

TESIS  
A  
95

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DPTO. DE ING. HIDROMETEOROLOGICA**

## **DESARROLLO DE HIDROGRAMAS VOLUMETRICOS**

**TRABAJO DE ASCENSO  
PRESENTADO POR EL  
PROF. VALDEMAR ANDRADE  
PARA OPTAR A LA CATEGORIA  
DE ASISTENTE.**

**CARACAS, OCTUBRE 1995**

# **ÍNDICE**

## **RESUMEN**

### **1. INTRODUCCIÓN**

### **2. ANTECEDENTES**

### **3. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **4. DESARROLLO DE LOS HIDROGRAMAS VOLUMÉTRICOS**

#### **4.1 De Largo Período**

**Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)**

#### **4.2 De Corto Período**

**Hidrograma de Extremos Volumétricos (HEV)**

#### **4.3 Caudal Base**

#### **4.4 Coincidencia del Caudal Pico Máximo y del Volumen Máximo**

### **5. APLICACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS VOLUMÉTRICOS**

#### **5.1 De Largo Período**

**Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)**

#### **5.2 De Corto Período**

**Hidrograma de Extremos Volumétricos (HEV)**

#### **5.3 Coincidencia del Caudal Pico Máximo y del Volumen Máximo Anuales**

### **6. CONCLUSIONES**

### **7. BIBLIOGRAFÍA**

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DPTO. DE ING. HIDROMETEOROLOGICA

TRABAJO DE ASCENSO: Desarrollo de Hidrogramas Volumétricos  
AUTOR: Prof. Valdemar Andrade

### RESUMEN

Se desarrollan dos (2) métodos para determinar los hidrogramas de crecientes de una cuenca, que consideran la ocurrencia de volúmenes extremos, definiendo los aportes, su distribución en el tiempo y el caudal máximo, para un período de retorno. Y son aplicables a cuencas de más de 5.000 Km<sup>2</sup>.

El primer método, llamado **Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)**, describe la variación temporal del escurrimiento para períodos largos (mayores a 1 mes), en el cual pueden ocurrir varias crecientes sucesivas.

El segundo método, llamado **Hidrograma de Extremos Volumétricos (HEV)**, proporciona los volúmenes parciales de escurrimiento para varios intervalos de días consecutivos y período de retorno definido, así como su distribución en el tiempo, la duración total del hidrograma y con el caudal pico correspondiente a esa frecuencia.

Ambos métodos han sido aplicados en la cuenca del río Caroní, como alternativa distinta al método de la Creciente Máxima Probable (CMP) o al de sus hidrogramas proporcionales.

En este trabajo, se presenta la aplicación de estos hidrogramas a la cuenca del río Caroní en el sitio de Guri, con un área de drenaje de 90.000 Km<sup>2</sup> y un período de registro que va desde 1950 hasta 1994.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un hidrograma de crecientes, es una de las labores que cotidianamente se realiza, en los estudios hidrológicos, para el diseño de estructuras hidráulicas o para determinar su operación en el caso de presentarse un evento de magnitud extrema.

En la mayoría de los casos se desarrolla el hidrograma de la Creciente Máxima Probable (CMP), cuando no se posee información de escurrimientos o cuando esta es muy escasa. Así como, los hidrogramas escalados de la CMP al considerar los valores de caudal máximo resultantes del análisis de frecuencia de los caudales máximos observados anualmente.

*En grandes obras com...*

Todos estos hidrogramas están planteados como el hidrograma aislado de una sola creciente, en donde el valor del pico es el de mayor relevancia; pero en las obras de ingeniería ubicadas sobre grandes ríos, el diseño de esas obras no solo va a depender del caudal máximo que debe ser capaz de desalojar, sino también del volumen asociado a un conjunto de crecientes que acompañan a ese hidrograma aislado y la forma de ocurrencia de ese volumen.

?

Las metodologías que a continuación se presentan tienen como objetivo el desarrollo de hidrogramas volumétricos, obtenidos de la información observada y del análisis de frecuencia de los mismos, siendo aplicables a cuencas medianas y grandes (mayores a 5.000 Km<sup>2</sup>). A su vez, tiene la intención de presentar alternativas distintas a los hidrogramas desarrollados a través de la CMP o de hidrogramas equivalentes a él.

La primera versión de este trabajo se realizó en 1985, el cual fue presentado en varios congresos y jornadas profesionales, basado en información registrada durante el período 1950/84, esta nueva versión, contempla una actualización de los registros para el período 1950/94, así como elementos adicionales en el desarrollo de hidrogramas volumétricos que no se plantearon en la versión original. Por lo que, aunque se describa los trabajos realizados en el año 1985, todas las tablas y gráficos presentaran la información actualizada hasta 1994.

*— Hay Mucho Variación ?*

## 2. ANTECEDENTES

Cuando en el año 1984 se planteó el rediseño de las obras de alivio en las presas del Bajo Caroní: Tocoma, Caruachi y Macagua II (gráfico 2.1.), afectadas por las descargas de Guri, para un caudal aliviado de diseño de  $30.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , se discutía si esas presas tenían que tener esa misma capacidad de alivio, la cual se obtuvo del tránsito del hidrograma de la Creciente Máxima Probable (CMP), calculada a inicios de los años 60, con un caudal máximo de  $55.200 \text{ m}^3/\text{s}$  y una duración de 23 días, a través del embalse de Guri (gráfico 2.2.).

Hay que destacar que la selección del método de la CMP, como creciente de diseño, se debió a la escasa información de crecientes que se disponía para la fecha en que se realizaron los primeros estudios de diseño de Guri (década de los 60).

Ya en 1984, se contaban con 35 años de registro de escurrimientos (1950/84), por lo que se plantea desarrollar un nuevo hidrograma de crecientes, distinto al de la CMP. Este nuevo hidrograma se desarrollo a partir del hidrograma de la CMP, siendo proporcional a él en su forma y en la que el Caudal Máximo Diario de Diseño (QMD) se obtenía de un análisis de frecuencia de caudales máximos diarios para un Período de Retorno (Tr) de 1.000 años (tabla 2.1 y 2.2, gráfico 2.3 y 2.4). \*

Durante los análisis preliminares del tránsito de estas crecientes por el embalse de Guri, se comprobó que debido a la gran capacidad de almacenamiento que posee este embalse, tanto los picos del hidrograma de la CMP, como su proporcional, se amortiguaban, por lo que los hidrogramas resultantes del tránsito (descargados por Guri), no traerían mayores inconvenientes para su desalojo en las presas aguas abajo.

Solo quedaba la incógnita del impacto sobre la presa de Guri, si en lugar de estar esta sometida a una creciente individual de pico extremo, fuese mas bien de volumen extremo, no individual y conformada por un conjunto de crecientes que acompañen a este hidrograma individual.

Se inició entonces la búsqueda de metodologías que enfocaran el desarrollo de un hidrograma, basado en el análisis de volúmenes extremos, durante un intervalo mayor de tiempo (de un mes o más), en ese momento no se encontró bibliografía que lo enfocara bajo este aspecto, por lo que se planteó un estudio conceptual, que diera como resultado la obtención de una o varias metodologías para la determinación de un hidrograma volumétrico; así surgió en ese momento (1984), el **Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)**, que reunía el aspecto volumétrico deseado.

Posteriormente, en el año 1985, en la revisión de los estudios para el rediseño de los aliviaderos de las presas del Bajo Caroní, se planteó una nueva metodología de hidrograma volumétrico que se denominó **Hidrograma de Extremos Volumétrico (HEV)**, que da el caudal pico correspondiente a una frecuencia determinada y

\* Al basarse en caudales máximos diarios quiere decir que no podrían utilizarse el método para obtener hidrogramas de t.b. < que períodos de 24 horas. Esto es lo que explica que no puedan aplicarse a caud. menores de  $5000 \text{ km}^2$

Contradicción al de un picos ≠ del CMP pero se obtiene a partir de aquí.

Para determinar la CMP de Guri se trasladó una tomografía realizada en la zona de Maturín.

proporciona los volúmenes parciales de escurrimiento para varios intervalos de días consecutivos y frecuencia, así como su distribución en el tiempo y la duración total del hidrograma de la creciente.

La metodología del HEV, surgida del HAVP, se plantea como sustituto de la CMP o de sus hidrogramas proporcionales, en los casos donde se disponga de información de escurrimiento para un largo periodo de tiempo y es aplicable a cuencas con áreas mayores a 5.000 Km<sup>2</sup>.

A parte de su aplicación inicial, en la cuenca del Caroní en Guri (90.000 Km<sup>2</sup>), se ha utilizado en los sitios: Caroní en Aripichí (26.000 Km<sup>2</sup>), en el área intermedia del río Caroní entre Guri y Caruachi (7.000 Km<sup>2</sup>), así como en otros puntos de interés de la cuenca del Caroní.

*La utilidad es más bien restringida al depender de la disponibilidad de información de largo periodo.*

# GRAFICO 2.1 DESARROLLO HIDROELECTRICO DEL BAJO CARONI

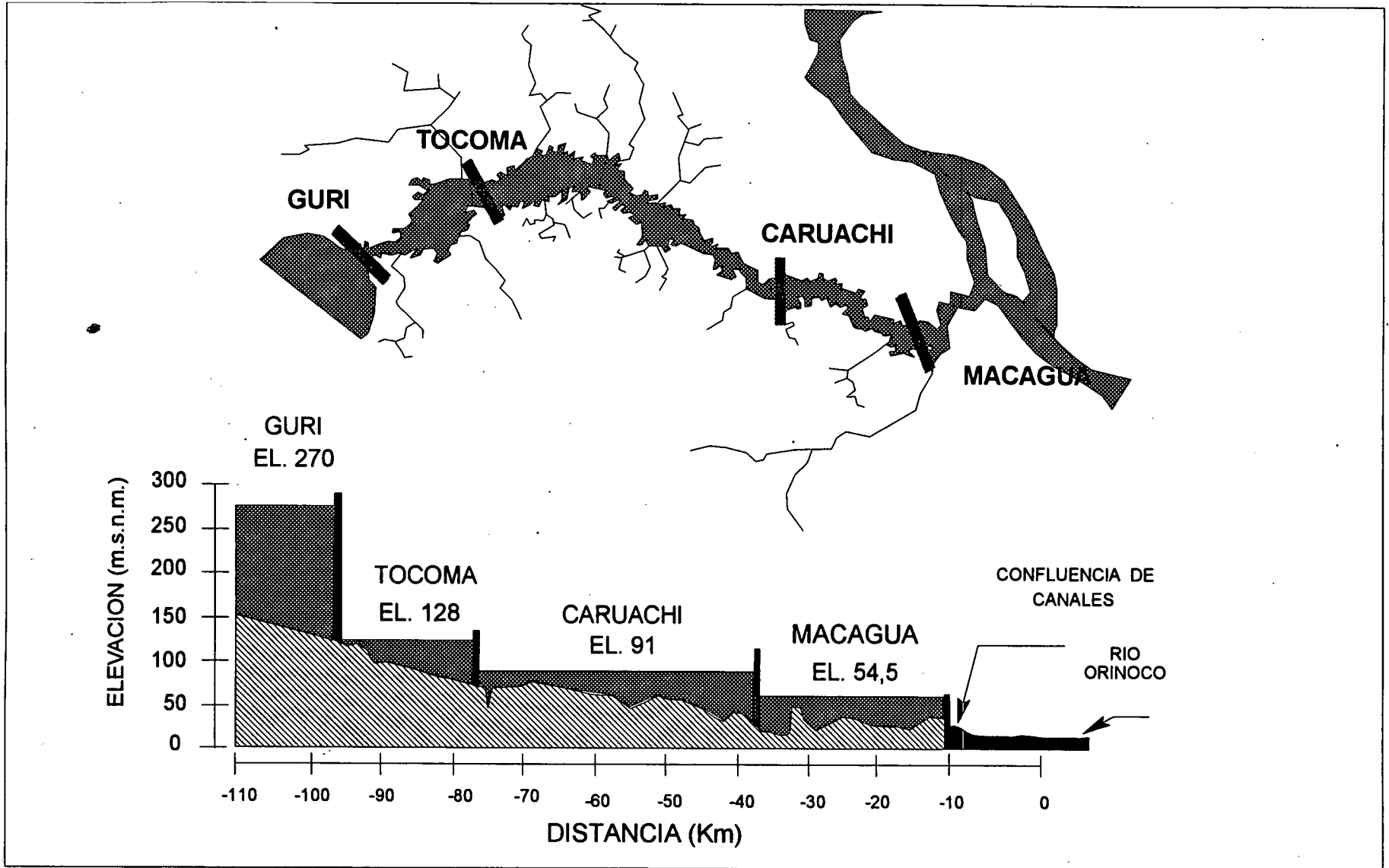
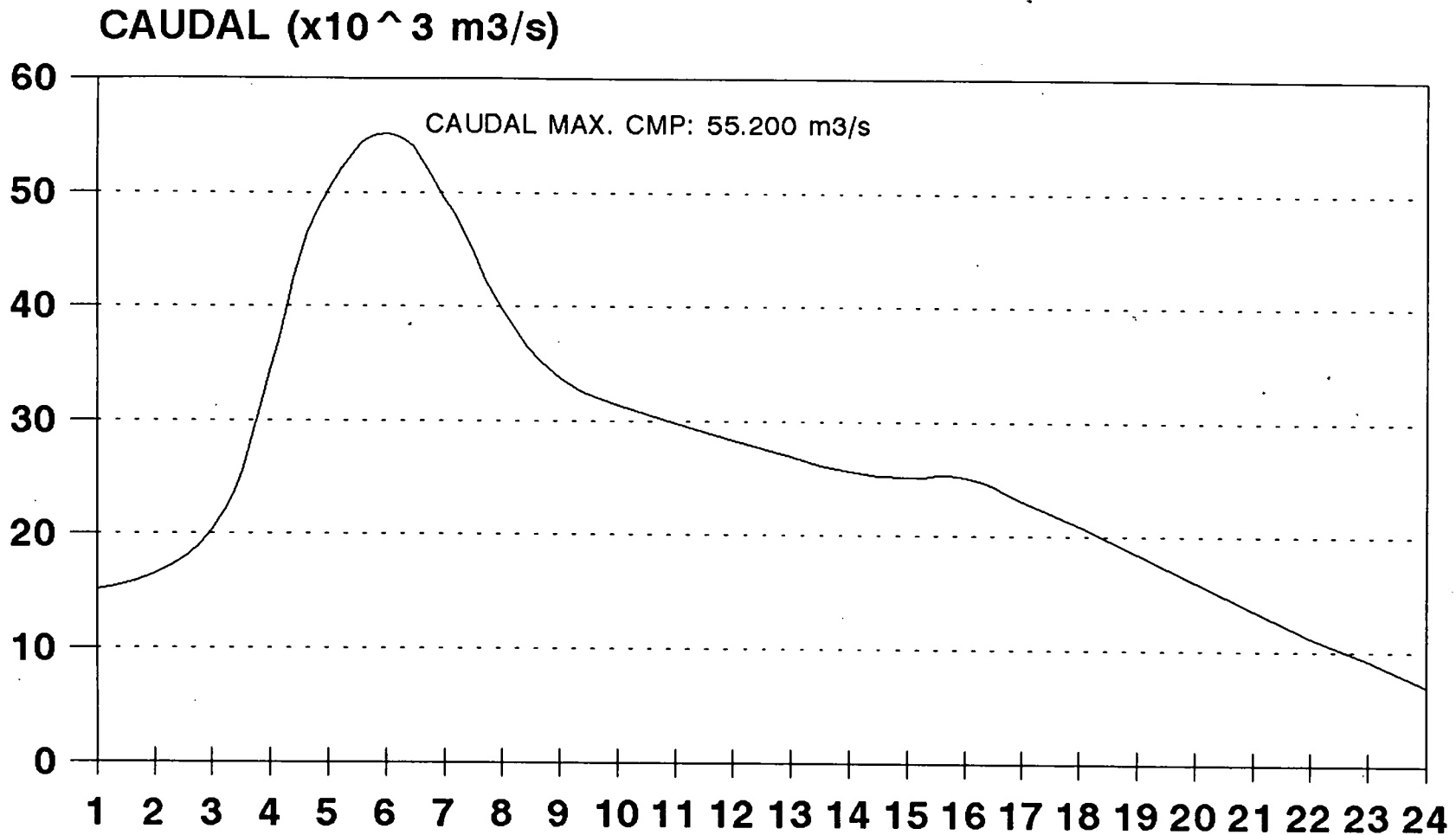


GRAFICO 2.2  
HIDROGRAMA DE LA CMP  
RIO CARONI EN GURI (1950/94)



— CMP

*Se conoce el H.U.  
afectado a la PMP?  
Como se obtuvo?  
Cual fue la denominación de la PMP?*

TABLA 2.1

ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS  
CAUDAL MAXIMO DIARIO  
RIO CARONI EN GURI (1950/1994)

*Se probó Pearson!*

AÑO	CAUDAL MAXIMO		PERIODO DE RETORNO	VARIABLE REDUCIDA
	OBSERVADO	ORDENADO		
	(m3/s)	(m3/s)	(AÑOS)	
1950	11863	17576	46.00	3.82
1951	12482	17252	23.00	3.11
1952	11888	16844	15.33	2.70
1953	11961	16317	11.50	2.40
1954	12606	16081	9.20	2.16
1955	10729	15656	7.67	1.97
1956	13573	15051	6.57	1.80
1957	16317	14694	5.75	1.66
1958	11476	14539	5.11	1.52
1959	12278	14224	4.60	1.41
1960	11251	14027	4.18	1.30
1961	13345	13948	3.83	1.20
1962	14694	13902	3.54	1.10
1963	13398	13657	3.29	1.01
1964	10630	13573	3.07	0.93
1965	9283	13545	2.88	0.85
1966	14224	13398	2.71	0.77
1967	15656	13345	2.56	0.70
1968	13161	13272	2.42	0.63
1969	12212	13233	2.30	0.56
1970	12433	13161	2.19	0.49
1971	13272	13113	2.09	0.43
1972	13545	13055	2.00	0.37
1973	13007	13007	1.92	0.30
1974	10811	12875	1.84	0.24
1975	12875	12606	1.77	0.18
1976	17252	12482	1.70	0.12
1977	14027	12474	1.64	0.06
1978	13657	12433	1.59	0.00
1979	16844	12278	1.53	-0.05
1980	11896	12212	1.48	-0.11
1981	15051	11984	1.44	-0.17
1982	13233	11961	1.39	-0.23
1983	13055	11896	1.35	-0.30
1984	13113	11888	1.31	-0.36
1985	11984	11863	1.28	-0.42
1986	12474	11626	1.24	-0.49
1987	11595	11595	1.21	-0.56
1988	13902	11476	1.18	-0.63
1989	13948	11251	1.15	-0.71
1990	11626	10811	1.12	-0.80
1991	16081	10729	1.10	-0.89
1992	10490	10630	1.07	-1.00
1993	14539	10490	1.05	-1.14
1994	17576	9283	1.02	-1.34
PROMEDIO:	13140.29			0.55
DESVIO:	1837.98			1.16

