

8692
Hid. 156
Ej 1

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

HIDROLOGIA
PARA
LOS DISEÑOS HIDRAULICOS
EN
LA HOYA DEL LAGO DE VALENCIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

HUMBERTO CARTAYA

LUIS MONTAÑO

FEBRERO 1969

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

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

I N D I C E

	Pag.
ABSTRACTO	IV
1. INTRODUCCION	
1.1 Objetivo	1
1.2 Fondo histórico	1
1.3 Descripción general de la Hoya	2
2. PLUVIOMETRIA	
2.1 Información Pluviométrica	4
2.2 Precipitación Media en la Cuenca	4
2.3 Distribución Mensual de la Lluvia	4
3. ANALISIS DE TORMENTAS	
3.1 Metodología	5
3.2 Tormentas Registradas	8
3.3 Tormentas Analizadas	8
4. TORMENTA DE DISEÑO	
4.1 Procedimiento	13
4.2 Distribución de la Tormenta de Diseño, en Función del Tiempo y del Area	13
4.3 Frecuencia de Lluvias	14
4.4 Relaciones de Intensidad - Duración de Lluvia - Frecuencia	14
4.5 Magnitud Relativa de las Curvas de Intensidad Dura - ción	15
4.6 Tormenta de Diseño Obtenida	15
4.7 Magnitud Relativa de las Curvas de Area - Altura de Lluvia	16
4.8 Patrón de Intensidad de Lluvia	16
4.9 Criterio para el Uso de los Resultados	16

	Pag.
5. DEFINICION Y TERMINOLOGIA	
5.1 Características físicas utilizadas	19
5.2 Hidrograma de Escurrimiento Total y sus Com - ponentes	20
5.3 Lluvia Efectiva o Exceso de Lluvia	21
5.4 Hytograma de Lluvia Total e Hytograma de Exce_ so de Lluvia	21
5.5 Hidrograma Unitario	21
5.6 Gráfico de Distribución	22
5.7 Hidrograma Sumatorio	22
5.8 Retardo	22
5.9 Gráfico - S	22
5.10 Gráfico de Distribución Sintético	23
6. DESCRIPCION DE LOS DATOS BASICOS	
6.1 Cuencas Estudiadas	24
6.2 Hidrogramas Registrados	24
6.3 Información Cartográfica	25
6.4 Características Físicas	25
7. DETERMINACION DE LOS GRAFICOS DE DISTRIBUCION SINTETICOS	
7.1 Escurrimiento Superficial	27
7.2 Hytograma de la Tormenta Generadora	28
7.3 Hytograma de Exceso de Lluvia	29
7.4 Duración unitaria	29
7.5 Gráficos de Distribución	30
7.6 Obtención de los Gráficos de Distribución	31
7.7 Hidrograma Sumatorio	34
7.8 Obtención de los Hidrogramas Sumatorios	34
7.9 Determinación del Retardo para Areas en las cua - les la Distribución del Escurrimiento, en función del Tiempo es Conocida	35
7.10 Relación de Retardo para Diferentes Areas Dre - nadas	36
7.11 Gráficos - S	38
7.12 Obtención del Gráfico de Distribución Sintético para Areas, en las cuales la Característica del Escurri - miento es Desconocida	40

8.	RELACION ENTRE LLUVIA Y ESCURRIMIENTO SUMINISTRADO	
8.1	Factores que Afectan la Cantidad de Escurrimiento	42
8.2	Ratas de Pérdida	43
9.	APLICACION PRACTICA	
9.1	Ejemplo de Diseño	45
	CONCLUSIONES	52
	REFERENCIAS	54
	APENDICES	57
	A Programa en lenguaje FORTRAN para el cálculo del gráfico de distribución.	
	B Lista de figuras.	
	C Lista de tablas.	
	D Lista de símbolos.	

A B S T R A C T O

Se presenta un método simple y práctico en su utilización para la estimación de crecientes de diseño en los puntos de concentración de escurrimiento en las diferentes áreas de drenaje de la Hoya del Lago de Valencia. La exposición del método se presenta en dos partes:

Parte I.- La tormenta de diseño para el área bajo estudio; expresando sus características en términos de las relaciones de "área-altura de lluvia-duración". La traducción de estas características en cantidades de lluvia de la tormenta de diseño, se efectuó basándose en las relaciones "área-altura de lluvia" e "intensidad-duración de lluvia", determinadas por los estudios de tormentas observadas y sus frecuencias. Se asume que la tormenta de diseño tenga un período de retorno de 50 años y una duración de 3 horas.

Parte II.- Transformación de cantidades de lluvia a cantidades de escurrimiento empleando "hidrogramas unitarios sintéticos". Pudiéndose obtener los mismos en puntos de concentración donde no hay registros de escurrimientos disponibles. Transponiendo a esas áreas el hidrograma sumatorio modificado ó gráfico "S" deducido para la región y así obtener el gráfico de

distribución sintético". Este es determinado por medio de un parámetro (retardo), el cual ha sido correlacionado estadísticamente con algunas características geomorfológicas de las sub-cuencas. Se da la ecuación de regresión obtenida en la correlación y la representación gráfica de la misma, para así facilitar la estimación del "retardo" con tan solo entrar en ella con las condiciones fisiográficas obtenidas de un mapa topográfico.

Se incluyen ratas de pérdida, que más bien son índice de infiltración deducidos de las crecientes analizadas, los cuales requieren el buen criterio del usuario debido a la incertidumbre en la determinación de las mismas.

El método es recomendable para el diseño de pequeños sistemas de drenaje, puentes, canalizadores y para los diseños hidrológicos de pequeños embalses.

Los resultados obtenidos por el método pueden considerarse más bien como una ayuda para el discernimiento del ingeniero.

La exactitud de la estimación del pico de creciente y del hidrograma no fué posible debido al tiempo disponible en la ejecución del trabajo.

Los autores creen que en el futuro, con nuevos datos e información más completa, el método propuesto puede conducir a mejores resultados.

1. INTRODUCCION

1.1 Objetivo.

El presente trabajo tiene por objeto el de servir a manera de manual sin pretender serlo, en la determinación de las crecientes de diseño en las pequeñas sub-cuencas de la Hoya del Lago de Valencia. Además, se realizó con la idea de familiarizarnos con el método y de exponer la técnica que no es nada nueva ya que ha sido desarrollada y usada por "Los Angeles District Office, Corps of Engineers, United States Army, Los Angeles California" (1) y seguida en el estudio de "Hidrología para la Canalización del Río Guaire", por Robert S. Wiese. En informe para el Instituto Nacional de Obras Sanitarias fechado en Enero - 1959.

El informe antes mencionado ha sido la mejor guía para la elaboración del actual estudio.

1.2 Fondo Histórico.

La determinación del área de cauce de un puente, la selección del tamaño de una alcantarilla ó el diseño de un sistema de drenaje superficial, requieren la mejor estimación del pico de creciente a ser esperado que pase a través de la estructura. En el diseño de muchas estructuras hidráulicas, el ingeniero está interesado no solamente en el máximo gasto, sino también en el volumen total de escurrimiento y su distribución con respecto al tiempo, es decir, el hidrograma de escurrimiento. -

El routing (iteración), de una creciente a través de un embalse para determinar las dimensiones del aliviadero puede citarse como un ejemplo, el cual indica la necesidad del conocimiento del hidrograma.

Debido a que el tamaño de las cuencas utilizadas en este estudio es inferior a los 185 Km², esto le imprime cierta importancia al trabajo realizado, puesto que pueden considerarse como cuencas pequeñas y es sabido por demás, que la determinación del pico de creciente e hidrograma de escurrimiento es particularmente dificultoso para ellas a causa de que por lo general no son controladas por la poca importancia que tienen ante las grandes-cuencas y además por la gran cantidad de las mismas.

1.3 Descripción General de la Hoya. (2) y (3)

La Hoya del Lago de Valencia está comprendida entre la serranía del Litoral y la serranía del interior de la Cordillera de la Costa, enmarcada geográficamente entre los meridianos 67° 20' y 68° 00' de longitud oeste y entre los paralelos 10° 00' y 10° 20' de latitud norte.

Políticamente comprende la casi totalidad de los Estados Aragua y Carabobo.

Tiene una superficie de unos 3.000 Km², orientada en la dirección este-oeste. La región norte de la Hoya es la más alta de las divisorias de agua; incluye una región de selvas vírgenes en su parte más elevada, presentando precipitaciones anuales mayores de los 1.700 mm.; en la zona baja presenta terrenos llenos destinados en su mayoría a la explotación intensiva de la agri-

cultura y ganadería, característica común al resto de las regiones planas de la Hoya que cubren más de la tercera parte del área total. La parte sur extrema, que sigue a la norte en elevación, tiene precipitaciones medias superiores a los 1.700 mm. - en su lado sur-oeste.

Existen en la cuenca unos 30 ríos y quebradas, once de los cuales son controlados hidrológicamente por el Ministerio de Obras Públicas y el Instituto Nacional de Obras Sanitarias.

PARTE I

2. PLUVIOMETRIA

2.1 Información Pluviométrica.

Se tienen registros disponibles de lluvia de 44 estaciones dentro y cerca de la Hoya; de las cuales el 60% son del tipo registrador. Por lo general, el registro en conjunto hecho por las estaciones que cubren la cuenca del Lago de Valencia es bastante bueno, como para permitir el trazado de isolíneas de igual precipitación. La información pertinente sobre estas estaciones no se consideró necesario incluirla en este informe puesto que aparece en numerosas publicaciones (2 y 3) de estudios desarrollados para la región. En la FIGURA UNO (1) se muestra con suma claridad la localización de las mismas y el tipo de aparato que opera.

2.2 Precipitación Media en la Cuenca. (2)

La precipitación media anual en la cuenca es de unos 1024 mm., para un período homogenizado de 13 años (1951/52 - 63/64). Variando en orden creciente desde los 800 mm. en el Lago hasta los 1700 mm. en las partes norte y sur-oeste de la Hoya. El mapa de la FIGURA DOS (2) muestra las isoyetas de precipitación media anual. En él se aprecia la influencia topográfica sobre la distribución de la lluvia y las zonas de baja precipitación.

2.3 Distribución mensual de la lluvia. (2)

Existe un período lluvioso Mayo y Octubre, en el que cae más del 80% de la precipitación anual en la cuenca y uno de sequía que se extiende hasta Abril.

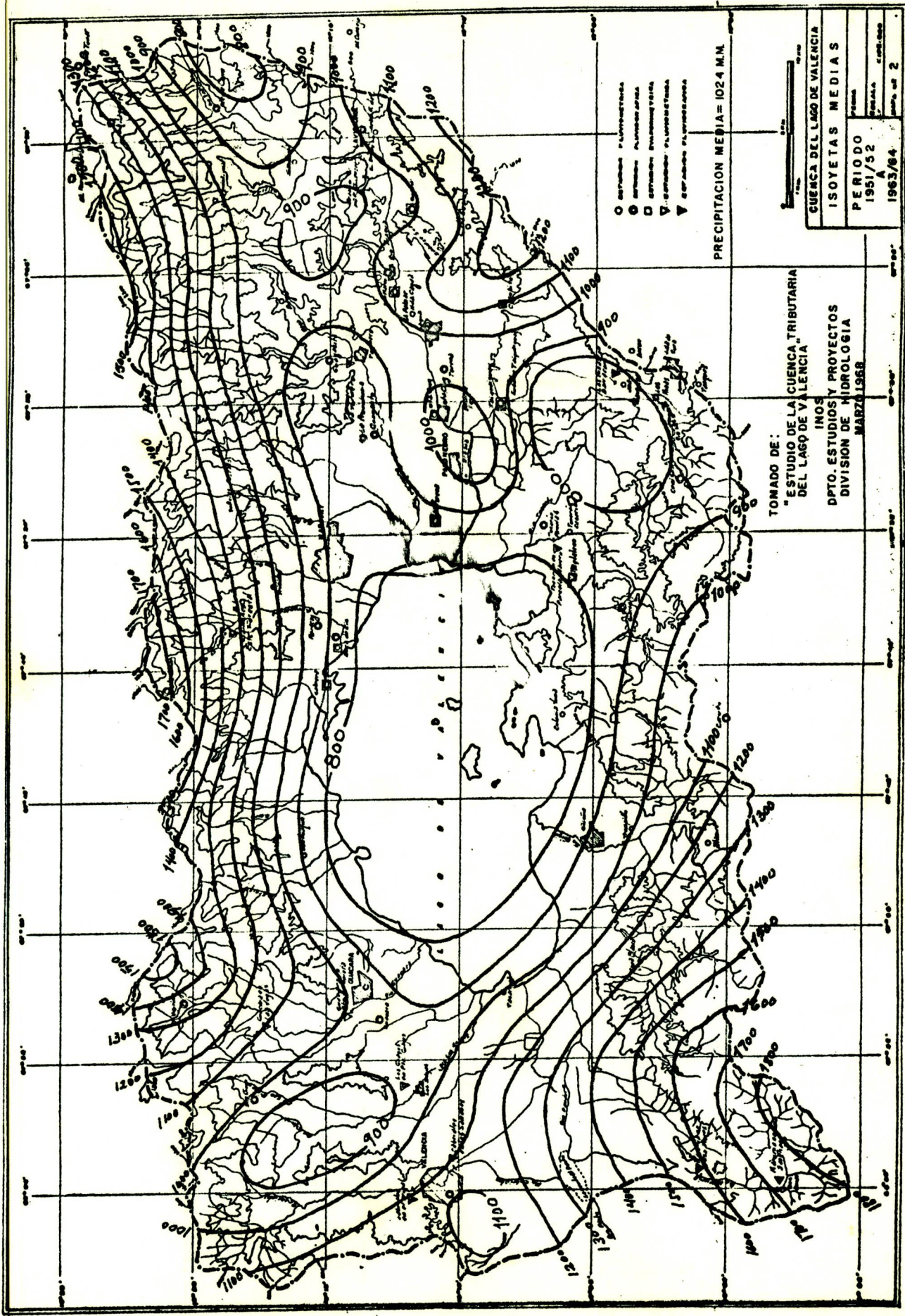


FIGURA 2

3. ANÁLISIS DE TORMENTAS

Este análisis se realizó con objeto de determinar las cantidades máxima de precipitación, en diversos períodos, sobre áreas de varias extensiones para las tormentas ocurridas en la Hoya del Lago de Valencia.

3.1 Metodología.

El análisis seguido en este estudio es el utilizado por el U.S. Weather Bureau y el U.S. Bureau of Reclamation, cuya metodología aparece en el Manual de Análisis de Area - Altura de Lluvia - Duración de Tormentas (4), publicado por esos organismos, el cual en forma muy suscrita con ligera variante de orden es:

Se adquiere un plano a escala adecuada para la región de interés y en él se sitúan todas las estaciones medidoras de lluvia que existen o existieron en la región. Conocidas y ubicadas las estaciones, se va a los anuarios pluviométricos publicados por los diferentes organismos y de ellos se extrae la (s) fecha (s) en las cuales han ocurrido precipitaciones altas al mismo tiempo en la mayoría de las estaciones; de esta manera podemos seleccionar las mayores tormentas ocurridas. Realizado esto se leen las bandas pluviográficas de cada estación y para la (s) fecha (s) seleccionada (s), se extrae la lluvia en períodos sucesivos de tiempo, teniendo el cuidado de escoger en lo posible intervalos sucesivos de tiempo que den la mejor representación de la intensidad de la lluvia dentro del período de

tormenta. Con estos valores se construye la curva de masa para todos los registradores dentro o cerca del área de la tormenta, que es la representación gráfica de la lluvia acumulada durante sucesivos períodos de tiempo.

Dibujadas las curvas de masa de lluvia de cada estación en una o varias hojas cuadrículadas, se selecciona de manera objetiva el intervalo de duración de lluvia común a todas las estaciones. Con los totales de lluvia de cada estación correspondiente a la duración total antes determinada, se traza el mapa-isoyético de la tormenta. Calculándose luego la precipitación media dentro de cada isoyeta, es decir, la altura de lluvia media para áreas encerradas dentro de sucesivas isoyetas (límite), partiendo desde el núcleo de la tormenta. En nuestro caso se hizo entre isoyetas límite y contorno de cuenca. Si se representa gráficamente la lluvia media contra el área para cada isoyeta límite, obtendremos la curva de "área-altura de lluvia" para la duración total de la tormenta. Las tormentas con centros múltiples se dividen en zonas para hacer análisis y finalmente se hace una combinación de zonas.

Hecho esto, pasaremos a la determinación de las curvas de "área-altura de lluvia - duración". Para lo cual se listan las estaciones en orden decreciente de altura de lluvia total para la duración seleccionada, agrupándolas por centros o zonas si los hubiere. Se escoge una unidad de tiempo para el análisis, teniendo el cuidado de que no sea muy grande porque no permitirá apreciar las variaciones de la intensidad de lluvia y no muy corto porque raramente lo justificaría la limitación de los

datos básicos, (en este estudio solo fué posible una hora). En la misma lista se colocan los datos tomados de las curvas de masa en tiempos iguales y al lado se tabulan los valores de "precipitación máxima absoluta", para, solamente las estaciones en áreas de relativa intensidad de lluvia (centro (s)). Estos valores son los mayores que se encuentran tanteando de cualquier manera sobre las curvas de masa.

El paso final es, calcular la precipitación media dentro de cada isoyeta límite para sucesivos períodos unitarios de tiempo acumulado (Ejm. duración: 1, 2, 3, horas). Esto se realiza por medio de la distribución horaria de la lluvia en las estaciones que tengan influencia en el área comprendida dentro de cada isoyeta límite. Esta influencia se mide por un factor obtenido por el cociente del área que de el polígono de Thiessen de la estación entre el área abarcada por la isoyeta límite. La curva de masa de cada estación se multiplica por su respectivo factor resultando curvas fracciones de masa que sumadas dan la curva de "masa pesada" para el área, ésta debe ser ajustada y el ajuste se hace de acuerdo con la precipitación media del área considerada, calculada en el análisis de área-altura de lluvia al principio de este párrafo. En forma similar se continua con el resto de isoyetas límites hasta agotar las mismas. En caso de que una isoyeta límite abarca seis ó más estaciones, se calcula la curva de masa pesada para el área por el promedio simple (5) de las curvas de masa de cada estación. Luego, para cada área (isoyeta límite) se desacumula la curva de masa ajustada y se obtiene los denominados "incrementos ajusta-

dos", y por combinaciones sucesivas, se deduce la máxima altura de lluvia en cada duración. Ploteando estas máximas alturas de lluvia en su duración contra el área de las isoyetas límites, - obtendremos las curvas de "área - altura de lluvia - duración". Este ploteo se hizo en papel cuadrulado.

NOTA: La "precipitación máxima absoluta" deducida para la (s) estación (es) dentro del núcleo (s) se coloca en su duración como lluvia puntual, (recomiendan 25 Km² (5)).

3.2 Tormentas Registradas.

Hemos limitado el estudio al análisis de seis tormentas de magnitud apreciable, ocurridas en la región del Lago de Valencia. Esta limitación se debió al tener que despreciar tormentas en las que faltaba uno o más datos de interés para su análisis.

3.3 Tormentas Analizadas.

3.3-a Tormenta del 19 y 20 de Noviembre de 1960.

(a) Curvas de Masas y Patrones de Lluvias. En la FIGURA TRES (3) se muestran las curvas de masa y los patrones de lluvias de estaciones seleccionadas.

(b) Duración total de la Tormenta. Once horas.

(c) Isoyetas. En la FIGURA CUATRO (4) se muestran las isoyetas de la distribución de la lluvia sobre la hoya para la duración total de la tormenta.

(d) Curva de Area-Altura de Lluvia. En la FIGURA VEINTI

TORMENTA DEL 19 Y 20 DE NOVIEMBRE DE 1960

HOYA LAGO DE VALENCIA

CURVAS DE MASAS

PATRONES DE LLUVIAS

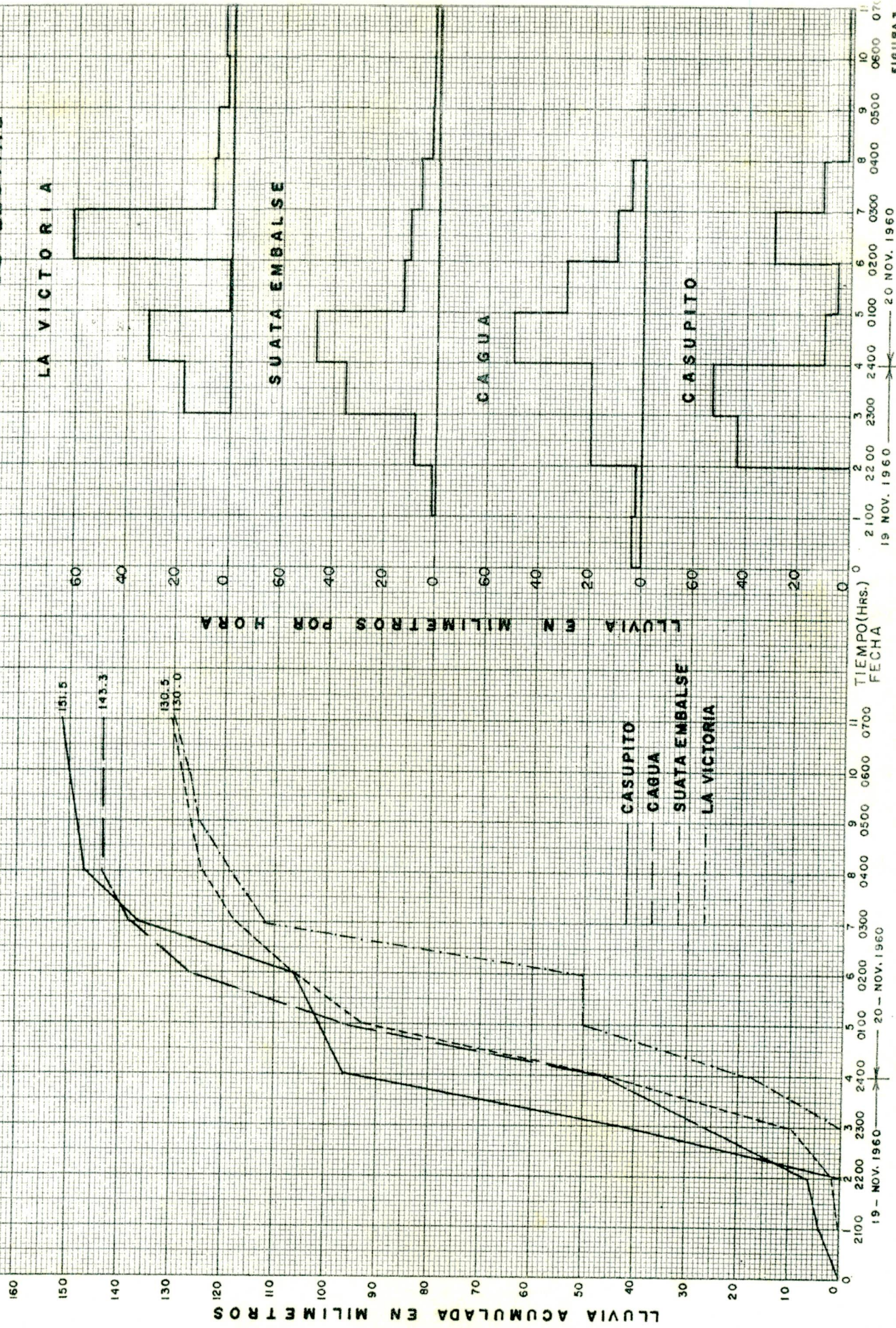


FIGURA 3

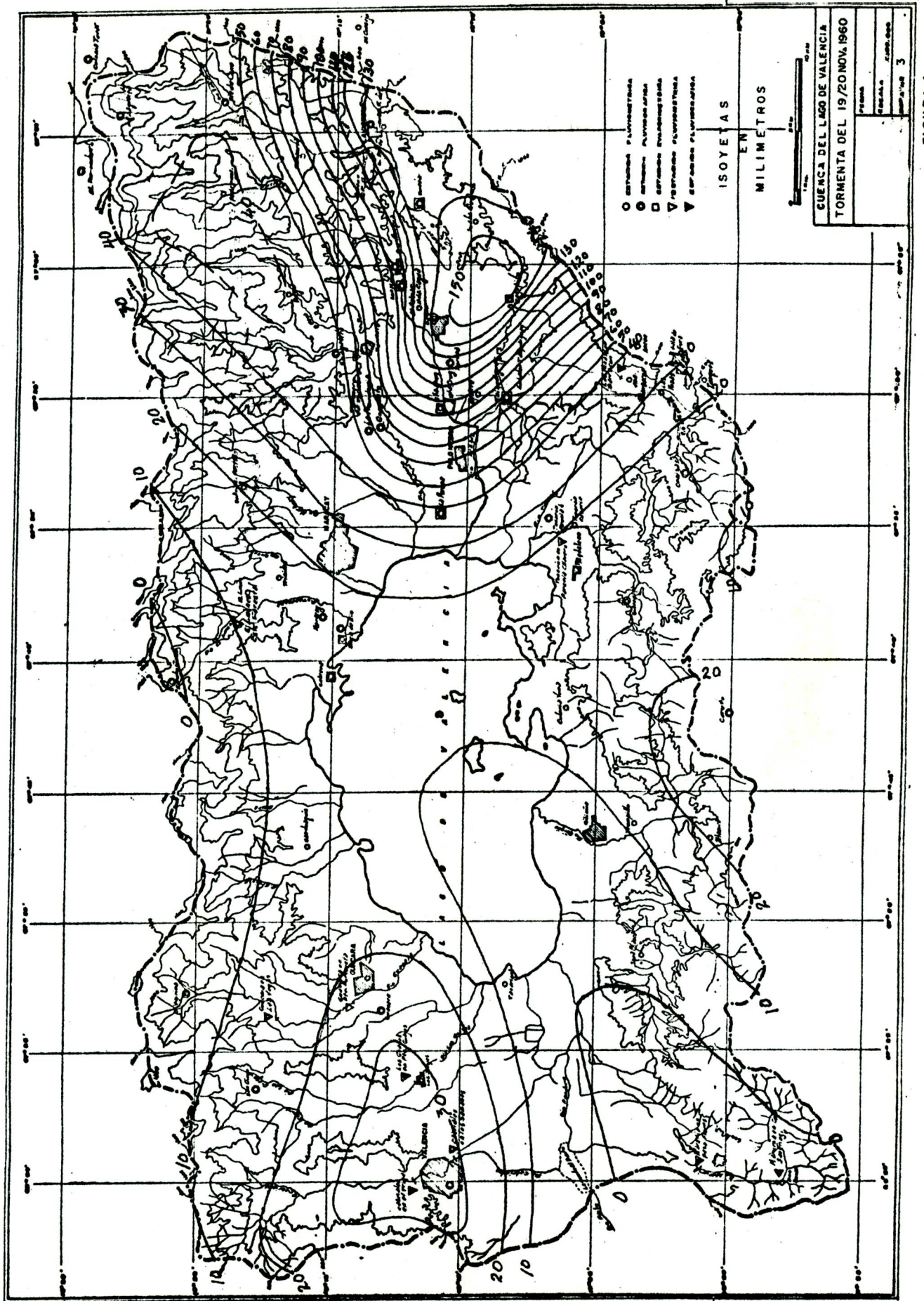


FIGURA 4

CURVAS DE AREA - ALTURA - DURACION
TORMENTA DE 20 NOV 1960
MOYA LAGO DE VALENCIA

LLUVIA MEDIA MAXIMA EN MILIMETROS

150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

6 HORAS

3 HORAS

2 HORAS

1 HORA

200

400

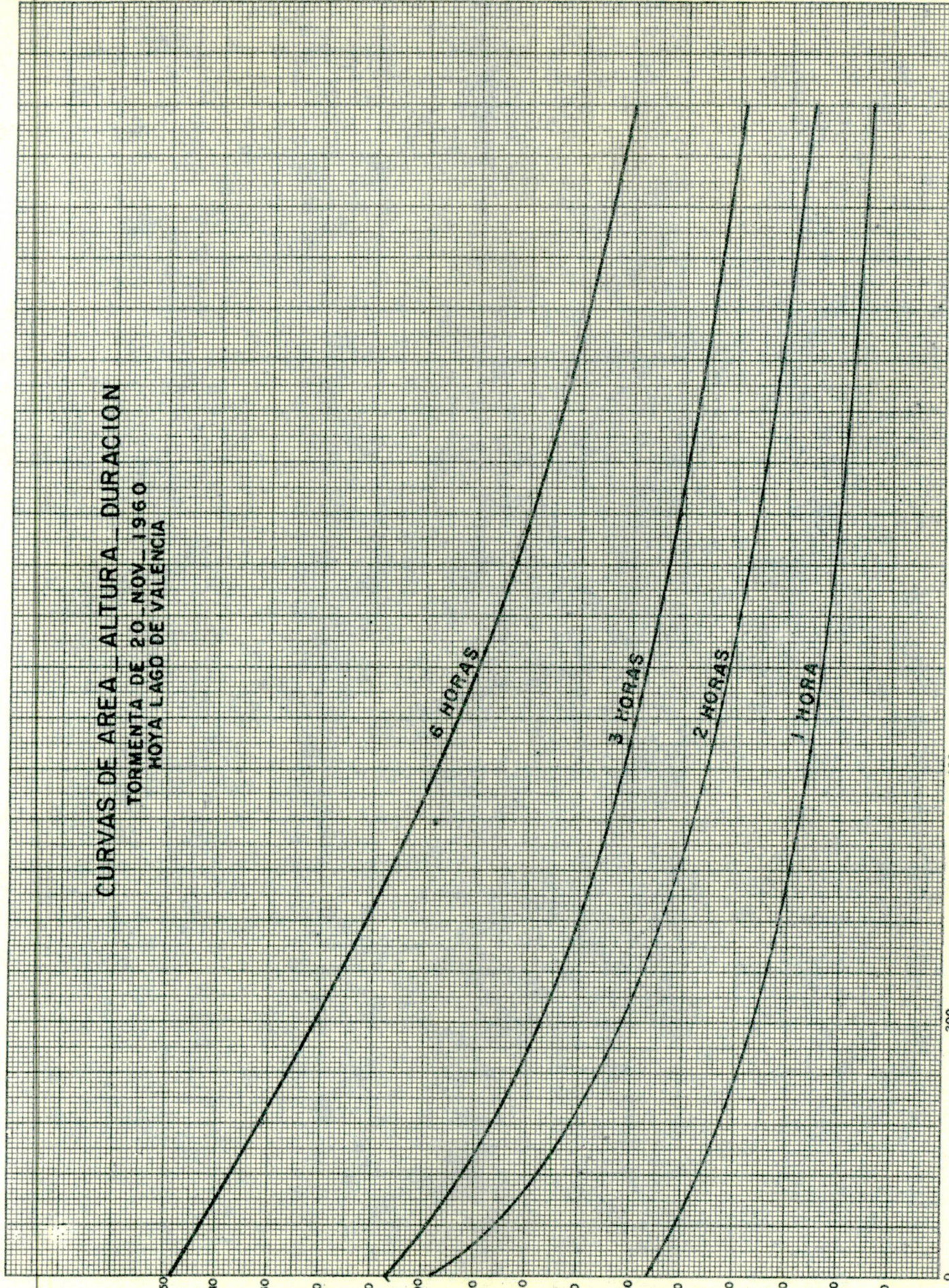
600

800

1000

AREA EN KILOMETROS CUADROS

FIGURA 5



OCHO (28) se compara la curva de área-altura de lluvia con las otras tormentas observadas.

