

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

APLICACION DEL METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO
PARA LA PRE-DETERMINACION DE AVENIDAS EN LA
CUENCA DEL RIO LOS ESCLAVOS, HASTA LA ESTACION
"SINACANTAN"

TESIS

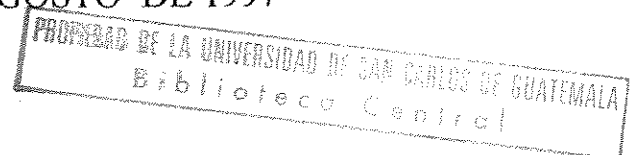
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA, por

EDUARDO ENRIQUE CORZO SOLANO

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 1997




08
7(4103)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por las Leyes y Reglamentos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a vuestra consideración mi trabajo de tesis, titulado:

**APLICACION DEL METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO
PARA LA PRE-DETERMINACION DE AVENIDAS EN LA
CUENCA DEL RIO LOS ESCLAVOS, HASTA LA ESTACION
"SINACANTAN"**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 22 de Noviembre de 1993.


Eduardo Enrique Corzo Solano

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Herbert Renè Miranda Barrios
VOCAL I:	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL II:	Ing. Jack Douglas Ibarra Solòrzano
VOCAL III:	Ing. Juan Adolfo Echeverría Mèndez
VOCAL IV:	Br. Victor Rafael Lobos Aldana
VOCAL V:	Br. Wagner Gustavo Lòpez Càceres
SECRETARIO:	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Hugo Quan Mà
EXAMINADOR:	Ing. Luis Santiago Pineda Del Cid
EXAMINADOR:	Ing. Cesar Augusto Fernàndez Fernàndez
EXAMINADOR:	Dr. Carlos Enrique Muñoz Palacios
SECRETARIO:	Ing. Josè Luis Eduardo Terròn Calderòn

Guatemala, 17 de julio de 1,997

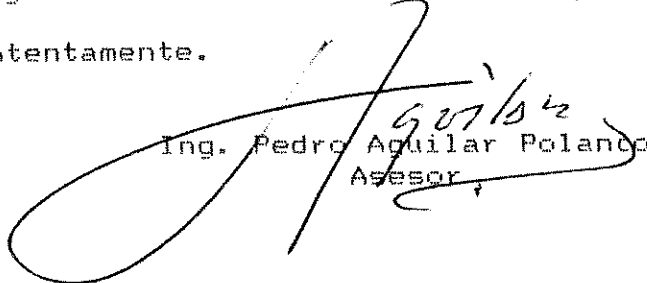
Ingeniero
Marco Tulio Ventura Roldán
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Ingeniero:

Por este medio me es grato informarle que se ha concluido el proceso de asesoría del trabajo de tesis Aplicación del Método del Hidrograma Unitario para la Predeterminación de Avenidas en la Cuenca del Río los Esclavos, Hasta la Estación Sinacantán, desarrollado por el estudiante universitario Eduardo Enrique Corzo Solano; cumpliendo dicho trabajo con los objetivos planteados, por lo que me permito recomendar se continúen los trámites respectivos para su debida aprobación.

Agradeciendo su amable atención, me suscribo de usted.

Atentamente.


Ing. Pedro Aguilar Polanco
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 19 de agosto de 1997

Ingeniero
Jack Douglas Ibarra S.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA CIVIL
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
Su Despacho

Ingeniero Ibarra:

Después de analizar y revisar el trabajo de tesis titulado **APLICACION DEL METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO PARA LA PRE DETERMINACION DE AVENIDAS EN LA CUENCA DEL RIO LOS ESCLAVOS, HASTA LA ESTACION SINACANTAN**, del estudiante universitario Eduardo Enrique Corzo Solano, con Carnet No.13-873, y actuando como Jefe del Departamento de Hidráulica, tengo a bien informar que el mismo cumplió con todos los requisitos de índole técnico en forma satisfactoria y a cabalidad.

El presente trabajo es de gran utilidad para todos aquellos profesionales que trabajan en el campo de la hidrología.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Hidráulico Marco Tulio Ventura Roldán
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco y del Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Marco Tulio Ventura Roldán, del trabajo de tesis del estudiante Eduardo Enrique Corzo Solano, titulado APLICACION DEL METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO PARA LA PRE-DETERMINACION DE AVENIDAS EN LA CUENCA DEL RIO LOS ESCLAVOS, HASTA LA ESTACION "SINACANTAN", da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, agosto de 1, 997.

JDIS/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

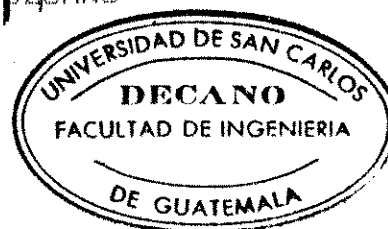
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis APLICACION DEL METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO PARA LA PRE-DETERMINACION DE AVENIDAS EN LA CUENCA DEL RIO LOS ESCLAVOS, HASTA LA ESTACION "SINACATAN", del estudiante Eduardo Enrique Corzo Solano, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios

DECANO



Guatemala, agosto de 1,997

/bbdeb.

RECONOCIMIENTO A:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, por su valiosa asesoría y orientación

Al entregar este trabajo, quiero dejar constancia de mi profunda gratitud hacia todas las personas que en una forma u otra colaboraron para hacerlo realidad, especialmente con el aporte de datos, indispensables para el desarrollo y realización del mismo.

AGRADECIMIENTO A:

DIOS

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES:

**Antonio Corzo Bendfeld (Q.E.P.D.)
M. Milagro Solano vda. de Corzo**

MI ESPOSA:

Alba E. Godoy B. de Corzo

MIS HIJOS:

**Claudia Carolina
Eduardo Enrique
Gustavo Alfonso
María Mercedes**

MIS HERMANOS:

**Julio Antonio
Hector Rolando**

LA FACULTAD DE INGENIERIA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

INDICE

CONTENIDO	PAGINA
GLOSARIO	i
OBJETIVOS	iii
INTRODUCCION	iv
I. DESCRIPCION DE LA ESTACION HIDROMETRICA Y DE LA CUENCA.	1
I.1. Descripción de la zona	1
I.1.1. Localización	1
I.1.2. Topografía	2
I.1.3. Información general del Departamento de Santa Rosa	3
I.2. Descripción de la Estación	3
I.2.1. Localización	3
I.3. Delimitación y determinación del área de la cuenca	5
I.4. Características físicas de una cuenca	8
I.4.1. Características morfológicas	8
I.4.2. Características topográficas	9
I.5. Principales factores físicos de la cuenca bajo estudio	15
I.6. Componentes de la Estación y periodos de registro	19

I.7.	Ecuaciones de descarga	21
II.	EL METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO	29
II.1.	Definición de Aguacero Unitario y de Hidrograma Unitario	29
II.2.	Postulados del Hidrograma Unitario	34
II.3.	Algunos métodos simplificados relacionados con el Método del Hidrograma Unitario	40
II.3.1.	Método Racional	40
II.3.2.	Método del Hidrograma Unitario Sintético	42
II.3.3.	Método de Muskingum-Cunge	44
III.	DERIVACION DEL HIDROGRAMA UNITARIO	48
III.1.	Recopilación y procesamiento de datos	48
III.2.	Separación de flujos	49
III.3.	Determinación del volumen escurrido	55
III.4.	Determinación de las coordenadas del Hidrograma Unitario	55
IV.	PRE-DETERMINACION DE AVENIDAS PARA LA CUENCA ANALIZADA.	60
IV.1.	Definición de avenida	60
IV.2.	Origen de las avenidas	60
IV.3.	Aplicación del Método del Hidrograma Unitario	62

CONCLUSIONES

vi

RECOMENDACIONES

vii

BIBLIOGRAFIA

viii

GLOSARIO

AFORAR: Medir la cantidad de agua que lleva una corriente por unidad de tiempo.

AVENIDA: Estado que tiene una corriente de agua, en el instante que su caudal, que ha ido aumentando, excede un cierto valor específico.

CAUCE: Lecho natural de un río o corriente.

CORRIENTES: Movimiento progresivo de las aguas.

CUENCA: Superficie topográfica total drenada por un río y sus afluentes.

ESCORRENTIA: Parte del caudal de una corriente que proviene del escurrimiento superficial.

HIDROGRAMA: Gràfica que representa el comportamiento del caudal respecto al tiempo, en una corriente de agua y en un punto determinado.

HIETOGRAMA: Gràfica que representa las fluctuaciones de la intensidad de lluvia respecto al tiempo, en un punto determinado.

LIMNIGRAMA: Gràfica que representa los valores instantàneos de altura de nivel de un río, durante un periodo de tiempo, y en un punto determinado.

MORFOMETRICO: Relativo a la forma y dimensiones de las cosas.

OROGRAFIA: Descripción de las montañas.

PLUVIOGRAMA: Gràfica que representa los valores de precipitación acumulada durante un periodo de tiempo, y en un punto determinado.

PENDIENTE: Diferencia de elevación o inclinación entre dos puntos.

OBJETIVO GENERAL

Plantear un procedimiento para la pre determinación de avenidas, utilizando datos hidrológicos, en el estudio de cuencas hidrográficas, con el propósito de diseñar obras de protección.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.- Analizar información hidrométrica para determinar caudales, en la estación Sinacantán, río Los Esclavos.
- 2.- Derivar el Hidrograma Unitario para la cuenca del río Los Esclavos, hasta la estación Sinacantán.
- 3.- Aplicar el Método del Hidrograma Unitario, para la pre determinación de avenidas en el río Los Esclavos.

INTRODUCCION

Las inundaciones causadas por el desborde de rios en Guatemala son desastres naturales que periódicamente afectan extensas áreas del territorio nacional, principalmente las partes bajas de las vertientes del Pacífico y del Atlántico.

Los daños provocados son incalculables en cuanto a pérdida de vidas humanas, destrucción de infraestructura vial, viviendas e inundación de terrenos cultivados; con los consecuentes efectos colaterales negativos, tales como:

- interrupción de servicios y transporte
- distorsión de mercados
- pago de arrendamientos temporales
- pérdida de salarios
- gastos extraordinarios, como reubicación de refugiados

En Guatemala, con recursos económicos muy limitados, las inundaciones se tornan catastróficas y la población afectada debe enfrentar casi por sí misma la reconstrucción y rehabilitación de los daños.

Es evidente, por las razones anteriores, la importancia económica del pronóstico de crecientes o la estimación del caudal máximo probable de los ríos en un punto dado, a efecto de proyectar la construcción de obras de retención adecuadas.

Las máximas avenidas en los ríos de Guatemala son provocadas fundamentalmente por lluvias intensas, que conducen grandes cantidades de agua hacia los cauces naturales de la región.

El Método del Hidrograma Unitario ha probado ser adecuado para la estimación del caudal máximo provocado por una lluvia intensa en un curso de agua, relacionando la precipitación con la escorrentía. Posee la importante propiedad de predeterminar el comportamiento del río, conociendo el volumen de agua aportado y la distribución en el tiempo del aguacero que lo provocó.

Asimismo, el método ha probado ser eficiente aún con datos de registros de precipitación y caudales de poco tiempo (como 2 años), por lo que es ventajosa su aplicación en países como Guatemala, en donde se carece de registros pluviométricos y limnimétricos de larga duración.

En el presente trabajo será deducido el Hidrograma Unitario para la cuenca del Río Los Esclavos, a partir de registros provenientes de la estación de aforo Sinacantán, para luego proceder a la estimación de avenidas máximas.

I. DESCRIPCION DE LA ESTACION HIDROMETRICA Y DE LA CUENCA

I.1. Descripción de la zona

I.1.1. Localización

La Estación hidrométrica Sinacantán se encuentra situada en el Municipio de Chiquimulilla, Departamento de Santa Rosa, en la zona Sur-Este de la República de Guatemala (3 Km. al Nor-Este de Chiquimulilla)

El Municipio de Chiquimulilla colinda al Norte con Cuilapa; al Sur con el Océano Pacífico, canal de Chiquimulilla de por medio; al Este con Santa María Ixhuatán y San Juan Tecuaco; y al Oeste con Pueblo Nuevo Viñas y Guazacapán.

La distancia a la Ciudad de Guatemala sobre las carreteras CA-2 Oriente y CA-9 Sur (Chiquimulilla-Escuintla-Guatemala) es aproximadamente 118 Km.

I.1.2. Topografía

El Departamento de Santa Rosa se inicia en las estribaciones de la Sierra Madre y los volcanes Cerro Redondo y Jumaytepeque, baja hasta los volcanes Cruz Quemada y Tecuamburro y se extingue al Sur, en el canal de Chiquimulilla y las playas de Monterrico, Papaturro, Las Lisas y El Ahumado, todas en el Océano Pacífico.

Posee dos zonas topográficas bien definidas:

- las superficies montañosas, ubicadas en el Norte.
- las extensas planicies y valles de la costa y bocacosta que corresponden a la parte Sur.

Existe una gran diferencia entre las elevaciones de las dos zonas, que va desde el nivel del mar en la zona Sur, hasta más de 2,000 metros en la parte Norte.

El territorio participa en la zona orográfica meridional del País. La cordillera principal se compone de cerros formados por rocas eruptivas que causan hundimientos en el descenso de las montañas hacia el litoral Pacífico.

Los ríos principales son:

- Los Esclavos
- Pinula
- Margaritas
- El Molino
- Aguacapa
- Los Apantes
- Tapalapa
- Las Cañas

Las lagunas principales situadas en este departamento son:

- Ayarza
- El Pino
- Ixpaco

I.1.3. Información General del Departamento de Santa Rosa

- Altura promedio: 900 m.s.n.m. *
- Población estimada: 200,000 habitantes
- Extensión territorial: 2,955 Kms²
- Clase de suelo predominante: poco profundo

* metros sobre el nivel del mar

I.2. Descripción de la Estación

I.2.1. Localización

La estación hidrométrica SINACANTAN está ubicada en la aldea del mismo nombre, a una distancia aproximada de 3 Km. del municipio de Chiquimulilla, con dirección Nor-Este.

Las coordenadas cartográficas de localización son:

LATITUD	14	Grados	06	Minutos	50	Segundos
LONGITUD	90	Grados	21	Minutos	40	Segundos

ELEVACION 340.0 metros sobre el nivel del mar.

La estación Sinacantán está administrada por la Unidad de Estudios Básicos, Departamento de Planificación del Instituto Nacional de Electrificación -I.N.D.E.- y está registrada con el número de Código 18.04.02 H., lo cual significa lo siguiente:

18	identifica al departamento (Santa Rosa)
04	identifica al municipio (Chiquimulilla)
02	identifica propiamente el número de la Estación
H	estación hidrométrica

Pertenece a la cuenca del Río Los Esclavos y a la vertiente del Pacífico. Tiene registrada como fecha de inicio de operación el día 15 de Octubre de 1975.

Ha funcionado con 2 aparatos registradores (limnigrafos) indistintamente desde esa fecha: STEVENS A-35 y A-OTT, por lo que cuenta con información de caudales por más de 20 años.

Durante ese periodo de tiempo existen algunos faltantes en los datos debido a diversas causas, tales como fallas propias del aparato y limpieza del pozo.

El Encargado de la estación toma lecturas diariamente, a las 7.00 Hrs. y a las 17.00 Hrs., para luego enviar los reportes con los respectivos limnigramas a la Unidad de Estudios Básicos del I.N.D.E., en la Ciudad de Guatemala, con una frecuencia aproximada de 2 meses.

El aparato registra datos de altura del nivel del río ininterrumpidamente, sobre la hoja graduada. Cada hoja contiene datos de los niveles del río para siete días.

El àrea cubierta por esta Estaciòn es 1,233.85 Kms². En el mapa No. 1 se presenta la ubicaciòn aproximada.

I.3. Delimitaciòn y determinaciòn del àrea de la cuenca.

Para delimitar la cuenca se utilizò un mosaico compuesto por 7 mapas con curvas de nivel a escala 1: 50,000 elaborados por el Instituto Geogràfico Militar, los cuales son:

-hoja No. 2158 III	Chiquimulilla
-hoja No. 2158 I	Oratorio
-hoja No. 2158 IV	Cuilapa
-hoja No. 2159 II	Laguna de Ayarza
-hoja No. 2159 III	Nueva Santa Rosa
-hoja No. 2159 I	Mataquescuintla
-hoja No. 2159 IV	San Josè Pinula

Sobre copias de los mapas indicados, se procediò seguidamente a localizar la Estaciòn hidromètrica Sinacantàn y, a partir de este punto se trazaron los limites de la cuenca, siguiendo la linea divisoria de aguas, tomando en cuenta que dicha divisoria està dada por los puntos mäs altos de las curvas de nivel, a partir de los cuales se origina la escorrentia hacia ambos lados.

Una vez delimitada la cuenca en la forma descrita, se procediò a determinar su àrea, utilizando para el efecto un planimetro polar.