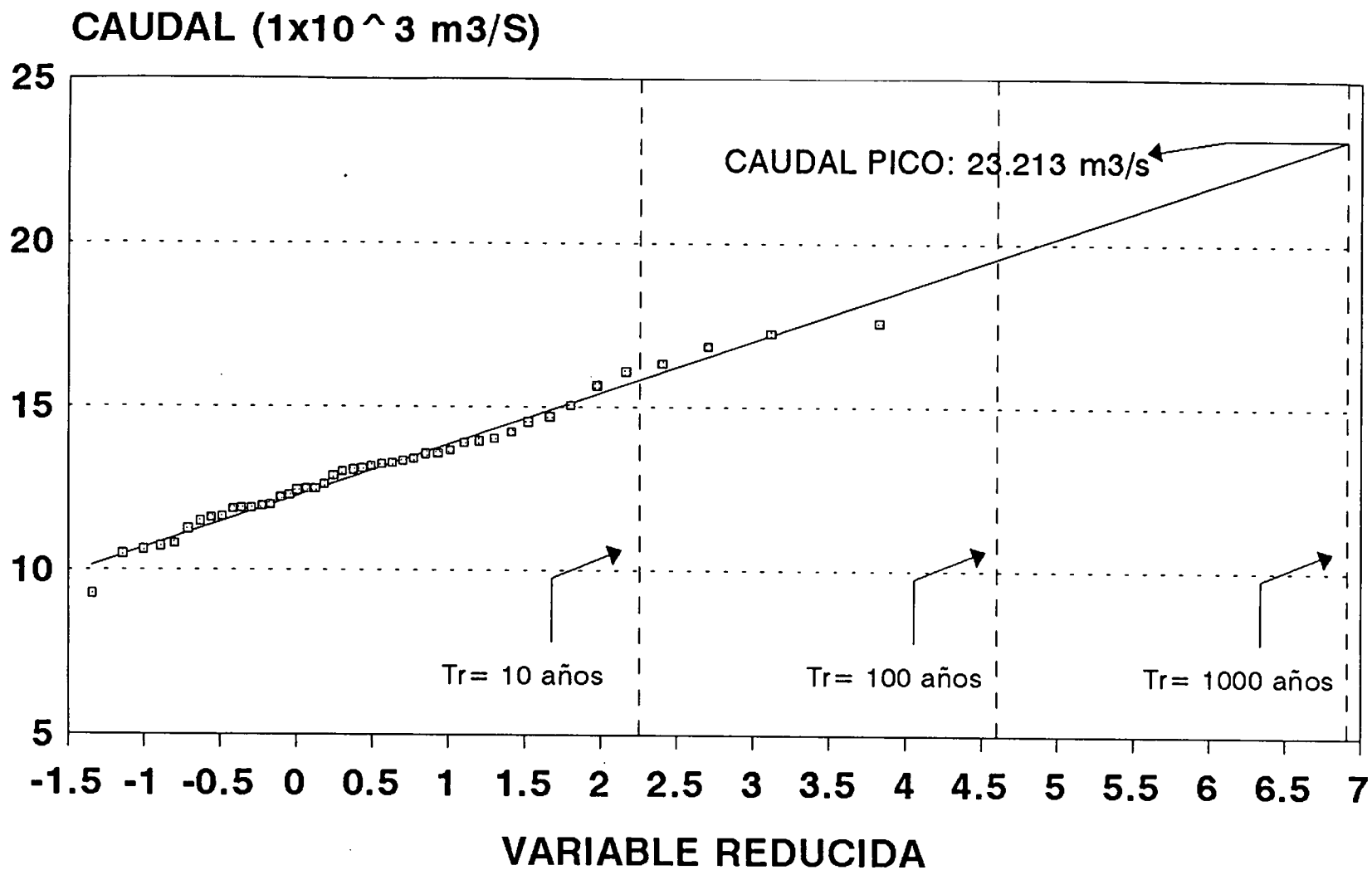
TABLA 2.2

**HIDROGRAMAS DE LA CRECIENTE MAXIMA PROBABLE (CMP)  
Y SU PROPORCIONAL DE PERIODO DE RETORNO DE 1000 AÑOS  
RIO CARONI EN GURI (1950/1994)**

DIA	HIDROGRAMAS	
	DE LA CMP	DE Tr= 1.000 AÑOS
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
0	15100	6350
1	16490	6934
2	20325	8547
3	34640	14567
4	50350	21173
5	55200	23213
6	49520	20824
7	39725	16705
8	33720	14180
9	31410	13209
10	29790	12527
11	28270	11888
12	26800	11270
13	25635	10780
14	25175	10587
15	25175	10587
16	23100	9714
17	20880	8781
18	18475	7769
19	16030	6741
20	13490	5673
21	11180	4701
22	9150	3848
23	6930	2914

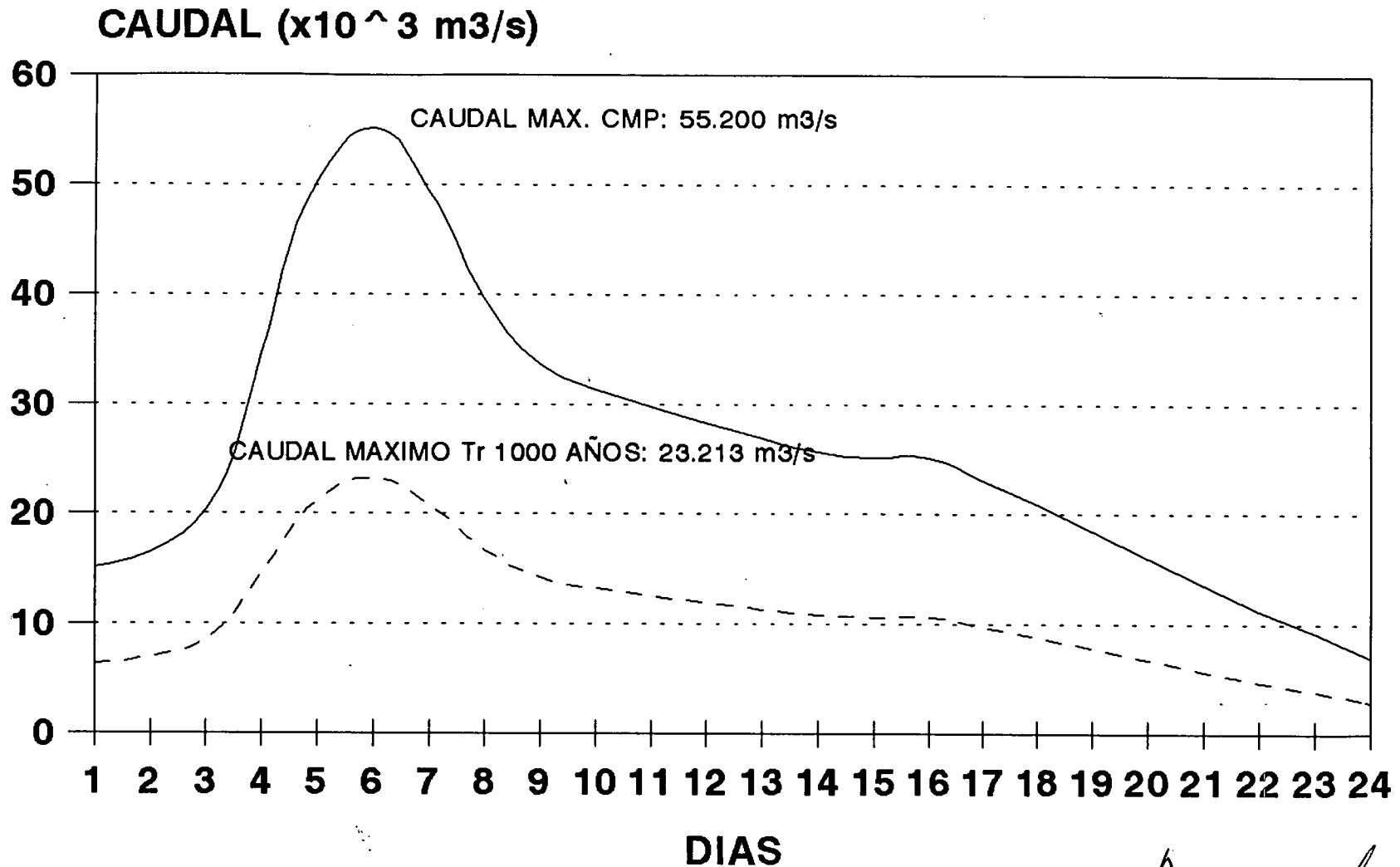
*Con la proporcionalidad se asume que el tiempo de  
decrecimiento del pico de 1000 años es el mismo que el  
de la CMP y con ello que la duración de la lluvia de  
1000 años es la misma de la PMP de se hizo algún análisis  
sobre esto? Por que podrían, no coincidir.*

GRAFICO 2.3  
ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS DE CAUDAL MAXIMO DIARIO  
RIO CARONI EN GURI (1950/1994)



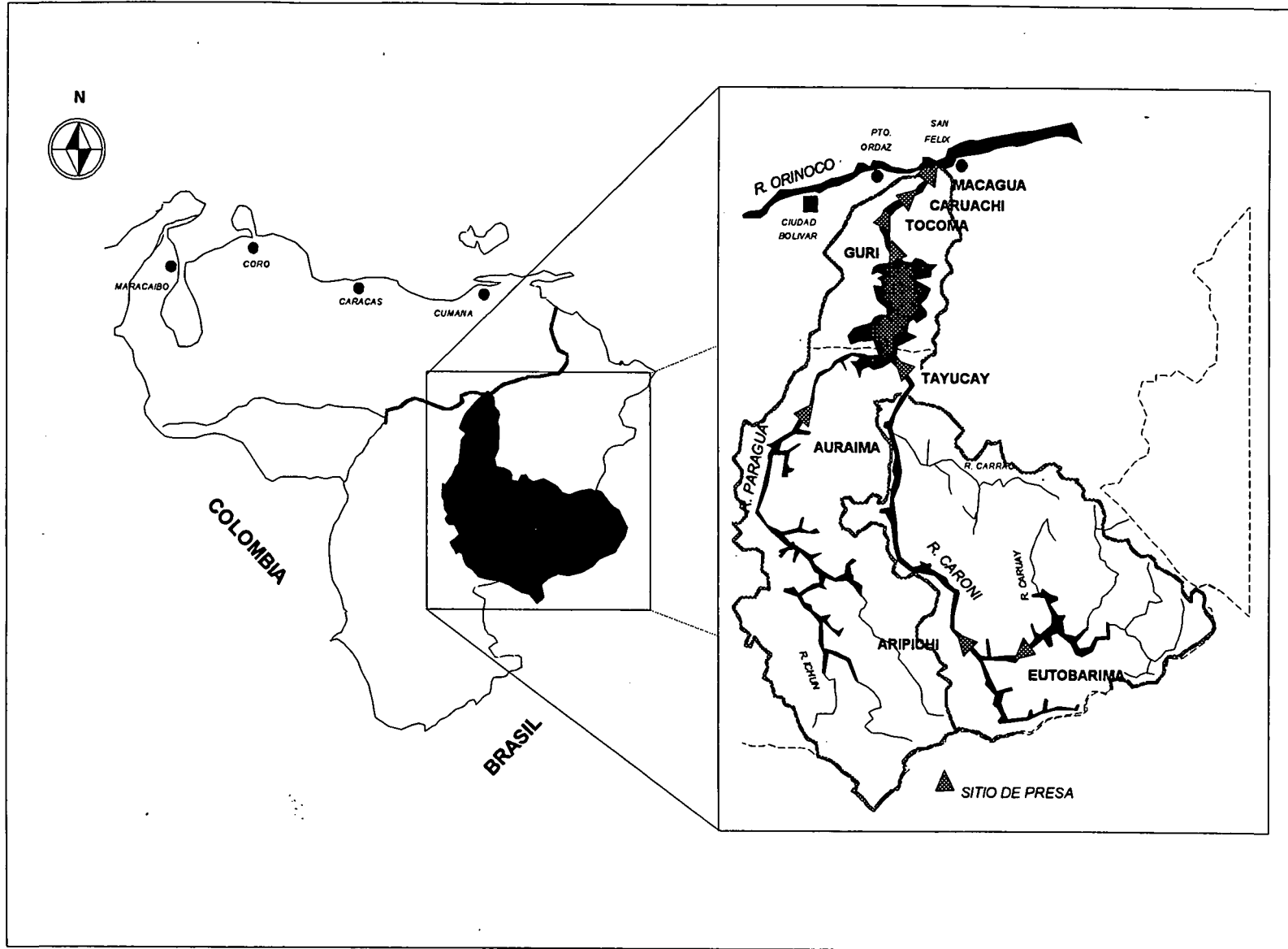
□ OBS. — AJUSTE

GRAFICO 2.4  
HIDROGRAMAS DE LA CMP Y DE Tr= 1.000 AÑOS  
RIO CARONI EN GURI (1950/94)



*Asume que la duración de la CMP y la de P<sub>100</sub> es la misma para que el TB para el mismo año los dos hidrogramas.*

**GRAFICO 2.5**  
**SITUACION DE LA CUENCA DEL CARONI**



### 3. INFORMACIÓN BÁSICA

En el presente trabajo se utilizaron los registros pseudohistóricos de caudales diarios en el sitio de Guri, que abarca el período 1950/94, generados a partir de información histórica de las estaciones: río Caroní en Caruachi (1950/68), río Caroní en San Pedro de las Bocas (1964/85), río Caroní en Arekuna (1965/94), río Paragua en La Paragua (1959/86) y río Paragua en Auraima (1975/94), ver gráfico 3.1. y tabla 3.1.

Para la generación de esta serie de caudales pseudo-históricos en el sitio de Guri, se realizaron estudios de tiempos de viajes y desfases entre los sitios de medición ya mencionados, considerando diferentes magnitudes de aportes, tomando las mejores correlaciones observadas. Así como, la determinación de la producción areal de aportes en las áreas intermedias.

El análisis de consistencia de estos registros pseudohistóricos, dió como resultados que los mismos son confiables y que conservan la continuidad entra las estaciones ya nombradas. También hay que destacar que no se realizó relleno de información en los sitios de medición, por no existir datos faltantes en los mismos.

TABLA 3.1

PERIODO DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS DE LA CUENCA DEL CARONI PROXIMAS A GURI

RIO	ESTACION	AÑO																																										
		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
CARONI	CARUACHI	[Historico]								[Pseudo-historico]																																		
CARONI	SAN PEDRO	[Pseudo-historico]																								[Historico]																		
CARONI	AREKUNA	[Pseudo-historico]																								[Historico]																		
PARAGUA	LA PARAGUA	[Historico]								[Pseudo-historico]																																		
PARAGUA	AURAIMA	[Historico]												[Pseudo-historico]																														
CARONI	GURI	[Pseudo-historico]																																										

[Historico] : HISTORICO  
 [Pseudo-historico] : PSEUDO-HISTORICO

*Cómo sintetizo el registro en Guri?*



## 4. DESARROLLO DE LOS HIDROGRAMAS VOLUMÉTRICOS

### 4.1 De Largo Período

#### Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)

Este hidrograma describe la variación temporal del escurrimiento en una localidad, para períodos que pueden ir desde el inicio de la temporada de lluvias, hasta el final de la misma, abarcando varios meses consecutivos. A su vez representa la creciente con pico y volumen promedio, para el período de retorno deseado (100, 1.000 ó 10.000 años)

La primera etapa del método tiene que ver con la escogencia del intervalo total de tiempo de duración del hidrograma, para lo cual es necesario evaluar el comportamiento de los aportes de la cuenca en estudio.

En cuencas de gran área, el inicio del período de lluvias (Mayo en Venezuela), define el final de la curva de recesión de los aportes, con lo cual se observa un ascenso gradual y sostenido del escurrimiento, con oscilaciones o fluctuaciones sobre esa tendencia a medida que van ocurriendo las precipitaciones en las diversas regiones de la cuenca; hasta alcanzar el pico máximo de aportes, para luego decrecer lentamente, a medida que disminuye la precipitación y finaliza la temporada lluviosa (gráfico 4.1).

Por lo tanto el proyectista, a partir del hidrograma promedio mensual de todo el período de registro, tendrá que seleccionar el intervalo de tiempo de duración del hidrograma volumétrico, el cual podría definirse por ejemplo: como el número de meses o de días consecutivos 'n' (con 'n' constante), en donde se supere cierta magnitud de caudal al observar el histograma de caudales promedios mensuales de esa cuenca. ?

Una vez seleccionado el intervalo 'n', se procede a determinar el Volumen Máximo Acumulado en cada año 'j', para ese intervalo y el cual definimos como  $VMA_{jn}$ .

Tenemos entonces, que el  $VMA_{jn}$  estará definido por la función objetivo que maximiza el Volumen Acumulado para todos los posibles intervalos de 'n' días consecutivos para cada año 'j' ( $VA_{ij}$ ) donde 'n' es constante.

$$VMA_{jn} = \max (VA_{ij}) \\ \text{para } i=1 \text{ hasta } w/n$$

$$\therefore VA_{ij} = \sum_{k=i}^{i+n} Q_{kj}$$

continua...

donde:

$V_{Aij}$  : Volumen Acumulado desde el día 'i', año 'j'  
 $Q_{kj}$  : Caudal diario del día 'k', año 'j'  
 $n$  : Intervalo de análisis en días (constante para todos los años)  
para el número de meses seleccionado.  
 $w$  : 365 días

Al valor de  $VMA_{jn}$  se le puede asociar un valor de caudal promedio equivalente a ese volumen que será:

$$\bar{Q}_{jn} = VMA_{jn}/n$$

Estos caudales promedios equivalentes anuales, no se calcularán para todos los años observados, sólo para aquellos que se seleccionen durante el proceso de adimensionamiento.

A los valores de  $VMA_{jn}$ , debido a que representan valores máximos anuales observados durante un intervalo de tiempo y a su carácter de independencia entre esos eventos, se le puede ajustar una distribución de eventos extremos (Gumbel, Log-Pearson, etc.). El ajuste de estos valores a una distribución de extremos, permite obtener el valor del Volumen Máximo Acumulado ( $V^*$ ), para la frecuencia o período de retorno deseado (gráfico 4.2), el cual se distribuirá utilizando el HAVP.

Asociado al valor de  $V^*$ , que es el volumen de diseño del hidrograma, esta  $Q^*$ , que es su caudal promedio equivalente de diseño.

$$Q^* = V^* / n \quad \text{Caudal de Diseño}$$

En la segunda fase del proceso de determinación del HAVP, se debe seleccionar de entre los hidrogramas observados anuales, correspondientes al  $VMA_{jn}$ , los de mayor volumen con una probabilidad de no-excedencia mayor a 90% o aquellos que tengan un comportamiento promedio parecido. El número de hidrogramas seleccionados debe por lo menos ser de 5, debido a que se pasa por un proceso de solapamiento y ajuste, que se explicará en breve y en el cual se pierde información al promediar estos valores diarios observados.

Cada uno de estos hidrogramas seleccionados se va a adimensionar en el eje de las ordenadas, al dividir cada uno de sus valores observados diarios correspondientes al  $VMA_{jn}$  (desde  $i=1$  hasta  $n$ ), para ese año  $j$ , entre el valor de su caudal promedio equivalente para el mismo período de ese año:  $Q_{ij} / \bar{Q}_{jn}$  (gráfico 4.3).

Este nuevo hidrograma es adimensional y el promedio de sus ordenadas es igual a **uno (1)**, con lo cual se cumple el objetivo de conservar la forma y el volumen, permitiendo con ello relacionarlo con el resto de los hidrogramas analizados.

Otra alternativa para adimensionar los hidrogramas sería el de tipificar o estandarizar cada hidrograma observado, restando a cada valor diario de la serie de caudales, el valor promedio para ese período y luego dividiendo este resultado entre el desvío estándar de la serie original para el mismo período, resultando una nueva serie con media igual a **cero (0)** y desvío igual a **uno (1)**. Pero esto complicaría innecesariamente el proceso ya que debe realizarse un análisis de la distribución de las desviaciones estándar de cada serie, para valores extremos.

Estos hidrogramas adimensionales característicos de la cuenca en estudio, utilizados para el desarrollo del HAVP, se solapan tomando como eje de desplazamiento el de las abcisas (tiempo), haciendo coincidir los valores del tiempo al pico de todos ellos (gráfico 4.4), para así poder promediar sus valores diarios.

