



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS PARA OBTENCIÓN DE  
HIDROGRAMAS DE DISEÑO QUE RELACIONAN AL VOLUMEN  
CON EL CAUDAL MÁXIMO**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA**

PRESENTA:

**ING. EDUARDO OMAR COPCA MAYA**

DIRECTOR DE TESINA: DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD MX.

FEBRERO 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*A mis padres*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y su Facultad de Ingeniería por abrirme las puertas al conocimiento y la superación.

Al Instituto de Ingeniería de la UNAM, en especial al Dr. Oscar Arturo Fuentes Mariles y al M. en I. Hipólito Lorenzo Morales Rodríguez por su guía y apoyo para la elaboración de este trabajo.

A mis padres por siempre cuidarme, apoyarme, y enseñarme en cada aspecto de mi vida. Gracias por todo.

A mi hermana por estar ahí siempre para mí cuando yo lo requerí.

A Sandy por estar a mi lado apoyándome en todo momento.

A cada profesor de la Facultad de Ingeniería que me enseñó durante mi estancia en la carrera y ahora en la especialidad.

A todos mis amigos que hicieron que cada momento en la universidad fuese magnífico.

A toda aquella persona que me tendió su mano para brindarme ayuda.

# Comparación de dos métodos para obtención de hidrogramas de diseño que relacionan al volumen con el caudal máximo

## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	10
2.	ALGUNOS ASPECTOS DE HIDROLOGÍA .....	11
2.1	Funciones de probabilidad .....	11
2.1.1	Función Normal .....	11
2.1.1	Función Lognormal .....	12
2.1.2	Función de distribución Pearson III .....	13
2.1.3	Función de distribución Gumbel .....	14
2.1.4	Función Doble Gumbel .....	15
2.1.5	Métodos de ajuste .....	16
2.2	Periodo de Retorno .....	17
3.	MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA PARA OBTENER HIDROGRAMAS .....	18
3.1	Metodología .....	18
3.1.1	Tiempo Base .....	18
3.1.2	Gasto Máximo .....	19
3.1.3	Forma del Hidrograma .....	25
4.	MÉTODO BIVARIADO DE RAMÍREZ Y ALDAMA .....	27
4.1	Metodología .....	27
4.1.1	Tiempo Base .....	27
4.1.2	Volumen Máximo .....	27
4.1.3	Gasto Máximo .....	29
4.1.4	Forma del Hidrograma .....	34
5.	EJEMPLOS DE APLICACIÓN. CÁLCULO DE HIDROGRAMAS PARA LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS 28039 Y 28040 .....	37
a.	Estación 28039 .....	38
i.	Método del Instituto de Ingeniería .....	38
ii.	Método Bivariado .....	50
b.	Estación 28040 .....	70
i.	Método del Instituto de Ingeniería .....	70
ii.	Método Bivariado .....	79

6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	94
7. CONCLUSIONES .....	106
ANEXO 1 .....	108
REFERENCIAS .....	127

## Índice de Tablas

Tabla 3.1 Cálculo de gastos medios promedio en "n" días .....	20
Tabla 3.2 Ejemplo de tabla resumen de gastos promedio máximos en cada año para diferentes duraciones n .....	21
Tabla 3.3 Volúmenes máximos anuales para n días de duración, en m <sup>3</sup> .....	22
Tabla 3.4 Ejemplo de tabla de resultados de interpolación para diferentes duraciones n, en m <sup>3</sup> ...	24
Tabla 3.5 Ejemplificación de gastos que se presentan en un día.....	25
Tabla 3.6 Hidrogramas de escurrimiento para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos.....	26
Tabla 4.1 Ejemplo de obtención de volumen máximo en un año para el día que se presenta el Q máximo.....	28
Tabla 4.2 Ejemplo de hidrograma de registros en el que se presenta el Q máximo y el V máximo.	29
Tabla 4.3 Ejemplo de resumen de máximos gastos y volúmenes anuales .....	30
Tabla 4.4 Resultados de ajuste Doble Gumbel.....	32
Tabla 4.5 Ejemplo de resultados de función conjunta bivariada .....	32
Tabla 4.6 Ejemplo de obtención de periodos de retorno asociados a la función bivariada .....	33
Tabla 5.1 Gastos medios máximos anuales para 256 días .....	39
Tabla 5.2 Cálculo de gasto medio para 10 días de enero de 1952.....	42
Tabla 5.3 Calculo de $Q_n$ para duraciones n=1, 2, 3,...,10 para enero de 1952 .....	43
Tabla 5.4 Gastos promedio máximos anuales $QA$ para n días.....	44
Tabla 5.5 Volúmenes máximos anuales para n días .....	46
Tabla 5.6 Volúmenes interpolados para diferentes periodos de retorno y duraciones n de 1 a 10	47
Tabla 5.7 Hidrograma de un día para duraciones n de 1 a 10 .....	48
Tabla 5.8 Hidrograma de escurrimiento con la forma de bloques alternos .....	49
Tabla 5.9 Gastos Máximos Anuales.....	52
Tabla 5.10 Gastos y Volúmenes máximos anuales .....	54
Tabla 5.11 Resultados del ajuste con la función Doble Gumbel .....	56
Tabla 5.12 Resultados del cálculo de funciones marginales de gasto y volumen.....	57
Tabla 5.13 Obtención de desviaciones estándar y covarianza para gastos y volúmenes.....	58
Tabla 5.14 Valor de la función conjunta bivariada.....	59
Tabla 5.15 Obtención de los periodos de retorno asociados a la función conjunta bivariada .....	60
Tabla 5.16 10 máximos gastos y volúmenes registrados .....	62
Tabla 5.17 Hidrograma para el $Tr=100$ años con forma triparamétrica hermitiana obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama. ....	64
Tabla 5.18 Combinaciones de gasto y volumen aceptables para su uso con $Tr=100$ .....	68
Tabla 5.19 Gastos medios máximos anuales en 256 días .....	70
Tabla 5.20 Calculo de $Q_n$ para duraciones n=1, 2, 3,..., 10 días para enero de 1952.....	73
Tabla 5.21 Gastos promedio máximos en cada año para n=1, 2,3,...,10 días, en rojo se marcan los años que no se utilizarán .....	74
Tabla 5.22 Volúmenes máximos anuales para n=1, 2, 3,..., 10 días.....	76
Tabla 5.23 Volúmenes interpolados para diferentes $Tr$ con la función Doble Gumbel .....	77
Tabla 5.24 Hidrograma para un día para duraciones n=1, 2, 3,..., 10 días.....	78

Tabla 5.25 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos para la estación 28040 .....	78
Tabla 5.26 Gastos máximos anuales de la estación 28040 El Tejar .....	80
Tabla 5.27 Máximos gastos y volúmenes anuales .....	81
Tabla 5.28 Resultados del ajuste Doble Gumbel con el software AX. ....	83
Tabla 5.29 Obtención de valores marginales de gasto y volumen .....	83
Tabla 5.30 Obtención de desviaciones estándar y covarianza de gastos y volúmenes .....	84
Tabla 5.31 Resultados de la función conjunta bivariada.....	85
Tabla 5.32 Obtención de los periodos de retorno asociados a gastos y volúmenes marginales así como a la función conjunta bivariada .....	86
Tabla 5.33 diez máximos volúmenes y gastos del registro .....	87
Tabla 5.34 Identificación de número de repeticiones de cada combinación .....	87
Tabla 5.35 Hidrograma obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama para un $Tr=100$ años con forma triparamétrica hermitiana de 3er orden.....	89
Tabla 5.36 Valores de gasto y volumen que se consideran aceptables para la estimación de la avenida de diseño .....	93
Tabla 6.1 Gastos pico de hidrogramas para ambos métodos, estación 28039 .....	95
Tabla 6.2 Volúmenes de hidrogramas para ambos métodos estación 28039 .....	95
Tabla 6.3 Resultados de métodos para un $Tr=2$ , estación 28039 .....	97
Tabla 6.4 Resultados de hidrogramas, estación 28039.....	98
Tabla 6.5 Características de hidrogramas $Tr=100$ , estación 28039 .....	98
Tabla 6.6 Características de hidrogramas $Tr=1000$ , estación 28039 .....	99
Tabla 6.7 Características de hidrogramas $Tr=10000$ , estación 28039 .....	100
Tabla 6.8 Gastos pico, estación 28040 .....	100
Tabla 6.9 Volúmenes de hidrogramas, estación 28040 .....	101
Tabla 6.10 Características de hidrogramas $Tr=10$ , estación 28040 .....	102
Tabla 6.11 Características de hidrogramas $Tr=50$ , estación 28040 .....	102
Tabla 6.12 Características de hidrogramas $Tr=100$ , estación 28040 .....	103
Tabla 6.13 Características de hidrogramas $Tr=1000$ , estación 28040 .....	104
Tabla 6.14 Características de hidrogramas $Tr=10000$ , estación 28040 .....	105



## Índice de Figuras

Figura 2.1 Función de distribución Normal .....	12
Figura 2.2 Función de distribución Lognormal.....	13
Figura 2.3 Función de distribución Pearson III .....	14
Figura 2.4 Función de distribución Gumbel .....	15
Figura 2.5 Función de distribución Doble Gumbel.....	16
Figura 3.1 Ejemplos de hidrogramas de escurrimiento para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos .....	26
Figura 5.1 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1958 .....	39
Figura 5.2 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1955 .....	40
Figura 5.3 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1952 .....	40
Figura 5.4 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 2005 .....	40
Figura 5.5 Hidrograma de escurrimiento para diferentes Tr usando la forma de bloques alternos obtenido con el método del Instituto de Ingeniería .....	50
Figura 5.6 Hidrograma triparamétrico de tercer orden para un Tr=100 años obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama .....	65
Figura 5.7 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno obtenidos con el método bivariado de Ramírez y Aldama.....	65
Figura 5.8 Combinaciones de Gasto y volumen que cumplen con el Tr=100 para la estación Paso del Toro .....	66
Figura 5.9 Selección de valores admisibles del método Bivariado .....	67
Figura 5.10 Curva de valores aceptables para su uso en avenidas de diseño con Tr=100 .....	69
Figura 5.11 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1955 .....	71
Figura 5.12 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1969 .....	71
Figura 5.13 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1958 .....	71
Figura 5.14 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1981 .....	72
Figura 5.15 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos obtenidos con el método del Instituto de Ingeniería.....	79
Figura 5.16 Hidrograma para un Tr=100 años con forma triparamétrica hermitiana, obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama .....	90
Figura 5.17 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno obtenidos con el método bivariado de Ramírez y Aldama.....	90
Figura 5.18 Curva de combinaciones de gasto y volumen que cumplen con el Tr=100 para la estación El Tejar .....	91
Figura 5.19 Selección de valores aceptables de combinación de gasto y volumen para la estación El Tejar.....	92
Figura 5.20 Curva de combinaciones de gasto y volumen con Tr=100 aceptables para su uso .....	93
Figura 6.1 Hidrogramas para un Tr=2, estación 28039 .....	96
Figura 6.2 Hidrogramas para Tr=50 años, estación 28039 .....	97
Figura 6.3 Hidrogramas para Tr=100 años, estación 28039 .....	98
Figura 6.4 Hidrogramas para Tr=1000 años, estación 28039 .....	99
Figura 6.5 Hidrogramas para Tr=10000 años, estación 28039 .....	99
Figura 6.6 Hidrogramas para Tr=10 años, estación 28040.....	101
Figura 6.7 Hidrogramas para Tr=50 años, estación 28040.....	102

Figura 6.8 Hidrogramas para $Tr=100$ años, estación 28040.....	103
Figura 6.9 Hidrogramas para $Tr=1000$ años, estación 28040.....	104
Figura 6.10 Hidrogramas para $Tr=10000$ años, estación 28040.....	105

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento en la población aumenta las necesidades de vivienda, alimento, caminos y la demanda de agua, por ende, también de ampliar la infraestructura hidráulica para abastecer, utilizar y proteger el agua, para ello se requiere de realizar adecuadas estimaciones de la Hidrología para diseñar estructuras útiles, eficientes y seguras.

Para obtener hidrogramas para el diseño de diferentes tipos de obras hidráulicas cuyas características incluyan el valor de gasto pico al volumen máximo durante un lapso, es necesario emplear métodos especiales, e identificar sus consideraciones y diferencias, para con ello seleccionar la opción para contar con hidrogramas de diseño adecuados.

Se describen dos métodos para obtener hidrogramas que contemplan tanto el gasto máximo como el volumen en un cierto intervalo de tiempo. Ambos parten del uso de registros hidrométricos y se consideran escurrimientos importantes durante varios días. El primero de ellos es un método creado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el segundo, desarrollado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) que es conocido como Método Bivariado de Ramírez y Aldama.

Como ejemplo, se aplicarán ambos métodos para datos de estaciones hidrométricas del Estado de Veracruz, con el objetivo de obtener hidrogramas de diseño correspondientes a los ríos Jamapa y Cotaxtla y así mostrar el comportamiento y resultados de ambas metodologías.

## 2. ALGUNOS ASPECTOS DE HIDROLOGÍA

En la hidrología se hace uso de diferentes aspectos y términos comunes en el ramo, a continuación se presentan algunos de los cuales se hará uso en este documento.

### 2.1 Funciones de probabilidad

La planeación y el diseño de obras hidráulicas están relacionados con eventos hidrológicos futuros, cuyo tiempo de ocurrencia o magnitud no pueden predecirse, ya que siguen leyes de azar. Es por ello que la probabilidad y estadística juegan un papel muy importante para pronosticar eventos hidrológicos (Palacios C., 2010).

Para pronosticar la magnitud de eventos hidrológicos futuros se emplean diversas funciones de distribución de probabilidad, seleccionando aquella que se ajuste de mejor forma a la distribución de los datos registrados.

En la literatura técnica se han descrito diversas funciones de probabilidad, cada una con características particulares. A continuación se presentan algunas de las más utilizadas en el análisis de los flujos de agua en los ríos, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Normal
- Lognormal
- Gumbel
- Doble Gumbel
- Pearson III

#### 2.1.1 Función Normal

Conocida también como función de Gauss se describe de la siguiente manera:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

Y su función de densidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}; -\infty < x < \infty$$

Donde

$e= 2.7182$

$x$  variable aleatoria

$\mu$  media

$\pi= 3.1416$

$\sigma$  desviación estándar

Expresada de forma gráfica la función normal es una curva con forma de campana, con un eje de simetría ubicado en el valor de la media ( $\mu$ ). La distancia que la curva presenta del eje de simetría al punto de inflexión de la curva es el valor igual a la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la población.

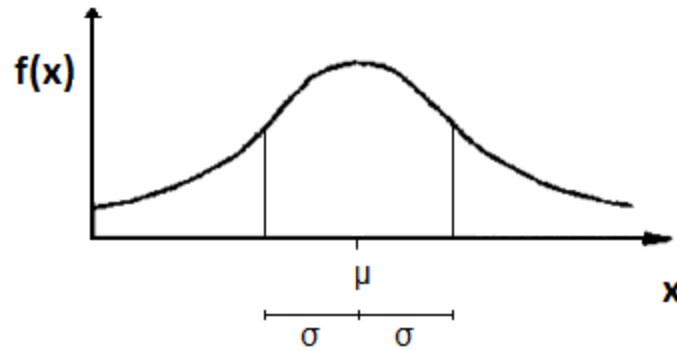


Figura 2.1 Función de distribución Normal

### 2.1.1 Función Lognormal

Si la variable aleatoria  $y=\text{Log } x$  está normalmente distribuida, entonces se dice que  $x$  está distribuida en forma lognormal, por lo tanto la función de probabilidad se escribe:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln-\alpha}{\beta}\right)^2} dx$$

Y su función de densidad:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln-\alpha}{\beta}\right)^2}$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros de la distribución, estos corresponden a la media y desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria  $x$ .

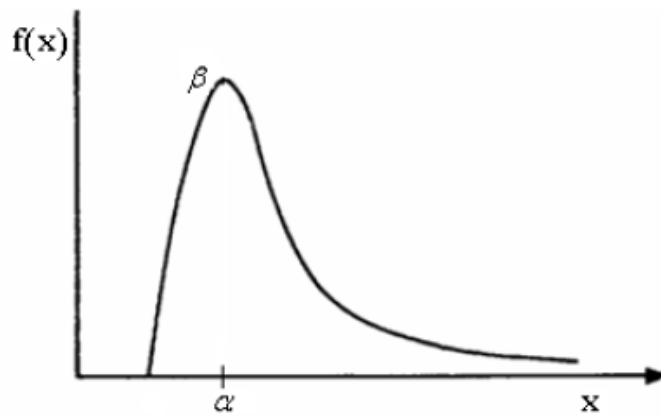


Figura 2.2 Función de distribución Lognormal

### 2.1.2 Función de distribución Pearson III

También conocida como Gamma de tres parámetros se encuentra definida por:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}\right)} \left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}\right)^{\beta_1-1} dx$$

Y su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left\{ \frac{x-\delta_1}{\alpha_1} \right\}^{\beta_1-1} e^{-\left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}\right)}$$

Donde

$\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  son los parámetros de la función y

$\Gamma(\beta_1)$  es la función Gamma.

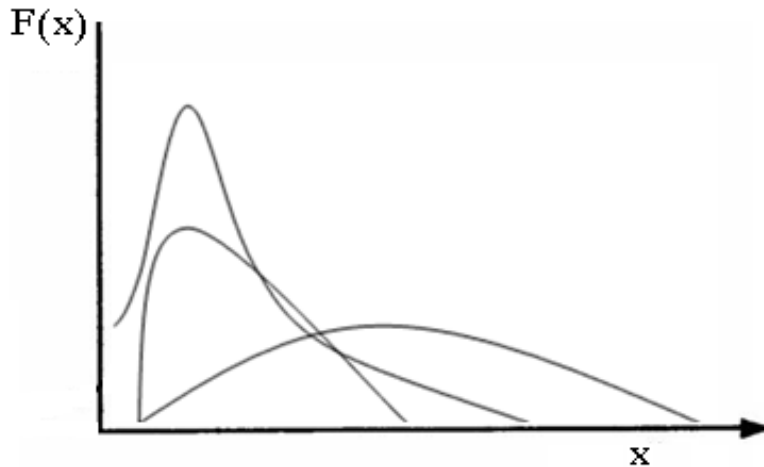


Figura 2.3 Función de distribución Pearson III

### 2.1.3 Función de distribución Gumbel

Esta función también conocida como de valores extremos, es utilizada en Hidrología para determinar la probabilidad de que se presenten valores grandes de la variable aleatoria  $x$  (como sería el gasto máximo de una avenida).

La función de distribución de probabilidad se describe a continuación:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Y la función de densidad:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

Donde:

$x$  variable aleatoria

$\alpha$  parámetro de forma

$\beta$  parámetro de escala

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se estiman en función de la desviación estándar ( $s$ ) que se calcula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde  $\bar{x}$  es la media de la muestra

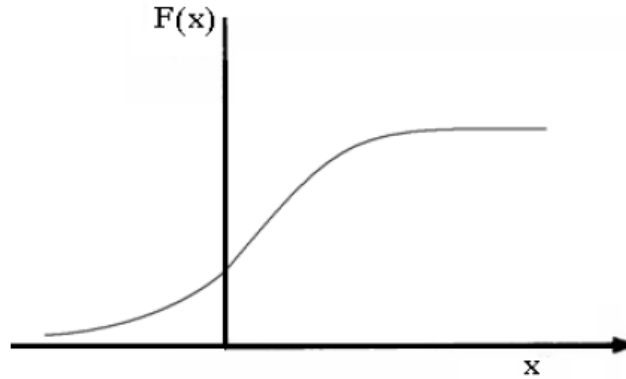


Figura 2.4 Función de distribución Gumbel

#### 2.1.4 Función Doble Gumbel

En México, existen diversos lugares donde los gastos máximos anuales se agrupan en dos poblaciones diferentes. Esta variación también se ven reflejadas en zonas donde se tiene datos de gastos producidos por las precipitaciones monzónicas y otros gastos provenientes de las lluvias de ciclones tropicales. En estas situaciones se dice que se tienen dos poblaciones para una misma zona de estudio. (Palacios C, 2010).

Es por ello que se desarrolló la función de distribución Doble Gumbel dada por:

$$F(x) = p \left( e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right) + (1 - p) \left( e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right)$$

Donde los valores  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  son correspondientes a los valores de la población generados con la primera causa y los valores  $\alpha_2$  y  $\beta_2$  a los valores generados por la segunda causa. Estos parámetros se obtienen ajustando por momentos una función Gumbel para cada causa.



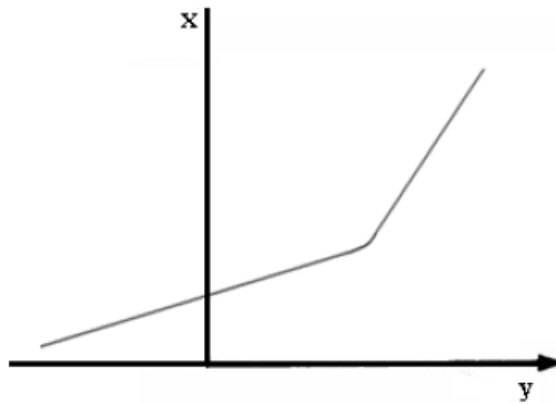


Figura 2.5 Función de distribución Doble Gumbel

### 2.1.5 Métodos de ajuste

Las diferencias que pueden existir entre las diferentes funciones de probabilidad pueden ser considerables, por ello es necesario antes de extrapolar valores para diseño, seleccionar aquella que mejor se ajuste al comportamiento natural. Para ello existen diversas formas de seleccionar la función más adecuada.

#### a) Análisis gráfico

Este método consiste en dibujar en un gráfico cada una de las funciones así como los puntos medidos, aquella función que visualmente mejor se apege a los datos medidos será la función que se selecciona.

Este método no es el más recomendable, pero es útil para dar una primera idea de que funciones podrían utilizarse para estimar valores de la variable aleatoria.

#### b) Método de mínimos cuadrados

Este método consiste en estimar los parámetros de la función seleccionada, que hagan mínima la expresión:

$$z = \sum_{i=1}^n \{P(x_i) - F(x_i)\}^2$$

Donde:

$F(x_i)$  probabilidad “estimada” a partir de la función de distribución seleccionada para el valor de  $x_i$

$P(xi)$  probabilidad "observada" de la muestra, que se estima mediante la fórmula de Weidbull

$$P(xi) = \frac{N + 1 - m}{N + 1}$$

Donde

N es el número de datos

M número de orden que ocupa xi en la serie de los datos, si se ordenan de mayor a menor.

### *c) Método de los momentos*

Una forma de estimar los parámetros de una función de distribución, para que se "ajuste" a un conjunto de datos, consiste en igualar los valores de los momentos de la muestra con los de la población (función de distribución de probabilidad escogida); esto es, hacer que la media, la variancia o coeficiente de asimetría de los valores muestreados sea igual a la de la función de distribución (a la media se le llama primer momento; a las varianzas segundo momento, y al coeficiente de asimetría, tercer momento) hasta establecer tantas ecuaciones como parámetros tenga la función.

## 2.2 Periodo de Retorno

El periodo de retorno ( $Tr$ ) se define como el número promedio de años que deben transcurrir para que un evento de cierta magnitud sea igualado o superado. Por ejemplo, cuando se habla de una avenida con periodo de retorno de 100 años, se dice entonces que dicho evento será igualado o excedido en promedio una vez cada 100 años.

La probabilidad de que un evento con cierto periodo de retorno no ocurra está dada por:

$$P(x) = \frac{1}{Tr}$$

## 3 MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA PARA OBTENER HIDROGRAMAS

El Instituto de Ingeniería ha propuesto un método de obtención de hidrogramas el cual hace uso de valores de gastos medios diarios registrados en estaciones hidrométricas.

Este método entrega resultados confiables, siempre y cuando se cuente con registros extensos de gastos medios diarios, obtenidos de estaciones hidrométricas ubicadas cerca de la zona de estudio. (Domínguez M. & Arganis J., 2012)

### 3.1 Metodología

Para utilizar el método del Instituto de Ingeniería es necesario contar con una recopilación de información de la zona de estudio de gastos medios diarios. Ellos se encuentran disponibles para la República Mexicana en el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS), el cual contiene mediciones de la Comisión Nacional del Agua y la Comisión Federal de Electricidad de estaciones hidrométricas.

#### 3.1.1 Tiempo Base

Uno de los aspectos importantes para la determinación de hidrogramas que consideren al volumen como una de sus características principales, es la estimación del tiempo base. Para ello se obtienen los espectros de densidad de potencia de un conjunto de gastos medios diarios consecutivos.

Los espectros de densidad de potencia consideran funciones senoidales de distintas características y se obtienen por medio de la transformada rápida de Fourier. El espectro es una gráfica donde las ordenadas es la energía que se despliega y las abscisas son los periodos de tiempo.

Del espectro se obtienen los periodos que corresponden a los “picos” más grandes, se seleccionará aquel “pico” que tenga un periodo de más de 5 días que corresponderá al tiempo base. Es conveniente obtener espectros para años diferentes y analizar los picos,

aquellos que se presenten en su mayoría en periodos parecidos, para definir el tiempo base que tendrá el hidrograma.

### 3.1.2 Gasto Máximo

Para el cálculo del gasto máximo o pico del hidrograma será necesaria la obtención de gastos medios máximos anuales asociados a una duración del tiempo base (“m” días), el cual puede ir desde un día hasta un número del orden de 40 días.