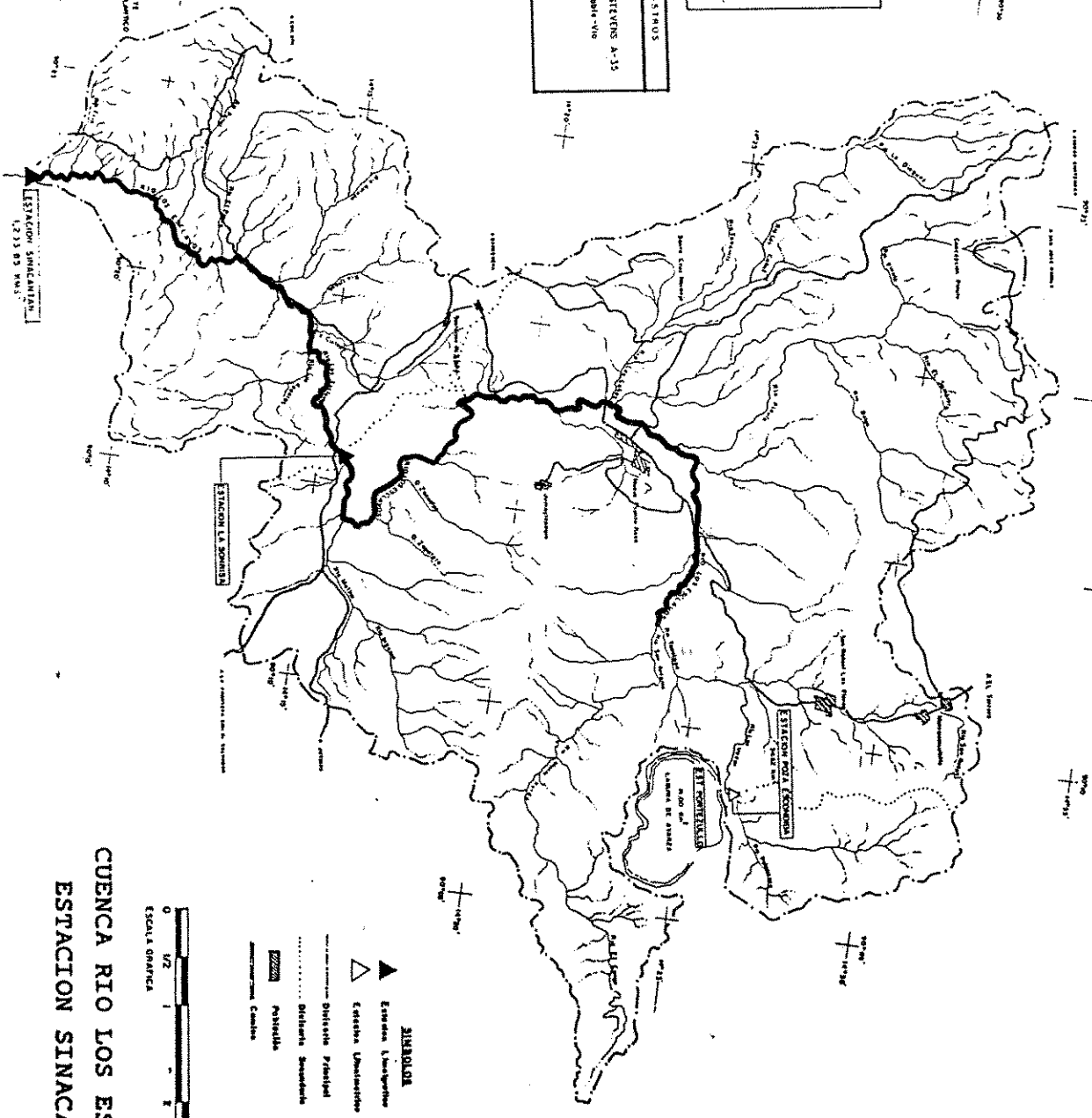
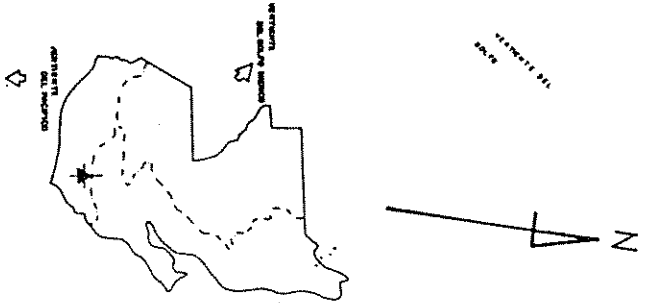
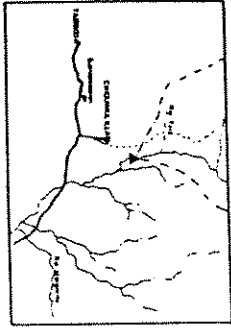
En el mapa No. 2 se presenta la cuenca del rìo Los Esclavos (hasta la Estaciòn Sinacantàn)

DEPARTAMENTO SANTA ROSA

UBICACION ESTACION HIDROMETRICA SINACANTAN ESC. 1:500,000



DATOS DE LA ESTACION		REGISTROS
AREA TRIANGULAR	4,233.85 Km ²	LIMASGARD STEVENS A-35
LATITUD	14° 06' 50"	Alfaro por Camé Vie
LONGITUD	90° 21' 40"	
ALTIMA ESCALA	540 000 NMM/CM	



**CUENCA RIO LOS ESCLAVOS
ESTACION SINACANTAN**



- SINACANTAN**
- ▲ Estacion Liberacion
 - ▲ Estacion Poma Escobar
 - Distrito Provincial
 - Distrito Sinacantan
 - Poblado
 - Camé

I.4. Características físicas de una cuenca

I.4.1. Características morfológicas

La Sierra Madre, que atravieza el territorio nacional de Poniente a Oriente, delimita la vertiente del Océano Pacífico con las otras dos vertientes (del Océano Atlántico y del Golfo de México) y le confiere características propias y comunes a todas las cuencas drenadas hacia el Océano Pacífico.

Estas se caracterizan por fuertes pendientes y recorridos de los cauces relativamente cortos. El régimen de escorrentía de estos ríos es de carácter turbulento, con crecidas muy bruscas en época de lluvias, pero descensos muy rápidos. El tipo de suelo por el que atraviezan es de configuración volcánica. Generalmente su área no es muy extensa.

El Factor de Forma de Gravelius expresa la relación entre el ancho promedio del área drenada, en función de la longitud, donde:

$$\text{Ancho promedio cuenca (B)} = \frac{\text{Area de la cuenca drenada (Kms.}^2\text{) (A)}}{\text{Longitud corriente principal (Kms.) (L)}}$$

La longitud se mide desde el punto más remoto de la cuenca, hasta la salida.

El Factor de Forma trata de explicar de alguna manera las características de la avenida, pues una cuenca con un Factor de Forma bajo, tiene menos tendencia a aceptar escurrimientos rápidos.

En áreas drenadas similares y con formas geométricas idénticas, la mayor longitud de la corriente principal, es usualmente un resultado de la

mayor sinuosidad, lo cual es una característica de los valles y tierras bajas, donde los ríos tienden a explayarse en las crecidas. El caso de los ríos Polochic y Motagua en la vertiente Atlántica constituyen un ejemplo de lo anterior.

Por otra parte, en territorios montañosos, los ríos aparentemente no todos son rectilíneos, y por consiguiente, la longitud y el ancho de la corriente principal de una cuenca situada en valles o en montañas de la misma región, serán diferentes.

Generalmente, cuencas alargadas tienen corrientes principales con grandes sinuosidades y amplios esteros de zonas de inundación. Cuencas estrechas, tienen a menudo su corriente principal relativamente corta.

En el mapa No. 3 (Mapa Hidrológico de la República de Guatemala), se observan las tres vertientes y sus respectivas cuencas. Nótese las diferencias en su forma y dimensiones.

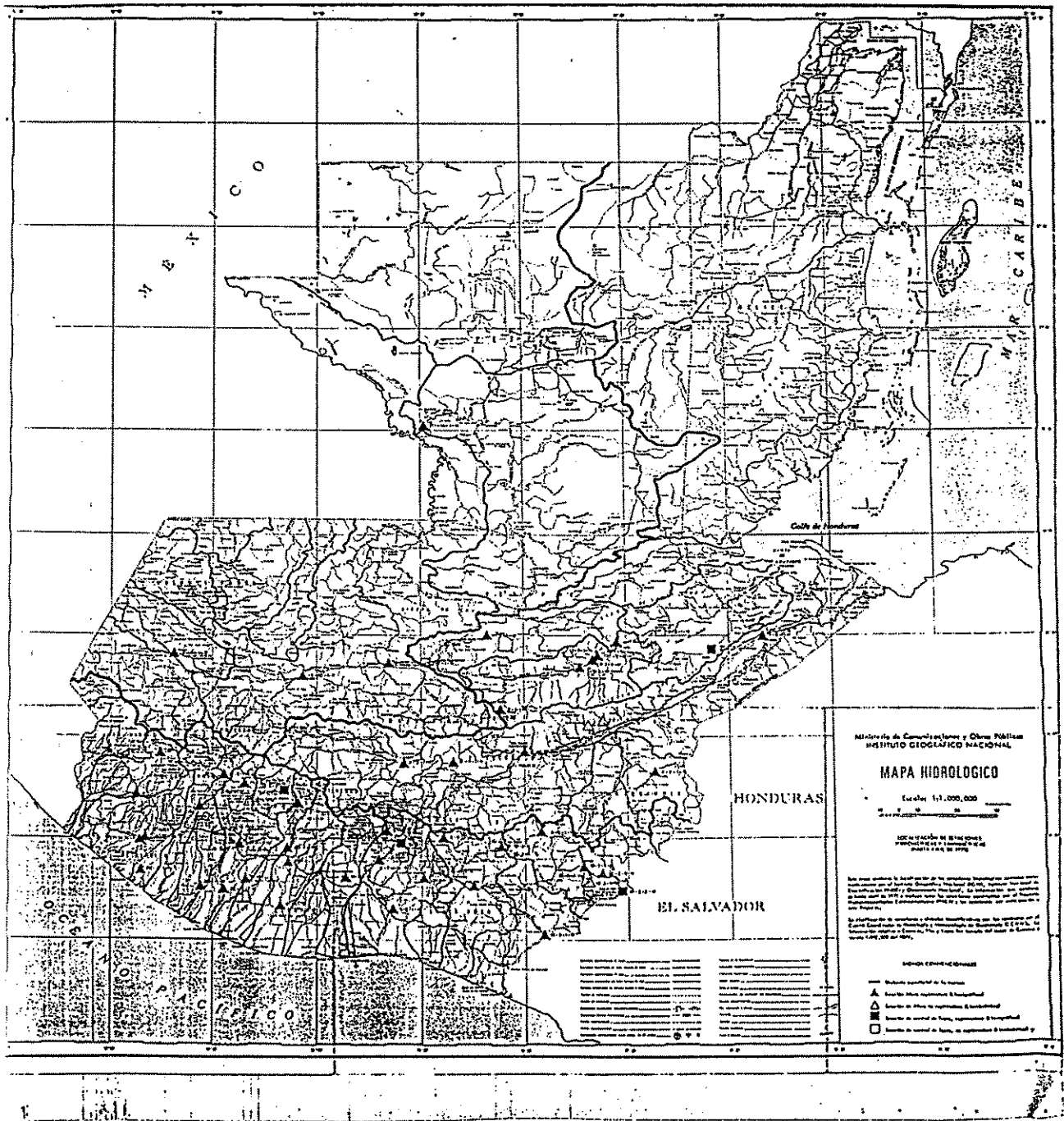
1.4.2. Características Topográficas

La configuración topográfica de la cuenca es de mucha importancia, ya que es una de las características que más influye sobre el comportamiento hidrológico de la misma.

Algunos parámetros que describen el relieve de una cuenca, son los siguientes:

A) Pendiente 10-85% del canal principal P (10 - 85%)

Es la relación de la diferencia en elevación entre los puntos



10
 MAPA No. 3

situados al 10% y al 85% de la caída total de elevación, desde aguas arriba del punto de observación hasta el límite de la cuenca, dividido por la longitud del canal principal entre estos puntos. Es decir, quedan excluidos el 15% de los terrenos escarpados y el 10% de los más suaves.

B) Densidad de drenaje D

Es una medida de la respuesta a la precipitación en una cuenca. Se define como la longitud total de los cauces dentro de la cuenca, dividida por su área total. De tal manera que una densidad alta refleja eficiencia en el drenaje de la cuenca, esperando una respuesta relativamente rápida a la precipitación. Por el contrario, una cuenca con baja densidad, representaría un área con escurrimiento deficitario y respuesta hidrológica muy lenta.

$$D = \frac{L_t}{A}$$

L_t = longitud total de los cauces

A = área de la cuenca

C) Radio de elongación Re

A la relación entre el diámetro de un círculo de área igual a la de la cuenca y la longitud del cauce principal o el más largo se le conoce como RADIO DE ELONGACION. Se ha observado que valores de Re entre 0.6 y 0.8 corresponden a cuencas con relieves fuertes; y valores cercanos a 1.0 describen cuencas con perfiles suaves.

$$Re = \frac{Dc}{L}$$

Dc = diàmetre de un círculo de àrea igual a la de la cuenca
L = longitud del cauce principal

D) Coeficiente de relieve Rc

La diferencia de elevaciòn entre la estaciòn de aforo y el punto mäs alto de la divisoria de aguas, dividido entre la longitud total del cauce mäs largo, hasta la divisoria, se ha definido como COEFICIENTE DE RELIEVE Rc. Valores altos generalmente indican fuertes pendientes y, por consiguiente, avenidas mayores.

$$Rc = \frac{dH}{L}$$

dH = diferencia de elevaciòn entre la estaciòn de aforo y el punto mäs elevado de la divisoria
L = longitud del cauce principal

E) Coeficiente de robustez Cr

Este paràmetro relaciona la diferencia de elevaciòn entre la estaciòn de aforo y el punto mäs alto de la divisoria, con la Densidad de drenaje. Usualmente resultados altos reflejan ràpida respuesta a la precipitaciòn, en la cuenca.

$$Cr = dH * D$$

F) Frecuencia de las corrientes F

Es la relación entre la cantidad total de corrientes o cauces y el área de la cuenca. Este parámetro trata de reflejar el comportamiento de la cuenca respecto a la precipitación. A mayor cantidad de colectores corresponden avenidas mayores, ya que el agua tarda menos tiempo en llegar a la salida.

$$F = \frac{\text{Sumatoria Nu}}{A}$$

Sumatoria Nu = cantidad de corrientes en la cuenca

A = área de la cuenca

G) Número de orden del cauce

Para determinar el número de corrientes se utilizó el criterio de Horton, el cual establece el procedimiento siguiente:

- partiendo de las fuentes (que son los cauces que no tienen afluentes), a las cuales se les asigna orden igual a "1", se siguen las corrientes aguas abajo.
- al unirse dos corrientes de igual orden, a la corriente resultante se le asigna el orden inmediato superior.
- una corriente de orden mayor no altera su orden al recibir una menor.
- al remontarse aguas arriba, y encontrarse con dos corrientes de igual orden, se conserva el orden hacia el lado donde resulte mayor el área drenada.

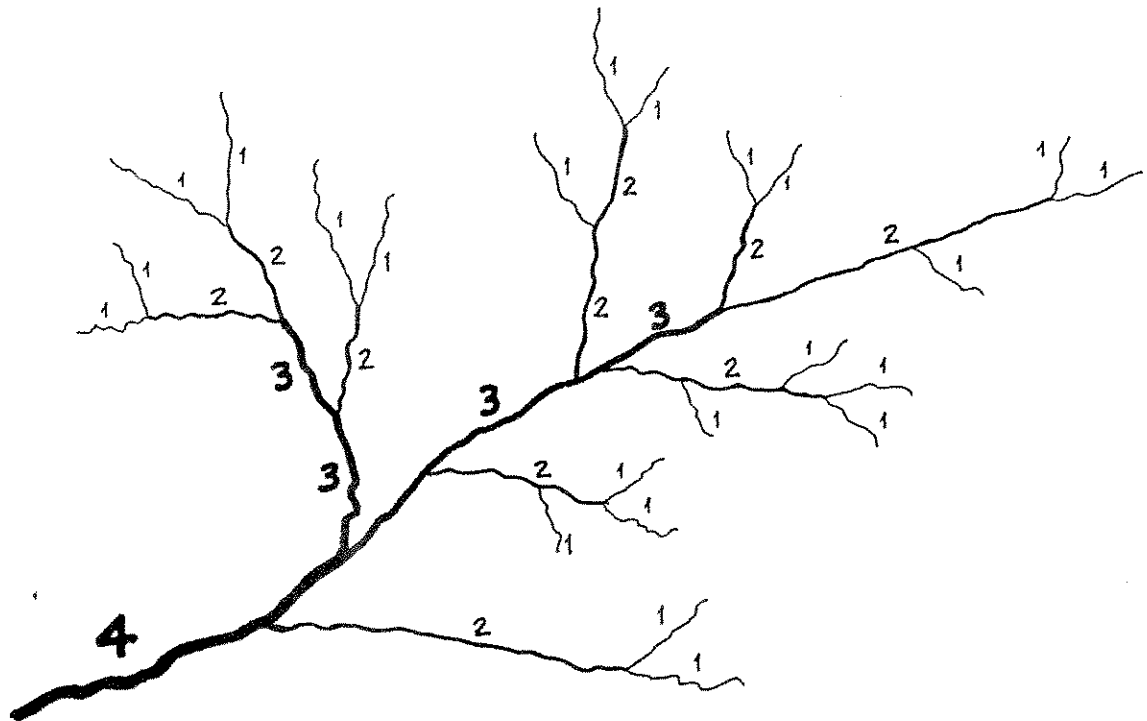
-cuando se encuentra una corriente de orden desigual, el orden que se lleva se conserva en la direcciòn donde la corriente encontrada tenga mayor orden.

-el canal principal localiza el orden mayor.

-el nùmero de corrientes serà la sumatoria de todas las corrientes de diferente orden localizadas.

Lo anterior se ilustra en la gràfica No. 1

GRAFICA No. 1



1.5. Principales factores físicos de la cuenca bajo estudio

CUENCA: Río Los Esclavos (hasta estación Sinacantán)

ESTACION: SINACANTAN

AREA TRIBUTARIA: 1,233.85 Kms.²

LATITUD: 14 grados 05 minutos 50 segundos

LONGITUD: 90 grados 21 minutos 40 segundos

**** longitud total de los cauces:** 211.3 Kms.

**** longitud del cauce principal:** 18.8 Kms.

**** cantidad de corrientes:** 346

**** número de orden:** 5

****datos obtenidos segun el procedimiento siguiente:**

a) Sobre una copia del mapa de la cuenca, se procedió a marcar, de diferentes colores, todas las corrientes, según el procedimiento descrito anteriormente, clasificándolas en órdenes.

b) utilizando un compás de puntas se determinó la longitud de todas las corrientes; y luego, se procedió al conteo.

CALCULOS Y RESULTADOS OBTENIDOS:

$$1) \text{ FACTOR DE FORMA} = B/L = 65.63/18.8 = 3.49$$

longitud cauce principal (L) = 18.8 Kms.

àrea de la cuenca (A) = 1,233.85 Kms.²

ancho promedio de la cuenca (B) = A/L = 65.63 Kms.

2) PENDIENTE 10 - 85% (del canal principal) P (10 - 85%)

$$0.1 L = 1.88 \text{ Km.}$$

$$0.85 L = 15.98 \text{ Km.} \quad 15.98 - 1.88 = 14.1 \text{ Km.}$$

En el plano de curvas de nivel Escala 1 : 50,000 se localizaron los puntos anteriores sobre el cauce principal; es decir, a 1.88 km. y a 15.98 km. de la estación de aforo, y se determinaron sus respectivas elevaciones, resultando:

para 0.1 L = 1.88 Km. : elevación = 560 m.s.n.m.

para 0.85 L = 15.98 Km. : elevación = 1,410 m.s.n.m.

La diferencia de elevación entre los puntos es: $1,410 - 560 = 850$ mts.

Al unir los puntos anteriores con una línea recta, sobre el plano, se obtuvo la longitud, la cual es 7.56 Km.

Con los datos de longitud en línea recta entre los puntos, y su diferencia de elevación, se forma un triángulo, del cual resulta:

$$\text{tang. angulo elevaci3n} = \text{pendiente} = \frac{0.85}{7.56} = 11.24\%$$

$$3) \text{ DENSIDAD DE DRENAJE } D = \frac{L_t}{A}$$

$$D = \frac{211.3 \text{ Km.}}{1,233.85 \text{ Kms.}^2} = 0.17 \text{ Km.} / \text{Kms.}^2$$

$$4) \text{ RADIO DE ELONGACION } R_e = \frac{D_c}{L} = \frac{39,710.24}{18,800.00} = 2.11$$

$$D_c = \text{Diámetro de la cuenca} = \{(A * 4) / 3.1416\}$$

$$D_c = \{(12.385 * 10^4) / 3.1416\}$$

$$D_c = 39,710.24 \text{ mt.}$$

$$L = 18,800.00 \text{ mt.}$$

$$5) \text{ COEFICIENTE DE RELIEVE } R_c = \frac{dH}{L}$$

En el mapa de curvas de nivel se localizó el punto más elevado de la divisoria de la cuenca, resultando ser 2,571 m.s.n.m.

$$dH = 2,571 (-) 340 = 2,231 \text{ m.}$$

$$\text{entonces } R_c = \frac{2,231 \text{ m.}}{18,800 \text{ m.}} = 0.12 = 12\% \text{ de pendiente}$$

6) COEFICIENTE DE ROBUSTEZ $Cr = dH * D$

$$Cr = \frac{dH * D}{1,000} = \frac{2.231 * 0.17}{1,000} = 0.0004$$

7) FRECUENCIA DE LAS CORRIENTES $F = \frac{\text{Sum. Nu}}{A}$

$$F = \frac{346}{1,233.85 \text{ Kms.}^2} = 0.28 \text{ ramales / Kms.}^2$$

8) NUMERO DE ORDEN DEL CAUCE

Orden de corrientes	Cantidad de ramales	Longitud (kms.)
Orden 1	257	119.53
Orden 2	71	46.79
Orden 3	15	27.83
Orden 4	2	6.55
Orden 5	1	10.60

Analizando los resultados obtenidos de los parámetros morfométricos para la cuenca bajo estudio, se deducen las conclusiones siguientes

a) Para el eventual suceso de avenidas, es predecible la ocurrencia de escurrimiento rápido sobre el cauce.

b) Se estima que la lluvia precipitada sobre la cuenca y canalizada por el cauce principal, llegará a la salida en un tiempo relativamente largo.

c) La cuenca posee relieves y pendientes moderadamente inclinados.