A continuación se define el valor del Tiempo al Pico Promedio ( $T_{pp}$ ) del HAVP: Una de las maneras es promediando el tiempo al pico de cada uno de los hidrogramas seleccionados. Otra, sería promediando el tiempo al pico de todos los hidrogramas anuales observados del  $VMA_{jn}$ ; esta segunda alternativa tiende a dar un valor de  $T_{pp}$  igual a ' $n/2$ ', lo cual no es representativo de las crecientes con bajas probabilidades de no-excedencia y por lo tanto no se recomienda.

Este valor de  $T_{pp}$  será adjudicado como el tiempo al pico en la gráfica de los hidrogramas adimensionales solapados por lo que se reordenará el eje del tiempo (abcisas), para adjudicar los días 1 al ' $n$ '. Al realizar esto se observa que algunos de estos hidrogramas adimensionales se inician antes o después del día 1 adjudicado por el  $T_{pp}$  e igual cosa sucede en el día ' $n$ ' adjudicado por el  $T_{pp}$ .

Luego se procede a promediar las ordenadas de los hidrogramas adimensionales desde  $t = 1$  hasta ' $n$ ', para así obtener el HAVP preliminar (gráfico 4.5), ya que el mismo sufrirá ligeras variaciones en sus ordenadas en los puntos más alejados del tiempo  $t=T_{pp}$ , debido a que sus valores promedios son obtenidos con una menor cantidad de datos en la medida que nos alejamos del  $T_{pp}$  y por otro lado por la obligación de conservar el promedio total de las ordenadas del HAVP definitivo ( $Q_1 / \bar{Q}_n$ ) que debe ser igual a **uno (1)**.

La última fase del proceso es la obtención del hidrograma de diseño , cuyo volumen tiene el valor del período de retorno seleccionado. Para ello cada una de las ordenadas del HAVP definitivo ( $Q_i / \bar{Q}_n$ ) es multiplicado por el valor de  $Q^*$ , obtenido del análisis de frecuencia de eventos extremos, de esta manera se consiguen las ordenadas del hidrograma de diseño ( $Q_{di}$ ), gráfico 4.6

$$Q_{di} = (Q_i / \bar{Q}_n) \times Q^* \quad \text{desde } i = 1 \text{ hasta 'n'}$$

El hidrograma así obtenido tiene el volumen y distribución promedio para el período de retorno deseado; no así el pico máximo, el cual será algo inferior al del Caudal Pico Instantáneo para esa misma frecuencia.

GRAFICO 4.1  
**CAUDALES MEDIOS MENSUALES**  
**RIO CARONI EN GURI (1950/94)**

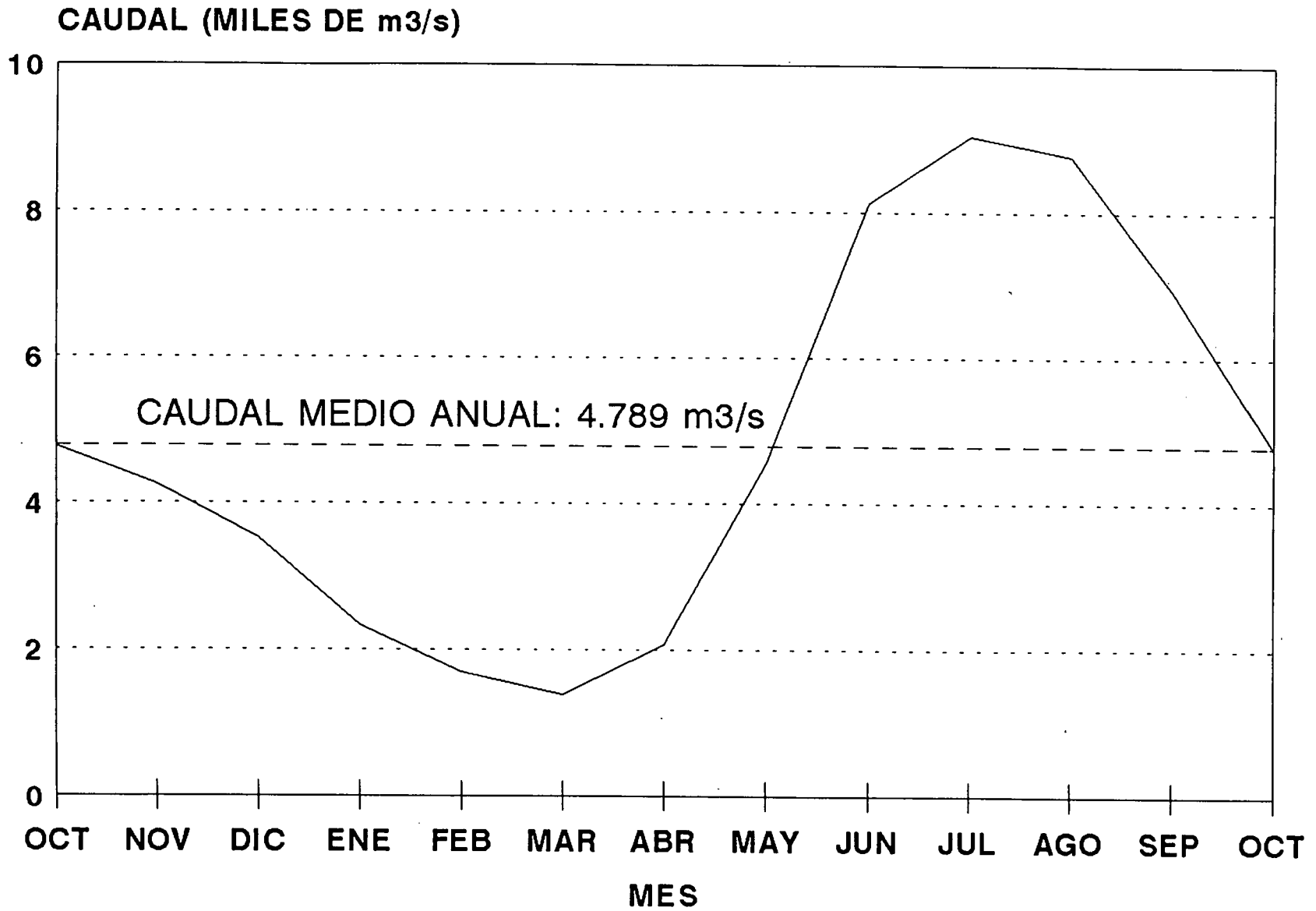
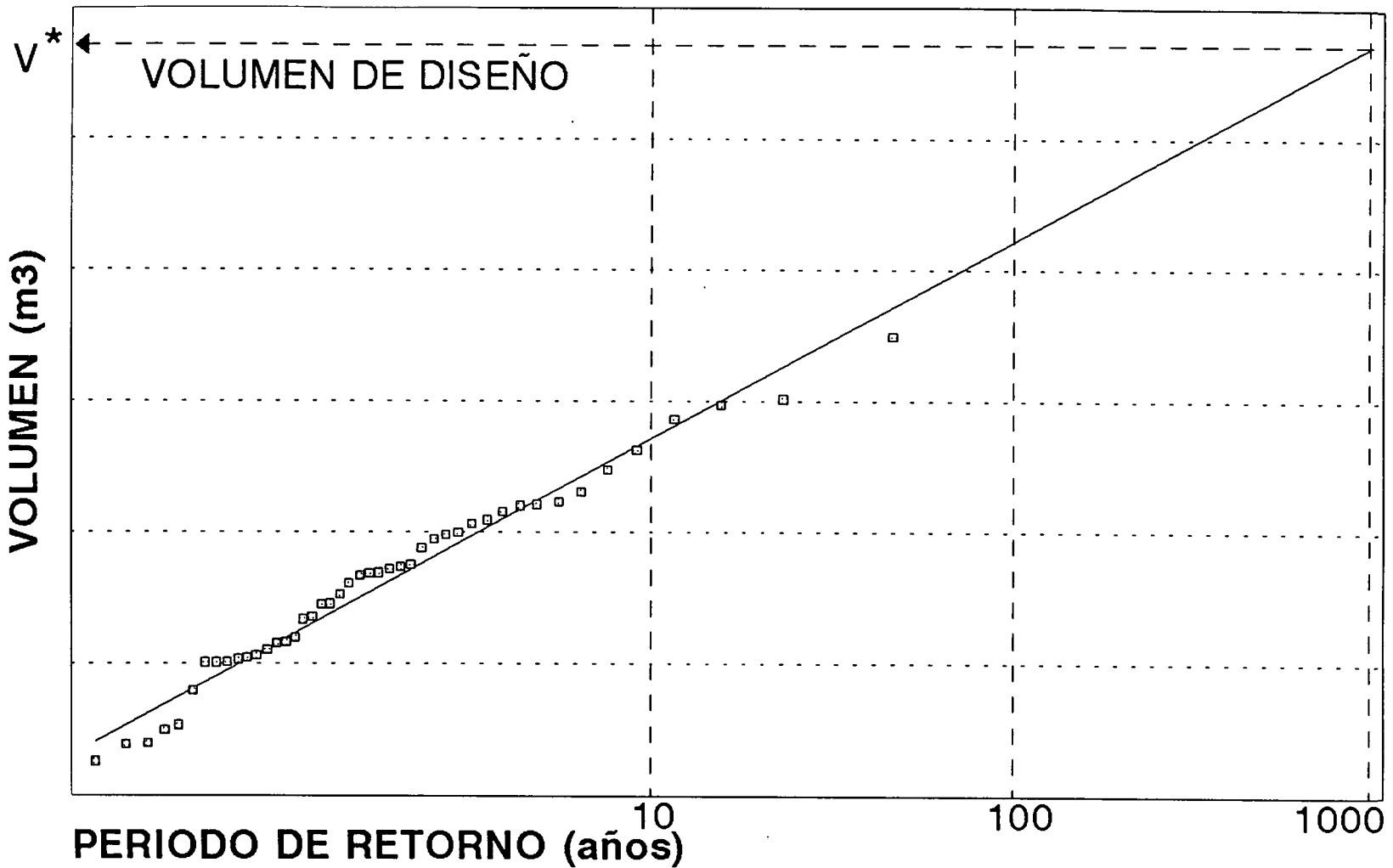


GRAFICO 4.2  
ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS  
VOLUMEN MAXIMO DE APORTES EN 'n' DIAS CONSECUTIVOS



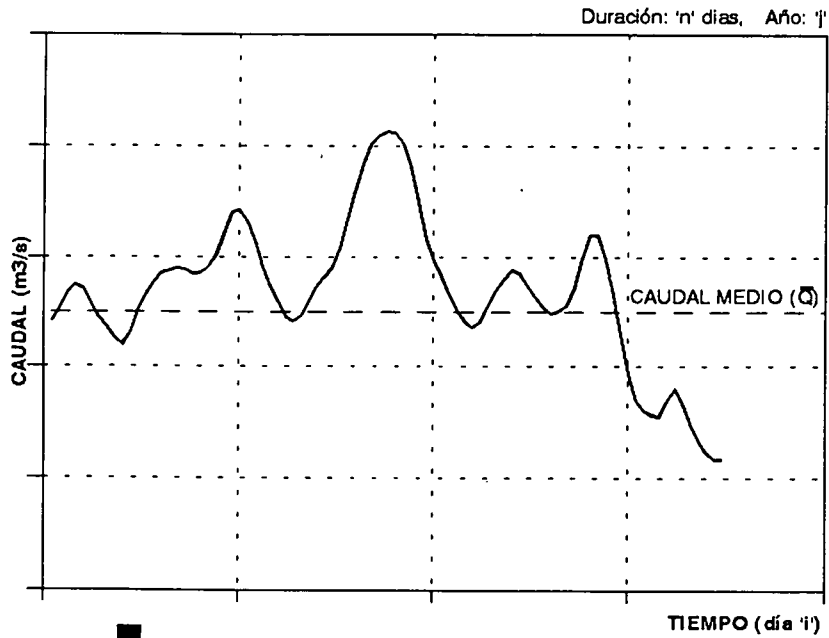
*Escala?*

□ OBS. — AJUSTE

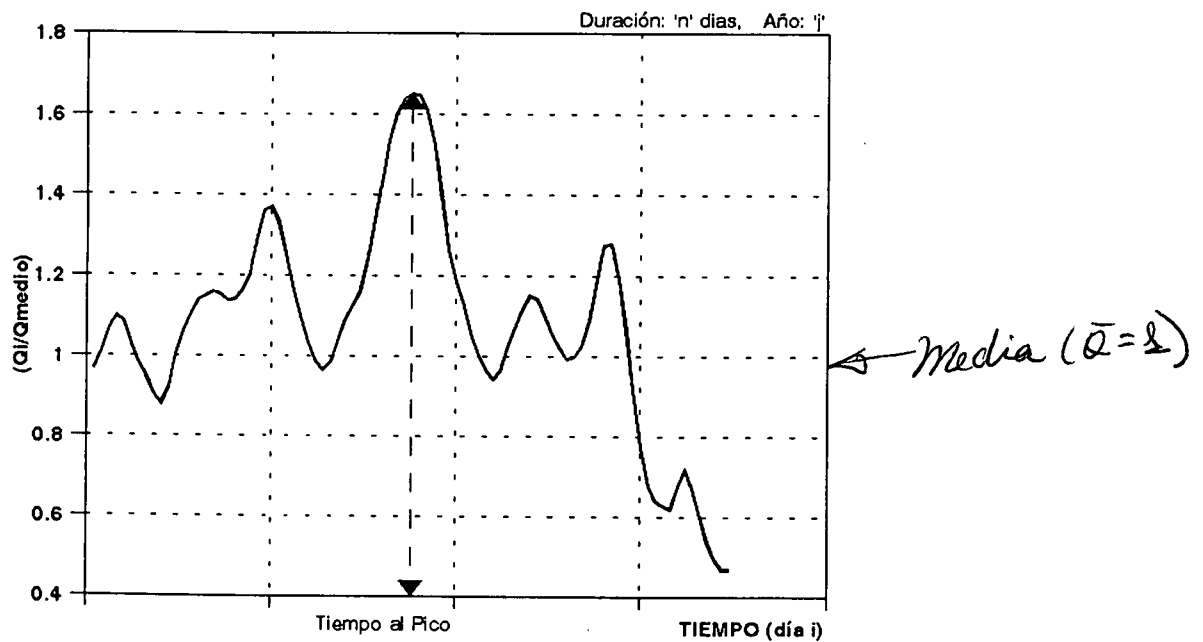
# GRAFICO 4.3

## DESARROLLO DEL HIDROGRAMA ADIMENSIONAL

### HIDROGRAMA OBSERVADO



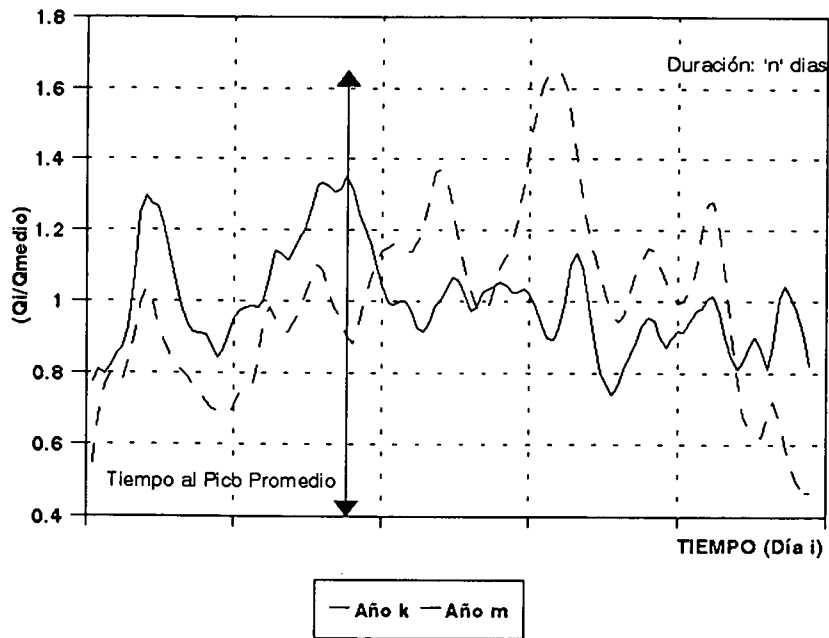
### HIDROGRAMA ADIMENSIONAL



# GRAFICO 4.4

## SOLAPAMIENTO DE LOS HIDROGRAMAS ADIMENSIONALES

SIN SOLAPAR



SOLAPADOS

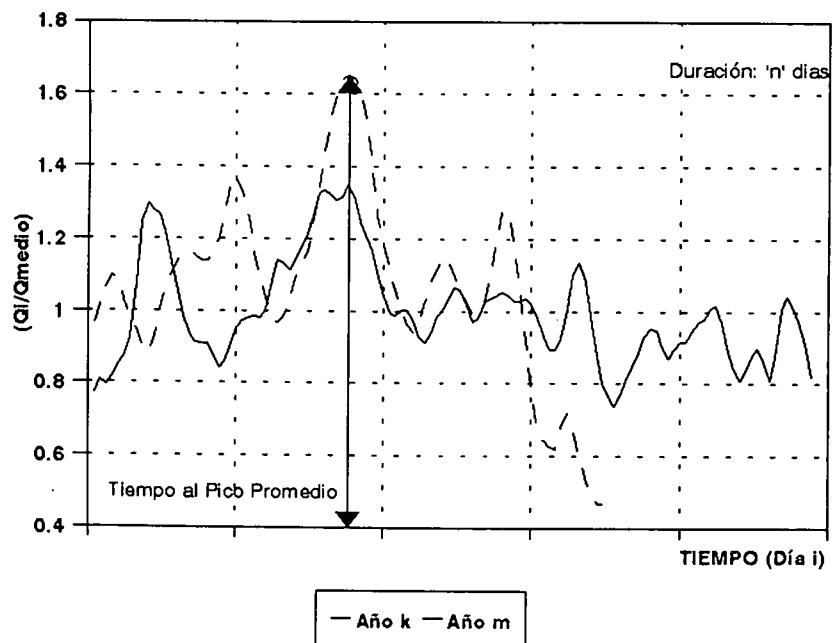
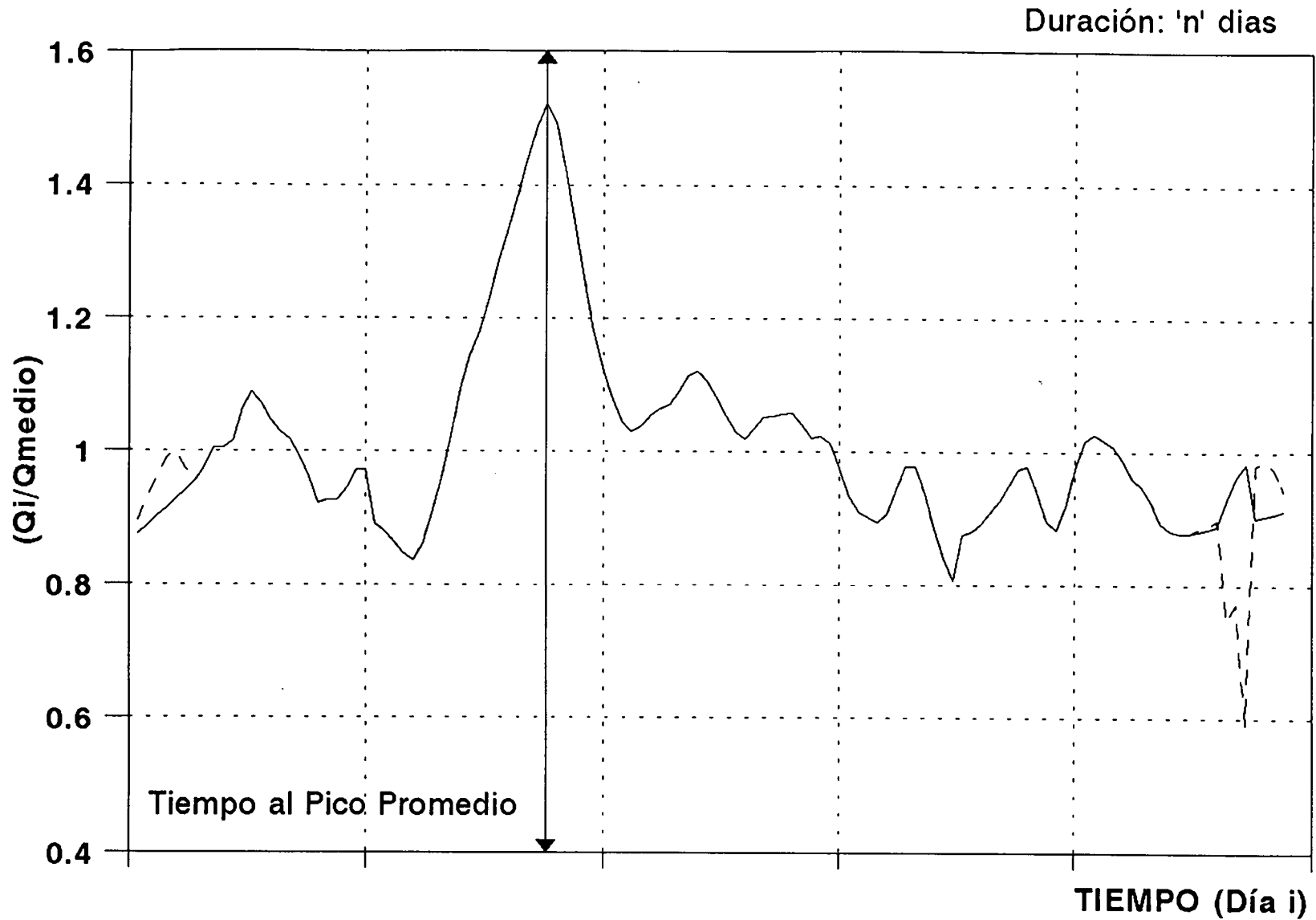