El procedimiento para obtener los gastos medios máximos anuales es el siguiente:

Para cada año de registro con el que se cuenta se calculan gastos medios diarios promedio en “n” de días consecutivos seleccionados, siendo  $n=1, \dots, m$  mediante la ecuación:

$$\bar{Q}_n = \frac{\sum_{k=1}^n Q_k}{n} \quad (3.1)$$

Donde:

$\bar{Q}_n$  Gasto medio diario promedio en n días

$k$  Contador de día del lapso de duración n

$Q_k$  Gasto medio diario del día k

El uso de una tabla de cálculo es eficaz para estos casos, puesto que es posible calcular de forma fácil el promedio de gastos en n días comenzando con cada día de registro, como se muestra a continuación:

Tabla 3.1 Cálculo de gastos medios promedio en "n" días

Registros				Gasto medio para "n" días de duración				
año	mes	día	Gasto medio diario	n1	n2	n3	n4	n5
1952	ENE	1	13.67	13.67				
1952	ENE	2	13.25	13.25	13.46			
1952	ENE	3	13.08	13.08	13.17	13.08		
1952	ENE	4	12.98	12.98	13.03	12.98	13.25	
1952	ENE	5	13.19	13.19	13.09	13.19	13.13	13.23
1952	ENE	6	13.21	13.21	13.20	13.21	13.12	13.14
1952	ENE	7	13.13	13.13	13.17	13.13	13.13	13.12
1952	ENE	8	13.42	13.42	13.28	13.42	13.24	13.19
1952	ENE	9	13.32	13.32	13.37	13.32	13.27	13.25
1952	ENE	10	13.16	13.16	13.24	13.16	13.26	13.25
1952	ENE	11	13.51	13.51	13.34	13.51	13.35	13.31
1952	ENE	12	13.03	13.03	13.27	13.03	13.26	13.29
1952	ENE	13	12.73	12.73	12.88	12.73	13.11	13.15
1952	ENE	14	12.71	12.71	12.72	12.71	13.00	13.03
1952	ENE	15	12.69	12.69	12.70	12.69	12.79	12.93
...	...	...	...	...	...	...	...	...
1952	JUL	16	71.43	71.43	70.535	71.43	73.885	75
1952	JUL	17	85.58	85.58	78.505	85.58	75.5375	76.224
1952	JUL	18	194.3	194.3	139.94	194.3	105.2375	99.29
1952	JUL	19	227.6	227.6	210.95	227.6	144.7275	129.71
1952	JUL	20	137.5	137.5	182.55	137.5	161.245	143.282
1952	JUL	21	104.1	104.1	120.8	104.1	165.875	149.816
1952	JUL	22	193.6	193.6	148.85	193.6	165.7	171.42
1952	JUL	23	317.4	317.4	255.5	317.4	188.15	196.04
1952	JUL	24	260.5	260.5	288.95	260.5	218.9	202.62
1952	JUL	25	237.8	237.8	249.15	237.8	252.325	222.68
1952	JUL	26	155.6	155.6	196.7	155.6	242.825	232.98
1952	JUL	27	119.3	119.3	137.45	119.3	193.3	218.12
1952	JUL	28	98.35	98.35	108.825	98.35	152.7625	174.31
1952	JUL	29	87.94	87.94	93.145	87.94	115.2975	139.798
1952	JUL	30	79.11	79.11	83.525	79.11	96.175	108.06
...	...	...	...	...	...	...	...	...
1952	DIC	18	17.21	17.21	17.455	17.21	17.6925	17.72
1952	DIC	19	17.05	17.05	17.13	17.05	17.415	17.564
1952	DIC	20	16.59	16.59	16.82	16.59	17.1375	17.25
1952	DIC	21	16.54	16.54	16.565	16.54	16.8475	17.018
1952	DIC	22	16.49	16.49	16.515	16.49	16.6675	16.776
1952	DIC	23	16.31	16.31	16.4	16.31	16.4825	16.596
1952	DIC	24	16.1	16.1	16.205	16.1	16.36	16.406
1952	DIC	25	15.84	15.84	15.97	15.84	16.185	16.256
1952	DIC	26	16.12	16.12	15.98	16.12	16.0925	16.172
1952	DIC	27	16.25	16.25	16.185	16.25	16.0775	16.124
1952	DIC	28	16.02	16.02	16.135	16.02	16.0575	16.066
1952	DIC	29	15.89	15.89	15.955	15.89	16.07	16.024
1952	DIC	30	15.74	15.74	15.815	15.74	15.975	16.004
1952	DIC	31	15.02	15.02	15.38	15.02	15.6675	15.784

Conociendo los valores de los gastos medios diario promedio para n días de duración, se obtienen los valores máximos anuales de igual forma para cada duración n.

Tabla 3.2 Ejemplo de tabla resumen de gastos promedio máximos en cada año para diferentes duraciones n

Gastos promedio máximos en cada año para duraciones n [m <sup>3</sup> /s]										
Año	10 días	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1952	317.91	310.72	302.05	324.40	348.33	376.14	410.03	440.30	448.35	456.00
1953	130.25	134.06	137.68	141.45	153.23	166.84	182.28	206.80	240.55	279.40
1954	262.96	263.07	270.66	284.79	284.43	287.58	289.13	312.40	377.40	467.90
1955	353.17	344.51	352.50	374.39	395.15	395.50	398.30	445.70	549.90	566.20
1956	241.67	253.26	266.60	268.29	267.92	269.12	287.65	317.40	331.70	348.40
1957	155.48	162.50	169.59	178.69	188.37	198.98	201.73	217.77	272.05	326.00
1958	259.17	267.71	284.76	299.40	316.30	334.02	342.98	383.77	449.80	470.80
1959	261.58	269.49	280.84	291.21	308.98	326.36	346.30	362.73	382.25	399.40
1960	248.38	259.39	274.75	290.94	308.08	331.50	363.48	387.33	431.85	457.10
1961	224.24	235.73	245.60	250.17	256.60	283.76	315.50	349.47	408.75	448.50
1962	145.61	156.93	170.22	185.27	200.33	209.34	220.58	251.03	278.40	329.90
1963	114.00	120.65	128.05	138.60	152.67	171.74	194.80	223.47	271.50	275.50
1964	106.06	103.64	108.20	116.01	121.22	133.23	145.90	158.17	175.40	204.30
1965	105.81	106.93	111.36	117.79	124.51	133.12	141.76	157.80	183.50	201.20
1966	195.45	207.77	220.40	237.81	258.20	283.92	308.58	316.63	350.65	378.60
1967	211.98	227.75	246.43	268.66	293.53	311.74	317.88	340.33	364.05	387.90
1968	138.88	144.10	150.11	151.37	152.02	151.30	165.13	181.77	206.50	221.20
1969	376.67	390.37	395.33	397.77	392.45	416.20	458.03	488.40	543.50	616.00
1970	214.19	228.59	246.44	267.51	290.87	310.64	331.15	373.07	396.85	403.60

Conocidos los gastos promedio máximos anuales para n días de duración, se obtienen los volúmenes máximos anuales para n días, los cuales se refieren a tener el gasto máximo anual que se presentará en n días, es decir que en n días consecutivos se presente el gasto medio máximo anual. Están dados por:

$$V_n = \bar{Q}_A \times n \times 86400 \quad (3.2)$$

Donde

$V_n$  Volumen acumulado en n días máximo anual [m<sup>3</sup>]

$\bar{Q}_A$  Gasto promedio máximo anual [m<sup>3</sup>/s/día]

n Número de días [día]

Tabla 3.3 Volúmenes máximos anuales para n días de duración, en m<sup>3</sup>

Año	Volúmenes máximos anuales para n días [m <sup>3</sup> ]									
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1952	274674240	241617600	208776960	196197120	180576000	162492480	141704640	114125760	77474880	39398400
1953	112536864	104241600	95160960	85550688	79435296	72074880	62994240	53602560	41567040	24140160
1954	227197440	204560640	187081920	172238400	147450240	124234560	99921600	80974080	65214720	40426560
1955	305138880	267891840	243648000	226428480	204845760	170856000	137652480	115525440	95022720	48919680
1956	208802880	196931520	184273920	162259200	138888000	116259840	99411840	82270080	57317760	30101760
1957	134338176	126360000	117218880	108069120	97649280	85959360	69716160	56445120	47010240	28166400
1958	223922880	208172160	196827840	181077120	163969920	144296640	118532160	99472320	77725440	40677120
1959	226005120	209554560	194114880	176126400	160176960	140987520	119681280	94020480	66052800	34508160
1960	214600320	201700800	189907200	175962240	159710400	143208000	125616960	100396800	74623680	39493440
1961	193743360	183306240	169758720	151303680	133021440	122584320	109036800	90581760	70632000	38750400
1962	125808768	122026176	117654336	112049568	103852800	90434880	76230720	65067840	48107520	28503360
1963	98496000	93816576	88506432	83823552	79144128	74193408	67322880	57922560	46915200	23803200
1964	91637568	80587008	74787840	70160256	62841312	57553632	50423040	40996800	30309120	17651520
1965	91421568	83151360	76974624	71241984	64545120	57506112	48992256	40901760	31708800	17383680
1966	168869664	161561088	152342208	143830080	133850880	122653440	106643520	82071360	60592320	32711040
1967	183151584	177097536	170331552	162483840	152167680	134671680	109857600	88214400	62907840	33514560
1968	119995776	112049568	103757760	91549440	78805440	65361600	57067200	47113920	35683200	19111680
1969	325442880	303549120	273248640	240572160	203446080	179798400	158293440	126593280	93916800	53222400
1970	185056704	177750720	170337600	161792640	150785280	134196480	114445440	96698880	68575680	34871040

Con los volúmenes máximos anuales para n días se procede para realizar ajustes a varias distribuciones de probabilidad para obtener volúmenes máximos para diferentes periodos de retorno, de las cuales se selecciona aquella que arroje el menor error cuadrático, pues esto indicará que es la distribución más parecida a la de los datos del registro.

La extrapolación para estimar los valores asociados a diferentes periodos de retorno se lleva a cabo por separado para cada duración n mediante el ajuste de una función de distribución de cada una de las muestras de los valores anuales de volúmenes máximos. (Domínguez M. & Arganis J., 2012).

El ajuste de los valores de volúmenes máximos anuales se hace para las funciones Normal, Gumbel, Lognormal, Pearson, Exponencial, etc. Se escoge la que proporcione el mínimo error estándar de ajuste.

El ajuste probabilístico de los datos se puede realizar de dos formas, la primera con cálculos a mano y la segunda con el apoyo de software especializado. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) ha desarrollado un software conocido como "Ax" el cual permite realizar el ajuste probabilístico a los datos de volúmenes máximos anuales para las funciones de probabilidad Normal, Lognormal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble

Gumbel. Resulta práctico hacer uso de esta herramienta en este trabajo pues su uso es sencillo.

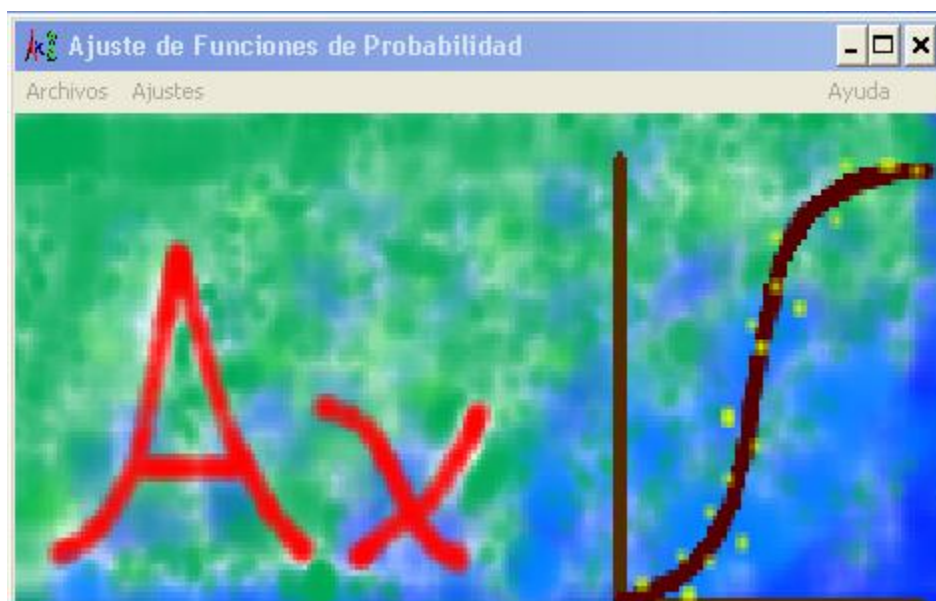


Ilustración 1 Presentación del software AX del CENAPRED

El programa desarrolla:

-Se ordena de forma descendente los volúmenes máximos anuales para cada duración  $n$  y se les asigna a cada uno un número de orden  $k$  y se contabiliza el número total de datos  $N$ .

-A cada uno de los valores ordenados se les asigna un periodo de retorno  $T$  y una probabilidad de no excedencia  $P(X < x)$  dados por:

$$T = \frac{N + 1}{k} \quad (3.3)$$

$$P(X < x) = 1 - \frac{1}{T} \quad (3.4)$$

Donde:

$N$  Tamaño de la muestra

$k$  Numero de orden

-Se obtiene para toda la muestra sus datos estadísticos como es la media, desviación estándar, curtosis etc.



-Se ajusta la serie de datos de gastos máximos anuales a diferentes distribuciones de probabilidad para el análisis de máximos y se selecciona aquella que presente el menor error.

-Obtenida la función con menor error, se extrapolan los valores de Q para diferentes periodos de retorno  $Tr=2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 5000$  y 1000 años entre otros.

El Ax requiere ingresar los valores máximos anuales para que se realice el ajuste.

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados de la interpolación para diferentes periodos de retorno con la función doble Gumbel para **volúmenes máximos anuales para n días** obtenidos con la ayuda de Ax.

Tabla 3.4 Ejemplo de tabla de resultados de interpolación para diferentes duraciones n, en  $m^3$

Volumenes interpolados con ajuste doble gumbel [ $m^3$ ]										
Tr	10 días	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10000	737002368	719520192	681850656	614595168	545993568	480209472	407162592	329316192	221700672	115901280
5000	699303456	681340032	644953536	579786336	517164480	451806336	384490368	311111712	209954592	109881792
2000	645268896	626614272	592066368	533556288	476323200	416721024	354732480	287217792	194722272	102219840
1000	605056608	585888768	552401856	498747456	445572576	389988864	332060256	269013312	182976192	96336864
500	564687936	545163264	512736480	463802112	414581760	363256704	309210912	250667136	171230976	90499680
200	511281504	491074272	460542240	417640320	373860576	327909600	279232704	226559808	155630592	82780704
100	470676960	449870976	420685056	382457376	342869760	300969216	256360896	208141920	143781696	76892544
50	429444288	408111264	380385504	346866624	311503104	273689280	233201376	189510624	131760864	70912800
20	372729600	350771040	325231200	298137888	268515648	236338560	201457152	163911168	115252416	62653824
10	325415232	303304608	279969696	258025824	233140032	205567200	175258944	142681824	101543328	55692576
5	266592384	246474144	227409120	210720960	191225664	168960384	143917344	116944128	84626208	46589472
2	174891744	163689120	152678304	140672160	127409760	112414176	95716512	77900832	55131840	31339008

Estos volúmenes interpolados representan el volumen que se presentaría si durante n días se presenta el gasto máximo asociado a diferentes periodos de retorno. Una vez realizado el ajuste y conociendo el valor de los volúmenes interpolados en n días es posible obtener los gastos para un día para cada duración n hasta que se complete el tiempo base, los cuales serán los gastos que usaremos para construir el hidrograma, el mayor de estos será el gasto pico para cada periodo de retorno está dado por

$$Q = \frac{Vi_n - Vi_{n-1}}{86400} \quad (3.5)$$

Donde

$Vi_n$  Volumen interpolado para cierto Tr en la duración n

$V_{i_{n-1}}$  Volumen interpolado para el mismo  $T_r$  en la duración  $n-1$

Tabla 3.5 Ejemplificación de gastos que se presentan en un día

Escorrimento para un día para diferentes duraciones $n$ [ $m^3/s$ ]										
$T_r$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10000	202.34	435.99	778.42	794	761.39	845.45	901	1245.55	1224.53	1341.45
5000	207.91	421.14	754.25	724.79	756.46	779.12	849.29	1170.8	1158.25	1271.78
2000	215.91	399.86	677.2	662.42	689.84	717.46	781.42	1070.55	1070.63	1183.1
1000	221.85	387.58	621	615.45	643.33	670.47	729.71	995.8	1002.77	1115.01
500	225.98	375.31	566.37	569.68	594.04	625.53	677.59	919.4	934.39	1047.45
200	233.88	353.38	496.55	506.71	531.84	563.39	609.64	820.94	843.17	958.11
100	240.81	337.8	442.45	458.19	484.96	516.3	558.09	744.91	774.18	889.96
50	246.91	320.9	387.95	409.3	437.66	468.61	505.68	668.4	704.26	820.75
20	254.15	295.6	313.58	342.85	372.42	403.72	434.56	563.18	608.78	725.16
10	255.91	270.08	253.98	288.03	319.13	350.79	377.05	476.14	530.68	644.59
5	232.85	220.66	193.15	225.64	257.7	289.85	312.19	374.05	440.24	539.23
2	129.66	127.44	138.96	153.5	173.56	193.26	206.2	263.53	275.38	362.72

Con estos valores será posible la construcción del hidrograma para cada periodo de retorno.

### 3.1.3 Forma del Hidrograma

Conocidos los gastos para un día para diferentes duraciones  $n$  del periodo de retorno se da la forma que tendrá el hidrograma asignándole a los valores una forma sencilla conocida como de bloques alternos el cual se basa en colocar a la mitad del hidrograma el gasto pico y alternar empezando por la derecha el segundo máximo valor y a su izquierda el tercero y así sucesivamente hasta completar los valores  $n$  calculados.

Tabla 3.6 Hidrogramas de escurrimiento para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos

Hidrograma de escurrimiento [m <sup>3</sup> /s]												
dia	Periodo de retorno											
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
1	127.44	220.66	253.98	295.6	320.9	337.8	353.38	375.31	387.58	399.86	421.14	435.99
2	153.5	225.64	288.03	342.85	409.3	458.19	506.71	569.68	621	677.2	754.25	778.42
3	193.26	289.85	350.79	403.72	468.61	516.3	563.39	625.53	670.47	717.46	779.12	845.45
4	263.53	374.05	476.14	563.18	668.4	744.91	820.94	919.4	995.8	1070.63	1158.25	1224.53
5	362.72	539.23	644.59	725.16	820.75	889.96	958.11	1047.45	1115.01	1183.1	1271.78	1341.45
6	287.38	440.24	530.68	608.78	704.26	774.18	843.17	934.39	1002.77	1070.55	1170.8	1245.55
7	206.2	312.19	377.05	434.56	505.68	558.09	609.64	677.59	729.71	781.42	849.29	901
8	173.56	257.7	319.13	372.42	437.66	484.96	531.84	594.04	643.33	689.84	756.46	794
9	138.96	232.85	270.08	313.58	387.95	442.45	496.55	566.37	615.45	662.42	724.79	761.39
10	129.66	193.15	255.91	254.15	246.91	240.81	233.88	225.98	221.85	215.91	207.91	202.34

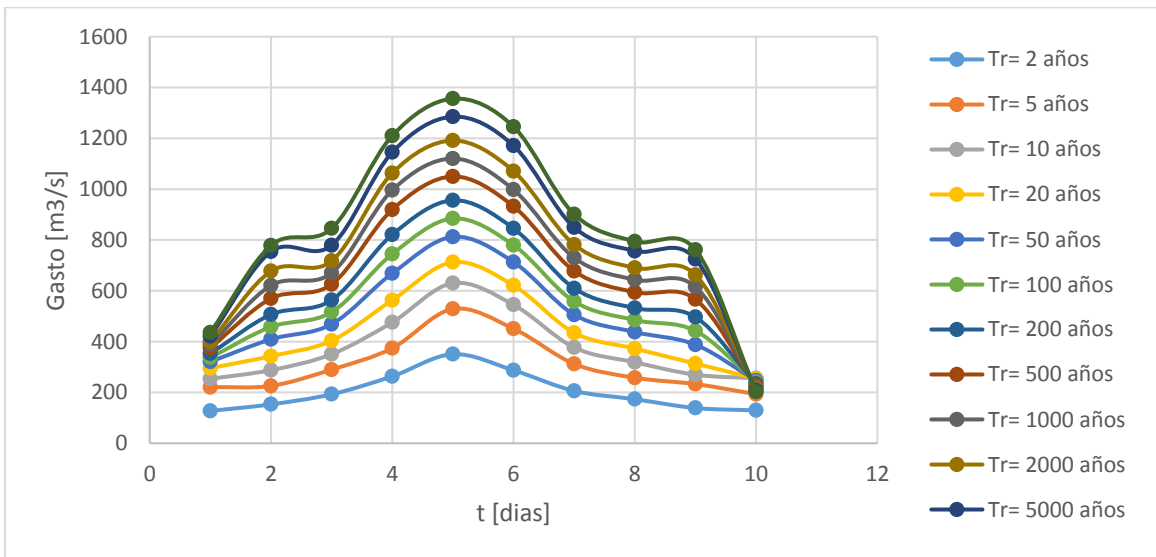


Figura 3.1 Ejemplos de hidrogramas de escurrimiento para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos

## 4 MÉTODO BIVARIADO DE RAMÍREZ Y ALDAMA

Las distribuciones de probabilidad bivariadas han sido utilizadas para la obtención de hidrogramas de diseño que consideren gastos y volúmenes máximos.

El método Bivariado de Ramírez y Aldama desarrollado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) toma precisamente esos valores para estimar una avenida de diseño que considere las situaciones más desfavorables; su uso es conveniente en casos donde no solo se busque un gasto estimado si no donde además la estimación del volumen sea necesaria.

### 4.1 Metodología

El método Bivariado de Ramírez y Aldama se aplica siguiendo una serie de pasos, de los cuales se irán obteniendo las características que al final tendrá el hidrograma, estos pasos se describen a continuación.

#### 4.1.1 Tiempo Base

Al igual que para el método del Instituto de Ingeniería se obtendrán espectros de densidad de potencia para diferentes números de días utilizando los registros de los gastos medios diarios.

Se revisarán los picos con los que cuente el o los espectros y se seleccionará aquel que se presente en mayor frecuencia en determinado periodo, ese periodo será el tiempo base que tendrá el hidrograma.

Cabe mencionar que el tiempo base que se obtenga en este punto se ajustará para que el hidrograma cumpla con la condición del volumen máximo.

#### 4.1.2 Volumen Máximo

Como ya se ha mencionado, el método bivariado de Ramírez y Aldama toma como uno de sus patrones principales al volumen, siendo este una variable que infringirá directamente

en el hidrograma de diseño. Por ello resulta importante estimar el valor del volumen máximo para el tiempo base estimado.

Una manera de obtener este volumen máximo es partir del gasto medio máximo para cada año de registro, y una serie de días de registros medios diarios, cuya suma complete el tiempo base esperado para así crear un hidrograma de registros del cual se calculará su volumen asociado (área bajo la curva). De esta forma se calcularán hidrogramas variando la serie de días que completen el tiempo base; es decir, se harán diversas combinaciones de días del hidrograma variando el comienzo y el fin del tiempo base. Calculados los diversos hidrogramas asociados a diferentes combinaciones se seleccionará aquel que presente el mayor volumen.

Para realizar esto es muy conveniente usar tablas de cálculo para cada año en donde se puedan apreciar todas las combinaciones posibles de días y así obtener el volumen máximo posible.

A continuación se presenta un ejemplo de tabla que nos permita conocer el volumen máximo en una estación a partir del gasto máximo presentado en cierto día, considerando 11 días de tiempo base y por lo tanto 11 combinaciones de días posibles.

*Tabla 4.1 Ejemplo de obtención de volumen máximo en un año para el día que se presenta el Q máximo*

año	mes	día	Q máx. [m <sup>3</sup> /s]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Días antes del Q máx.	Días después del Q máx.
1952	JUN	21	456	251441280	5	5
1952	JUN	21	456	248564160	4	6
1952	JUN	21	456	260858880	3	7
1952	JUN	21	456	281586240	2	8
1952	JUN	21	456	282761280	1	9
1952	JUN	21	456	262042560	0	10
1952	JUN	21	456	269092800	6	4
1952	JUN	21	456	289984320	7	3
1952	JUN	21	456	302253120	8	2
1952	JUN	21	456	283685760	9	1
1952	JUN	21	456	254880000	10	0

Conociendo los valores de los volúmenes máximos para cada año de registro con el que se cuente se procederá a calcular el valor del volumen máximo asociado a diferentes periodos de retorno, esto se realizará mediante un ajuste probabilístico. Este paso se abordará con mayor profundidad en el subcapítulo siguiente.

#### 4.1.3 Gasto Máximo

La estimación del gasto máximo o pico con el método Bivariado de Ramírez y Aldama se realiza ya conociendo el tiempo base que tendrá el hidrograma de diseño obtenido como se describe en el subcapítulo uno, puesto que los datos de los cuales partiremos son los gastos medios máximos anuales de registros de estaciones hidrométricas y el volumen máximo que se presente en los registros considerando esos gasto pico y tiempo base obtenidos como se explicó en el subcapítulo anterior.

Se deberán encontrar los gastos máximos medios anuales y conocido el máximo volumen (obtenido anteriormente) se puede crear el hidrograma que nos proporcione el gasto máximo anual y el máximo volumen registrados para cada año, como se ejemplifica a continuación para una estación x en el año de 1952 y con 11 días de tiempo base:

*Tabla 4.2 Ejemplo de hidrograma de registros en el que se presenta el Q máximo y el V máximo*

Año	Mes	Día	Gasto [m <sup>3</sup> /s]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
1952	JUN	13	382.6	302,253,120
1952	JUN	14	422.6	
1952	JUN	15	349.9	
1952	JUN	16	225.7	
1952	JUN	17	142.2	
1952	JUN	18	125.9	
1952	JUN	19	209.3	
1952	JUN	20	424.2	
1952	JUN	21	456	
1952	JUN	22	440.7	
1952	JUN	23	319.2	

Este proceso se debe realizar para todos los años con los que se cuente de registro y se pueden resumir los valores obtenidos en una tabla como la siguiente:

Tabla 4.3 Ejemplo de resumen de máximos gastos y volúmenes anuales

Máximos gastos y volúmenes anuales						
Día	Mes	Año	Gasto Máx. [m <sup>3</sup> /s]	Vol. Máx. [m <sup>3</sup> ]	Días antes del Q máx.	Días después del Q máx.
21	JUN	1952	456	302253120	8	2
3	JUL	1953	279.4	119947392	1	9
25	JUN	1954	467.9	250153920	5	5
7	JUL	1955	566.2	325874880	1	9
23	JUN	1956	348.4	223585920	4	6
24	JUN	1957	326	105424416	5	5
15	OCT	1958	470.8	218367360	3	7
18	JUN	1959	399.4	241444800	3	7
19	JUL	1960	457.1	228450240	2	8
1	AGT	1961	448.5	203869440	6	4
5	JUL	1962	329.9	129270816	1	9
4	JUL	1963	275.5	109354752	1	9
1	JUL	1964	204.3	101063808	2	8
18	AGT	1965	201.2	98118432	7	3
28	JUN	1966	378.6	175477536	5	5
25	SEP	1967	387.9	189094176	1	9
7	JUL	1968	221.2	128286720	9	1
3	SEP	1969	616	343897920	3	7
5	AGT	1970	403.6	192033504	2	8

Con los registros de gasto pico y volumen máximo de escurrimiento se utiliza la distribución conjunta bivariada, que estará dada por:

$$F(Q_p, V) = P(q < Q_p, v < V) \quad (4.1)$$

Donde q y v representan variables asociadas con el gasto pico y el volumen respectivamente y  $Q_p$  y V son valores específicos de estas variables.

