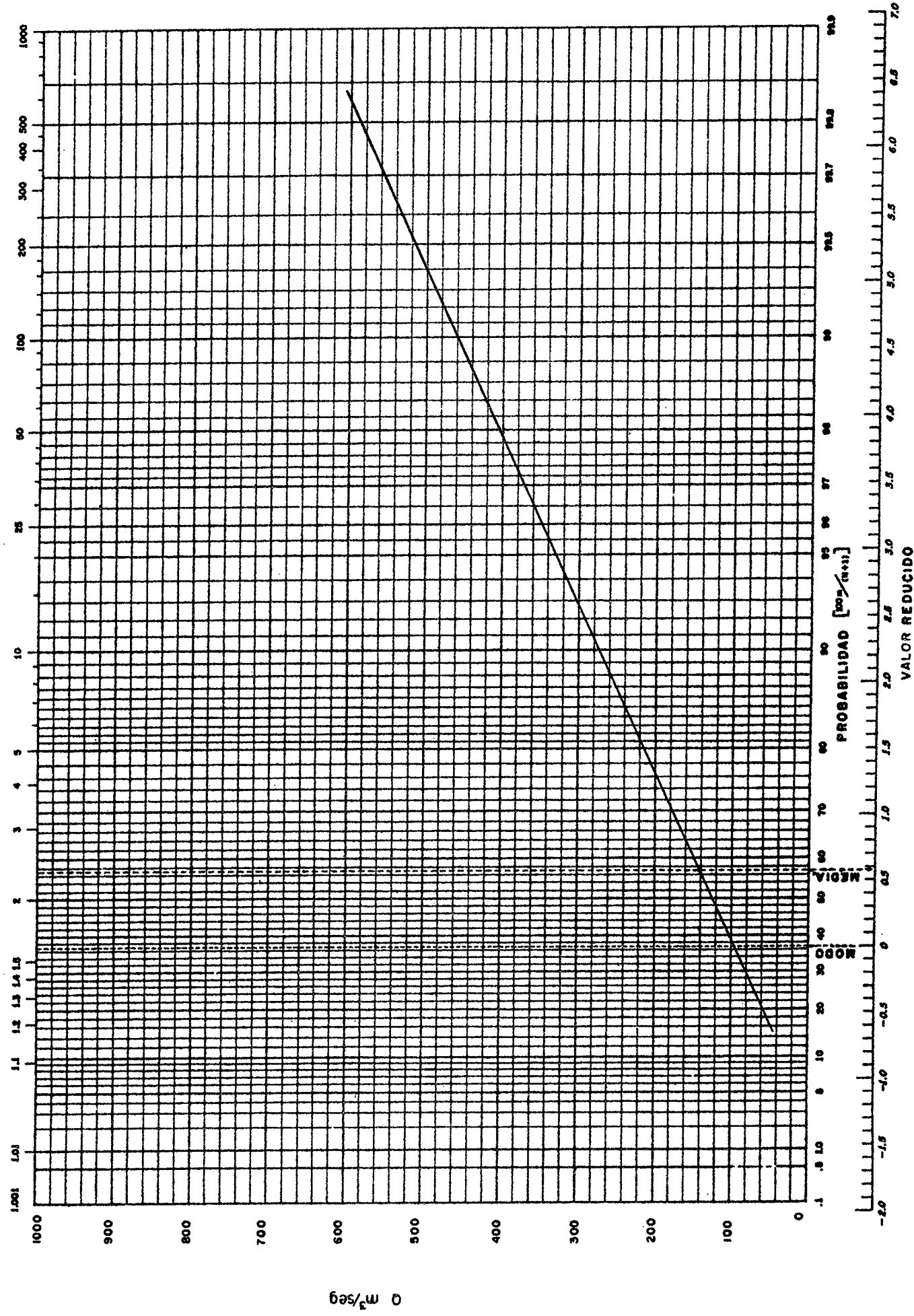
VALOR REDUCIDO



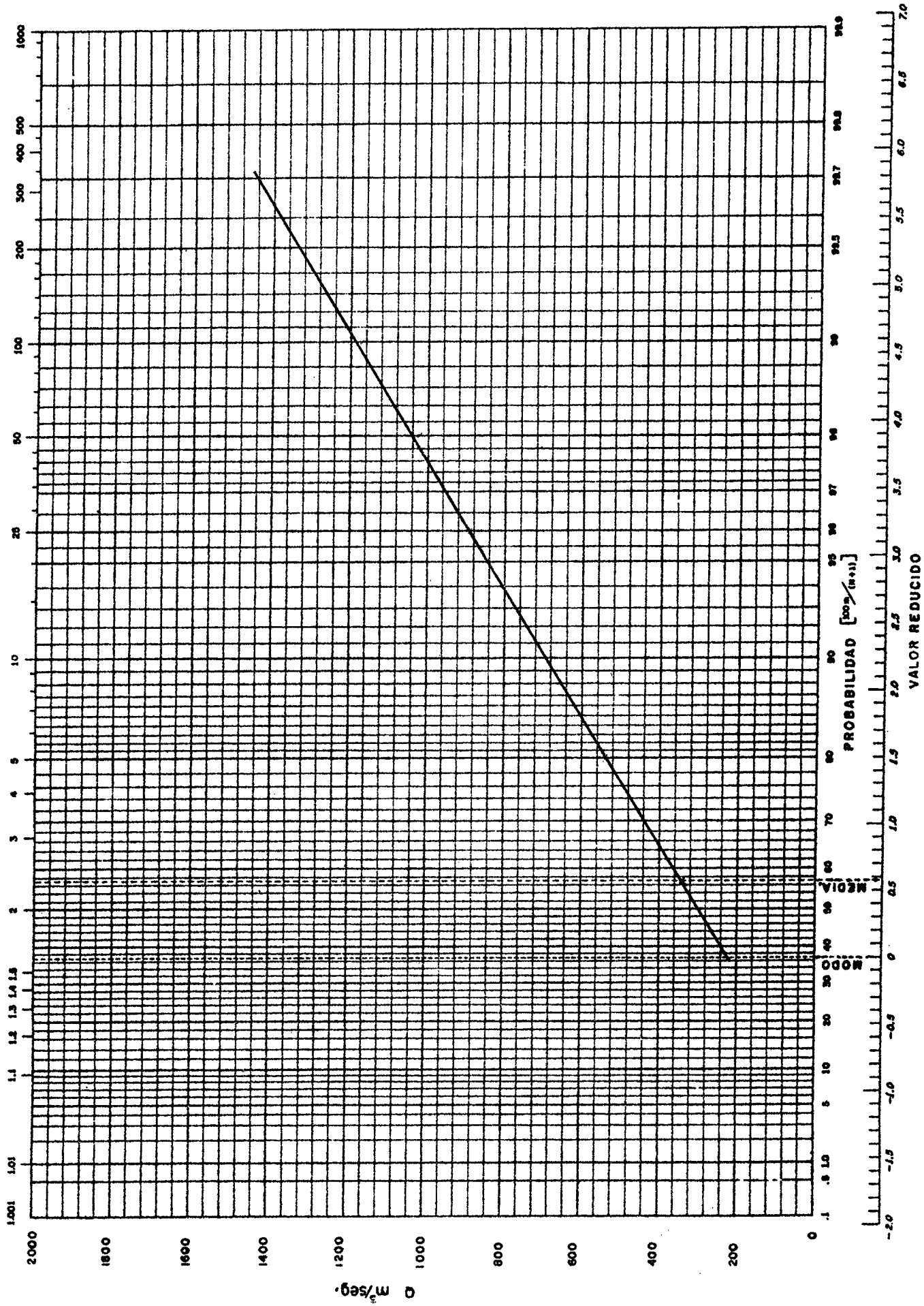