GRAFICO 4.5

# HIDROGRAMA ADIMENSIONAL VOLUMETRICO PROMEDIO (HAVP)

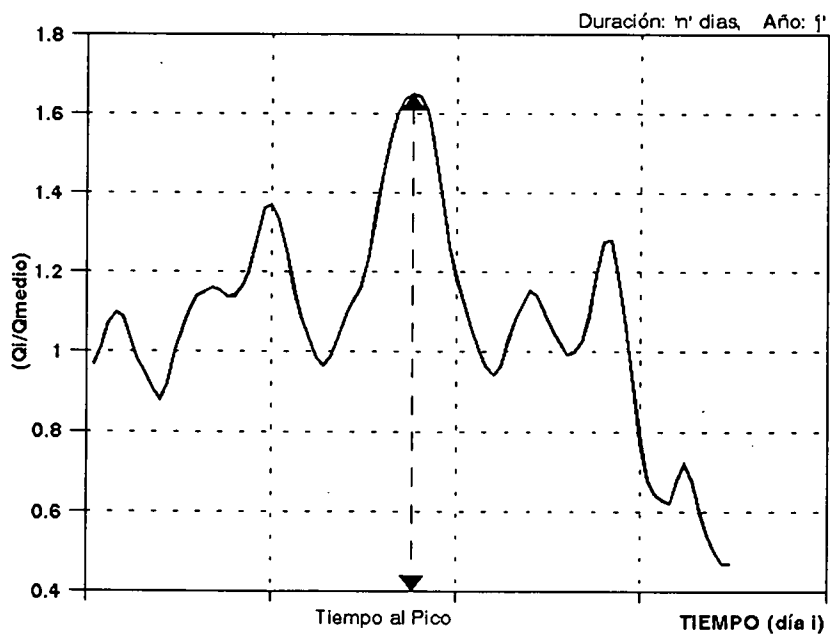


— DEFINITIVO — PRELIMINAR

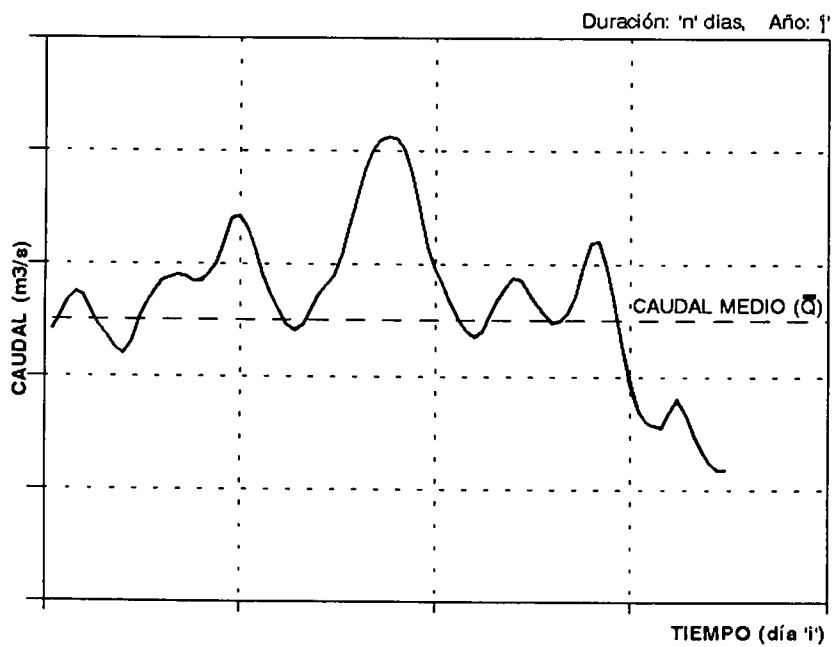
# GRAFICO 4.6

## DESARROLLO DEL HIDROGRAMA VOLUMETRICO

### HIDROGRAMA ADIMENSIONAL



### HIDROGRAMA DESARROLLADO



## 4.2 De Corto Período

### Hidrograma de Extremos Volumétricos (HEV)

Este hidrograma proporciona los volúmenes parciales de escurrimiento para varios intervalos de días consecutivos y período de retorno definido, así como su distribución en el tiempo y la duración total del hidrograma de la creciente; además del caudal pico correspondiente a esa frecuencia determinada.

El primer paso es la elección del intervalo de crecimiento de 'Δ n' días consecutivos, que se utilizara durante el desarrollo del hidrograma, el cual va a depender del tamaño de la cuenca o del volumen de sus aportes, ya que elegir un valor de 'Δ n' pequeño para una cuenca grande o con grandes volúmenes de aportes, hará que se realice un número de iteraciones y de trabajo innecesario.

Un indicador del valor más adecuado de 'Δ n', en el caso de contar con el hidrograma de la CMP, es que la duración total de la CMP pueda ser dividida en un mínimo de 5 partes iguales o que se determinen intervalos equivalentes en crecientes individuales observadas en esa cuenca.

Luego se determina el  $VMA_{jn}$ , definido por la función objetivo que maximiza el Volumen Acumulado para todos los posibles intervalos de 'n' días consecutivos a medida que se incrementa 'Δ n', para cada año 'j' ( $VA_{ij}$ ) y que a diferencia del HAVP el intervalo 'n' no es constante ( $n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$ ), por lo que es necesario llenar una tabla de  $VMA_{jn}$  (tabla 4.1) a medida que se desarrolla el HEV.

$$VMA_{jn} = \max (VA_{ij}) \\ \text{para } i=1 \text{ hasta } w/n$$

$$\therefore VA_{ij} = \sum_{k=i}^{i+n} Q_{kj}$$

donde:

$VA_{ij}$ : Volumen Acumulado desde el día 'i', año 'j'  
 $Q_{kj}$ : Caudal diario del día 'k', año 'j'  
n : Intervalo de días consecutivos ( $n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$ )  
 $n_1 = \Delta n$ ,  $n_2 = n_1 + \Delta n$ ,  $n_3 = n_2 + \Delta n$ , ...,  $n_m = n_{m-1} + \Delta n$   
w : 365 días

**TABLA 4.1**  
**VOLUMEN MÁXIMO DE APORTES**  
**PARA DIFERENTES INTERVALO DE DIAS CONSECUTIVOS**

año	INTERVALO 'n'				
	$n_1$	$n_2$	$n_3$	.....	$n_m$
1	VMAjn				
2					
3					
.					
.					
j					

Para cada valor de intervalo 'n' en los 'j' años observados, se realiza el análisis de frecuencia, obteniéndose los volúmenes de diseño, para el intervalo 'n' y el período de retorno seleccionado ( $V_{n1}, V_{n2}, \dots, V_{nm}$ ) y sus incrementos relativos ( $DV_1 = V_{n1}, DV_2 = V_{n2} - V_{n1}, \dots, DV_m = V_{nm} - V_{n(m-1)}$ ) (gráfico 4.7).

A cada valor  $DV_n$  se le asocia un valor de caudal equivalente  $Q_n$ , al dividir  $DV_n$  entre el intervalo de crecimiento de 'Δ n' días consecutivos:  $Q_n = DV_n / \Delta n$  (tabla 4.2)

**TABLA 4.2**  
**ANALISIS DEL HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMÉTRICO**  
**PERIODO DE RETORNO DE 1.000 AÑOS**

INTERVALO DE DIAS CONSECUTIVOS 'n'	VOLUMEN MÁXIMO	INCREMENTO VOLUMEN MÁXIMO	CAUDAL EQUIVALENTE AL INCREMENTO DE VOLUMEN	TIEMPO AL PICO (DIA)
n1	V1	DV1=V1	Q1=DV1/n1	Tpp1
n2	V2	DV2=V2-V1	Q2=DV2/(n2-n1)	Tpp2
n3	V3	DV3=V3-V2	Q3=DV3/(n3-n2)	Tpp3
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
nm	Vm	DVm	Qm	Tppm

Estos valores de  $Q_n$  se distribuirán, tomando como eje de referencia la ubicación del tiempo al pico promedio ( $T_{pp}$ ), de la creciente para cada intervalo 'n' y en los 'j' años de registro.

El tiempo al pico promedio ( $T_{pp}$ ), se determina para cada valor de 'n', evaluando los registros para el instante de ocurrencia del  $VMA_jn$  e identificando el día de su ocurrencia respecto al día 1, con lo cual se puede ponderar cuando ocurre en promedio el pico de la creciente; por ejemplo si se están evaluando los primeros 5 días consecutivos y sean 20 los años de registro, se contabiliza en cada día el número de veces en que ocurrió el pico y se pondera el valor de  $T_{pp}$  (tabla 4.3).

**TABLA 4.3  
CALCULO DEL TIEMPO AL PICO PROMEDIO  
PARA 'n'= 5 DIAS Y 20 AÑOS DE REGISTRO**

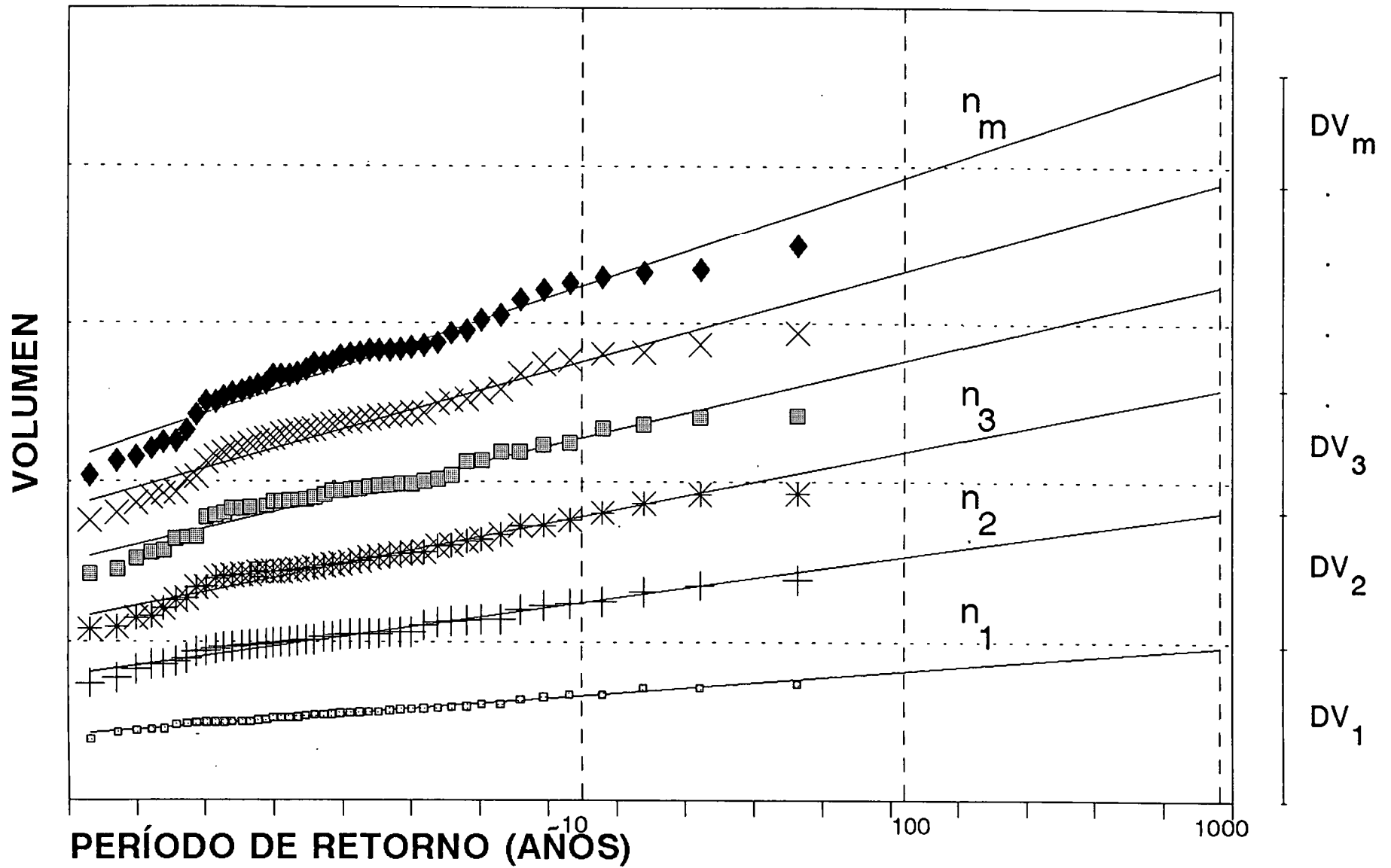
<b>DÍA DE OCURRENCIA DEL PICO</b>	<b>Nº DE VECES QUE OCURRIO</b>	<b>DIA DE OCURRENCIA POR EL Nº DE VECES QUE OCURRIO</b>	<b>TIEMPO AL PICO PROMEDIO</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>=48/20=2.40</b>  <b>T<sub>pp</sub>= 2</b>
<b>2</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	
<b>3</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	
<b>4</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	
<b>5</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>48</b>	

Una vez realizada esta operación se distribuyen los valores de  $Q_n$ , tanto a la derecha como a la izquierda del valor de  $T_{pp}$ , tal que se cumpla el tiempo de ocurrencia al pico para cada intervalo 'n'. Este proceso se repite hasta que deje de decrecer el histograma de la creciente, con lo que se supone que el agregar nuevos valores de  $Q_n$ , representaría la influencia de crecientes anteriores y/o posteriores a la creciente máxima.

Para aclarar esto último se desarrolla un pequeño ejercicio, en donde el mínimo intervalo de análisis es de cinco (5) días consecutivos (tabla 4.4 y gráfico 4.8)

Una vez obtenido el histograma total, se procede a ajustarle la curva más representativa, por el método que se considere más conveniente, el cual debe pasar para el valor de  $T_{pp}$  de mayor intervalo de 'n' posible, por la ordenada de Caudal Máximo Diario de Diseño (QMD), para el período de retorno seleccionado y que el volumen de la creciente sea el del volumen de diseño ( $V_n$ ) de ese mismo intervalo 'n' (gráfico 4.9)

GRAFICO 4.7  
EVENTOS EXTREMOS DE VOLUMEN MAXIMO  
PARA DIFERENTES INTERVALOS 'n' DE DIAS CONSECUTIVOS



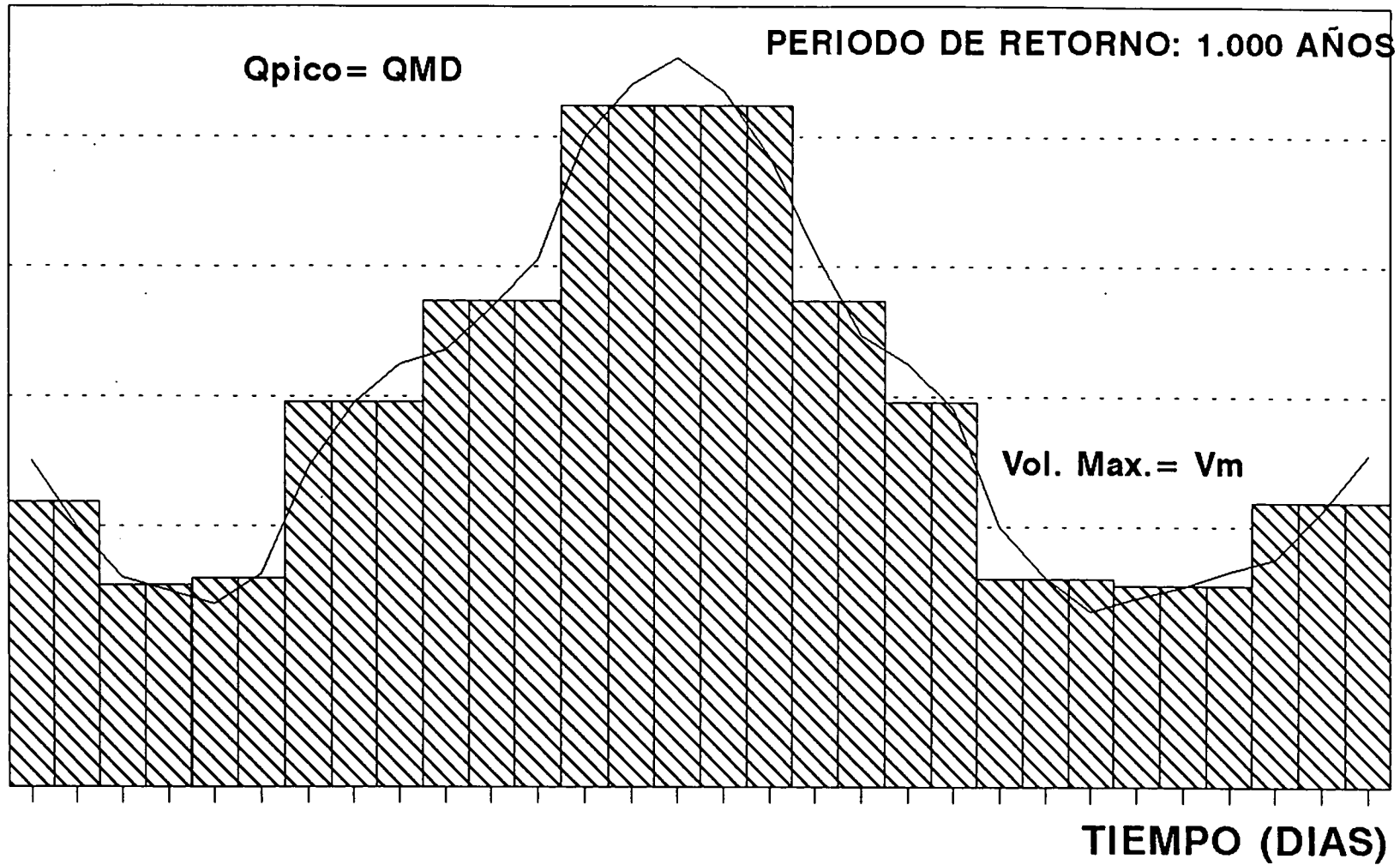
**TABLA 4.4**  
**ANALISIS DEL HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMETRICO (HEV)**  
**PERIODO DE RETORNO DE 1.000 AÑOS**  
**INCREMENTO DE 'n'= 5 DIAS**

INTERVALO DE DIAS CONSECUTIVOS 'n'	VOLUMEN MÁXIMO	INCREMENTO VOLUMEN MÁXIMO	CAUDAL EQUIVALENTE AL INCREMENTO DE VOLUMEN	TIEMPO AL PICO
				(DIA)
5	V1	DV1	Q1=DV1/5	3
10	V2	DV2	Q2=DV2/5	5
15	.	.	.	9
20	.	.	.	11
25	Vm	DVm	Qm=DVm/5	14



GRAFICO 4.9  
HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMETRICO (HEV)

CAUDAL (m<sup>3</sup>/s)



▨ HEV — AJUSTE HEV

### 4.3 Caudal Base

La determinación del flujo base en el desarrollo de los hidrogramas volumétricos es uno de los elementos que se consideró en este estudio, el cual es complejo de definir, debido en primer lugar por la escogencia del método más adecuado para separarlo del hidrograma total que se está desarrollando y en segundo término porque éste caudal base está íntimamente asociado al evento de volumen extremo que se está evaluando.