I.6. Componentes de la estación y periodos de registro

La estación hidrométrica Sinacantán consta de los siguientes elementos:

-sección de control con afloramiento rocoso

-sección de aforo con instalaciones de cable-vía

-limnómetro

-limnógrafo STEVENS A-35

Los periodos de registro se inician en Octubre de 1975 y las hojas de limnigramas se encuentran archivadas en la Unidad de Estudios Basicos del Instituto Nacional de Electrificación -I.N.D.E.- en la forma siguiente:

AÑO HIDROLOGICO

MESES

1975 - 1976	15 Oct. 1975 al 30 Abril 1976
1976 - 1977	1 Mayo 1976 al 30 Abril 1977
1977 - 1978	1 Mayo 1977 al 30 Abril 1978
1978 - 1979	1 Mayo 1978 al 30 Abril 1979
1979 - 1980	1 Mayo 1979 al 30 Abril 1980
1980 - 1981	1 Mayo 1980 al 30 Abril 1981
1981 - 1982	1 Mayo 1981 al 30 Abril 1982
1982 - 1983	1 Mayo 1982 al 30 Abril 1983
1983 - 1984	1 Mayo 1983 al 30 Abril 1984
1984 - 1985	1 Mayo 1984 al 30 Abril 1985
1985 - 1986	1 Mayo 1985 al 30 Abril 1986
1986 - 1987	1 Mayo 1986 al 30 Abril 1987
1987 - 1988	1 Mayo 1987 al 30 Abril 1988
1988 - 1989	1 Mayo 1988 al 30 Abril 1989
1989 - 1990	1 Mayo 1989 al 30 Abril 1990

1990 - 1991		1 Mayo 1990 al 30 Abril 1991
1991 - 1992		1 Mayo 1991 al 30 Abril 1992
1992 - 1993		1 Mayo 1992 al 30 Abril 1993
1993 - 1994		1 Mayo 1993 al 30 Abril 1994
1994 - 1995	***	1 Mayo 1994 al 30 Abril 1995
1995 - 1996	***	1 Mayo 1995 al 30 Abril 1996

*** limnigramas no disponibles (Sept. 1994)

I.7. Ecuaciones de descarga

La gràfica que relaciona los caudales con la altura en una secciòn de aforo se denomina CURVA DE CALIBRACION o CURVA DE DESCARGA para esa secciòn .

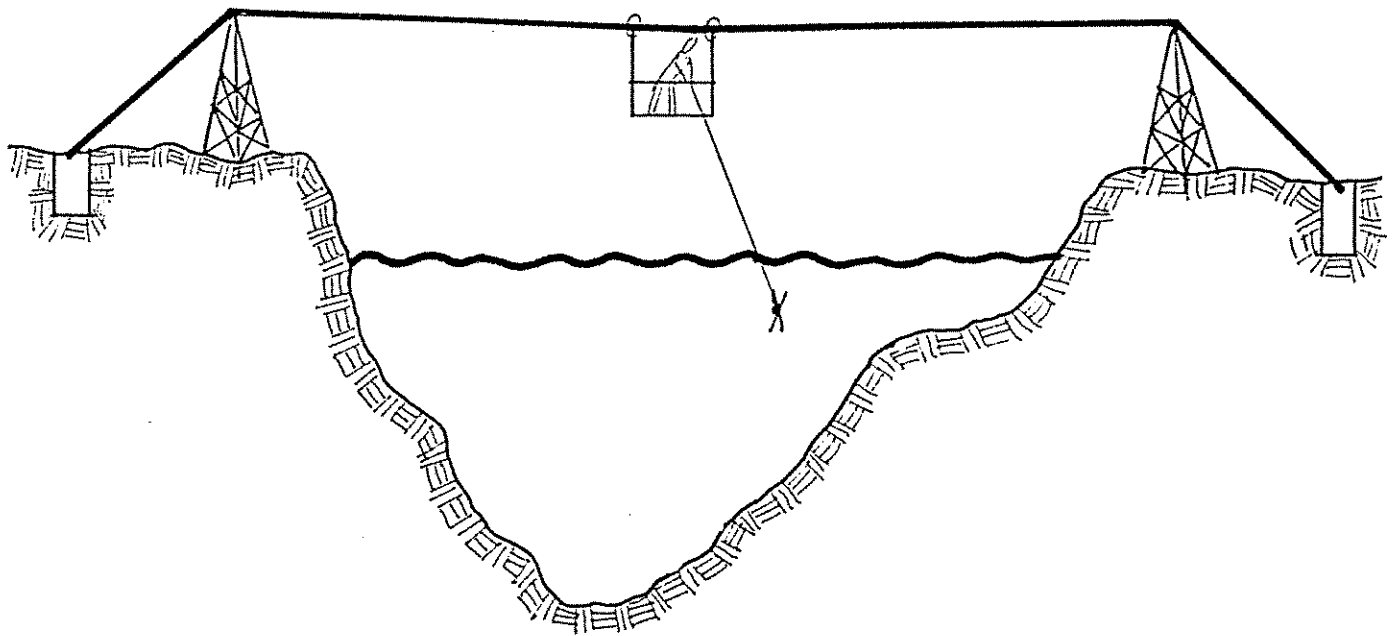
Los datos requeridos para deducir dicha gràfica se obtienen de mediciones o aforos en el cauce y de observaciones simultàneas de la altura del nivel de agua en el mismo.

Para construir la curva, cada caudal medido està ligado a una altura del nivel de agua. Se colocan las alturas (en mts.) en el eje de las ordenadas y los caudales en el eje de las abscisas (mts.³ / seg).

Esta curva se utiliza para convertir registros de nivel de agua (datos del limnìgrafo) en los caudales correspondientes.

En la estación Sinacantàn, el aforo se ha realizado utilizando las mediciones de velocidad y profundidad del río. Para tal propòsito se emplea el molinete. El operador se traslada en una canasta suspendida en cable via a través de ambos márgenes del río, tal como se observa en la gràfica No.2

GRAFICA No. 2



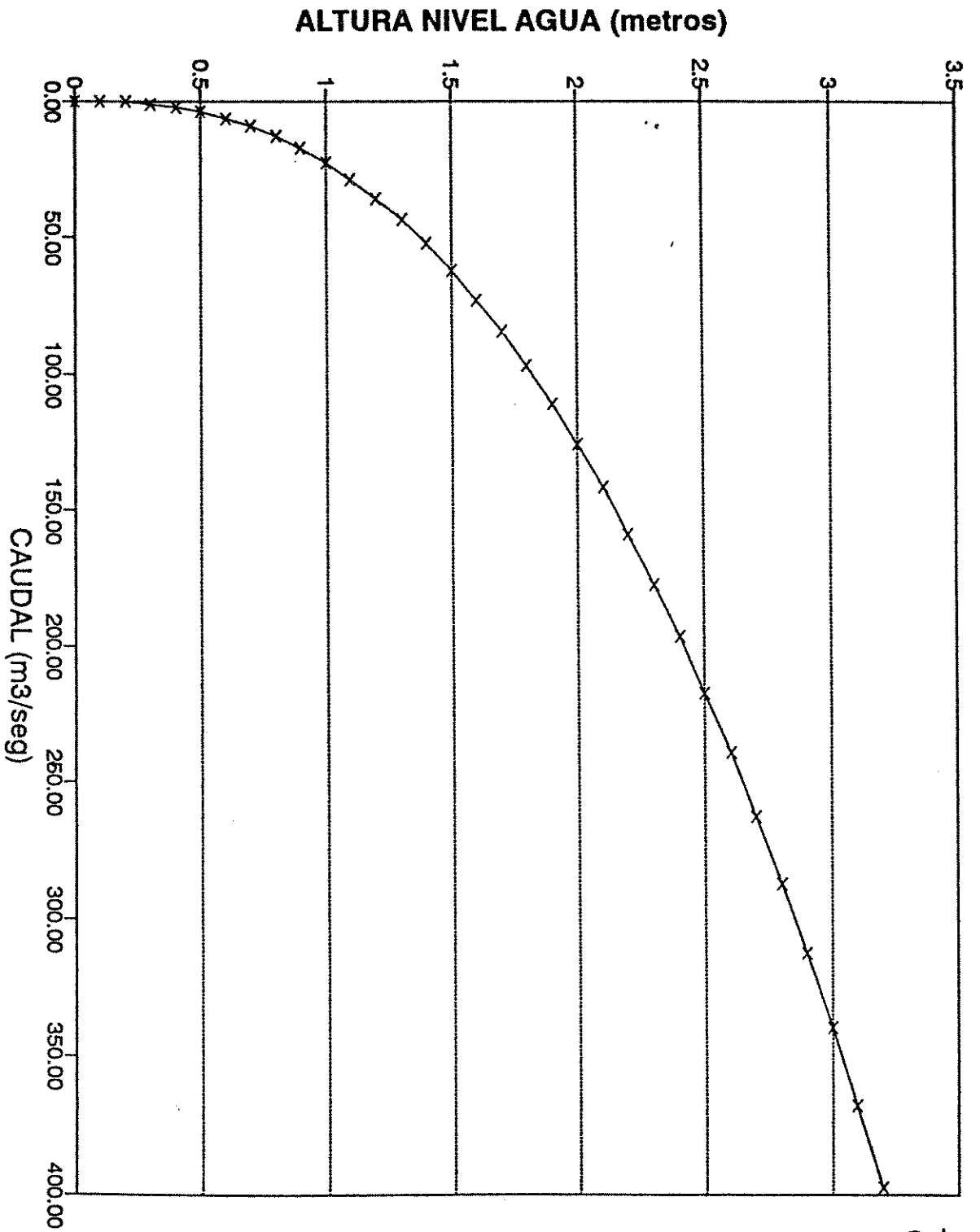
Desde el inicio de operación (Octubre 1975) se han deducido cinco Ecuaciones de Calibración como resultado de los aforos efectuados en el periodo, según se observa en el cuadro siguiente:

ECUACIONES DE CALIBRACION

ECUACION	AFORO	VALIDEZ
$Q = 23H^{2.45}$	26/08/82	15/10/75 - 19/09/82
$Q = 7.91 (H-0.05)^{3.46}$	08/09/84	20/09/82 - 01/06/84
$Q = 3.57 (H + 0.302)^{3.77}$	12/06/85	02/06/84 - 30/09/84
$Q = 7.91 (H + 0.10)^{3.46}$	28/11/87	01/10/84 - 30/04/87
$Q = 7.91 (H + 0.10)^{3.46}$	para $H < 1.86$	01/05/87 - actual
$Q = 97.89 (H - 1.00)^{1.24}$	para $H > 1.86$	

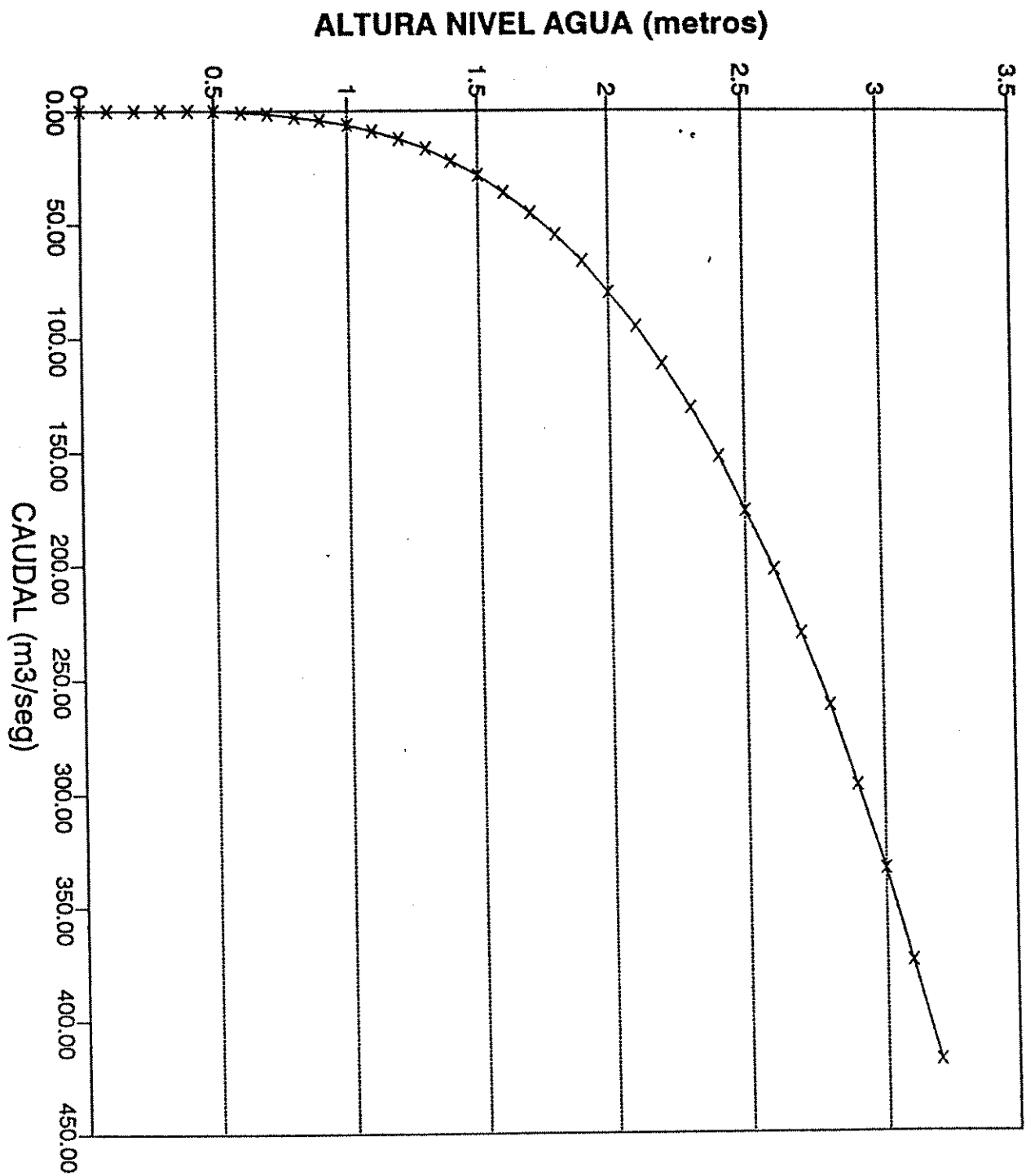
En las Gráficas Nos. 3, 4, 5, 6 y 7 se presentan las curvas de calibración para las ecuaciones anteriores.