(e) Lluvia media. La altura de lluvia media sobre la Hoya para el período total de la tormenta, fué de 28 milímetros.

(f) Curvas de área-altura-duración. La FIGURA CINCO (5) muestra las curvas de área-altura-duración, con la distribución de la lluvia sobre la Hoya durante varios períodos de tiempo.

3.3-b Tormenta del 13 y 14 de Mayo de 1962.

(a) Curvas de Masas y Patrones de Lluvias. Se muestran en la FIGURA SEIS (6) para estaciones seleccionadas.

(b) Duración total de la Tormenta. La duración total fué de catorce horas.

(c) Isoyetas. Las isoyetas de la distribución de la lluvia sobre la Hoya se da en la FIGURA SIETE (7) para la duración total de la tormenta.

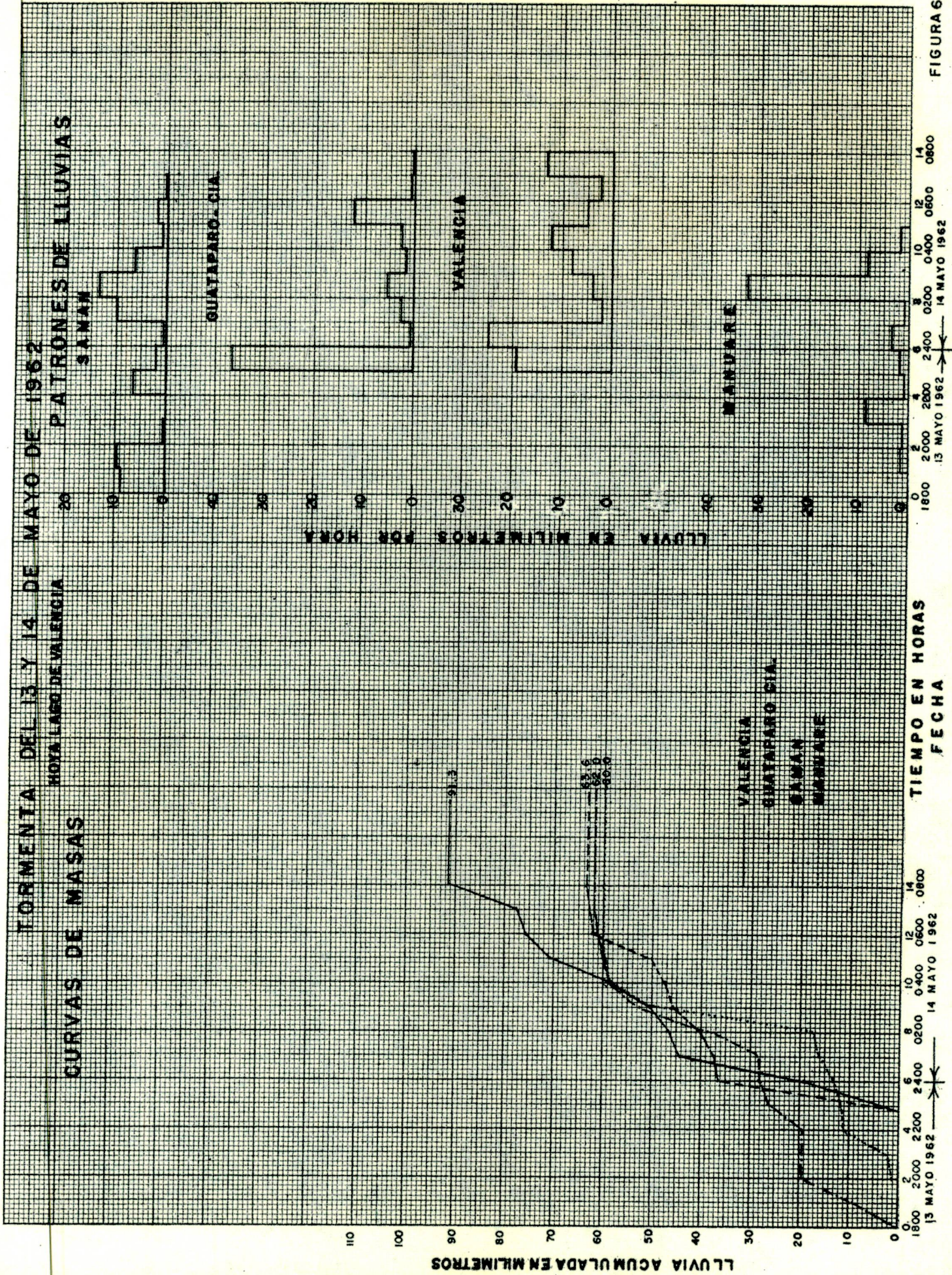
(d) Curva de Area-Altura de Lluvia. La curva de área-altura de lluvia para la duración total de la tormenta se muestra en la FIGURA VEINTIOCHO (28).

(e) Lluvia Media. La precipitación media sobre la Hoya para el período total de la tormenta, fué de 30 milímetros.

3.3-c Tormenta del 21 y 22 de Junio de 1963.

(a) Curvas de Masas y Patrones de Lluvias. Para estaciones seleccionadas se dan en la FIGURA OCHO (8).

TORMENTA DEL 13 Y 14 DE MAYO DE 1962
CURVAS DE MASAS
 HOYA LAGO DE VALENCIA



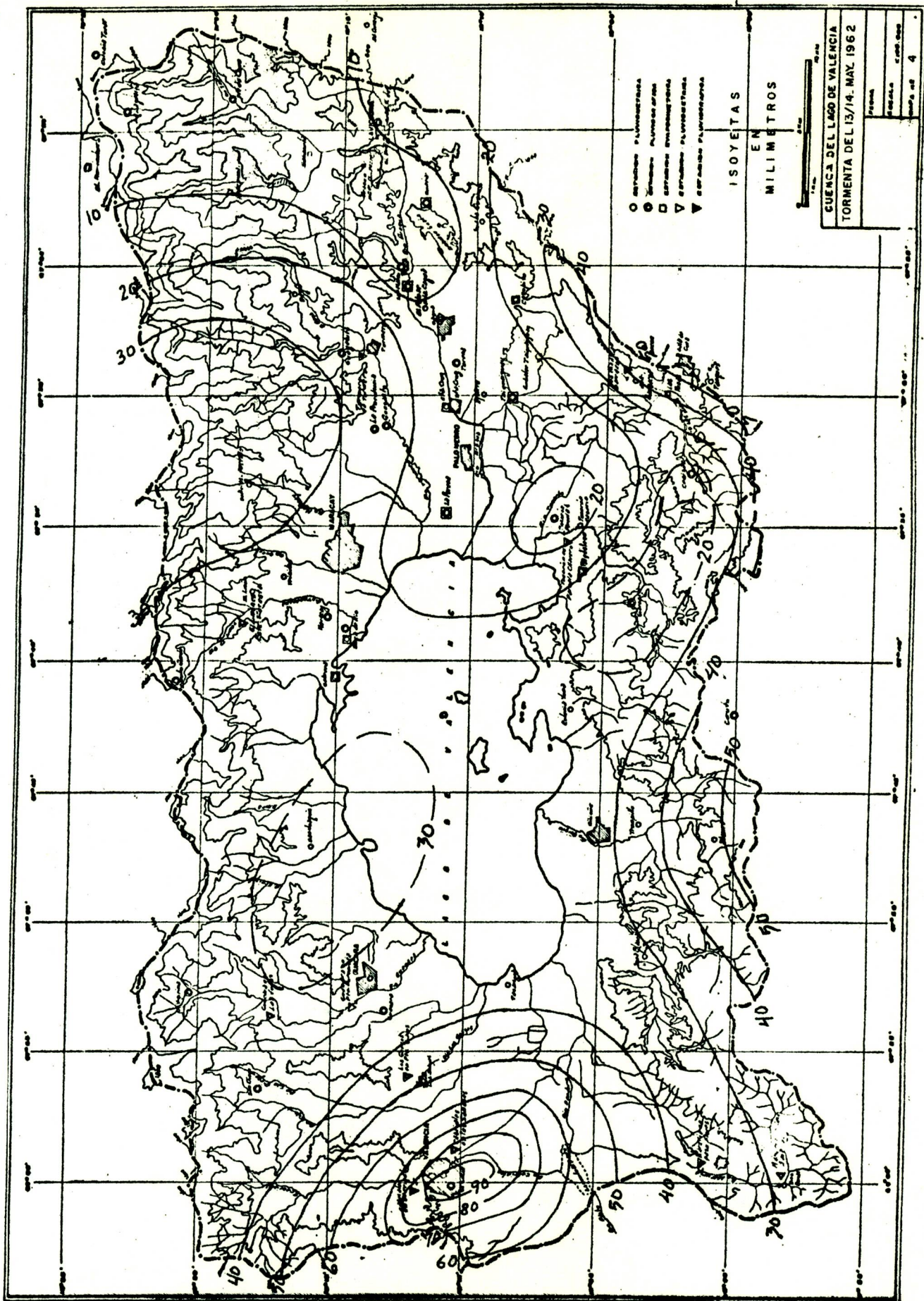


FIGURA 7

TORMENTA DEL 21 Y 22 DE JUNIO DE 1963

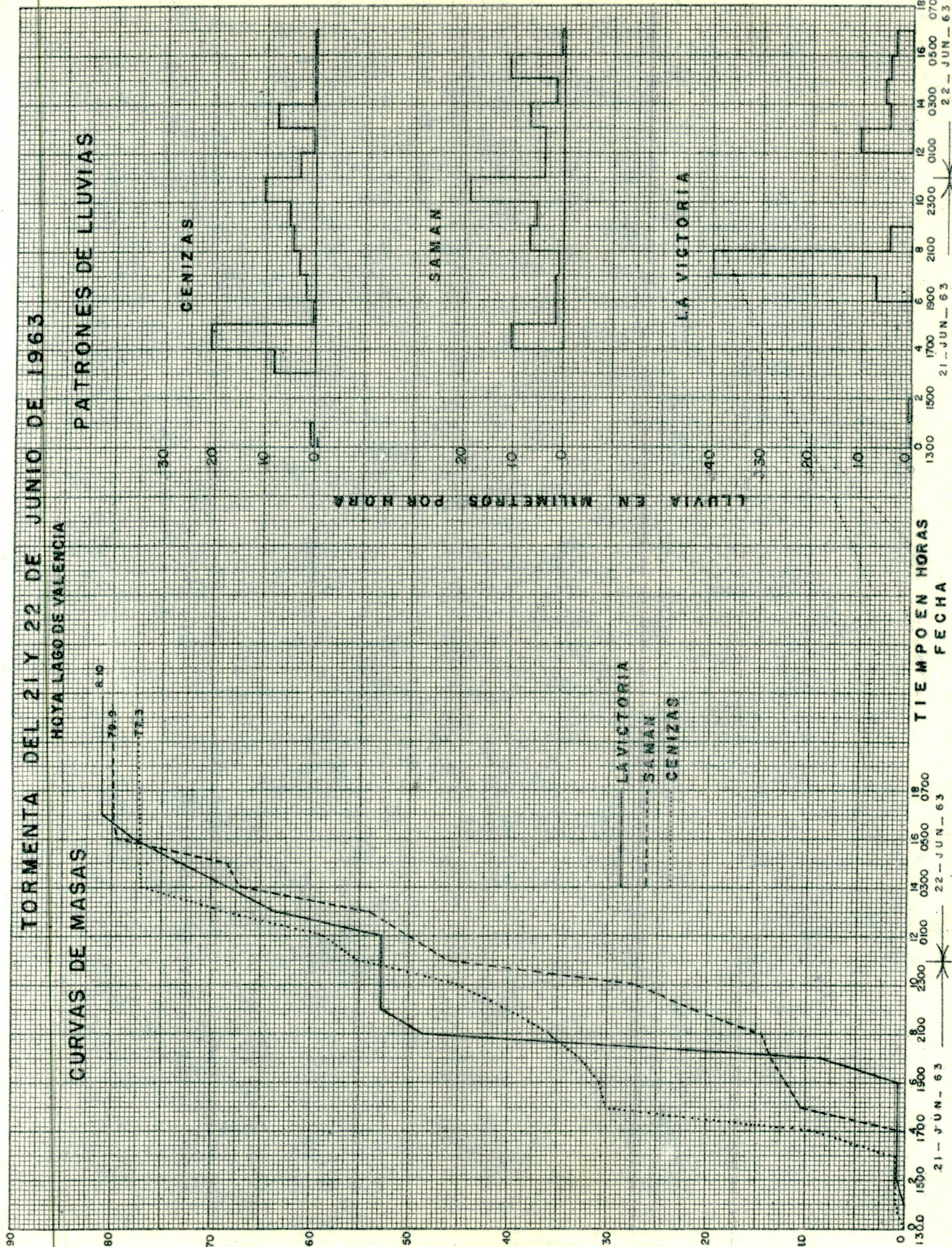
HOYA LAGO DE VALENCIA

CURVAS DE MASAS

PATRONES DE LLUVIAS

LLUVIA ACUMULADA EN MILIMETROS

LLUVIA EN MILIMETROS POR HORA



TIEMPO EN HORAS
FECHA

1300 1500 1700 1900 2100 2300 0100 0300 0500 0700
21 - JUN - 63 22 - JUN - 63

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18
1300 1500 1700 1900 2100 2300 0100 0300 0500 0700
21 - JUN - 63 22 - JUN - 63

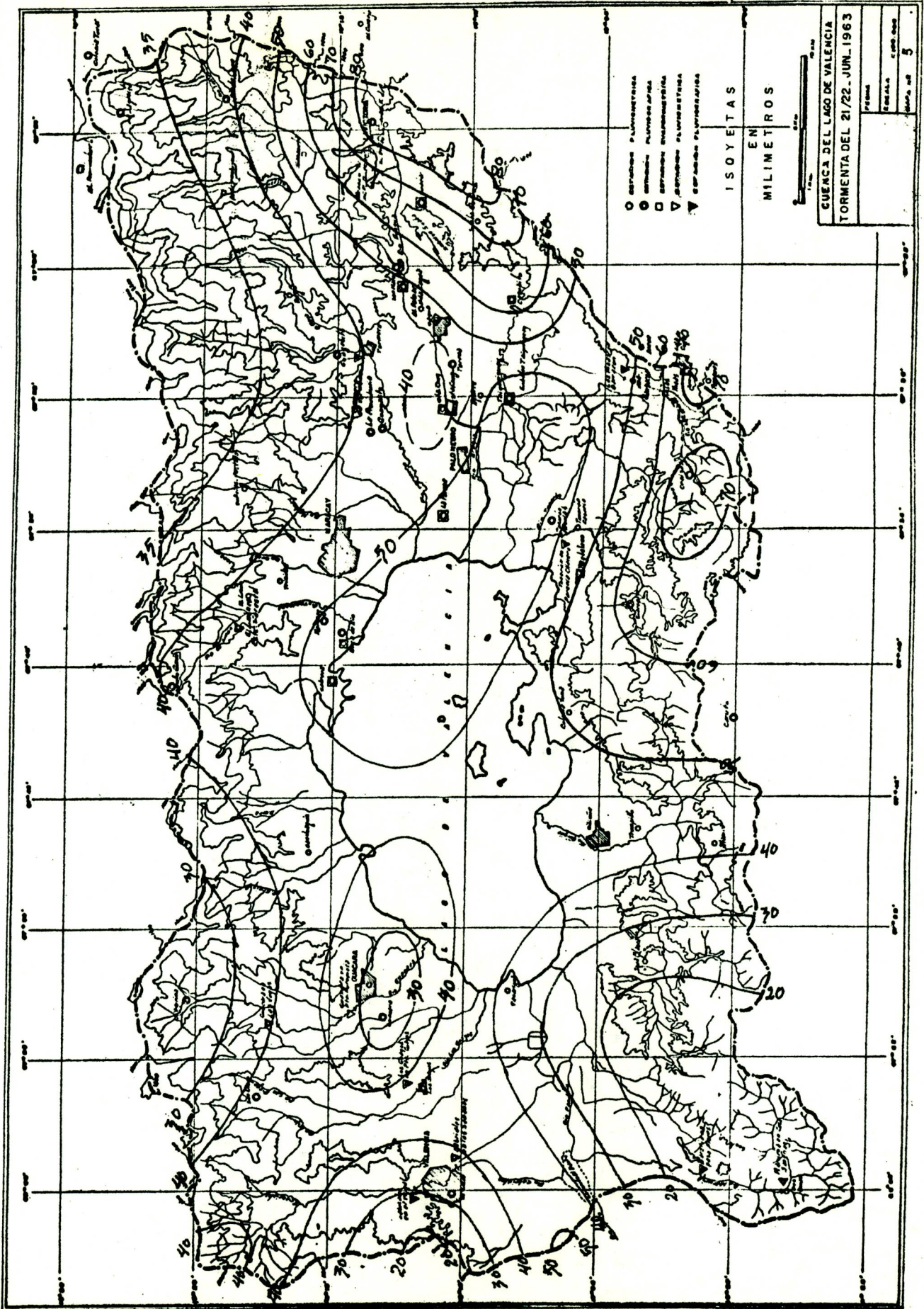


FIGURA 9

CURVAS DE AREA, ALTURA, DURACION
TORMENTA DE 21 Y 22 - JUN - 1963
HOYA LAGO DE VALENCIA

LLUVIA MEDIAMAXIMA EN MILIMETROS

70

60

50

40

30

20

10

0

6 HORAS

3 HORAS

2 HORAS

1 HORA

200

400

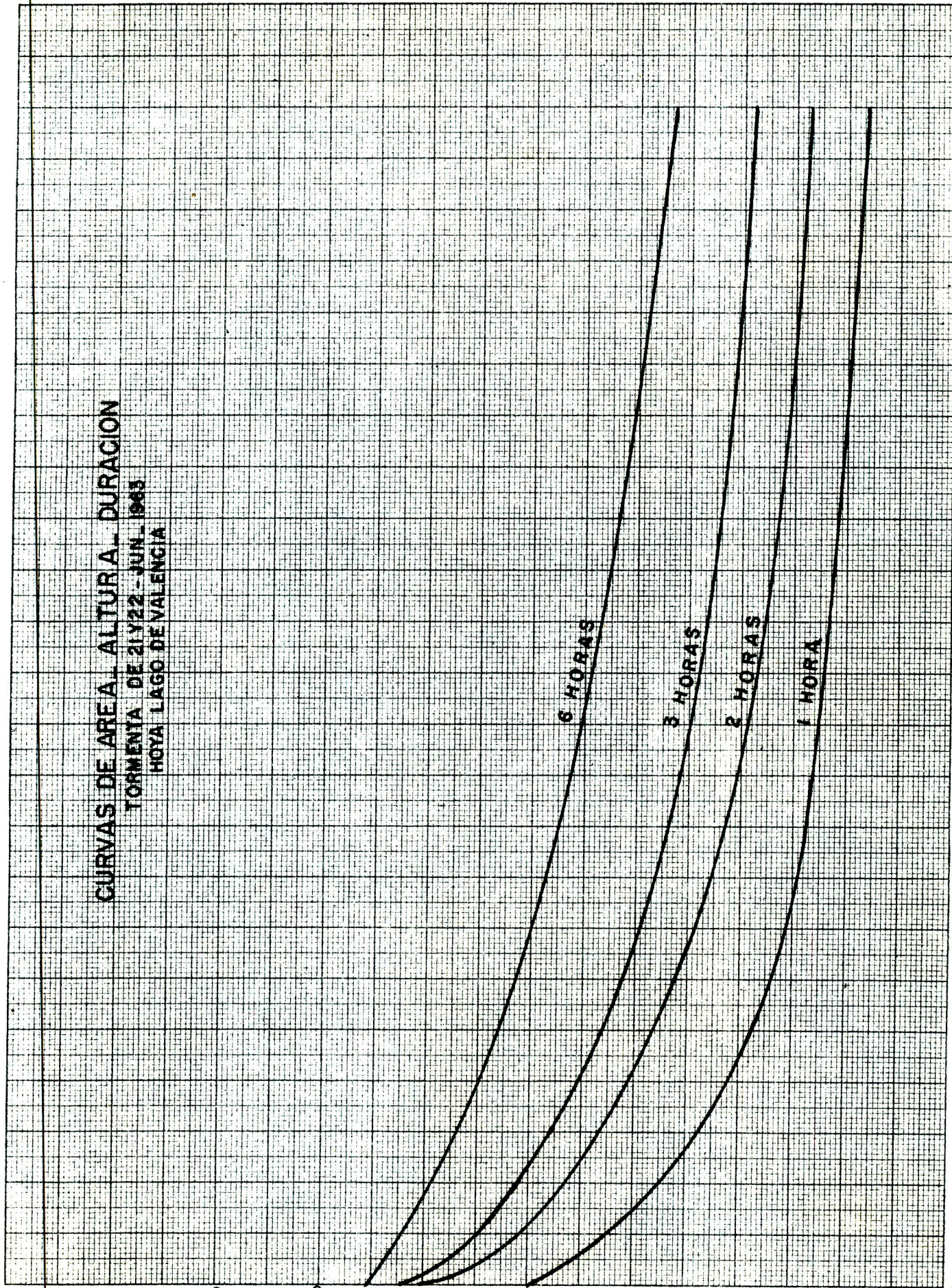
600

800

1000

AREA EN KILOMETROS CUADROS

FIGURA 10



(b) Duración total de la Tormenta. La duración total fué de diecisiete horas.

(c) Isoyetas. La FIGURA NUEVE (9) muestra las isoyetas de la distribución de la lluvia sobre la Hoya..

(d) Curva de Area-Altura de Lluvia. En la figura VEINTIOCHO (28) se compara la curva de área - altura de lluvia con las otras tormentas observadas.

(e) Lluvia Media. La altura de lluvia media sobre la Hoya fué de 40 milímetros.

(f) Curvas de Area-Altura-Duración. Las curvas de área-altura-duración, con la distribución de la lluvia sobre la Hoya durante varios períodos de tiempo se muestran en la FIGURA DIEZ (10).

3.3-d Tormenta del 14 y 15 de Septiembre de 1963.

(a) Curvas de Masas y Patrones de Lluvias. Se muestran en la FIGURA ONCE (11) para estaciones seleccionadas.

(b) Duración total de la Tormenta. La duración total - fué de siete horas.

(c) Isoyetas. La FIGURA DOCE (12) muestra las isoyetas de la distribución de la lluvia sobre la hoyá.

(d) Curva de Area-Altura de lluvia. En la FIGURA VEINTIOCHO (28) se compara la curva área-altura de lluvia - con las otras tormentas observadas.

(e) Lluvia media. La precipitación media sobre el área, fue de 29 milímetros.

TORMENTA DEL 14 Y 15 DE SETIEMBRE DE 1963

HOYA LAGO DE VALENCIA

CURVAS DE MASAS

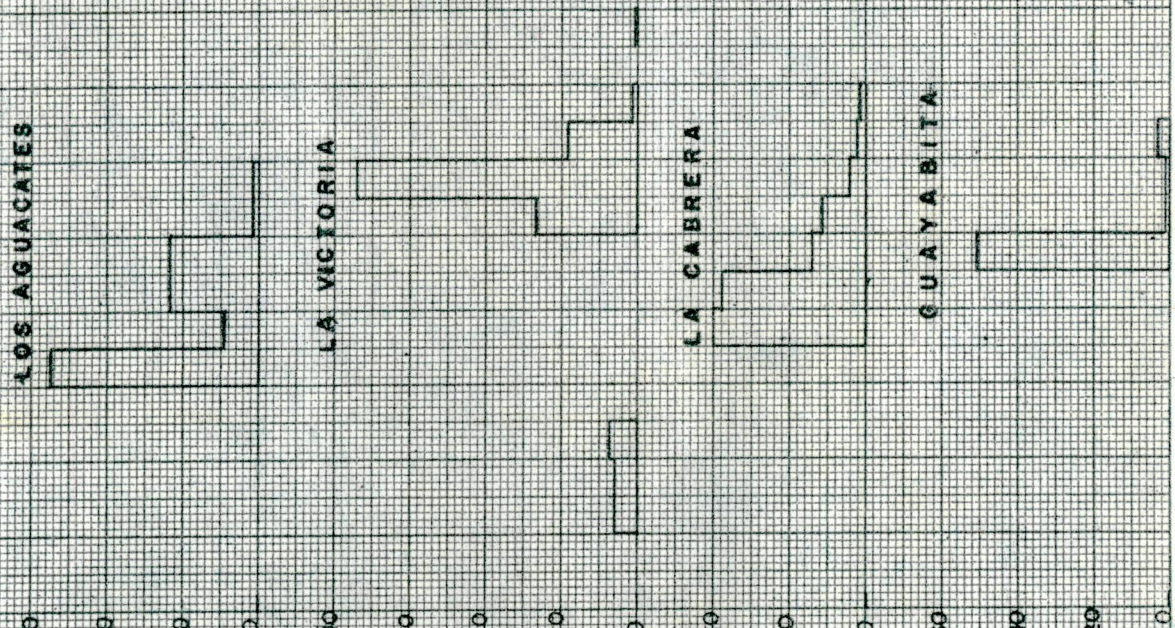
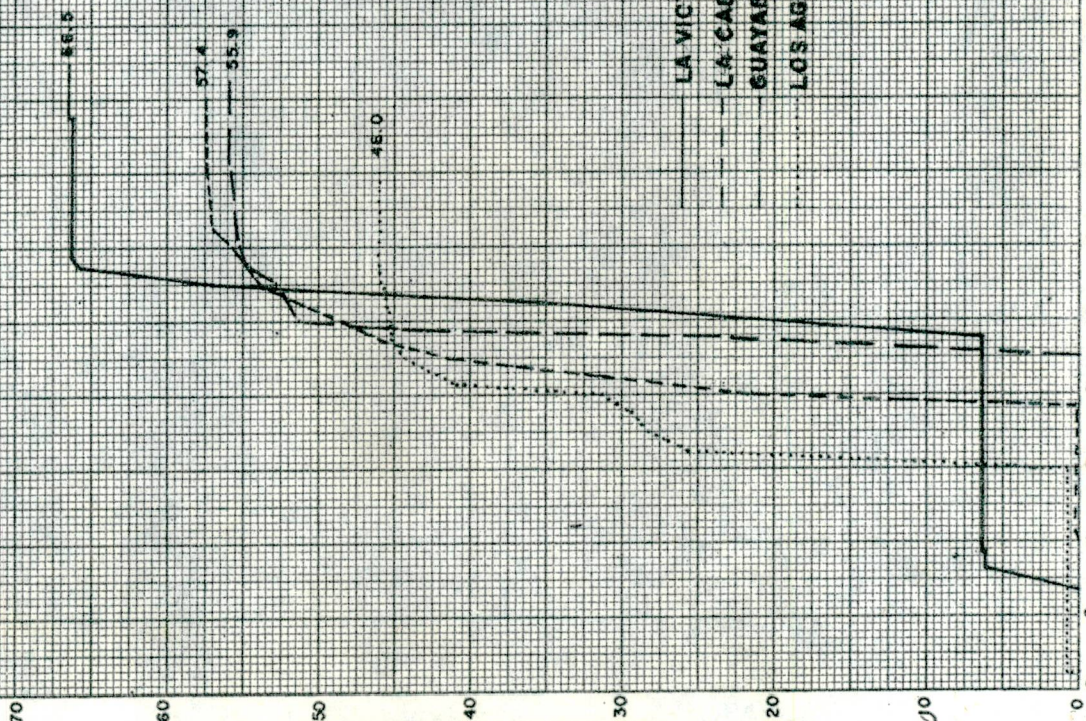
PATRONES DE LLUVIAS

LOS AGUACATES

LLUVIA ACUMULADA EN MILIMETROS

LLUVIA EN MILIMETROS POR HORA

LA VICTORIA
LA CABRERA
GUAYABITA
LOS AGUACATES



TIEMPO EN HORAS
FECHA

14 - SET - 1963

14 - SET - 1963

FIGURA II

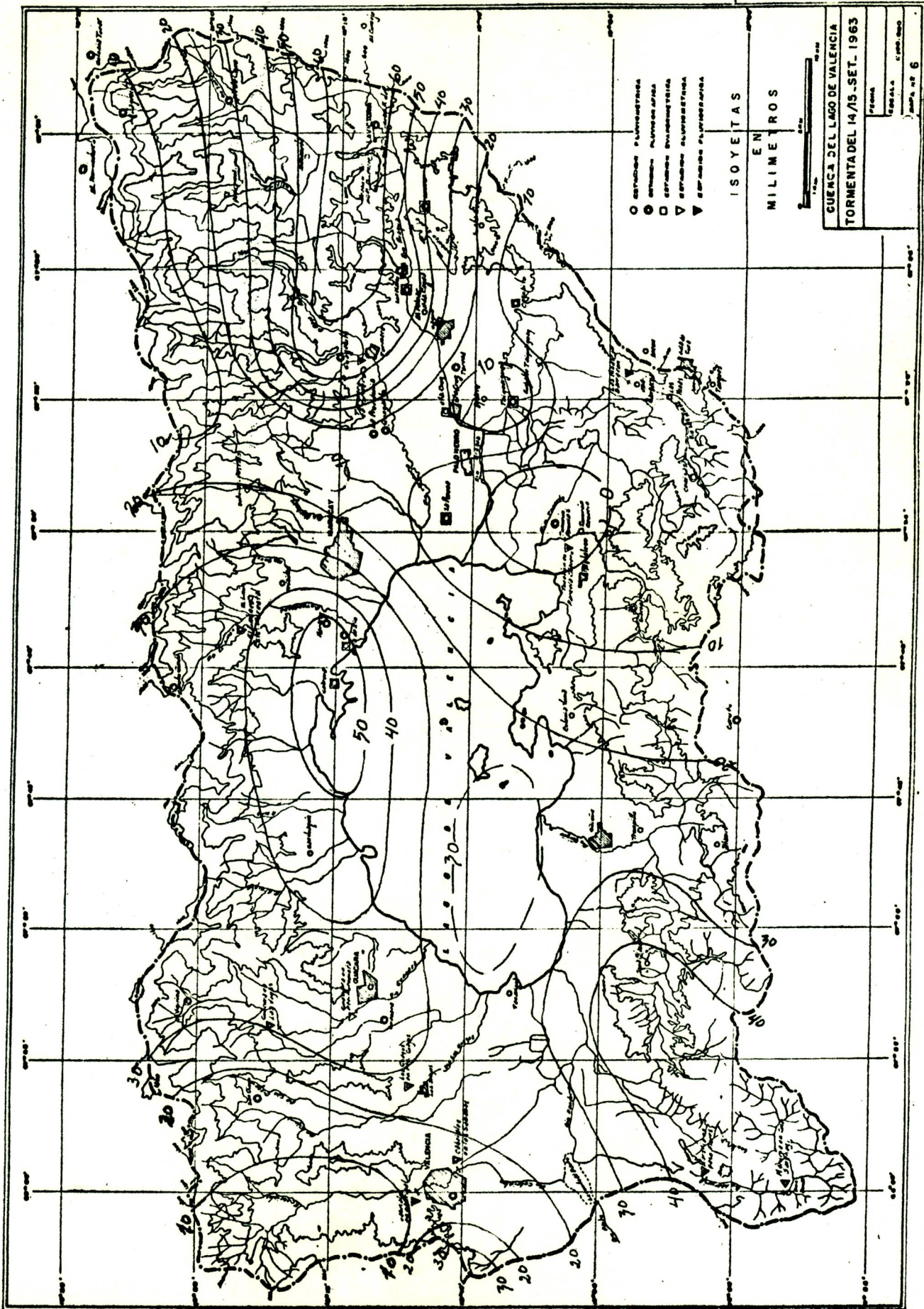


FIGURA 12

3.3-e Tormenta del 19 de Julio de 1964.