Sin embargo, cuando se desarrolló el HAVP se probó separarlo en cada uno de los hidrogramas observados, suponiéndolo constante en el tiempo e igual para todos los hidrogramas y luego realizar el análisis de frecuencia con el caudal directo obtenido de restar el hidrograma total del caudal base. De este análisis de frecuencia, se obtuvo que:

- a) El hidrograma total de diseño, obtenido de sumar el hidrograma directo de diseño más el caudal base, al compararlo con el del HAVP resultaron semejantes.
- b) El haber supuesto el caudal base constante y único para todos los hidrogramas, indica que el verdadero volumen del caudal base está íntimamente asociado al evento de volumen extremo de la creciente, el cual estaría incluido en el caudal directo del caso analizado.
- c) De aquí, que la determinación del caudal base no aporte elementos significativos para la determinación de la creciente extrema, complicando innecesariamente el proceso que se viene desarrollando.

### 4.4 Coincidencia del Caudal Pico Máximo y del Volumen Máximo Anuales

Un elemento adicional a los estudios realizados en el año 1985 sobre los hidrogramas volumétricos, es el análisis de la probabilidad de coincidencia o probabilidad conjunta de ocurrencia del caudal pico máximo anual y del volumen máximo anual, sobre todo en el caso del HEV, en que el volumen máximo para los intervalos de días consecutivos muy cortos puede no coincidir con la ocurrencia del máximo diario.

Es importante evaluar la coincidencia de estos dos elementos, ya que se le está asignando al hidrograma volumétrico HEV, el valor del pico máximo diario.

Para ello, se evalúa para cada intervalo de días consecutivos 'n', en donde se ubica el volumen máximo acumulado del año 'j' (VMAjn), si contiene o no al caudal máximo diario (QMDj) del año. Calculando la probabilidad conjunta (Pn), al dividir el total de años de coincidencia entre el número de años observados.

$$P_n (\%) = (N^\circ \text{ total de Coincidencias 't=n' / } N^\circ \text{ de años Observados}) \times 100$$

Esto se realiza para verificar la validez de la asunción de asignar el valor del Caudal Máximo Diario de Diseño (QMD), al hidrograma de extremos volumétrico (HEV).

## 5. APLICACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS VOLUMÉTRICOS

Los hidrogramas volumétricos que, ~~ha~~ continuación se desarrollan pertenecen a la cuenca del río Caroní en el sitio de Guri, con un área de drenaje de 90.000 Km<sup>2</sup>, para un período de registro que va desde 1950 hasta 1994 y la información de caudales diarios esta disponible en la base de datos de la División de Cuencas e Hidrología de C.V.G.-EDELCA

### 5.1 De Largo Período

#### Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)

En el desarrollo de éste hidrograma, se seleccionó como intervalo total de tiempo de duración del hidrograma, el número total de meses consecutivos en que los aportes superan el caudal promedio del río Caroní en Guri el cual es de 4.700 m<sup>3</sup>/s (gráfico 5.1).

En este caso, corresponde a un período de cuatro (4) meses, determinándose los Volúmenes Máximos Acumulados (**VMA<sub>jn</sub>**), en cada año 'j' desde 1950 hasta 1994 y dentro de un intervalo 'n' equivalente a 122 días consecutivos, a los cuales se le ajustara una distribución de eventos extremos (Gumbel), esta información se puede observar en la tabla 5.1 y gráfico 5.2

El resultado de este análisis de frecuencia de eventos extremos indica que, para un período de retorno de 1.000 años y un intervalo de 122 días consecutivos, el volumen de diseño (**V\***) del hidrograma de creciente es de 150,6x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> y su caudal promedio equivalente en volumen o caudal de diseño (**Q\***) es de 14.287 m<sup>3</sup>/s (gráfico 5.2).

A continuación se seleccionan los 5 años con mayores Volúmenes Máximos Acumulados (**VMA<sub>jn</sub>**), equivalente en este caso a una probabilidad de no-excedencia mayor del 90% y que corresponden a los años: 1981, 1976, 1994, 1956 y 1967 en orden de magnitud (tabla 5.1).

Se calcula el caudal promedio equivalente al **VMA<sub>jn</sub>**,  $\bar{Q}_{jn} = \text{VMA}_{jn}/n$  (tabla 5.2), para esos años y cada uno de estos hidrogramas seleccionados se va a adimensionar en el eje de las ordenadas, al dividir cada uno de sus valores observados diarios, correspondientes al **VMA<sub>jn</sub>**, entre el valor de su caudal promedio equivalente para el mismo período de ese año:  $Q_{ij} / \bar{Q}_{jn}$  (gráficos 5.3 y 5.4).

Se promedian los tiempos al pico de cada uno de los hidrogramas seleccionados, para obtener el Tiempo al Pico Promedio (**T<sub>pp</sub>**) del HAVP, que resultó ser el día 44 desde el inicio de la creciente (tabla 5.2).

Los hidrogramas adimensionales  $Q_{ij} / \bar{Q}_n$  seleccionados, se solapan tomando como punto de referencia el  $T_{pp} = 44$  días, para cada pico máximo y reordenando el eje del tiempo (gráficos 5.5 y 5.6) y posteriormente promediar las ordenadas de los hidrogramas, obteniéndose el HAVP preliminar y luego el definitivo al ajustar los valores iniciales y finales del hidrograma adimensional, para que el promedio de las ordenadas del hidrograma sea igual a uno (1) (gráfico 5.7 y tabla 5.3).

Por último se desarrolla el hidrograma volumétrico de período de retorno de 1.000 años ( $Q_{di}$ ), al multiplicar cada una de las ordenadas del HAVP definitivo ( $Q_i / \bar{Q}_n$ ) por el valor del caudal de diseño ( $Q^*$ ) de  $14.287 \text{ m}^3/\text{s}$  (gráfico 5.8 y tabla 5.4).

$$Q_{di} = (Q_i / \bar{Q}_n) \times Q^* \quad \text{desde } i = 1 \text{ hasta } 122 \text{ días}$$

Este hidrograma volumétrico (gráfico 5.8) es el que se va a transitar por el embalse de Guri. Hay que destacar que el caudal pico de este hidrograma que es de  $21.719 \text{ m}^3/\text{s}$  es menor que el caudal máximo instantáneo de  $23.213 \text{ m}^3/\text{s}$  (gráfico 2.3), para el mismo período de retorno. Esto se debe, a que el pico del HAVP es calculado como el promedio de todos los valores máximos de los hidrogramas seleccionados como adimensionales.

GRAFICO 5.1  
**CAUDALES MEDIOS MENSUALES**  
**RIO CARONI EN GURI (1950/94)**

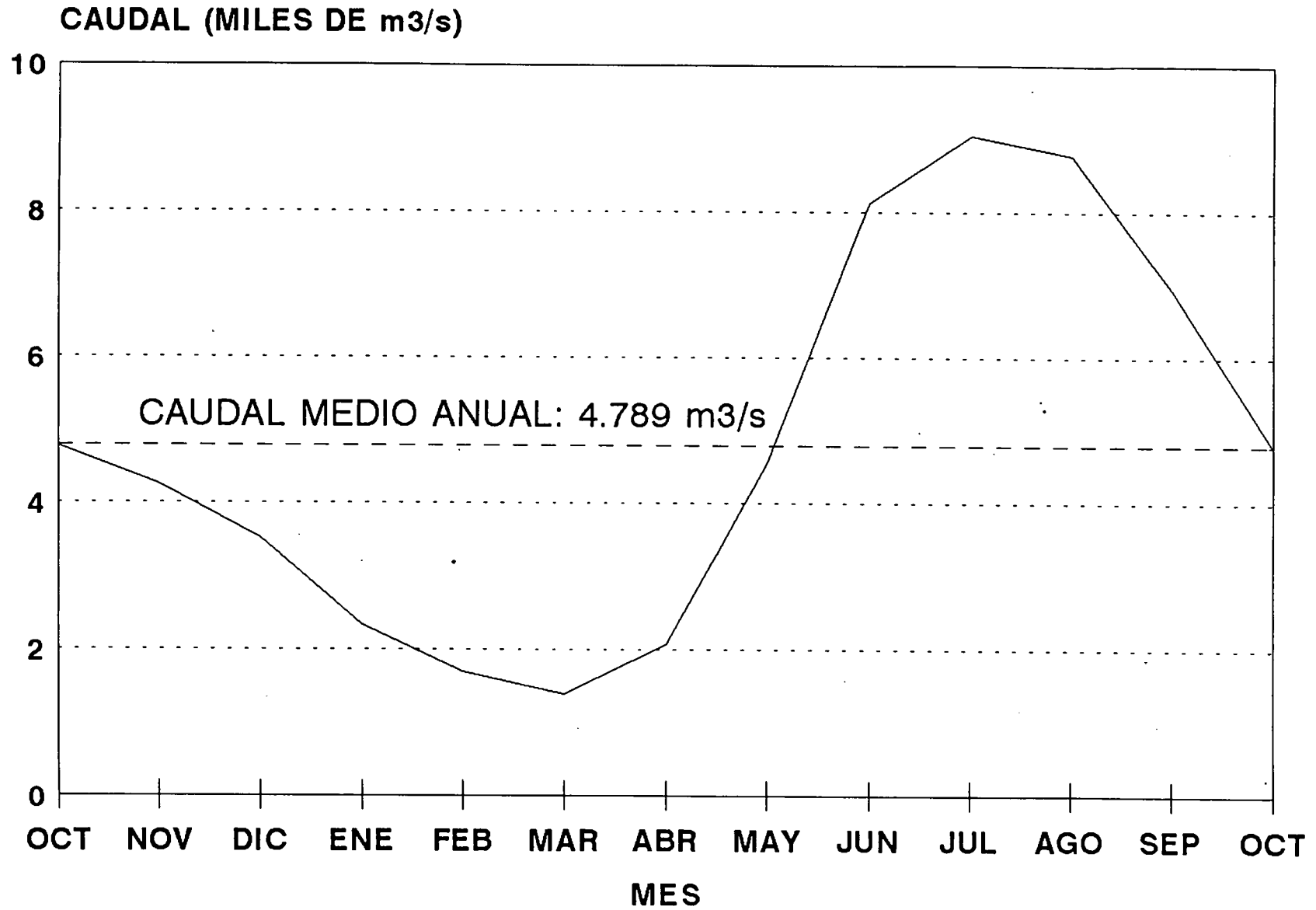


TABLA 5.1

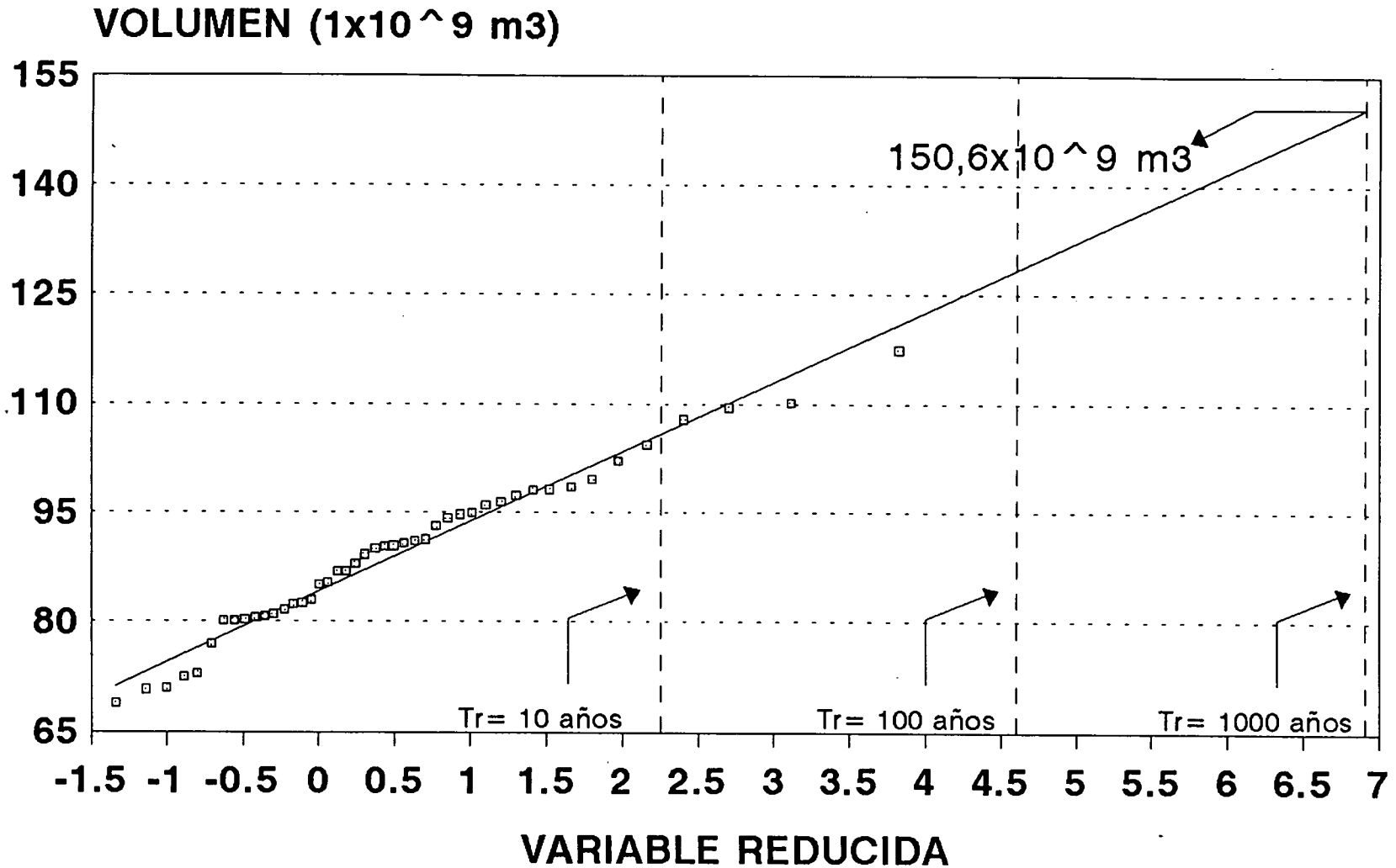
ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS  
 VOLUMEN MAXIMO DE APORTES EN 122 DIAS CONSECUTIVOS  
 RIO CARONI EN GURI (1950/1994)

AÑO	VOLUMEN		PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	VARIABLE REDUCIDA	PROBABILIDAD DE NO-EXCEDENCIA
	OBSERVADO (1x10 <sup>-9</sup> M3)	ORDENADO (1x10 <sup>-9</sup> M3)			
1950	89.16	117.43	46.00	3.82	97.83
1951	80.56	110.19	23.00	3.11	95.65
1952	80.23	109.49	15.33	2.70	93.48
1953	80.71	107.86	11.50	2.40	91.30
1954	94.69	104.35	9.20	2.16	89.13
1955	81.02	102.08	7.67	1.97	86.96
1956	107.86	99.55	6.57	1.80	84.78
1957	81.63	98.46	5.75	1.66	82.61
1958	70.79	98.14	5.11	1.52	80.43
1959	80.16	98.02	4.60	1.41	78.26
1960	85.07	97.30	4.18	1.30	76.09
1961	72.99	96.38	3.83	1.20	73.91
1962	98.46	95.94	3.54	1.10	71.74
1963	99.55	94.91	3.29	1.01	69.57
1964	76.96	94.69	3.07	0.93	67.39
1965	68.87	94.18	2.88	0.85	65.22
1966	94.18	93.15	2.71	0.77	63.04
1967	104.35	91.26	2.56	0.70	60.87
1968	87.92	91.01	2.42	0.63	58.70
1969	82.97	90.75	2.30	0.56	56.52
1970	94.91	90.35	2.19	0.49	54.35
1971	91.01	90.25	2.09	0.43	52.17
1972	90.75	90.03	2.00	0.37	50.00
1973	86.85	89.16	1.92	0.30	47.83
1974	72.46	87.92	1.84	0.24	45.65
1975	95.94	86.85	1.77	0.18	43.48
1976	110.19	86.80	1.70	0.12	41.30
1977	90.03	85.40	1.64	0.06	39.13
1978	82.47	85.07	1.59	0.00	36.96
1979	93.15	82.97	1.53	-0.05	34.78
1980	96.38	82.47	1.48	-0.11	32.61
1981	117.43	82.39	1.44	-0.17	30.43
1982	90.25	81.63	1.39	-0.23	28.26
1983	90.35	81.02	1.35	-0.30	26.09
1984	98.14	80.71	1.31	-0.36	23.91
1985	82.39	80.56	1.28	-0.42	21.74
1986	80.15	80.23	1.24	-0.49	19.57
1987	85.40	80.16	1.21	-0.56	17.39
1988	97.30	80.15	1.18	-0.63	15.22
1989	86.80	76.96	1.15	-0.71	13.04
1990	91.26	72.99	1.12	-0.80	10.87
1991	98.02	72.46	1.10	-0.89	8.70
1992	70.96	70.96	1.07	-1.00	6.52
1993	102.08	70.79	1.05	-1.14	4.35
1994	109.49	68.87	1.02	-1.34	2.17
PROMEDIO:	89.38			0.55	
DESVIO:	11.17			1.16	