**ESTACION SINACANTAN
CURVA DE CALIBRACION**



$Q = 23H^{2.45}$

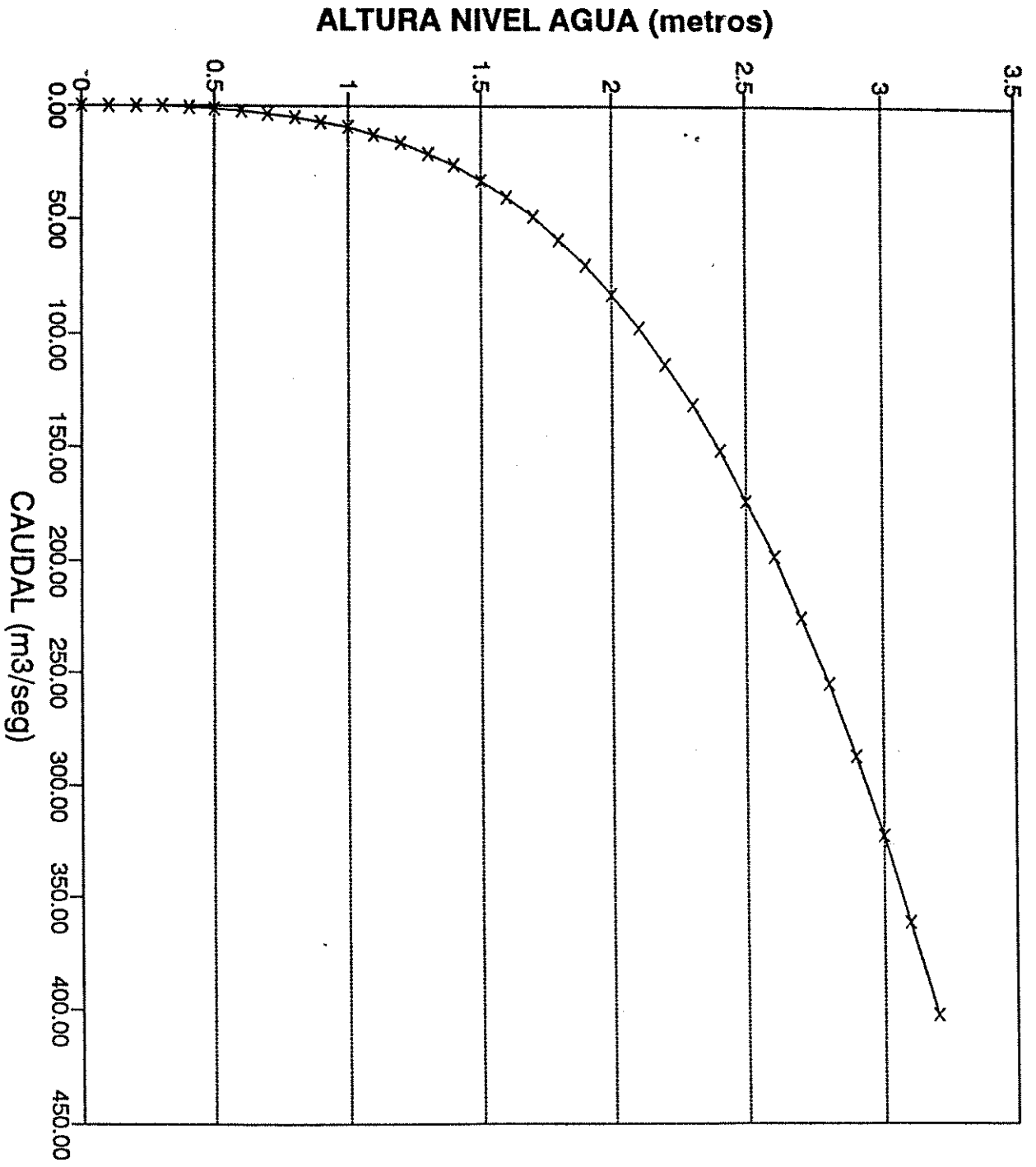
**ESTACION SINACANTAN
CURVA DE CALIBRACION**



$\text{---} \times \text{---}$
 $Q = 7.91(H - 0.05)^{3.46}$

GRAFICA No. 4

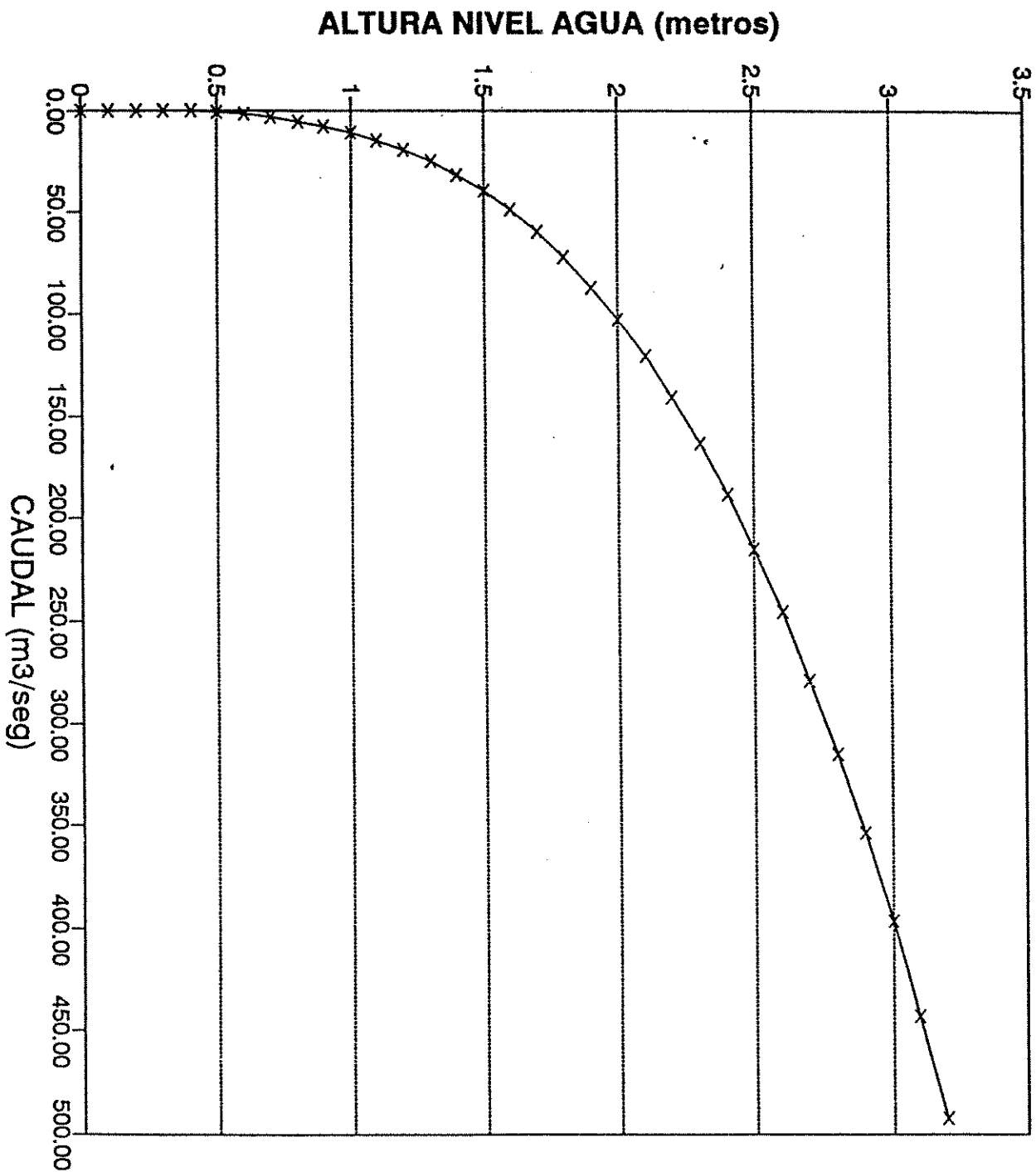
**ESTACION SINACANTAN
CURVA DE CALIBRACION**



$Q = 3.57(H + 0.30)^{3.77}$

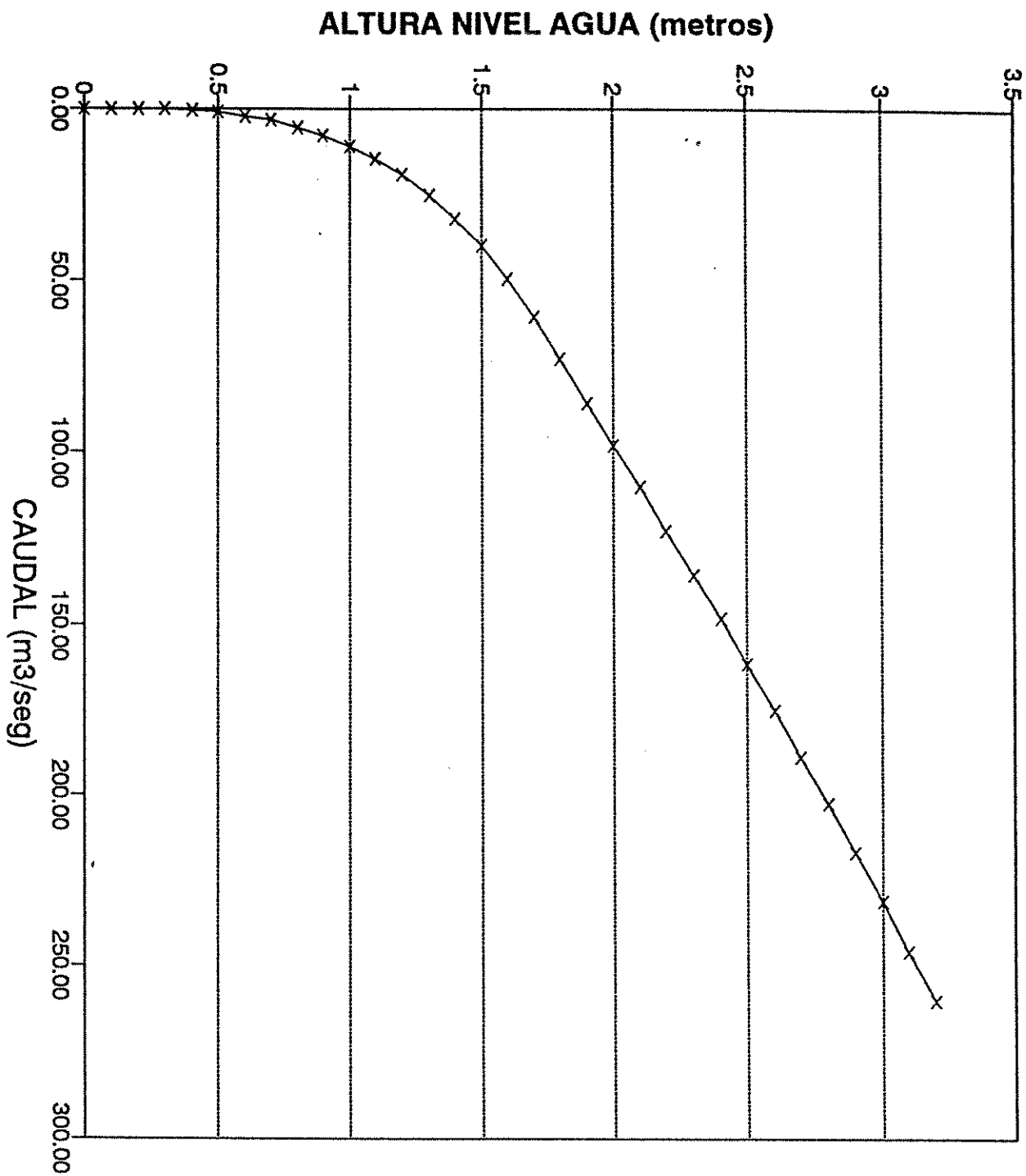
GRAFICA No. 5

**ESTACION SINACANTAN
CURVA DE CALIBRACION**



$Q = 7.91(H + 0.10)^{3.46}$

ESTACION SINACANTAN
CURVA DE CALIBRACION



$Q = 97.89(H - 1.0)^{1.24}$

II. EL METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO

II.1. Definición de "Aguacero Unitario" y de "Hidrograma Unitario"

El hidrograma es un gráfico que se obtiene ploteando datos de caudal en el eje de las ordenadas, y datos de tiempo en el eje de las abscisas. Es decir, representa el comportamiento del caudal en relación al tiempo, en una sección determinada de un cauce.

Se ha observado que la precipitación que cae sobre una cuenca cualquiera, y posteriormente se convierte en caudal del cauce principal, llega al mismo mediante la escorrentía superficial, el flujo sub-superficial o ambas formas.

El flujo de agua sobre la superficie de una cuenca es un proceso muy complejo que cambia en el espacio y en el tiempo. Se inicia cuando el agua almacenada en la superficie, adquiere una profundidad suficiente para sobrepasar las fuerzas de retención superficial, y fluye.

Bàsicamente se distinguen dos tipos de flujo: el flujo superficial y el flujo en canal.

El flujo o escorrentia superficial es una capa delgada que fluye a lo largo de una superficie ancha.

El flujo en canal es una corriente màs angosta que fluye en una trayectoria confinada.

El primer mecanismo de flujo en una cuenca natural es el flujo superficial, que persistirà en muy cortas distancias (excepto en àreas urbanizadas) hasta que las irregularidades en la superficie de la cuenca concentren el flujo en canales tortuosos y con mayor velocidad.

Gradualmente, los flujos de estos pequeños canales se combinan para producir flujos en canales claramente reconocibles, los cuales se acumulan aguas abajo, para formar el flujo de la corriente en la salida de la cuenca.

En superficies con mucha vegetaciòn y con un tipo de suelo permeable, la capacidad de infiltraciòn del suelo excede las intensidades de lluvia en muchos casos. Para estas condiciones, el flujo sub-superficial se convierte en el mecanismo primordial del transporte de agua de lluvia hacia las corrientes. Este tipo de flujo sub-superficial aporta muy poca cantidad de agua a la corriente debido a su muy lenta velocidad de transporte, excepto bajo circunstancias especiales y particulares del suelo, es decir, que tenga una conductividad hidràulica muy alta.

Una combinaciòn de los flujos anteriores es el denominado "flujo superficial de saturaciòn", el cual es producido cuando el suelo en las partes bajas de las pendientes se encuentra completamente saturado por el flujo sub-superficial, lo cual provoca el aparecimiento de flujo superficial conforme la lluvia cae sobre el suelo saturado.

La infiltración de agua superficial en el suelo provoca inicialmente la humedad del mismo; seguidamente, las partículas de agua fluyen a través del suelo, cerca a la superficie, constituyendo el flujo sub-superficial propiamente dicho y, finalmente, algunas partículas del agua originalmente infiltrada, descienden a través de las capas o estratos del suelo, formando corrientes subterráneas.

Los dos tipos de flujo sub-superficial mencionados, eventualmente emergen a la superficie para convertirse en flujo superficial, en una corriente.

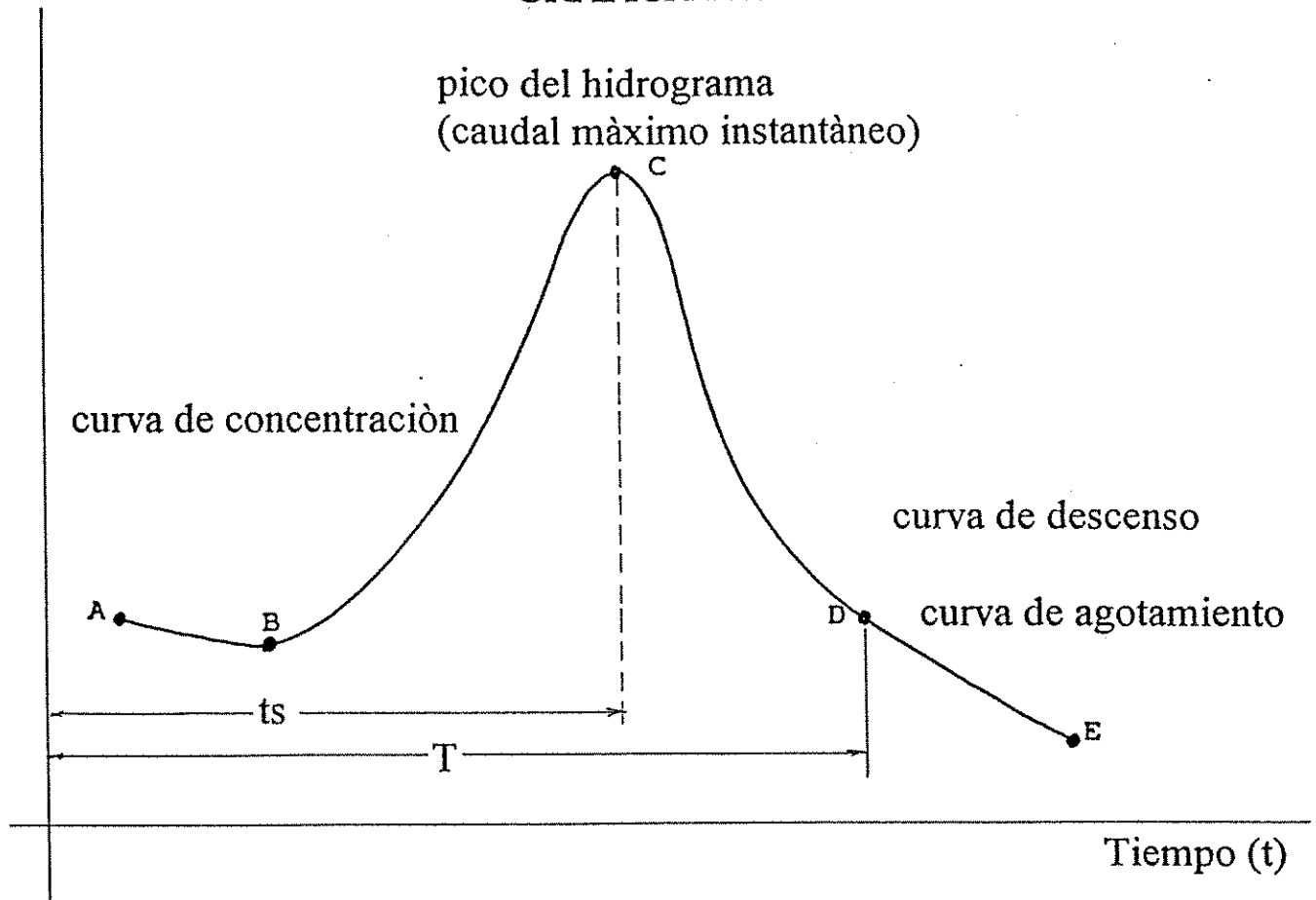
En épocas de ausencia de lluvias para una cuenca, el caudal base del cauce principal es aportado fundamentalmente por los dos tipos de flujo sub-superficial indicados anteriormente.

Inmediatamente después de una tormenta, la relación de descarga sube sobre el flujo base en la cantidad en que la escorrentía superficial ingresa al sistema drenado.

La escorrentía directa, producida por lluvias de gran intensidad, es la responsable de las crecidas en las corrientes, debido a su alta velocidad de tránsito desde el lugar de precipitación hasta el cauce.

En la Gràfica No. 8 se muestran los componentes de un hidrograma durante una tormenta:

GRAFICA No. 8



1) El segmento AB muestra la disminución gradual del flujo base, en los momentos previos al inicio de la lluvia en forma intensa.

2) La escorrentía directa empieza a contribuir al caudal en el punto B, hasta alcanzar su pico en C y luego descender, hasta terminar en el punto D

3) El segmento DE muestra el inicio nuevamente de la recesión normal del flujo base.

Los segmentos AB y DE representan la recesión del flujo base.

El tramo BC es producto de la escorrentía directa o flujo rápido y se denomina "curva de concentración"

El punto C es el pico del hidrograma y representa el caudal máximo instantáneo.

El tramo CD representa la disminución gradual del aporte de la escorrentía directa, y se le conoce como "curva de descenso"

La curva de agotamiento se inicia en el punto D, y representa el descenso del caudal después de un tiempo relativamente largo, de forma tal que todo el aporte por escorrentía directa haya cesado.

Posteriormente, el único aporte al flujo base de la corriente será el flujo sub-superficial.

"Tiempo de Subida" (t_s) se le llama al intervalo de tiempo comprendido desde el inicio de la escorrentía directa hasta el pico o máximo.

"Tiempo de Base" (T) es el intervalo de tiempo comprendido desde el inicio de la escorrentía directa hasta el cese de la misma.

El área encerrada por el hidrograma representa el volumen total de agua escurrido en una sección del río.

La porción del hidrograma que se eleva sobre el flujo base puede aislarse de éste y es una buena medida del escurrimiento superficial verdadero.

HIDROGRAMA UNITARIO: Es el hidrograma de la escorrentia superficial como consecuencia de un aguacero corto y relativamente intenso, denominado "aguacero unitario"

AGUACERO UNITARIO: Es una lluvia intensa, uniforme y de corta duraciòn, que produce un hidrograma relativamente corto y con una sola cresta bien definida.

El Mètodo del Hidrograma Unitario fuè originalmente propuesto por Leroy K. Sherman en 1932 y tiene por objeto la pre-determinaciòn del hidrograma del escurrimiento superficial en la salida de una cuenca, conociendo el volumen de agua aportado y la distribuciòn en el tiempo del aguacero caído en dicha cuenca. En otras palabras, es una forma de estimaciòn del escurrimiento a partir de precipitaciones pluviales específicas.