La función conjunta bivariada se construirá con funciones de tipo marginal Gumbel mixta y la función bivariada será la correspondiente al modelo logístico de Gumbel (Ramírez & Aldama, 2000). Que estarán dadas por:

$$F_Q(Q_p \leq Q) = F_Q(Q) = \int_{-\infty}^Q f_Q(Q_p) dQ_p \quad (4.2)$$

$$F_V(V_H \leq V) = F_v(V) = \int_{-\infty}^V f_Q(V_H) dV_H \quad (4.3)$$

La función conjunta bivariada será:

$$F_{Q,V}(Q, V) = \exp\{-([\ln F_Q(Q)]^m + [-\ln F_V(V)]^m)^{\frac{1}{m}}\} \quad (4.4)$$

Donde  $m$  es el parámetro de asociación entre los valores de los gastos y volúmenes dado por:

$$m = \frac{1}{\sqrt{1 - \rho}} \quad (4.5)$$

Siendo  $\rho$  el coeficiente de correlación entre los valores mencionados

$$\rho = \frac{C(Q_P, V_H)}{\sigma_{Q_P} \sigma_{V_H}} \quad (4.6)$$

Donde

$C(Q_P, V_H)$  Covarianza entre gastos y volúmenes

$\sigma_{Q_P}, \sigma_{V_H}$  Desviaciones estándar de gastos y volúmenes

Para aplicar este modelo es necesario ajustar los registros máximos de gasto y volumen a una función de probabilidad y obtener así los parámetros requeridos. Estos parámetros pueden ser obtenidos de forma manual o con ayuda de software especializado como lo es el AX desarrollado por el CENAPRED, como se realizó en este trabajo.

Las distribuciones marginales de probabilidad para gastos y volúmenes ajustados con la función Doble Gumbel están dadas por:

$$F_Q(Q) = \rho_Q \exp[-\exp[-\alpha_1(Q - \beta_1)]] + (1 - \rho_Q) \exp[-\exp[-\alpha_2(Q - \beta_2)]] \quad (4.7)$$

$$F_V(V) = \rho_V \exp[-\exp[-\alpha_1(V - \beta_1)]] + (1 - \rho_V) \exp[-\exp[-\alpha_2(V - \beta_2)]] \quad (4.8)$$

Se puede construir ahora la función conjunta bivariada utilizando los ajustes de gastos y volúmenes con la función doble Gumbel que se calculan con Ax, los cuales se pueden resumir en una tabla como la siguiente:



Tabla 4.4 Resultados de ajuste Doble Gumbel

Tr	QP [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]
10000	1341.45	740557440
5000	1271.78	697857539
2000	1183.1	645110574
1000	1115.01	605236381
500	1047.45	564891233
200	958.11	511594821
100	889.96	471014195
50	820.75	429805629
20	725.16	373094784
10	644.59	325655885
5	539.23	265829878
2	362.72	168137982

Parámetros	Qp	V
$\alpha_1$	0.013811	0.023578
$\beta_1$	308.0548	136.121
$\alpha_2$	0.010263	0.0172
$\beta_2$	597.9625	296.5228
P	0.8	0.8

$\rho$	0.916588
m	3.462464
1/m	0.288812

Los resultados de la función conjunta bivariada se pueden calcular de igual forma con una tabla de cálculo como la siguiente:

Tabla 4.5 Ejemplo de resultados de función conjunta bivariada

Tr	Qp [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	Fq(Qp)	Fv(V)	FQ,V(Q,V)
10000	1341.45	740557440	0.99990242	0.99990311	0.99990311
5000	1271.78	697857539	0.99980029	0.99979777	0.99979777
2000	1183.1	645110574	0.99950295	0.99949791	0.99949791
1000	1115.01	605236381	0.998999	0.99899607	0.99899607
500	1047.45	564891233	0.9979962	0.99799892	0.99799892
200	958.11	511594821	0.9949966	0.99499833	0.99499832
100	889.96	471014195	0.98999709	0.99000154	0.99000142
50	820.75	429805629	0.98000112	0.97999862	0.97999729
20	725.16	373094784	0.94999937	0.94999861	0.94996615
10	644.59	325655885	0.89999354	0.89999589	0.89962409
5	539.23	265829878	0.79999193	0.79999931	0.79556884
2	362.72	168137982	0.49999485	0.50000569	0.37747451

Ahora se deben calcular los periodos de retorno conjunto los cuales se pueden obtener gracias al conocimiento de la función conjunta  $F_{Q,V}(Q,V)$ , además esta función permite la determinación de los periodos de retorno individuales de gasto y volumen. Los periodos de retorno están dados por:

$$T_Q = \frac{1}{1 - F_Q(Q)} \quad (4.9)$$

$$T_V = \frac{1}{1 - F_V(V)} \quad (4.10)$$

$$T_{Q,V} = \frac{1}{1 - F_Q(Q) - F_V(V) + F(Q_p, V)} \quad (4.11)$$

Donde

$F_Q(Q)$  Función de distribución marginal de gastos pico.

$F_V(V)$  Función de distribución marginal de volúmenes de escurrimiento

$F_{Q,V}(Q_p, V)$  Función de distribución conjunta bivariada entre los gastos y los volúmenes de escurrimiento

La obtención de estos periodos de retorno se puede llevar a cabo en una tabla de cálculo como la siguiente:

Tabla 4.6 Ejemplo de obtención de periodos de retorno asociados a la función bivariada

Tr	Qp [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	Fq(Qp)	Fv(V)	F <sub>Q,V</sub> (Q,V)	Tq	Tv	Tq,v
10000	1341.45	740557440	0.9999	0.9999	0.9999	10248.50	10321.03	10248.50
5000	1271.78	697857538.7	0.9998	0.9998	0.9998	5007.34	4944.78	5007.34
2000	1183.1	645110574.4	0.9995	0.9995	0.9995	2011.86	1991.67	2011.86
1000	1115.01	605236381.1	0.9990	0.9990	0.9990	999.01	996.08	999.01
500	1047.45	564891232.8	0.9980	0.9980	0.9980	499.05	499.73	499.05
200	958.11	511594821	0.9950	0.9950	0.9950	199.86	199.93	199.86
100	889.96	471014195.2	0.9900	0.9900	0.9900	99.97	100.02	99.97
50	820.75	429805629.3	0.9800	0.9800	0.9800	50.00	50.00	50.01
20	725.16	373094784	0.9500	0.9500	0.9500	20.00	20.00	20.01
10	644.59	325655884.9	0.9000	0.9000	0.8996	10.00	10.00	10.04
5	539.23	265829877.7	0.8000	0.8000	0.7956	5.00	5.00	5.11
2	362.72	168137981.5	0.5000	0.5000	0.3775	2.00	2.00	2.65

En resumen, el método de Ramírez y Aldama se define por:

1.- Obtener el gasto máximo anual para todos los años de registro.

- 2.-Calcular el volumen máximo asociado a cada gasto máximo anual, definido por el tiempo base a considerar.
- 3.-Ajustar los valores de gastos y volúmenes a una función de probabilidad para diferentes periodos de retorno.
- 4.- Obtener los parámetros a utilizarse en las funciones marginales de probabilidad y calcular estas.
- 5.-Obtener los valores con la función conjunta bivariada.
- 6.-Calcular los periodos de retorno individuales de gasto y volumen y conjuntos.

#### 4.1.4 Forma del Hidrograma

El conocimiento del gasto pico correspondiente a cierto periodo de retorno es fundamental para el diseño de infraestructura pero además de ello, surge la necesidad de tener un hidrograma completo el cual cuente con los parámetros más importantes bien definidos, como lo son el gasto pico, el tiempo pico y el volumen.

Con el objetivo de eliminar que la forma de un hidrograma sea seleccionada de manera arbitraria, Ramírez y Aldama proponen la parametrización de hidrogramas mediante interpolantes hermitianos, nombrando a su modelo como Hidrogramas Triparamétricos Hermitianos.

Al parametrizar un hidrograma es deseable que el número de parámetros involucrados sea el mínimo indispensable, para fines de diseño los parámetros más importantes para la caracterización de un hidrograma son el gasto pico  $Q_p$ , el tiempo pico  $t_p$  y el volumen de escurrimiento  $V$ . Dado que un hidrograma representa la ecuación funcional entre el gasto y el tiempo  $Q(t)$  es más sencillo realizar la parametrización en términos de  $Q$ ,  $t_p$  y tiempo base  $t_b$ . De ahí que sea conveniente que exista una relación sencilla entre  $Q_p$ ,  $t_p$  y  $V$ . (Ramírez & Aldama, 1998)

Los hidrogramas triparamétricos hermitianos de órdenes 1,3 y 5 presentados por Ramírez y Aldama están definidos por:

$$Q_1(t; Q_p, t_p, t_b) = \begin{cases} Q_p \frac{t}{t_p}; t \in [0, t_p] \\ Q_p \left(1 - \frac{t - t_p}{t_b - t_p}\right); t \in [t_p, t_b] \\ 0; t \in (-\infty, 0) \cup (t_b, \infty) \end{cases} \quad (4.12)$$

$$Q_3(t; Q_p, t_p, t_b) = \begin{cases} Q_p \left[3 \left(\frac{t}{t_p}\right)^2 - 2 \left(\frac{t}{t_p}\right)^3\right]; t \in [0, t_p] \\ Q_p \left[1 - 3 \left(\frac{t - t_p}{t_b - t_p}\right)^2 + 2 \left(\frac{t - t_p}{t_b - t_p}\right)^3\right]; t \in [t_p, t_b] \\ 0; t \in (-\infty, 0) \cup (t_b, \infty) \end{cases} \quad (4.13)$$

$$Q_5(t; Q_p, t_p, t_b) = \begin{cases} Q_p \left[10 \left(\frac{t}{t_p}\right)^3 - 15 \left(\frac{t}{t_p}\right)^4 + 6 \left(\frac{t}{t_p}\right)^5\right]; t \in [0, t_p] \\ Q_p \left[1 - 10 \left(\frac{t - t_p}{t_b - t_p}\right)^3 + 15 \left(\frac{t - t_p}{t_b - t_p}\right)^4 - 6 \left(\frac{t - t_p}{t_b - t_p}\right)^5\right]; t \in [t_p, t_b] \\ 0; t \in (-\infty, 0) \cup (t_b, \infty) \end{cases} \quad (4.14)$$

Donde

$Q_1$  Hidrograma triparamétrico hermitiano de primer orden

$Q_3$  Hidrograma triparamétrico hermitiano de tercer orden

$Q_5$  Hidrograma triparamétrico hermitiano de quinto orden

Ramírez y Aldama (1998) presentan algunas características que poseen los hidrogramas paramétricos hermitianos:

El hidrograma paramétrico hermitiano de orden 1 es el conocido hidrograma triangular.

Tiempo base del hidrograma

Como se aprecia en las ecuaciones de 1ero, 3er y 5to orden, el volumen no es una variable directa a utilizarse, pero puede verse involucrado indirectamente gracias al tiempo base, puesto que Ramírez y Aldama proponen que todos los hidrogramas triparamétricos hermitianos poseen el mismo volumen, dado por:

$$V_{2n+1} = \frac{Q_p t_b}{2} \quad (4.15)$$

Con lo cual el tiempo base puede ser sustituido por el volumen en la triada de los parámetros que caracteriza un hidrograma triparamétrico hermitiano, por lo tanto el tiempo base está dado por:

$$t_b = 2 \frac{V}{Q_p} \quad (4.16)$$

Por lo tanto se puede expresar:

$$Q_{2n+1}(t; Q_p, t_p, V)$$

#### Tiempo pico del hidrograma

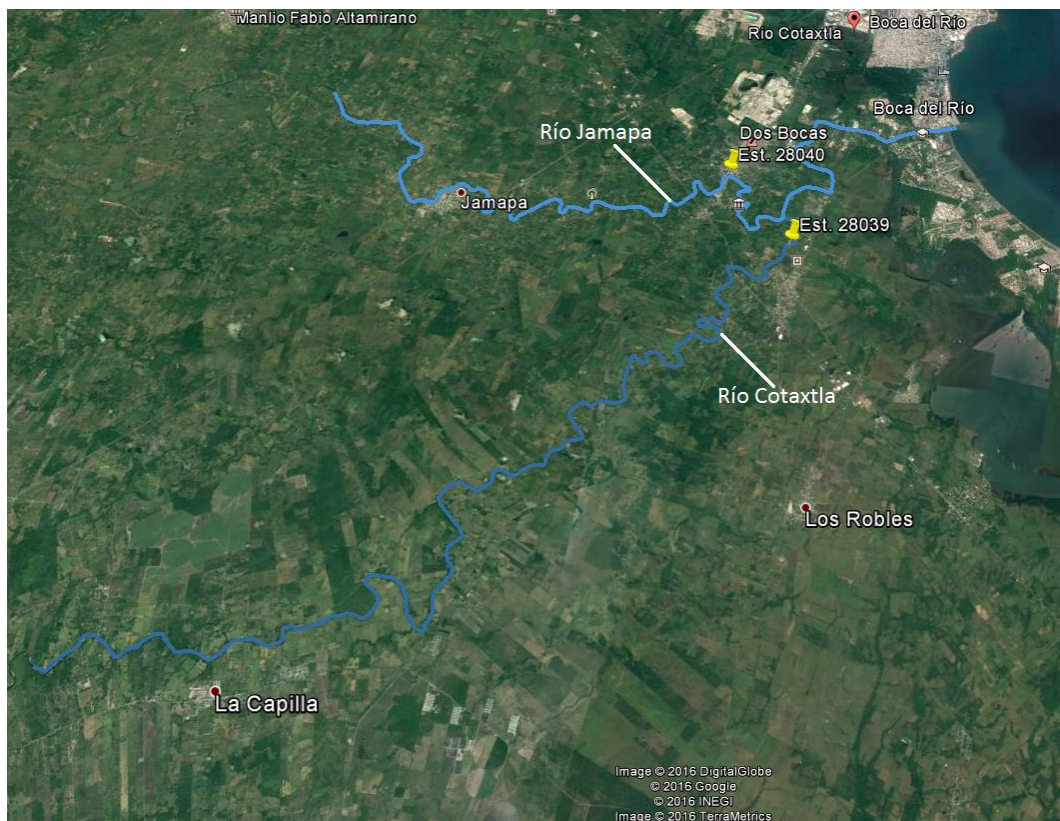
El tiempo pico en el cual se presentará el gasto máximo de nuestro hidrograma se estimará a partir de los hidrogramas de registros obtenidos en el cálculo del volumen máximo (combinaciones de días), de ellos se obtendrán los 10 valores máximos de gastos y volúmenes, de ellos se observará que combinación de días se repite más, conocida está, el tiempo pico que tenga ese hidrograma de combinación días será el mismo tiempo pico de nuestro hidrograma de diseño.

Al aplicar estas formas se obtiene un hidrograma que contempla tanto el gasto pico obtenido, el volumen estimado y el tiempo base, cabe mencionar que este último calculado en función del volumen puede variar un poco del obtenido con el espectrograma de densidad de potencia, esto se debe a que el método bivariado ajusta ese tiempo pico por lo cual el obtenido a partir del volumen es el adecuado.

## 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN. CÁLCULO DE HIDROGRAMAS PARA LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS 28039 Y 28040

Se presenta a continuación dos ejemplos de aplicación para datos de las estaciones hidrométricas 28039 “Paso del Toro” ubicada en el río Cotaxtla y la estación 28040 “El Tejar” ubicada en el río Jamapa ambas en el estado de Veracruz, con el fin de obtener y comparar hidrogramas de diseño.

Se recopilaron los datos de registros de gastos medios diarios para ambas estaciones del Banco de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) de la Comisión Nacional del Agua (CNA).



*Ilustración 2 Ubicación de las estaciones hidrométricas 28039 y 28040 en los ríos Cotaxtla y Jamapa respectivamente.*

#### a. Estación 28039

Para la estación Paso del Toro se cuentan con registros de gastos medios anuales de los años de 1952 al 2011, pero no todos los años están completos, cada metodología utiliza estos valores de forma diferente para la obtención de hidrogramas de diseño como se describe a continuación.

##### i. Método del Instituto de Ingeniería

Para aplicar la metodología del instituto de ingeniería consideraremos aquellos años que cuenten con al menos el 90% del registro anual, poniendo especial atención en si cuentan con información de la temporada de lluvias, pues esperamos que en estos meses se presente el gasto máximo, así como el mayor volumen. Al final se utilizan los registros de los años 1952 a 1980, de 1986 a 1988, de 1991 a 1994, 1998, 2000, 2003 y 2005.

##### *Tiempo base*

Para la selección del tiempo base se crearán espectros de densidad de potencia que estén asociados a un tiempo de 256 días, puesto que con este tiempo tendremos un ajuste con mayor certeza, para esto obtendremos la media de gastos de 256 días para todos los años de los cuales contamos con registros comenzando con cada día, de esos valores medios buscaremos los mayores, al identificarlos se utilizarán para crear el espectro los 256 registros que crearon los valores medios máximos, a estos registros se les ajustarán diversas formas senoidales con ayuda de un software llamado ESPECOF.BAS que utiliza la transformada rápida de Fourier se obtendrán los espectros.

En la tabla 5.1 se presentan valores de gastos medios máximos para 256 días, de los cuales se usaran los máximos como indicador de que años de registros usar para la creación de los espectrogramas.

Tabla 5.1 Gastos medios máximos anuales para 256 días

año	Máx. Anuales
1958	84.263
1955	81.247
1952	77.709
2005	76.610
1954	70.013
1972	68.954
2003	68.684
1974	67.584
1969	67.347
1959	66.202
1956	66.108
1975	63.540
1991	61.772
1960	61.198
1973	57.393
1992	57.099
2000	56.853

Para los 4 años donde se presentan los gastos máximos se calculan los espectrogramas con un software desarrollado en Quick Basic, este utiliza la transformada rápida de Fourier para la creación de los espectrogramas que se muestran a continuación:

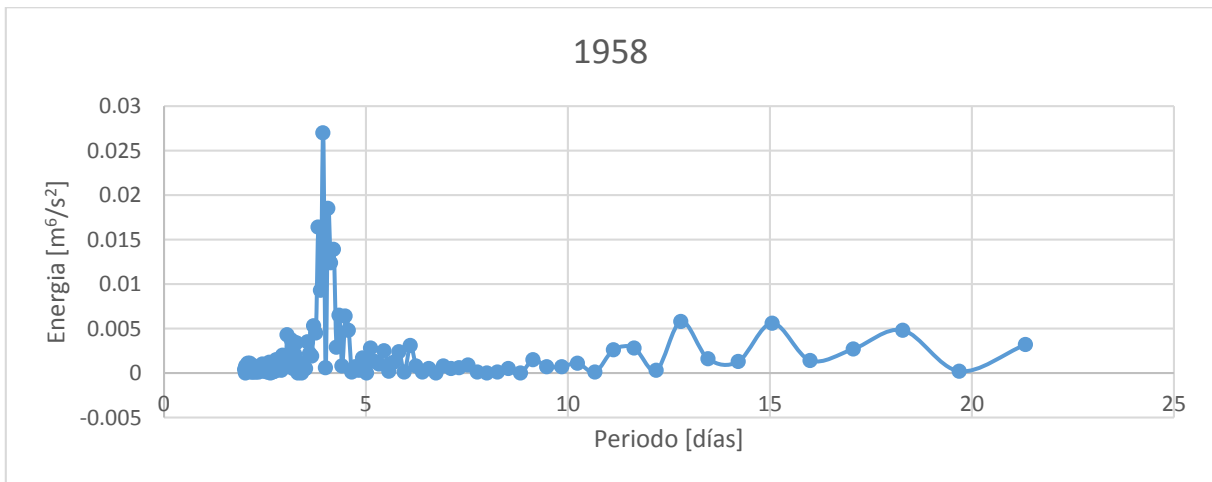


Figura 5.1 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1958



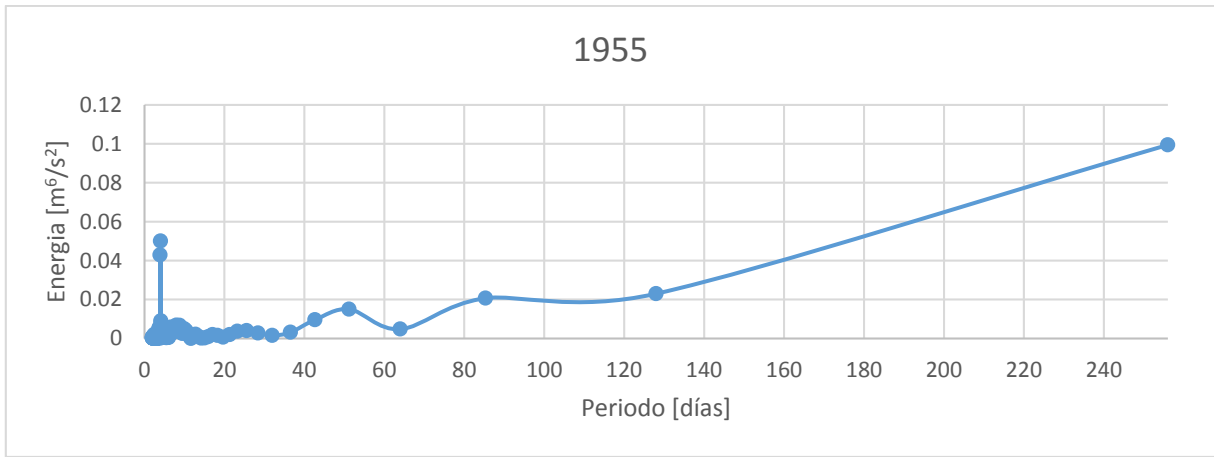


Figura 5.2 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1955

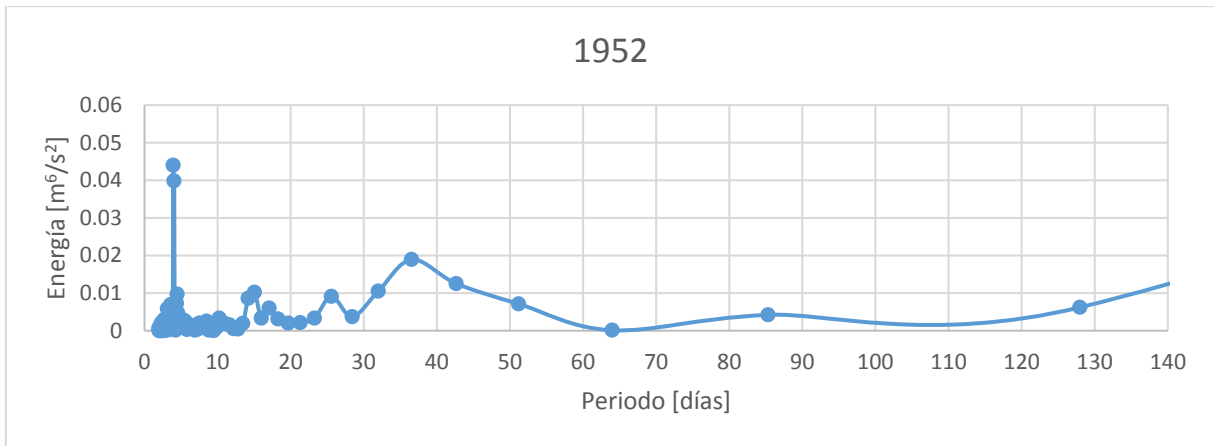


Figura 5.3 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1952

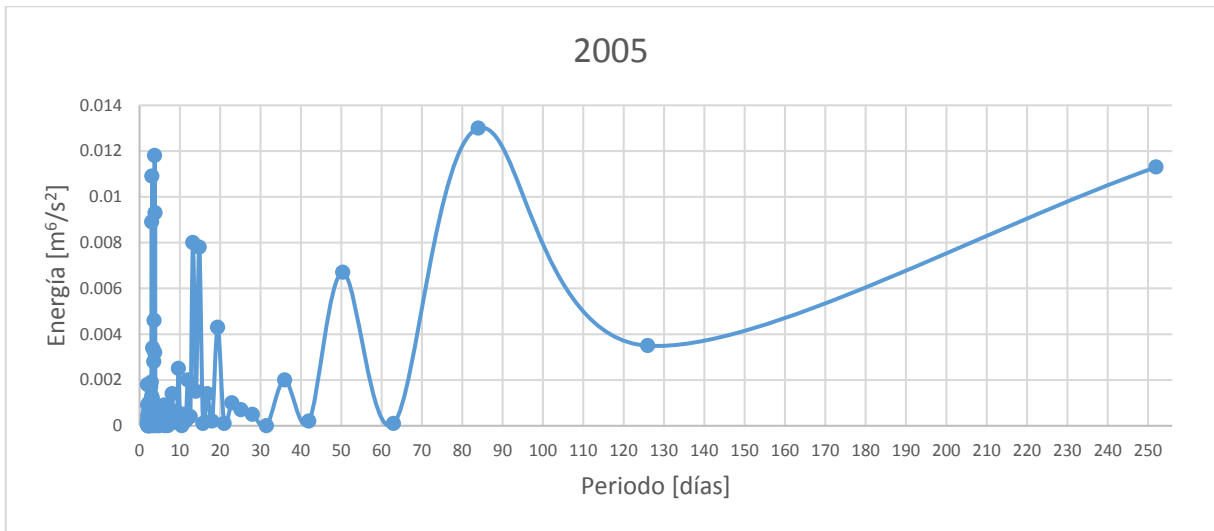


Figura 5.4 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 2005

Analizando los 4 espectrogramas de densidad de potencia nos percatamos que existen diversos picos que se repiten en semejantes periodos, estos son en 3, 10, 21 y 50 días, entre otros. Considerando que más de un pico se presenta en periodos cercanos al 10 y que su amplitud si bien no es la más grande entre todos los picos se considera razonable, se seleccionará un tiempo base de 10 días.