Toda la información concerniente a esta tormenta, fué tomada del "Atlas de Tormentas" del Ministerio de Obras Públicas, División de Hidrología y los detalles del análisis se dan en una publicación técnica del mismo organismo (5).

(a) Curvas de Masas y Patrones de Lluvias. La FIGURA TRECE (13) muestra las curvas de masas y patrones de lluvias de las estaciones seleccionadas.

(b) Duración total de la Tormenta. Esta fué de once horas.

(c) Isoyetas. Las isoyetas de la tormenta se muestran en la FIGURA CATORCE (14).

(d) Curva de Area - Altura de lluvia. Se muestra en la FIGURA VEINTIOCHO (28).

(e) Lluvia media. La lluvia media sobre la Hoya para el período total de la tormenta, fué de 49 milímetros.

(f) Curvas de Area - Altura - Duración. En la FIGURA QUINCE (15) muestra las curvas de área - altura - duración, con la distribución de la lluvia sobre la Hoya durante varios períodos de tiempo.

3.3-f Tormenta del 4 de Octubre de 1964.

(a) Curvas de Masas y Patrones de Lluvias. Para estaciones seleccionadas, se muestran en la FIGURA DIEZ Y SEIS (16).

(b) Duración total de la Tormenta. La duración total, fué de ocho horas.

TORMENTA DEL 19 DE JULIO DE 1964

HOYA LAGO DE VALENCIA

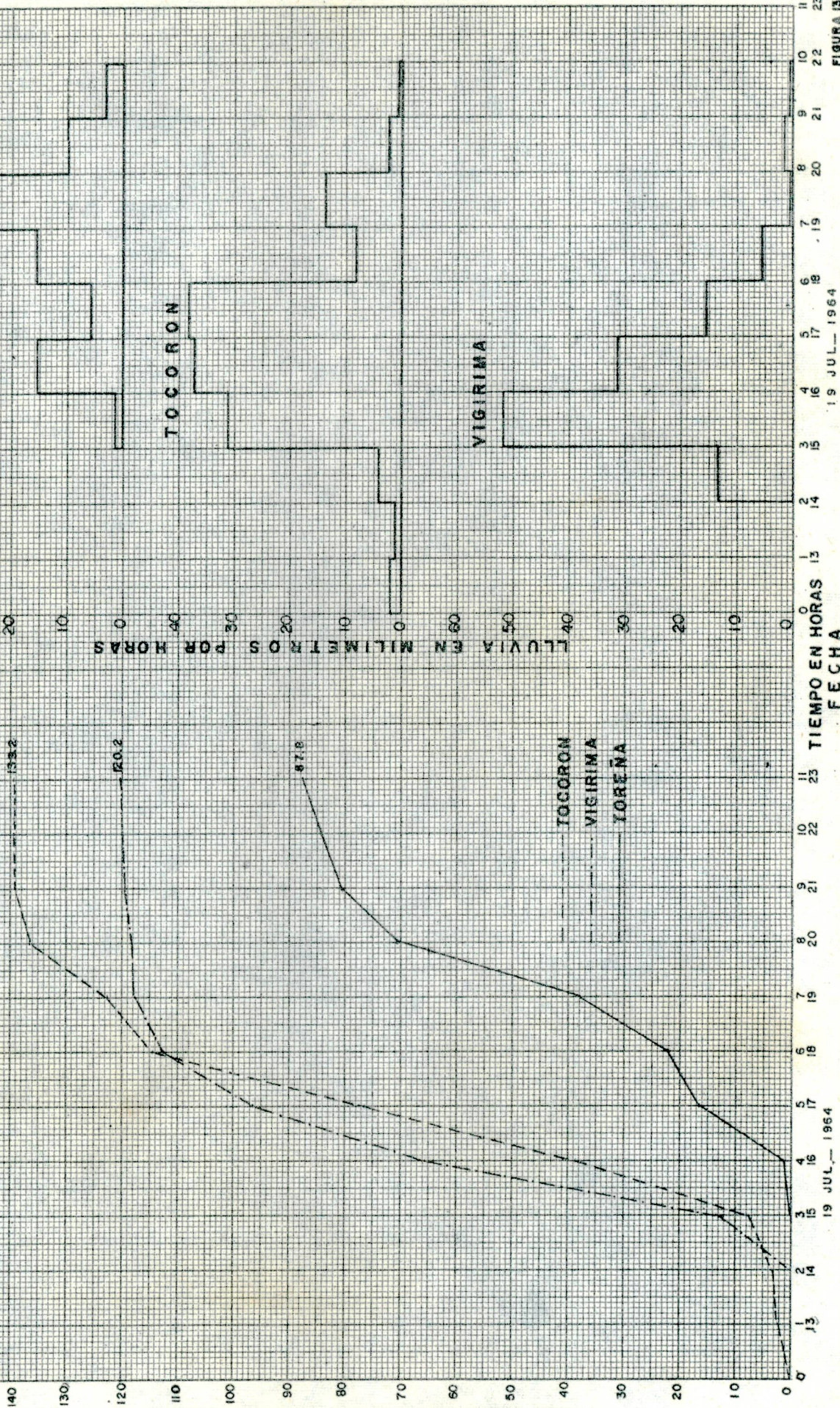
CURVAS DE MASAS

PATRONES DE LLUVIAS

TORREÑA

LLUVIA ACUMULADA EN MILIMETROS

LLUVIA EN MILIMETROS POR HORAS



TIEMPO EN HORAS
FECHA

19 JUL., 1964

19 JUL., 1964

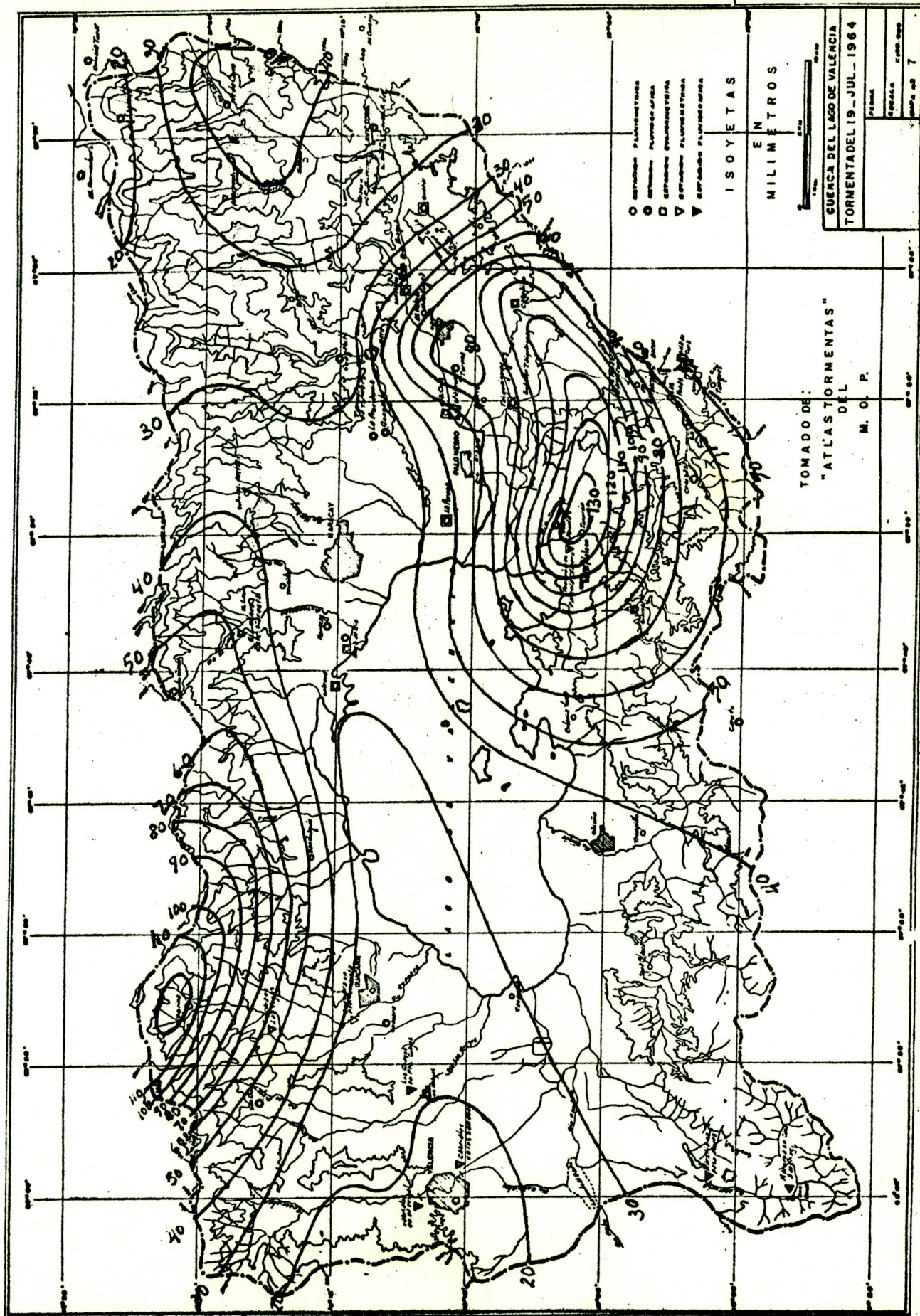


FIGURA 14

CURVAS DE AREA - ALTURA - DURACION
TORMENTA DE 19 - JUL - 1964
HOYA LAGO DE VALENCIA

LLUVIA MEDIA MAXIMA EN MILIMETROS

150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

6 HORAS

3 HORAS

2 HORAS

1 HORA

200

400

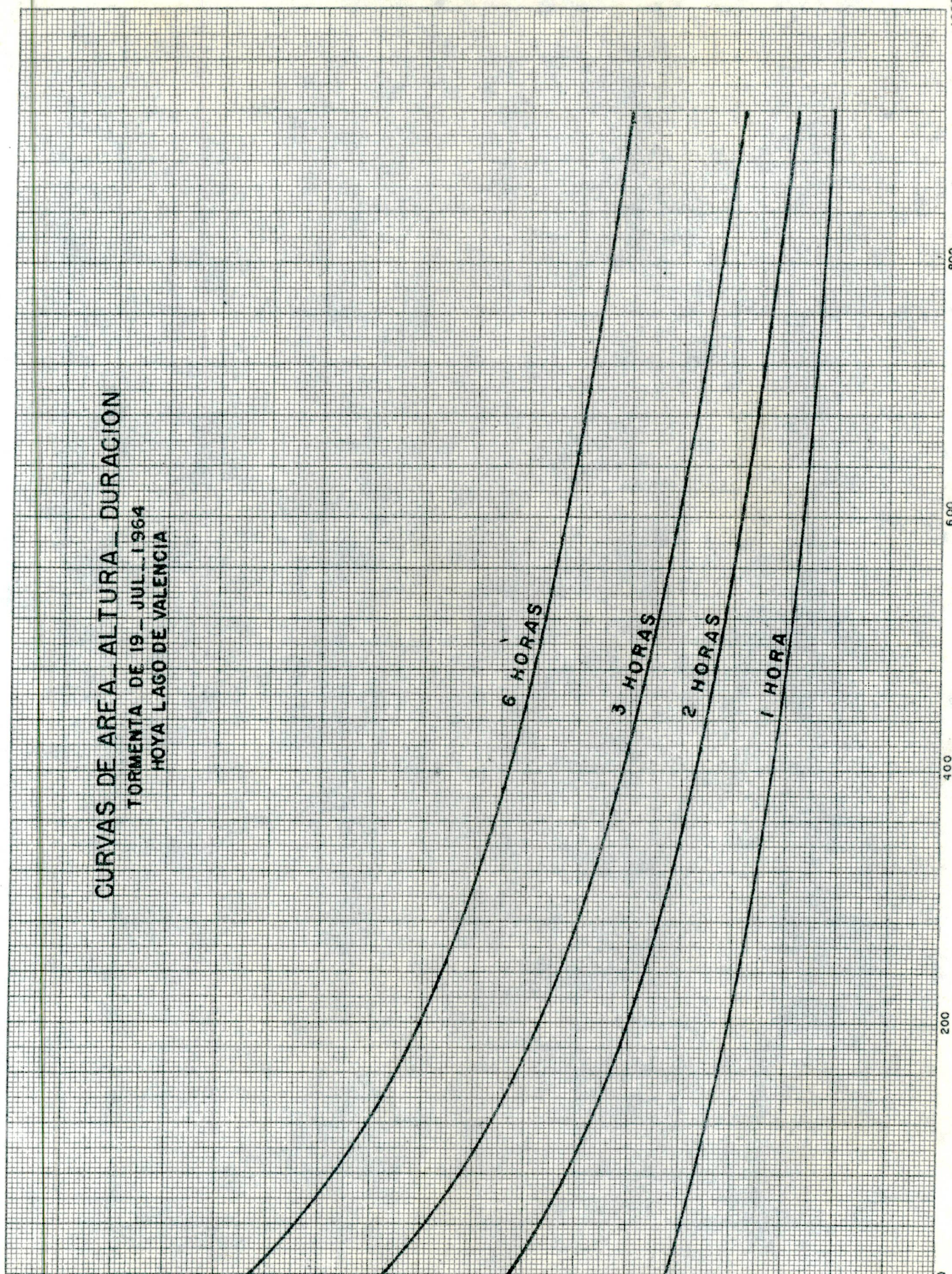
600

800

1000

AREA EN KILOMETROS CUADRADOS

FIGURA 15



(c) Isoyetas. En la FIGURA DIEZ Y SIETE (17) se muestran para la duración total de la tormenta.

(d) Curva de Area - Altura de Lluvia. La curva de área - altura de lluvia para la duración total de la tormenta se muestra en la FIGURA VEINTIOCHO (28).

(e) Luvia Media. La altura de lluvia media sobre la Ho-ya para el período total de la tormenta, fué de 35 milíme-
tros.

TORMENTA DEL 4 DE OCTUBRE DE 1964

HOYA LAGO DE VALENCIA

CURVAS DE MASAS

PATRONES DE LLUVIAS

SUATA EMBALSE

VALENCIA

GUACARA

LLUVIA ACUMULADA EN MILIMETROS

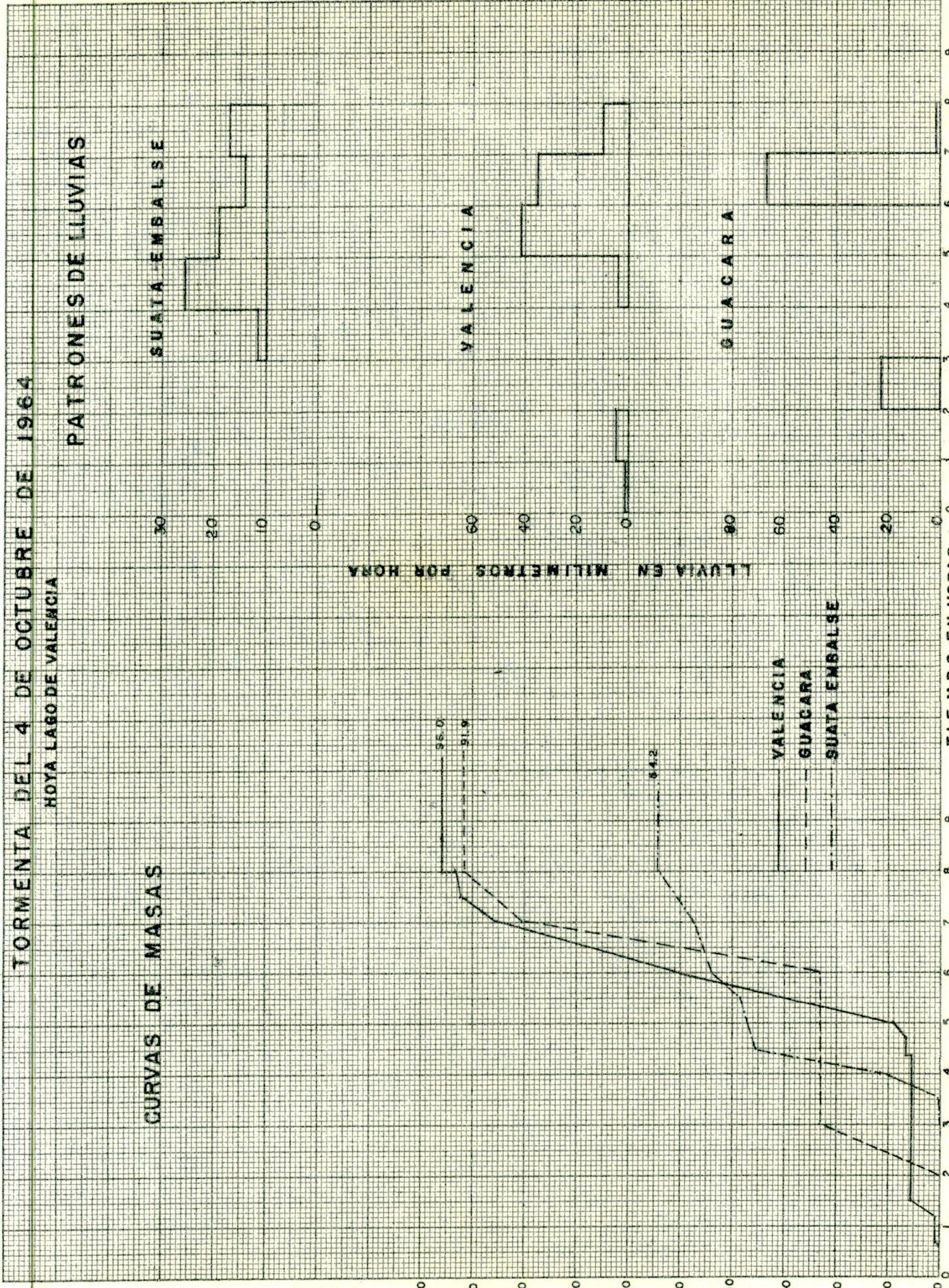
LLUVIA EN MILIMETROS POR HORA

TIEMPO EN HORAS
FECHA

4 OCTUBRE 1964

4 OCTUBRE 1964

FIGURA 1E



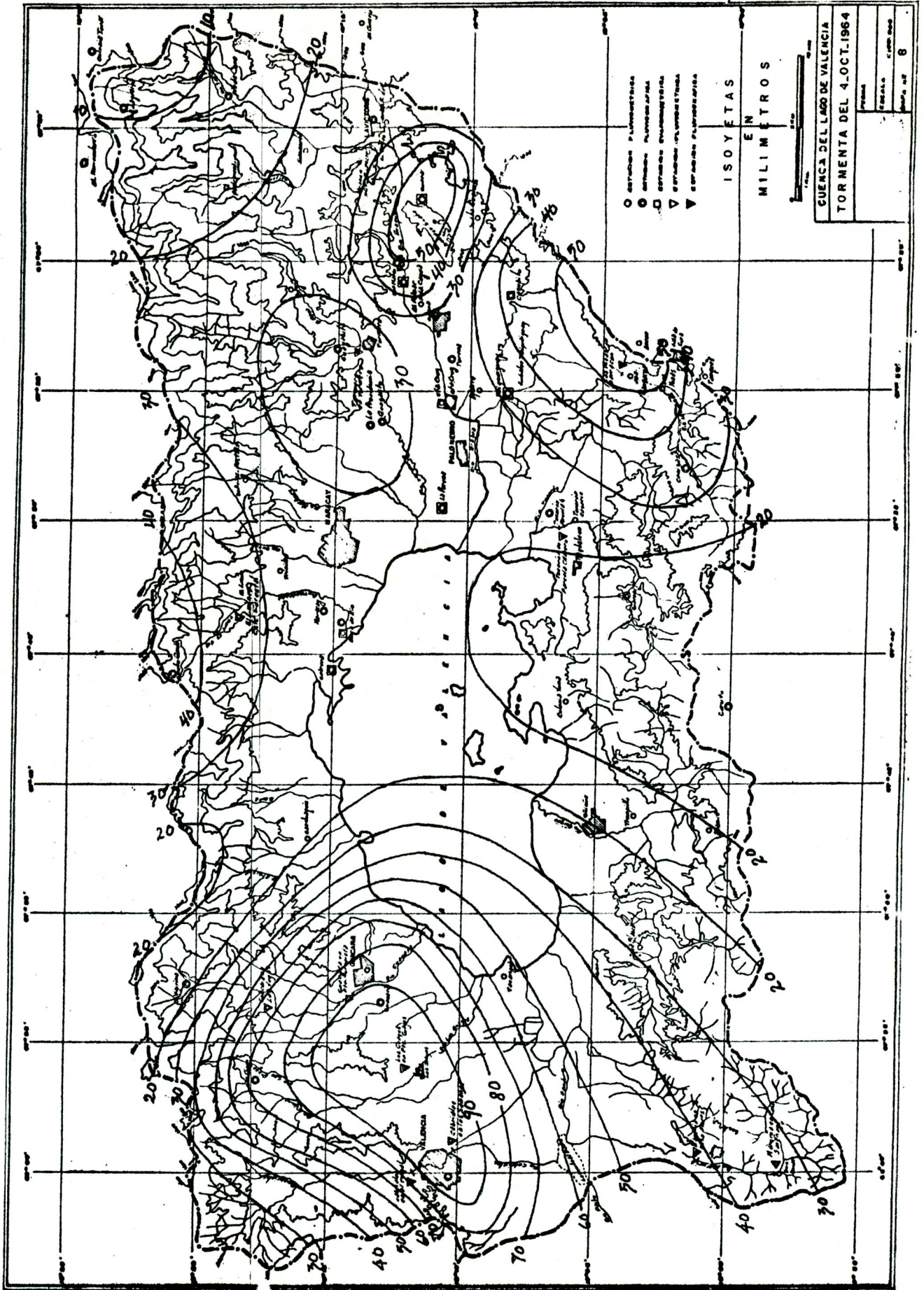


FIGURA 17

4. TORMENTA DE DISEÑO

4.1 Procedimiento.

(a) La tormenta de diseño se expresará en término de las relaciones de "área - altura de lluvia - duración".

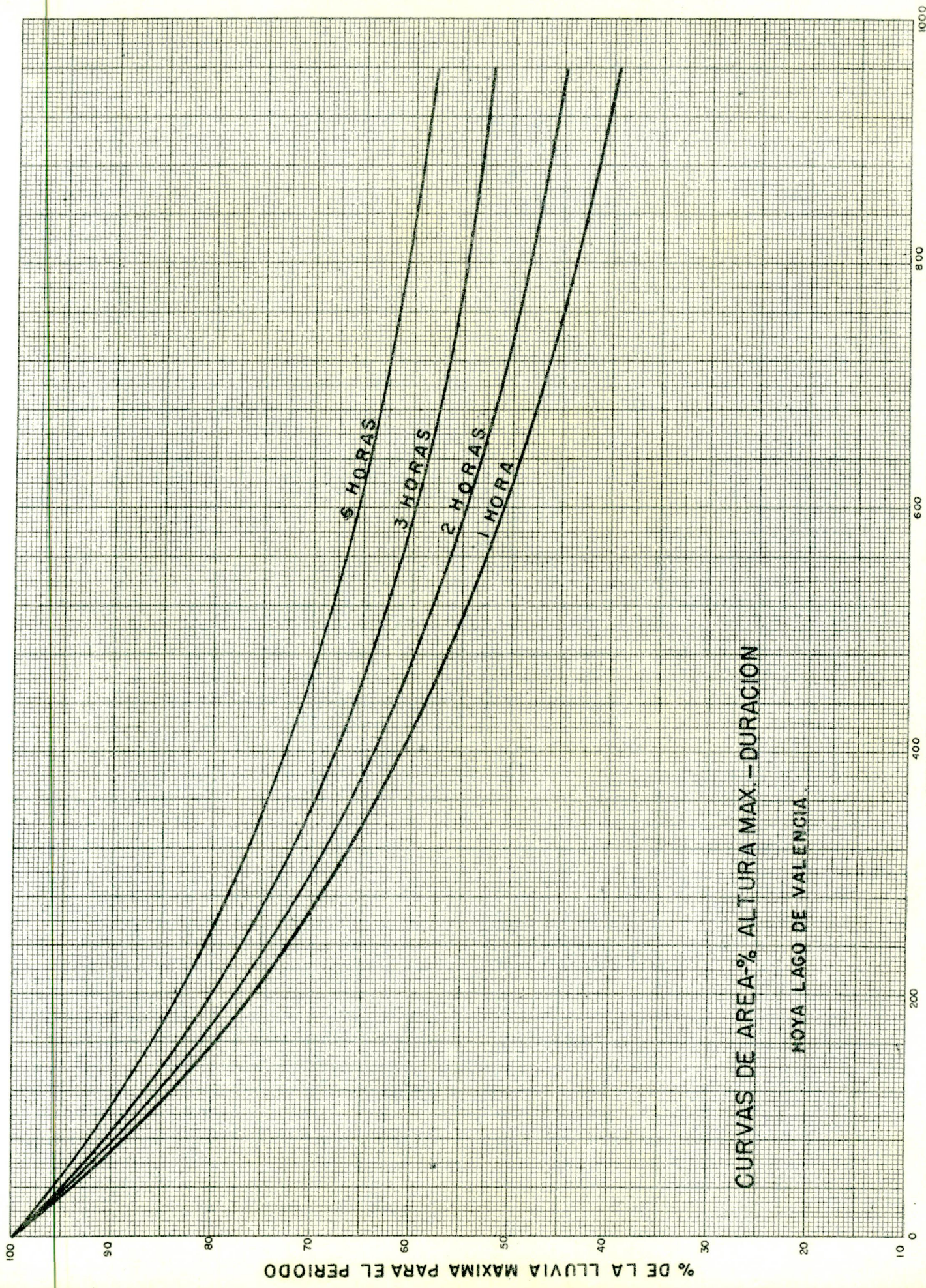
(b) Las características de estas relaciones se deducirán de las correspondientes a las tormentas analizadas en el párrafo 3.3.