II.2. Postulados del Hidrograma Unitario

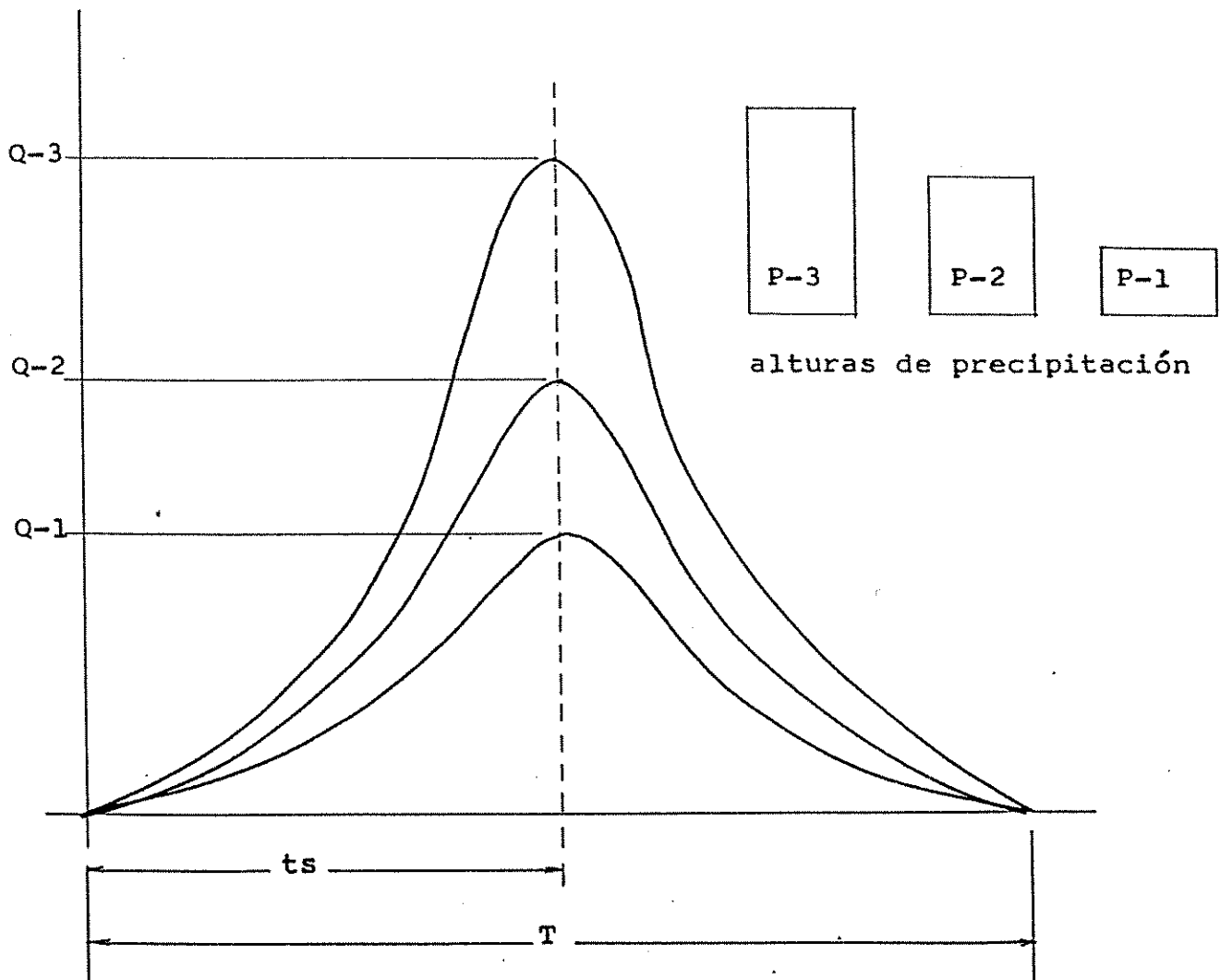
El Mètodo del Hidrograma Unitario se fundamenta en tres postulados, cuya validez ha sido demostrada experimentalmente. Esos principios bàsicos del mètodo se aplican exclusivamente a la fracciòn del caudal global en la salida aportado ùnicamente por el escurrimiento superficial.

Dichos postulados se enuncian así:

POSTULADO I

"Independientemente de la magnitud de la escorrentía, todos los hidrogramas unitarios de una cuenca tienen el mismo tiempo de base y el mismo tiempo de subida y una distribución afin respecto al tiempo". Lo cual se ilustra en la gráfica No. 9

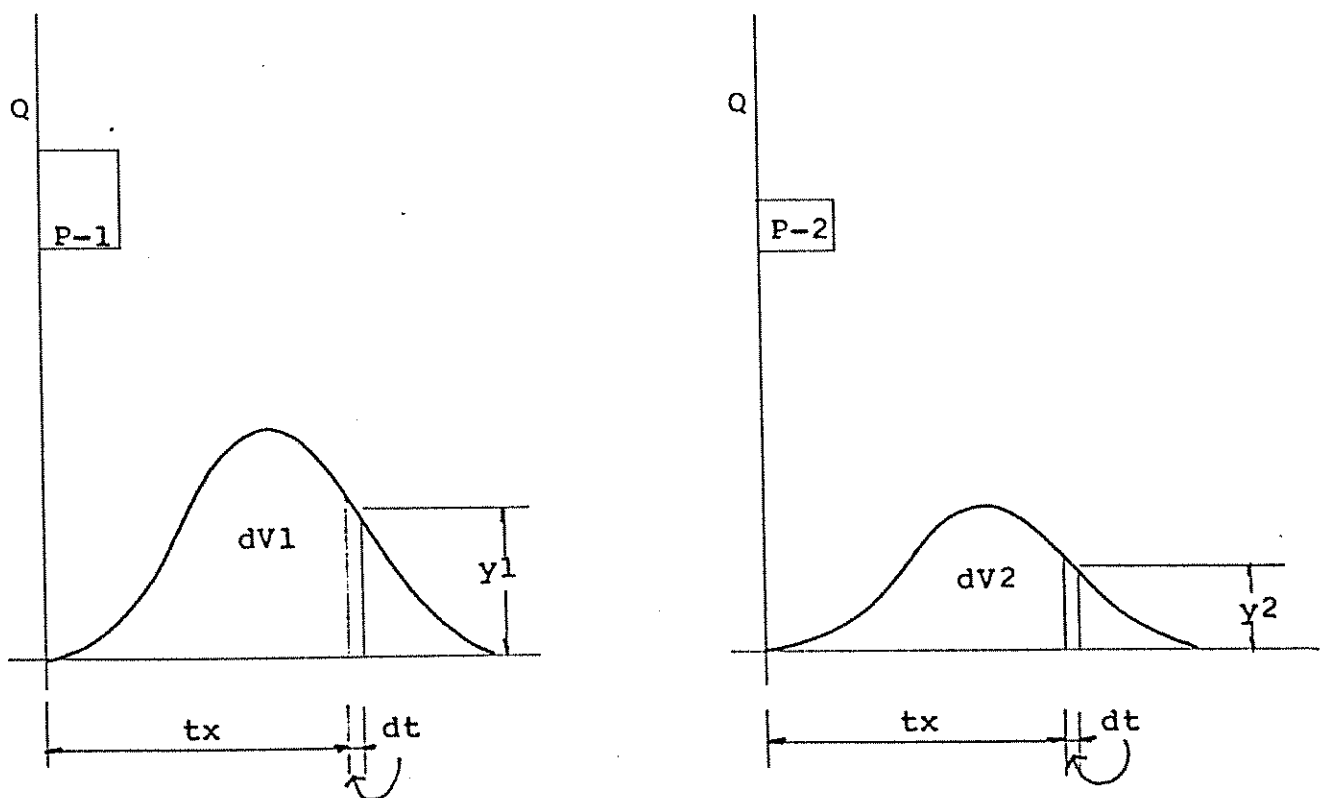
GRAFICA No. 9



POSTULADO II

"Para una misma cuenca, y para dos aguaceros unitarios de la misma duración, las ordenadas homologas (las correspondientes a un mismo tiempo) de los dos hidrogramas producidos, están en la misma relación que los respectivos volúmenes escurridos y también son directamente proporcionales a las alturas medias netas de los aguaceros unitarios correspondientes". Lo anterior se ilustra en la gráfica No. 10

GRAFICA No. 10



Demostración matemática del Postulado II

Asumir que los hidrogramas unitarios de la gráfica son de una misma cuenca y conservan las propiedades especificadas en el Postulado I

El primero es producido por una lluvia neta de altura P_1 y su volumen escurrido es V_1

El segundo es producido por una lluvia neta de altura P_2 y su volumen escurrido es V_2

Siendo A el área de la cuenca, se tienen las relaciones siguientes

$$V_1 = k * A * P_1 \quad \text{y} \quad V_2 = k * A * P_2$$

dividiendo las ecuaciones entre sí, se obtiene:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{P_2} \quad \text{ecuación (1)}$$

Como el área comprendida bajo la curva es igual al volumen escurrido, un diferencial de área será igual a un diferencial de volumen,

$$\text{entonces, } dV_1 = Y_1 * dt \quad \text{y} \quad dV_2 = Y_2 * dt$$

dividiendo las ecuaciones entre sí, se obtiene:

$$\frac{dV_1}{dV_2} = \frac{Y_1}{Y_2} \quad \text{ecuación (2)}$$

relacionando las ecuaciones (1) y (2)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{Y_1}{Y_2}$$

que demuestra la validez matemática del Postulado II

Al despejar la ordenada Y_2 de la relación anterior, se obtiene:

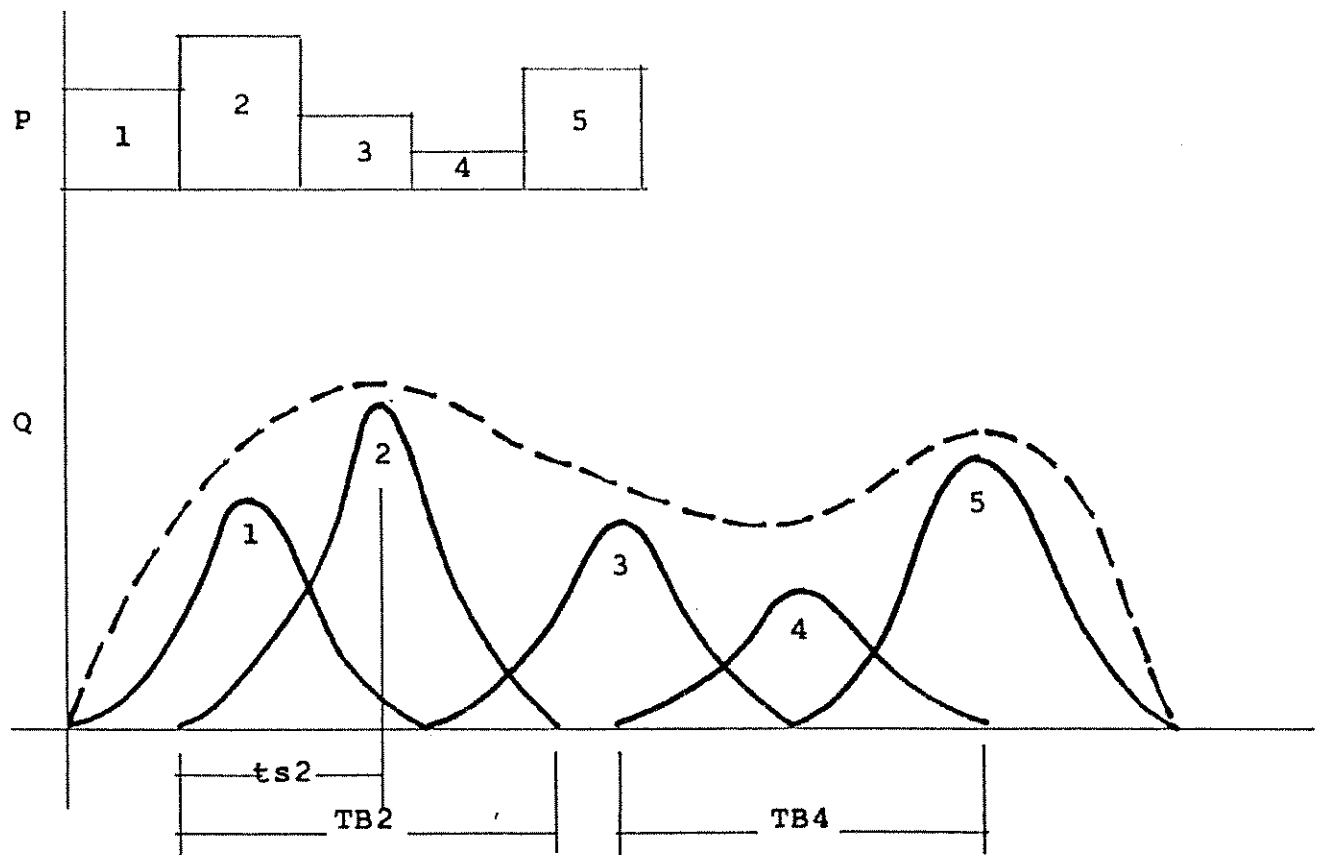
$$Y_2 = \frac{P_2}{P_1} Y_1$$

La última relación representa una de las propiedades más importantes del hidrograma unitario, ya que permite obtener el hidrograma ocasionado por cualquier aguacero de altura P_2 que se precipite sobre la cuenca, con sólo multiplicar las ordenadas del hidrograma unitario de altura P_1 (10 mm. por ej.), por la relación P_2 / P_1

POSTULADO III

El hidrograma resultante de un aguacero de duración mayor al del aguacero unitario (t_0) resulta de la adición de los hidrogramas unitarios formados al descomponer la tormenta en aguaceros parciales, de una duración menor a (P_0) y teniendo en cuenta, al hacer la suma, el desfase que hay entre los orígenes de estos últimos. La ilustración se observa en la gráfica No. 11

GRAFICA No. 11



II.3. Algunos métodos simplificados relacionados con el Método del Hidrograma Unitario.

A continuación se presentan algunos métodos adicionales para estimar el escurrimiento en un punto determinado de una corriente, a partir de precipitaciones pluviales específicas y analogías entre las características físicas de las cuencas.

II.3.1. METODO RACIONAL

Este método ha sido utilizado desde el siglo XIX para el diseño de alcantarillas de aguas de lluvia.

Supone que si una lluvia con intensidad "i" se inicia en forma instantánea y continúa indefinidamente, la tasa de escorrentia continuará hasta que se llegue al tiempo de concentración "tc", en el cual toda la cuenca estará contribuyendo al flujo en la salida.

El caudal de entrada al sistema es el producto de la intensidad de lluvia "i" y el área de la cuenca "A".

El coeficiente de escorrentia "C" es la relación entre el caudal "iA" y el caudal máximo "Q" que ocurre en el tiempo "tc"

El caudal se obtiene de la ecuación: $Q = C * i * A$

La duración utilizada para determinar la intensidad de precipitación de diseño "i" es el tiempo de concentración de la cuenca (tiempo de tránsito de flujo desde el punto más remoto hasta la salida de la cuenca).

En regiones urbanas, el àrea de drenaje normalmente està compuesta por varias sub-cuencas, con características superficiales diferentes. Se requiere, entonces un anàlisis múltiple que involucre las diversas variables de cada sub-cuenca. La esorrentia màxima se calcula:

$$Q = i \sum_{j=1}^m C_j * A_j$$

m = cantidad de sub-cuencas drenadas por el sistema

C = coeficiente de esorrentia para cada sub-cuenca

A = àrea de cada sub-cuenca

El mètodo racional asume lo siguiente:

a) El caudal màximo calculado en el punto de salida de la cuenca es una funciòn de la tasa de lluvia promedio durante el tiempo de concentraciòn.

b) El tiempo de concentraciòn utilizado es el que requiere la esorrentia para establecerse y fluir desde la parte màs lejana del àrea de drenaje hasta el punto de salida (o entrada al alcantarillado a diseñar).

c) Durante toda la tormenta, la intensidad de lluvia se mantiene constante.

d) Se asume, generalmente, que el coeficiente de escurrimiento superficial es constante en toda la cuenca y durante toda la duraciòn del aguacero.

En resumen, el Mètodo Racional equivale a admitir como hidrograma unitario instantàneo la derivada dA / dt de la funciòn $A = f(t)$, que representa el diagrama acumulado de distribuciòn de las àreas o bandas isòcronas de la cuenca A.

II.3.2. METODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO SINTETICO

Este método fue propuesto por F. F. Snyder en el año 1938 como resultado de un estudio de las cuencas en la región de los Montes Apalaches, en Estados Unidos de América.

Para la aplicación del mismo, se utiliza solamente la relación existente entre las características físicas de la cuenca y el hidrograma resultante, es decir, no requiere el conocimiento de datos de registro de caudales o precipitaciones en el cauce principal de una cuenca.

"Tiempo de Retardo de la cuenca" se define como el tiempo desde el centroide del histograma de la lluvia hasta el pico del hidrograma.

Según Snyder, el tiempo de retardo de la cuenca TR (en horas) se podría expresar como

$$TR = Ct (L * Lc)^{0.3} \quad (\text{ec.1})$$

donde:

Ct = coeficiente variable entre 1.35 y 1.65 (valores bajos para cuencas con pendientes altas).

L = longitud de la corriente principal, desde el punto de aforo hasta la divisoria de aguas, (en Kms.)

Lc = distancia desde el punto de aforo hasta el punto sobre la corriente que sea más próximo al centroide de la cuenca.

L*Lc = el resultado de este producto es una medida del tamaño y forma de la cuenca.

Asimismo, se asume una duraci3n standard para la lluvia: "tr"
$$tr = TR/5.5$$

resultando el caudal m3ximo del Hidrograma Unitario, "Qp"

$$Qp = (7.0 * Cp * A) / TR \quad (ec.2)$$

donde,

Qp = caudal pico del Hidrograma Unitario

7.0 = factor de conversi3n para obtener el caudal en Mts.³ / seg.

Cp = coeficiente variable entre 0.56 y 0.69

A = 3rea de la cuenca

TR = tiempo de retardo de la cuenca

Se adopta tiempo base del hidrograma "T"(d3as) = $3 + 3 TR / 24$ (ec.3)

Las constantes de la ec.3 est3n determinadas por el procedimiento utilizado para la separaci3n del flujo base con la esorrentia directa.

Las ecuaciones 1, 2, y 3 anteriores definen los tres factores indispensables para construir el hidrograma unitario para una duraci3n "tr"

Para cualquier otra duraci3n "Tr", el tiempo de retardo TRr estar3 dado por:

$$TRr = TR + (Tr - tr)/4$$

Este nuevo tiempo de retardo TRr deber3 utilizarse en las ecuaciones anteriores.

En vista que las relaciones entre las caracteristicas fisicas de una

cuenca y el hidrograma del cauce principal pueden ser extremadamente complejas, la utilidad de los métodos sintéticos para la construcción de hidrogramas unitarios pareciera tener un valor muy limitado.

II.3.3. METODO DE MUSKINGUM-CUNGE

El tránsito de caudales es un método para encontrar el hidrograma de caudal en un punto de una corriente de agua, utilizando hidrogramas conocidos o supuestos en uno o más puntos aguas arriba. En otras palabras, el tránsito de caudales es un análisis para seguir el caudal a través de un sistema hidrológico, a partir de una entrada.

El método de Muskingum es un procedimiento de tránsito hidrológico utilizado frecuentemente para manejar relaciones caudal-almacenamiento variables.

Este procedimiento "modela" el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación del almacenamiento de "cuña" y "prisma"

Durante la recesión, el caudal de salida es mayor que el caudal de entrada, resultando en una "cuña" negativa. Adicionalmente, existe un almacenamiento por "prisma" que está formado por un volumen de sección transversal constante, a lo largo de la longitud del canal prismático.

Si se asume que el área de la sección transversal del flujo de creciente es directamente proporcional al caudal en la sección, el volumen de almacenamiento por "prisma" es igual a KQ , donde "K" es un coeficiente de proporcionalidad.

El volumen de almacenamiento por "cuña" es igual a $KX(I - Q)$, donde "X" es un factor de ponderación dentro del rango 0 a 0.5

El almacenamiento total será la suma de dos componentes:

$$S = KQ + KX(I-Q) = K \{XI + (1-X)\} Q \quad (a)$$

La expresión (a) es conocida como la función de almacenamiento para el método de Muskingum.

El valor de X depende de la forma de almacenamiento por cuña modelado. Tal valor es variable desde 0 para un almacenamiento tipo embalse, hasta 0.5 para una "cuña" completamente desarrollada.