#### *Gasto Máximo*

Conociendo el tiempo base estimado de 10 días, es posible ahora calcular el gasto máximo o pico aplicando la metodología del Instituto de Ingeniería, asignando a la duración “m” valores de 1 a 10 días (tiempo base).

El primer paso es obtener los gastos promedio máximos en cada año para las duraciones n, esto se logra al obtener los gastos medio diario promedio en n días comenzando con cada registro, para la estación 28039, como se ejemplifica a continuación.

Se cuentan con los registros del 1ero de enero de 1952 al 10 de enero de 1952, procederemos a ejemplificar los gastos promedio para m=10 días.

Iniciando el 1 de enero

$$\begin{aligned}\bar{Q}_n &= \frac{\sum_{k=1}^m Q_k}{n} \\ &= \frac{13.67 + 13.25 + 13.08 + 12.98 + 13.19 + 13.21 + 13.13 + 13.42 + 13.32 + 13.16}{10} \\ &= 13.241\end{aligned}$$

Iniciando el 2 de enero

$$\begin{aligned}\bar{Q}_n &= \frac{\sum_{k=1}^m Q_k}{n} \\ &= \frac{13.25 + 13.08 + 12.98 + 13.19 + 13.21 + 13.13 + 13.42 + 13.32 + 13.16 + 13.51}{10} \\ &= 13.225\end{aligned}$$

Se realiza este cálculo iniciando con cada día de registro.

Tabla 5.2 Cálculo de gasto medio para 10 días de enero de 1952

Fecha			$Q_k$ Est. 28039 [m <sup>3</sup> /s]	$\bar{Q}_n$ [m <sup>3</sup> /s]
1952	ENE	1	13.67	13.241
1952	ENE	2	13.25	13.225
1952	ENE	3	13.08	13.203
1952	ENE	4	12.98	13.168
1952	ENE	5	13.19	13.141
1952	ENE	6	13.21	13.091
1952	ENE	7	13.13	13.019
1952	ENE	8	13.42	12.943
1952	ENE	9	13.32	12.836
1952	ENE	10	13.16	12.719
1952	ENE	11	13.51	12.603

Se realiza este cálculo para todos los años de registro útiles en una tabla de cálculo completa para las duraciones  $n=1, 2, 3, \dots, 10$ .

Tabla 5.3 Calculo de  $\bar{Q}_n$  para duraciones n=1, 2, 3,...,10 para enero de 1952

Fecha			Registros	$\bar{Q}_n$ [m <sup>3</sup> /s]									
			[m <sup>3</sup> /s]	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
			Est. 28039	días									
1952	ENE	1	13.670	13.241	13.250	13.241	13.216	13.230	13.234	13.245	13.333	13.460	13.670
1952	ENE	2	13.250	13.225	13.193	13.198	13.180	13.140	13.142	13.125	13.103	13.165	13.250
1952	ENE	3	13.080	13.203	13.222	13.186	13.190	13.168	13.118	13.115	13.083	13.030	13.080
1952	ENE	4	12.980	13.168	13.217	13.240	13.201	13.208	13.186	13.128	13.127	13.085	12.980
1952	ENE	5	13.190	13.141	13.189	13.246	13.277	13.238	13.254	13.238	13.177	13.200	13.190
1952	ENE	6	13.210	13.091	13.136	13.189	13.254	13.292	13.248	13.270	13.253	13.170	13.210
1952	ENE	7	13.130	13.019	13.078	13.126	13.186	13.262	13.308	13.258	13.290	13.275	13.130
1952	ENE	8	13.420	12.943	13.007	13.071	13.126	13.195	13.288	13.353	13.300	13.370	13.420
1952	ENE	9	13.320	12.836	12.890	12.955	13.021	13.077	13.150	13.255	13.330	13.240	13.320
1952	ENE	10	13.160	12.719	12.782	12.836	12.903	12.972	13.028	13.108	13.233	13.335	13.160
1952	ENE	11	13.510	12.603	12.670	12.735	12.790	12.860	12.934	12.995	13.090	13.270	13.510
1952	ENE	12	13.030	12.479	12.502	12.565	12.624	12.670	12.730	12.790	12.823	12.880	13.030
1952	ENE	13	12.730	12.444	12.418	12.436	12.499	12.557	12.598	12.655	12.710	12.720	12.730
1952	ENE	14	12.710	12.460	12.412	12.379	12.394	12.460	12.522	12.565	12.630	12.700	12.710
1952	ENE	15	12.690	12.466	12.432	12.375	12.331	12.342	12.410	12.475	12.517	12.590	12.690
1952	ENE	16	12.490	12.500	12.441	12.400	12.330	12.272	12.272	12.340	12.403	12.430	12.490
1952	ENE	17	12.370	12.529	12.501	12.435	12.387	12.303	12.228	12.218	12.290	12.360	12.370
1952	ENE	18	12.350	12.507	12.547	12.518	12.444	12.390	12.290	12.193	12.167	12.250	12.350
1952	ENE	19	12.150	12.562	12.524	12.571	12.541	12.460	12.398	12.275	12.140	12.075	12.150
1952	ENE	20	12.000	12.578	12.608	12.571	12.631	12.607	12.522	12.460	12.317	12.135	12.000
1952	ENE	21	12.270	12.566	12.642	12.684	12.653	12.737	12.728	12.653	12.613	12.475	12.270
1952	ENE	22	12.680	12.524	12.599	12.689	12.743	12.717	12.830	12.843	12.780	12.785	12.680
1952	ENE	23	12.890	12.405	12.507	12.589	12.690	12.753	12.724	12.868	12.897	12.830	12.890
1952	ENE	24	12.770	12.222	12.351	12.459	12.546	12.657	12.726	12.683	12.860	12.900	12.770
1952	ENE	25	13.030	12.051	12.161	12.299	12.414	12.508	12.634	12.715	12.653	12.905	13.030
1952	ENE	26	12.780	11.860	11.942	12.053	12.194	12.312	12.404	12.535	12.610	12.465	12.780
1952	ENE	27	12.150	11.693	11.758	11.838	11.949	12.097	12.218	12.310	12.453	12.525	12.150
1952	ENE	28	12.900	11.589	11.642	11.709	11.793	11.915	12.086	12.235	12.363	12.605	12.900
1952	ENE	29	12.310	11.424	11.443	11.485	11.539	11.608	11.718	11.883	12.013	12.095	12.310
1952	ENE	30	11.880	11.328	11.326	11.335	11.367	11.410	11.468	11.570	11.740	11.865	11.880
1952	ENE	31	11.850	11.304	11.267	11.256	11.257	11.282	11.316	11.365	11.467	11.670	11.850

Posteriormente para cada año de registro se encuentran los gastos promedio máximos en cada año para las duraciones n= 1, 2,3,..., 10 los cuales se muestran en las siguiente tabla. Se puede apreciar aquí los años no utilizados para la metodología por la carencia de registros.

Tabla 5.4 Gastos promedio máximos anuales  $\overline{Q}_A$  para n días

Gastos promedio máximos en cada año para n días [m <sup>3</sup> /s]										
Año	10 días	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1952	317.91	310.72	302.05	324.40	348.33	376.14	410.03	440.30	448.35	456.00
1953	130.25	134.06	137.68	141.45	153.23	166.84	182.28	206.80	240.55	279.40
1954	262.96	263.07	270.66	284.79	284.43	287.58	289.13	312.40	377.40	467.90
1955	353.17	344.51	352.50	374.39	395.15	395.50	398.30	445.70	549.90	566.20
1956	241.67	253.26	266.60	268.29	267.92	269.12	287.65	317.40	331.70	348.40
1957	155.48	162.50	169.59	178.69	188.37	198.98	201.73	217.77	272.05	326.00
1958	259.17	267.71	284.76	299.40	316.30	334.02	342.98	383.77	449.80	470.80
1959	261.58	269.49	280.84	291.21	308.98	326.36	346.30	362.73	382.25	399.40
1960	248.38	259.39	274.75	290.94	308.08	331.50	363.48	387.33	431.85	457.10
1961	224.24	235.73	245.60	250.17	256.60	283.76	315.50	349.47	408.75	448.50
1962	145.61	156.93	170.22	185.27	200.33	209.34	220.58	251.03	278.40	329.90
1963	114.00	120.65	128.05	138.60	152.67	171.74	194.80	223.47	271.50	275.50
1964	106.06	103.64	108.20	116.01	121.22	133.23	145.90	158.17	175.40	204.30
1965	105.81	106.93	111.36	117.79	124.51	133.12	141.76	157.80	183.50	201.20
1966	195.45	207.77	220.40	237.81	258.20	283.92	308.58	316.63	350.65	378.60
1967	211.98	227.75	246.43	268.66	293.53	311.74	317.88	340.33	364.05	387.90
1968	138.88	144.10	150.11	151.37	152.02	151.30	165.13	181.77	206.50	221.20
1969	376.67	390.37	395.33	397.77	392.45	416.20	458.03	488.40	543.50	616.00
1970	214.19	228.59	246.44	267.51	290.87	310.64	331.15	373.07	396.85	403.60
1971	106.90	110.43	113.94	116.62	118.48	121.01	132.56	150.48	181.70	195.90
1972	306.66	323.74	343.73	368.59	400.17	443.52	505.60	602.80	658.05	747.00
1973	234.94	234.34	235.78	244.53	258.28	264.40	267.53	286.67	322.15	396.80
1974	467.56	497.01	532.09	572.66	619.85	673.50	742.60	806.83	838.45	838.80
1975	532.97	563.69	583.24	594.16	603.22	609.62	598.70	616.30	670.00	754.00
1976	273.74	285.86	302.73	321.73	340.58	362.06	389.90	433.03	464.90	476.00
1977	108.40	114.67	121.56	128.01	135.78	136.28	143.67	158.40	184.10	224.00
1978	128.76	135.83	143.69	152.82	159.54	167.26	183.93	219.43	266.15	279.00
1979	246.22	255.40	272.00	286.81	303.92	299.92	300.55	333.93	395.35	408.50
1980	217.09	228.43	244.63	265.59	290.97	320.46	363.00	416.43	460.40	515.90
1981	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	14.17	14.47	14.59
1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1986	166.33	171.49	175.18	173.96	172.36	188.19	206.16	214.33	230.33	280.91
1987	130.87	130.62	132.26	140.44	150.18	162.81	178.36	201.69	232.55	244.31
1988	252.89	266.99	283.77	303.94	329.38	354.34	373.21	388.12	392.97	395.61
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	7.47	7.58	7.72	7.82	7.85	8.04
1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	280.43	292.22	301.09	311.11	320.16	328.84	346.10	369.60	377.07	407.21
1992	179.45	184.89	195.74	209.39	222.74	229.80	238.88	255.85	273.81	314.84

1993	241.02	247.21	259.85	273.11	285.32	301.60	321.95	336.20	355.35	409.57
1994	123.40	128.20	132.59	137.82	139.97	144.90	145.02	159.62	182.46	190.69
1995	0.00	0.00	0.00	15.54	15.72	15.88	16.04	16.28	16.46	16.89
1996	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	194.08	203.67	205.12	205.98	227.37	257.91	295.44	329.90	355.13	387.67
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	249.04	268.08	289.90	314.49	342.47	373.10	383.88	385.45	396.19	462.43
2001	81.41	81.79	80.88	83.33	85.26	86.72	84.77	86.78	92.72	99.58
2002	87.54	90.88	93.21	96.18	97.72	101.91	107.16	114.21	132.13	160.63
2003	257.87	263.67	271.53	283.27	295.30	308.94	333.40	339.15	348.96	415.61
2004	0.00	18.45	18.53	18.63	18.78	18.95	18.98	19.04	19.09	19.18
2005	319.30	339.17	357.24	383.58	413.14	440.02	467.57	501.07	534.08	541.46
2006	101.54	106.95	111.93	119.63	125.74	131.08	139.04	149.30	162.44	189.24
2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Posteriormente conocidos los gastos promedio máximos anuales para n días de duración se obtienen los volúmenes máximos anuales para n días, multiplicando el valor de los gastos promedio máximos anuales para n días por la duración n, por ejemplo:

El gasto acumulado máximo anual para 1952 y n=10 días

$$V_n = \bar{Q}_A \times n \times 86400$$

$$V_{n=10} = 317.91 \times 10 \times 86400 = 274,674,240 \text{ m}^3$$

El gasto acumulado anual para 1992 y n=5 días

$$V_{n=5} = 229.8 \times 5 \times 86400 = 99,273,600 \text{ m}^3$$

En la siguiente tabla se muestran los volúmenes máximos anuales para duraciones n=1, 2,3,..., 10 de todos los años de registro de la estación 28039.

Tabla 5.5 Volúmenes máximos anuales para n días

Volúmenes máximos anuales para n días										
[m <sup>3</sup> ]										
Año	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1952	274674240	241617600	208776960	196197120	180576000	162492480	141704640	114125760	77474880	39398400
1953	112536000	104241600	95160960	85553280	79436160	72074880	62994240	53602560	41567040	24140160
1954	227197440	204560640	187081920	172238400	147450240	124234560	99921600	80974080	65214720	40426560
1955	305138880	267891840	243648000	226428480	204845760	170856000	137652480	115525440	95022720	48919680
1956	208802880	196931520	184273920	162259200	138888000	116259840	99411840	82270080	57317760	30101760
1957	134334720	126360000	117218880	108069120	97649280	85959360	69716160	56445120	47010240	28166400
1958	223922880	208172160	196827840	181077120	163969920	144296640	118532160	99472320	77725440	40677120
1959	226005120	209554560	194114880	176126400	160176960	140987520	119681280	94020480	66052800	34508160
1960	214600320	201700800	189907200	175962240	159710400	143208000	125616960	100396800	74623680	39493440
1961	193743360	183306240	169758720	151303680	133021440	122584320	109036800	90581760	70632000	38750400
1962	125807040	122022720	117650880	112052160	103852800	90434880	76230720	65067840	48107520	28503360
1963	98496000	93813120	88508160	83825280	79142400	74191680	67322880	57922560	46915200	23803200
1964	91635840	80585280	74787840	70156800	62838720	57551040	50423040	40996800	30309120	17651520
1965	91419840	83151360	76973760	71245440	64549440	57507840	48988800	40901760	31708800	17383680
1966	168868800	161559360	152340480	143830080	133850880	122653440	106643520	82071360	60592320	32711040
1967	183150720	177094080	170328960	162483840	152167680	134671680	109857600	88214400	62907840	33514560
1968	119992320	112052160	103757760	91549440	78805440	65361600	57067200	47113920	35683200	19111680
1969	325442880	303549120	273248640	240572160	203446080	179798400	158293440	126593280	93916800	53222400
1970	185060160	177750720	170337600	161792640	150785280	134196480	114445440	96698880	68575680	34871040
1971	92361600	85872960	78762240	70536960	61421760	52280640	45817920	39009600	31397760	16925760
1972	264954240	251743680	237582720	222920640	207446400	191600640	174735360	156245760	113711040	64540800
1973	202988160	182226240	162967680	147890880	133894080	114220800	92456640	74304000	55667520	34283520
1974	403971840	386475840	367778880	346343040	321330240	290952000	256642560	209131200	144884160	72472320
1975	460486080	438324480	403133760	359346240	312707520	263355840	206910720	159744960	115776000	65145600
1976	236511360	222281280	209243520	194581440	176558400	156409920	134749440	112242240	80334720	41126400
1977	93657600	89164800	84024000	77423040	70390080	58872960	49654080	41057280	31812480	19353600
1978	111248640	105624000	99316800	92422080	82702080	72256320	63564480	56877120	45990720	24105600
1979	212734080	198599040	188006400	173465280	157550400	129565440	103870080	86555520	68316480	35294400
1980	187565760	177629760	169084800	160626240	150837120	138438720	125452800	107939520	79557120	44573760
1981	0	0	0	0	0	0	4838400	3672000	2496960	1261440
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	143709120	133349760	121080960	105209280	89354880	81302400	71245440	5555200	39804480	24269760
1987	113071680	101571840	91419840	84931200	77855040	70338240	61637760	52280640	40184640	21107520
1988	218496960	207619200	196145280	183824640	170752320	153074880	128977920	100595520	67901760	34179840
1989	0	0	0	0	3870720	3274560	2669760	2030400	1356480	691200
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	242291520	227223360	208111680	188153280	165974400	142058880	119612160	95800320	65154240	35182080
1992	155044800	143778240	135293760	126645120	115473600	99273600	8255200	66320640	47312640	27198720
1993	208241280	192231360	179608320	165179520	147908160	130291200	111265920	87143040	61404480	35389440
1994	106617600	99688320	91644480	83350080	72558720	62596800	50120640	41376960	31527360	16476480
1995	0	0	0	9400320	8147520	6860160	5546880	4216320	2842560	1460160
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	167685120	158371200	141773760	124580160	117866880	111412800	102107520	85510080	61369920	33497280
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	215170560	208465920	200378880	190200960	177534720	161179200	132667200	99904320	68463360	39951360
2001	70338240	63599040	55900800	50397120	44202240	37463040	29298240	22489920	16018560	8605440
2002	75634560	70666560	64428480	58164480	50656320	44029440	37031040	29600640	22835520	13875840
2003	222799680	205027200	187678080	171322560	153083520	133462080	115223040	87912000	60298560	35907840
2004	0	14351040	12804480	11266560	9737280	8190720	6557760	4933440	3300480	1658880
2005	275875200	263736000	246922560	231984000	214168320	190088640	161593920	129876480	92292480	46785600
2006	87730560	83168640	77371200	72351360	65180160	56626560	48055680	38698560	28071360	16346880
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Esto se realiza para poder obtener el gasto de diseño partiendo de la situación más desfavorable posible, es decir que el gasto máximo medio anual se presente en n días consecutivos, lo que generará el mayor volumen posible en n días.

Ahora es necesario realizar un ajuste probabilístico a partir de los volúmenes máximos anuales para n días de duración, en virtud de obtener los gastos máximos asociados a diferentes periodos de retorno para las duraciones  $n = 1, 2, 3, \dots, 10$ . Para el caso de la estación hidrométrica Paso del toro la función de distribución de probabilidad que se usará será la función Doble Gumbel y su aplicación será con ayuda del ya mencionado software AX, del CENAPRED.

Para el uso de dicho software es requisito ingresar los volúmenes máximos anuales para cada duración n como un archivo de texto (.txt) por lo cual se deberán hacer 10 ajustes con la función doble Gumbel, una por cada duración.

Los resultados que arroje el ajuste doble Gumbel se resumen en una tabla como se muestra a continuación, en donde se pueden apreciar los volúmenes para las duraciones  $n=1, 2, 3, \dots, 10$  asociados a diferentes periodos de retorno:

Tabla 5.6 Volúmenes interpolados para diferentes periodos de retorno y duraciones n de 1 a 10

Volúmenes interpolados con ajuste doble Gumbel para diferentes duraciones n										
[m <sup>3</sup> ]										
Tr	10 días	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10000	737002368	719520192	681850656	614595168	545993568	480209472	407162592	329316192	221700672	117142848
5000	699303456	681340032	644953536	579786336	517164480	451806336	384490368	311111712	209954592	111024864
2000	645268896	626614272	592066368	533556288	476323200	416721024	354732480	287217792	194722272	102899808
1000	605056608	585888768	552401856	498747456	445572576	389988864	332060256	269013312	182976192	96781824
500	564687936	545163264	512736480	463802112	414581760	363256704	309210912	250667136	171230976	90688032
200	511281504	491074272	460542240	417640320	373860576	327909600	279232704	226559808	155630592	82587168
100	470676960	449870976	420685056	382457376	342869760	300969216	256360896	208141920	143781696	76415616
50	429444288	408111264	380385504	346866624	311503104	273689280	233201376	189510624	131760864	70160256
20	372729600	350771040	325231200	298137888	268515648	236338560	201457152	163911168	115252416	61572096
10	325415232	303304608	279969696	258025824	233140032	205567200	175258944	142681824	101543328	54447552
5	266592384	246474144	227409120	210720960	191225664	168960384	143917344	116944128	84626208	45676224
2	174891744	163689120	152678304	140672160	127409760	112414176	95716512	77900832	55131840	30302208



Los volúmenes ajustados representan el volumen que pasará en n días para cierto periodo de retorno, pero ahora es necesario conocer el gasto que pasará para cada día hasta que se complete el tiempo base estimado de diez días, estos se calculan con la ec 3.5:

$$Q_{día n} = \frac{Vi_n - Vi_{n-1}}{86400}$$

Por ejemplo para el Tr= 10,000 calculamos el gasto del 10mo día:

$$Q_{día 10} = \frac{Qi_{n=10} - Qi_{n=9}}{86400}$$

$$Q_{día 10} = \frac{737002368 - 719520192}{86400} = 202.34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora para el Tr= 500 años calculamos el gasto del 4to día

$$Q_{día 4} = Vi_{n=4} - Vi_{n=3}$$

$$Q_{día 10} = \frac{309210912 - 250667136}{86400} = 677.59 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con esta misma metodología calculamos los gastos para cada día de cada periodo de retorno, a continuación se muestra una tabla con todos los resultados:

Tabla 5.7 Hidrograma de un día para duraciones n de 1 a 10

Hidrograma para un día para diferentes duraciones n										
[m <sup>3</sup> /s]										
Tr \ n	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10000	202.34	435.99	778.42	794	761.39	845.45	901	1245.55	1210.16	1341.45
5000	207.91	421.14	754.25	724.79	756.46	779.12	849.29	1170.8	1145.02	1271.78
2000	215.91	399.86	677.2	662.42	689.84	717.46	781.42	1070.55	1062.76	1183.1
1000	221.85	387.58	621	615.45	643.33	670.47	729.71	995.8	997.62	1115.01
500	225.98	375.31	566.37	569.68	594.04	625.53	677.59	919.4	932.21	1047.45
200	233.88	353.38	496.55	506.71	531.84	563.39	609.64	820.94	845.41	958.11
100	240.81	337.8	442.45	458.19	484.96	516.3	558.09	744.91	779.7	889.96
50	246.91	320.9	387.95	409.3	437.66	468.61	505.68	668.4	712.97	820.75
20	254.15	295.6	313.58	342.85	372.42	403.72	434.56	563.18	621.3	725.16
10	255.91	270.08	253.98	288.03	319.13	350.79	377.05	476.14	545.09	644.59
5	232.85	220.66	193.15	225.64	257.7	289.85	312.19	374.05	450.81	539.23
2	129.66	127.44	138.96	153.5	173.56	193.26	206.2	263.53	287.38	362.72

### Forma del hidrograma

Como paso final se debe asignar una forma a los gastos de escurrimiento diario para cada uno de los periodos de retorno, se aplicará la forma conocida como de bloques alternos, en la cual se colocará el gasto máximo a la mitad del hidrograma, es decir, el tiempo de pico ( $t_p$ ) será igual a 0.5 del tiempo base, y los demás gastos se irán colocando de mayor a menor empezando por la derecha.

A continuación se muestra el acomodo de los gastos para un día con la forma mencionada, el gasto de pico se presenta a los 5 días.

Tabla 5.8 Hidrograma de escurrimiento con la forma de bloques alternos

Hidrograma de escurrimiento [ $m^3/s$ ]												
día	Periodo de retorno en años											
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
1	127.44	220.66	253.98	295.6	320.9	337.8	353.38	375.31	387.58	399.86	421.14	435.99
2	153.5	225.64	288.03	342.85	409.3	458.19	506.71	569.68	621	677.2	754.25	778.42
3	193.26	289.85	350.79	403.72	468.61	516.3	563.39	625.53	670.47	717.46	779.12	845.45
4	263.53	374.05	476.14	563.18	668.4	744.91	820.94	919.4	995.8	1062.76	1145.02	1210.16
5	362.72	539.23	644.59	725.16	820.75	889.96	958.11	1047.45	1115.01	1183.1	1271.78	1341.45
6	287.38	450.81	545.09	621.3	712.97	779.7	845.41	932.21	997.62	1070.55	1170.8	1245.55
7	206.2	312.19	377.05	434.56	505.68	558.09	609.64	677.59	729.71	781.42	849.29	901
8	173.56	257.7	319.13	372.42	437.66	484.96	531.84	594.04	643.33	689.84	756.46	794
9	138.96	232.85	270.08	313.58	387.95	442.45	496.55	566.37	615.45	662.42	724.79	761.39
10	129.66	193.15	255.91	254.15	246.91	240.81	233.88	225.98	221.85	215.91	207.91	202.34

Ahora se grafican estos valores para tener el Hidrograma de diseño buscado para diferentes Tr.