(c) La traducción de estas características en cantidades de lluvia para la tormenta de diseño, se efectuará basándonos en los estudios de frecuencia de "intensidad - duración de lluvia", realizados para las tormentas observadas en diferentes puntos de la cuenca.

(d) Se asume que la tormenta de diseño tenga un período de retorno de cincuenta años y una duración de tres horas.

4.2 Distribución de la Tormenta de Diseño, en Función del Tiempo y del Area.

Esta se dedujo por medio de las envolventes de las curvas de área - altura - duración, para cada uno de los períodos de una, dos, tres y seis horas de las tormentas analizadas (párrafo 3.3), expresadas previamente en porcentaje de altura de lluvia máxima (puntual). La FIGURA DIEZ Y OCHO (18), muestra las curvas de "área - porcentaje de altura máxima - duración - deducidas", las cuales se consideraron como la forma básica para la distribución de la tormenta de diseño, en función del tiempo y



CURVAS DE AREA-% ALTURA MAX. - DURACION
HOYA LAGO DE VALENCIA

AREA EN KILOMETROS CUADRADOS

FIGURA 18

del área.

4.3 Frecuencia de Lluvias.

Para establecer el criterio de la lluvia de diseño, se hizo el estudio de intensidad - duración - frecuencia de lluvia puntual por medio del análisis estadístico de la serie de valores extremos (6) para las duraciones de 15, 30, 60, 120 y 180 minutos, respectivamente. Esta serie toma el máximo evento registrado en cada año. Los valores del intervalo de recurrencia promedio, T , en años, fué calculado por

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (4-1)$$

en el cual m es el rango de cada evento y n es el número de años de registro. Los eventos y sus respectivos períodos de retorno, T , fueron ploteados en papel normal de probabilidad de Gumbel - Powell para su extrapolación al período de retorno deseado (50 años). Este análisis se llevó a cabo en un grupo de estaciones registradoras de precipitación distribuidas en la cuenca. En la selección de ellas privó el criterio de ubicación, calidad del registro y longitud del mismo. En las FIGURAS DIEZ Y NUEVE (19) a VEINTICUATRO (24) se muestran las curvas de frecuencia de lluvias expresadas en milímetros por hora y ploteadas en papel semi-logarítmico para cada estación seleccionada y en la FIGURA UNO (1) se puede ver sus respectivas ubicaciones.

4.4 Relaciones de Intensidad - Duración de Lluvia - Frecuencia.

Con la idea de obtener una relación consistente para la determinación de la curva de intensidad - duración, se procedió a

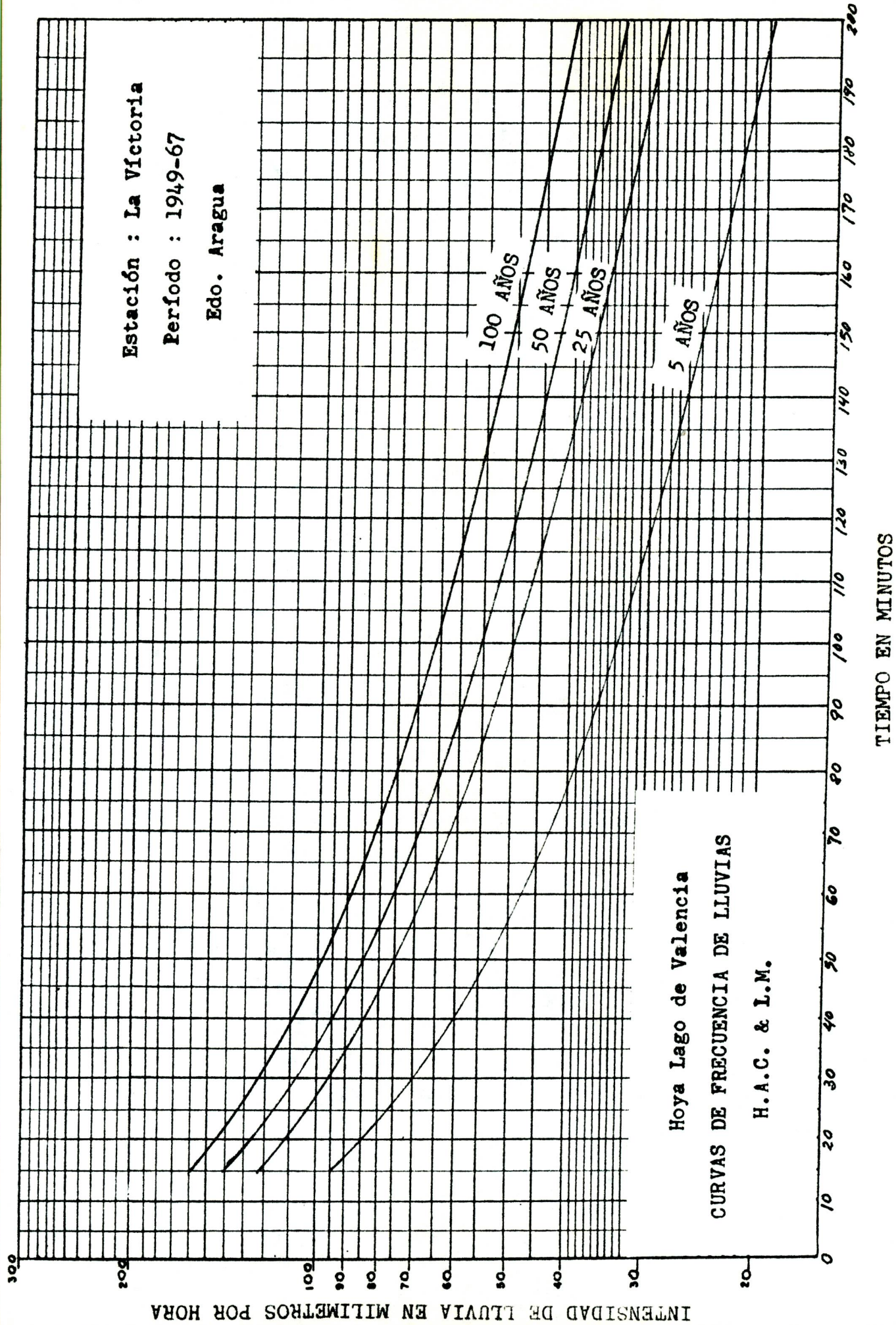
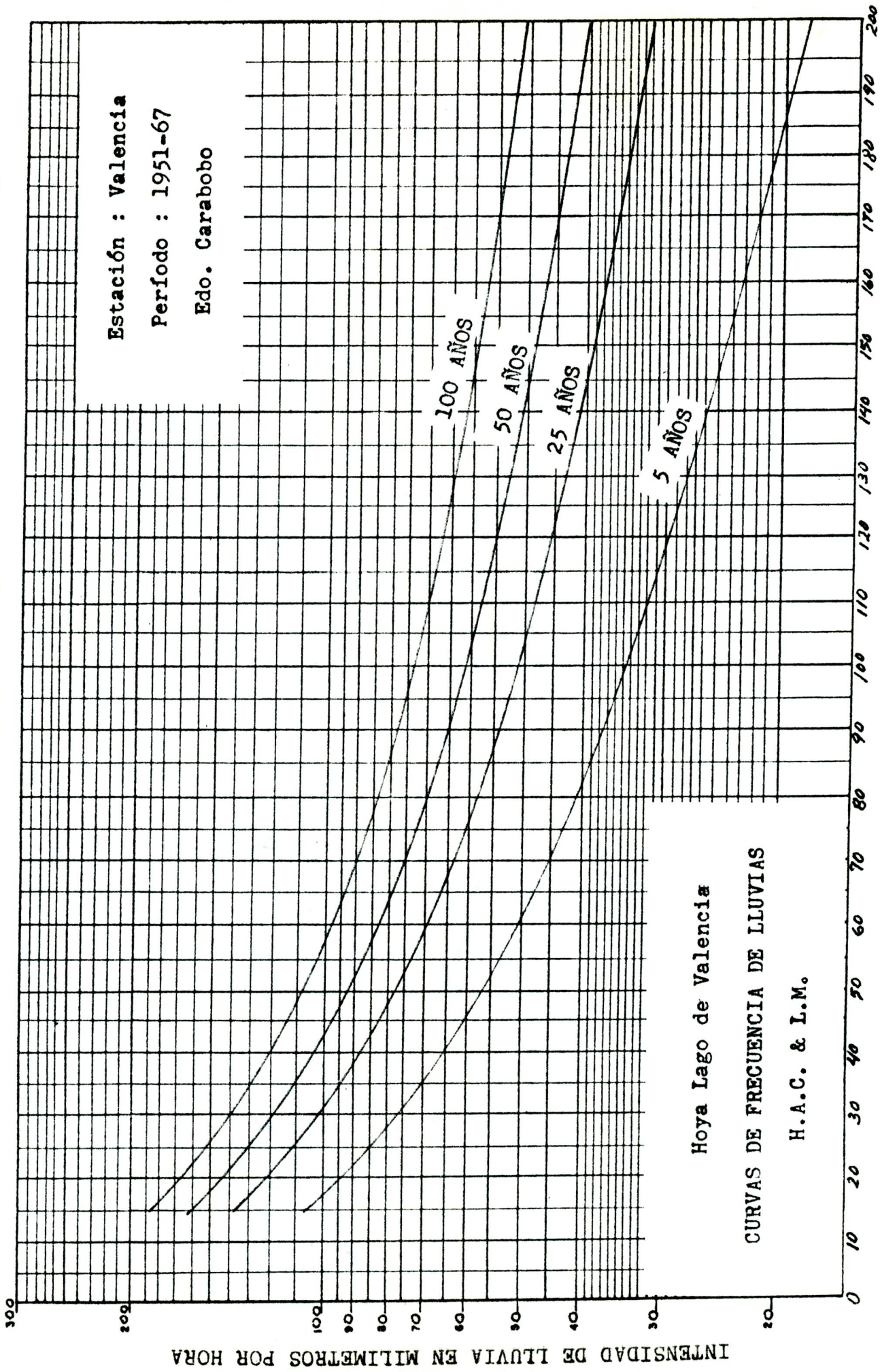
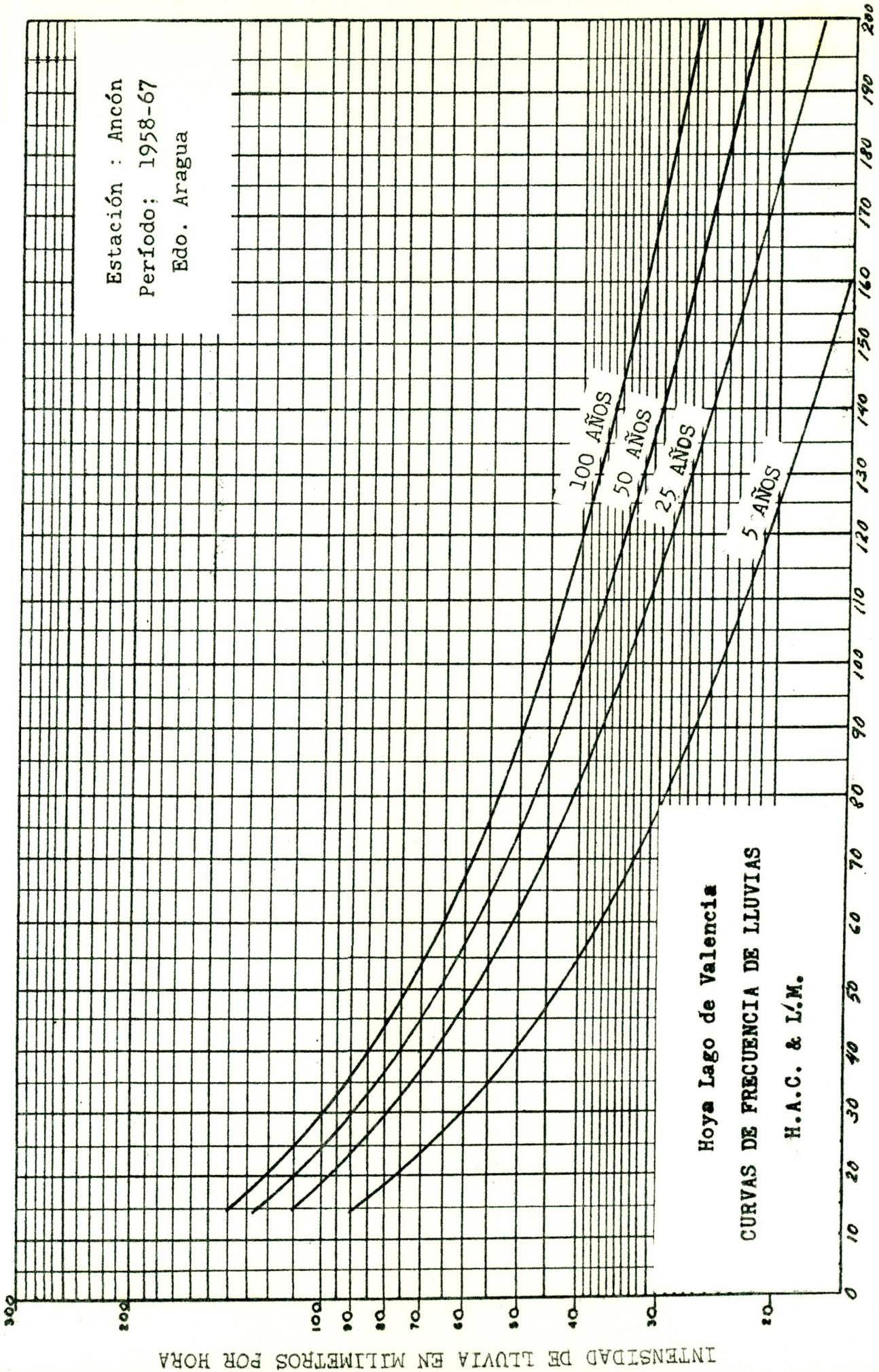


FIGURA 19



TIEMPO EN MINUTOS



TIEMPO EN MINUTOS

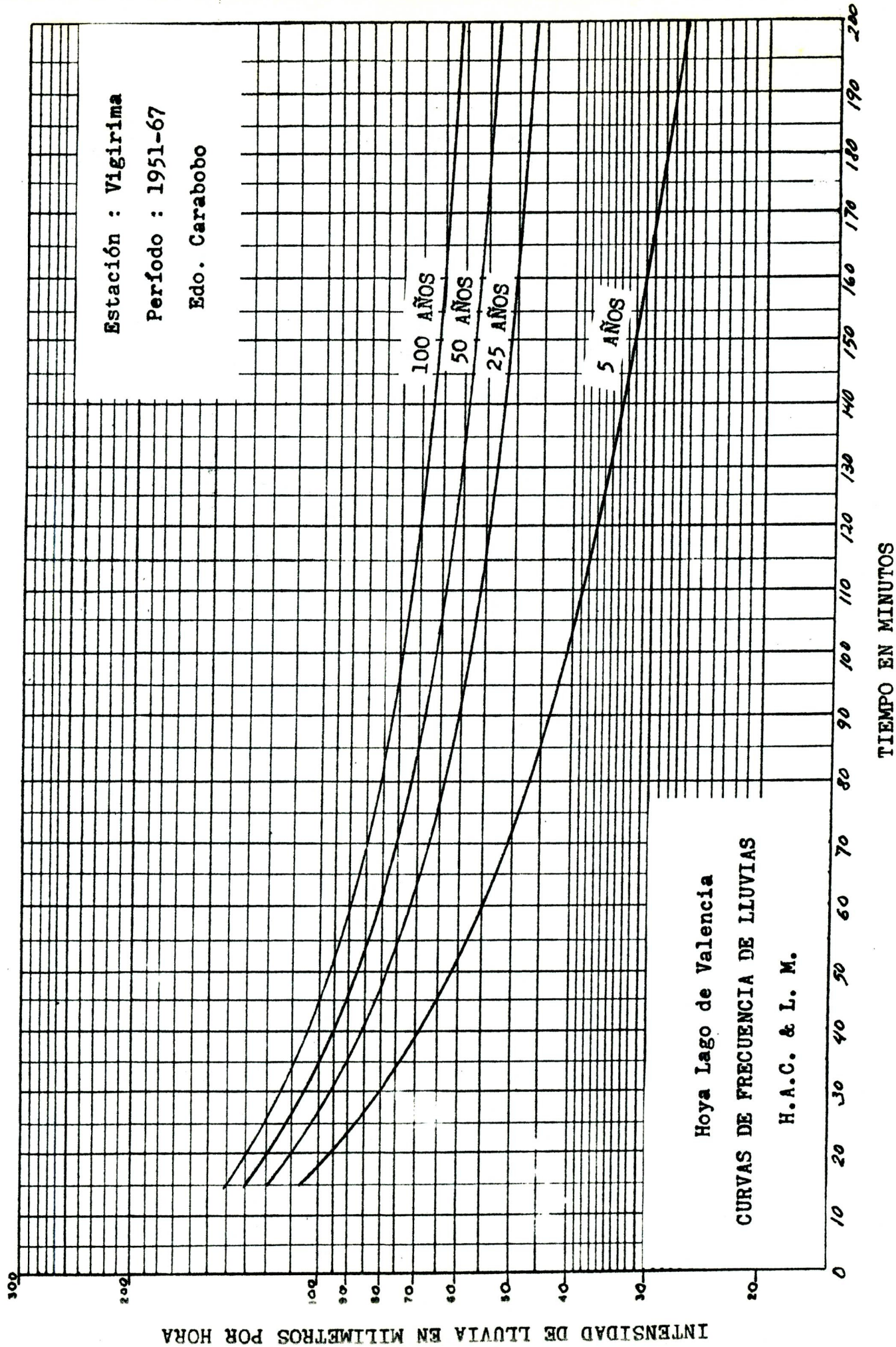
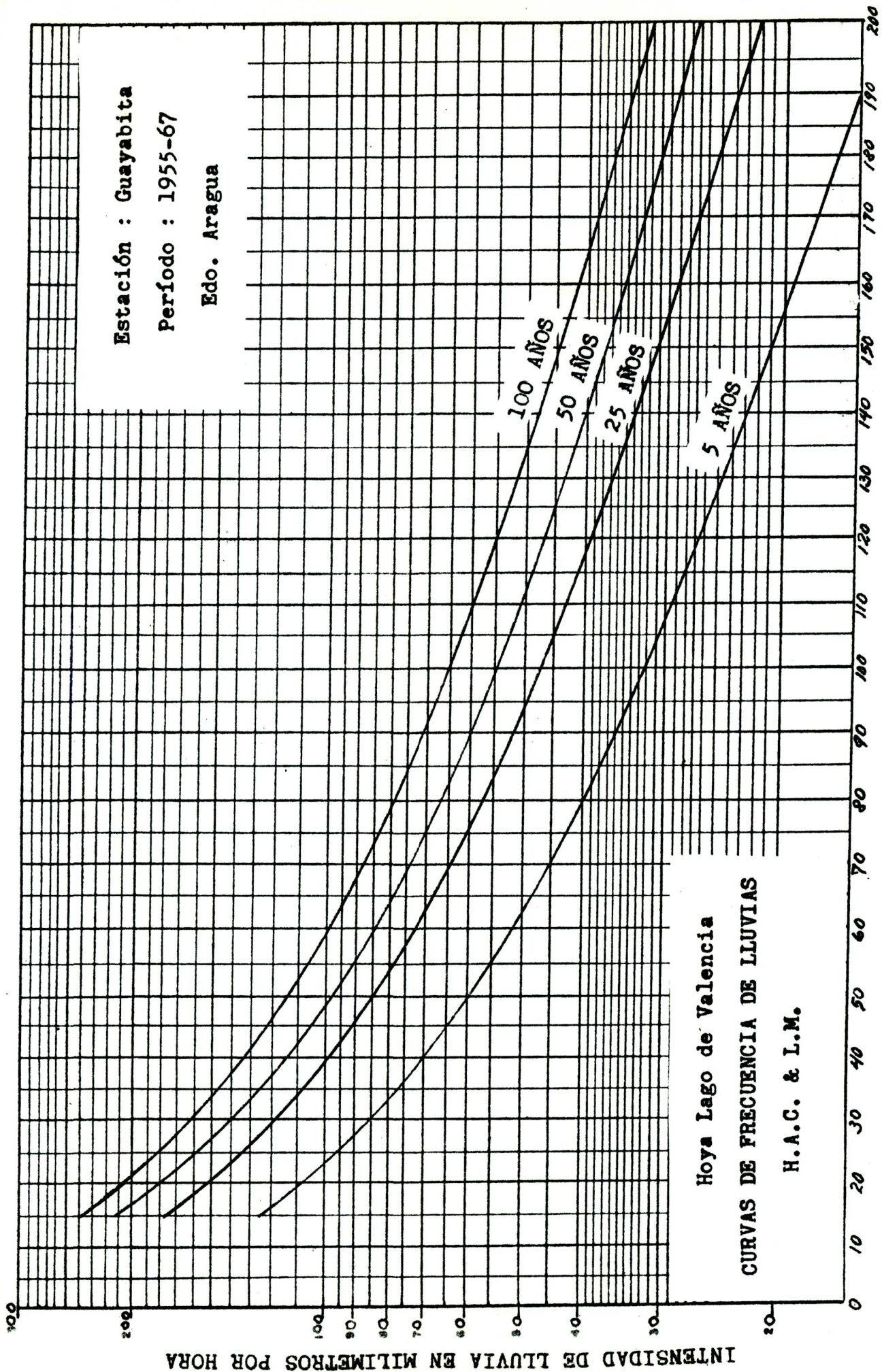
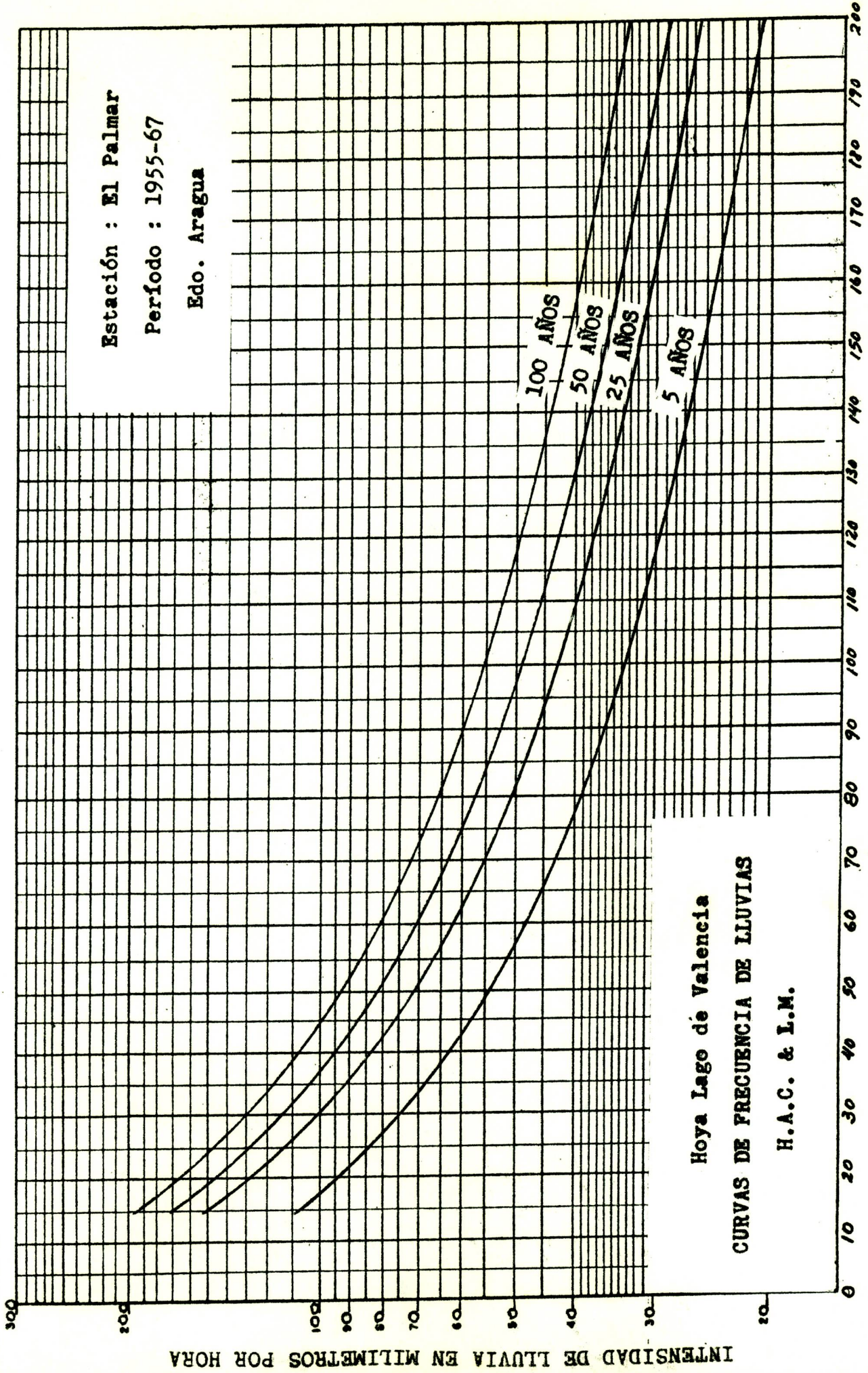


FIGURA 22



TIEMPO EN MINUTOS

SEMI — LOG.
CICLOS FRACCIONADOS X 4 DIVISIONES



TIEMPO EN MINUTOS

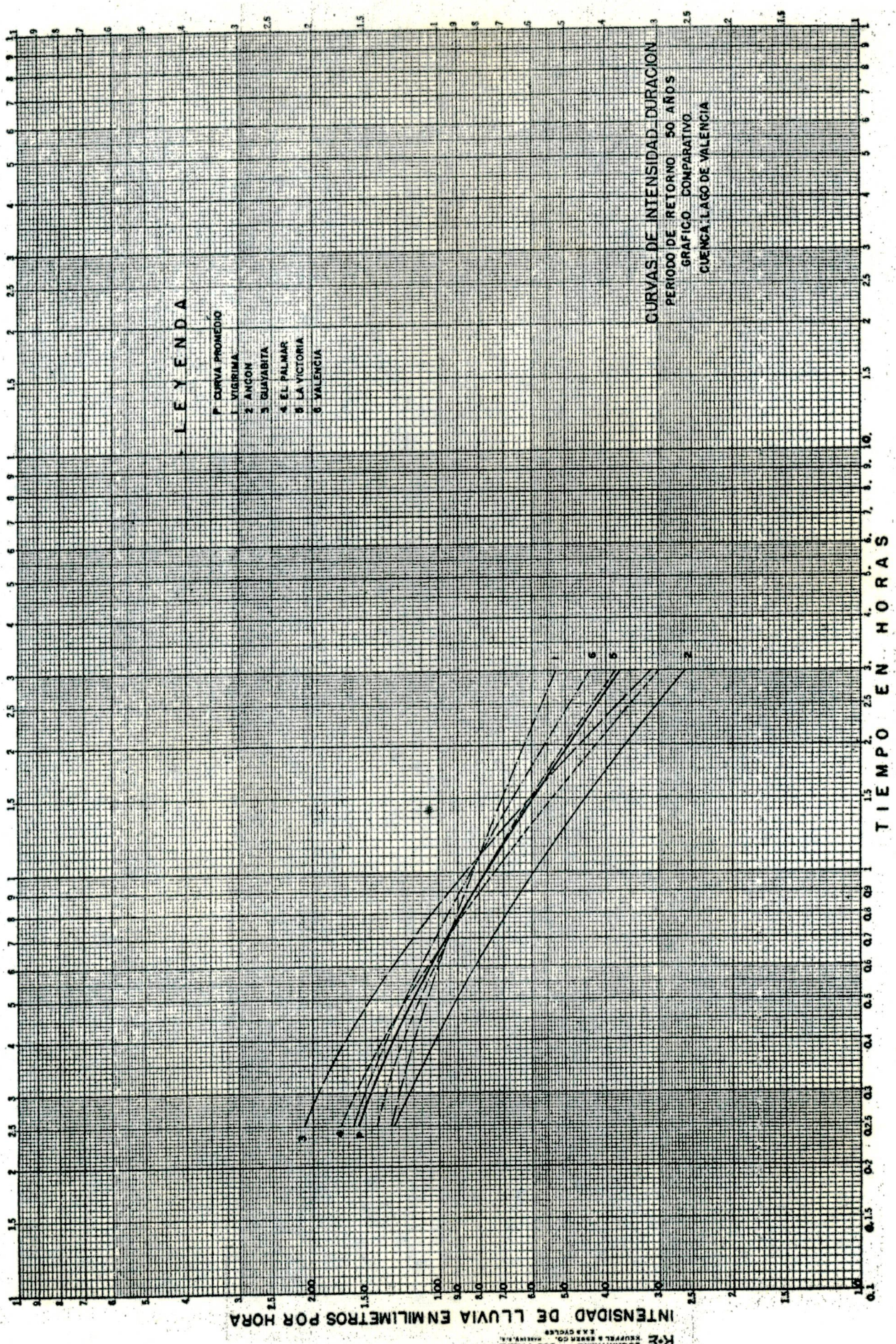
comparar gráficamente los resultados obtenidos en el párrafo 4-3, para un período de retorno de cincuenta años. En la FIGURA VEINTICINCO (25), se muestran las curvas de intensidad - duración para una frecuencia de cincuenta años, correspondiente a cada una de las estaciones analizadas. De este gráfico comparativo se dedujo la curva promedio de "intensidad de lluvia - duración" a utilizar en la determinación de la tormenta de diseño. En la misma FIGURA VEINTICINCO (25) se da la curva promedio que también aparece en la FIGURA VEINTISEIS (26).