GRAFICO 5.2

# ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS - GURI (1950/94)

## VOLUMEN MAXIMO DE APORTES EN 122 DIAS CONSECUTIVOS

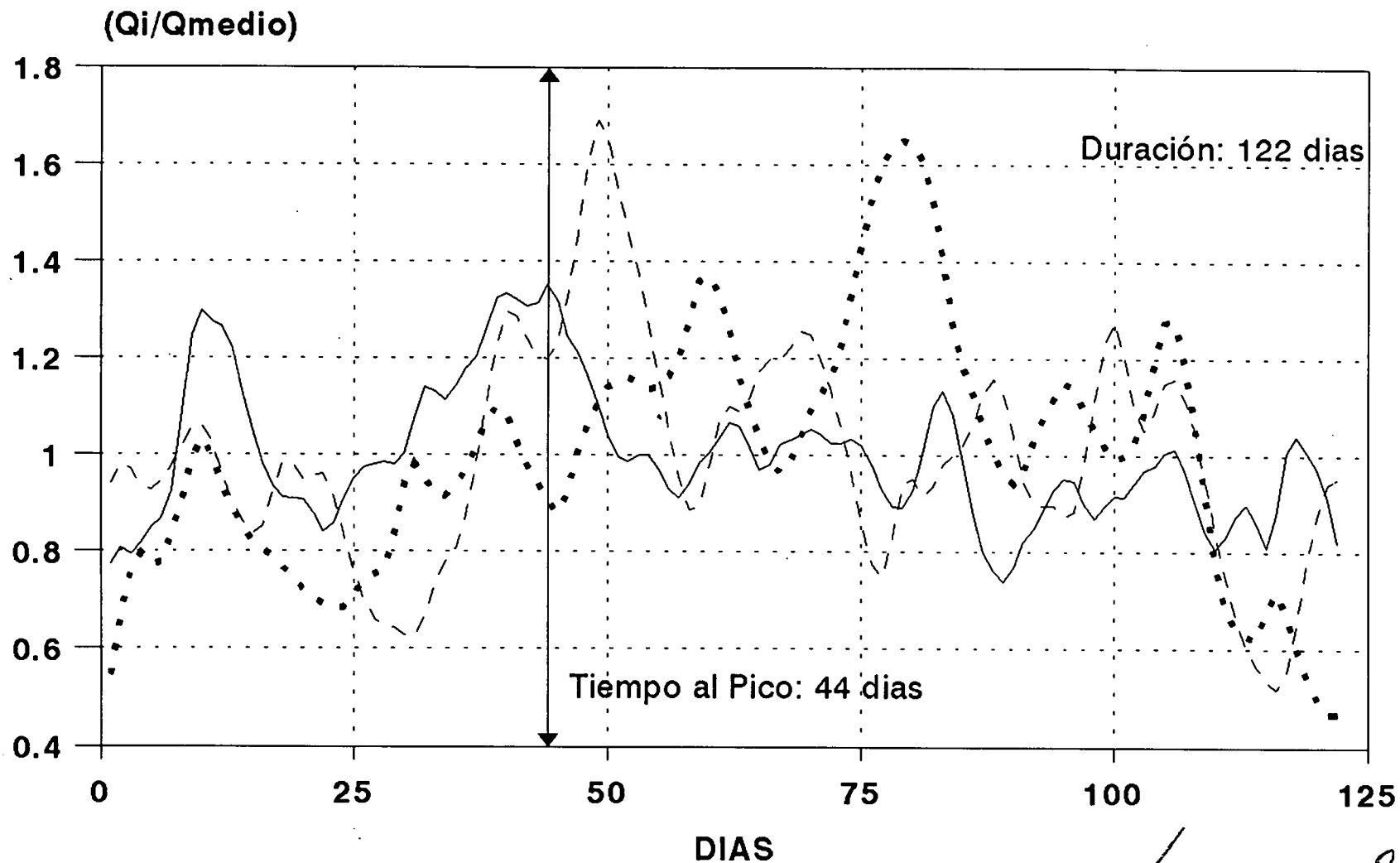


□ OBS. — AJUSTE

**TABLA 5.2**  
**ANALISIS DE VOLUMÉNES MÁXIMOS EN 122 DIAS CONSECUTIVOS**  
**PERIODO DE RETORNO DE 1.000 AÑOS**  
**RIO CARONI EN GURI**

AÑO	VOLUMEN MÁXIMO	CAUDAL EQUIVALENTE	TIEMPO AL PICO
	(1x10 <sup>9</sup> m3)	(m3/s)	(DIA)
1981	117.43	11141	44
1976	110.19	10454	79
1994	109.49	10387	49
1956	107.86	10233	25
1967	104.35	9900	19
Tpp= DIA 44			

GRAFICO 5.3  
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL OBSERVADO  
RIO CARONI EN GURI



— 1981 ··· 1976 - - 1994

*leyenda?*

GRAFICO 5.4  
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL OBSERVADO  
RIO CARONI EN GURI

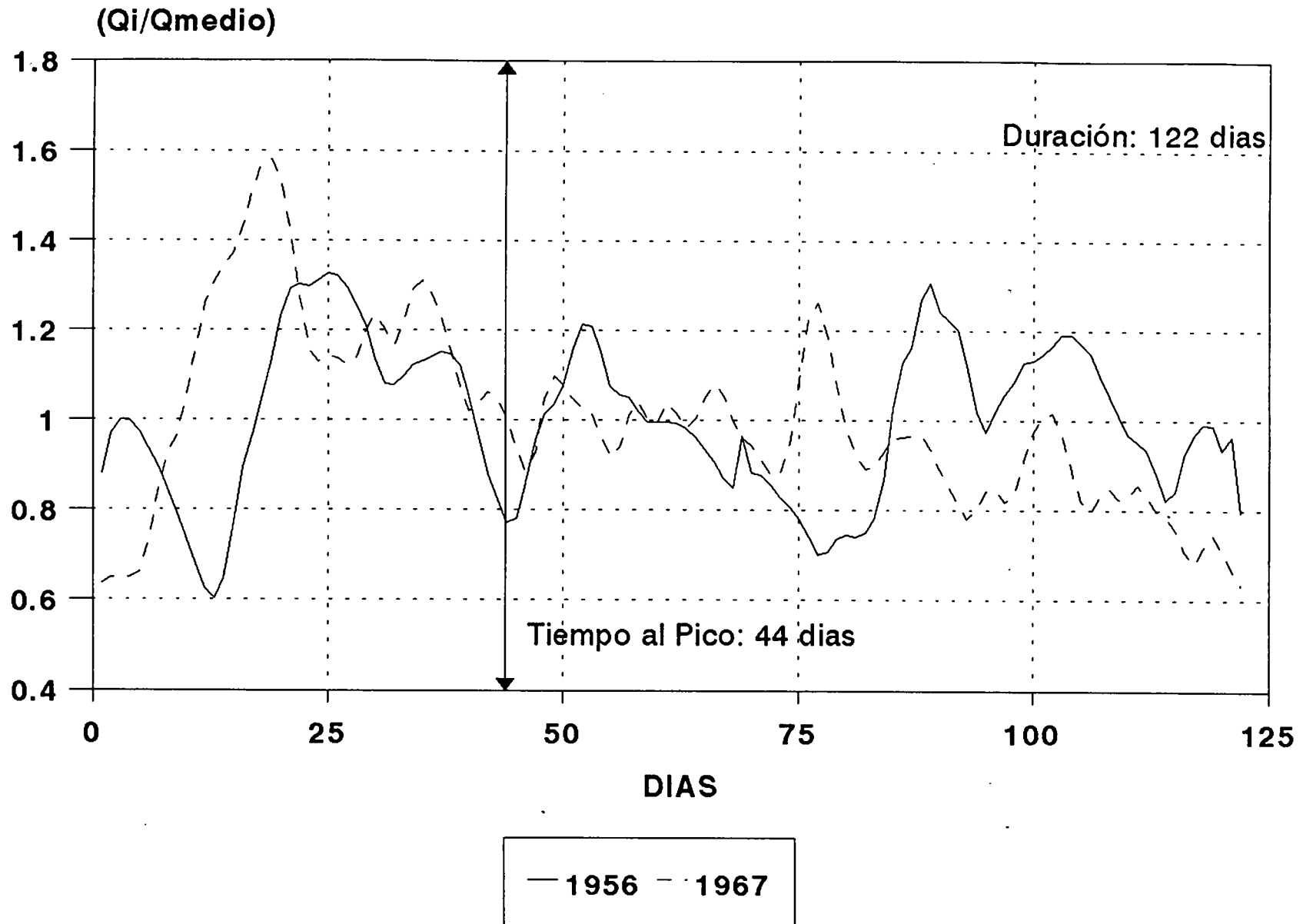
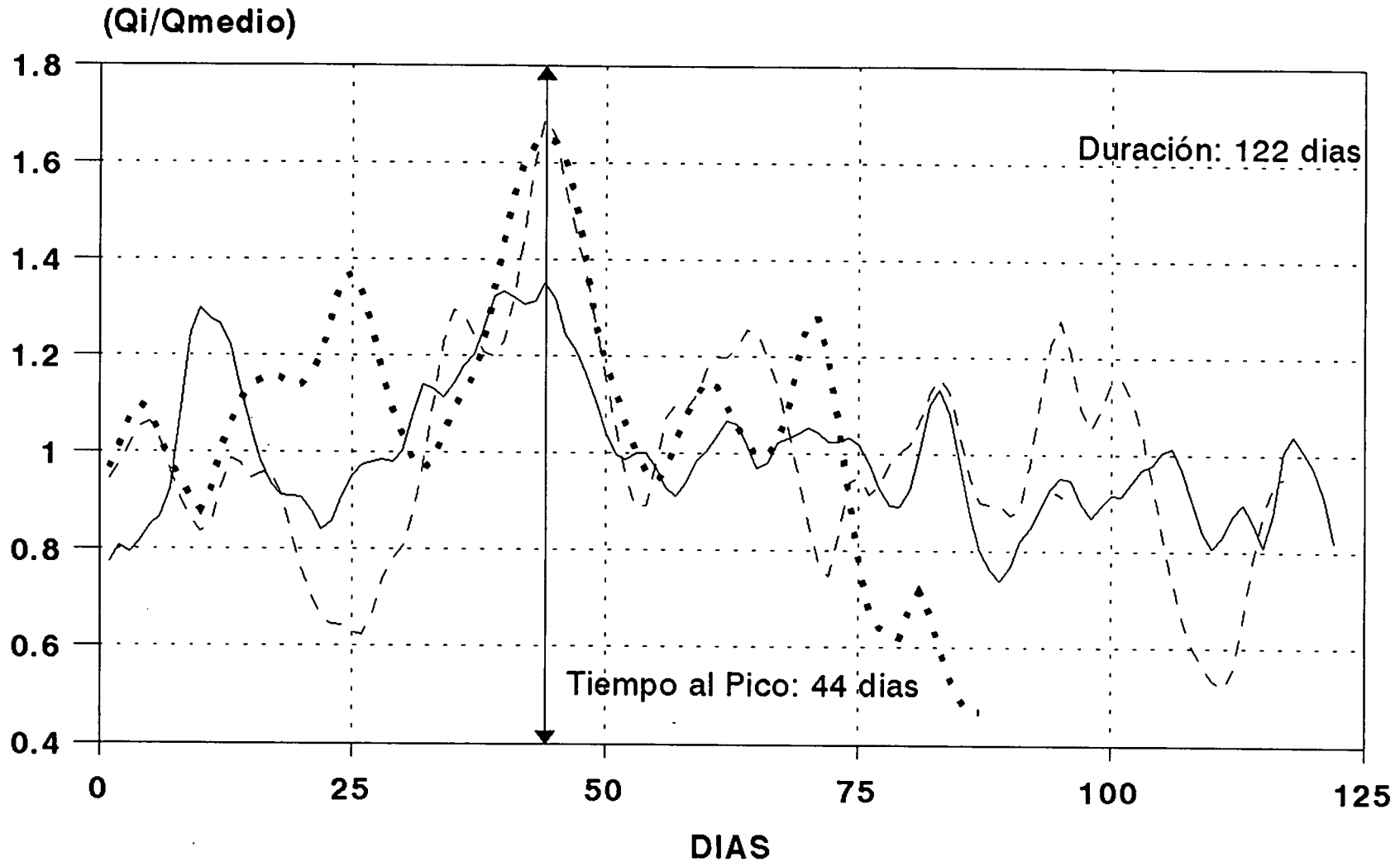


GRAFICO 5.5  
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL SOLAPADO  
RIO CARONI EN GURI



— 1981    ··· 1976    - - - 1994

GRAFICO 5.6  
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL SOLAPADO  
RIO CARONI EN GURI

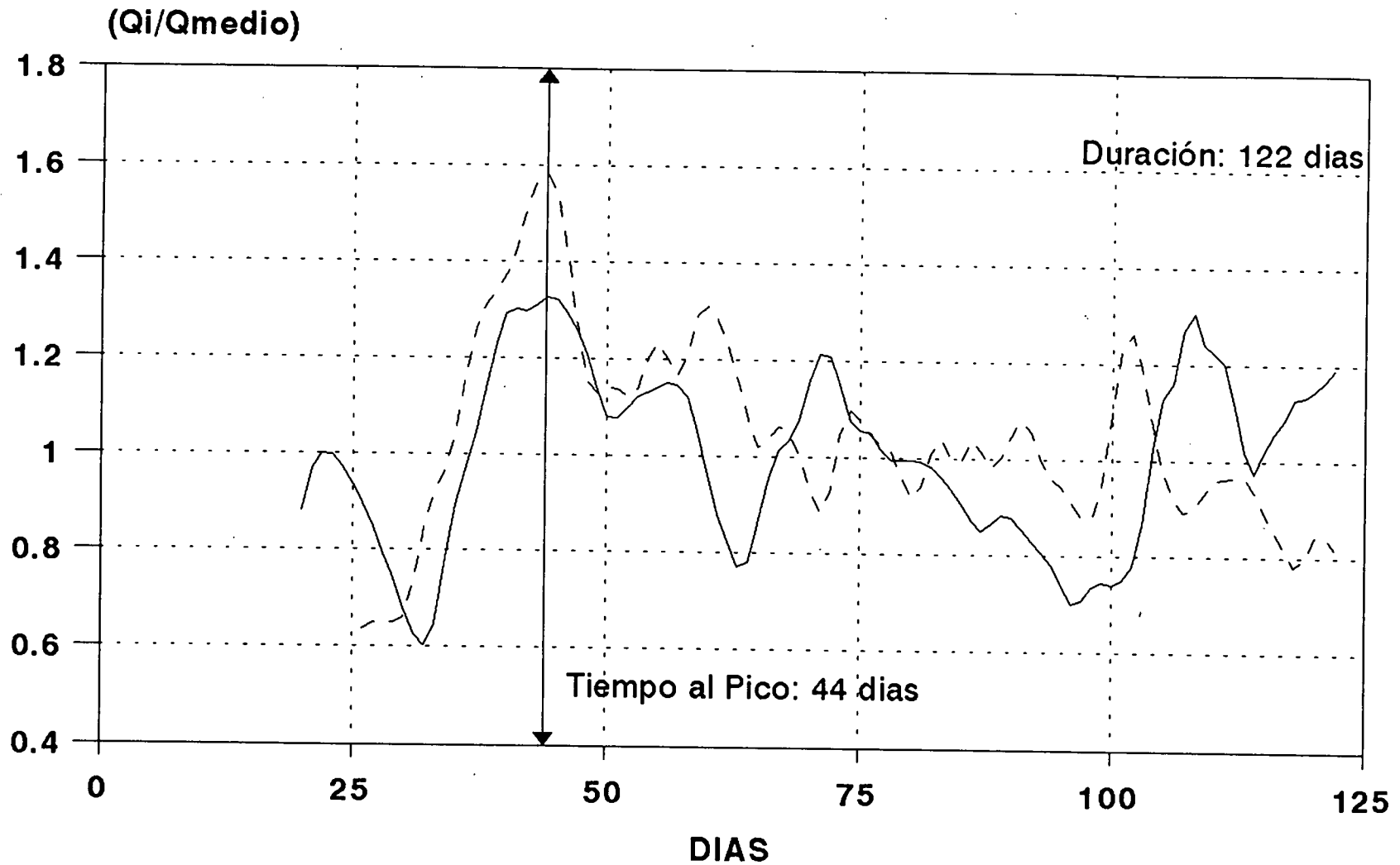
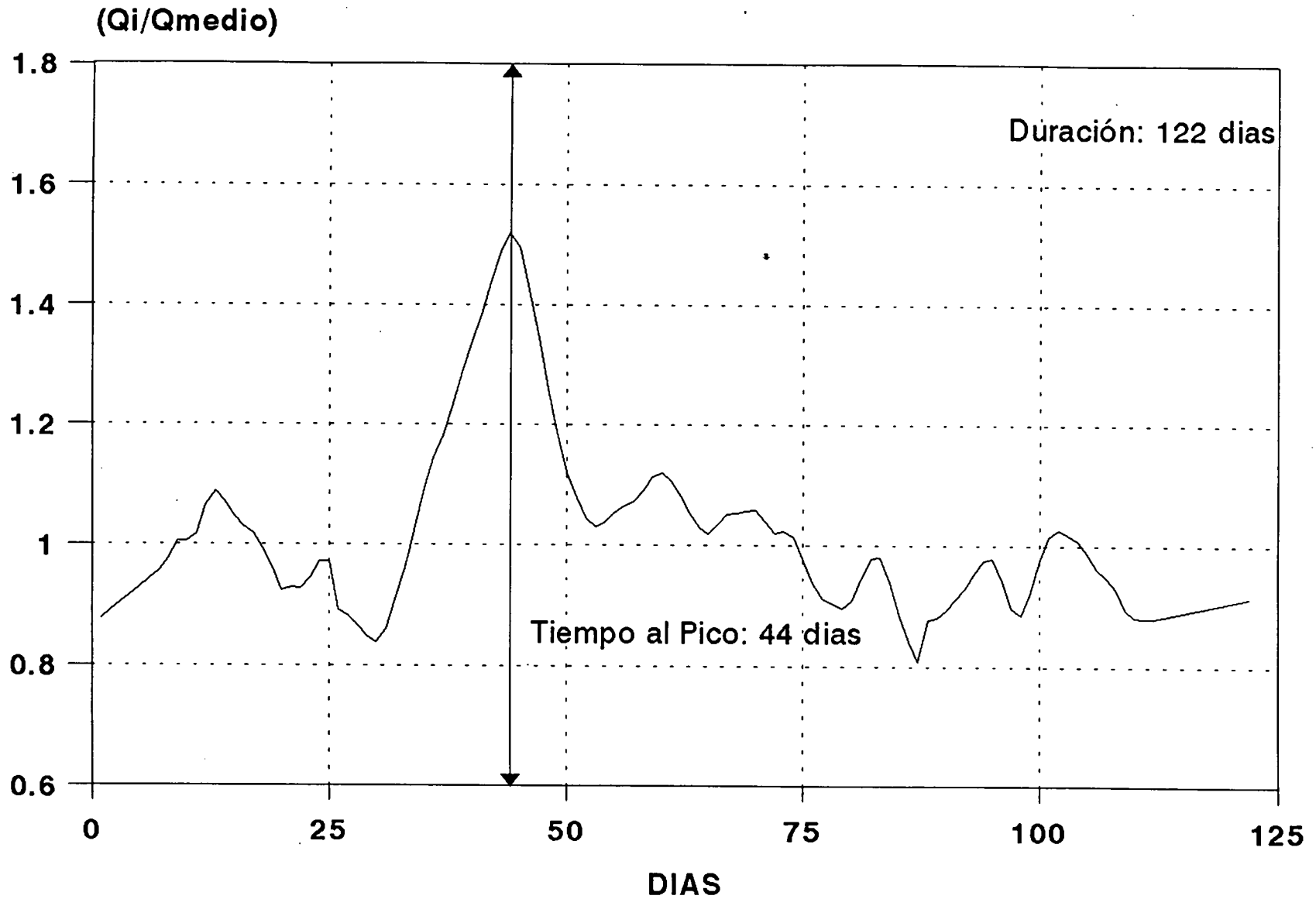


GRAFICO 5.7  
HIDROGRAMA ADIMENSIONAL VOLUMETRICO PROMEDIO (HAVP)  
RIO CARONI EN GURI (1950/1994)