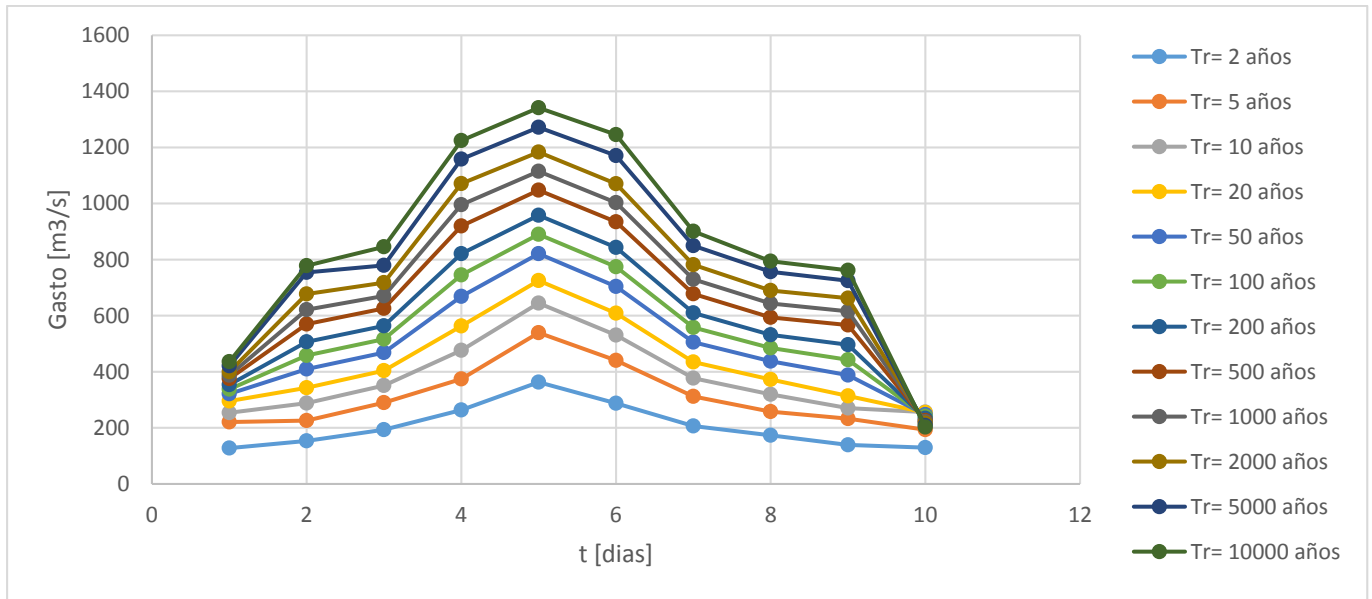


Figura 5.5 Hidrograma de escurrimiento para diferentes  $Tr$  usando la forma de bloques alternos obtenido con el método del Instituto de Ingeniería

## ii. Método Bivariado

Con los mismos datos de registros utilizados para desarrollar el Método del Instituto de Ingeniería se aplicará el método Bivariado de Ramírez y Aldama en la estación Paso del Toro.

### Tiempo Base

El tiempo base que tendrá un hidrograma creado a partir del método Bivariado de Ramírez y Aldama, se obtendrá de la misma forma que se obtuvo para el método del instituto de ingeniería, se podría decir que ambos métodos comparten la obtención del tiempo base.

De igual manera para este método se deben obtener de los registros de gastos medios diarios valores medio para 256 días y a partir de ellos se seleccionan los datos del registro que se procesarán para aplicar forma senoidal y la posterior aplicación de la transformada rápida de Fourier para la creación de espectros de densidad de potencia, con ellos se analizarán los picos y posteriormente se elegirá un tiempo base.

Al igual que para el caso del método del instituto de ingeniería el tiempo base a usar será de 10 días.

### *Volumen Máximo*

Como se mencionó en los primeros capítulos el hidrograma de diseño con el método Bivariado está en función de diversas variables y una de ellas es el volumen máximo. Conocido el tiempo base, ahora es posible estimar el volumen que se puede llegar a presentar. Se buscará encontrar el volumen máximo para las condiciones más desfavorables.

Para los 40 años de los cuales contamos con registros de gastos medios diarios se procederá a encontrar los gastos máximos anuales, al identificarlos se crearán combinaciones de gastos medios registrados en diferentes días cuya suma cumpla con el tiempo base de 10 días, para cada una de estas combinaciones se calculará el volumen asociado.

A continuación se presentan los gastos máximos anuales registrados, así como el día en el que se presentaron:

Tabla 5.9 Gastos Máximos Anuales

Día	Mes	Año	Gasto Máx. m <sup>3</sup> /s
1952	JUN	21	456
1953	JUL	3	279.4
1954	JUN	25	467.9
1955	JUL	7	566.2
1956	JUN	23	348.4
1957	JUN	24	326
1958	OCT	15	470.8
1959	JUN	18	399.4
1960	JUL	19	457.1
1961	AGT	1	448.5
1962	JUL	5	329.9
1963	JUL	4	275.5
1964	JUL	1	204.3
1965	AGT	18	201.2
1966	JUN	28	378.6
1967	SEP	25	387.9
1968	JUL	7	221.2
1969	SEP	3	616
1970	AGT	5	403.6
1971	JUL	19	195.9
1972	JUL	29	747
1973	JUN	23	396.8
1974	SEP	23	838.8
1975	SEP	15	754
1976	JUN	28	476
1977	SEP	23	224
1978	JUN	25	279
1979	SEP	9	408.5
1980	SEP	26	515.9
1986	JUN	4	280.91413
1987	JUL	15	244.31092
1988	SEP	4	395.60689
1991	JUL	4	407.21101
1992	AGT	11	314.84119
1993	JUN	22	409.57302
1994	SEP	14	190.69093
1998	JUL	18	387.66812
2000	AGT	11	462.42918
2003	JUL	27	415.61094
2005	OCT	6	541.46308

Se crearán ahora las combinaciones de días que incluyan al gasto máximo y cumplan con los 10 días del tiempo base, así mismo para cada una de ellas se obtendrá el volumen asociado.

El cálculo del volumen se realizó con ayuda de una hoja de trabajo en el software Mathcad, su función es graficar cada combinación (hidrograma) y calcular el área bajo la curva, es decir el volumen. Con este valor para cada combinación de cada año, se comparan entre si y se selecciona aquella que posea el mayor volumen

Los resultados se muestran en la tabla A1 en el Anexo 1.

Al final se agrupan los valores de gasto máximo y volumen máximo para cada año en la siguiente tabla:

Tabla 5.10 Gastos y Volúmenes máximos anuales

Máximos gastos y volúmenes anuales						
Día	Mes	Año	Gasto Máx. [m <sup>3</sup> /s]	Vol. Máx. [m <sup>3</sup> ]	Días antes del Q máx.	Días después del Q máx.
1952	JUN	21	456	274674240	8	1
1953	JUL	3	279.4	112536864	1	8
1954	JUN	25	467.9	227197440	5	4
1955	JUL	7	566.2	305138880	1	8
1956	JUN	23	348.4	208802880	3	6
1957	JUN	24	326	101361024	4	5
1958	OCT	15	470.8	208699200	3	6
1959	JUN	18	399.4	226005120	3	6
1960	JUL	19	457.1	214600320	2	7
1961	AGT	1	448.5	193743360	5	4
1962	JUL	5	329.9	125808768	1	8
1963	JUL	4	275.5	98496000	3	6
1964	JUL	1	204.3	91637568	1	8
1965	AGT	18	201.2	91421568	7	2
1966	JUN	28	378.6	168869664	4	5
1967	SEP	25	387.9	183151584	1	8
1968	JUL	7	221.2	111715200	9	0
1969	SEP	3	616	325442880	2	7
1970	AGT	5	403.6	185056704	2	7
1971	JUL	19	195.9	81514944	0	9
1972	JUL	29	747	264954240	3	6
1973	JUN	23	396.8	202988160	0	9
1974	SEP	23	838.8	403971840	2	7
1975	SEP	15	754	460486080	8	1
1976	JUN	28	476	236511360	0	9
1977	SEP	23	224	85078080	1	8
1978	JUN	25	279	111250368	2	7
1979	SEP	9	408.5	212734080	1	8
1980	SEP	26	515.9	187563168	1	8
1986	JUN	4	280.9141	79326345.6	0	9
1987	JUL	15	244.3109	113073958	0	9
1988	SEP	4	395.6069	218500402	2	7
1991	JUL	4	407.211	242295642	3	6
1992	AGT	11	314.8412	135910305	2	7
1993	JUN	22	409.573	208237269	1	8
1994	SEP	14	190.6909	106619546	3	6
1998	JUL	18	387.6681	167684712	7	2
2000	AGT	11	462.4292	215166261	1	8
2003	JUL	27	415.6109	146163819	8	1
2005	OCT	6	541.4631	275877213	1	8

Ahora se procede a calcular los valores del volumen estimados para diferentes periodos de retorno ajustando los valores anuales máximos a una función de probabilidad. Este paso se hará en el siguiente punto.

#### *Gasto Máximo*

Para la obtención del gasto máximo con el cual contará el hidrograma de diseño se aplicará la función conjunta bivariada, que está dada por la ecuación 4.4:

$$F_{Q,V}(Q, V) = \exp\{-([\ln F_Q(Q)]^m + [\ln F_V(V)]^m)^{\frac{1}{m}}\}$$

Para lo cual será necesario obtener las distribuciones marginales de probabilidad y los parámetros  $m$  y  $\rho$ , dados por las ecuaciones 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8:

$$F_Q(Q) = \rho_Q \exp[-\exp[-\alpha_1(Q - \beta_1)]] + (1 - \rho_Q) \exp[-\exp[-\alpha_2(Q - \beta_2)]]$$

$$F_V(V) = \rho_V \exp[-\exp[-\alpha_1(V - \beta_1)]] + (1 - \rho_V) \exp[-\exp[-\alpha_2(V - \beta_2)]]$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{1 - \rho}}$$

$$\rho = \frac{C(Q_P, V_H)}{\sigma_{Q_P} \sigma_{V_H}}$$

Nota: no confundir el parámetro  $\rho$ , el de la ec 4.5 se utiliza solamente para el cálculo del parámetro  $m$ , los  $\rho_Q$  y  $\rho_V$  que se observa en las funciones marginales es el que se asocia a un ajuste probabilístico, tal y como se describe a continuación.

Para hacer uso de este modelo es necesario ajustar los valores de gastos y volúmenes máximos anuales mostrados en la tabla 5.10 a una función de probabilidad, para así obtener el valor de estos, asociados a los periodos de retorno más comúnmente usados, además de estos dos ajustes se obtendrán los parámetros de ajuste  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$  y  $\rho$  para ambos casos igualmente necesarios en las funciones marginales de gasto y volumen.

El ajuste se realizó con la función Doble Gumbel con ayuda del software Ax, los resultados obtenidos se muestran a continuación:



Tabla 5.11 Resultados del ajuste con la función Doble Gumbel

Tr	QP [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]
10000	1341.5	740557440
5000	1271.8	697857539
2000	1183.1	645110574
1000	1115	605236381
500	1047.5	564891233
200	958.11	511594821
100	889.96	471014195
50	820.75	429805629
20	725.16	373094784
10	644.59	325655885
5	539.23	265829878
2	362.72	168137982

Parámetros	Qp	V
$\alpha_1$	0.013811	0.023578
$\beta_1$	308.0548	136.121
$\alpha_2$	0.010263	0.0172
$\beta_2$	597.9625	296.5228
P	0.8	0.8

Ahora procederemos a calcular las funciones marginales de gasto y volumen, se ejemplifican dos cálculos, el resto de resultados se pueden consultar en la tabla 5.12.

Ejemplo de cálculo para un Tr=100 años

$$F_Q(Q) = \rho_Q \exp[-\exp[-\alpha_1(Q - \beta_1)]] + (1 - \rho_Q) \exp[-\exp[-\alpha_2(Q - \beta_2)]]$$

$$F_Q(Q) = 0.8 \exp[-\exp[-0.0138(889.96 - 308.05)]] + (1 - 0.8) \exp[-\exp[-0.010(889.96 - 597.96)]]$$

$$F_Q(Q_{Tr=100}) = 0.9899$$

$$F_V(V) = \rho_V \exp[-\exp[-\alpha_1(V - \beta_1)]] + (1 - \rho_V) \exp[-\exp[-\alpha_2(V - \beta_2)]]$$

Para este cálculo el volumen se ingresará en hm<sup>3</sup>

$$F_V(V) = 0.8 \exp[-\exp[-0.0235(471.02 - 136.121)]] + (1 - 0.8) \exp[-\exp[-0.0172(471.02 - 296.52)]]$$

$$F_V(V_{Tr=100}) = 0.9900$$

Tabla 5.12 Resultados del cálculo de funciones marginales de gasto y volumen

Tr [años]	QP [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	V [hm <sup>3</sup> ]	F <sub>Q</sub> (Qp)	F <sub>V</sub> (V)
10000	1341.45	740557440	740.57	0.999902	0.999903
5000	1271.78	697857539	697.87	0.9998	0.999798
2000	1183.1	645110574	645.12	0.999503	0.999498
1000	1115.01	605236381	604.93	0.998999	0.998996
500	1047.45	564891233	564.9	0.997996	0.997999
200	958.11	511594821	511.6	0.994997	0.994998
100	889.96	471014195	471.02	0.989997	0.990002
50	820.75	429805629	429.81	0.980001	0.979999
20	725.16	373094784	373.09	0.949999	0.949999
10	644.59	325655885	325.65	0.899994	0.899996
5	539.23	265829878	265.83	0.799992	0.799999
2	362.72	168137982	168.14	0.499995	0.500006

Ahora ya solo se necesita obtener el valor  $m$  de la función conjunta bivariada, para poder ser calculada necesitamos el coeficiente de correlación  $\rho$ , para esto usaremos los valores de gasto y volumen de la tabla 5.10, puesto que relaciona la covarianza y las desviaciones estándar de los gastos y volúmenes máximos anuales. Al igual que antes, en este paso es conveniente utilizar el volumen en hectómetros cúbicos, debido a que así obtenemos un cálculo más certero, se realiza con la ec. 4.6.

$$\rho = \frac{C(Q_P, V_H)}{\sigma_{Q_P} \sigma_{V_H}}$$

Donde la covarianza está dada por:

$$C(Q_P, V_H) = \sum \frac{Q * V}{N} - \bar{Q} * \bar{V}$$

Tabla 5.13 Obtención de desviaciones estándar y covarianza para gastos y volúmenes

N=40	Gasto Máx. [m <sup>3</sup> /s]	Vol. Máx. [hm <sup>3</sup> ]	Q*V
1	456	274.67424	125251.453
2	279.4	112.536864	31442.7998
3	467.9	227.19744	106305.682
4	566.2	305.13888	172769.634
5	348.4	208.80288	72746.9234
6	326	101.361024	33043.6938
7	470.8	208.6992	98255.5834
8	399.4	226.00512	90266.4449
9	457.1	214.60032	98093.8063
10	448.5	193.74336	86893.897
11	329.9	125.808768	41504.3126
12	275.5	98.496	27135.648
13	204.3	91.637568	18721.5551
14	201.2	91.421568	18394.0195
15	378.6	168.869664	63934.0548
16	387.9	183.151584	71044.4994
17	221.2	111.7152	24711.4022
18	616	325.44288	200472.814
19	403.6	185.056704	74688.8857
20	195.9	81.514944	15968.7775
21	747	264.95424	197920.817
22	396.8	202.98816	80545.7019
23	838.8	403.97184	338851.579
24	754	460.48608	347206.504
25	476	236.51136	112579.407
26	224	85.07808	19057.4899
27	279	111.250368	31038.8527
28	408.5	212.73408	86901.8717
29	515.9	187.563168	96763.8384
30	280.91413	79.3263456	22283.8914
31	244.31092	113.073958	27625.2026
32	395.60689	218.500402	86440.2646
33	407.21101	242.295642	98665.4531
34	314.84119	135.910305	42790.1622
35	409.57302	208.237269	85288.3673
36	190.69093	106.619546	20331.3803
37	387.66812	167.684712	65006.0171
38	462.42918	215.166261	99499.1575
39	415.61094	146.163819	60747.2823
40	541.46308	275.877213	149377.326
Suma	16124.11941	7610.26706	3540566.45
Media	403.1029853	190.256676	88514.1613
Desviación estándar	152.294887	86.81129743	

$$C(Q_P, V_H) = \frac{3540566.45}{40} - 403.10 * 190.25 = 11824.38$$

Por lo tanto el coeficiente  $\rho$  y  $m$  resultan:

$$\rho = \frac{11824.38}{152.29 \times 86.81} = 0.894$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.894}} = 3.07$$

Ahora podemos aplicar la ecuación de la distribución conjunta bivariada, y se ejemplifica el cálculo para un  $Tr = 100$  años.

$$F_{Q,V}(Q, V)_{Tr=100} = \exp\{-([\ln(0.989997)]^{3.07} + [-\ln(0.990002)]^{3.07})^{\frac{1}{3.07}}\} = 0.9900$$

En la tabla siguiente se muestra el valor de la función conjunta bivariada para los periodos de retorno más comunes:

Tabla 5.14 Valor de la función conjunta bivariada

Tr	Qp [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	Fq(Qp)	Fv(V)	F <sub>Q,V</sub> (Q,V)
10000	1341.45	740557440	0.999902	0.999903	0.999903
5000	1271.78	697857538.7	0.999800	0.999798	0.999798
2000	1183.1	645110574.4	0.999503	0.999498	0.999498
1000	1115.01	605236381.1	0.998999	0.998996	0.998996
500	1047.45	564891232.8	0.997996	0.997999	0.997999
200	958.11	511594821	0.994997	0.994998	0.994998
100	889.96	471014195.2	0.989997	0.990002	0.990001
50	820.75	429805629.3	0.980001	0.979999	0.979997
20	725.16	373094784	0.949999	0.949999	0.949966
10	644.59	325655884.9	0.899994	0.899996	0.899624
5	539.23	265829877.7	0.799992	0.799999	0.795569
2	362.72	168137981.5	0.499995	0.500006	0.377475

Con los valores de las funciones marginales y la función conjunta bivariada para gastos y volúmenes máximos procedemos a calcular los periodos de retorno de gastos, volúmenes y conjunto.

Se ejemplificará el cálculo de igual forma para el  $Tr = 100$  años

$$T_{Q_{Tr=100}} = \frac{1}{1 - 0.989997} = 99.97$$

$$T_{V_{Tr=100}} = \frac{1}{1 - 0.990002} = 100.02$$

$$T_{Q,V} = \frac{1}{1 - 0.989997 - 0.990002 + 0.990001} = 99.98$$

A continuación se muestra una tabla con los resultados para cada periodo de retorno propuesto.

Tabla 5.15 Obtención de los periodos de retorno asociados a la función conjunta bivariada

Tr	Qp [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	FqQp	FvV	F <sub>Q,V</sub> (Q,V)	Tq	Tv	Tq,v
10000	1341.45	740557440	0.999902	0.999903	0.999903	10248.4986	10321.0258	10248.4987
5000	1271.78	697857538.7	0.999800	0.999798	0.999798	5007.3390	4944.7827	5007.3392
2000	1183.1	645110574.4	0.999503	0.999498	0.999498	2011.8587	1991.6678	2011.8590
1000	1115.01	605236381.1	0.998999	0.998996	0.998996	999.0052	996.0826	999.0058
500	1047.45	564891232.8	0.997996	0.997999	0.997999	499.0520	499.7312	499.0532
200	958.11	511594821	0.994997	0.994998	0.994998	199.8640	199.9331	199.8674
100	889.96	471014195.2	0.989997	0.990002	0.990001	99.9710	100.0154	99.9781
50	820.75	429805629.3	0.980001	0.979999	0.979993	50.0028	49.9966	50.0180
20	725.16	373094784	0.949999	0.949999	0.949895	19.9997	19.9994	20.0411
10	644.59	325655884.9	0.899994	0.899996	0.899104	9.9994	9.9996	10.0894
5	539.23	265829877.7	0.799992	0.799999	0.792074	4.9998	5.0000	5.2061
2	362.72	168137981.5	0.499995	0.500006	0.361551	2.0000	2.0000	2.7659

Al observar los resultados del periodo de retorno obtenido a partir de la función conjunta bivariado, es notorio que los valores no son iguales a los propuestos, pero son bastante semejante, para lo cual es necesario calcular valores con los datos de la función conjunta bivariada que nos arrojen el volumen y el gasto que cumplan con el Tr=100 años exactamente.

### Forma del hidrograma

Se creará el hidrograma aplicando la forma triparamétrica hermitiana de tercer orden propuesta por Ramírez y Aldama.

Para ello se calculará el tiempo base, en función del volumen aprovechando las características de los hidrogramas triparamétricos.

Se ejemplifica el cálculo para un  $T_r = 100$  años

$$V = 250,315,663.2 \text{ m}^3$$

$$Q_p = 889.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_b = 2 \frac{V}{Q_p} = \frac{2 \times 471014195.2}{889.96} = 1058506.44 \text{ s} = 294.02 \text{ hr} = 12.25 \text{ días}$$

Con el tiempo base ajustado es necesario determinar el tiempo pico que tendrá nuestro hidrograma. Recordando la obtención del volumen máximo, específicamente de la creación de combinaciones de días que cuenten con el gasto máximo para cada año de registro, se encontrarán los 10 valores máximos de gastos y volúmenes, se apreciará la combinación que en más ocasiones se presente y el tiempo pico de esta será el mismo que el de nuestro hidrograma de diseño. A continuación se muestran los valores máximos de gasto y volumen así como las combinaciones a las que se presentan:

Tabla 5.16 10 máximos gastos y volúmenes registrados

10 Máximos gastos anuales						
Día	Mes	Año	Gasto Máx.	Vol. Máx.	días antes	días después
1974	SEP	23	838.8	403971840	2	7
1975	SEP	15	754	460486080	8	1
1972	JUL	29	747	264954240	3	6
1969	SEP	3	616	325442880	2	7
1955	JUL	7	566.2	305138880	1	8
2005	OCT	6	541.46308	275877213.1	1	8
1980	SEP	26	515.9	187563168	1	8
1976	JUN	28	476	236511360	0	9
1958	OCT	15	470.8	208699200	3	6
1954	JUN	25	467.9	227197440	5	4

10 Máximos volúmenes anuales						
Día	Mes	Año	Gasto Máx.	Vol. Máx.	días antes	días después
1975	SEP	15	754	460486080	8	1
1974	SEP	23	838.8	403971840	2	7
1969	SEP	3	616	325442880	2	7
1955	JUL	7	566.2	305138880	1	8
2005	OCT	6	541.46308	275877213.1	1	8
1952	JUN	21	456	274674240	8	1
1972	JUL	29	747	264954240	3	6
1991	JUL	4	407.21101	242295642.1	3	6
1976	JUN	28	476	236511360	0	9
1954	JUN	25	467.9	227197440	5	4

Como se puede apreciar en las anteriores tablas la combinación que más se presenta es la de 1 día antes del tiempo pico y ocho días después, pero en esta ocasión seleccionaremos la combinación de 2 días antes-7 días después con el tiempo pico en el día 3 de 10 por considerar que nos da una forma del hidrograma más adecuada.

Por lo tanto definiremos al tiempo pico como 0.33 veces del tiempo base:

$$tp = \frac{3}{10} \rightarrow 0.33 * tb$$

$$tp = 0.333 * 294.02 = 98 h = 4.08 \text{ días}$$

Conocidos ya el tiempo base, pico, gasto pico y volumen máximo podemos aplicar el modelo de hidrograma triparamétrico de tercer orden.

$$Q_3(t; Q_p, t_p, t_b) = \begin{cases} Q_p \left[ 3 \left( \frac{t}{t_p} \right)^2 - 2 \left( \frac{t}{t_p} \right)^3 \right]; t \in [0, t_p] \\ Q_p \left[ 1 - 3 \left( \frac{t - t_p}{t_b - t_p} \right)^2 + 2 \left( \frac{t - t_p}{t_b - t_p} \right)^3 \right]; t \in [t_p, t_b] \\ 0; t \in (-\infty, 0) \cup (t_b, \infty) \end{cases}$$

Por lo tanto el hidrograma de diseño buscado para un Tr=100 años es el siguiente:

Tr	Qp [m <sup>3</sup> /s]	Vol [m <sup>3</sup> ]
100	835	463283065.1

tb=	1109660.04	s
	308.2	h
	12.84	días
tp=	102.7	h
	4.281	días



Tabla 5.17 Hidrograma para el Tr=100 años con forma triparamétrica hermitiana obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama.