4.5 Magnitud Relativa de las Curvas de Intensidad - Duración.

En la FIGURA VEINTISEIS (26) se comparan las curvas de intensidad - duración de lluvia de las tormentas registradas y la deducida para la de diseño. Las curvas indican claramente que la correspondiente a la tormenta de diseño, supera en magnitud a la de las tormentas registradas.

4.6 Tormenta de Diseño Obtenida.

El paso final para obtener la tormenta de diseño es aplicar los datos del juego de curvas obtenidas en el párrafo 4.2 (FIGURA DIEZ Y OCHO (18)), a la curva de intensidad de lluvia para cincuenta años, deducida en el párrafo 4.4 (FIGURA VEINTISEIS (26)). De esta manera se determinaron las curvas de área - altura - duración de la FIGURA VEINTISIETE (27), que son las que representan la tormenta de diseño.



K-E LOGARITMICO 359.112LO
 KUFFEL & BRENN CO. MILWAUKEE, WIS.
 3 1/2 CYCLES

FIGURA 2.5

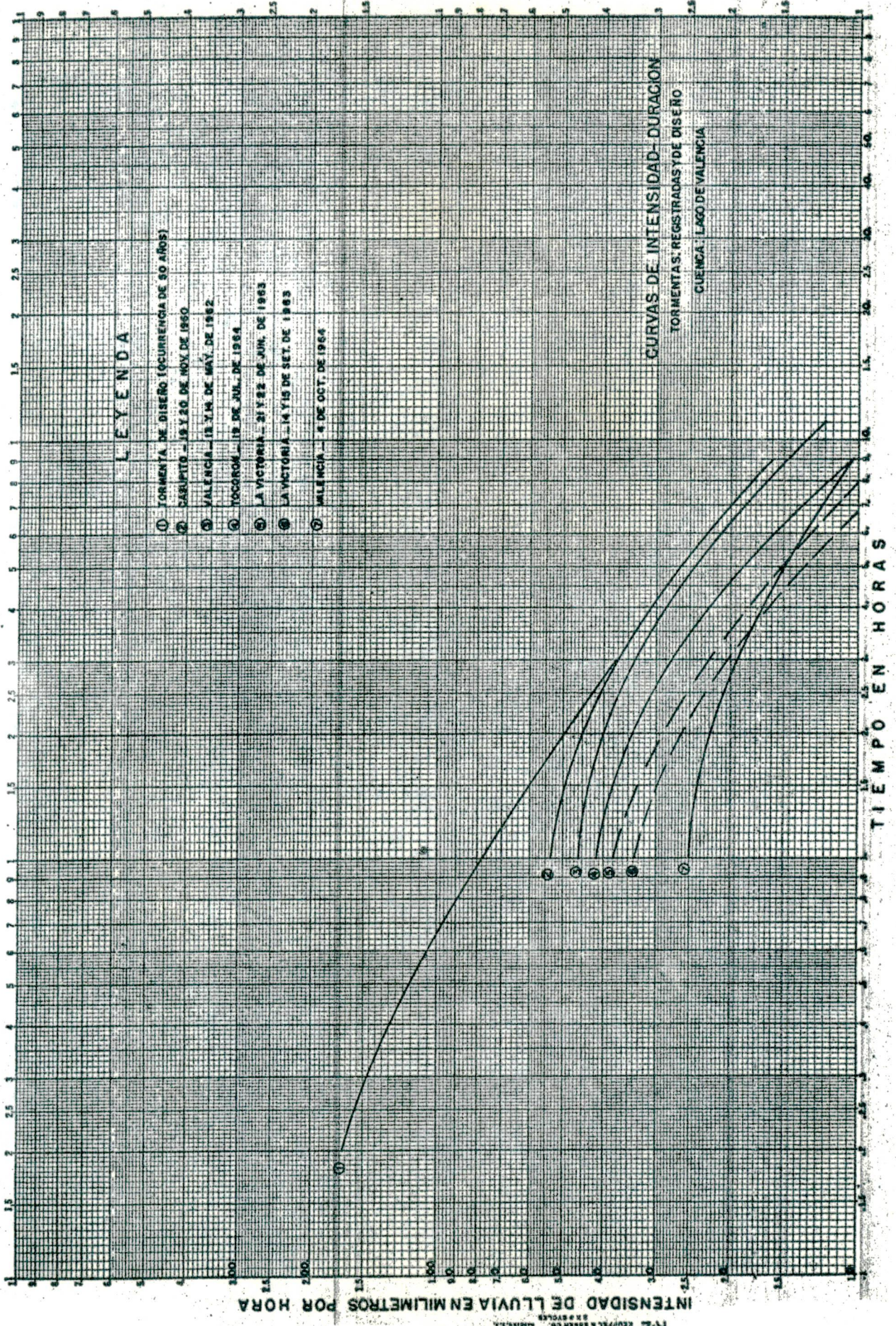


FIGURA 26

K-E LOGARITMICO 359-112LD
K-E SCHEIDT & BORN CO. CHICAGO, ILL.
3 1/2" x 5 1/2" CYCLES

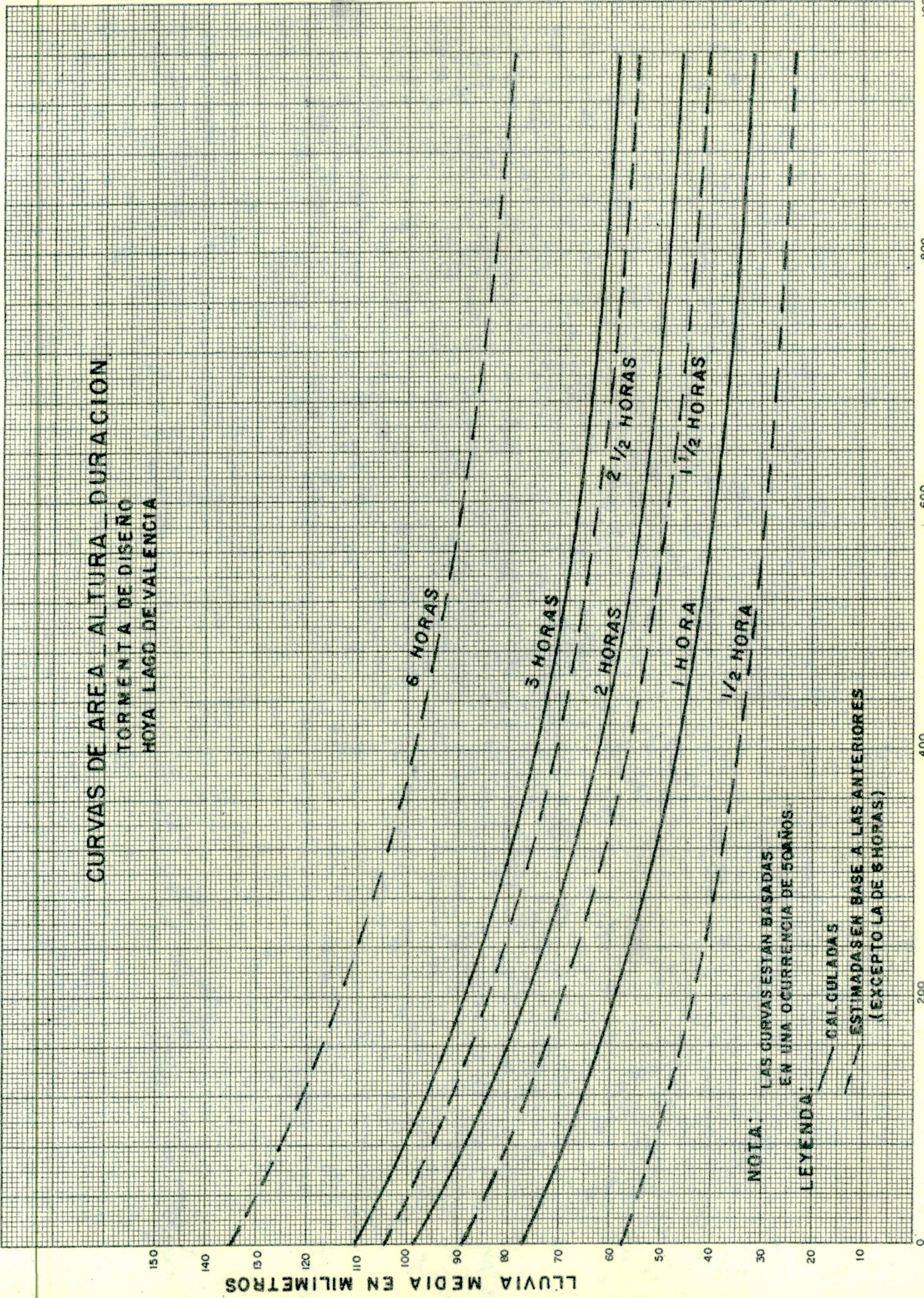


FIGURA 27

AREA EN KILOMETROS CUADRADOS

4.7 Magnitud Relativa de las Curvas de Area - Altura de Lluvia.

La FIGURA VEINTIOCHO (28) muestra las curvas de área - altura de lluvia de las tormentas registradas y de diseño. En ella se observa que la tormenta de diseño de duración tres horas, es de magnitud moderada.

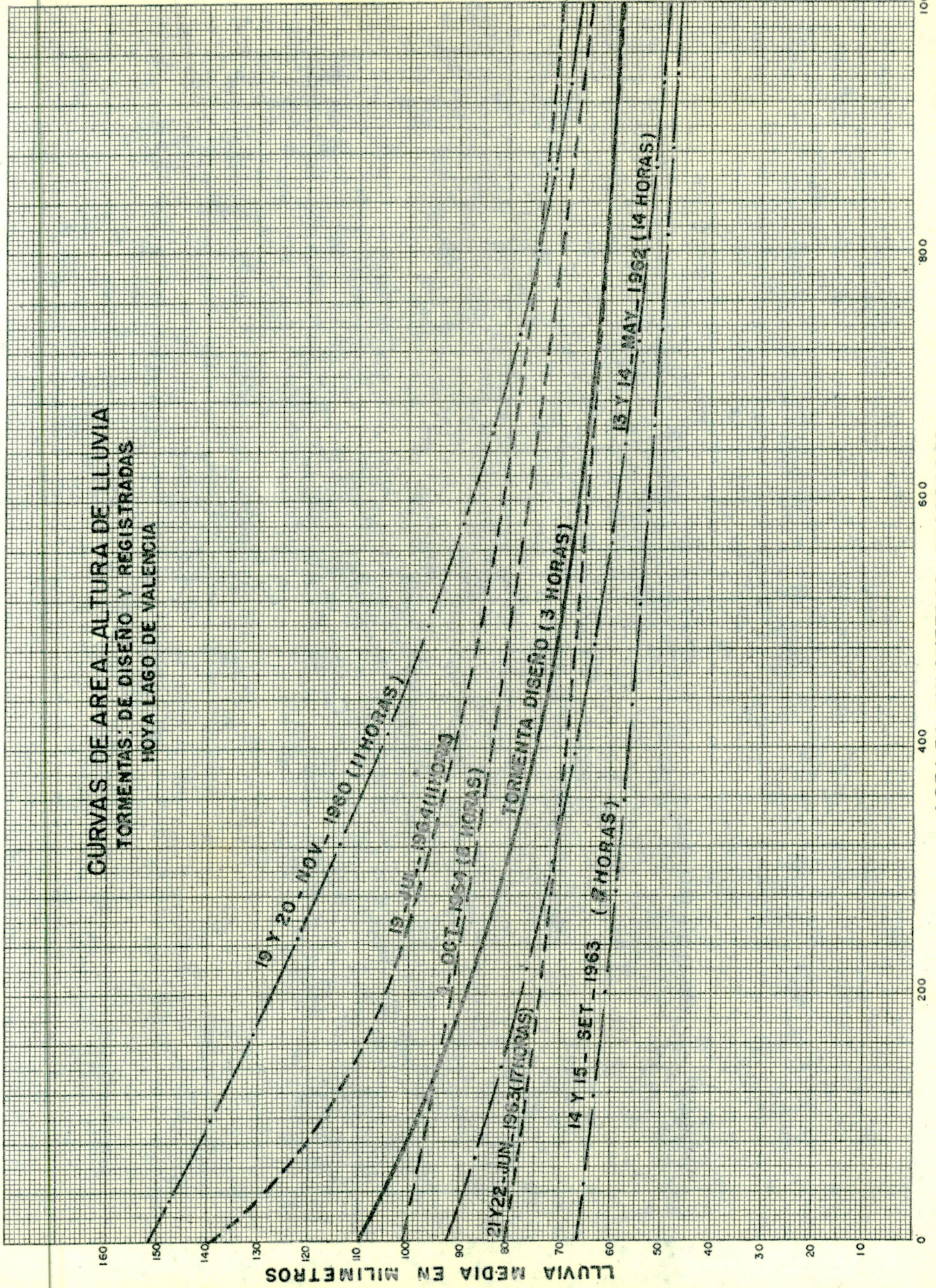
4.8 Patrón de Intensidad de Lluvia.

Los patrones de lluvia (distribución en función del tiempo) durante las tormentas, que han ocurrido desde que se establecieron los pluviómetros, pueden compararse usando gráficos de lluvia (hietogramas). Se estudiaron hietogramas de estaciones seleccionadas para las tormentas analizadas (FIGURAS: 3, 6, 8, 11, 13 y 16). El patrón de lluvia resultante, asumido para la tormenta de diseño, se basó en gráficos de lluvia que eran típicos de aquellos hallados en el centro de éstas tormentas observadas. La agrupación de los incrementos de lluvia en el orden más probable para la tormenta de diseño resultó ser: con el máximo incremento en el centro de la duración de la tormenta, el segundo en magnitud antes del máximo, el tercero después del máximo, el cuarto en magnitud antes del segundo y así sucesivamente hasta completar la duración de la tormenta.

4.9 Criterios para el uso de los Resultados.

(a) Se recomienda usar la tormenta de diseño obtenida, especialmente en aquellas regiones donde la información pluviométrica es inadecuada para un análisis de frecuencia de lluvias.

**CURVAS DE AREA - ALTURA DE LLUVIA
TORMENTAS: DE DISEÑO Y REGISTRADAS
HOYA LAGO DE VALENCIA**



AREA EN KILOMETROS CUADROS

FIGURA 29

(b) En regiones donde la información pluviométrica permite el análisis de frecuencia de lluvias para diferentes duraciones, se puede deducir la tormenta de diseño de la siguiente manera:

- (1°) Hacer el análisis de frecuencia de lluvia para diferentes duraciones.
- (2°) Con el área de la cuenca, entrar en el juego de curvas dados en la FIGURA DIEZ Y OCHO (18) y obtener los porcentajes de lluvia máxima para diferentes duraciones.
- (3°) Aplicar estos porcentajes a las lluvias deducidas en (1°) para el período de retorno seleccionado y así se obtendrá la precipitación de la tormenta de diseño sobre la cuenca.

(c) Para áreas drenadas donde la lluvia orográfica predomina, es decir, donde la lluvia varía principalmente con la elevación, estudios han mostrado que los patrones isoyéticos de tormentas individuales, generalmente concuerdan con el patrón isoyético de la precipitación media anual (7). Tales áreas de drenaje están comúnmente limitadas por áreas montañosas. En tales casos es preferible deducir la curva de altura de lluvia - duración, como sigue:

- (1°) Trazar el mapa isoyético para la cuenca bajo estudio, pudiéndose tomar este de la FIGURA UNO (1).
- (2°) Calcular la precipitación media en la cuenca; y, de la tormenta de diseño FIGURA VEINTISIETE (27) obtener con el área de drenaje las alturas de lluvias para las diferentes duraciones.

- (3°) Dividir cada altura de lluvia obtenida en (2°) entre la precipitación media de la cuenca.
- (4°) Los factores obtenidos en (3°) se multiplican en su duración por cada una de las isoyetas de la lluvia - media anual, obteniéndose los patrones isoyéticos de la tormenta de diseño.
- (5°) Por planimetría en cada uno de estos patrones se obtiene la curva de altura de lluvia - duración para la tormenta de diseño sobre el área bajo consideración.

PARTE II

5. DEFINICION Y TERMINOLOGIA

Para la estimación de las crecientes de diseño en las diferentes áreas de drenaje de la Hoya del Lago de Valencia, se procedió a utilizar un método que permitiera la determinación del "hidrograma unitario sintético", para aquellas áreas carentes de información hidrológica.

El método utilizado es el mismo desarrollado por F.F. Snyder (9) y modificado por W.B. Langbein (10). Este permite la transposición de las características de la distribución del escurrimiento en función del tiempo, de áreas a las cuales se le conoce, a áreas cercanas ó similares donde no existe esta información. El uso de este método se considera práctico cuando las áreas de drenaje son fisiográfica e hidrológicamente similares.

5.1 Características Físicas Utilizadas.

Las cuencas pueden ser descritas por un sin número de propiedades, pero para propósitos prácticos, solamente se toman en cuenta un número limitado de éstas y especialmente en el método aquí utilizado.

En el presente estudio las tres características siguientes, fueron utilizadas para describir la cuenca.

1. Longitud del cauce principal (L), definida como la longitud medida sobre un mapa topográfico, a lo largo de la corriente principal desde el punto inicial de las aguas al punto que se estudia en Kms.

2. Longitud al centroide (L_c), definida como la longitud medida sobre un mapa topográfico a lo largo de la corriente principal, desde el punto que se estudia hasta un punto de la corriente próximo al centroide de la cuenca en Kms. (El centroide se determina, pasando el contorno de la cuenca a una cartulina por medio de un papel carbón, recortándola y suspendiéndola sucesivamente por varios puntos, se obtiene éste por la intersección de las líneas de plomada resultantes).

3. Pendiente media del curso principal (S), es definida como la pendiente en mts/Kms del perfil longitudinal del canal principal, comprendido entre el punto más remoto de las aguas al punto de estudio. Se obtiene por medio de la pendiente de la línea recta, trazada desde el punto de interés hacia aguas arriba tal que las áreas en que divide al perfil, por encima y por debajo, sean iguales.

5.2 Hidrograma de Esgurrimiento Total y sus Componentes.

"Hidrograma de escurrimiento total" es una curva que muestra el gasto que pasa por la sección de una corriente en función del tiempo. El término es mayormente usado para la porción de la curva obtenida durante y después de un período de lluvia sobre la cuenca.

Para propósitos prácticos de análisis, el "hidrograma de escurrimiento total" es dividido en dos partes. Una parte llamada el "gasto base", representa el gasto de agua subterránea dentro del sistema de canal de la cuenca; la segunda parte es llamada el "hidrograma de escurrimiento superficial directo" que consta de -

escorrentía superficial y una parte sustancial de escurrimiento sub superficial.

5.3 Lluvia Efectiva o Exceso de Lluvia.

"Es la parte de la lluvia que queda sobre la superficie del terreno después de la infiltración, evaporación, transpiración, absorción y detención y que da lugar al escurrimiento superficial". La lluvia efectiva es igual en cantidad al escurrimiento superficial.

5.4 Hytograma de Lluvia Total e Hytograma de Exceso de Lluvia.

El "hytograma de lluvia total" es un diagrama que muestra para una tormenta dada, la intensidad de lluvia media sobre la cuenca durante sucesivos períodos de tiempo.

"Hytograma de exceso de lluvia" es la porción del "hytograma de lluvia total" que aparece como escurrimiento en la estación medidora de caudal de la cuenca considerada.

5.5 Hidrograma Unitario.

El "hidrograma unitario" para un punto y un río dado, es una curva que muestra la distribución de los gastos de escurrimiento en función del tiempo, que resultaría en ese punto, de una unidad de lluvia efectiva sobre el área, aguas arriba del punto, es decir, el hidrograma unitario es el hidrograma de escurrimiento directo, de volumen total escurrido la unidad.

Cada hidrograma unitario está asociado con la duración del exceso de lluvia que lo produce. Esto es, un hidrograma unitario

de 2 horas, es uno derivado de una tormenta, en la cual la duración del exceso de lluvia fué de 2 horas. Usando la suposición de relación lineal entre lluvia y escurrimiento, es posible derivar un hidrograma unitario de una duración cualquiera, de un hidrograma unitario de otra duración cualquiera por superposición ó usando la técnica de la curva - S.

5.6 Gráfico de Distribución.

Es un hidrograma unitario cuyas ordenadas se expresan en porcentaje del escurrimiento unitario.

5.7 Hidrograma Sumatorio.

"Para un punto y un río dado, es una curva que muestra la distribución de los gastos de escurrimiento en función del tiempo, que resultarían de una serie continua de lluvias unitarias efectivas sobre el área, aguas arriba del punto considerado", (II).

5.8 Retardo.

"Para un área de drenaje, es el tiempo transcurrido en horas, desde que empieza una serie continua de lluvias unitarias efectivas sobre el área, hasta el momento en el cual el gasto de escurrimiento en el punto de concentración de dicha área es igual al 50 por ciento del gasto límite (máximo) de escurrimiento de este punto", (II).

5.9 Gráfico - S.

Es un hidrograma sumatorio que relaciona el gasto en porcen-

taje del gasto límite, con el tiempo, expresado en porcentaje de retardo.

5.10 Gráfico de Distribución Sintético.

El "gráfico de distribución sintético" para un área dada, es la distribución promedio del escurrimiento con el tiempo, de las distribuciones observadas en áreas similares. Los hidrogramas de distribución observados, deben ser convenientemente modificados por medio de la introducción del parámetro "retardo", para así, poder llevarlos a una base de comparación y transposición en áreas similares.

6. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS BÁSICOS

6.1 Cuencas Estudiadas.

Nueve sub-cuencas distribuidas a través de la Hoya del Lago de Valencia, fueron seleccionadas de un total de once sub-cuencas controladas por el Ministerio de Obras Públicas e Instituto Nacional de Obras Sanitarias, para el estudio de la determinación de los hidrogramas unitarios sintéticos. En la FIGURA UNO (1), se muestra la localización de las mismas y en la TABLA 6-1, se listan sus nombres, sitios de medición, números asignados y áreas.

TABLA 6-1

Lista de sub-cuencas, áreas, sitios y números asignados.

SUB-CUENCA No.	RIO	SITIO	AREA (Km ²)
1	Cabriales	El Trigal	123.1
2	Cabriales	Los Samanes	131.6
3	Guacara	Pte. Autopista	90.6
4	Los Guayos	Pte. Los Guayos	88.4
5	Limón	Estac. Forestal	22.1
6	Turmero	Turmero	176.9
7	Tocorón	Parcela Chavero	71.7
8	Aragua	El Recreo	185.5
9	Las Minas	Barrancones	63.0

6.2 Hidrogramas Registrados.

De tres a cuatro hidrogramas de crecientes para cada una de las nueve sub-cuencas, fueron seleccionados y usados para la determinación de los parámetros y relaciones que conllevan a -

la deducción del hidrograma unitario sintético. Los hidrogramas de escurrimientos crudos fueron tomados de los archivos de las Divisiones de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas e Instituto Nacional de Obras Sanitarias, respectivamente. La traducción de estos hidrogramas crudos a escurrimiento en metros cúbicos por segundo se hizo, elaborando para cada sub-cuenca sus respectivas curvas de gasto correspondientes al período de registro.

6.3 Información Cartográfica.

Para la determinación de los datos topográficos se contó con cartas a escala 1:25000 de la Cartografía Nacional y para el estudio de las precipitaciones con reducciones fotográfica a 1:100000 de las anteriores.

6.4 Características Físicas.

Para correlacionar ciertas propiedades de las áreas drenadas con un parámetro que permita determinar la distribución sintética del escurrimiento con el tiempo, fueron evaluadas de los mapas topográficos las características físicas siguientes:

- (1) Longitud del curso más largo, L
- (2) Longitud del curso más largo hasta un punto cercano al centroide, L_c
- (3) Pendiente media del cauce principal, S.

Los valores determinados se listan en la TABLA 6-2, que va de seguida:

TABLA 6-2

Características físicas de las sub-cuencas usadas en el estudio.

SUB-CUENCA No.	C A R A C T E R I S T I C A S		
	L (Kms)	Lc (Kms)	S (mts/Kms)
1	19.5	11.1	11.2
2	24.0	14.5	9.1
3	19.5	12.3	11.8
4	21.7	11.3	21.2
5	8.5	5.0	77.1
6	19.4	10.0	40.2
7	18.0	11.8	11.8
8	21.9	16.0	27.4
9	19.0	10.9	9.5

7. DETERMINACION DE LOS GRAFICOS DE DISTRIBUCION SINTETICOS.

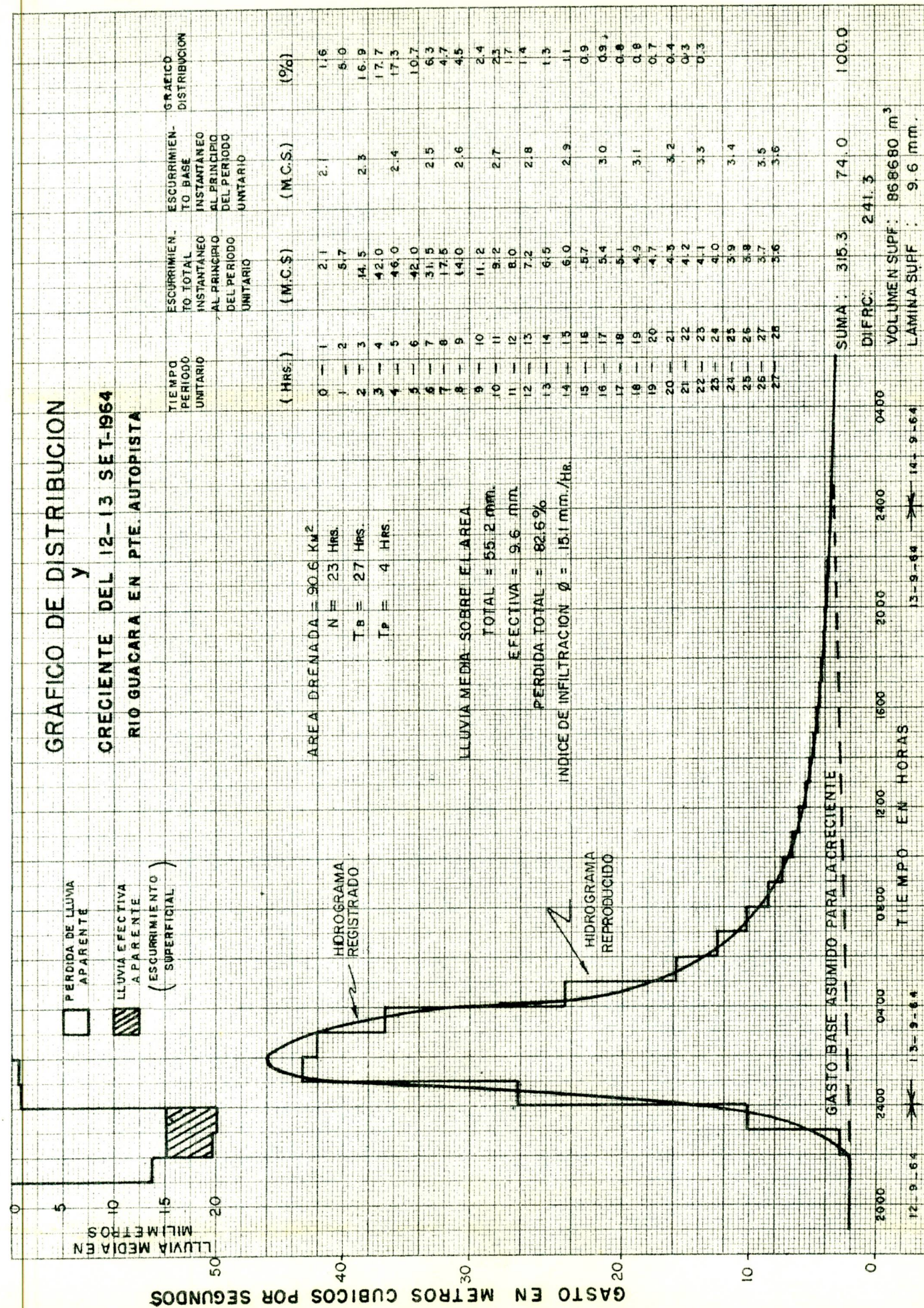
A continuación daremos los pasos realizados para determinar los gráficos de distribución sintéticos para áreas no medidas.