**TABLA 5.3**

**HIDROGRAMA ADIMENSIONAL VOLUMETRICO PROMEDIO  
RIO CARONI EN GURI (1950/1994)  
DURACION: 122 DIAS**

DIA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	0.876	0.889	0.902	0.916	0.929	0.942	0.955	0.975	1.005
10	1.005	1.017	1.065	1.089	1.072	1.047	1.030	1.018	0.993	0.961
20	0.923	0.928	0.927	0.946	0.972	0.972	0.892	0.881	0.866	0.848
30	0.837	0.860	0.907	0.959	1.024	1.094	1.144	1.181	1.230	1.287
40	1.335	1.383	1.437	1.488	1.520	1.495	1.425	1.345	1.261	1.181
50	1.121	1.079	1.045	1.031	1.038	1.054	1.064	1.071	1.090	1.114
60	1.121	1.107	1.083	1.054	1.031	1.019	1.035	1.052	1.053	1.057
70	1.058	1.040	1.021	1.024	1.013	0.976	0.935	0.911	0.903	0.895
80	0.908	0.945	0.979	0.980	0.938	0.886	0.842	0.808	0.877	0.880
90	0.893	0.910	0.928	0.951	0.975	0.979	0.942	0.897	0.884	0.920
100	0.976	1.016	1.027	1.019	1.008	0.989	0.962	0.949	0.928	0.895
110	0.882	0.879	0.879	0.883	0.886	0.889	0.893	0.896	0.900	0.903
120	0.906	0.910	0.913							

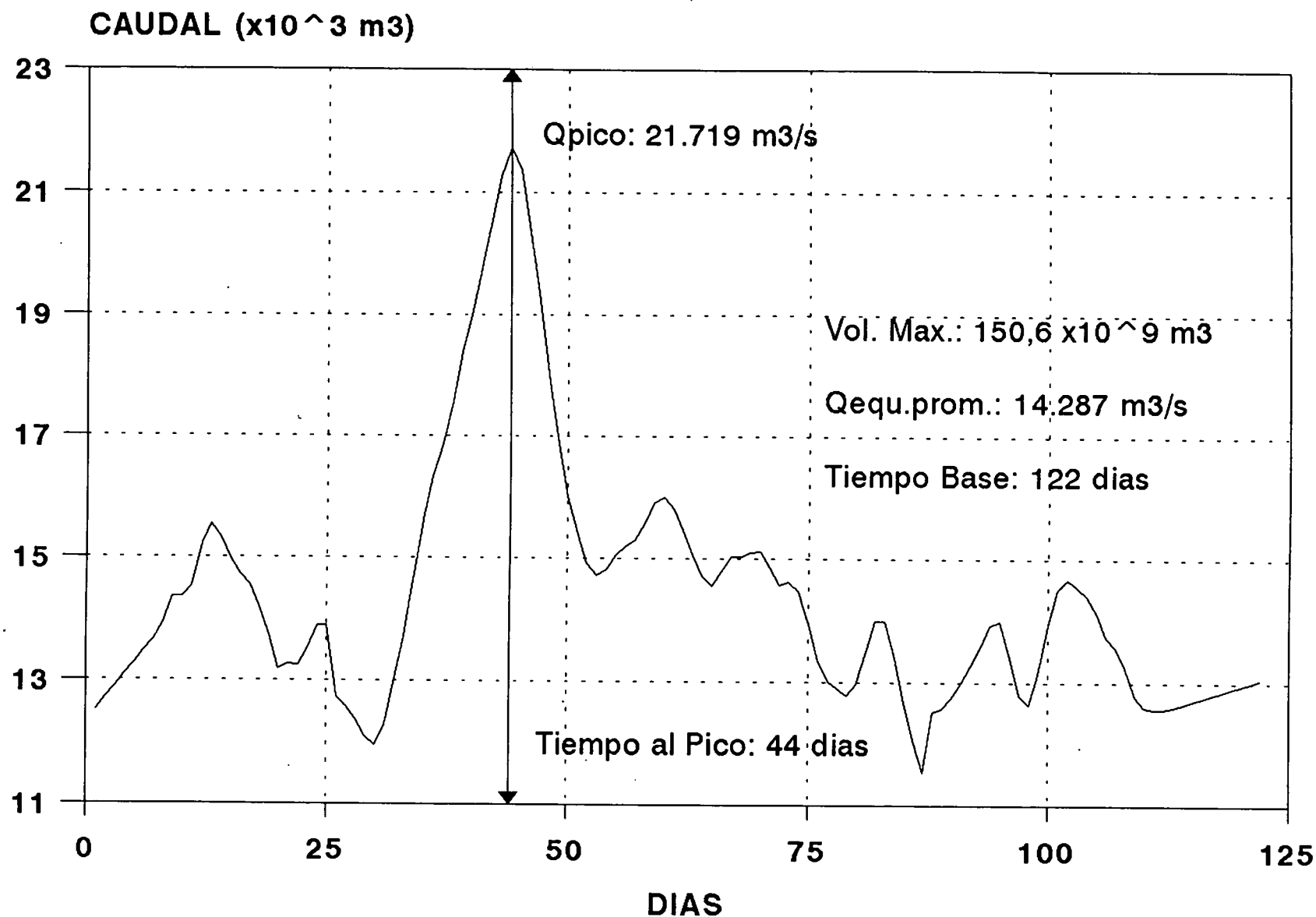
**TABLA 5.4**

**HIDROGRAMA VOLUMETRICO  
PERIODO DE RETORNO: 1.000 AÑOS  
RIO CARONI EN GURI (1950/1994)  
DURACION: 122 DIAS**

DIA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	12511	12701	12890	13080	13270	13458	13648	13934	14363
10	14354	14530	15211	15554	15320	14954	14720	14544	14187	13734
20	13180	13263	13244	13508	13887	13887	12744	12581	12367	12110
30	11961	12293	12964	13707	14633	15627	16350	16879	17567	18387
40	19067	19765	20530	21259	21719	21359	20353	19219	18019	16870
50	16010	15413	14930	14724	14827	15053	15207	15307	15576	15910
60	16013	15816	15470	15053	14724	14556	14793	15033	15044	15096
70	15119	14864	14581	14630	14476	13947	13361	13015	12895	12787
80	12973	13504	13987	13996	13398	12664	12027	11544	12523	12577
90	12751	13005	13263	13584	13930	13987	13458	12808	12630	13144
100	13948	14508	14670	14551	14406	14127	13741	13558	13251	12787
110	12601	12563	12563	12611	12658	12707	12755	12804	12851	12900
120	12948	12995	13044							

GRAFICO 5.8

# HIDROGRAMA VOLUMETRICO DE PERIODO DE RETORNO 1.000 AÑOS RIO CARONI EN GURI (1950/1994)



## 5.2 De Corto Período

### Hidrograma de Extremos Volumétricos (HEV)

El primer paso, es la selección del intervalo de crecimiento de ' $\Delta n$ ' días consecutivos, en este caso de la cuenca del río Caroní en Guri, donde el hidrograma de la CMP tiene una duración cercana a los 25 días, se optó por un ' $\Delta n = 5$  días', con lo cual se divide la CMP en 5 intervalos.

Los siguientes pasos se realizan en forma secuencial y progresiva, en base a lo descrito en el punto 4.2, ha medida que aumenta el intervalo de ' $n$ ' días consecutivos, se llega a una iteración en que deja de decrecer el hidrograma en los puntos inicial y final. De allí que, en las tablas que se presentan a continuación se observa el desarrollo acumulado para varios intervalos de ' $n$ ' días consecutivos, como forma de visualizar el proceso en conjunto y así poder resumir la información procesada.

Partiendo del valor de ' $n = n_1 = \Delta n$ ' (el ' $n$ ' inicial fue 5 días), se procede a llenar una tabla con los volúmenes máximos acumulados ( $VMA_{jn}$ ), desde 1950 hasta 1994 (tabla 5.5), luego se reordenan para ajustarle una distribución de eventos extremos, en este caso Gumbel, (tabla 5.6 y gráfico 5.9) y se determina el volumen de diseño ( $V_n$ ), para el período de retorno de 1.000 años (tabla 5.7 y gráfico 5.9), determinándose el incremento de volumen respectivo ( $DV_n$ ) y el caudal equivalente ( $Q_n$ ) (tabla 5.7). Además se obtiene el tiempo al pico promedio ( $T_{pp}$ ), para ese intervalo de tiempo ' $n$ ', considerando todos los años de registro (tabla 5.8 y tabla 5.7).

Con toda esta información disponible ( $Q_n$  y  $T_{pp}$ ), se desarrolla el histograma de extremos volumétricos (gráfico 5.10), distribuyendo los valores de  $Q_n$ , tanto a la derecha como a la izquierda de  $T_{pp}$ , tal que se cumpla el tiempo de ocurrencia al pico para el intervalo ' $n$ '.

Luego se incrementa el valor de ' $n$ ' en '+ $\Delta n$ ' y se realiza una nueva iteración siguiendo los pasos de los dos párrafos previamente enunciados, esta iteración finaliza hasta encontrar que el valor de  $Q_n$  deja de decrecer al aumentar el valor ' $n$ '.

En el caso particular que se viene estudiando, se realizaron los cálculos para valores de ' $n$ ' de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días consecutivos, considerando que al sobrepasar los 30 días consecutivos se incluiría más de una creciente en el hidrograma de diseño.

Una vez obtenido el histograma total, se procede a ajustarle la curva más representativa, por el método que se considere más adecuado, el cual debe pasar para el valor de  $T_{pp}$  de mayor intervalo de ' $n$ ' posible, por la ordenada de Caudal Máximo Diario de Diseño ( $QMD = 23.213 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (gráfico 2.2), para el período de retorno seleccionado y el área bajo esta curva ajustada debe ser el volumen de diseño ( $V_n = 46,01 \times 10^9 \text{ m}^3$ ) de la creciente para ese mismo intervalo ' $n$ ' (tabla 5.9 y gráfico 5.11), definiendo de esta manera el **Hidrograma de Extremos Volumétricos (HEV)**.

**TABLA 5.5**

**VOLUMEN MAXIMO DE APORTES (1xE9 m3)  
PARA DIFERENTES INTERVALOS DE DIAS CONSECUTIVOS  
RIO CARONI EN GURI (1959/1994)**

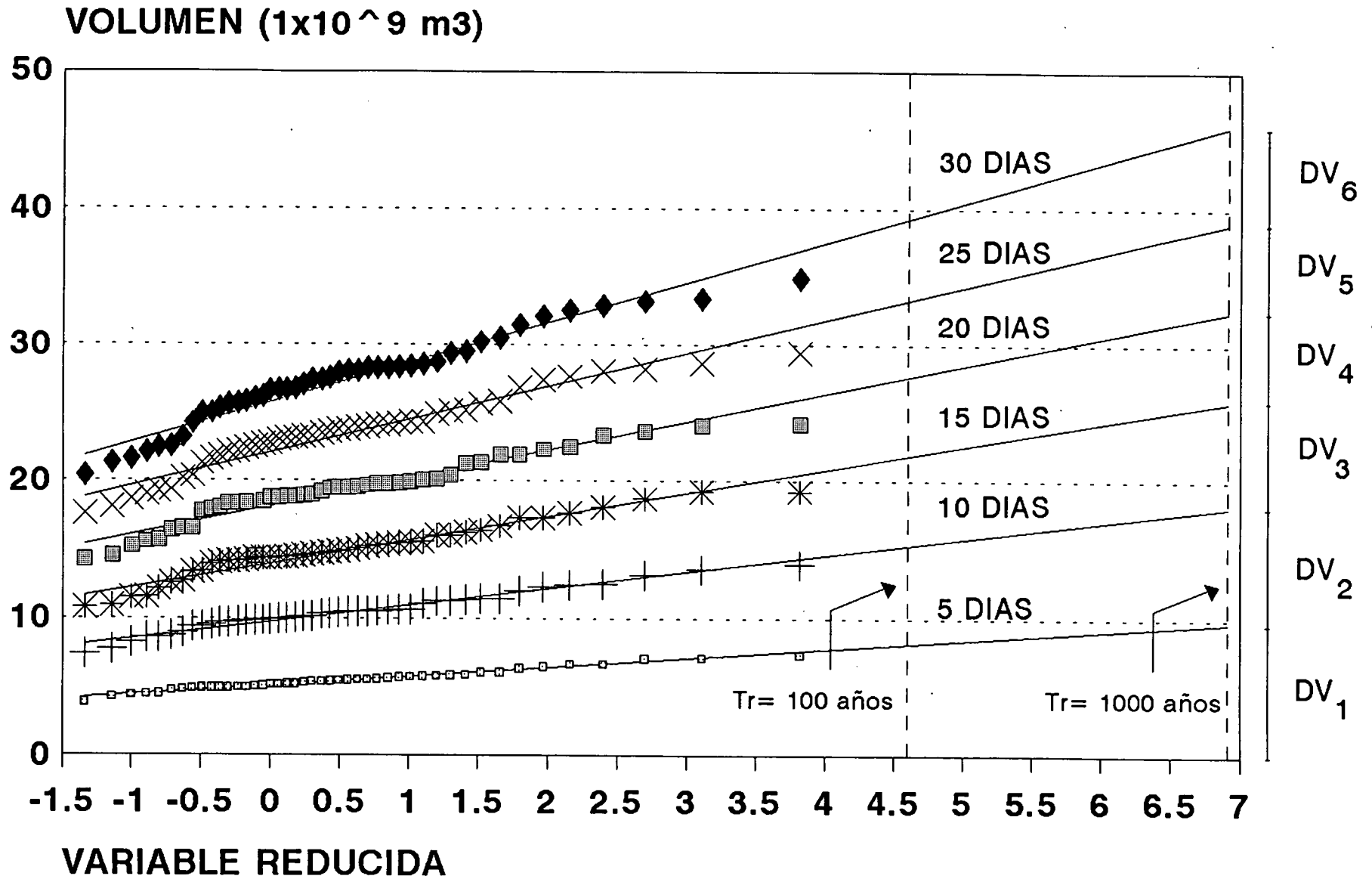
AÑO	DIASCONSECUTIVOS					
	5	10	15	20	25	30
1950	4.95	9.66	14.16	18.99	23.23	26.67
1951	5.24	9.98	15.04	19.59	23.90	27.91
1952	4.97	9.83	14.58	18.86	22.69	26.19
1953	4.94	9.77	14.40	18.41	22.39	25.69
1954	5.22	10.04	14.61	19.79	24.33	28.60
1955	4.51	8.59	12.72	16.56	20.17	23.22
1956	5.80	11.36	16.25	21.29	25.84	29.51
1957	6.70	12.00	16.01	19.89	23.76	27.54
1958	4.85	9.40	13.36	16.43	19.04	21.59
1959	5.22	10.09	14.38	18.35	21.81	25.02
1960	4.79	8.95	12.56	16.52	20.35	24.23
1961	5.67	10.58	14.78	18.78	22.56	25.60
1962	6.09	10.61	15.52	20.41	25.11	30.19
1963	5.57	11.04	15.60	19.67	23.49	28.30
1964	4.47	8.60	12.10	15.67	19.34	22.54
1965	3.86	7.37	10.76	14.22	17.56	20.40
1966	5.74	10.32	14.51	18.89	23.15	26.80
1967	6.53	12.29	17.29	22.32	27.68	32.53
1968	5.55	10.47	15.24	19.46	23.79	27.42
1969	4.97	8.74	11.58	15.22	18.66	22.48
1970	5.06	9.92	14.71	19.18	23.59	28.34
1971	5.41	10.30	14.95	19.51	24.10	28.45
1972	5.60	9.87	13.41	17.77	22.08	26.08
1973	5.44	10.46	15.45	20.07	24.35	28.27
1974	4.43	8.26	11.49	15.58	19.26	22.09
1975	5.49	10.63	15.34	20.16	24.93	29.36
1976	7.36	13.89	19.27	24.08	29.41	34.92
1977	5.83	11.23	16.69	21.33	25.21	28.75
1978	5.77	10.51	14.14	18.43	23.28	27.04
1979	7.11	13.53	19.23	24.20	28.66	33.20
1980	5.09	9.96	14.37	18.34	22.15	25.87
1981	6.38	12.50	18.09	23.39	28.19	32.90
1982	5.41	10.42	15.27	19.76	24.23	28.09
1983	5.35	10.11	14.39	18.06	21.28	25.01
1984	5.52	10.47	14.84	19.45	24.15	28.29
1985	4.94	9.81	14.19	18.49	23.11	27.40
1986	5.23	9.70	13.91	17.92	21.66	25.34
1987	4.89	9.43	14.06	18.79	22.75	26.70
1988	5.92	11.42	16.40	21.90	26.82	31.47
1989	5.88	11.29	15.98	19.87	24.00	28.04
1990	4.94	9.56	14.33	18.84	23.01	26.68
1991	6.71	12.39	17.63	21.91	25.66	30.52
1992	4.28	7.73	10.89	14.51	18.08	21.33
1993	6.09	11.39	17.28	22.48	27.44	32.11
1994	7.14	13.12	18.70	23.66	28.07	33.39
<b>PROMEDIO:</b>	<b>5.49</b>	<b>10.39</b>	<b>14.90</b>	<b>19.27</b>	<b>23.43</b>	<b>27.38</b>
<b>DESVIO:</b>	<b>0.77</b>	<b>1.41</b>	<b>2.00</b>	<b>2.40</b>	<b>2.83</b>	<b>3.40</b>

TABLA 5.6

ANALISIS DE EVENTOS EXTREMOS  
 VOLUMEN MAXIMO DE APORTES (1x $10^9$ )  
 PARA DIFERENTES INTERVALOS DE DIAS CONSECUTIVOS  
 RIO CARONI EN GURI (1959/1994)