En corrientes naturales, "X" se encuentra entre 0 y 0.3. No es requerida gran precisión en la determinación de "X" debido a que los resultados del método son relativamente insensibles al valor de este parámetro.

El parámetro "K" es el tiempo de tránsito de una onda de creciente a través del tramo del canal.

Los valores de almacenamiento en el tiempo "j" y "j + 1" pueden escribirse:

$$S_j = K \{XI_j + (1-X)Q_j\}$$

$$S_{j+1} = K \{XI_{j+1} + (1-X)Q_{j+1}\}$$

Utilizando las ecuaciones anteriores, el cambio del almacenamiento durante el intervalo de tiempo "dt" será:

$$S_{j+1} - S_j = K \left\{ \left[XI_{j+1} + (1-X)Q_{j+1} \right] - \left[XI_j + (1-X)Q_j \right] \right\}$$

expresándose en términos de "I"

$$S_{j+1} - S_j = \frac{(I_j + I_{j+1}) dt}{2} - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} dt$$

relacionando las últimas dos ecuaciones y simplificando, se obtiene

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j$$

A la relación anterior se le conoce como "ecuación de tránsito para el método de Muskingum", donde:

$$C_1 = \frac{dt - 2KX}{2K(1 - X) + dt}$$

$$C_2 = \frac{dt + 2KX}{2K(1 - X) + dt}$$

$$C_3 = \frac{2K(1 - X) - dt}{2K(1 - X) + dt}$$

Nótese que $C_1 + C_2 + C_3 = 1$

Disponiendo de los hidrogramas de entrada y salida para un tramo del río, podrán determinarse los valores de K y X. Asumiendo varios valores de X y utilizando valores conocidos de caudales de entrada y salida, pueden calcularse valores sucesivos del numerador y denominador para la siguiente expresión K, deducida de las ecuaciones anteriores:

$$K = \frac{0.5 dt \{(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)\}}{X(I_{j+1} - I) + (1 - X)(Q_{j+1} - Q_j)}$$

En ausencia de hidrogramas de entrada y salida, los valores de "X" y "K" se pueden estimar utilizando las siguientes ecuaciones:

$$K = \frac{dx}{C_k}$$

$$X = 0.5 (1 - Q/BC_k S_o dx)$$

donde:

C_k = celeridad correspondiente a Q y B

B = ancho de la superficie del agua

dx = tramo de longitud del cauce

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

III. DERIVACION DEL HIDROGRAMA UNITARIO

III.1. Recopilación y procesamiento de datos

A partir del análisis y observación de los limnigramas existentes en el Archivo de la Unidad de Estudios Básicos del Instituto Nacional de Electrificación -I.N.D.E.- para la Estación Sinacantán, en la cuenca del río Los Esclavos, que corresponden a los periodos de registro que se inician en el año 1975 hasta el año 1994, se procedió a seleccionar las cinco que contienen las máximas crecidas y que presentan las mejores características para el análisis. Dichas avenidas corresponden a las ocurridas en las fechas siguientes:

- 6 Julio 1981
- 7 Junio 1984
- 28 Agosto 1985
- 21 Septiembre 1987
- 8 Octubre 1989

La selección de los limnigramas anteriores se efectuó tomando en cuenta lo siguiente:

- se descartaron los limnigramas de crecidas con varios picos
- se escogieron los que tienen tiempo de subida similar
- se prefieren que estén relativamente aislados

De los limnigramas seleccionados para el presente estudio, se obtuvieron datos de tiempo (en periodos de 30 minutos) y altura del nivel de agua (en mts.)

Utilizando la ecuación de descarga para cada periodo, y resolviendo para las diferentes alturas, se obtuvieron datos de caudal (mts.³ / seg) para cada periodo de tiempo, siendo posible entonces la construcción del hidrograma de la avenida.

III.2. Separación de flujos

Con los datos obtenidos de los limnigramas, se elaboraron hojas de cálculo, en las que se colocaron los valores para los caudales y su logaritmo, en cada periodo de tiempo.

A continuación, se procedió a trazar el hidrograma total sobre papel milimetrado, colocando los valores de caudal en las ordenadas, y el tiempo en el eje de las abscisas.

Es necesario aclarar que el criterio adoptado para definir el inicio y el final del hidrograma de la avenida, a partir del limnigrama del río, es:

- el inicio se toma en el periodo de recesión del flujo, en el transcurso de 2 a 4 horas antes de comenzar el ascenso brusco.
- el final queda definido aproximadamente, cuando la curva del limnigrama alcanza niveles similares a los existentes previo a la crecida.

Por conveniencia, para la separación de los diferentes tipos de flujo, se trazó en la misma hoja de papel milimetrado, en la parte inferior, el hidrograma con los datos de caudales transformados a su logaritmo; es decir, en una escala semi-logarítmica, ya que la escala horizontal correspondiente al tiempo, permanece constante.

En las Gráficas Nos. 12 y 13 que contienen los hidrogramas para las cinco avenidas analizadas, es posible observar que los mismos presentan una distribución afin respecto al tiempo, tal como lo establece el postulado I, descrito anteriormente.

Al analizar dichas gráficas se puede notar que los hidrogramas más representativos, debido a su similitud, son los que corresponden a las crecidas ocurridas el 7/6/84 y el 28/8/85.

Sin embargo, por presentar un caudal mayor la avenida ocurrida en 1985, y por ser originada por un periodo de lluvias aislado, se procederá a derivar el Hidrograma Unitario, para la cuenca bajo estudio, en base a dicha crecida.

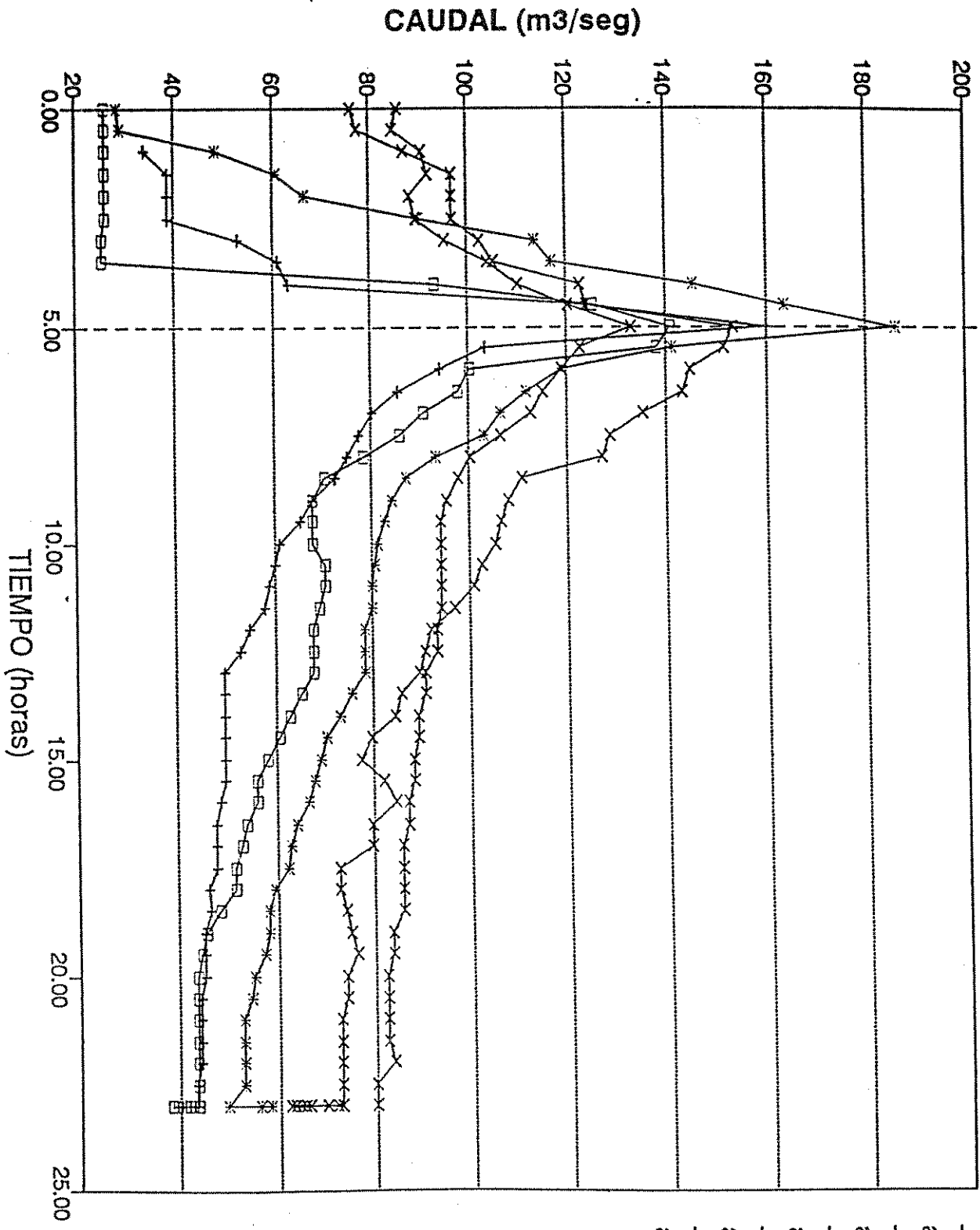
En la gráfica No. 14 (hidrograma de avenida p/ 28 Agosto 1985), se observa la separación de flujos:

-El punto A indica claramente un cambio brusco en la pendiente y se dirige hacia arriba: se define el inicio de la avenida en ese punto.

-El punto B está representado, asimismo, por un cambio brusco en la pendiente y se dirige hacia abajo: se define el pico de la avenida en ese punto.

-El punto C se localiza en la gráfica semi-logarítmica por un cambio de pendiente, a partir del cual se define la curvatura de la línea del flujo superficial.

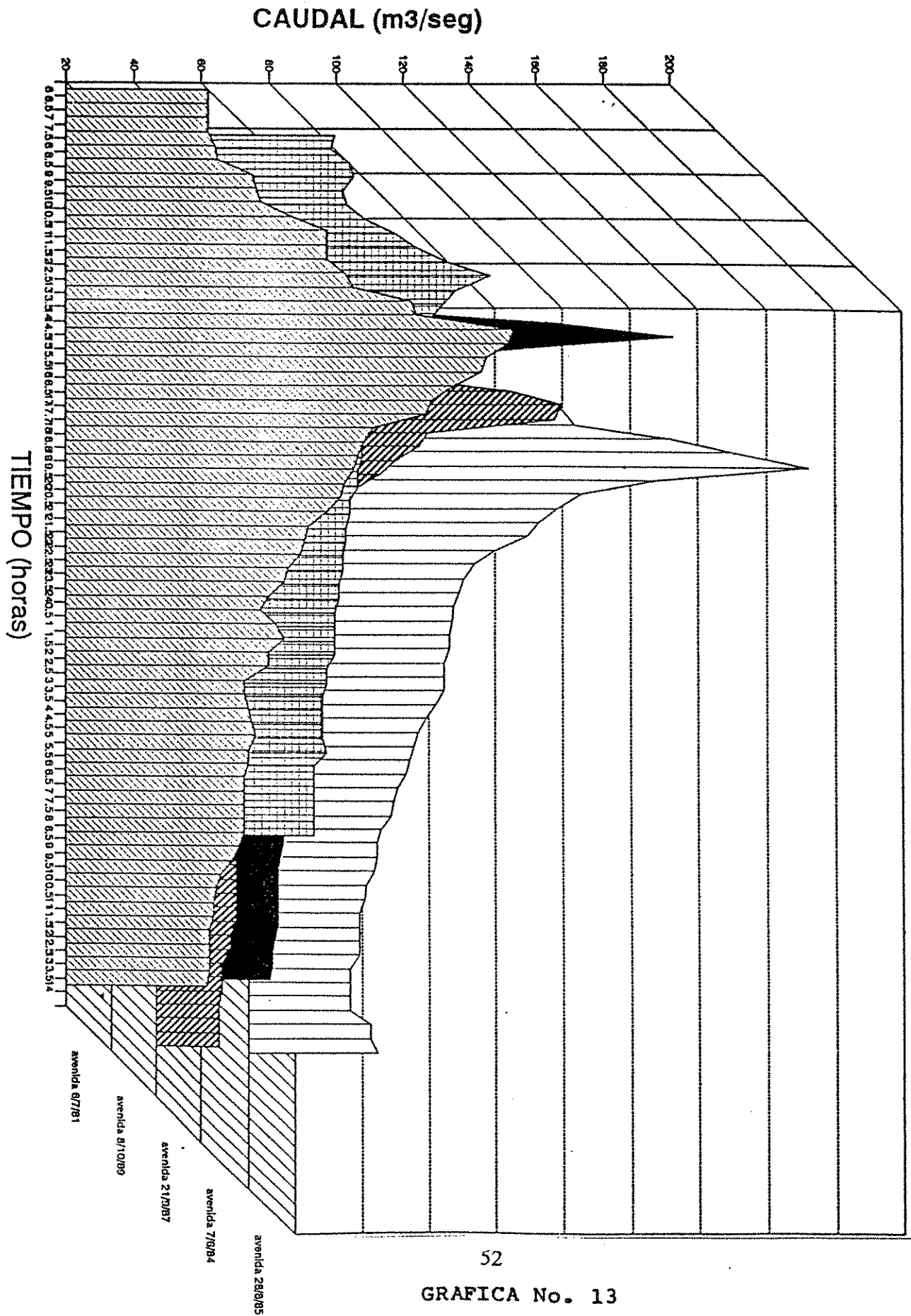
**ESTACION SINACANTAN
HIDROGRAMAS DE 5 AVENIDAS**



- x avenida 6/7/81
- + avenida 7/6/84
- * avenida 28/8/85
- avenida 21/9/87
- x avenida 8/10/89

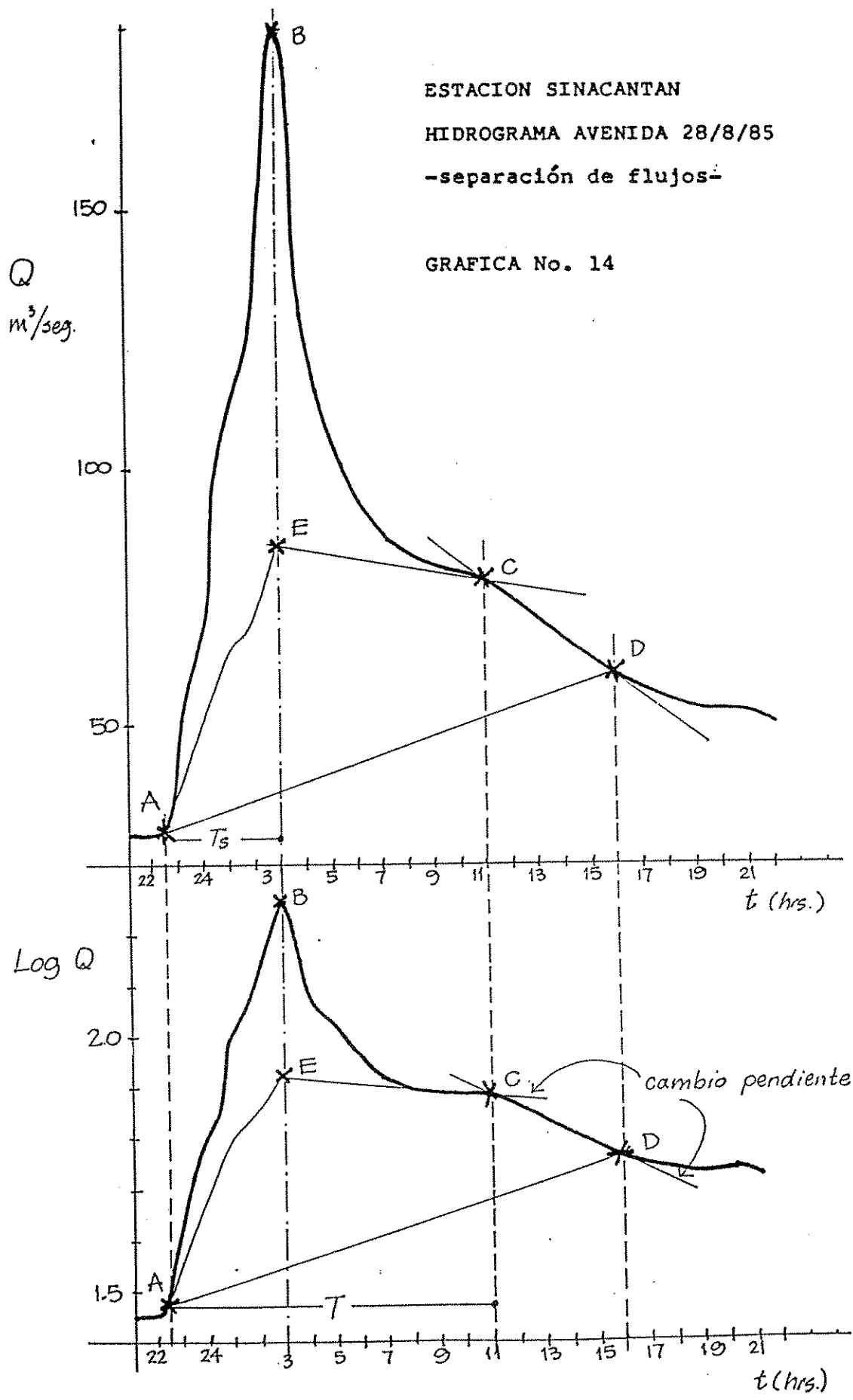
GRAFICA No. 12

**ESTACION SINACANTAN
HIDROGRAMAS DE 5 AVENIDAS**



ESTACION SINACANTAN
 HIDROGRAMA AVENIDA 28/8/85
 -separación de flujos-

GRAFICA No. 14



-El punto D se define asimismo, en la grafica semi-logaritmica por un cambio en la pendiente, hacia la parte final de la curva de recesión del hidrograma.

-Al unir los puntos A y D por una linea recta estará separado el flujo base o subterráneo.

-Para la separación del flujo sub-superficial o hipodérmico, se requiere localizar el punto E, el que estará sobre la linea que une el punto B o pico del hidrograma, con el tiempo de subida T_s en el eje horizontal, en la gráfica semi-logaritmica.

-El punto E se localiza en la intersección de la linea anterior T_s -B y la prolongación de la linea que parte del punto C, en la gráfica semi-logaritmica. A continuación, se determina en la gráfica, el valor de la ordenada en el punto E de la escala logaritmica y se traslada su valor transformado (antilogaritmo) a la gráfica normal.

El tramo de curva AE se traza "a ojo", siguiendo aproximadamente la tendencia del hidrograma original.

Luego, gráficamente se determinan los valores de las ordenadas (caudales), para cada periodo de tiempo (30 min.), de la curva AEC en la gráfica normal.

Con los datos obtenidos según el procedimiento descrito anteriormente, se elaboraron hojas de cálculo, con las columnas siguientes:

- Tiempo, en periodos de 30 minutos.
- Coordenadas totales del hidrograma. (caudal total)
- Coordenadas del flujo sub-superficial o hipodérmico.
- Coordenadas del flujo superficial: que resultan de la diferencia entre las coordenadas totales y las coordenadas del flujo sub-superficial.

-Coordenadas del Hidrograma Unitario de 10 mm.

En las Gráficas Nos. 15 y 16 se observan las curvas de los hidrogramas de flujo total è Hidrograma Unitario de 10 mm., respectivamente, para la avenida ocurrida el 28 Agosto 1985.