7.1 Esgurrimiento Superficial.

Para cada uno en los hidrogramas registrados de esgurrimiento total, se calculó el hidrograma de esgurrimiento superficial y su lámina esgurrida, mediante:

- (a) Ploteo del hidrograma de esgurrimiento en papel cuadrado.
- (b) Separación del gasto base, por medio de una línea recta que une los puntos donde comienza ascender el hidrograma hasta un punto sobre la recesión donde aparentemente ha cesado el esgurrimiento superficial.
- (c) Leyendo sobre el hidrograma de esgurrimiento total y la línea de gasto base, los valores instantáneos correspondientes a sucesivos períodos de tiempo incrementados en un intervalo preseleccionado (Apro. 25% del tiempo al pico). Comenzando en el punto de ascenso del hidrograma hasta que ambos se igualen.
- (d) Multiplicando el intervalo de tiempo obtenido en (c) previamente expresado en segundos por la diferencia acumulada del esgurrimiento total instantáneo y el gasto base instantáneo, se obtuvo el volumen superficial esgurrido, que dividido por el área de la cuenca nos dió la lámina superficial esgurrida, la cual se expresó en milímetros. (Ver FIGURA VEINTINUEVE (29)).

GRAFICO DE DISTRIBUCION y CRECIENTE DEL 12-13 SET-1964 RIO GUACARA EN PTE. AUTOPISTA



AREA DRENADA = 90.6 KM²
N = 23 HRS.
T_b = 27 HRS.
T_p = 4 HRS.

LLUVIA MEDIA SOBRE EL AREA
TOTAL = 55.2 mm.
EFECTIVA = 9.6 mm.
PERDIDA TOTAL = 82.6%
INDICE DE INFILTRACION ϕ = 15.1 mm./Hr.

SUMA : 315.3 74.0 100.0
DIFER. : 241.3
VOLUMEN SURF. : 86.8680 m³
LAMINA SURF. : 9.6 mm.

7.2 Hytograma de la Tormenta Generadora.

Para cada una de las crecientes analizadas los hytogramas de las tormentas generadoras fueron deducidos. A manera de ilustración en la FIGURA VEINTINUEVE (29) se muestra el hytograma de la tormenta del 12 y 13 de Septiembre de 1964, sobre la sub-cuenca del río Aragua en El Recreo.

La elaboración de estos hytogramas se hizo por los procedimientos usuales (12), a saber:

- (a) Elaboración de las curvas de masa de lluvia para las estaciones dentro y fuera de la sub-cuenca. Para estas el período unitario de tiempo se escogió igual al utilizado en la determinación del escurrimiento superficial (25% del tiempo al pico).
- (b) Se calculó el factor de peso de cada estación por medio de sus áreas de influencias dadas por los polígonos de thiessen.
- (c) Se determinó la curva de masa fracción para cada estación, aplicándole el factor de peso correspondiente y de ellas por suma se obtuvo la curva de masa pesada - promedio para toda la sub-cuenca.
- (d) Se ajustó la curva anterior por medio de la precipitación media obtenida del mapa isoyético del período efectivo de la tormenta generadora.
- (e) Por diferencias sucesivas en la curva de masa ajustada, se obtienen los incrementos de lluvia ajustados ó sea el hytograma total de la tormenta.

7.3 Hytograma de Exceso de Lluvia.

Para los propósitos de cálculo el hytograma de lluvia total se dividió en dos partes. Una parte, representa la porción de la lluvia que aparece como escurrimiento en la estación medidora (escurrimiento superficial) y la segunda, representa la lluvia que se pierde por infiltración, evapotranspiración y otras causas. Los procedimientos para separar estas dos partes son muy variados y algunos de ellos extremadamente complicados. El seguido (13) en este informe, con ligeras variantes en algunos casos específicos, fué:

- (a) Si las condiciones antecedentes eran relativamente secas, se consideró como pérdida inicial la lluvia caída antes del comienzo del escurrimiento superficial. Esta suposición es solo aplicada a cuencas pequeñas y las aquí analizadas pueden ser consideradas como tales.
- (b) Para la parte del hytograma total después de comenzado el escurrimiento superficial directo, una línea horizontal fué encontrada por tanteo, tal que la altura de lluvia representada por la porción del diagrama bajo la línea sea exactamente igual a la lámina escurrida. El valor en mm./hr., de esta línea fue referida como un índice de infiltración ϕ . En la FIGURA VEINTE Y NUEVE (29) como ilustración se muestra la separación.

7.4 Duración Unitaria.

La duración resultante para el hytograma de exceso de lluvia (párrafo 7.3), es una primera aproximación de la duración

del exceso de lluvia (duración unitaria) debido a que existe gran incertidumbre en la estimación de las pérdidas. Por lo tanto fué necesario compararla con la duración que indicara el método de la curva-S; en los casos en que la discrepancia fué notable, se adoptó la de la curva-S y se reinició el cálculo del hystograma de exceso de lluvia (párrafo 7.3) introduciendo los cambios necesarios por un proceso de tanteo.

"El método de la curva-S es aplicable puesto que la duración del exceso de lluvia es por definición la duración del hidrograma unitario que se deduzca para la creciente".

7.5 Gráficos de Distribución.

Por definición el gráfico de distribución es un hidrograma unitario cuyas ordenadas se expresan en porcentaje del escurrimiento unitario, es decir, que es un hidrograma unitario convenientemente expresado en valores promedios de gastos sobre iguales períodos de tiempo. Si tales valores promedios se expresan en porcentaje del volumen total escurrido del hidrograma unitario, el gráfico resultante es llamado gráfico de distribución. Luego, como el volumen total escurrido del hidrograma unitario es igual a un milímetro sobre el área, tales porcentajes también serán numéricamente igual a 1 mm. de escurrimiento.

El gráfico de distribución usado en este informe, consiste en un diagrama de barras, en el cual cada barra representa el porcentaje de escurrimiento unitario que resulta durante un período de tiempo dado (período unitario). Este fué derivado para cada una de las crecientes analizadas, me-

diante la reproducción del hidrograma observado por el método de tanteo. En las FIGURAS VEINTINUEVE (29) y TREINTA (30) - CoIm. (7), se muestra en forma de tabla los gráficos de distribución derivados para las crecientes del 12/13 de Septiembre de 1964 del río Guacara en Pte. Autopista y la del 30/31 de Agosto de 1956 del río Aragua en El Recreo, respectivamente.

7.6 Obtención de los Gráficos de Distribución.

(a) Se seleccionó como período unitario la duración del incremento de lluvia efectiva, es decir, el intervalo de tiempo usado en la construcción del bloque del hidrograma, con el objeto de obtener todos los gráficos de distribución para una duración igual a un cierto porcentaje del tiempo al pico (Aprox. 25%).

(b) Se tomó como punto de partida para el tanteo las ordenadas del hidrograma de escurrimiento superficial directo, promediadas en sucesivos períodos unitarios (obtenido en (a)). A manera de ilustración ver Colm (6) FIGURA TREINTA (30).

(c) Se reprodujo este hidrograma de ordenadas promediadas, (b), de tal manera que la duración del gráfico de distribución que le da origen, sea igual a la del incremento del exceso de lluvia por un procedimiento inverso al utilizado en la determinación del hidrograma de escurrimiento superficial directo, conocido el hidrograma unitario y la lluvia en cada período unitario de tiempo. Basando ésto en la suposición -

de linealidad entre lluvia y escurrimiento (14).

Denotando la altura de lluvia representada en cada bloque del hytograma por $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$, donde n es el número de bloques del hytograma, también las ordenadas del hidrograma unitario en los tiempos T_1, T_2, T_3, \dots , por q_1, q_2, q_3, \dots , y las ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo en el mismo tiempo por Q_1, Q_2, Q_3, \dots , la relación entre la n -ésima ordenada del hidrograma de escurrimiento directo, Q_n , y la ordenada del hidrograma unitario es dada por:

$$Q_n = \sum_{i=1}^k P(i) q_{(n-i+1)} \quad (7-1)$$

donde, i , es la variable de la sumatoria, y k , es tomado siempre como el menor valor entre n y N .

(d) Nos queda por determinar las ordenadas del gráfico de distribución, para lo cual utilizaremos la Ec. (7-1), escrita concernientemente de esta manera:

$$Q_n = P_1 q_n + \sum_{i=2}^k P(i) q_{(n-i+1)}$$

despejando:

$$q_n = \frac{Q_n - \sum_{i=2}^k P(i) q_{(n-i+1)}}{P_1} \quad (7-2)$$

donde: $k = n$ si $n < N$; y

$K = N$ si $n > N$

siendo: N , el número de bloques del hytograma, y n , la n -ésima ordenada del hidrograma unitario y del hidrograma de escurrimiento directo.

En la ec. (7-2), que da una ordenada cualquiera del hidrograma unitario, es oportuno aclarar que cuando el límite superior de la sumatoria es menor que el límite inferior, la expresión después del signo menos se hace cero.

Por la definición de gráfico de distribución dada en el párrafo 7.5, la ec. (7-2), puede ser utilizada para deducir las ordenadas del gráfico de distribución, considerando como Q_n , el n-ésimo valor promedio del escurrimiento superficial directo y q_n , la n-ésima ordenada del gráfico de distribución, e introduciendo un factor apropiado de conversión de unidades de tal manera que exprese al nuevo q_n , como una fracción del volumen total escurrido del hidrograma unitario, que multiplicado por 100 nos dé, q_n , en porcentaje del escurrimiento unitario. Analizando la ec. (7-2), se observa que la introducción más sencilla del factor se logra en la precipitación, es decir, llevando ésta a $m^3/seg.$, para lo cual basta con multiplicar la altura de lluvia correspondiente a cada bloque del hidrograma por: $AREA [Km^2] \div 3.6 t [hrs]$, siendo, t , el período unitario (duración de cada bloque del hidrograma).

(e) Debido a lo tedioso del cálculo, el procedimiento ante expuesto fué llevado a un programa en lenguaje FORTRAN IV para computador digital (IBM-360-40).

En el apéndice A, se da el programa utilizado y como ilustración de los resultados, en la FIGURA TREINTA (30) se muestra el listado del cálculo del gráfico de distribución de la crec - ciente del 30/21 - Ago - 1956 del río Aragua en El Recreo.

(f) El procedimiento anterior tiene la ventaja de servir de chequeo en la estimación del hidrograma de exceso de lluvia, ya que errores sustanciales en la altura de lluvia de cada bloque o en la duración del exceso de lluvia, introducen soluciones extrañas para el gráfico de distribución obtenido. En tales casos fué necesario reiniciar los cálculos haciendo los cambios necesarios hasta obtener la solución que aparentemente mejor se adapte a la realidad del fenómeno. En la FIGURA VEINTE Y NUEVE, se muestra el hidrograma reproducido de la creciente del 12/13 - Set - 1964 del río Guacara en Pte. Autopista por medio del gráfico de distribución deducido.

7.7 Hidrograma sumatorio.

El hidrograma sumatorio para un punto de concentración del escurrimiento de cualquier área drenada, es el hidrograma de escurrimiento que resultaría de la generación continua de lluvias efectivas unitarias sobre el área, es decir, es una curva que muestra la distribución de los gastos en función del tiempo, que resultaría de esa serie continua de lluvias unitarias efectivas. Las ordenadas del hidrograma sumatorio se expresan en porcentaje del gasto límite de escurrimiento, es decir, del escurrimiento máximo que produzca esa serie indefinida de lluvias unitarias efectivas y las abscisas en períodos unitarios de tiempo.

7.8 Obtención de los Hidrogramas Sumatorios.

Los hidrogramas sumatorios se obtienen sumando una serie continua de gráficos de distribución idénticos, fuera de fase,

en un período unitario. El tiempo requerido para alcanzar el gasto límite (escurrimiento máximo) es igual a la longitud de la base del gráfico de distribución analizado, menos un período unitario.

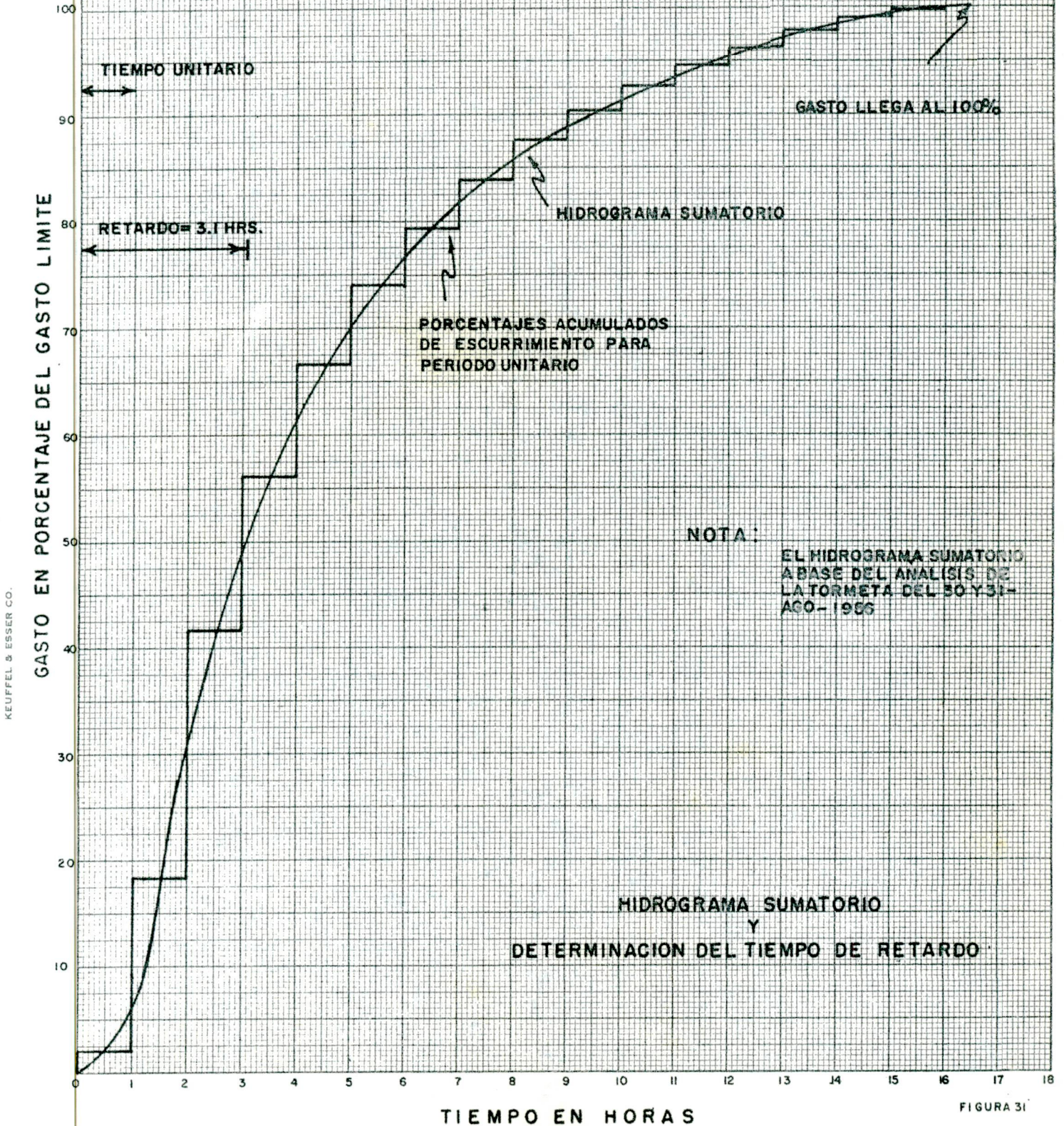
El hidrograma sumatorio para cada una de las crecientes analizadas fué deducido, acumulando los porcentajes de escurrimiento del gráfico de distribución en sucesivos períodos unitarios de tiempo (ver FIGURA TREINTA (30) - Colm. 8). Estos porcentajes acumulados se plotearon en papel cuadriculado, resultando un diagrama de barra acumulado en cada período unitario (gráfico acumulativo) y una curva fué trazada de tal manera que, el porcentaje de escurrimiento límite por debajo de ella en cada período unitario sea igual al porcentaje promedio en el mismo período. Esta curva resultante es la denominada hidrograma sumatorio. A manera de ejemplo, se dá en la FIGURA TREINTA Y UNO (31) el hidrograma sumatorio de la crecien- te ocurrida el 30 y 31 - Ago. - 1956 en el río Aragua en El Recreo.

7.9 Determinación del Retardo para Areas en las cuales la Distribución del Escurrimiento, en Función del Tiempo es Conocida.

El "retardo" es una expresión empírica de las características físicas de una cuenca en función del tiempo. Es definido (15), como "la diferencia en tiempo entre el centro de gravedad de la lluvia y el centro de gravedad del escurrimien- to."

De la definición anterior y de la correspondiente a hi- drograma sumatorio, el "retardo" puede ser definido (11) como

RIO ARAGUA EN EL RECREO



"el tiempo transcurrido (en horas) desde que empieza la lluvia unitaria efectiva hasta el momento en que el hidrograma sumatorio, para el punto de concentración de esta área, alcanza el 50% del-gasto límite".

Basándonos en esta definición, hemos determinado el "retar-do" para cada una de las sub-cuencas por medio de las crecientes analizadas utilizando sus respectivos hidrogramas sumatorios dedu-cidos según párrafo (7.7). En la FIGURA TREINTA Y UNO (31), se muestra la determinación del "retardo" para el río Aragua en El Recreo por medio de la creciente del 30 y 31 de Ago. de 1956.

7.10 Relación de Retardo para Diferentes Areas Drenadas.

Con el objeto de estimar el "retardo" en aquellas áreas don-de la distribución del escurrimiento en función del tiempo es des-conocida, se correlacionaron los "retardos" de las sub-cuencas es-tudiadas con ciertas características físicas de forma y topogra-fía de las mismas.

La relación que ha podido dar la mejor estimación del "re-tardo" (12) es de la forma:

$$\text{Retardo} = C \left(\frac{LL_c}{S^{1/2}} \right)^n \quad (7-3)$$

donde, C , es un coeficiente característico de las áreas que se correlacionan, n es una constante y para la definición de los otros parámetros ver párrafo (5.1).

"Si se trazan los valores del retardo en función de $LL_c/S^{1/2}$, en papel logarítmico, (FIGURA TREINTA Y DOS (32)), el diagrama re-sultante definirá una línea recta, siempre que los valores se to-

men de cuencas de características hidrológicas similares, es decir, que $C = \text{constante}$ " (16).

Este análisis fué realizado para las sub-cuencas de la hoya del Lago de Valencia, (tabla 6-1), a las cuales le fué posible la determinación de la distribución del escurrimiento en función del tiempo. Los "retardos" adoptados para cada una de las sub-cuencas fueron el promedio resultante de los obtenidos por medio de cada creciente analizada en ellas. En la FIGURA TREINTA Y DOS (32), se lista las sub-cuencas utilizadas y su respectivo "retardo", ésta, no se incluye la sub-cuenca del río Las Minas, debido a que tuvo que ser dejada de lado en el análisis final del retardo por presentar diferencias apreciables entre el uno y el otro deducido de diferentes crecientes.

Con los valores antes mencionados y el factor $LL_c/s^{1/2}$ de cada sub-cuenca, se hizo el análisis de correlación por el método de mínimos cuadrados (17), buscando una relación de regresión del tipo de la ec. (7-3).

El análisis estadístico dió como resultado un coeficiente de correlación de 0.87 y un error standard ajustado de estimación para la ecuación de regresión de 1.1 horas. En la FIGURA TREINTA Y DOS (32) se dá la ecuación de regresión deducida y la representación gráfica de la misma. Así mismo, en ella se plotearon los parámetros correlacionados, notándose, visualmente su alineación en una recta dándonos indicio de que las sub-cuencas utilizadas son aproximadamente de características hidrológicas similares.

Es deseable deducir una relación para cada tipo de área, es decir, una de tipo montañoso y otra de tipo valle. Esto no

CURVA DE RETARDO

SUB-CUENCAS LAGO DE VALENCIA

HOYA LAGO DE VALENCIA

	AREA (KM ²)	L (KM)	Lc (KM)	S (MTS/KM)	LLc/S ^{1/2}	RETARDO (HRS)
1	CABRIALES EN EL TRIGAL	123.1	19.5	11.1	11.2	5.4
2	CABRIALES EN LOS SAMANES	31.6	24.0	14.5	9.1	4.85
3	GUACARA EN PTE. AUTOFISTA	90.6	19.5	12.3	11.8	4.0
4	GUAYOS EN PTE. LOS GUAYOS	88.4	21.7	11.3	21.2	3.4
5	LIMON EN ESTAC. FORESTAL	22.1	8.8	5.0	77.1	2.25
6	TURMERO EN TURMERO	176.9	19.4	10.0	40.2	3.25
7	TOCORON EN PARCELA CHAVERO	71.7	16.0	11.6	11.8	3.8
8	ARAGUA EN EL RECREO	185.5	21.9	16.0	27.4	3.5

RETARDO EN HORAS

CURVA DE RETARDO

$$\text{RETARDO} = 1.49 \left(\frac{LLc}{S^{1/2}} \right)^{0.238}$$

- L = LONGITUD EN KILOMETROS DEL CURSO DE AGUA MAS LARGO
- Lc = LONGITUD EN KILOMETROS DEL CURSO DE AGUA MAS LARGO, MEDIDA AGUA ARRIBA HASTA UN PUNTO ORTOGONAL AL CENTROIDE DE LA CUENCA
- S = PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL EN METROS POR KILOMETROS

RETARDO = TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE EL PRINCIPIO DE LA LLUVIA UNITARIA HASTA EL INSTANTE EN QUE EL GASTO DEL HIDROGRAMA SUMATORIO ALCANZA EL 50% DEL GASTO LIMITE

$$\frac{LLc}{S^{1/2}}$$

FIGURA 32

fué posible debido a que la información de escurrimiento corresponde a puntos de concentración que miden escurrimientos provenientes de diferentes tipos de áreas, por lo tanto se cree que la relación aquí obtenida proporciona valores promedio entre los diferentes tipos y puede ser utilizada para estimar el retardo en áreas similares a las aquí utilizadas.

7.11 Gráficos - S.

Los gráficos - S, son hidrogramas sumatorios en que la abscisa (tiempo) se expresa en porcentaje de "retardo", es decir, que es el mismo hidrograma sumatorio con el factor retardo introducido. Esta modificación hace que los hidrogramas sumatorios para varias cuencas esten sobre una base de comparación que refleja la forma de los hidrogramas unitarios. "Esto es verdad, de cualquier modo solamente si la duración unitaria de la lluvia es escogida como un cierto porcentaje del tiempo de retardo, aproximadamente el 25 por ciento, ya que la experiencia ha demostrado que con esta selección de la duración unitaria, el hidrograma reflejará adecuadamente las variaciones de la intensidad de la lluvia" (12).

Por esta razón, los períodos unitarios para el análisis de las crecientes estudiadas, (párrafo 7-1) se escogió como un 25 por ciento del tiempo al pico, pensando que en la práctica esto no introduce errores apreciables al no utilizar el verdadero tiempo de retardo.

Para cada una de las crecientes analizadas se determinó su "curva-S", por medio, indiferentemente, de su gráfico de distribución acumulado ó de su hidrograma sumatorio; expresando el

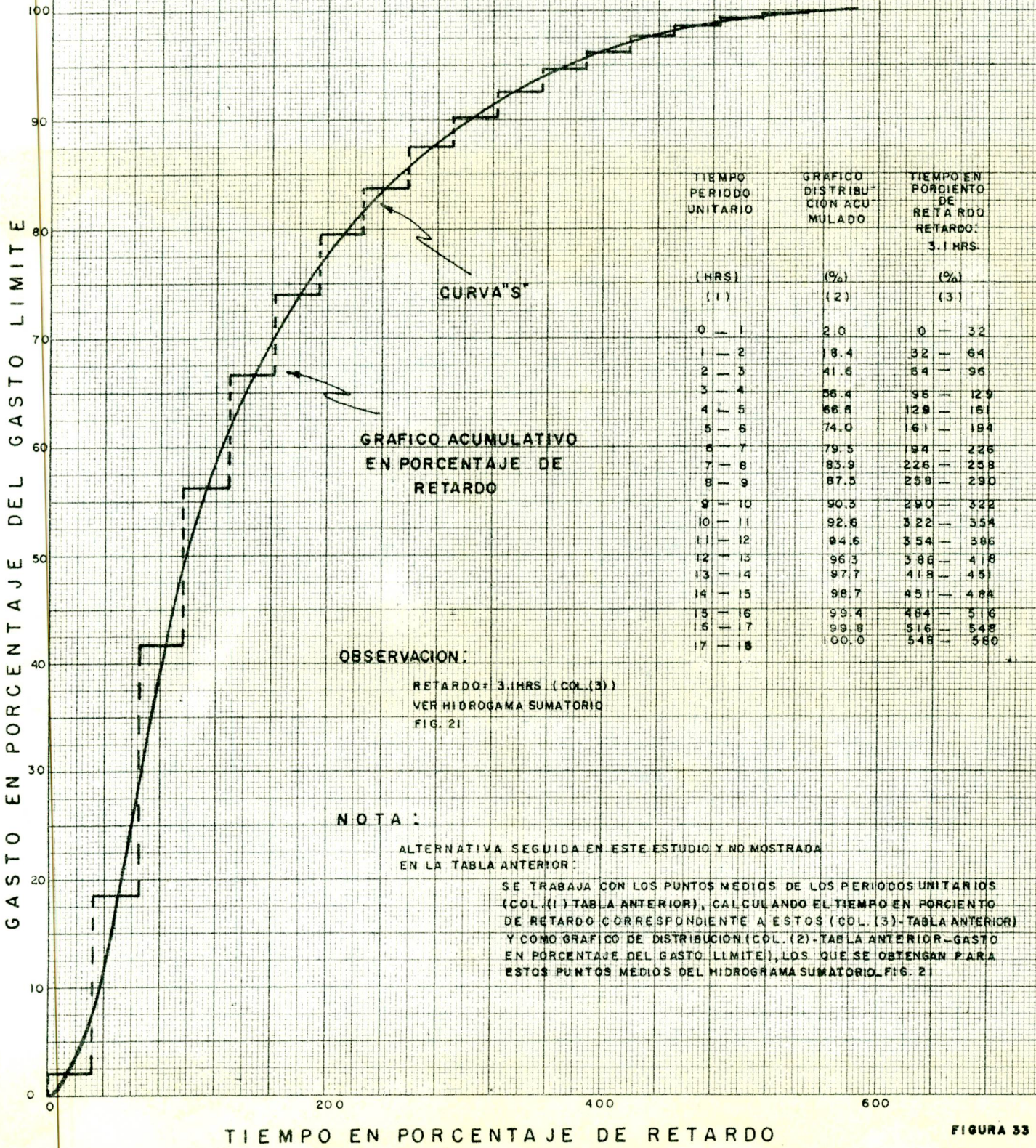
tiempo en sucesivos períodos unitarios en porcentaje de su respectivo retardo. Cuando el cálculo se hace con el gráfico de distribución acumulado, se obtiene un diagrama de barra acumulada, que se denomina "gráfico acumulativo en porcentaje de retardo", figura treinta y tres (33), y el "gráfico-S" se obtendrá trazando una curva de tal manera que el porcentaje de escurrimiento límite por debajo de ella en cada período unitario en porcentaje de retardo, sea igual al porcentaje promedio en el mismo período (Ver figura treinta y tres (33)).

En caso de que se utilice el hidrograma sumatorio (cuya función es solamente la determinación del retardo), el cálculo es directo, porque basta con seleccionar una serie de puntos sobre la curva que representa el hidrograma sumatorio (Ejm. Figura treinta y uno (31)), y calcular el porcentaje de tiempo que le corresponde a cada uno de ellos con respecto a su retardo, ploteándolos luego, en papel cuadrulado contra sus respectivos gastos en porcentaje del gasto límite, se traza la línea que definan, tomando en cuenta que debe pasar por el 50 por ciento del gasto límite y el ciento por ciento del retardo. Como ilustración del proceso, se muestra en la Figura treinta y tres (33) la determinación de la "curva-S", del río Aragua en El Recreo por medio de la creciente del 30/31 -ago- 1956.

La utilidad del "gráfico-S" es que permite comparar las características del escurrimiento de varias áreas de drenaje ó de varios patrones de lluvia para una misma área, por medio de la propiedad de alcanzar el 50 por ciento del gasto límite, al ciento por ciento del retardo. Esta propiedad se confirma con

DETERMINACION DE INTERVALO DE RETARDO Y CURVA "S"

CRECIENTE DEL 30/31- AGO. 1956
RIO ARAGUA EN EL RECREO
HOYA LAGO DE VALENCIA



TIEMPO PERIODO UNITARIO (HRS)	GRAFICO DISTRIBUCION ACUMULADO (%)	TIEMPO EN PORCIENTO DE RETARDO (%)
(1)	(2)	(3)
0 - 1	2.0	0 - 32
1 - 2	18.4	32 - 64
2 - 3	41.6	64 - 96
3 - 4	56.4	96 - 129
4 - 5	66.6	129 - 161
5 - 6	74.0	161 - 194
6 - 7	79.5	194 - 226
7 - 8	83.9	226 - 258
8 - 9	87.5	258 - 290
9 - 10	90.3	290 - 322
10 - 11	92.6	322 - 354
11 - 12	94.6	354 - 386
12 - 13	96.3	386 - 418
13 - 14	97.7	418 - 451
14 - 15	98.7	451 - 484
15 - 16	99.4	484 - 516
16 - 17	99.8	516 - 548
17 - 18	100.0	548 - 580

OBSERVACION:

RETARDO: 3.1HRS (COL.(3))
VER HIDROGRAMA SUMATORIO
FIG. 21

NOTA:

ALTERNATIVA SEGUIDA EN ESTE ESTUDIO Y NO MOSTRADA EN LA TABLA ANTERIOR:

SE TRABAJA CON LOS PUNTOS MEDIOS DE LOS PERIODOS UNITARIOS (COL.(1) TABLA ANTERIOR), CALCULANDO EL TIEMPO EN PORCIENTO DE RETARDO CORRESPONDIENTE A ESTOS (COL.(3)-TABLA ANTERIOR) Y COMO GRAFICO DE DISTRIBUCION (COL.(2)-TABLA ANTERIOR-GASTO EN PORCENTAJE DEL GASTO LIMITE), LOS QUE SE OBTIENEN PARA ESTOS PUNTOS MEDIOS DEL HIDROGRAMA SUMATORIO, FIG. 21

MADE IN U.S.A.
 KEUFFEL & ESSER CO.
 11 1/2" x 15 1/2" x 2 1/2"

la definición de "retardo" aquí utilizada (párrafo 5-8).