T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q
h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s
0	0.000	50	400.765	100	833.242	150	722.846	200	450.946	250	163.190	300	3.919
1	0.236	51	412.951	101	834.285	151	718.497	201	444.865	251	158.265	301	3.036
2	0.937	52	425.141	102.74	835.000	152	714.085	202	438.780	252	153.392	302	2.262
3	2.094	53	437.325	103	834.996	153	709.611	203	432.690	253	148.573	303	1.600
4	3.698	54	449.494	104	834.907	154	705.077	204	426.597	254	143.808	304	1.051
5	5.740	55	461.639	105	834.701	155	700.483	205	420.502	255	139.100	305	0.616
6	8.210	56	473.750	106	834.379	156	695.831	206	414.407	256	134.448	306	0.295
7	11.099	57	485.818	107	833.941	157	691.122	207	408.313	257	129.856	307	0.091
8	14.398	58	497.835	108	833.391	158	686.357	208	402.220	258	125.322	308	0.003
9	18.098	59	509.790	109	832.727	159	681.536	209	396.130	259	120.849		
10	22.189	60	521.675	110	831.952	160	676.663	210	390.045	260	116.438		
11	26.663	61	533.480	111	831.067	161	671.736	211	383.964	261	112.090		
12	31.509	62	545.196	112	830.073	162	666.759	212	377.890	262	107.806		
13	36.719	63	556.814	113	828.970	163	661.731	213	371.823	263	103.588		
14	42.284	64	568.325	114	827.761	164	656.654	214	365.765	264	99.435		
15	48.193	65	579.718	115	826.447	165	651.529	215	359.717	265	95.351		
16	54.439	66	590.986	116	825.028	166	646.357	216	353.679	266	91.334		
17	61.012	67	602.119	117	822.526	167	641.140	217	347.654	267	87.388		
18	67.902	68	613.108	118	821.880	168	635.879	218	341.643	268	83.513		
19	75.101	69	623.943	119	820.155	169	630.574	219	335.645	269	79.710		
20	82.598	70	634.615	120	818.329	170	625.226	220	329.663	270	75.981		
21	90.385	71	645.115	121	816.405	171	619.838	221	323.698	271	72.325		
22	98.453	72	655.434	122	814.383	172	614.410	222	317.751	272	68.746		
23	106.792	73	665.562	123	812.264	173	608.944	223	311.823	273	65.243		
24	115.394	74	675.491	124	810.051	174	603.440	224	305.915	274	61.818		
25	124.248	75	685.210	125	807.743	175	597.899	225	300.029	275	58.473		
26	133.346	76	694.711	126	805.343	176	592.324	226	294.165	276	55.207		
27	142.678	77	703.985	127	802.850	177	586.714	227	288.325	277	52.023		
28	152.236	78	713.022	128	800.267	178	581.071	228	282.509	278	48.922		
29	162.009	79	721.813	129	797.595	179	575.397	229	276.720	279	45.904		
30	171.989	80	730.348	130	794.834	180	569.692	230	270.958	280	42.972		
31	182.166	81	738.620	131	791.986	181	563.957	231	265.224	281	40.125		
32	192.532	82	746.617	132	789.052	182	558.195	232	259.519	282	37.365		
33	203.077	83	754.332	133	786.033	183	552.405	233	253.845	283	34.694		
34	213.791	84	761.754	134	782.930	184	546.589	234	248.203	284	32.112		
35	224.666	85	768.876	135	779.745	185	540.748	235	242.594	285	29.621		
36	235.692	86	775.686	136	776.478	186	534.884	236	237.018	286	27.222		
37	246.860	87	782.177	137	773.131	187	528.997	237	231.478	287	24.916		
38	258.161	88	788.338	138	769.706	188	523.089	238	225.975	288	22.704		
39	269.585	89	794.161	139	766.202	189	517.161	239	220.509	289	20.587		
40	281.124	90	799.637	140	762.621	190	511.213	240	215.082	290	18.566		
41	292.768	91	804.755	141	758.965	191	505.248	241	209.694	291	16.643		
42	304.507	92	809.508	142	755.234	192	499.266	242	204.348	292	14.819		
43	316.333	93	813.885	143	751.430	193	493.269	243	199.043	293	13.095		
44	328.237	94	817.878	144	747.554	194	487.257	244	193.782	294	11.472		
45	340.208	95	821.477	145	743.607	195	481.231	245	188.566	295	9.951		
46	352.239	96	824.673	146	739.590	196	475.194	246	183.395	296	8.533		
47	364.319	97	827.457	147	735.504	197	469.145	247	178.271	297	7.220		
48	376.440	98	829.819	148	731.350	198	463.087	248	173.194	298	6.012		
49	388.591	99	831.751	149	727.131	199	457.020	249	168.167	299	4.912		

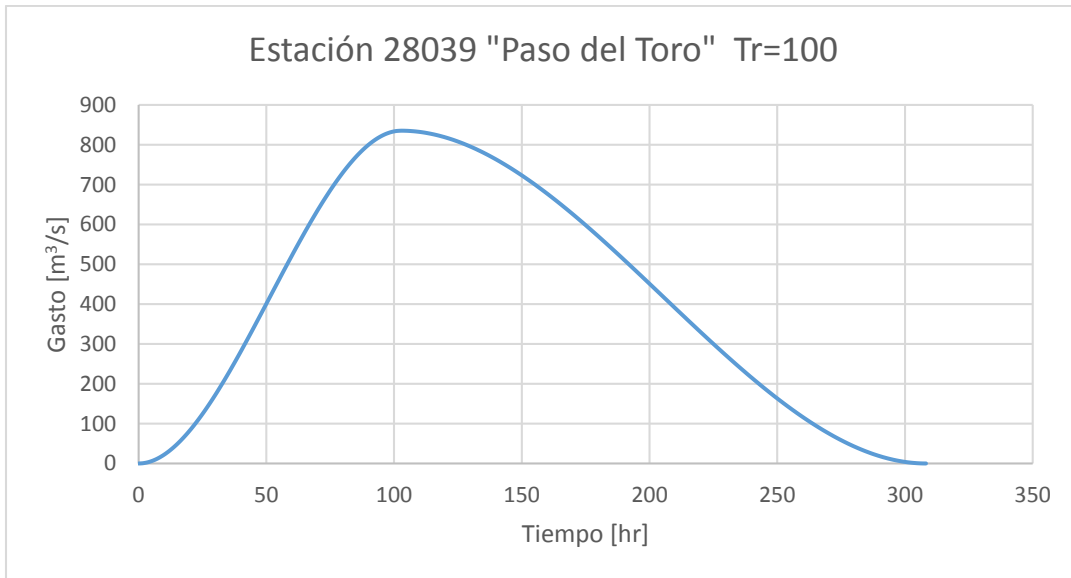


Figura 5.6 Hidrograma triparamétrico de tercer orden para un  $Tr=100$  años obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama

A continuación se presentan los hidrogramas para todos los periodos de retorno propuestos:

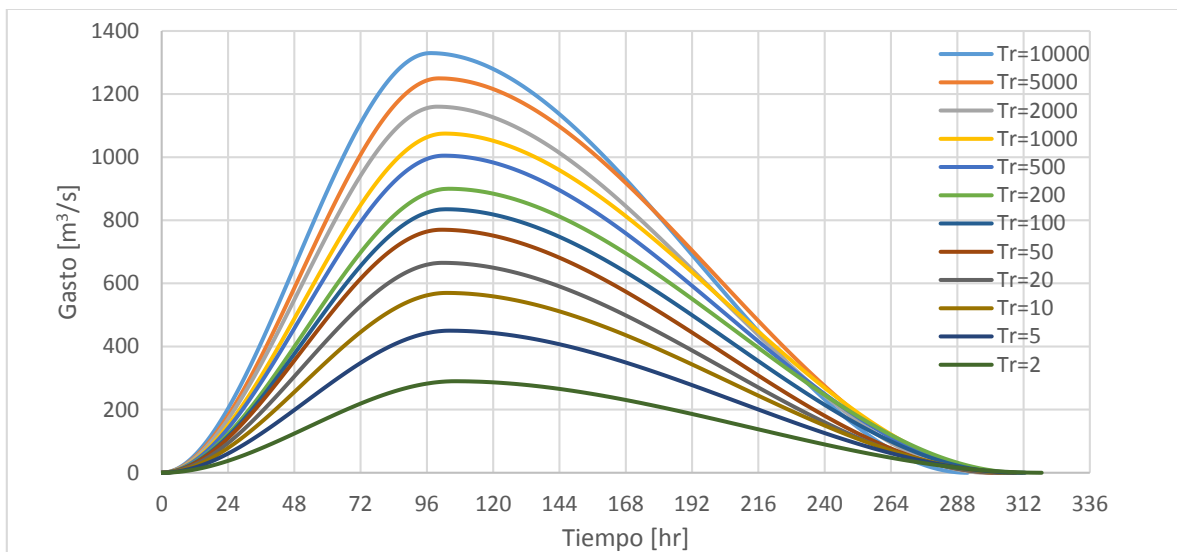


Figura 5.7 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno obtenidos con el método bivariado de Ramírez y Aldama

## Estimación de aceptación de resultados del método bivariado

Partiendo de la aplicación de la función conjunta Bivariada se obtienen diferentes combinaciones de valores de gasto y de volumen que cumplen con un determinado periodo de retorno.

Para este ejemplo se selecciono el periodo de retorno igual a 100 años, se propusieron valores de gasto y se obtuvo el volumen asociado que al aplicar la función bivariada cumpla con el valor de TR=100 años.

Los resultados se muestran en la siguiente grafica.

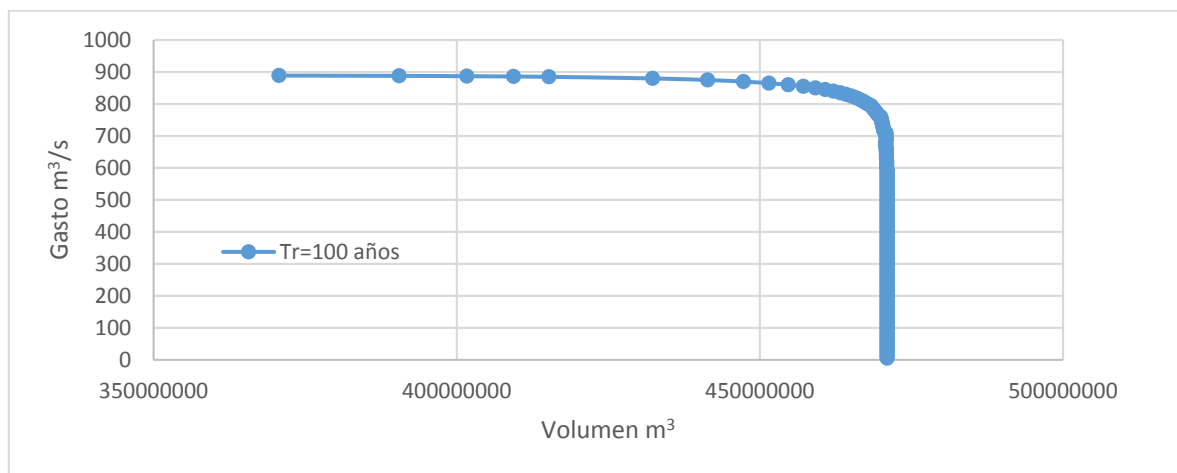


Figura 5.8 Combinaciones de Gasto y volumen que cumplen con el Tr=100 para la estación Paso del Toro

Ahora como se puede apreciar existe un comportamiento muy peculiar en cuanto al rango de valores de gasto y volumen que pueden generarnos de manera conjunta el Tr=100 años, lo cual matemáticamente es correcto, pero en la realidad es difícil que en el flujo del río se presenten grandes volúmenes de agua con gastos pequeños o viceversa, por ello es importante delimitar cuales de estos valores en verdad se pueden presentar y por ende seleccionar para la creación de la avenida de diseño.

Para ello se propone partir de los valores máximos de gasto y volumen con los cuales se obtuvieron los parámetros de ajuste usados para el cálculo de las funciones marginales y posteriormente la función conjunta bivariada. Con estos se grafican puntos donde el eje de las abscisas es el gasto y el de las ordenadas es el volumen. Posteriormente se crea una línea que ajuste estos puntos de forma lineal, después se obtiene el valor de la desviación

estándar asociada a estos valores, con esta se grafican dos líneas paralelas a la del ajuste lineal una superior a ella y la otra inferior que tengan de separación el valor de la desviación estándar; estas dos líneas definirán el rango de combinaciones de gasto y volumen cuyo uso sea adecuado, para ello se deberán superponer los puntos de todas las combinaciones de gasto-volumen que cumplan con el  $Tr=100$  años, como se muestra a continuación.

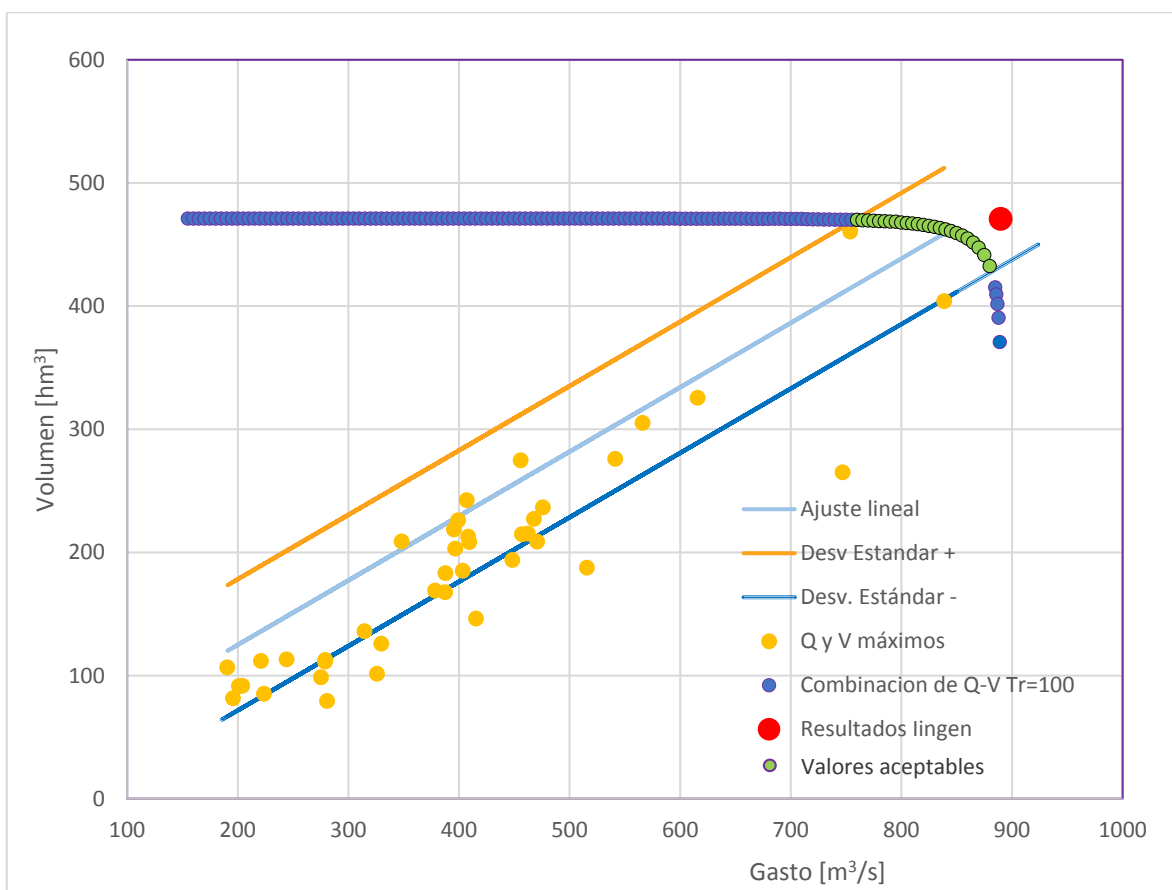


Figura 5.9 Selección de valores admisibles del método Bivariado

Las combinaciones de gasto y volumen que se considerarán como adecuadas para su uso son aquellas que estén dentro de los límites marcados por las líneas de la desviación estándar positiva y negativa (marcadas con verde en el gráfico de arriba). Se muestra en color rojo además los valores obtenidos con el método del Instituto de Ingeniería, con los cuales se aprecia que si bien no son parte de la curva de combinaciones de  $Tr=100$ , si quedan dentro del rango establecido de valores.

En este caso la combinaciones que pueden ser consideradas para la creación de la avenida de diseño son:

*Tabla 5.18 Combinaciones de gasto y volumen aceptables para su uso con Tr=100*

Combinaciones que dan Tr=100 que entran en el rango		
QP [m <sup>3</sup> /s]	V[hm <sup>3</sup> ]	Tr
760	469.961	100.000760
765	469.531	100.000976
770	469.360	100.000000
775	469.169	100.000000
780	468.953	100.000000
785	468.754	100.000139
790	468.550	100.000360
795	468.347	100.000674
800	467.768	100.000000
805	467.366	100.000905
810	466.904	100.000453
815	466.375	100.000087
820	465.766	100.000046
825	465.062	100.000789
830	464.242	100.000004
835	463.283	100.000784
840	462.150	99.999999
845	460.800	99.999998
850	459.174	100.000999
855	457.182	100.000007
860	454.699	100.000042
865	451.524	100.000252
870	447.311	100.000003
875	441.410	100.000057
880	432.331	100.000003

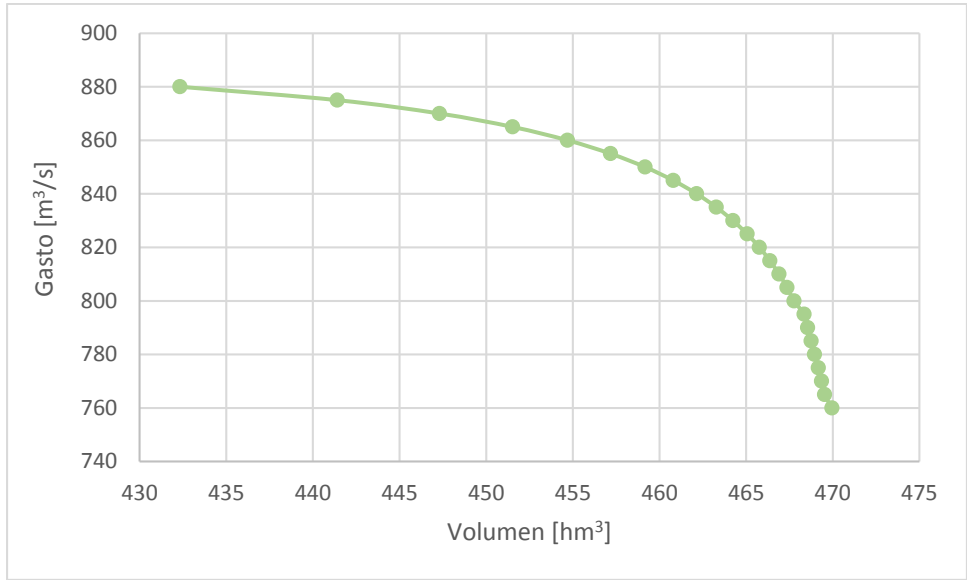


Figura 5.10 Curva de valores aceptables para su uso en avenidas de diseño con  $Tr=100$

Por lo tanto los valores con los cuales se construyen los hidrogramas mostrados en la figura 5.7 se construyeron seleccionando los valores de gasto y volumen que cumplieran con esta condición, estos valores se muestran a continuación.

Valores seleccionados estación 28039		
Tr	$Q_p$ [m³/s]	V [m³]
10000	1330	698439419.2
5000	1250	676751100.6
2000	1160	624368112.8
1000	1075	593637018.2
500	1005	554241824.1
200	900	504651800.8
100	835	463283065.1
50	770	420794576.1
20	665	364914341.112
10	570	317274469.545
5	450	253133203.963
2	290	166293237.260

## b. Estación 28040

Al igual que para la estación Paso del Toro, para la 28040 El tejar, se desarrolla la obtención de hidrogramas explicitando los dos métodos estudiados en este documento.

### i. Método del Instituto de Ingeniería

La estación 28040 se encuentra en el cauce del Río Jamapa, mejor conocida como estación El Tejar cuenta con registros de los años que van de 1952 al 2011, de los cuales solo los años de 1952 a 1984, 1987, 1992, 1997, 2002 y 2005 están completos. Para aplicar el método del Instituto de Ingeniería usaremos aquellos años que cuenten con al menos el 90% de días registrados, especialmente en aquellos donde se cuente con el registro de la temporada de lluvia. Por lo tanto se utilizarán los años de 1952 a 1984, 1987, 1992, 1994, 1995, 1997, 2002, 2005 y 2010.

#### *Tiempo Base*

La estimación del tiempo base con el cual contará el hidrograma se realizará de la misma forma que para la estación Paso del Toro (28039), es decir se crearán espectros de densidad de potencia para duraciones de hasta 256 días, para ello es necesario obtener los máximos gastos medios en 256 días a partir del registro para identificar los valores del registro que usaremos para crear el espectro.

*Tabla 5.19 Gastos medios máximos anuales en 256 días*

año	Máx. Anuales
1955	48.91
1969	43.73
1992	39.81
1958	39.69
1981	38.89
1952	37.01
1968	35.04
1954	34.43
1980	31.23
1972	30.16
1999	29.84
1961	28.29
1974	27.63
2005	26.81
1991	26.72
1983	26.11
1976	25.92

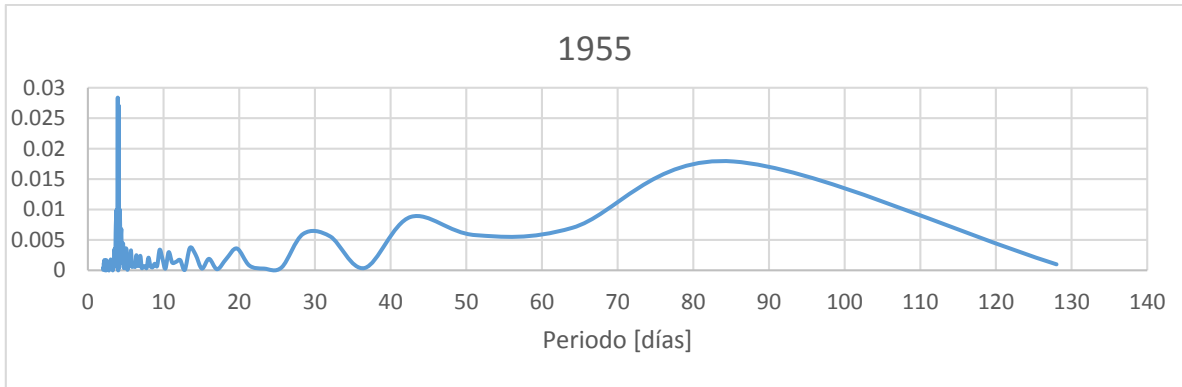


Figura 5.11 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1955

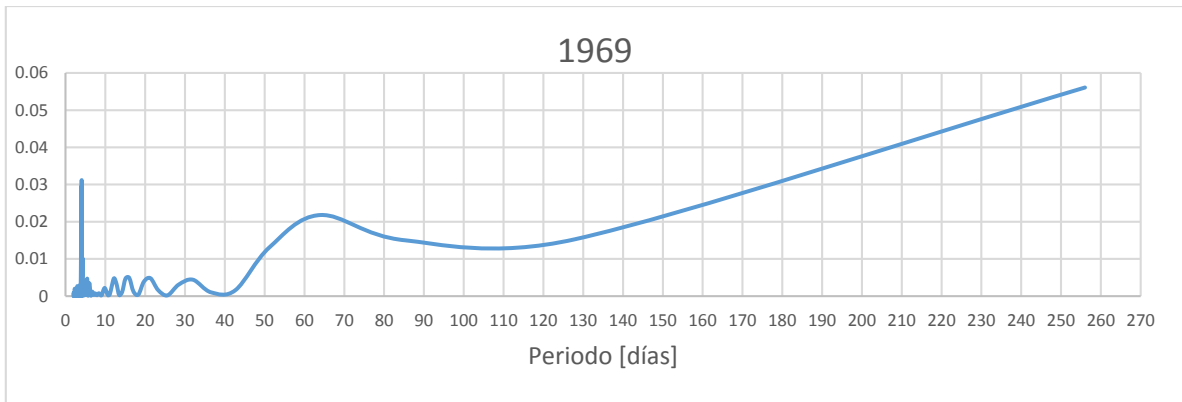


Figura 5.12 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1969

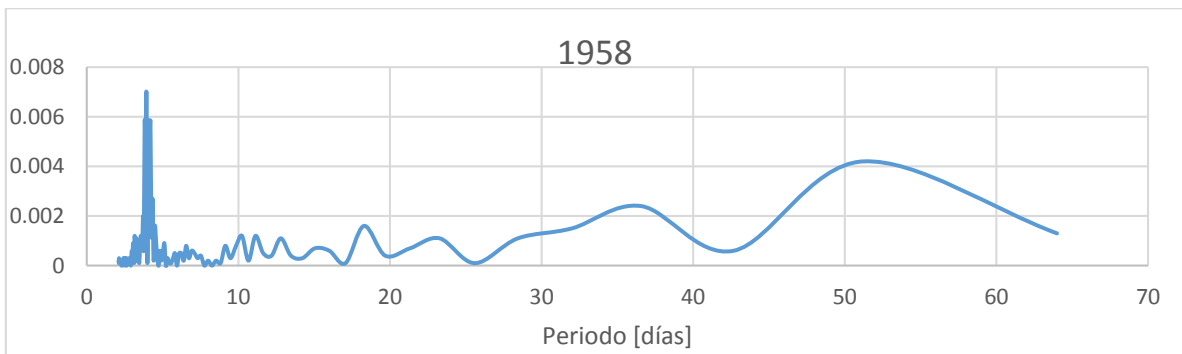


Figura 5.13 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1958



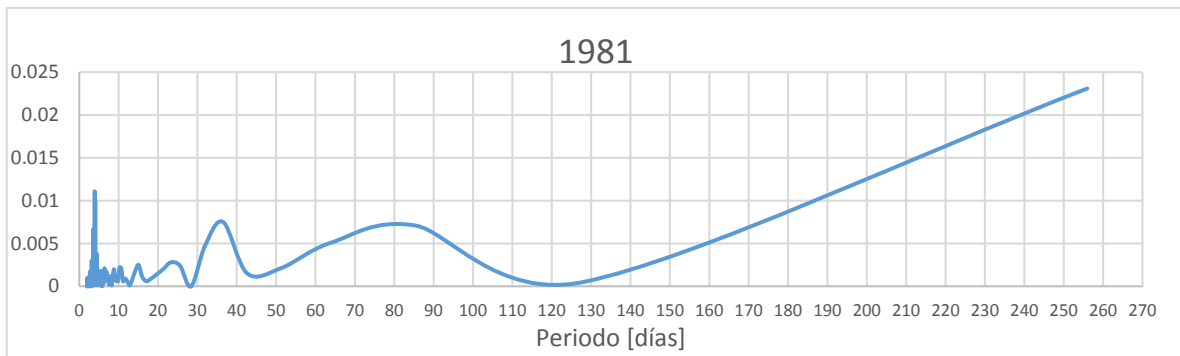


Figura 5.14 Espectrograma de densidad de potencia para 256 días de 1981

Analizando los picos que se presentan en los cuatro espectros mostrados arriba podemos apreciar que se presentan picos en periodos cercanos a 4, 10, 36, 60, entre otros. Tomando en cuenta que en periodos cercanos al valor del 10 se presentan diversos picos tomaremos como tiempo base del hidrograma 10 días, puesto que se considera que esta situación se presenta en la realidad.

#### Gasto Máximo

Conocido el tiempo base estimado de 10 días, se aplicará la metodología del instituto de ingeniería para calcular el gasto máximo, asignando a la duración "m" necesaria en el método los valores del 1 al 10, que es el tiempo base.

Como ya se describió con anterioridad el primer paso es obtener los gastos promedio máximos en cada año para cada duración n, para ello primero se deben obtener los gastos medios diarios promedio en n días, para todos los registros.