III.3. Determinación del volumen escurrido

En vista que el àrea encerrada por el hidrograma de escorrentia representa el volumen total escurrido, se tiene:

$$\text{Area} = \text{volumen} = \text{sumatoria } Q * dt$$

$$\text{Volumen} = \text{Precipitación neta} * \text{Area de la cuenca}$$

$$\text{Precipitación neta} = \frac{\text{sumatoria } Q * dt}{\text{Area de la cuenca}} \text{ mm.}$$

Al resolver las ecuaciones anteriores, se obtiene el volumen escurrido en la cuenca, expresado en unidades de altura (mm.)

III.4. Determinación de las coordenadas del Hidrograma Unitario.

Para determinar las ordenadas del Hidrograma Unitario de 10 mm. de escorrentia sobre la cuenca, se utiliza una propiedad derivada del Postulado II:

$$\frac{\text{Vol. escurrido (Ve)}}{\text{Vol. H.U. 10 mm (V-10)}} = \frac{\text{Ordenada hidrog. escorrentia (Y}_1\text{)}}{\text{Ordenada H.U. 10 mm. (Y}_2\text{)}}$$

CUENCA RIO LOS ESCLAVOS

ESTACION SINACANTAN

AÑO HIDROLOGICO: 1985 - 1986

AVENIDA: 3.00 HRS, 28/8/85, NIVEL: 2.39 mts.

ECUACION CALIBRACION: $Q = 7.91 (H+0.10)$

TIEMPO horas	NIVEL metros	CAUDAL mts.3/seg	LOG.Q	FLUJO TOTAL	FLUJO HIP/SUB.	FLUJO SUPERF.	H.U. 10
22.50	1.36	29.30	1.47	29.30	29.30	0.00	0.00
23.00	1.59	48.60	1.69	48.60	35.00	13.60	115.19
23.50	1.70	60.45	1.78	60.45	42.00	18.45	156.27
24.00	1.75	66.46	1.82	66.46	47.50	18.96	160.59
0.50	1.92	90.09	1.95	90.09	54.00	36.09	305.68
1.00	2.06	113.60	2.05	113.60	65.00	48.60	411.64
1.50	2.08	117.28	2.07	117.28	66.50	50.78	430.11
2.00	2.22	145.47	2.16	145.47	73.00	72.47	613.82
2.50	2.30	163.57	2.21	163.57	79.50	84.07	712.07
3.00	2.39	185.79	2.27	185.79	85.62	100.17	848.44
3.50	2.20	141.17	2.15	141.17	85.50	55.67	471.52
4.00	2.09	119.16	2.08	119.16	85.00	34.16	289.34
4.50	2.05	111.79	2.05	111.79	84.50	27.29	231.15
5.00	2.02	106.49	2.03	106.49	84.00	22.49	190.49
5.50	2.00	103.05	2.01	103.05	83.50	19.55	165.59
6.00	1.94	93.22	1.97	93.22	83.00	10.22	86.56
6.50	1.90	87.04	1.94	87.04	82.50	4.54	38.45
7.00	1.88	84.07	1.92	84.07	82.00	2.07	17.53
7.50	1.87	82.61	1.92	82.61	81.50	1.11	9.40
8.00	1.86	81.17	1.91	81.17	81.17	0.00	0.00

CUENCA RIO LOS ESCLAVOS

ESTACION SINACANTAN

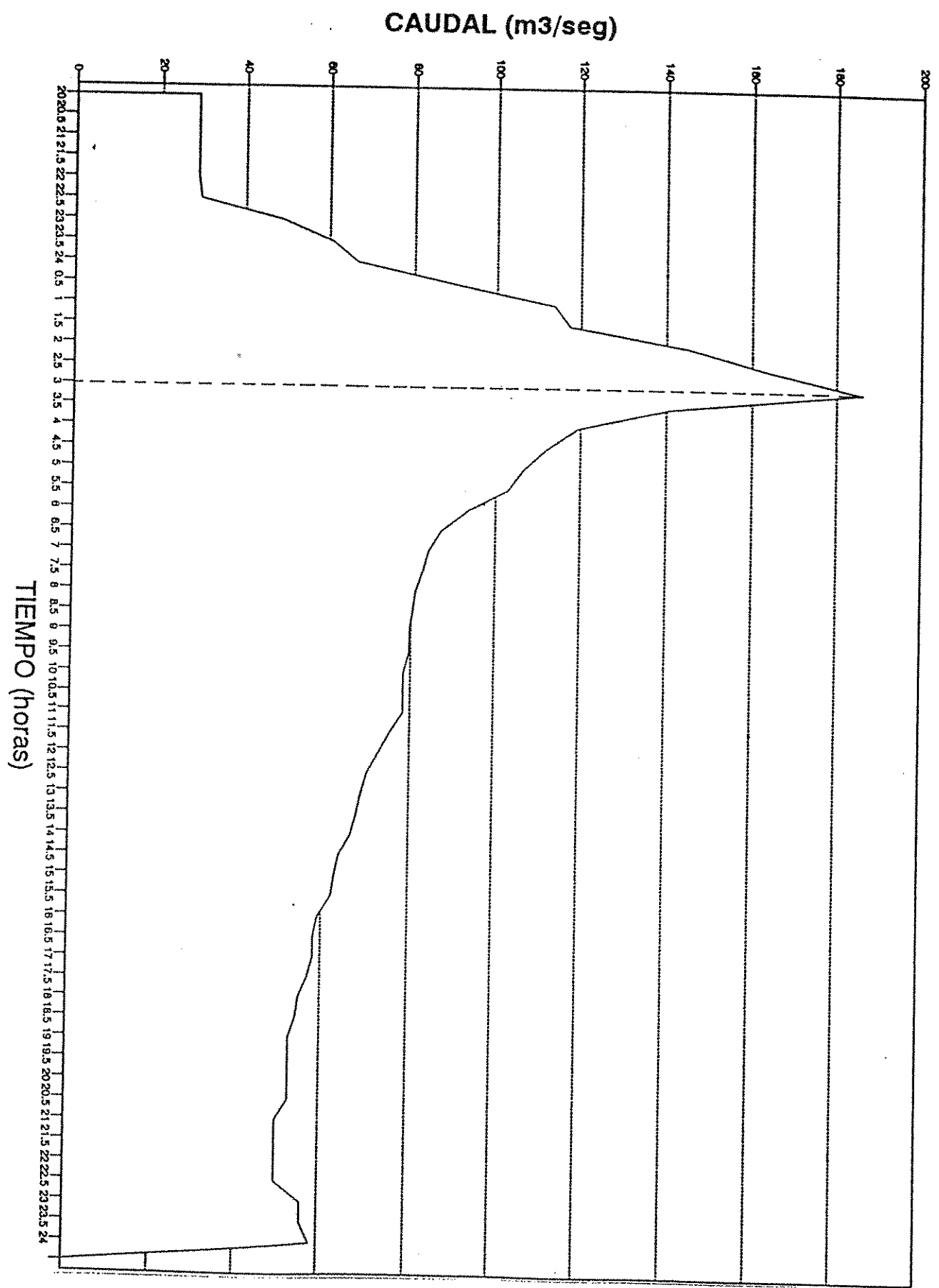
AÑO HIDROLOGICO: 1985 - 1986

AVENIDA: 3.00 HRS, 28/8/85, NIVEL: 2.39 mts.

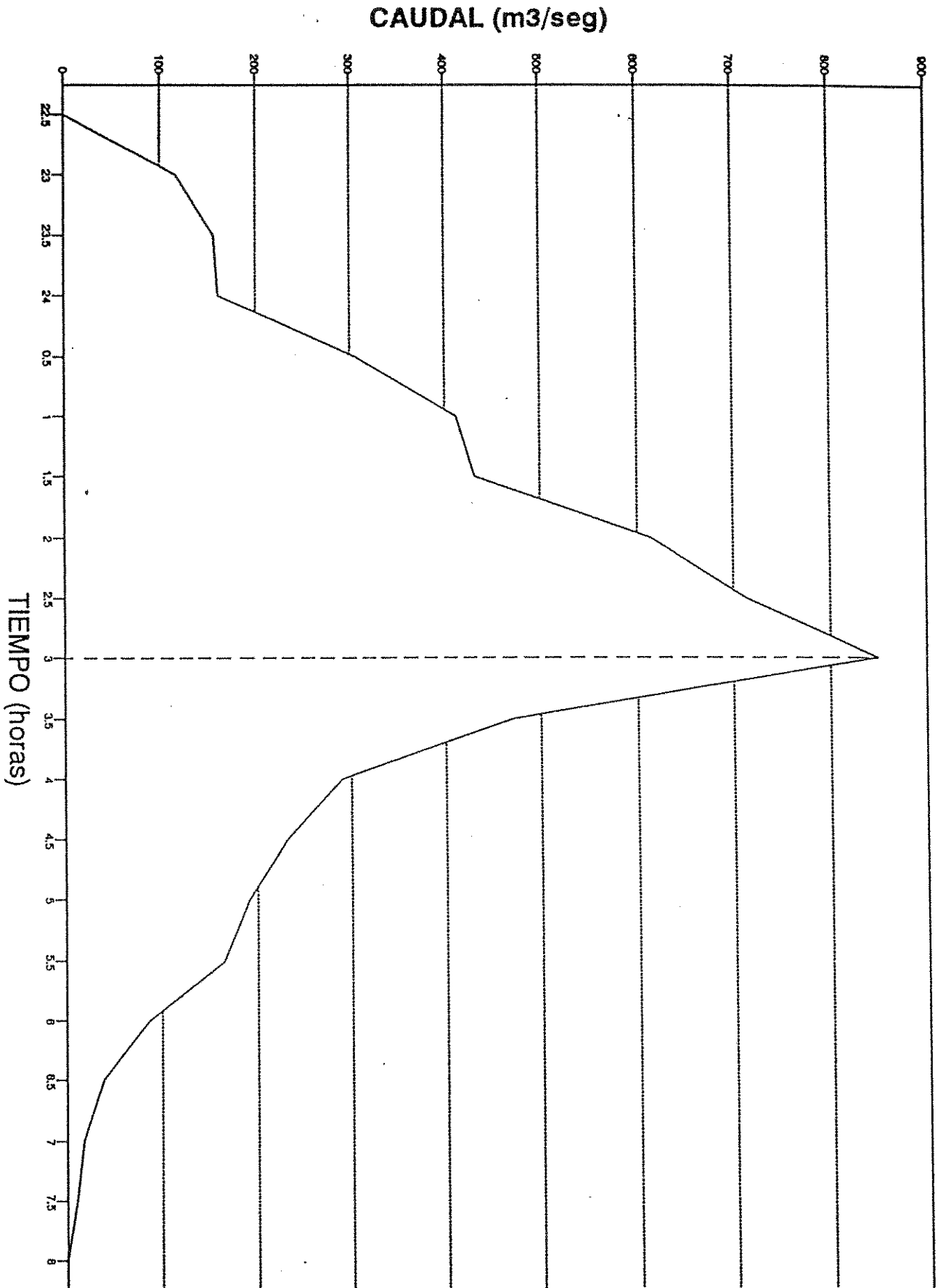
ECUACION CALIBRACION: $Q = 7.91 (H+0.10)$

TIEMPO horas	NIVEL metros	CAUDAL mts.3/seg	LOG.Q	FLUJO TOTAL	FLUJO HIP/SUB.	FLUJO SUPERF.	H.U. 10
22.50	1.36	29.30	1.47	29.30	29.30	0.00	0.00
23.00	1.59	48.60	1.69	48.60	35.00	13.60	115.19
23.50	1.70	60.45	1.78	60.45	42.00	18.45	156.27
24.00	1.75	66.46	1.82	66.46	47.50	18.96	160.59
0.50	1.92	90.09	1.95	90.09	54.00	36.09	305.68
1.00	2.06	113.60	2.05	113.60	65.00	48.60	411.64
1.50	2.08	117.28	2.07	117.28	66.50	50.78	430.11
2.00	2.22	145.47	2.16	145.47	73.00	72.47	613.82
2.50	2.30	163.57	2.21	163.57	79.50	84.07	712.07
3.00	2.39	185.79	2.27	185.79	85.62	100.17	848.44
3.50	2.20	141.17	2.15	141.17	85.50	55.67	471.52
4.00	2.09	119.16	2.08	119.16	85.00	34.16	289.34
4.50	2.05	111.79	2.05	111.79	84.50	27.29	231.15
5.00	2.02	106.49	2.03	106.49	84.00	22.49	190.49
5.50	2.00	103.05	2.01	103.05	83.50	19.55	165.59
6.00	1.94	93.22	1.97	93.22	83.00	10.22	86.56
6.50	1.90	87.04	1.94	87.04	82.50	4.54	38.45
7.00	1.88	84.07	1.92	84.07	82.00	2.07	17.53
7.50	1.87	82.61	1.92	82.61	81.50	1.11	9.40
8.00	1.86	81.17	1.91	81.17	81.17	0.00	0.00

ESTACION SINACANTAN
HIDROGRAMA AVENIDA 28/8/85



ESTACION SINACANTAN
HIDROGRAMA UNITARIO 28/8/85



resultando:
$$Y_2 = \text{sumatoria} \frac{Y_1}{V_e} * V-10$$

CALCULOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Avenida ocurrida el 28 Agosto 1985

$$\text{Volumen escurrido, } V_e = \frac{809.78 * 30 * 60}{1,233.85 * 10^6} = 1.18 \text{ mm.}$$

$$\text{Coordenadas H.U. 10 mm} = Y_2 = 10 / 1.18 * Y_1 = 8.47Y_1$$

donde

Y_2 = coordenadas del hidrograma unitario de 10 mm.

Y_1 = coordenadas del hidrograma de escorrentia

H.U. = hidrograma unitario

V_e = volumen de agua escurrido

H.U. 10 mm = hidrograma unitario de 10 mm.

IV. PRE-DETERMINACION DE AVENIDAS PARA LA CUENCA ANALIZADA.

IV.1. Definición de avenida.

Se define una avenida o creciente como "estado que tiene una corriente de agua en el instante que su caudal, que ha ido aumentando, excede un cierto valor específico"

Las magnitudes de las crecientes están descritas por sus caudales, sus elevaciones, sus volúmenes y su duración. Para el diseño hidrológico de las diferentes estructuras de control del flujo, los factores anteriores son elementos indispensables.

IV.2. Origen de las avenidas.

La precipitación es solamente uno de los varios parámetros que contribuyen a la magnitud de las avenidas que se encuentran en un sitio

determinado. Otros parámetros importantes incluyen el tamaño del área del terreno de donde se recoge la precipitación, la forma de esta área y la pendiente promedio a lo largo del canal principal por el que se conduce el agua de lluvia al sitio que se considera.

El tipo de terreno (permeable o impermeable), los cultivos, el uso de la tierra, y factores similares, todos contribuyen a la magnitud relativa de la avenida.

De todas estas variables, la más importante, en lo que se refiere a la magnitud de la avenida, es el área del terreno desde donde se recogen todas las lluvias hasta el sitio de la estructura diseñada, es decir, la cuenca.

Para cuencas pequeñas, el factor más importante, después del tamaño del área de drenaje, es la intensidad de la precipitación. Para cuencas grandes la variable más importante, después del tamaño del área de drenaje, es la pendiente del canal principal, seguida por la intensidad de la precipitación.

Una vez que comience a caer la lluvia, empezará a establecer su patrón de flujo a lo largo de la inclinación mayor del terreno. El porcentaje de acumulación dependerá de la densidad relativa de los canales de flujo disponibles. El agua fluye más rápidamente en los arroyos y otros canales que sobre el terreno natural. La velocidad del flujo depende de la pendiente de los canales.

El tiempo que tarda la primera gota de lluvia que cae en el punto más distante del área de drenaje, para llegar al punto de descarga de la cuenca se conoce como "tiempo de concentración" de la cuenca.

La experiencia ha demostrado que las avenidas más críticas proceden de lluvias cuya duración es cuando menos igual al tiempo de concentración.

Para los picos de las avenidas son, asimismo, muy importantes los efectos de los suelos superficiales y las características geológicas de la cuenca.

Dependiendo de la permeabilidad del terreno, parte de la precipitación se infiltra en la tierra durante su periodo inicial.

La temperatura, la cobertura vegetal, la estación del año son factores independientes de la cantidad de lluvia caída y provocan avenidas o caudales pico muy diferentes.

Asimismo, existen causas accidentales como pueden ser los derrumbes de terreno sobre el cauce principal, que provoca obstrucción de la corriente y desbordamiento.

Otras causas de las avenidas pueden ser:

- fusión de nieve
- almacenamiento y descongelación de hielo

En vista que en Guatemala no se dan las circunstancias y condiciones anteriores (hielo y nieve), no se analizarán sus efectos sobre las avenidas.

IV.3. Aplicación del Método del Hidrograma Unitario

a) Fijación de tiempo de recurrencia.

De acuerdo a la importancia de la obra que se esté proyectando se fija la frecuencia de ocurrimiento. Para efectos de ilustración, en el presente estudio se asumió un tiempo de recurrencia de 10 años.

b) Determinar Tiempo de Concentración de la cuenca "Tc"

Para determinar el tiempo de concentración de la cuenca, se utilizó la ecuación de California Culverts Practice, deducida en 1942 para pequeñas cuencas montañosas en California, y establece:

$$T_c = 60 \frac{11.9 L}{H} \quad (\text{minutos})$$

donde:

L = longitud del curso de agua más largo, (millas)

H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, (pies)

Para la cuenca analizada, se tienen los datos siguientes:

L = 18.2 Km., equivalentes a 11.31 millas

H = 2571 mts (-) 340 mts. = 2,231 mts., equivalentes a 7,319.46 pies

$$T_c = 60 \frac{11.9 * 11.31}{7,319.46} = 60 (2.3521) = 83.4 \text{ minutos}$$

c) Determinar la intensidad del aguacero.