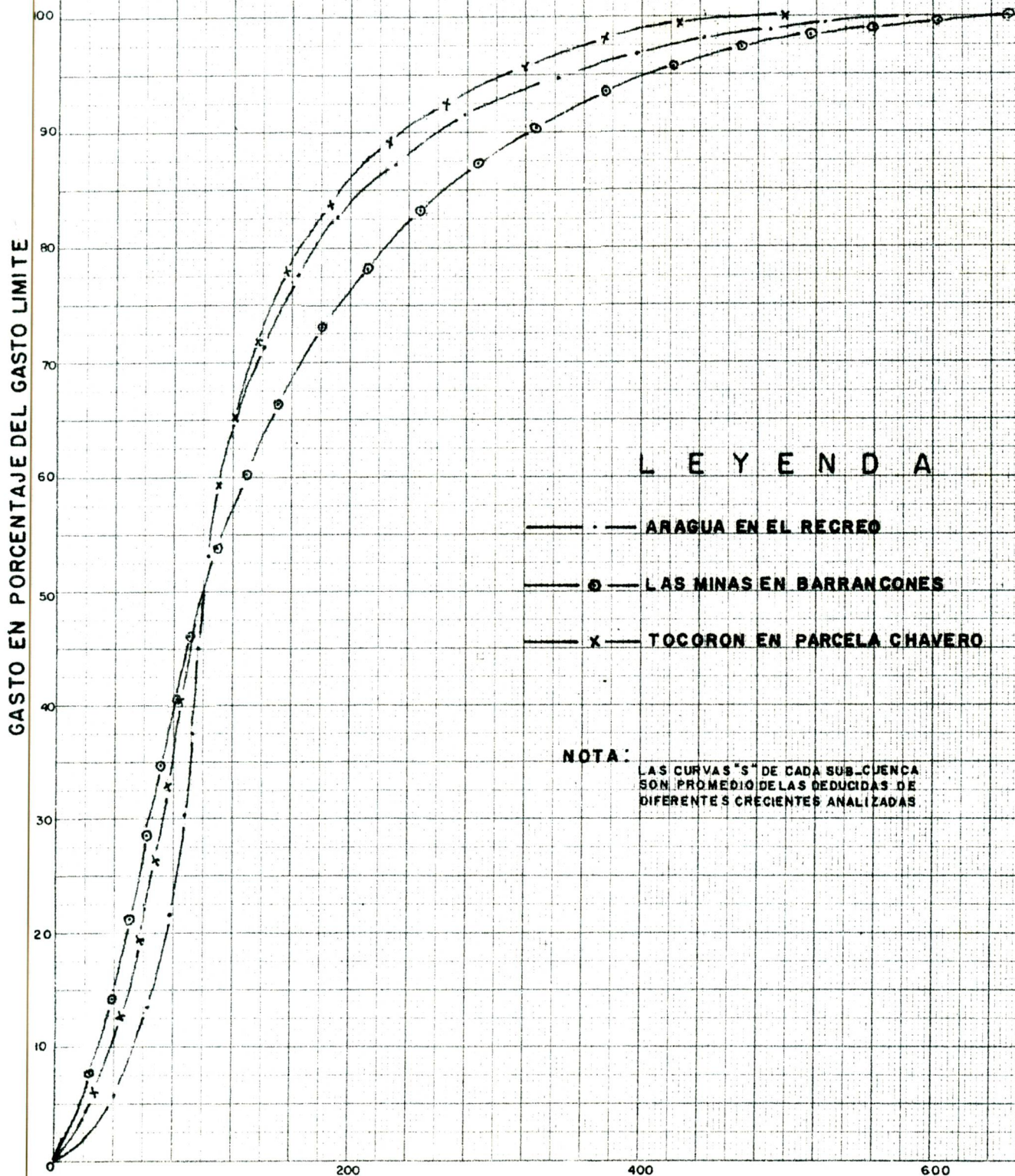
Por lo anterior, se dedujo para cada sub-cuenca el gráfico gráfi-co-S ó curva-S , característico; por medio del promedio de los resultados de diferentes patrones de lluvia. En las figuras treinta y cuatro (34) a treinta y seis (36) se muestran los gráficos correspondientes a cada una de las sub-cuencas bajo estudio. Observando estas curvas, se puede notar que en conjunto siguen una relación bastante similar, especialmente en el sector antes del ciento por ciento del retardo, en que ésta es hasta coincidente en la mayoría de ellas. Esto nos indujo a pensar, que las características del escurrimiento para diferentes áreas de drenaje aproximadamente similares a las aquí estudiadas podía ser deducida, dentro de los límites prácticos, por intermedio de una curva-S, promedio. En la figura treinta y siete (37) se da la curva-S promedio, a ser utilizada en la estimación de la distribución del escurrimiento en función del tiempo para sub-áreas de la hoya del Lago de Valencia.

7.12 Obtención del Gráfico de Distribución Sintético para Areas, en las cuales la Característica del Escurrimiento es Desconocida.

Revisando los pasos realizados en la deducción del gráfico-S, se nota que por un proceso inverso con ligeras variantes, se puede deducir el gráfico de distribución sintético, para aquella área carente de información hidrológica, a saber:

- (1) Para el área de interés, se determinan los valores de L , L_c y S , de un plano topográfico a escala adecuada.

CURVAS "S"
SUB-CUENCAS LAGO DE VALENCIA
HOYA - LAGO DE VALENCIA



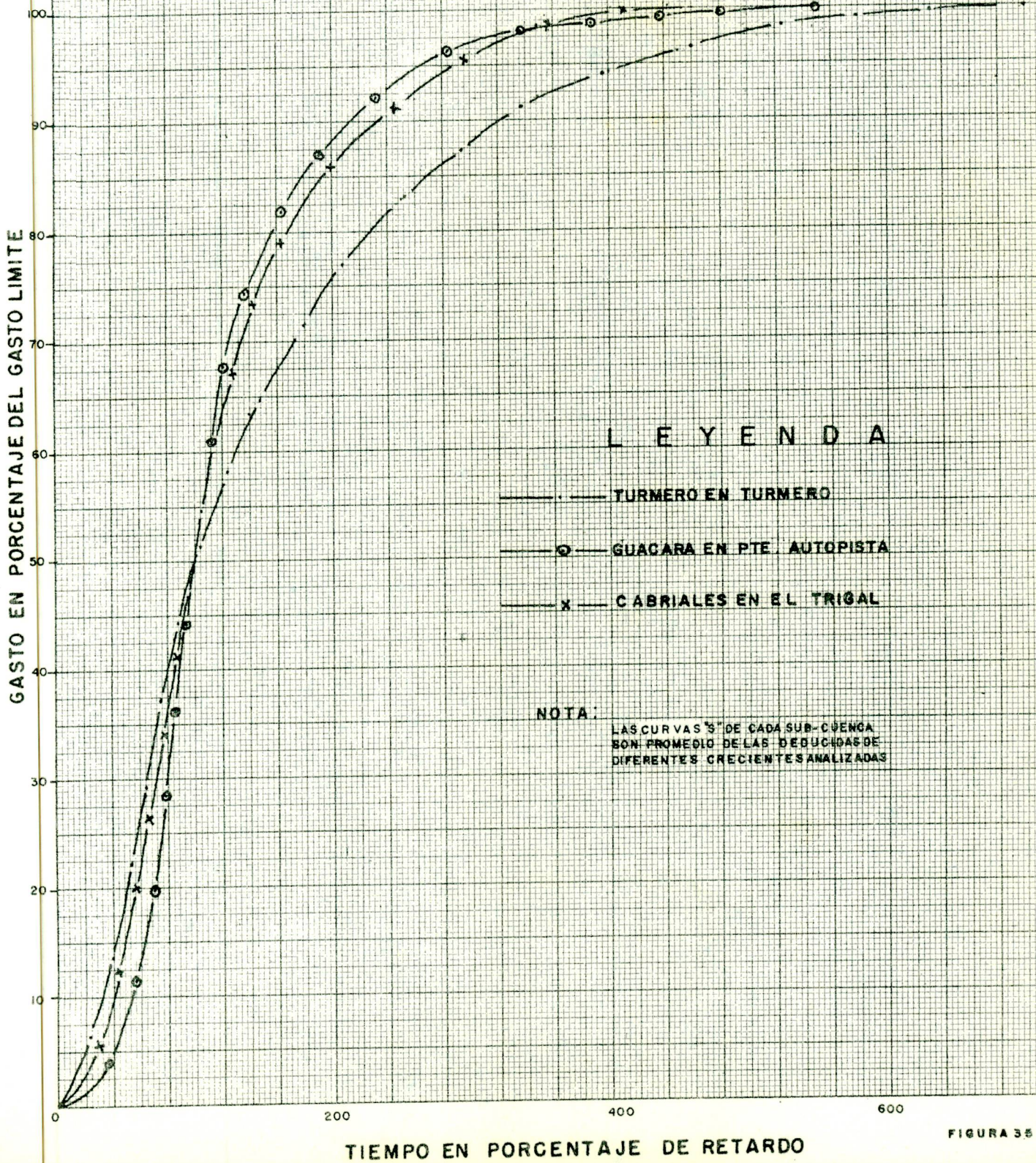
L E Y E N D A

- · — ARAGUA EN EL RECREO
- ○ — LAS MINAS EN BARRANCONES
- x — TOCORON EN PARCELA CHAVERO

NOTA:
 LAS CURVAS "S" DE CADA SUB-CUENCA SON PROMEDIO DE LAS DEDUCIDAS DE DIFERENTES CRECIENTES ANALIZADAS

TIEMPO EN PORCENTAJE DE RETARDO

CURVAS "S"
 SUB-CUENCAS LAGO DE VALENCIA
 HOYA LAGO DE VALENCIA

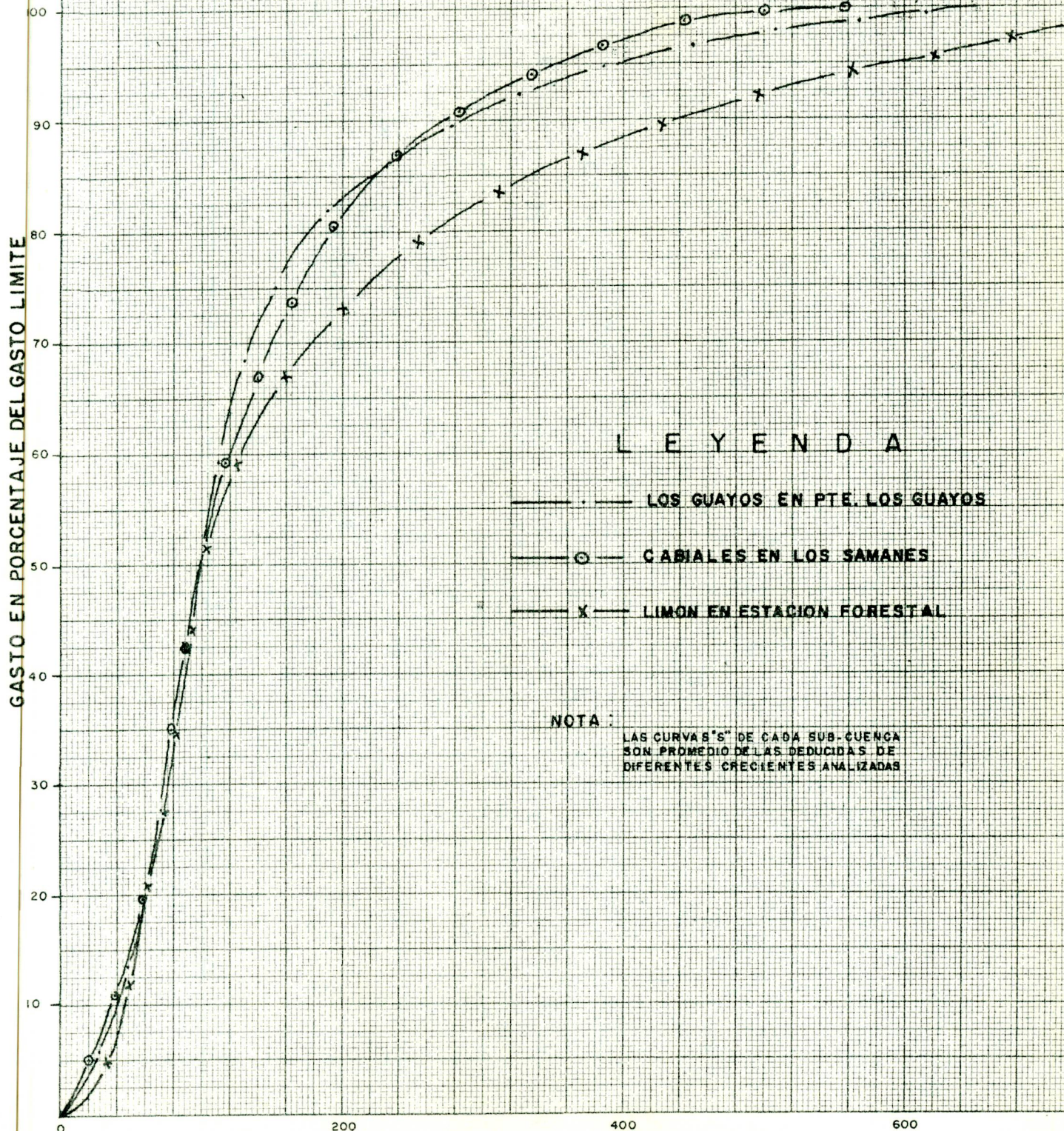


L E Y E N D A

- · — · — · TURMERO EN TURMERO
- ○ — GUACARA EN PTE. AUTOPISTA
- x — CABRIALES EN EL TRIGO

NOTA:
 LAS CURVAS "S" DE CADA SUB-CUENCA
 SON PROMEDIO DE LAS DEUCIDAS DE
 DIFERENTES CRECIENTES ANALIZADAS

CURVAS 'S'
SUB-CUENCAS LAGO DE VALENCIA
HOYA LAGO DE VALENCIA



L E Y E N D A

- · — · — LOS GUAYOS EN PTE. LOS GUAYOS
- ○ — CABIALES EN LOS SAMANES
- x — LIMON EN ESTACION FORESTAL

NOTA :
 LAS CURVAS 'S' DE CADA SUB-CUENCA SON PROMEDIO DE LAS DEDUCIDAS DE DIFERENTES CRECIENTES ANALIZADAS

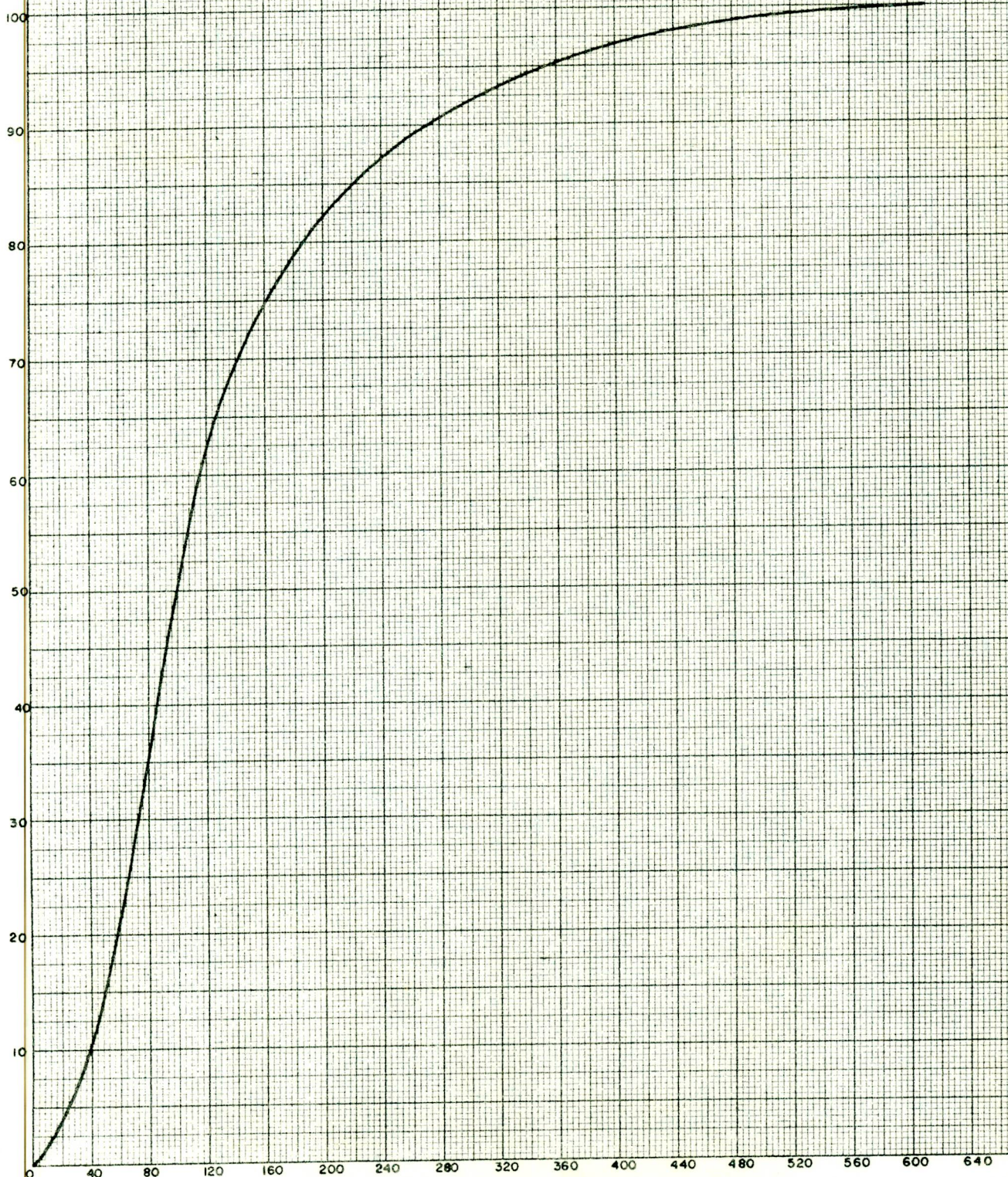
KEUFFEL & ESSER CO.

TIEMPO EN PORCENTAJE DE RETARDO

- (2) Con el valor calculado de $L L_c / S^{1/2}$, se entra a la curva de "retardo" (FIGURA TREINTA Y DOS (32)) y se obtiene el tiempo de retardo para el área de drenaje.
- (3) Se determina un tiempo unitario, t_u , aproximadamente igual al 25% del retardo. Esta duración unitaria, t_u , va a ser la duración del gráfico de distribución sintético y por ende la del hidrograma unitario sintético (12).
- (4) Se expresan los períodos unitarios, t_u , como porcentajes acumulados del retardo.
- (5) Con los porcentajes de retardo, se obtiene un gráfico de barras de porcentaje medio acumulado de gastos límite para cada período, por intermedio del gráfico-S ó curva-S promedio, deducida para las sub-áreas de la hoya del Lago de Valencia.
- (6) Por diferencias sucesivas de los porcentajes medios acumulados se obtienen los porcentajes medios del gráfico de distribución sintético para cada período.
- (7) Se expresan las ordenadas del gráfico de distribución sintético, como escurrimiento en cada período de tiempo, t_u . Para lo cual, basta con multiplicarlas por el factor de conversión: $\frac{\text{AREA [Km}^2\text{]}}{t \text{ [hrs]} \cdot 3.6}$, obteniéndose estas en $\text{m}^3/\text{seg} \times \text{m.m.}$, que son las ordenadas promedios en cada período, t_u , del hidrograma unitario sintético.

CURVA "S" PROMEDIO
SUB-GUENGAS LAGO DE VALENCIA
NOYA LAGO DE VALENCIA

KEUFFEL & ESSER CO.
GASTO EN PORCENTAJE DEL GASTO LIMITE



TIEMPO EN PORCENTAJE DE RETARDO

8. RELACION ENTRE LLUVIA Y ESCURRIMIENTO SUMINISTRADO

Nos referimos a escurrimiento suministrado al fin de la fase, que comienza con la precipitación, incluye la infiltración y otras pérdidas, así como también todos los procesos del overland-flow. Es decir, aquel que no ha entrado como flujo en canales de cualquier tamaño.

8.1 Factores que Afectan la Cantidad de Escurrimiento.

No hay en definitiva una relación disponible para calcular la cantidad de escurrimiento superficial directo resultante de una lluvia dada, (escurrimiento suministrado), debido a que los factores que afectan el volumen total de escurrimiento son numerosos y dificultosos de evaluar. En el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento, la infiltración en el terreno es el factor aislado más importante que afecta el volumen de escurrimiento producido por una lluvia. Algunos de los factores que afectan la rata de infiltración son:

A.- Condiciones climatológicas:

Intensidad de lluvia, duración y distribución; condiciones iniciales de humedad y elevación de la mesa de agua.

B.- Condiciones de cuenca:

Tipos de suelos y permeabilidad; cobertura del terreno y uso de las tierras; y características físicas de la cuenca.

Algunos de los otros factores que afectan el volumen de escurrimiento son el almacenamiento en depresiones, almacenamiento

en reservorios y pérdidas por intercepción, y en menor extensión la evapotranspiración.

8.2 Ratas de Pérdidas.

Fijado lo anterior, se puede ver cuan complicado es la estimación del escurrimiento suministrado para propósitos de diseño, es decir, la precipitación menos las pérdidas causadas por los múltiples factores antes mencionados. Debido a esto y al tiempo disponible, no fué posible desarrollar un estudio detallado del problema, solo le daremos ligera consideración a las pérdidas determinadas del análisis de los hidrogramas para las diferentes sub-cuencas. Estas, no son verdaderas ratas de pérdidas sino que son índices de infiltración, estimados convenientemente de acuerdo a escurrimientos ocurridos en crecientes de períodos de retorno relativamente bajos. Estas razones, nos prohíben de cualquier modo, recomendar pérdidas a ser usadas en la determinación de las crecientes de diseño en las sub-áreas de drenaje de la hoya del Lago de Valencia. Solamente nos limitaremos a mencionar los índices de infiltración obtenidos de los análisis realizados con el fin de mostrarlos como ayuda al buen criterio del ingeniero proyectista, en el discernimiento de las pérdidas a usar en la estimación de la creciente de diseño. Además agregaremos, - que es práctica usual, suponer en el momento de ocurrencia de la tormenta de diseño, que el terreno está saturado y que los almacenamientos por depresión están llenos. Bajo esta suposición, el escurrimiento comienza en el momento en que comienza la lluvia total y el exceso de lluvia, es decir, se supone -

que las pérdidas iniciales han sido satisfechas por la ocurrencia de otras lluvias antecedentes a la de diseño. En la TABLA-8.1 se dan los rangos de índices de infiltración en m.m/hr., obtenidos de los análisis de las crecientes ocurridas en las sub-áreas de la hoya del Lago de Valencia y en la FIGURA TREINTA Y OCHO (38) se numeran las sub-cuencas para su localización.

TABLA 8-1

Índices de infiltración (ϕ) para las sub-cuencas estudiadas de la Hoya del Lago de Valencia.

SUB-CUENCA No.	INDICE--INFILTRACION (ϕ) (m.m/hr.)
1	5-8
2	5-8
3	10-14
4	8-10
5	11-14
6	5-7
7	11-15
8	10-13
9	11-14

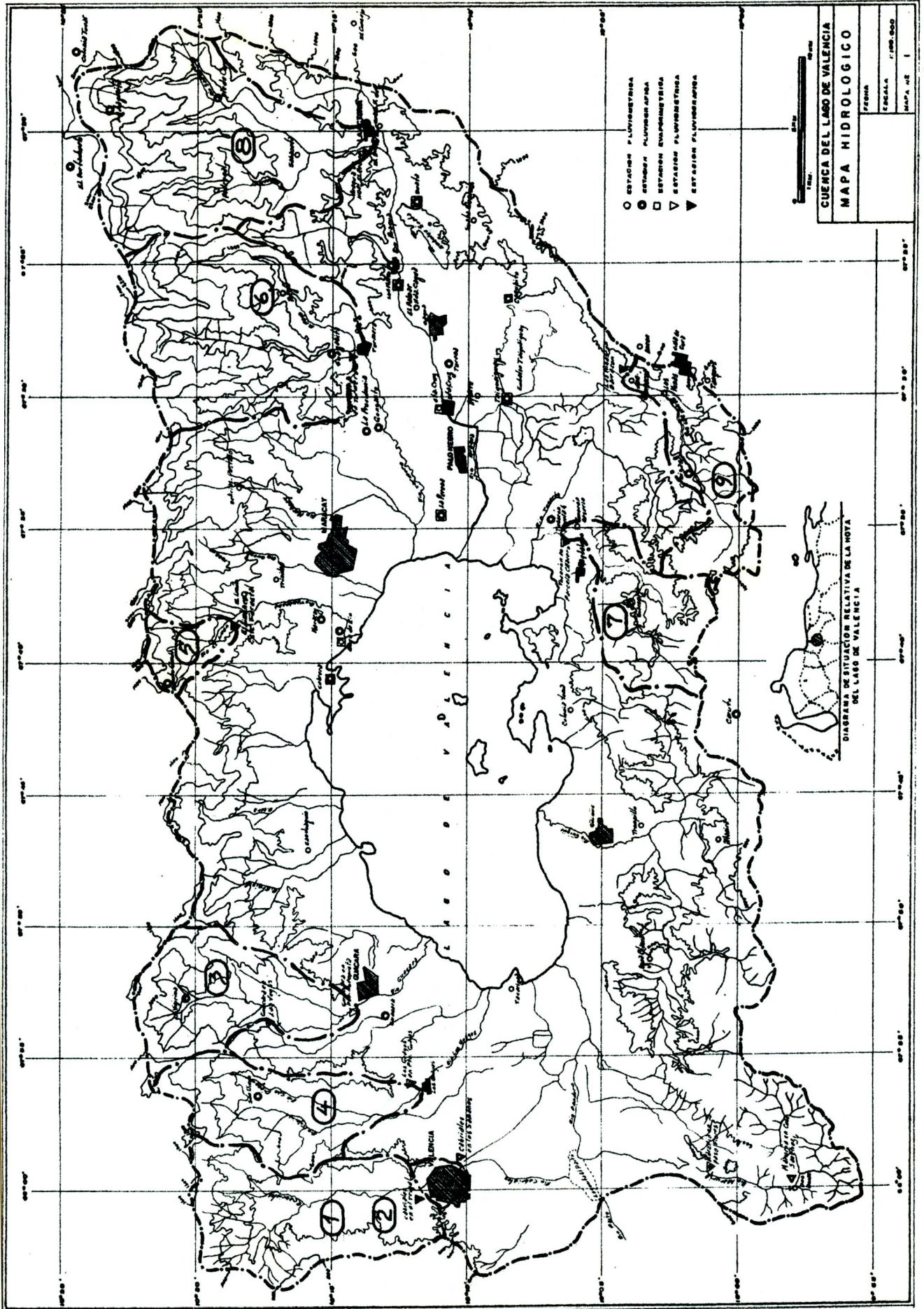


FIGURA 26

9. APLICACION PRACTICA

Con el propósito de ilustrar la aplicación práctica y la forma de usar los resultados alcanzados en este estudio, calcularemos el pico y el hidrograma de la creciente de diseño para un área de drenaje de la Hoya del Lago de Valencia.

9.1 Ejemplo de Diseño.

Para cierto proyecto vial, se desea conocer la creciente de diseño del río Las Minas en el sitio de Barrancones.

Los cálculos a realizar serán los siguientes:

1.- Determinación de las características de la sub-cuenca.

En un mapa topográfico a escala adecuada, se delimita la sub-cuenca y se determina su área (A) en Km², la longitud (L) del curso principal en Km., la longitud (Lc) del curso principal hasta un punto cercano al centroide del área en Km., y la pendiente media (S) del cauce principal en mts/Km.

Los resultados son:

$$A = 63 \text{ Km}^2$$

$$Lc = 10.9 \text{ Km.}$$

$$L = 19 \text{ Km.}$$

$$S = 9.5 \text{ mts/Km.}$$

2.- Cálculo del retardo.

Se calcula el factor $\frac{L \cdot Lc}{S^{1/2}}$, con este valor se entra a la FIG. (32) y se determina el retardo en horas, ya sea por la línea de relación o por la ecuación del retardo.

$$\frac{LLc}{S^{1/2}} = 67 \rightarrow \text{FIG. (32)} \Rightarrow \text{Retardo (R)} = 4 \text{ hrs.}$$

3.- Duración del hidrograma unitario sintético.

Se calcula la duración del hidrograma unitario sintético y por ende la duración unitaria de la lluvia efectiva. - Según párrafo (7.11), la duración del hidrograma unitario sintético será aproximadamente igual al 25% del retardo.

$$\text{Duración H.U.S.} \approx 0.25 R = 0.25 \times 4 = 1 \text{ hora.}$$

$$\text{Duración unitaria de la lluvia} = 1 \text{ hora.}$$

4.- Selección del período unitario.