Tabla 5.20 Calculo de  $\overline{Qn}$  para duraciones n=1, 2, 3,..., 10 días para enero de 1952

Fecha			Qmd [m³/s]	$\overline{Qn}$ [m³/s]									
				10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1952	ENE	1	3.333	3.306	3.312	3.308	3.316	3.331	3.343	3.268	3.290	3.195	3.333
1952	ENE	2	3.056	3.278	3.303	3.309	3.305	3.314	3.330	3.345	3.247	3.268	3.056
1952	ENE	3	3.480	3.273	3.302	3.334	3.345	3.346	3.365	3.399	3.441	3.342	3.480
1952	ENE	4	3.204	3.226	3.250	3.280	3.313	3.323	3.319	3.336	3.372	3.422	3.204
1952	ENE	5	3.640	3.208	3.229	3.256	3.291	3.331	3.346	3.348	3.380	3.456	3.640
1952	ENE	6	3.271	3.138	3.159	3.178	3.201	3.233	3.270	3.273	3.251	3.251	3.271
1952	ENE	7	3.230	3.108	3.123	3.146	3.164	3.190	3.225	3.269	3.274	3.241	3.230
1952	ENE	8	3.251	3.079	3.094	3.109	3.133	3.153	3.182	3.224	3.282	3.296	3.251
1952	ENE	9	3.340	3.041	3.060	3.075	3.089	3.114	3.134	3.165	3.215	3.298	3.340
1952	ENE	10	3.256	2.998	3.008	3.025	3.037	3.047	3.069	3.082	3.106	3.153	3.256
1952	ENE	11	3.049	2.962	2.970	2.977	2.992	3.000	3.005	3.022	3.024	3.031	3.049
1952	ENE	12	3.013	2.945	2.952	2.960	2.967	2.983	2.990	2.995	3.013	3.012	3.013
1952	ENE	13	3.010	2.942	2.937	2.944	2.952	2.959	2.977	2.985	2.988	3.013	3.010
1952	ENE	14	3.015	2.912	2.934	2.928	2.935	2.943	2.949	2.969	2.976	2.978	3.015
1952	ENE	15	2.940	2.884	2.900	2.924	2.915	2.922	2.928	2.933	2.953	2.957	2.940
1952	ENE	16	2.973	2.857	2.877	2.896	2.922	2.911	2.918	2.925	2.930	2.960	2.973
1952	ENE	17	2.946	2.823	2.844	2.865	2.884	2.913	2.899	2.904	2.909	2.909	2.946
1952	ENE	18	2.871	2.794	2.809	2.831	2.854	2.874	2.907	2.887	2.890	2.891	2.871
1952	ENE	19	2.910	2.792	2.786	2.801	2.825	2.851	2.875	2.916	2.893	2.900	2.910
1952	ENE	20	2.889	2.759	2.779	2.770	2.785	2.811	2.839	2.866	2.917	2.884	2.889
1952	ENE	21	2.879	2.726	2.745	2.765	2.753	2.768	2.796	2.827	2.858	2.932	2.879
1952	ENE	22	2.984	2.732	2.709	2.728	2.749	2.732	2.746	2.775	2.809	2.848	2.984
1952	ENE	23	2.712	2.701	2.703	2.674	2.691	2.710	2.682	2.687	2.705	2.722	2.712
1952	ENE	24	2.731	2.686	2.700	2.702	2.669	2.688	2.709	2.675	2.678	2.702	2.731
1952	ENE	25	2.673	2.665	2.681	2.696	2.698	2.658	2.679	2.704	2.656	2.652	2.673
1952	ENE	26	2.630	2.651	2.665	2.682	2.700	2.703	2.655	2.681	2.714	2.647	2.630
1952	ENE	27	2.664	2.639	2.654	2.669	2.689	2.711	2.717	2.662	2.698	2.757	2.664
1952	ENE	28	2.849	2.616	2.636	2.653	2.670	2.693	2.721	2.730	2.661	2.715	2.849
1952	ENE	29	2.580	2.567	2.590	2.609	2.624	2.640	2.662	2.689	2.691	2.567	2.580
1952	ENE	30	2.554	2.553	2.565	2.591	2.613	2.632	2.652	2.683	2.725	2.746	2.554
1952	ENE	31	2.938	2.538	2.552	2.567	2.596	2.623	2.647	2.676	2.725	2.811	2.938

Obtenidos estos gastos medios diarios promedio en n días para cada año se obtiene el valor de los gastos promedio máximos en cada año para las duraciones n=1, 2, 3,..., 10 días, en la siguiente tabla se muestran los resultados de estos valores, además se aprecian los años no utilizados.

Tabla 5.21 Gastos promedio máximos en cada año para n=1, 2,3,...,10 días, en rojo se marcan los años que no se utilizarán

Gastos promedios máximos en cada año $\overline{Q_A}$ [m³/s]										
Año	10 días	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1952	205.79	198.83	187.87	197.78	218.83	244.25	273.97	314.94	338.21	347.14
1953	46.66	48.41	49.67	52.66	56.97	61.95	68.33	77.00	89.41	109.78
1954	128.56	125.10	124.03	130.27	131.87	133.39	128.90	148.70	191.64	264.74
1955	209.76	217.24	226.13	228.94	240.86	264.78	298.00	348.62	414.31	549.29
1956	104.78	105.85	110.56	114.20	113.68	122.49	140.72	167.27	219.34	324.69
1957	52.06	54.97	58.42	61.90	66.46	69.73	73.08	71.60	76.35	89.63
1958	148.21	156.71	165.41	173.16	181.41	194.64	212.27	233.81	272.49	307.09
1959	97.25	101.90	107.44	114.86	122.27	131.39	142.14	158.01	172.91	178.06
1960	124.27	126.53	133.30	142.27	151.38	160.63	172.50	196.37	242.60	347.79
1961	196.13	205.04	212.91	223.46	244.72	271.39	303.72	345.98	408.00	455.12
1962	69.87	74.95	80.95	87.99	95.75	103.32	112.15	135.65	173.82	211.16
1963	57.04	60.71	65.18	71.09	78.75	88.86	102.53	118.94	140.02	147.84
1964	51.71	52.93	56.55	60.82	65.63	72.52	80.74	89.98	104.72	126.02
1965	60.59	62.86	65.02	70.50	77.46	85.59	95.92	109.82	133.41	159.92
1966	106.91	112.39	117.08	126.81	137.54	147.78	160.69	169.08	194.84	205.15
1967	146.52	158.48	172.80	190.21	211.47	234.15	247.07	278.80	347.18	430.62
1968	66.95	71.05	75.04	78.26	79.41	85.44	93.71	113.97	151.70	231.96
1969	266.38	275.69	284.14	290.25	278.75	295.09	323.21	367.12	360.34	406.55
1970	116.72	121.07	130.03	140.02	150.03	155.97	159.05	165.16	186.64	192.92
1971	58.00	61.07	64.08	66.26	68.97	73.77	79.84	83.22	95.54	121.39
1972	248.79	268.27	290.22	316.59	355.14	401.23	452.24	532.21	577.18	591.37
1973	96.57	90.70	93.84	97.42	104.40	117.63	133.41	150.42	169.81	214.32
1974	223.93	242.12	263.53	286.51	307.57	343.30	392.36	438.48	511.70	540.28
1975	241.05	253.90	265.31	269.28	280.94	289.63	299.66	306.38	339.11	428.68
1976	218.31	229.48	238.85	253.30	267.32	274.24	292.36	327.95	359.82	442.71
1977	56.11	59.85	64.28	69.18	74.43	77.47	80.33	91.24	107.27	142.31
1978	76.34	77.46	83.25	91.07	100.64	112.85	128.83	149.71	167.23	197.40
1979	105.07	104.00	109.70	114.33	120.33	115.82	111.92	123.40	143.64	158.10
1980	119.14	126.79	136.05	148.82	164.19	184.71	211.36	245.02	281.59	345.27
1981	152.28	160.95	173.07	188.58	208.05	234.57	269.76	318.70	363.22	461.88
1982	30.63	30.91	32.12	34.12	36.75	40.23	45.72	53.63	65.07	66.32
1983	199.43	210.97	223.01	235.83	258.74	283.84	314.84	337.70	376.38	382.11
1984	71.05	73.50	75.86	80.01	80.90	84.10	87.65	92.18	111.07	157.47
1985	71.23	71.50	72.11	78.84	87.78	99.20	112.76	127.41	137.52	147.85
1986	15.35	16.08	16.98	18.08	19.41	21.09	23.12	26.03	30.08	32.83
1987	99.68	101.17	103.62	110.03	118.54	128.09	138.25	152.46	172.70	199.95
1988	4.22	4.27	4.33	4.36	4.40	4.43	4.47	4.54	4.58	4.58
1989	110.60	118.05	128.66	142.52	161.36	186.55	221.81	271.08	314.18	408.98
1990	79.74	83.95	89.77	96.89	105.40	111.60	121.62	133.27	151.29	173.73
1991	14.79	15.53	16.36	17.18	18.13	18.72	19.17	19.91	21.41	21.50
1992	205.58	217.33	230.64	245.76	264.42	280.72	316.46	361.43	410.95	501.22
1993	6.74	6.75	6.74	6.76	6.80	6.85	7.06	7.21	7.48	7.70
1994	50.27	51.98	53.65	55.31	55.59	54.51	54.43	59.80	68.52	83.41
1995	44.74	48.06	51.67	55.68	60.10	66.18	70.56	77.77	87.80	100.85
1996	8.96	8.96	9.00	9.09	9.22	9.34	9.49	9.67	9.74	9.91

1997	212.60	227.92	245.30	268.66	295.64	319.52	337.10	340.35	385.94	479.88
1998	4.54	4.60	4.69	4.70	4.76	4.84	4.95	5.12	5.41	5.44
1999	144.40	138.33	142.79	150.50	161.53	180.27	207.62	248.79	308.76	366.35
2000	72.26	72.47	73.74	72.78	75.25	76.23	79.69	82.68	90.86	92.07
2001	11.86	12.23	12.61	13.09	13.60	14.10	14.63	15.37	16.39	17.49
2002	78.29	80.81	83.10	85.50	89.32	94.05	97.09	102.10	102.88	103.61
2003	4.71	4.76	4.81	4.86	4.93	4.98	5.04	5.16	5.41	5.57
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005	112.94	118.53	124.25	131.00	138.13	144.67	153.65	164.91	178.88	182.37
2006	6.25	6.25	6.27	6.29	6.33	6.37	6.42	6.52	6.62	6.72
2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	229.10	239.06	249.35	260.26	274.70	297.57	324.03	346.45	356.21	375.26
2011	4.41	4.44	4.48	4.54	4.59	4.63	4.69	4.72	4.77	4.89

Conocidos los gastos promedio máximos anuales para n días de duración se obtienen los volúmenes máximos anuales para n días.

Tabla 5.22 Volúmenes máximos anuales para n=1, 2, 3,..., 10 días

Volúmenes máximos anuales para n días [m <sup>3</sup> ]									
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
177799968	154609344	129854880	119618208	113440608	105517728	94683168	81633312	58441824	29992896
40315104	37641024	34334496	31847040	29533248	26763264	23614848	19959264	15450912	9484992
111075840	97277760	85729536	78786432	68362272	57623616	44546976	38543904	33116256	22873536
181231776	168929280	156303648	138465504	124860096	114386688	102987072	90361440	71592768	47458656
90529920	82312416	76420800	69065568	58931712	52914816	48631968	43357248	37901952	28053216
44982432	42744672	40382496	37434528	34454592	30125088	25256448	18558720	13193280	7744032
128057760	121856832	114332256	104726304	94042080	84083616	73360512	60604416	47085408	26532576
84027456	79233984	74260800	69468192	63384768	56758752	49122720	40955328	29879712	15384384
107370144	98391456	92135232	86045760	78476256	69393888	59616864	50899968	41922144	30049056
169453728	159439104	147162528	135149472	126861984	117241344	104964768	89678880	70501536	39322368
60372000	58277664	55950048	53218080	49635072	44634240	38759040	35159616	30036096	18244224
49278240	47204640	45053280	42996096	40825728	38386656	35432640	30829248	24195456	12773376
44680896	41160960	39089952	36783072	34020000	31328640	27902016	23323680	18094752	10888128
52351488	48877344	44940960	42640128	40153536	36975744	33148224	28465344	23052384	13817088
92374560	87391872	80926560	76693824	71301600	63841824	55534464	43824672	33668352	17724960
126595872	123235776	119439360	115038144	109626912	101154528	85385664	72265824	59992704	37205568
57841344	55246752	51867648	47329920	41165280	36910080	32385312	29541024	26214624	20041344
230153184	214376544	196395840	175545792	144501408	127478880	111702240	95158368	62266752	35125920
100847808	94144896	89880192	84684096	77773824	67380768	54966816	42808608	32252256	16668288
50114592	47486304	44292960	40075776	35754048	31869504	27592704	21570624	16510176	10488096
214950240	208608480	200602656	191473632	184104576	173333088	156294144	137947968	99736704	51094368
83439072	70527456	64862208	58917888	54119232	50816160	46104768	38988000	29344032	18517248
193478112	188273376	182153664	173278656	159446016	148304736	135600480	113654880	88421760	46680192
208271520	197436096	183383136	162863136	145641888	125121888	103560768	79414560	58598208	37037952
188616384	178445376	165093984	153193248	138578688	118472544	101040480	85003776	62177760	38250144
48478176	46537632	44432928	41838336	38581920	33468768	27763776	23649408	18535392	12295584
65955168	60236352	57542400	55076544	52170048	48752928	44523648	38804832	28897344	17055360
90783936	80872992	75824640	69149376	62377344	50034240	38677824	31984416	24820992	13659840
102939552	98592768	94036032	90006336	85114368	79794720	73046880	63509184	48657888	29831328
131569920	125154720	119623392	114054048	107850528	101335968	93230784	82606176	62764416	39906432
26463456	24038208	22203072	20633184	19053792	17381088	15802560	13900896	11244096	5730048
172310976	164048544	154146240	142632576	134131680	122618880	108809568	87530976	65038464	33014304
61391520	57157056	52436160	48390048	41938560	36329472	30292704	23893056	19193760	13605408
61543584	55598400	49841568	47679840	45506016	42855264	38968992	33023808	23762592	12774240
13264128	12501216	11738304	10932192	10060416	9110880	7988544	6747840	5196960	2836512
86127840	78668928	71620416	66544416	61452000	55336608	47779200	39517632	29841696	17275680
3646080	3322080	2994624	2639520	2282688	1914624	1545696	1176768	790560	395712
95558400	91799136	88933248	86197824	83647296	80589600	76655808	70263936	54290304	35335872
68893632	65276064	62049888	58599072	54641088	48212928	42032736	34542720	26142912	15010272
12778560	12073536	11306304	10392192	9399456	8086176	6625152	5160672	3699648	1857600
177618528	168996672	159420960	148637376	137077056	121272768	109368576	93681792	71012160	43305408
5826816	5247936	4662144	4090176	3523392	2958336	2440800	1868832	1291680	665280
43430688	40419648	37082016	33450624	28816992	23548320	18809280	15501024	11840256	7206624
38655360	37372320	35710848	33674400	31154976	28590624	24387264	20157120	15171840	8713440
7741440	6970752	6224256	5495040	4778784	4036608	3280608	2505600	1683072	856224
183684672	177234048	169549632	162488160	153261504	138030912	116502624	88219584	66691296	41461632
3919968	3580416	3242592	2844288	2466720	2089152	1709856	1326240	934848	470016
124764192	107568000	98699904	91021536	83734560	77875776	71755200	64486368	53354592	31652640
62435232	56355264	50965632	44019072	39012192	32932224	27542592	21429792	15701472	7954848
10248768	9510048	8718624	7914240	7049376	6092928	5054400	3983040	2832192	1511136
67644288	62839584	57436128	51708672	46305216	40630464	33553440	26464320	17777664	8951904
4067712	3697920	3325536	2939328	2553984	2151360	1742688	1336608	934848	481248
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
97582752	92167200	85879008	79227072	71606592	62496576	53102304	42743808	30909600	15756768
5395680	4863456	4332960	3802464	3283200	2750976	2220480	1689984	1143072	580608
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
197944128	185896512	172349856	157405248	142406208	128551104	111984768	89800704	61553088	32422464
3805920	3453408	3099168	2744928	2376864	2000160	1621728	1223424	823392	422496

Ahora es necesario realizar un ajuste probabilístico de los volúmenes máximos anuales para n días de duración, en virtud de obtener los volúmenes máximos asociados a diferentes periodos de retorno para las duraciones n= 1, 2, 3,..., 10.

Al igual que para la estación Paso del Toro se realizará el ajuste con la función Doble Gumbel, con ayuda del software Ax.

Los resultados del ajuste probabilístico para las duraciones n=1, 2, 3,...,10 y diferentes periodos de retorno se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.23 Volúmenes interpolados para diferentes Tr con la función Doble Gumbel

Volúmenes interpolados con ajuste doble Gumbel para diferentes duraciones n										
[m³]										
Tr	10 días	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10000	369759168	345989664	317100960	293448096	274644864	255248928	230164416	202957056	150077664	81617760
5000	346660992	323254368	298021248	274430592	257852160	242066016	218860704	192361824	142706880	76653216
2000	317211552	295648704	272916864	252084096	237911904	224390304	203392512	178822080	132734592	70448832
1000	295557984	276162048	255343104	236394720	223743168	211731840	192088800	168814368	125362944	66065760
500	275852736	258569280	239966496	222487776	210821184	199748160	181120320	158733216	117938592	61993728
200	253909728	239048928	222880032	206947008	195422976	184543488	166916160	145525248	108209952	57194208
100	240024384	226598688	211802688	196724160	184781088	173458368	156337344	135517536	100832256	53892864
50	227636352	215350272	201670560	187267680	174638592	162532224	145781856	125436384	93396672	50792832
20	212266656	201202272	188768448	175141440	161404704	147884832	131496480	111637440	83235168	46795968
10	200100672	189880416	178337376	165292704	150602112	135785376	119628576	100136736	74771424	43576704
5	182776608	173377152	162795744	150576192	135076032	118996128	103409568	84883680	63598176	39111552
2	93330144	86908896	80723520	74863872	68885856	62087904	54081216	45372096	34742304	20535552

Los gastos ajustados representan el gasto que pasará en n días para cierto periodo de retorno, pero ahora es necesario conocer el gasto que pasará para cada día hasta que se complete el tiempo base estimado de diez días, estos se calculan con la ec. 3.5:

$$Q_{\text{día } n} = \frac{V_{i_n} - V_{i_{n-1}}}{86400}$$

Tabla 5.24 Hidrograma para un día para duraciones n=1, 2, 3,..., 10 días

Hidrograma para un día para diferentes duraciones n										
[m <sup>3</sup> /s]										
Tr\n	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10000	275.11	334.36	273.76	217.63	224.49	290.33	314.9	612.03	792.36	944.65
5000	270.91	292.05	273.04	191.88	182.71	268.58	306.7	574.71	764.51	887.19
2000	249.57	263.1	241.12	164.03	156.5	243.03	284.38	533.42	720.9	815.38
1000	224.49	240.96	219.31	146.43	139.02	227.35	269.38	502.91	686.31	764.65
500	200.04	215.31	202.3	135.03	128.16	215.6	259.11	472.16	647.51	717.52
200	172	187.14	184.41	133.38	125.92	204.02	247.58	431.89	590.46	661.97
100	155.39	171.25	174.52	138.23	131.05	198.16	240.97	401.45	543.28	623.76
50	142.2	158.33	166.7	146.17	140.12	193.87	235.48	370.83	493.1	587.88
20	128.06	143.91	157.72	158.99	156.48	189.68	229.85	328.73	421.75	541.62
10	118.29	133.6	150.98	170.03	171.49	187	225.6	293.58	361.05	504.36
5	108.79	122.47	141.43	179.4	186.11	180.4	214.42	246.36	283.41	452.68
2	74.32	71.59	67.82	69.19	78.68	92.67	100.8	123.03	164.43	237.68

#### Forma del Hidrograma

Al igual que para la estación 28039 Paso del Toro se le asignará al hidrograma buscado la forma de bloque alternos, a continuación se muestra el hidrograma tabulado así como graficado con la forma mencionada.

Tabla 5.25 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos para la estación 28040

Hidrograma de escurrimiento [m <sup>3</sup> /s]												
día	Periodo de retorno Tr en años											
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000
1	71.59	122.47	133.6	143.91	142.2	138.23	133.38	135.03	146.43	164.03	191.88	224.49
2	69.19	179.4	170.03	157.72	158.33	171.25	184.41	202.3	224.49	243.03	270.91	275.11
3	92.67	186.11	187	189.68	193.87	198.16	204.02	215.6	240.96	263.1	292.05	314.9
4	123.03	246.36	293.58	328.73	370.83	401.45	431.89	472.16	502.91	533.42	574.71	612.03
5	237.68	452.68	504.36	541.62	587.88	623.76	661.97	717.52	764.65	815.38	887.19	944.65
6	164.43	283.41	361.05	421.75	493.1	543.28	590.46	647.51	686.31	720.9	764.51	792.36
7	100.8	214.42	225.6	229.85	235.48	240.97	247.58	259.11	269.38	284.38	306.7	334.36
8	78.68	180.4	171.49	158.99	166.7	174.52	187.14	215.31	227.35	249.57	273.04	290.33
9	67.82	141.43	150.98	156.48	146.17	155.39	172	200.04	219.31	241.12	268.58	273.76
10	74.32	108.79	118.29	128.06	140.12	131.05	125.92	128.16	139.02	156.5	182.71	217.63

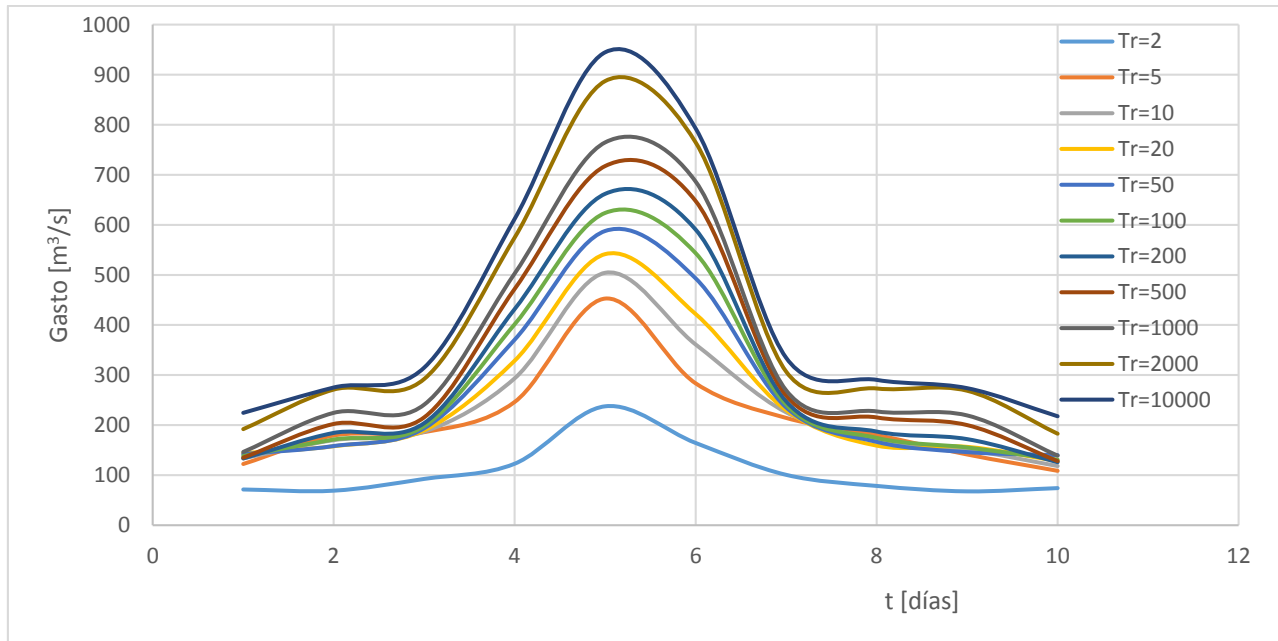


Figura 5.15 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno con la forma de bloques alternos obtenidos con el método del Instituto de Ingeniería

## ii. Método Bivariado

Para la aplicación del método Bivariado de Ramírez y Aldama haremos uso de los mismos registros que en el método del instituto de ingeniería, es decir el de los gastos medios diarios.

### Tiempo Base

Como se explicó en la estación 28039, el método de obtención del tiempo base para el instituto de ingeniería y el método bivariado es el mismo, se deben obtener los espectros de densidad de potencia, analizar los picos y así determinar el tiempo base. Por lo tanto el tiempo base que tendrá nuestro hidrograma será de 10 días, recordando que se deberá ajustar después para que el volumen máximo se pueda cumplir, este aspecto se detalla en el punto forma del hidrograma.

### Volumen Máximo

Como se realizó en la estación 28039 para la obtención del volumen máximo que se puede llegar a presentar es necesario identificar los gastos medios máximos anuales así como el día en el que se presentaron para cada uno de los 41 años de registro.



Tabla 5.26 Gastos máximos anuales de la estación 28040 El Tejar

Máximos gastos anuales [m <sup>3</sup> /s]			
Día	Mes	Año	Gasto Máx.
1952	JUN	21	347.14
1953	JUL	3	109.777
1954	JUN	25	264.738
1955	JUL	21	549.293
1956	JUL	15	324.686
1957	SEP	18	89.63
1958	OCT	15	307.091
1959	JUN	19	178.055
1960	AGT	31	347.788
1961	AGT	1	455.115
1962	JUL	4	211.16
1963	JUL	3	147.842
1964	JUL	1	126.023
1965	AGT	18	159.918
1966	JUN	28	205.147
1967	SEP	24	430.615
1968	JUN	24	231.961
1969	AGT	23	406.554
1970	AGT	6	192.921
1971	OCT	6	121.387
1972	JUL	29	591.372
1973	JUL	27	214.317
1974	SEP	23	540.284
1975	SEP	11	428.676
1976	JUN	28	442.713
1977	OCT	26	142.311
1978	SEP	24	197.395
1979	SEP	9	158.104
1980	SEP	26	345.265
1981	JUL	15	461.878
1982	JUL	26	66.316
1983	JUL	20	382.105
1984	AGT	16	157.471
1987	JUL	15	199.95232
1992	AGT	11	501.21567
1994	SEP	17	83.40865
1995	JUL	16	100.8513
1997	OCT	11	479.8766
2002	SEP	14	103.61211
2005	OCT	6	182.372
2010	SEP	19	375.26

Conocidos los días en los cuales se presenta el gasto máximo para cada año, procederemos a obtener las combinaciones de días (hidrograma) que incluyan el día en el cual se presentó el gasto máximo y cumplan con los diez días de tiempo base y se calculará su volumen asociado con ayuda del software Mathcad, de los volúmenes obtenidos para cada combinación de cada año, se seleccionarán aquellos que sean los de mayor valor.

Se crea una tabla en la cual se pueda comparar los volúmenes para diferentes combinaciones, la cual se muestra en la tabla A.2 en el Anexo 1.