En vista que no se encuentran disponibles en ninguna estación de la cuenca analizada las curvas de intensidad-frecuencia-duración para las lluvias, se utilizaron las curvas de intensidad de lluvia para la estación Asunción Mita (que pertenece a una cuenca cercana), para determinar su

intensidad con la frecuencia de 10 años, resultando:

$I(10 \text{ años}) = 49 \text{ mm/h}$ (para duración de 83.4 minutos), tal como se observa en la Gráfica No. 17

d) Determinación de la lluvia total

La lluvia total producida por el aguacero de duración $T_c = 83.4$ minutos, será:

$$P = I * T_c = \frac{49 * 83.4}{60} = 68.11 \text{ mm.}$$

e) Obtención del Índice de Infiltración ϕ

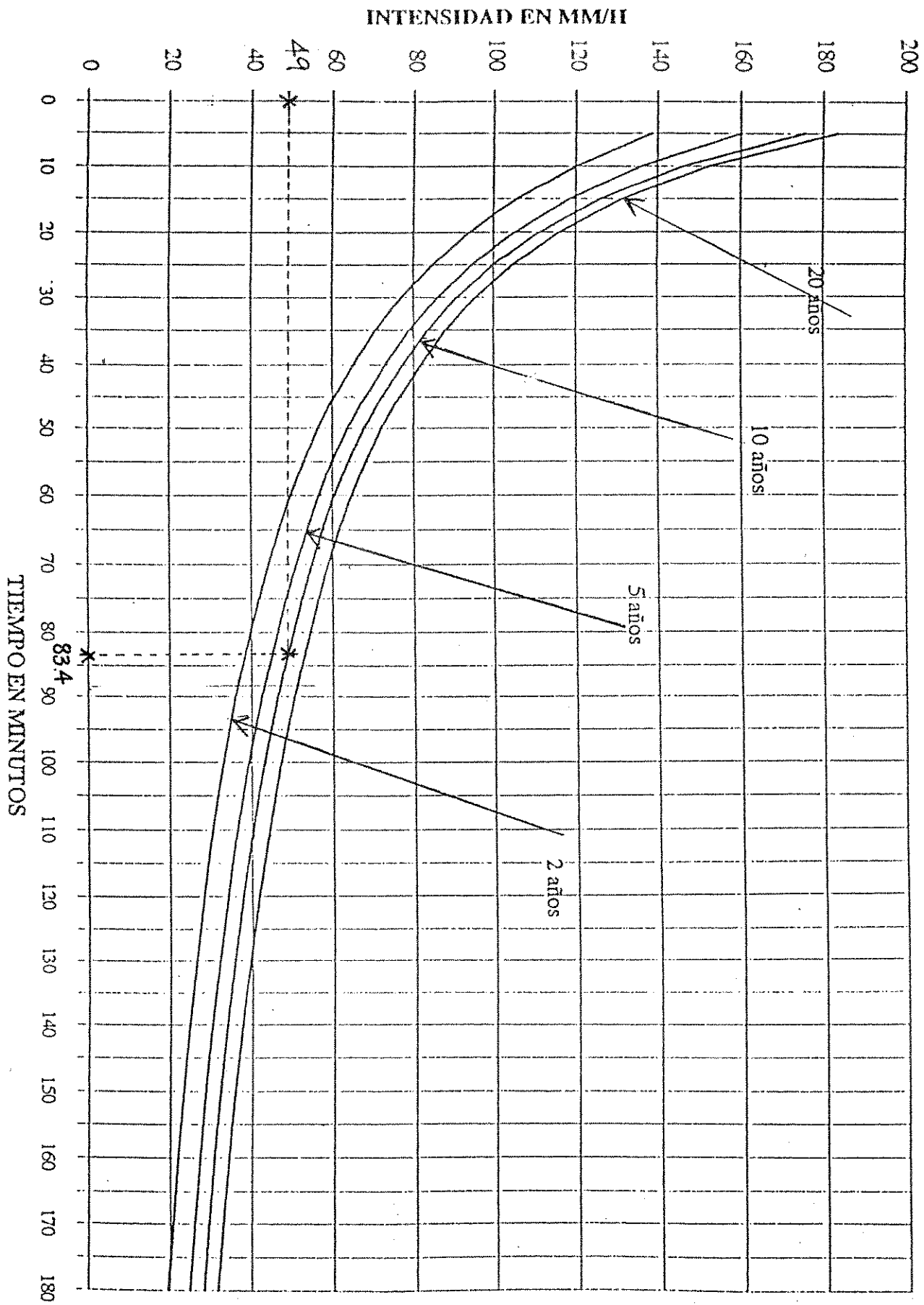
"índice de infiltración" es la tasa de precipitación por encima de la cual, el volumen de lluvia es igual al volumen total de escorrentía.

Con los datos de precipitación, se determinó un índice de infiltración:

$$\phi = \frac{P_{\text{total}} - P_{\text{neto}}}{P_{\text{total}}} = \frac{75.07 - 1.18}{75.07} = 0.984$$

Con los datos pluviométricos de la estación "Los Esclavos" situada a 5 Kms. aproximadamente aguas arriba de Sinacantán, se procedió en la forma siguiente:

CURVAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA ESTACION ASUNCION MITA



GRAFICA No. 17

i) Observación de pluviogramas de fechas 27, 28 y 29 Agosto 1985

27 Agosto: lluvia total del día = 11.2 mm.

28 Agosto: lluvia total del día = 83.9 mm.

29 Agosto: lluvia total del día = 9.1 mm.

ii) De lo anterior, se observa que la mayor cantidad de lluvia se precipitó el día 28 Agosto (83.9 mm.) y coincide el mismo día de ocurrencia de la avenida en la estación Sinacantán.

iii) A continuación se procedió al cálculo de las intensidades para intervalos de 5, 10, 15, 30, 50 y 120 minutos.

iv) Con los datos de intensidades se procedió al trazo del hietograma correspondiente, el cual se muestra en la Gráfica No. 18

v) Para determinar la precipitación total en el punto de observación, se procedió a calcular el área bajo la gráfica del hietograma, y resulta:

área resultante = 75.07 mm. = precipitación total

f) Obtención de la precipitación neta o esorrentia

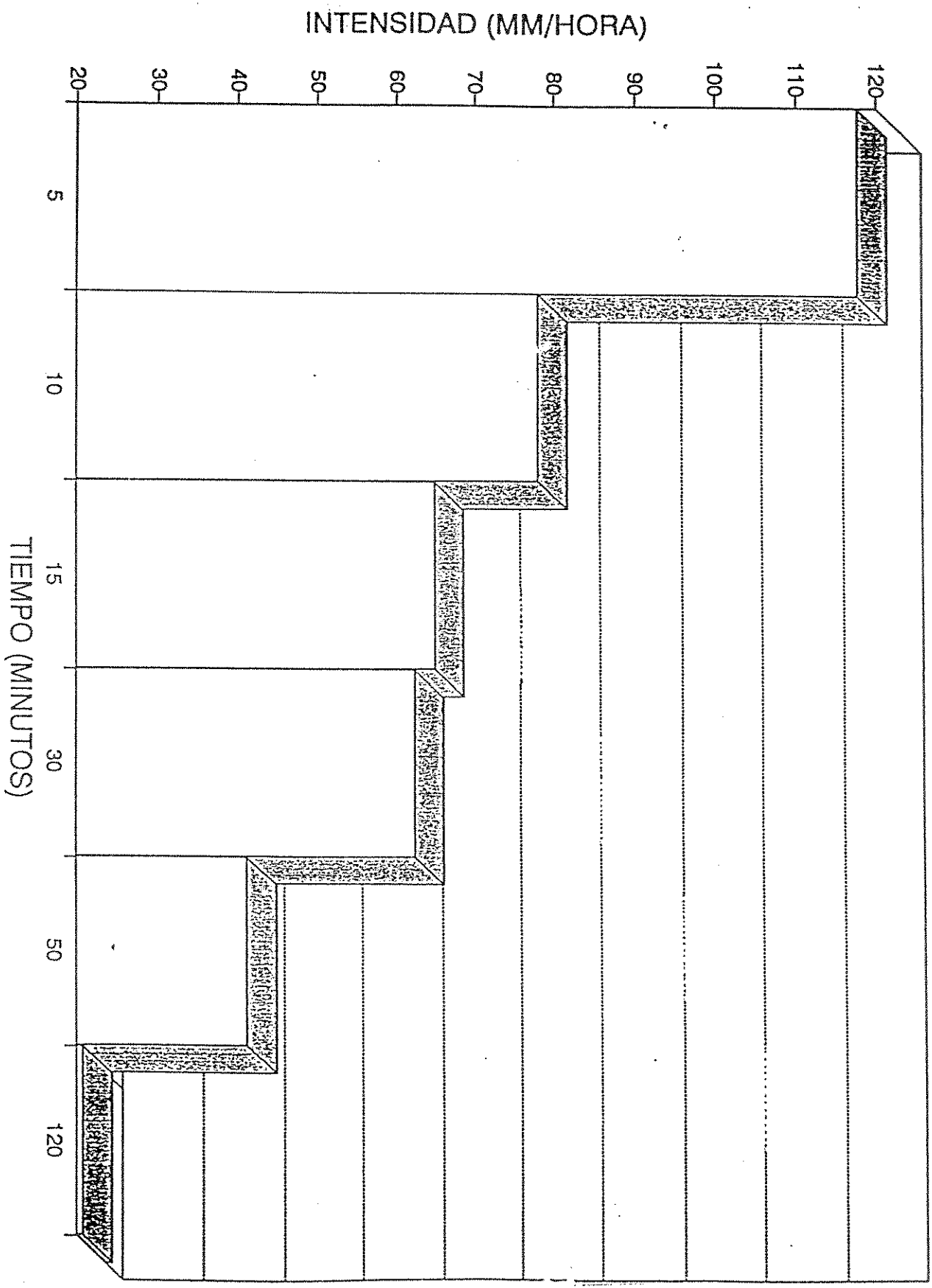
Conociendo el índice de infiltración $\phi = 0.984$ es posible calcular la cantidad de lluvia infiltrada:

$$68.11 * \phi = 68.11 * 0.984 = 67.02 \text{ mm.}$$

En consecuencia, la lluvia neta o esorrentia estará determinada por:

lluvia total (-) lluvia infiltrada: $68.11 - 67.02 = 1.09 \text{ mm.} = \text{lluvia neta}$

ESTACION LOS ESCLAVOS
HIETOGRAMA DIA 28/8/85



67
GRAFICA No. 18

g) Al relacionar la lluvia neta del aguacero, con el Hidrograma Unitario, se tiene:

$$Y_2 = \frac{\text{Vol.}_2}{\text{Vol.}_1} * Y_1 \quad \text{de donde, } Y_2 = \frac{1.09}{10} * Y_1$$

Y_1 = caudales del Hidrograma Unitario de 10 mm.

Y_2 = caudales del hidrograma resultante

Vol._1 = precipitación de 10 mm.

Vol._2 = precipitación neta ò escorrentia

h) A continuación se procedió a tabular los diferentes valores que resultan de la aplicación de la ecuación anterior a todos los datos existentes del Hidrograma Unitario de 10 mm., con intervalos de tiempo de 30 minutos.

La tabulación indicada se presenta más adelante.

Asimismo, se agregan los valores de caudales correspondientes al flujo base (escurrimiento subterráneo e hipodérmico).

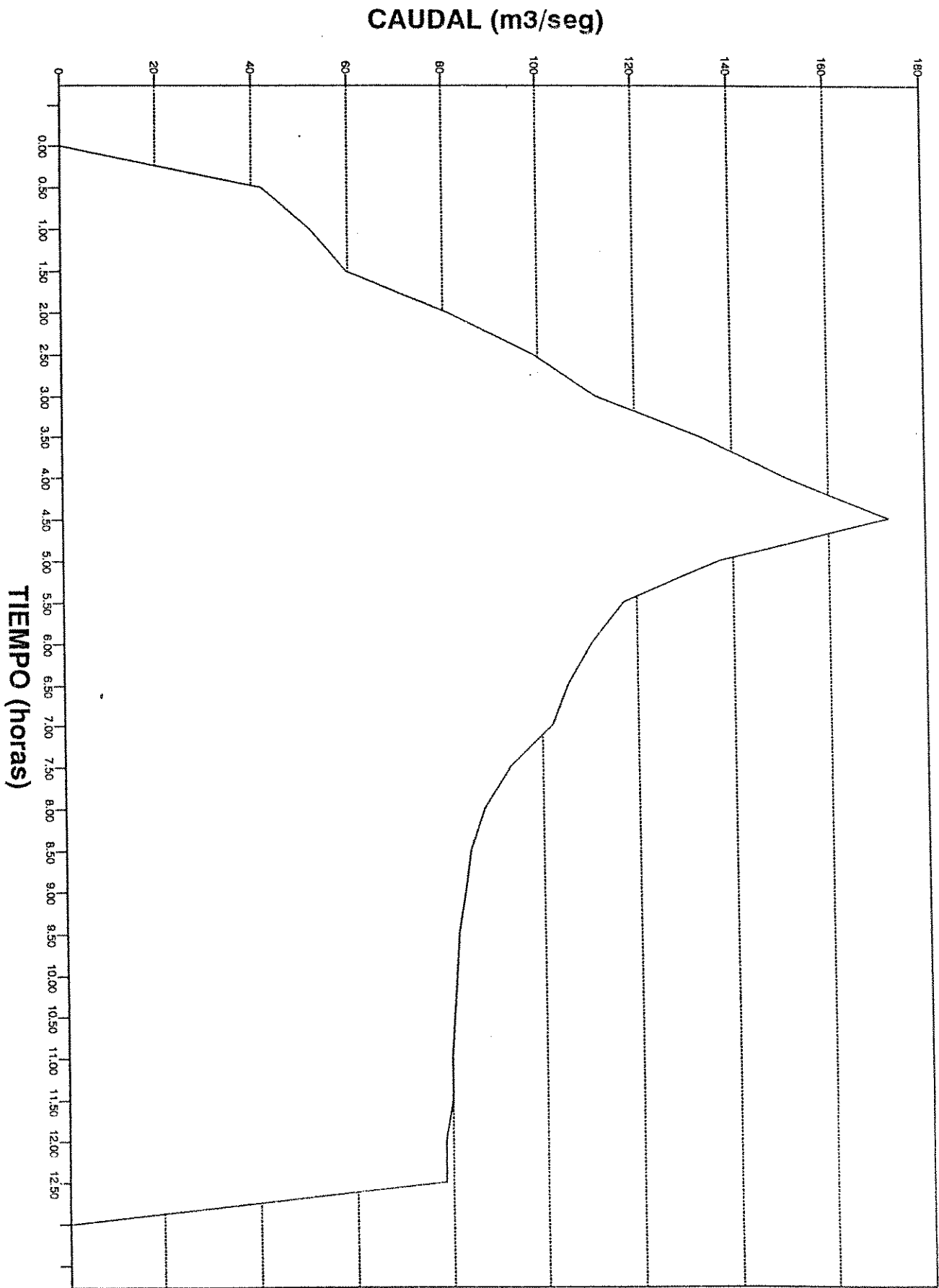
i) El valor de la ordenada máxima, resultante según el procedimiento descrito, corresponderá a la avenida máxima para la estación analizada, y en un periodo de recurrencia de 10 años.

Se ha determinado, en consecuencia, el valor probable de la avenida máxima que puede ocurrir en un periodo de recurrencia de 10 años. Para el caso analizado, resulta ser de 171.98 mts³/seg
El hidrograma correspondiente se presenta en la Gráfica No.19

**CUENCA RIO LOS ESCLAVOS
ESTACION SINACANTAN
CAUDALES PROBABLES PARA 10 ANOS**

TIEMPO	ESCOR	FLUJO	FLUJO
	PROBA	BASE	TOTAL
horas	m3/seg	m3/seg	m3/seg
0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	12.56	29.30	41.86
1.00	17.03	35.00	52.03
1.50	17.50	42.00	59.50
2.00	33.32	47.50	80.82
2.50	44.87	54.00	98.87
3.00	46.88	65.00	111.88
3.50	66.91	66.50	133.41
4.00	77.62	73.00	150.62
4.50	92.48	79.50	171.98
5.00	51.40	85.62	137.02
5.50	31.54	85.50	117.04
6.00	25.70	85.00	110.20
6.50	20.76	84.50	105.26
7.00	18.05	84.00	102.05
7.50	9.44	83.50	92.94
8.00	4.19	83.00	87.19
8.50	1.91	82.50	84.41
9.00	1.02	82.00	83.02
9.50	0.00	81.50	81.50
10.00	0.00	81.17	81.17
10.50	0.00	80.45	80.45
11.00	0.00	79.74	79.74
11.50	0.00	79.74	79.74
12.00	0.00	78.34	78.34
12.50	0.00	78.34	78.34

ESTACION SINACANTAN
CAUDALES PROBABLES 10 ANOS



GRAFICA No. 19

CONCLUSIONES

El Método del Hidrograma Unitario es posible aplicarlo en la mayoría de las cuencas del territorio de Guatemala con un alto grado de confianza, principalmente las de la vertiente del Océano Pacífico, por su tamaño mediano y por su condición de estado silvestre o natural en grandes extensiones.

Para la derivación del Hidrograma Unitario, existe una gran incertidumbre en lo que se refiere a la separación de flujos, ya que el procedimiento es gráfico y depende de la interpretación del analista.

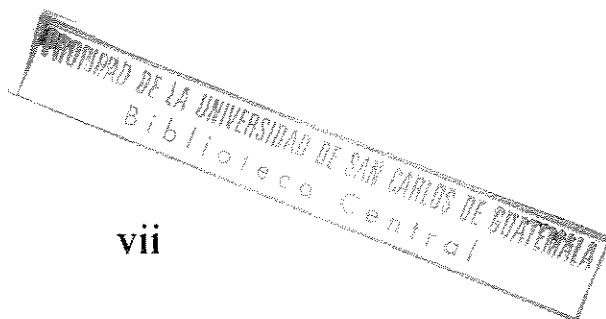
En la región analizada existen muy pocas estaciones de control hidrológico.

Debido a que actualmente no se dispone de las gráficas o curvas de intensidad de lluvia para la estación Sinacantán, y aun para la cuenca completa, en el presente estudio se utilizaron las curvas deducidas para la estación Asunción Mita, que aunque colindante con la cuenca analizada, presenta características generales diferentes.

No existe un programa de mantenimiento periódico en las estaciones existentes actualmente en la cuenca.

RECOMENDACIONES

- 1) Implementar programas para dotar de equipo moderno a todas las estaciones de control existentes actualmente.
- 2) Construcción e implementación de estaciones de control hidrológico para todas las cuencas en la República.
- 3) Deducir curvas de intensidad-frecuencia-duración para todas las estaciones pluviométricas existentes en la República.
- 4) Que se proceda a derivar Hidrogramas Unitarios para todas las estaciones limnimétricas existentes actualmente.
- 5) Implementar programas de control de avenidas, con objeto de prevenir desastres.
- 6) Establecer un programa amplio de mantenimiento para la red de estaciones hidrometeorológicas de la República.



BIBLIOGRAFIA

- 1. Linsley, Kohler, Paulus. HIDROLOGIA PARA INGENIEROS, 2a. Ediciòn. Colombia: Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A. 1977**
- 2. Chow, Maidment, Mays. HIDROLOGIA APLICADA, 1a. Ediciòn. Colombia: Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana, S.A. 1994**
- 3. Simon, A. L. HIDRAULICA BASICA, 1a. Ediciòn. Mèxico: Editorial Limusa, S.A. 1983**
- 4. G. Remenieras TRATADO DE HIDROLOGIA APLICADA, 1a. Ediciòn. España: Editores Tècnicos Asociados, S.A. 1971**
- 5. Fair, Geyer, Okun, ABASTECIMIENTO DE AGUAS Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES, Vol. I, 1a. Ediciòn. Mèxico: Editorial Limusa-Wiley, S.A. 1968**
- 6. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. SIMPOSIO SOBRE USO MULTIPLE DE CUENCAS. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 1969**
- 7. Apuntes de clase del Curso HIDROLOGIA. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala: Segundo Semestre, 1972**

8. Solòrzano, Alberto, APUNTES DE HIDROLOGIA. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 1971

9. Archivos. Unidad de Estudios Básicos. Depto. Planificación. Instituto Nacional de Electrificación -INDE- Guatemala, 1993, 1994 y 1995

10. Archivos. Sección de Climatología. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- Guatemala.

11. Erales C. Ricardo A. DERIVACION DEL HIDROGRAMA UNITARIO PARA UNA CUENCA DE GUATEMALA. Tesis de graduación de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 1968