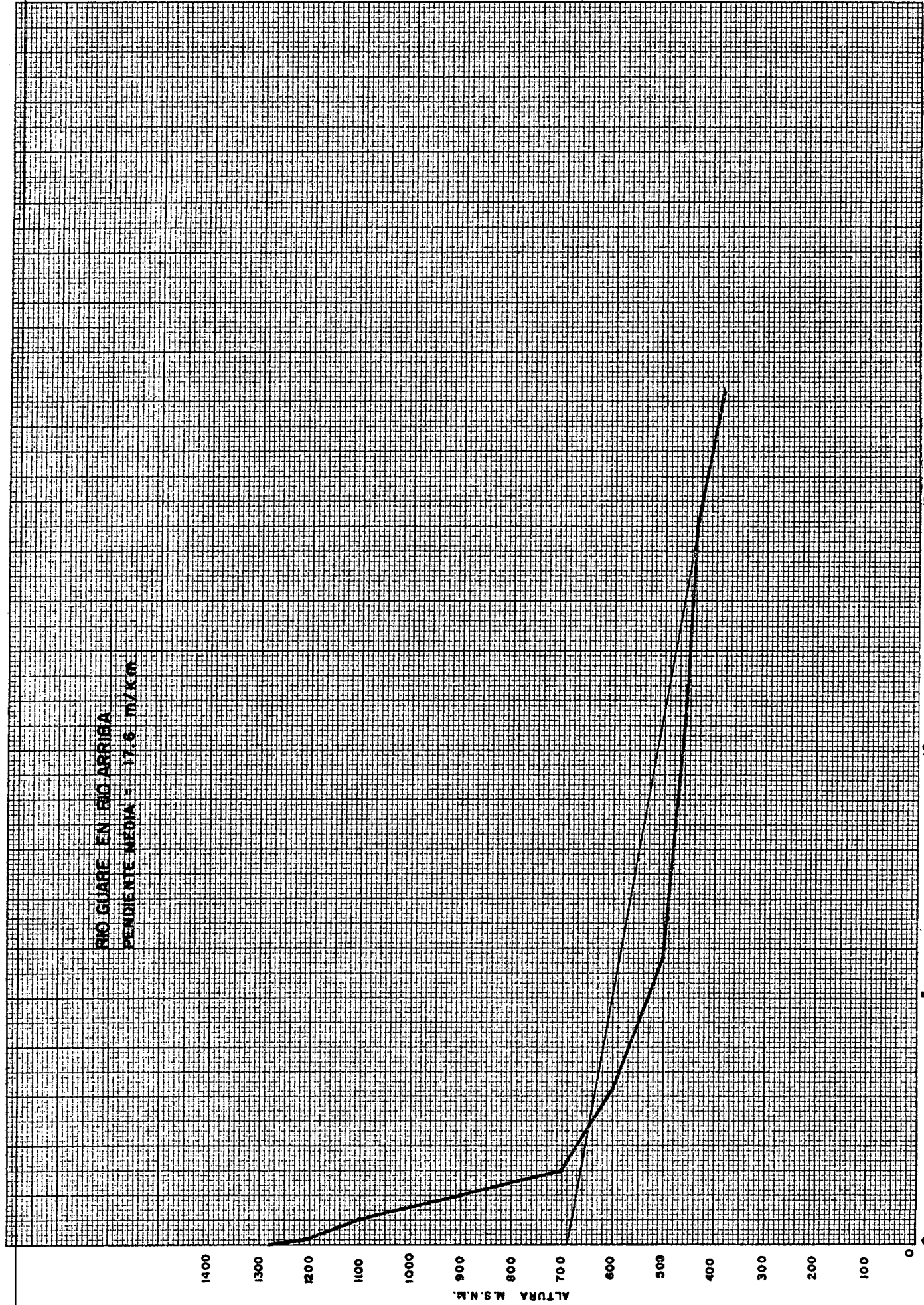




Q m³/seg

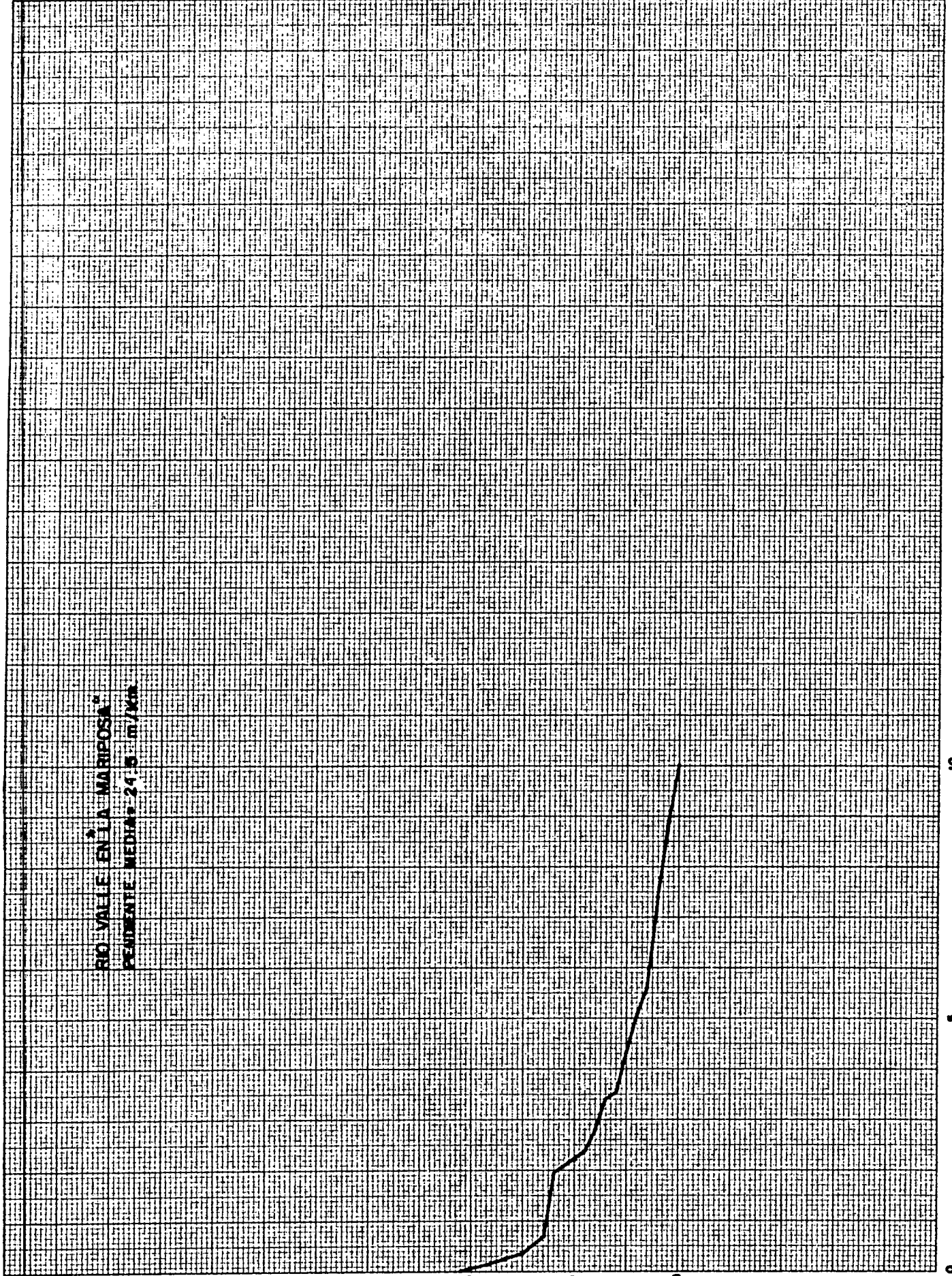


RIO GUARE EN RIO ARRIBA
PENDIENTE MEDIA = 17.6 m/km



RIO VALLE EN LA MARIPOSA
PENDIENTE MEDIA 24.5 m/Km

ALTIMETRIA
M.S.N.M.



0 5 10

RIO OCUMARITO EN "EL DESECHO"
PENDIENTE MEDIA: 24.6 m/km