ORDEN	DIAS CONSECUTIVOS						PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	VARIABLE REDUCIDA
	5	10	15	20	25	30		
1	7.36	13.89	19.27	24.20	29.41	34.92	46.00	3.82
2	7.14	13.53	19.23	24.08	28.66	33.39	23.00	3.11
3	7.11	13.12	18.70	23.66	28.19	33.20	15.33	2.70
4	6.71	12.50	18.09	23.39	28.07	32.90	11.50	2.40
5	6.70	12.39	17.63	22.48	27.68	32.53	9.20	2.16
6	6.53	12.29	17.29	22.32	27.44	32.11	7.67	1.97
7	6.38	12.00	17.28	21.91	26.82	31.47	6.57	1.80
8	6.09	11.42	16.69	21.90	25.84	30.52	5.75	1.66
9	6.09	11.39	16.40	21.33	25.66	30.19	5.11	1.52
10	5.92	11.36	16.25	21.29	25.21	29.51	4.60	1.41
11	5.88	11.29	16.01	20.41	25.11	29.36	4.18	1.30
12	5.83	11.23	15.98	20.16	24.93	28.75	3.83	1.20
13	5.80	11.04	15.60	20.07	24.35	28.60	3.54	1.10
14	5.77	10.63	15.52	19.89	24.33	28.45	3.29	1.01
15	5.74	10.61	15.45	19.87	24.23	28.34	3.07	0.93
16	5.67	10.58	15.34	19.79	24.15	28.30	2.88	0.85
17	5.60	10.51	15.27	19.76	24.10	28.29	2.71	0.77
18	5.57	10.47	15.24	19.67	24.00	28.27	2.56	0.70
19	5.55	10.47	15.04	19.59	23.90	28.09	2.42	0.63
20	5.52	10.46	14.95	19.51	23.79	28.04	2.30	0.56
21	5.49	10.42	14.84	19.46	23.76	27.91	2.19	0.49
22	5.44	10.32	14.78	19.45	23.59	27.54	2.09	0.43
23	5.41	10.30	14.71	19.18	23.49	27.42	2.00	0.37
24	5.41	10.11	14.61	18.99	23.28	27.40	1.92	0.30
25	5.35	10.09	14.58	18.89	23.23	27.04	1.84	0.24
26	5.24	10.04	14.51	18.86	23.15	26.80	1.77	0.18
27	5.23	9.98	14.40	18.84	23.11	26.70	1.70	0.12
28	5.22	9.96	14.39	18.79	23.01	26.68	1.64	0.06
29	5.22	9.92	14.38	18.78	22.75	26.67	1.59	0.00
30	5.09	9.87	14.37	18.49	22.69	26.19	1.53	-0.05
31	5.06	9.83	14.33	18.43	22.56	26.08	1.48	-0.11
32	4.97	9.81	14.19	18.41	22.39	25.87	1.44	-0.17
33	4.97	9.77	14.16	18.35	22.15	25.69	1.39	-0.23
34	4.95	9.70	14.14	18.34	22.08	25.60	1.35	-0.30
35	4.94	9.66	14.06	18.06	21.81	25.34	1.31	-0.36
36	4.94	9.56	13.91	17.92	21.66	25.02	1.28	-0.42
37	4.94	9.43	13.41	17.77	21.28	25.01	1.24	-0.49
38	4.89	9.40	13.36	16.56	20.35	24.23	1.21	-0.56
39	4.85	8.95	12.72	16.52	20.17	23.22	1.18	-0.63
40	4.79	8.74	12.56	16.43	19.34	22.54	1.15	-0.71
41	4.51	8.60	12.10	15.67	19.26	22.48	1.12	-0.80
42	4.47	8.59	11.58	15.58	19.04	22.09	1.10	-0.89
43	4.43	8.26	11.49	15.22	18.66	21.59	1.07	-1.00
44	4.28	7.73	10.89	14.51	18.08	21.33	1.05	-1.14
45	3.86	7.37	10.76	14.22	17.56	20.40	1.02	-1.34
<b>PROMEDIO:</b>	<b>5.49</b>	<b>10.39</b>	<b>14.90</b>	<b>19.27</b>	<b>23.43</b>	<b>27.38</b>		
<b>DESUDIO:</b>	<b>0.77</b>	<b>1.41</b>	<b>2.00</b>	<b>2.40</b>	<b>2.83</b>	<b>3.40</b>		

**GRAFICO 5.9**  
**EVENTOS EXTREMOS DE VOLUMEN MAXIMO**  
**PARA INTERVALOS DE DIAS CONSECUTIVOS - GURI (1950/1994)**



**TABLA 5.7**  
**ANALISIS DEL HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMETRICO**  
**PERIODO DE RETORNO DE 1.000 AÑOS**  
**RIO CARONI EN GURI (1959/1994)**

DIAS CONSECUTIVOS	VOLUMEN MAXIMO (1x10 <sup>9</sup> m3)	INCREMENTO	CAUDAL EQUIVALENTE AL INCREM. (m3/s)	TIEMPO AL PICO (DIA)
		VOL. MAX. (1x10 <sup>9</sup> m3)		
5	9.71	9.71	22477	3
10	18.12	8.41	19468	6
15	25.86	7.74	17917	9
20	32.42	6.56	15185	11
25	38.94	6.52	15093	13
30	46.01	7.07	16366	15

**TABLA 5.8**  
**TIEMPO AL PICO PARA EL VOLUMEN MAXIMO**  
**EN DIFERENTES INTERVALOS DE DIAS CONSECUTIVOS**  
**RIO CARONI EN GURI (1959/1994)**

AÑO	DIAS CONSECUTIVOS					
	5	10	15	20	25	30
50	3	2	4	3	4	6
51	4	9	14	17	23	25
52	4	10	13	16	18	19
53	3	7	8	12	16	20
54	2	3	2	3	4	4
55	4	9	12	17	20	22
56	4	6	7	7	9	10
57	3	5	8	14	18	25
58	2	6	6	9	8	11
59	3	6	9	10	11	16
60	3	6	10	5	5	5
61	5	7	7	11	14	16
62	3	5	7	10	15	3
63	5	9	12	15	17	9
64	3	4	7	14	18	22
65	3	4	11	15	18	19
66	3	5	14	16	16	16
67	4	7	9	8	8	10
68	3	7	11	11	11	13
69	3	5	10	3	24	27
70	3	9	13	16	10	14
71	3	3	9	14	4	7
72	2	4	9	5	9	9
73	3	7	12	15	14	18
74	3	6	11	18	20	21
75	4	5	5	5	6	12
76	3	6	8	11	21	24
77	3	8	11	14	16	22
78	3	5	8	17	20	23
79	2	3	7	11	16	22
80	5	8	8	9	9	8
81	5	7	11	14	15	19
82	3	8	12	13	14	15
83	2	5	9	12	13	9
84	3	4	5	4	4	6
85	4	9	10	9	9	29
86	2	5	9	9	11	8
87	3	4	2	4	6	1
88	2	5	13	14	19	24
89	4	5	8	12	7	7
90	1	5	11	15	18	22
91	3	7	11	13	12	25
92	3	6	8	3	5	3
93	2	4	2	2	3	3
94	2	5	10	13	12	10
<b>PROMEDIO</b>	3.11	5.89	8.96	10.84	12.67	14.64
<b>PROM. APROX.</b>	3	6	9	11	13	15

# GRAFICO 5.10

## DISTRIBUCION DEL HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMETRICOS

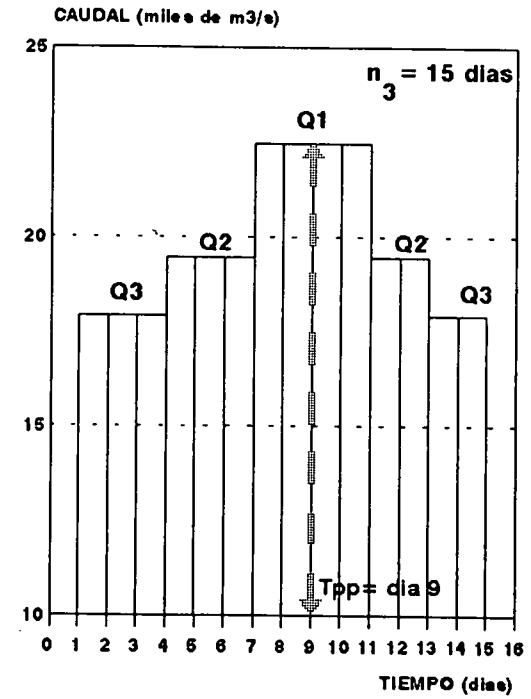
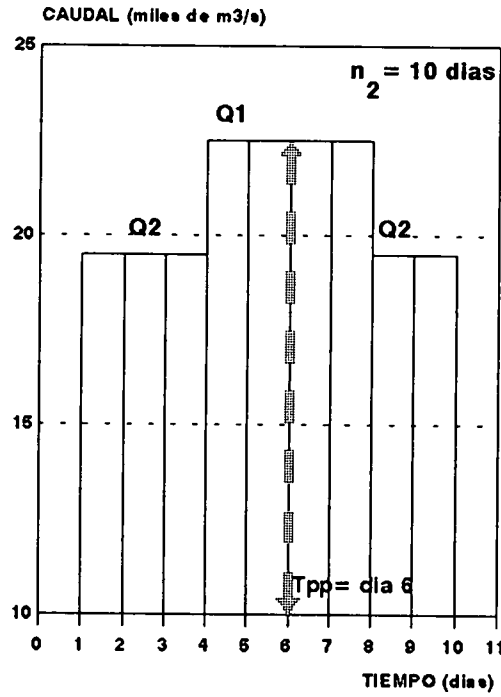
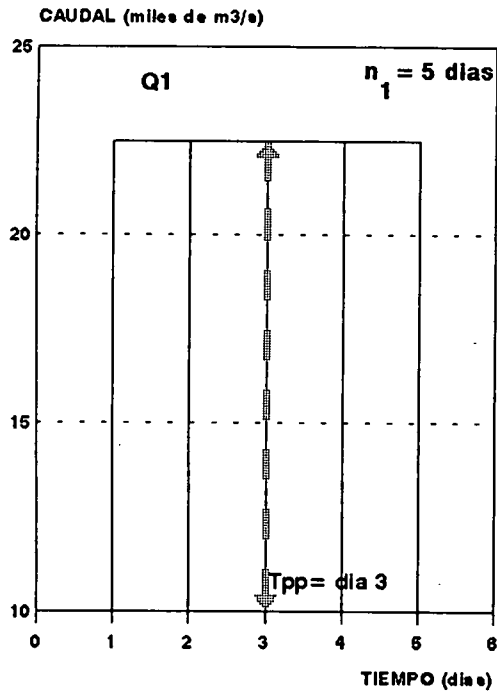
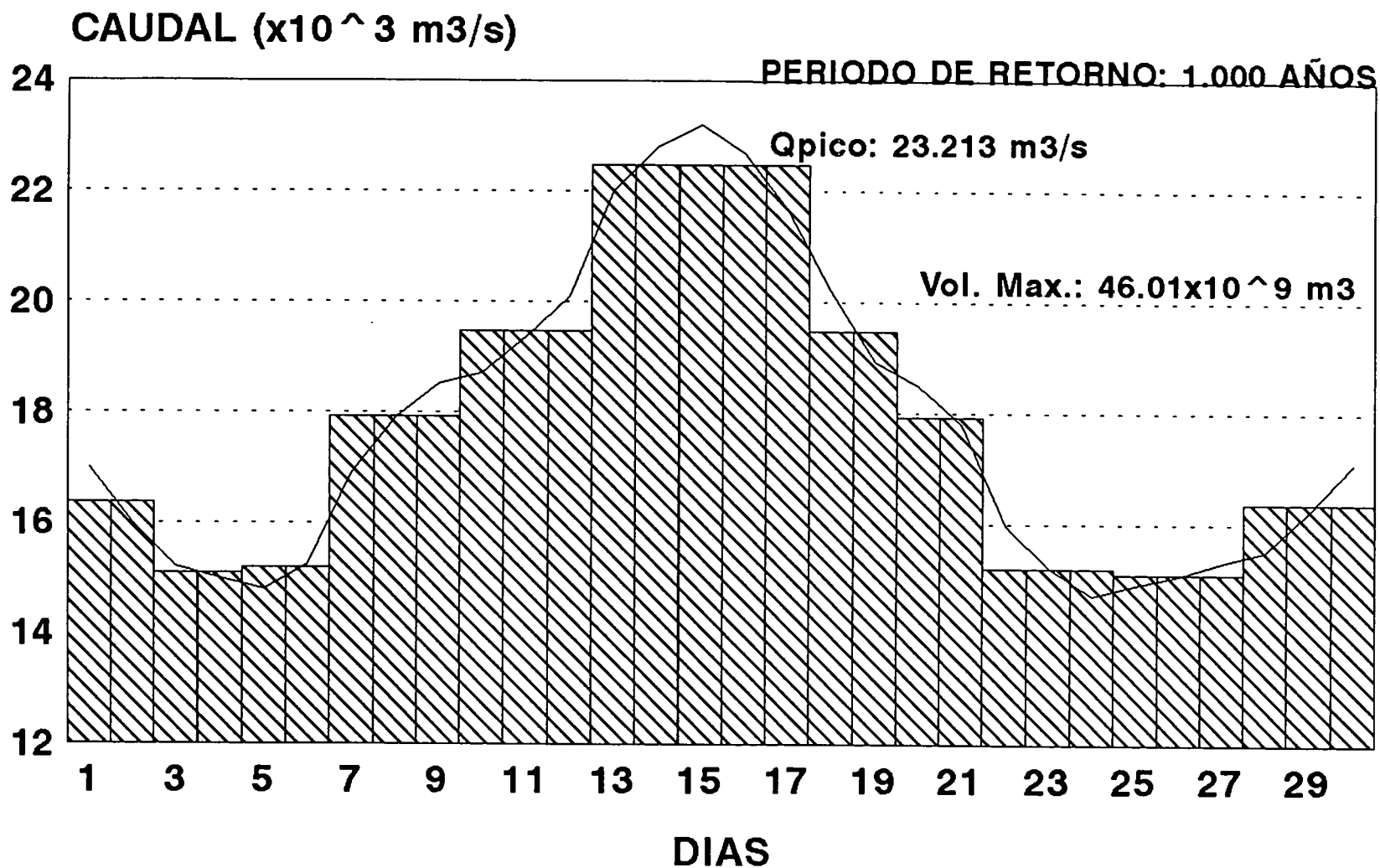


GRAFICO 5.11

# HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMETRICO (HEV) RIO CARONI EN GURI (1959/1994)



HEV — AJUSTE HEV

TABLA 5.9

HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMÉTRICOS (HEV)  
 RIO CARONÍ EN GURI (1950/1994)  
 PERIODO DE RETORNO: 1.000 AÑOS  
 DURACIÓN: 30 DÍAS

DÍA	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
1	17000
2	16000
3	15200
4	15000
5	14800
6	15250
7	16900
8	17900
9	18500
10	18714
11	19373
12	20100
13	22000
14	22800
15	23213
16	22700
17	21670
18	20224
19	18930
20	18485
21	17800
22	15975
23	15200
24	14700
25	14900
26	15065
27	15300
28	15500
29	16230
30	17100

### 5.3 Coincidencia del Caudal Pico Máximo y del Volumen Máximo Anuales

Como se puede apreciar, en la elaboración del Hidrograma de Extremos Volumétricos (HEV), se conjugan el caudal máximo diario y el volumen máximo para el intervalo de 'n' días consecutivos, por lo que es importante evaluar la coincidencia o probabilidad conjunta de estos elementos

Para ello, se evalúa para cada intervalo de días consecutivos 'n', en donde se ubica el volumen máximo acumulado del año 'j' (VMA<sub>j</sub>), si contiene o no al Caudal Máximo Diario (QMD<sub>j</sub>) del año. Calculando la probabilidad conjunta (P<sub>n</sub>), al dividir el total de años de coincidencia entre el número de años observados.

$$P_n (\%) = (N^\circ \text{ total de Coincidencias 't=n' / } N^\circ \text{ de años Observados}) \times 100$$

Para facilitar esta operación se va rellorando una tabla que contiene a cada uno de los valores de 'n' días consecutivos evaluados y los años de registro histórico, adjudicando un cero (0), cuando no coincidan el caudal máximo anual dentro del intervalo del volumen máximo acumulado y un número uno (1) cuando si coincidan, por lo que al final sólo será necesario obtener el número total de coincidencias (tabla 5.10).

Para el caso en estudio el mayor valor de probabilidad conjunta, que fue de 84.44 %, ocurrió para los intervalos de 5 y 10 días consecutivos y el menor valor de probabilidad conjunta, de 75.56 %, para los intervalos de 20 y 25 días consecutivos.

Se puede decir que la probabilidad de coincidencia evaluada es elevada, por lo cual es válido asumir que el Caudal Máximo Diario de Diseño (CMD) es representativo del HEV en este caso particular del río Caroní en Guri.

TABLA 5.10

PROBABILIDAD DE COINCIDENCIA  
CAUDAL MAXIMO VS VOLUMEN MAXIMO  
RIO CARONI EN GURI (1959/1994)

AÑO	DIAS CONSECUTIVOS					
	5	10	15	20	25	30
50	0	1	1	0	0	0
51	1	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1
54	0	0	0	0	0	0
55	1	1	1	0	0	0
56	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1	1
59	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1
61	1	1	1	1	1	1
62	1	1	0	0	0	1
63	1	1	1	1	1	1
64	0	0	0	0	0	0
65	1	1	1	1	1	1
66	1	1	0	0	0	0
67	1	1	1	1	1	1
68	1	1	1	1	1	1
69	1	1	0	0	0	0
70	1	1	1	1	1	1
71	0	0	1	1	0	0
72	1	1	0	0	0	0
73	1	1	1	1	1	1
74	1	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1	1
77	1	1	1	1	1	1
78	1	1	1	1	1	1
79	1	1	1	1	1	1
80	1	1	1	1	1	1
81	1	1	1	1	1	1
82	1	0	0	0	0	0
83	1	1	1	1	1	1
84	1	1	1	1	1	1
85	0	0	0	0	0	1
86	1	1	1	1	1	1
87	0	0	0	0	1	1
88	1	1	1	1	1	1
89	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1
91	1	1	1	1	1	1
92	1	1	1	1	1	1
93	0	0	1	1	1	1
94	1	1	1	1	1	1
N° DE COINCIDENCIAS	38	38	36	34	34	36
N° DE AÑOS	45	45	45	45	45	45
PROBABILIDAD	84.44	84.44	80.00	75.56	75.56	80.00

NOTA: 0= NO COINCIDE EL CAUDAL MAXIMO Y EL VOLUMEN MAXIMO  
1= COINCIDE EL CAUDAL MAXIMO Y EL VOLUMEN MAXIMO

## 6. CONCLUSIONES

Estas metodologías de hidrogramas volumétricos, tienen su principal utilidad para el diseño de estructuras en las cuales tanto el valor de caudal máximo, como el volumen de la creciente, puedan afectar la seguridad de esa estructura. De allí, que en el caso de cuencas pequeñas, que respondan rápidamente (con hidrogramas con ascensos y descensos violentos) o en aquellas obras con gran capacidad de almacenamiento, ubicadas sobre ríos con bajos aportes, no será necesario de un hidrograma volumétrico.

Los hidrogramas volumétricos, proporcionan una mejor caracterización de las crecientes de una cuenca, al compararselas con los hidrogramas desarrollados utilizando el método de la Creciente Máxima Probable (CMP) o de los hidrogramas proporcionales a la CMP. Ya que ellas se basan en información observada de escurrimientos diarios para intervalos de días consecutivos y no como una extrapolación de tormentas máximas que se ubican sobre la cuenca en estudio y a la cual se la orienta geográficamente para generar la mayor creciente posible, que es el caso de la CMP.

Se plantea que el hidrograma desarrollado por el método del HEV, sea el sustituto del hidrograma de la CMP o de sus hidrogramas proporcionales, en las cuencas con suficiente información de escurrimiento.

Se ha observado que la aplicación de ambos metodos de hidrogramas volumétricos, en diferentes puntos de la cuenca del Caroní, respondió a las expectativas para lá determinación de los hidrogramas de eventos extremos y que su desarrollo es sencillo y de rápida aplicación, lo cual no es el caso del hidrograma de la CMP.

En el caso de la cuenca del Caroní, se encontró una probabilidad de coincidencia alta entre el caudal máximo anual y los volúmenes máximos anuales, por lo que es necesario considerar el valor de pico de diseño para definir el hidrograma volumétrico.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Master Plan for the Lower Caroní. EDELCA-HARZA. año 1980
  
- Informe Técnico N° 3  
Movimientos del Embalse Guri - Etapa Final  
Análisis de Eventos Extremos  
División de Cuencas e Hidrología  
Octubre 1984
  
- Estimación del Caudal Máximo a ser descargado por el Aliviadero de Guri  
División de Cuencas e Hidrología  
Noviembre 1985
  
- Hidrogramas Volumétricos  
Valdemar Andrade  
III Encuentro Nacional Clima, Agua y Tierra  
Noviembre 1987
  
- Hidrogramas Volumétricos  
Valdemar Andrade  
I Jornadas Profesionales de EDELCA  
Octubre 1991
  
- Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays  
Hidrología Aplicada  
Capítulo: Hidrogramas Unitarios (220-238)  
Análisis de Frecuencia (391-409)
  
- Jack R. Benjamin y Cornell  
Probabilidad y Estadística en Ingeniería Civil  
Capítulo: El modelo de Extremos (269-283)
  
- Linsley, Ray K.  
Hidrología para Ingenieros (1977)  
Capítulo: Hidrogramas de Crecientes (183-207)