La selección del período unitario es algo arbitraria, sólo impera en su elección, simplicidad de cálculo y clara definición de la forma del hidrograma. Por estas razones y otras que a lo largo del ejemplo se aclaran, nos permiten recomendar un período unitario igual a la duración del H.U.S., es decir, 25% del retardo.

$$\text{período unitario} = 0.25 R = 1 \text{ hora}$$

5.- Determinación del gráfico de distribución sintético.

Para ello se elabora una tabla, ídem. a la TABLA 9.1, y el cálculo se desarrolla refiriéndonos siempre a ella en la forma siguiente:

- a) En las columnas (1) y (2) se tabulan el número de períodos unitarios y los períodos unitarios, respectivamente.

b) Los períodos unitarios, colm. (2), se expresan como porcentajes acumulados del retardo y los resultados se anotan en la colm. (3).

Note, que seleccionando siempre el período unitario como el 25% del retardo; la colm. (3) y el número de períodos unitarios (27 períodos) serán los mismos sea cual fuere el retardo, solamente variará la duración del tiempo en % del retardo.

c) Con los valores de la colm. (3), calculados según (b), se entra en la FIGURA TREINTA Y SIETE (37), (curva-S, promedio), obteniéndose el porcentaje medio acumulado de gastos límite para cada período y se anotan en la colm. (4). Obsérvese que estos porcentajes de gastos límite son valores promedio en cada período unitario, es decir, en la FIG. (37) vienen representados por la línea horizontal que corta a la curva-S, en cada período, de tal manera que el área por encima y por debajo de ésta sea la misma.

d) Por diferencias sucesivas en la colm. (4), se obtiene el gráfico de distribución sintético, colm. (5). Los valores obtenidos del gráfico de distribución, colm. (5), siempre serán los mismos, sea cual fuere el retardo (otra área de drenaje), siempre y cuando se adopte el criterio dado en (4). Esto simplifica enormemente el uso de esta publicación, ya, que la colm. (5) de la TABLA 9.1, será la misma para cualquier área de drenaje, solamente variará la duración total de ella (tiempo base).

**DETERMINACION DE LA CRECIENTE DE DISEÑO PARA EL RIO LAS MINAS
EN BARRANCONES (EJEMPLO ILUSTRATIVO)**

Nº PERIOD. HORA	TIEMPO PERIODO UNITARIO (HRS)	TIEMPO EN % DEL RETARDO R = 4 HRS. (%)	GRAFICO DISTRIBUC. SINTETICO ACUMULADO (%)	GRAFICO DISTRIBUC. SINTETICO (%)	HIDGR. UNIT. SINTETICO DURC. = 1 HR. (M ³ /SEG. X MM.)	LLUVIA MAX. EN m.m. 7 (M ³ /SEG.)	57 (M ³ /SEG.)	CRECIENTE DISEÑO (M ³ /SEG.)	
1	0 - 1	0 - 25	1.8	1.8	0.32	2.3		2	1
2	1 - 2	25 - 50	9.0	7.2	1.26	8.8	18.3	27	2
3	2 - 3	50 - 75	22.2	13.2	2.31	16.2	71.9	88	3
4	3 - 4	75 - 100	40.5	18.3	3.20	22.4	132.0	154	4
5	4 - 5	100 - 125	57.0	16.5	2.89	20.1	182.5	203	5
6	5 - 6	125 - 150	68.2	11.2	1.96	13.7	164.5	178	6
7	6 - 7	150 - 175	75.6	7.4	1.30	9.1	111.8	121	7
8	7 - 8	175 - 200	80.4	4.8	0.84	5.9	74.0	80	8
9	8 - 9	200 - 225	84.0	3.6	0.63	4.4	47.9	52	9
10	9 - 10	225 - 250	87.0	3.0	0.53	3.7	36.0	40	10
11	10 - 11	250 - 275	89.4	2.4	0.42	2.9	30.2	33	11
12	11 - 12	275 - 300	91.5	2.1	0.37	2.6	23.9	27	12
13	12 - 13	300 - 325	93.0	1.5	0.26	1.8	21.1	23	13
14	13 - 14	325 - 350	94.4	1.4	0.25	1.7	14.8	17	14
15	14 - 15	350 - 375	95.5	1.1	0.18	1.3	14.3	16	15
16	15 - 16	375 - 400	96.4	0.9	0.16	1.1	10.3	11	16
17	16 - 17	400 - 425	97.2	0.8	0.14	1.0	9.1	10	17
18	17 - 18	425 - 450	97.8	0.6	0.11	0.8	8.0	9	18
19	18 - 19	450 - 475	98.2	0.5 *	0.09	0.6	6.3	7	19
20	19 - 20	475 - 500	98.5	0.4 *	0.07	0.5	5.1	6	20
21	20 - 21	500 - 525	99.0	0.4 *	0.07	0.5	4.0	5	21
22	21 - 22	525 - 550	99.2	0.3 *	0.05	0.4	4.0	4	22
23	22 - 23	550 - 575	99.4	0.2	0.04	0.3	2.9	3	23
24	23 - 24	575 - 600	99.5	0.2 *	0.04	0.3	2.3	3	24
25	24 - 25	600 - 625	99.7	0.2	0.04	0.3	2.3	3	25
26	25 - 26	625 - 650	99.8	0.1	0.02	0.1	2.3	2	26
27	26 - 27	650 - 675	100.0	0.1 *	0.02	0.1	1.7	2	27
28							1.7	2	28
29									29
30	* VALORES AJUSTADOS								30
31									31
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	

TABLA 9-1

6.- Determinación del hidrograma unitario sintético.

Según párrafos (7.5 y 7.6), éste puede ser deducido, - expresando las ordenadas del gráfico de distribución - (colm. (5)), como escurrimiento en cada período unitario (t). Para lo cual, basta con multiplicar estas ordenadas por el factor de conversión AREA (Km²) x 0.01/3.6t (hrs), obteniéndose el H.U.S. en m³/seg m.m. Por lo tanto:

$$\text{Escorrimento en t hrs} = \frac{\text{Area (Km}^2\text{)} \cdot 0.01}{3.6 \cdot t \text{ (hrs.)}} \times (\%)$$

t = 1 hr.

A = 63 Km² Escorrimento 1 hr. = $\frac{63 \times 0.01}{3.6 \times 1} \times (\%) = 17.4 \times (\%)$

es decir, colm. (6) = .17.4 x colm. (5).

7.- Determinación de la lluvia de diseño.

Con el área de la sub-cuenca se entra en la FIG. 27 y se obtiene la lluvia de diseño para sucesivas duraciones unitarias de 1 hora, hasta completar la duración total de 3 horas. Los resultados se tabulan de la forma siguiente:

Duración (hrs.)	:	1	2	3
Lluvia acumulada (m.m.)	:	70	90	103
Incrementos de lluvia (m.m.):		70	20	13

Estos incrementos se ordenan según el patrón más probable (párrafo 4.8).

Duración (hrs.)		1	2	3
Incrementos de Lluvia (m.m.)		20	70	13

8.- Rata de pérdida.

Por comparación con las sub-áreas estudiadas, cercanas al área de drenaje problema, es posible determinar un índice de infiltración (ϕ), aplicable a la lluvia total para así deducir el escurrimiento suministrado (párrafo 8).

Con la FIG. 38 para su ubicación y de la TABLA 9-1, se obtiene $\phi = 13$ m.m./hr, substrayendo este índice de infiltración a la lluvia de diseño se obtiene la lluvia efectiva, como sigue:

Duración	(hrs.)	:	1	2	3
Lluvia diseño	(m.m.)	:	20	70	13
Índice-infiltración	(m.m./hr.)	:	13	13	13
Exceso de lluvia	(m.m.)	:	7	57	0

Estos últimos valores, aparecen encabezando las columnas (7) y (8) de la TABLA 9.1 para el cálculo del escurrimiento superficial.

9.- Determinación del hidrograma de escurrimiento superficial.

Aplicando el hidrograma unitario sintético (colm. (6)), a cada período de lluvia y sumándolo (ec. (7-1), párrafo 7.6), se obtiene el hidrograma de escurrimiento superficial (colm. (9)), que, aquí es considerado como escurrimiento total, debido a que el gasto base para el tamaño de estas áreas de drenaje es despreciable y el considerarlo sería un refinamiento innecesario y por demás injustificable. En la TABLA 9-1, colm. (9), se muestra el hidro

grama resultante de la creciente de diseño.

10.- Hidrograma de valores instantaneos.

El hidrograma obtenido para la creciente de diseño en (6), da valores de gastos promedios en cada período unitario y es costumbre expresarlo en valores instantaneos de gasto, para lo cual, se plotea este hidrograma en papel cuadrado y una curva es trazada de tal manera que el escurrimiento por debajo de ella en cada período unitario sea igual al escurrimiento promedio en el mismo período. Esto se muestra en la FIG. 39, donde el pico alcanzado por la creciente de diseño es de $205 \text{ m}^3/\text{seg.}$, a las 5 horas de haber comenzado el exceso de lluvia.

CRECIENTE DE DISEÑO RIO LAS MINAS EN BARRANCONES (EJEMPLO ILUSTRATIVO)

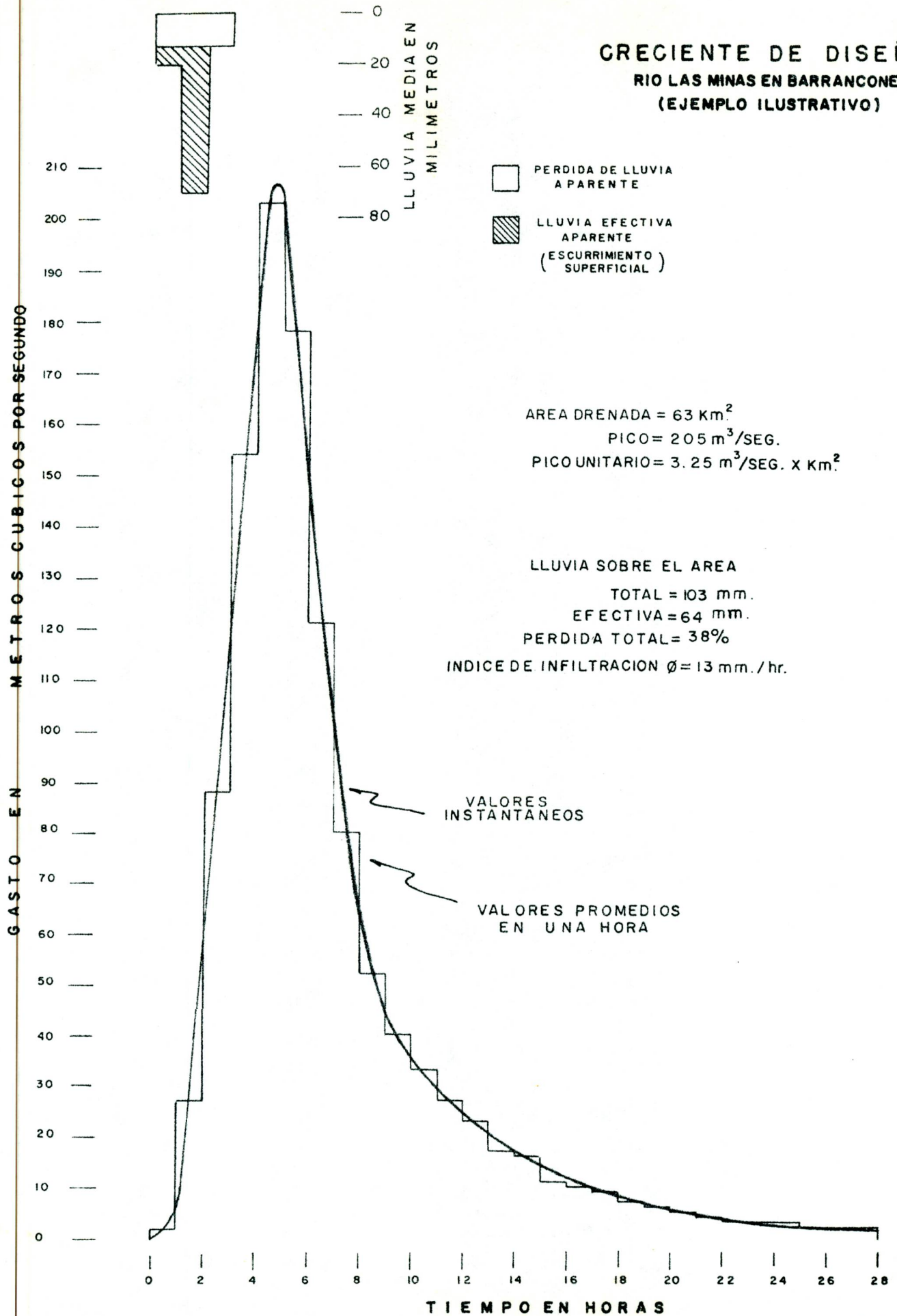


FIGURA 39

C O N C L U S I O N E S

- 1.- Se obtuvo la tormenta de diseño para la hoya del Lago de Valencia, basada en una ocurrencia de 50 años y se expresó en forma de área - altura de lluvia - duración.
- 2.- La tormenta de diseño obtenida se consideró de magnitud moderada para el conjunto de las áreas de drenaje de la hoya del Lago de Valencia. Pudiendo arrojar valores por exceso o defecto en áreas de diferente localidad.
- 3.- El error que se pueda introducir por considerar la tormenta aplicable a diferentes sub-cuencas, viene justificado por el hecho de las condiciones antecedentes de humedad del suelo, ya que una tormenta de cierto período de retorno necesariamente no produce una creciente del mismo período de retorno.
- 4.- Creemos que los resultados que se obtengan son conservativos por el hecho de asumir el suelo saturado al comienzo de la lluvia.
- 5.- Se obtuvo una correlación entre algunas características físicas de las sub-cuencas, (L, Lc y S) y el tiempo de retardo.
- 6.- Se dedujo un gráfico - S promedio, que permite determinar el hidrograma unitario sintético para cualquier área

de drenaje similar a las aquí estudiadas, con tan solo conocer las características físicas correlacionadas - (L, Lc y S).

- 7.- El hidrograma unitario sintético que se deduzca, tendrá una duración igual al 25% del tiempo de retardo.

R E F E R E N C I A S

- (1) Corps of Engineers, U.S. Army, Los Angeles District, -
"Hydrology, San Gabriel River and the Río Hondo a
bove Whittier Narrows Flood-Control Basin with -
addendum on the Hydrologic Effect of Diserting -
Outflow from Whittier Narrows Flood-Control Basin
to Los Angeles River via the Río Hondo", Dic. -
1944; Jul. 1946.
- (2) Instituto Nacional de Obras Sanitarias, "Estudio de
la Cuenca Tributaria del Lago de Valencia.- Hidro
logía, Aguas Subterráneas, Aspectos Sanitarios", -
Mar. 1968.
- (3) Laura Montesino y otros, "Investigación Hidrológica -
del Lago de Valencia".- Tesis de Grado, Universi-
dad Católica Andrés Bello, Jul. 1966.
- (4) U.S. Weather Bureau, in Cooperation with the Bureau -
of Reclamation, "Manual for Depth - Area - Dura -
tion Analysis of Storm Precipitation", Cooperati-
ve Studies Technical Paper No. 1, Set. 1946.
- (5) Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., --
"Applied Hydrology", Chap. 6, Mc Graw Hill Civil-
Engineering Series, 1946.
- (6) Ministerio de Obras Públicas, "Método para Análisis -
de Tormentas", Mar. 1966.

- (7) Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., "Hydrology for Engineers", Chap. 11, Mc Graw-Hill-Civil Engineering Series, 1958.
- (8) Bureau of Reclamation Manual, Vol. IV "Water Studies", Chap. 6.8, U.S. Department of the Interior, 1951.
- (9) Snyder, F.F., "Synthetic Unit Graphs", Trans. Amer. Geophysics Union, Part I, 1938, pp. 447-454.
- (10) Langbein, W.B., "Channel Storage and Unit Hydrograph - Studies", Trans. Amer. Geophysics Union, Part II, 1940, pp. 620-627.
- (11) Wiese, R.S., "Hidrología para la Canalización del Río Guaire", I.N.O.S., Enero 1959.
- (12) Bureau of Reclamation Manual, Vol. IV, "Water Studies", Chap. 6.7, U.S. Department of the Interior, 1951.
- (13) Wu, I.P., Delleur, J.W. and Diskin, M.H., "Determination of Peak Discharge and Design Hydrographs for Small Watersheds in Indiana", Indiana Flood Control and Water Resources Commission and Purdue University, Oct. 1964.
- (14) Nash, J.E., "Systematic Determination of Unit Hydrograph", Journal of Geophysical Research, Vol. 64, No. 2, pp. 241, Feb. 1959.
- (15) Horner, W.W., and Flynt, F.L., "Relation between Rainfall and Runoff from Small Urban Areas in St. Louis and Dallas, Texas", Proc. Amer. Soc. Civ. Engrs. Vol. 60, pp. 1135-1178.

- (16) Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H., "Hydrology for Engineers", Chap. 9, Mc Graw-Hill Civil Engineering Series, 1958.
- (17) Ezekiel and Fox, "Methods of Correlation and Regression Analysis". John Wiley, third Edition, 1959.

APENDICES

C INVESTIGACION SOBRE LA POSIBILIDAD DE OBTENER
 C UNA DISTRIBUCION GRAFICA DE DURACION IGUAL
 C A LA DEL INCREMENTO DE LLUVIA EFECTIVA
 C
 C MN NUMERO DE ESTACIONES
 C MC%M N NUMERO DE CRECIENTE PARA UNA ESTACION
 C C1%I N NOMBRE DE LA ESTACION %MAXIMO 20
 C ET%N N ESCURRIMIENTO INSTANTANEO AL PRINCIPIO DEL PERIODO UNITARIO
 C EB%N N ESCURRIMIENTO BASE AL PRINCIPIO DEL PERIODO UNITARIO
 C EL NUMERO DE ET%N Y EB%N NO DEBE EXCEDER DE 48.
 C ES DECIR 5 TARJETAS DE DATOS QUE DEBEN COMPLETARSE
 C ASI HAYAN MENOS DE 48 DATOS
 C HLL%J N EXCESO DE LLUVIA EN MM. %MAXIMO 10 LLUVIAS
 C HLLT N EXCESO DE LLUVIA TOTAL
 C DT N DURACION DE LA TORMENTA
 C DLTT N DURACION
 C AREA N AREA EN KM**2
 C TL Y T2 N INTERVALO DE TIEMPO DEL PERIODO UNITARIO
 C PET N ESCURRIMIENTO TOTAL PROMEDIO EN EL PERIODO UNITARIO
 C PEB N ESCURRIMIENTO BASE PROMEDIO EN EL PERIODO UNITARIO
 C PFS%N N ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL PROMEDIO EN EL PERIODO UNITARIO
 DIMENSION ET%50,EB%50,HLL%10,DGIT%50,PES%50,HUP%50,SDGIT%50
 *,MC%20,C1%20
 90 FORMAT%I3,7X,17A4
 100 FORMAT%16F5.1
 105 FORMAT%16F5.2
 110 FORMAT%3F5.2
 120 FORMAT%1H ,20X,41H DETERMINACION DE UNA DISTRIBUCION GRAFICA//28X,1
 *8HLLUVIA EFECTIVA, //9X,18H NUMERO DE PERIODOS,12X,16H EXCESO DE L
 *LUVIA,9X,6H AREA N F7.1/13X,F6.2,1X,4H HRS.,21X,4H %MM
 125 FORMAT%//1H ,14X,12,26X,F7.2
 126 FORMAT%1H0,8X,21H TOTAL LLUVIA EFECTIVA,12X,F7.2
 130 FORMAT%//6X,6HTIEMPO,6X,10HESR. TOTAL,3X,9HESR. BASE,4X,10HESR. T
 *OTAL,4X,9HESR. BASE,5X,10HESR. SUPF.,5X,12HDISTRIBUCION,5X,12HDIST
 *RIBUCION/20X,5HINST.,7X,7HINSTED.,6X,8HPROMEDIO,6X,8HPROMEDIO,6X,8
 *HPROMEDIO,8X,7HGRAFICA,10X,7HGRAFICA, /6X,7HPERIODO,5X,10HAL PRINCP
 *.,3X,9HAL PRINCP,7X,2HEN,11X,2HEN,12X,2HEN,28X,9HACUMULADA, /5X,8HU
 *NITARIO,5X,10HDEL PERID.,3X,10HDEL PERID.,3X,10HEL PERIODO,4X,10HE
 *L PERIODO,4X,10HEL PERIODO, /19X,8HUNITARIO,5X,8HUNITARIO,6X,8HUNIT
 *ARIO,5X,8HUNITARIO,6X,8HUNITARIO//6X,5H%HRS,9X,5H%MCS,8X,5H%MCS
 *,8X,5H%MCS,9X,5H%MCS,9X,5H%MCS,8X,12H%ADIMENSION,8X,5H% \$ //
 135 FORMAT%1H ,2X,F5.2,1H-,F5.2,2F12.2,3F14.3,2X,F17.4,4X,F12.2
 140 FORMAT%1H1,13X,6HTIEMPO,12X,10HHIDROGRAMA,10X,10HHIDG.UNIT./32X,8H
 *UNITARIO,11X,11HPROM.DISTR./12X,7HPERIODO,13X,8HPROMEDIO,12X,7HGRA
 *FICA/11X,8HUNITARIO,12X,5HDURCNF5.2,10X,5HDURCNF5.2//13X,5H%HRS,15
 *X,8H%MCS/MM,11X,8H%MCS/MM//
 145 FORMAT%1H ,10X,F5.2,1H-,F5.2,9X,F10.3,6X,F16.3
 DC 15 MN1,20
 READ%1,90 MC%M, %C1%I, IN1,17
 IF %MC%M 18,19,18
 18 WRITE%3,91 MC%M, %C1%I, IN1,17
 91 FORMAT%1H1, @CRECIENTE NUMERO @,13,5X,@FECHA-@,17A4//
 READ%1,100 %ET%N,EB%N, NN1,48
 DC 16 NN1,50

16/10/68

FORTMAIN

```
IF %ET%N 16,2,16
16 CONTINUE
2 INN-1
HLLTNO
READ%1,105 %HLL%J,JN1,16
DC 17 JN1,10
IF%HLL%J 4,17,17
17 HLLT%HLLT+HLL%J
4 KNJ-1
READ%1,110 DT,DLTT,AREA
WRITE%3,120 AREA,DLTT
T2NO
SPESNO
MARCNO
SDGIPNO
WRITE%3,125 %J, HLL%J, JN1,K
WRITE%3,126 HLLT
WRITE%3,130
DC 20 NN1,I
PETN%ET%N+ET%N+1*.5
PEBN%EB%N&EB%N&1*.5
PES%N=NPET-PEB
FACT1=AREA/%DLTT*3.6
T1NT2
T2NT1&DLTT
IF %MARC 5,9,5
9 SADNO
DC 10 JN1,K
IF %N-J 6,6,7
7 IF %K-%J+1 6,8,8
8 NINN-J
10 SADNSAD+HLL%J+1*FACT1*DGIT%N
6 DGIT%N=NPES%N-SAD/%HLL%1*FACT1
SDGIPNSDGIP+DGIT%N
SDGIT%N=NSDGIP*100
IF %SDGIT%N-100 12,11,11
11 MARCN1
5 SDGIT%N=100
12 WRITE%3,135 T1,T2,ET%N,EB%N,PET,PEB,PES%N,DGIT%N,SDGIT%N
SPESNSPES&PES%N
IF %N-%I-1 20,25,25
20 CONTINUE
25 HLLTNSPES*DLTT*3.6/AREA
INN
NDESFDT/DLTT
T2NO
FACT2=AREA*.01/%3.6*DT
WRITE%3,140 DT,DT
DC 30 N N1,I
HUP%N=NPES%N/HLLT
T1NT2
T2NT1&DLTT
IF %N-NDESFD 65,65,66
65 HUDPNSDGIT%N*FACT2
GC TO 30
```

APENDICE - A
(CONTINUACION.1)

16/10/68

FORTMAIN

```
66 KRN-NDEF  
  HUDPN%SDGIT%NE-SDGIT%K%*FACT2  
30 WRITE%3,145% T1,T2,HUP%N%,HUDP  
  WRITE%3,126% HLLT  
15 CONTINUE  
19 STOP  
  END
```

APENDICE - B. LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 Mapa hidrológico, ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrológicas.
- FIGURA 2 Mapa isoyetas medias compensadas.
- FIGURA 3 Curvas de masas y patrones de lluvias de la tormenta del 19/20 - Nov. - 1960.
- FIGURA 4 Mapa isoyético de la tormenta del 19/20 - Nov. - 1960.
- FIGURA 5 Curvas de área - altura de lluvia - duración de la tormenta del 19/20 - Nov. - 1960.
- FIGURA 6 Curvas de masas y patrones de lluvias de la tormenta del 13/14 - May - 1962.
- FIGURA 7 Mapa isoyético de la tormenta del 13/14 - May. - 1962.
- FIGURA 8 Curvas de masas y patrones de lluvias de la tormenta del 21/22 - Jun. - 1963.
- FIGURA 9 Mapa isoyético de la tormenta del 21/22 - Jun. - 1963.
- FIGURA 10 Curvas de área - altura de lluvia - duración de la tormenta del 21/22 - Jun. - 1963.

- FIGURA 11 Curvas de masas y patrones de lluvias de la tormenta del 14/15 - Sept. - 1963.
- FIGURA 12 Mapa isoyético de la tormenta del 14/15 - Sept. - 1963.
- FIGURA 13 Curvas de masas y patrones de lluvias de la tormenta del 19 - Jul. - 1964.
- FIGURA 14 Mapa isoyético de la tormenta del 19 - Jul. - 1964.
- FIGURA 15 Curvas de área - altura de lluvia - duración de la tormenta del 19 - Jul. - 1964.
- FIGURA 16 Curvas de masas y patrones de lluvias de la tormenta del 4 - Oct. - 1964.
- FIGURA 17 Mapa isoyético de la tormenta del 4 - Oct. - 1964.
- FIGURA 18 Curvas de área - % altura máx. - duración.
- FIGURA 19 Curvas de frecuencia de lluvias para la estación La Victoria.
- FIGURA 20 Curvas de frecuencia de lluvias para la estación Valencia.
- FIGURA 21 Curvas de frecuencia de lluvias para la estación Anón.
- FIGURA 22 Curvas de frecuencia de lluvias para la estación Vigirima.

- FIGURA 23 Curvas de frecuencia de lluvias para la estación - Guayabita.
- FIGURA 24 Curvas de frecuencia de lluvias para la estación El Palmar.
- FIGURA 25 Curvas de intensidad de lluvia - duración, período-retorno 50 años; comparación y curva promedio.
- FIGURA 26 Curvas de intensidad de lluvia - duración de las - tormentas registradas y de diseño.
- FIGURA 27 Curvas de área - altura de lluvia - duración de la tormenta de diseño.
- FIGURA 28 Curvas de área - altura de lluvia de las tormentas registradas y de diseño.
- FIGURA 29 Gráfico de distribución y creciente del 12/13 - Sept. - 1964, del río Guacara en Pte. Autopista. -
- FIGURA 30 Determinación del gráfico de distribución para la creciente del 30/31 - Ago. - 1956, del río Aragua en El Recreo.
- FIGURA 31 Hidrograma sumatorio y determinación del tiempo de retardo para el río Aragua en El Recreo por medio de la creciente del 30/31 - Ago. - 1956.
- FIGURA 32 Curva de retardo, sub-cuencas del Lago de Valencia.
- FIGURA 33 Determinación del intervalo de retardo y curva - S, para la creciente del 30/31-Ago.-1956 del río Aragua en el Recreo.

- FIGURA 34 Curvas - S, para los ríos: Aragua en El Recreo, -
Las Minas en Barrancones y Tocorón en Parcela Cha
vero.
- FIGURA 35 Curvas - S para los ríos: Turmero en Turmero, Gua
cara en Pte. Autopista y Cabriales en El Trigal.
- FIGURA 36 Curvas - S para los ríos: Los Guayos en Pte. Los
Guayos, Cabriales en Los Samanes y Limón en Esta-
ción Forestal.
- FIGURA 37 Curva - S promedio, para las sub-áreas de drena -
je de la hoya del Lago de Valencia.
- FIGURA 38 Plano de ubicación por números asignados a las -
sub-cuencas estudiadas.
- FIGURA 39 Creciente de diseño para el río Las Minas en Ba -
rrancones (ejemplo ilustrativo).

APENDICE - C. LISTA DE TABLAS

- TABLA 6-1 Lista de sub-cuencas, áreas, sitios y números asignados.
- TABLA 6-2 Características físicas de las sub-cuencas usadas en el estudio.
- TABLA 8-1 Indices de infiltración para las sub-áreas estudiadas en la hoya del Lago de Valencia.
- TABLA 9-1 Determinación de la creciente de diseño para el río Las Minas en Barrancones. (Ejemplo ilustrativo).

APENDICE - D. LISTA DE SIMBOLOS

- T , período de retorno en años.
- m , rango de evento.
- n , número de años de registro.
- A , área de drenaje en Km².
- L , longitud curso principal en mts.
- Lc , longitud curso principal hasta el punto cercano al centroide en mts.
- S , pendiente media del cauce principal en mts/Km.
- P , altura de lluvia en mm.
- Q , gasto de escurrimiento superficial en m³/seg.
- q , ordenada de hidrograma unitario en m³/seg x mm.
- t , tiempo en hrs.
- Ø , índice de infiltración.
- C , constante.
- R , retardo.