Se agrupan los valores de gasto máximo y volumen máximo para cada año en la siguiente tabla:

Tabla 5.27 Máximos gastos y volúmenes anuales

Máximos gastos y volúmenes anuales						
Día	Mes	Año	Gasto Máx.	Vol. Máx.	Días antes del Q Máx.	Días después del Q Máx.
			[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]		
1953	JUL	3	109.777	40314672	1	8
1954	JUN	25	264.738	111076099.2	0	9
1955	JUL	21	549.293	181231776	7	2
1956	JUL	15	324.686	83179526.4	8	1
1957	SEP	18	89.63	44982691.2	3	6
1958	OCT	15	307.091	128057673.6	2	7
1959	JUN	19	178.055	84027024	4	5
1960	AGT	31	347.788	107369884.8	1	8
1961	AGT	1	455.115	169453987.2	6	3
1962	JUL	4	211.16	60371827.2	0	9
1963	JUL	3	147.842	49278240	1	8
1964	JUL	1	126.023	43912281.6	2	7
1965	AGT	18	159.918	49649328	6	3
1966	JUN	28	205.147	92374300.8	4	5
1967	SEP	24	430.615	126596044.8	0	9
1968	JUN	24	231.961	57841689.6	0	9
1969	AGT	23	406.554	165287088	0	9
1970	AGT	6	192.921	69499987.2	2	7
1971	OCT	6	121.387	50114937.6	3	6
1972	JUL	29	591.372	214950412.8	3	6
1973	JUL	27	214.317	63994492.8	3	6
1974	SEP	23	540.284	193478198.4	2	7
1975	SEP	11	428.676	208271347.2	3	6
1976	JUN	28	442.713	188616297.6	0	9
1977	OCT	26	142.311	48478521.6	1	8

1978	SEP	24	197.395	59299171.2	1	8
1979	SEP	9	158.104	90783676.8	0	9
1980	SEP	26	345.265	102939552	1	8
1981	JUL	15	461.878	129509971.2	4	5
1982	JUL	26	66.316	26463456	0	9
1983	JUL	20	382.105	172310716.8	6	3
1984	AGT	16	157.471	53230176	9	0
1987	JUL	15	199.95232	86127527.23	0	9
1992	AGT	11	501.21567	177618385.4	1	8
1994	SEP	17	83.40865	43431048.29	5	4
1995	JUL	16	100.8513	38655257.18	2	7
1997	OCT	11	479.8766	183684671.1	1	8
2002	SEP	14	103.61211	67644001.15	6	3
2005	OCT	6	182.372	97582320	1	8
2010	SEP	19	375.26	197944473.6	1	8

El cálculo de los valores del volumen estimados para diferentes periodos de retorno ajustando los valores anuales máximos a una función de probabilidad se realizará en el siguiente punto.

#### *Gasto Máximo*

Para la estimación del gasto máximo que se puede presentar, se aplicará la función conjunta bivariada, de la misma forma en que se hizo para la estación 28039.

$$F_{Q,V}(Q, V) = \exp\{-([\ln F_Q(Q)]^m + [\ln F_V(V)]^m)^{\frac{1}{m}}\}$$

Para poder aplicar este modelo, primero deberemos ajustar los valores de gastos y volúmenes máximos anuales de la tabla 5.27 a una función de probabilidad, en este caso se ajustarán a la función Doble Gumbel. Del ajuste además de gastos y volúmenes asociados a diferentes Tr obtendremos además los parámetros de ajuste  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$  y  $\rho$  que utilizaremos en el cálculo de las funciones marginales de gasto y volumen.

Tabla 5.28 Resultados del ajuste Doble Gumbel con el software AX.

Tr	Qp [m³/s]	V [m3]
10000	944.65	364304064
5000	887.19	342535491
2000	815.38	311696672
1000	764.65	289021083
500	717.52	266912377
200	661.97	242025909
100	623.76	227811145
50	587.88	216469804
20	541.62	203519920
10	504.36	193714488
5	452.68	179898318
2	237.68	90532995.1

Parámetros	Qp	V
$\alpha_1$	0.011658	0.02993
$\beta_1$	172.9179	65.3064
$\alpha_2$	0.024301	0.097356
$\beta_2$	478.9696	187.3183
P	0.8	0.8

Ahora conocidos los parámetros del ajuste procederemos a calcular las funciones marginales de gasto y de volumen, en este cálculo es recomendable utilizar el volumen en hectómetros cúbicos.

Tabla 5.29 Obtención de valores marginales de gasto y volumen

Tr	QP	V [m3]	V[hm3]	FqQp	FvV
10000	944.65	364304064	364.31	0.99989853	0.99989613
5000	887.19	342535491	342.54	0.99979667	0.99980068
2000	815.38	311696672	311.7	0.99949682	0.99949745
1000	764.65	289021083	289.03	0.99899979	0.99900197
500	717.52	266912377	266.92	0.99799599	0.99799999
200	661.97	242025909	242	0.9950025	0.99499781
100	623.76	227811145	227.8	0.98999616	0.98999694
50	587.88	216469804	216.47	0.97999734	0.98000187
20	541.62	203519920	203.52	0.94999784	0.95000272
10	504.36	193714488	193.71	0.89998862	0.89997305
5	452.68	179898318	179.9	0.7999985	0.80001669
2	237.68	90532995.1	90.53	0.4999957	0.49998296

Ahora se calcularán los valores del coeficiente de correlación  $\rho$  y  $m$ , primero obteniendo la covarianza y desviaciones estándar correspondientes a los gastos y volúmenes máximos anuales registrados en la tabla 5.27, los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 5.30 Obtención de desviaciones estándar y covarianza de gastos y volúmenes

N	Gasto Máx. [m <sup>3</sup> /s]	Vol. Máx. [m <sup>3</sup> ]	Vol. [hm <sup>3</sup> ]	Q*V
1	347.14	177799968	177.8	61721.4809
2	109.777	40314672	40.3147	4425.62375
3	264.738	111076099	111.076	29406.0644
4	549.293	181231776	181.232	99549.3459
5	324.686	83179526.4	83.1795	27007.2277
6	89.63	44982691.2	44.9827	4031.79861
7	307.091	128057674	128.058	39325.359
8	178.055	84027024	84.027	14961.4318
9	347.788	107369885	107.37	37341.9575
10	455.115	169453987	169.454	77121.0514
11	211.16	60371827.2	60.3718	12748.115
12	147.842	49278240	49.2782	7285.39356
13	126.023	43912281.6	43.9123	5533.95746
14	159.918	49649328	49.6493	7939.82124
15	205.147	92374300.8	92.3743	18950.3107
16	430.615	126596045	126.596	54514.1558
17	231.961	57841689.6	57.8417	13417.0162
18	406.554	165287088	165.287	67198.1268
19	192.921	69499987.2	69.5	13408.007
20	121.387	50114937.6	50.1149	6083.30193
21	591.372	214950413	214.95	127115.656
22	214.317	63994492.8	63.9945	13715.1077
23	540.284	193478198	193.478	104533.175
24	428.676	208271347	208.271	89280.928
25	442.713	188616298	188.616	83502.887
26	142.311	48478521.6	48.4785	6899.02689
27	197.395	59299171.2	59.2992	11705.3599
28	158.104	90783676.8	90.7837	14353.2624
29	345.265	102939552	102.94	35541.4244
30	461.878	129509971	129.51	59817.8065
31	66.316	26463456	26.4635	1754.95055
32	382.105	172310717	172.311	65840.7864
33	157.471	53230176	53.2302	8382.20904
34	199.95232	86127527.2	86.1275	17221.3989
35	501.21567	177618385	177.618	89025.118
36	83.40865	43431048.3	43.431	3622.52511
37	100.8513	38655257.2	38.6553	3898.43294
38	479.8766	183684671	183.685	88145.9754
39	103.61211	67644001.2	67.644	7008.73769
40	182.372	97582320	97.5823	17796.2829
41	375.26	197944474	197.944	74280.6432
Desviación estándar	151.049087	58307859.2	57.8852	
Suma	11361.5967	4337432702	4159.63	1463689.76
Media	277.112113	105791042	103.991	
Covarianza	7775.12853			

Por lo tanto el coeficiente  $\rho$  y  $m$  resultan:

$$\rho = \frac{7775.13}{151.04 \times 57.89} = 0.889$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{1 - 0.889}} = 3.004$$

Ahora conocemos todos los requerimientos para poder aplicar la función conjunta bivariada con la ecuación 4.4, en la siguiente tabla se muestran los resultados.

*Tabla 5.31 Resultados de la función conjunta bivariada*

Tr	Qp [m³/s]	V [m³]	V [hm³]	FqQp	FvV	F <sub>Q,V</sub> (Q,V)
10000	944.65	364304064	364.31	0.99990	0.99990	0.99990
5000	887.19	342535491	342.54	0.99980	0.99980	0.99980
2000	815.38	311696672	311.7	0.99950	0.99950	0.99950
1000	764.65	289021083	289.03	0.99900	0.99900	0.99900
500	717.52	266912377	266.92	0.99800	0.99800	0.99800
200	661.97	242025909	242	0.99500	0.99500	0.99500
100	623.76	227811145	227.8	0.99000	0.99000	0.99000
50	587.88	216469804	216.47	0.98000	0.98000	0.97999
20	541.62	203519920	203.52	0.95000	0.95000	0.94988
10	504.36	193714488	193.71	0.89999	0.89997	0.89893
5	452.68	179898318	179.9	0.80000	0.80002	0.79124
2	237.68	90532995.1	90.53	0.50000	0.49998	0.35857

Obtenidos los valores de las funciones marginales de gasto y volumen así como el de la función conjunta bivariada, podemos calcular los periodos de retorno para gastos, volúmenes y conjunto, se realizará aplicando las ecuaciones 4.9, 4.10 y 4.11.

Tabla 5.32 Obtención de los periodos de retorno asociados a gastos y volúmenes marginales así como a la función conjunta bivariada

Tr	Q <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /s]	V [m <sup>3</sup> ]	V [hm <sup>3</sup> ]	F <sub>q</sub> Q <sub>p</sub>	F <sub>v</sub> V	F <sub>Q,V</sub> (Q,V)	T <sub>q</sub>	T <sub>v</sub>	T <sub>q,v</sub>
10000	944.65	364304064	364.3	0.99990	0.99990	0.99987	9855.42170	9626.96181	13155.03917
5000	887.19	342535491	342.5	0.99980	0.99980	0.99975	4918.08053	5017.03915	6708.138016
2000	815.38	311696672	311.7	0.99950	0.99950	0.99937	1987.37709	1989.86691	2685.047508
1000	764.65	289021083	289	0.99900	0.99900	0.99874	999.78648	1001.97279	1351.245536
500	717.52	266912377	266.9	0.99800	0.99800	0.99748	498.99833	499.99747	674.201779
200	661.97	242025909	242	0.99500	0.99500	0.99371	200.10016	199.91225	269.7813613
100	623.76	227811145	227.8	0.99000	0.99000	0.98742	99.96157	99.96937	134.6908193
50	587.88	216469804	216.5	0.98000	0.98000	0.97488	49.99336	50.00468	67.21831537
20	541.62	203519920	203.5	0.95000	0.95000	0.93744	19.99914	20.00109	26.70888938
10	504.36	193714488	193.7	0.89999	0.89997	0.87571	9.99886	9.99731	13.20210306
5	452.68	179898318	179.9	0.80000	0.80002	0.75501	4.99996	5.00042	6.451914996
2	237.68	90532995.1	90.53	0.50000	0.49998	0.41769	1.99998	1.99993	2.39399277

### Forma del hidrograma

Al igual que para la estación Paso del Toro se aplicará la forma propuesta por Ramírez y Aldama conocida como forma triparamétrica de tercer orden.

Se calculará el tiempo base, en función del volumen y se seleccionará el tiempo pico.

Se ejemplifica el cálculo para Tr=100 años

$$V=227,811, 145 \text{ m}^3$$

$$Q_p=623.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t_b = 2 \frac{V}{Q_p} = \frac{2 \times 227811145}{623.76} = 730444.86 \text{ s} = 202.9 \text{ hr} = 8.45 \text{ días}$$

Ajustado el tiempo base procederemos a determinar el tiempo pico del hidrograma. Al igual que para la estación 28039, de las combinaciones de días que obtuvimos para determinar el volumen máximo, se seleccionarán los 10 máximos valores de gastos y los 10 máximos de volúmenes, se apreciará la combinación que más se repita y así se seleccionará el tiempo pico.

Tabla 5.33 diez máximos volúmenes y gastos del registro

10 Máximos gastos anuales						
Día	Mes	Año	Gasto Máx. [m <sup>3</sup> /s]	Vol. Máx. [m <sup>3</sup> ]	días antes	días después
1972	JUL	29	591.372	214950412.8	3	6
1955	JUL	21	549.293	181231776	7	2
1974	SEP	23	540.284	193478198.4	2	7
1992	AGT	11	501.21567	177618385.4	1	8
1997	OCT	11	479.8766	183684671.1	1	8
1981	JUL	15	461.878	129509971.2	4	5
1961	AGT	1	455.115	169453987.2	6	3
1976	JUN	28	442.713	188616297.6	0	9
1967	SEP	24	430.615	126596044.8	0	9
1975	SEP	11	428.676	208271347.2	3	6

10 Máximos volúmenes anuales						
Día	Mes	Año	Gasto Máx. [m <sup>3</sup> /s]	Vol. Máx. [m <sup>3</sup> ]	días antes	días después
1972	JUL	29	591.372	214950412.8	3	6
1975	SEP	11	428.676	208271347.2	3	6
2010	SEP	19	375.26	197944473.6	1	8
1974	SEP	23	540.284	193478198.4	2	7
1976	JUN	28	442.713	188616297.6	0	9
1997	OCT	11	479.8766	183684671.1	1	8
1955	JUL	21	549.293	181231776	7	2
1952	JUN	21	347.14	177799968	8	1
1992	AGT	11	501.21567	177618385.4	1	8
1983	JUL	20	382.105	172310716.8	6	3

Tabla 5.34 Identificación de número de repeticiones de cada combinación

número	combinación	# veces
1	9-0	1
2	8-1	2
3	7-2	1
4	6-3	4
5	5-4	1
6	4-5	3
7	3-6	5
8	2-7	5
9	1-8	10
10	0-9	9



Se puede apreciar que la combinación que más se presenta es la de 1 día antes del gasto máximo y 8 días después, por lo tanto el tiempo que se define es en 2 días de 10, por lo cual el tiempo pico es de 0.2 del tiempo base.

Por lo cual para un  $Tr=100$  años

$$tp = 0.2tb = 0.2 \times 202.9 \text{ hr} = 40.58 \text{ hr} = 1.69 \text{ días}$$

Conocidos los tiempo base y pico se aplica la forma triparamétrica hermitiana de orden 3 mostrada en la ecuación 4.13.

Por lo tanto el hidrograma de diseño para un  $Tr= 100$  años es el siguiente:

Tr	Qp [m <sup>3</sup> /s]	Vol [m <sup>3</sup> ]
100	610	222050493

tb=	728034.405	s
	202.231779	h
	8.42632413	días
tp=	40.4463558	h
	1.68526483	días

Tabla 5.35 Hidrograma obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama para un  $T_r=100$  años con forma triparamétrica hermitiana de 3er orden

T	Q	T	Q	T	Q	T	Q	T	Q
h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s	h	m <sup>3</sup> /s
0	0.000	50	603.870	100	422.887	150	149.687	200	0.345
1	1.100	51	602.552	101	417.606	151	144.766	201	0.106
2	4.327	52	601.112	102	412.291	152	139.897	202	0.004
3	9.570	53	599.552	103	406.942	153	135.081	202.23	0.000
4	16.718	54	597.874	104	401.562	154	130.319		
5	25.661	55	596.079	105	396.151	155	125.614		
6	36.289	56	594.170	106	390.712	156	120.967		
7	48.489	57	592.148	107	385.247	157	116.380		
8	62.153	58	590.015	108	379.757	158	111.855		
9	77.169	59	587.773	109	374.244	159	107.393		
10	93.426	60	585.422	110	368.710	160	102.996		
11	110.815	61	582.966	111	363.156	161	98.665		
12	129.223	62	580.405	112	357.584	162	94.404		
13	148.542	63	577.742	113	351.996	163	90.213		
14	168.660	64	574.977	114	346.393	164	86.093		
15	189.466	65	572.114	115	340.778	165	82.048		
16	210.850	66	569.153	116	335.152	166	78.078		
17	232.701	67	566.097	117	329.517	167	74.185		
18	254.909	68	562.947	118	323.874	168	70.371		
19	277.362	69	559.704	119	318.225	169	66.638		
20	299.951	70	556.371	120	312.573	170	62.987		
21	322.565	71	552.950	121	306.918	171	59.420		
22	345.093	72	549.441	122	301.262	172	55.939		
23	367.424	73	545.847	123	295.608	173	52.546		
24	389.448	74	542.169	124	289.956	174	49.242		
25	411.054	75	538.410	125	284.309	175	46.029		
26	432.132	76	534.570	126	278.669	176	42.909		
27	452.571	77	530.653	127	273.036	177	39.883		
28	472.259	78	526.658	128	267.413	178	36.954		
29	491.088	79	522.589	129	261.802	179	34.122		
30	508.946	80	518.446	130	256.204	180	31.390		
31	525.722	81	514.232	131	250.621	181	28.760		
32	541.305	82	509.948	132	245.055	182	26.232		
33	555.586	83	505.596	133	239.507	183	23.810		
34	568.453	84	501.178	134	233.979	184	21.494		
35	579.797	85	496.696	135	228.473	185	19.286		
36	589.505	86	492.150	136	222.991	186	17.189		
37	597.468	87	487.544	137	217.534	187	15.203		
38	603.575	88	482.878	138	212.104	188	13.330		
39	607.716	89	478.154	139	206.703	189	11.573		
40.44	610.000	90	473.375	140	201.333	190	9.933		
41	609.979	91	468.541	141	195.994	191	8.412		
42	609.832	92	463.655	142	190.690	192	7.011		
43	609.549	93	458.719	143	185.422	193	5.732		
44	609.130	94	453.733	144	180.190	194	4.577		
45	608.577	95	448.700	145	174.999	195	3.548		
46	607.893	96	443.621	146	169.848	196	2.645		
47	607.078	97	438.499	147	164.739	197	1.872		
48	606.135	98	433.335	148	159.675	198	1.230		
49	605.065	99	428.130	149	154.657	199	0.720		

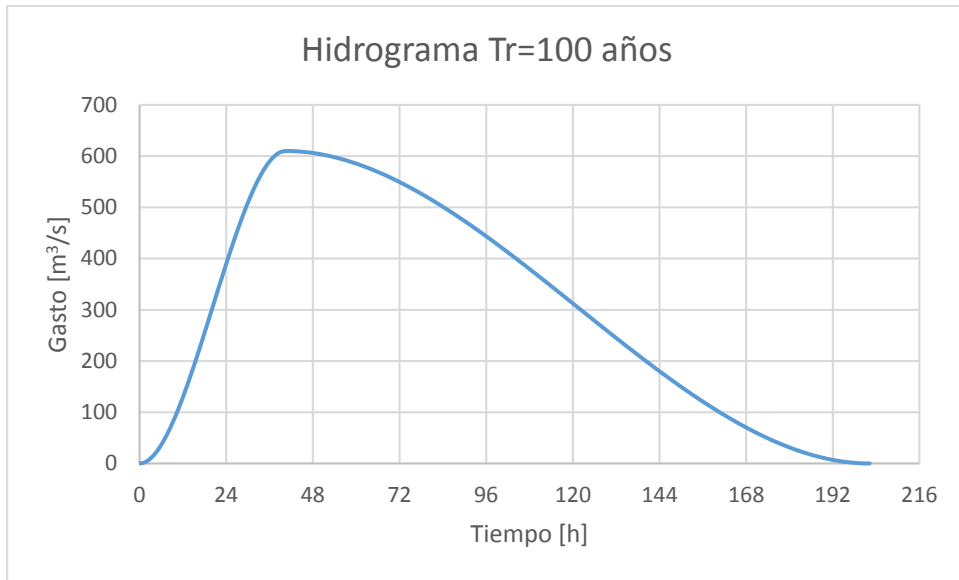


Figura 5.16 Hidrograma para un  $Tr=100$  años con forma triparamétrica hermitiana, obtenido con el método bivariado de Ramírez y Aldama

El hidrograma para diferentes periodos de retorno para la estación 28040 “El Tejar” se muestra a continuación:

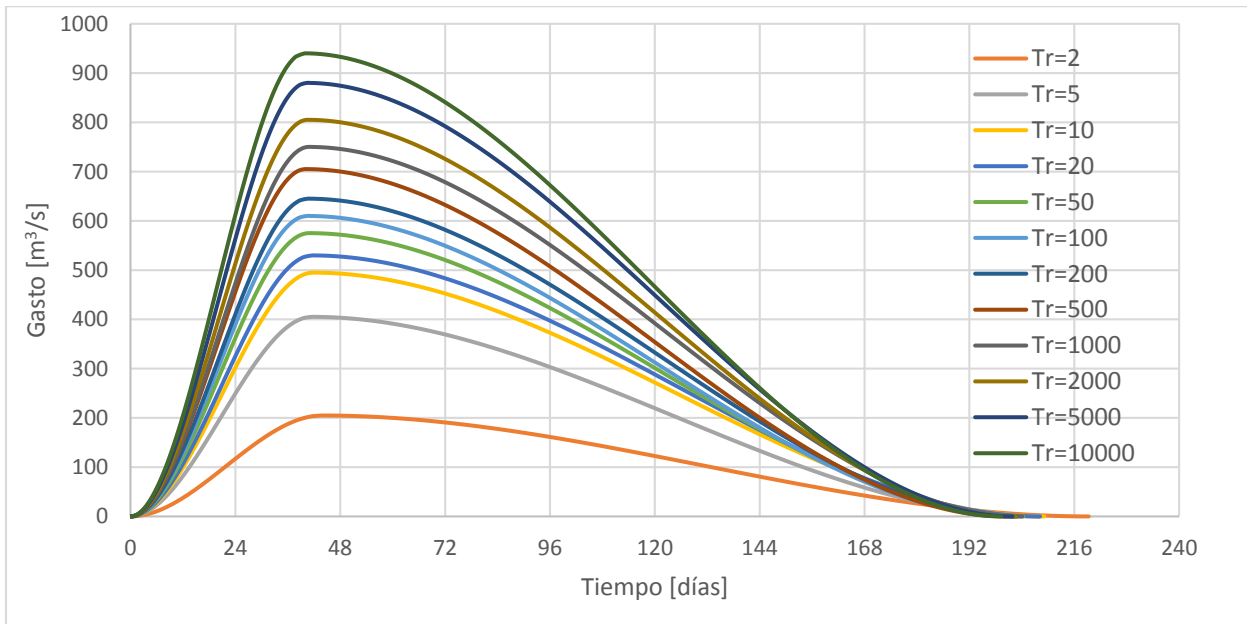


Figura 5.17 Hidrogramas para diferentes periodos de retorno obtenidos con el método bivariado de Ramírez y Aldama

### Estimación de aceptación de resultados del método bivariado

Al igual que para la estación Paso del Toro, el método Bivariado arroja diversas combinaciones de resultados de gasto y volumen que generan el mismo periodo de retorno, pero en la naturaleza es poco probable que se presenten todas estas, para lo cual es necesario determinar cuáles de estas combinaciones pueden ser utilizadas para crear una avenida de diseño.

En este caso se ejemplificará el proceso para un  $Tr$  de 100 años, a continuación se presentan todas las combinaciones que cumplen con este  $Tr$  en forma de curva.

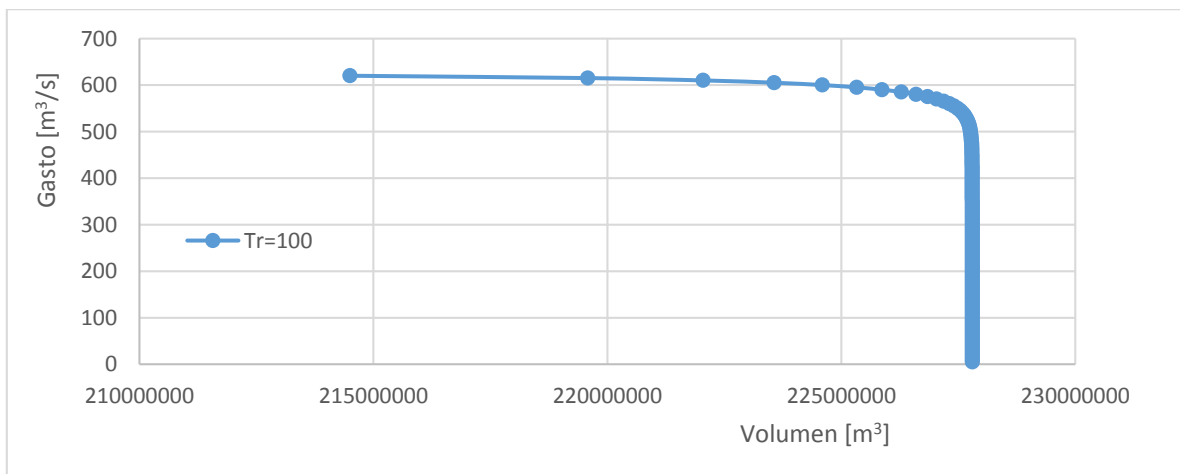


Figura 5.18 Curva de combinaciones de gasto y volumen que cumplen con el  $Tr=100$  para la estación El Tejar

Para elegir las combinaciones que se puedan presentar en la naturaleza de igual forma que para la estación anterior se propone partir de los valores máximos de gasto y volumen. Con estos se grafican puntos donde el eje de las abscisas es el gasto y el de las ordenadas es el volumen. Posteriormente se crea una línea que ajuste estos puntos de forma lineal, después se obtiene el valor de la desviación estándar asociada a estos valores, con esta se grafican dos líneas paralelas a la del ajuste lineal una superior a ella y la otra inferior que tengan de separación el valor de la desviación estándar; estas dos líneas definirán el rango de combinaciones de gasto y volumen cuyo uso sea adecuado, para ello se deberán superponer los puntos de todas las combinaciones de gasto-volumen que cumplen con el  $Tr=100$  años, como se muestra a continuación.

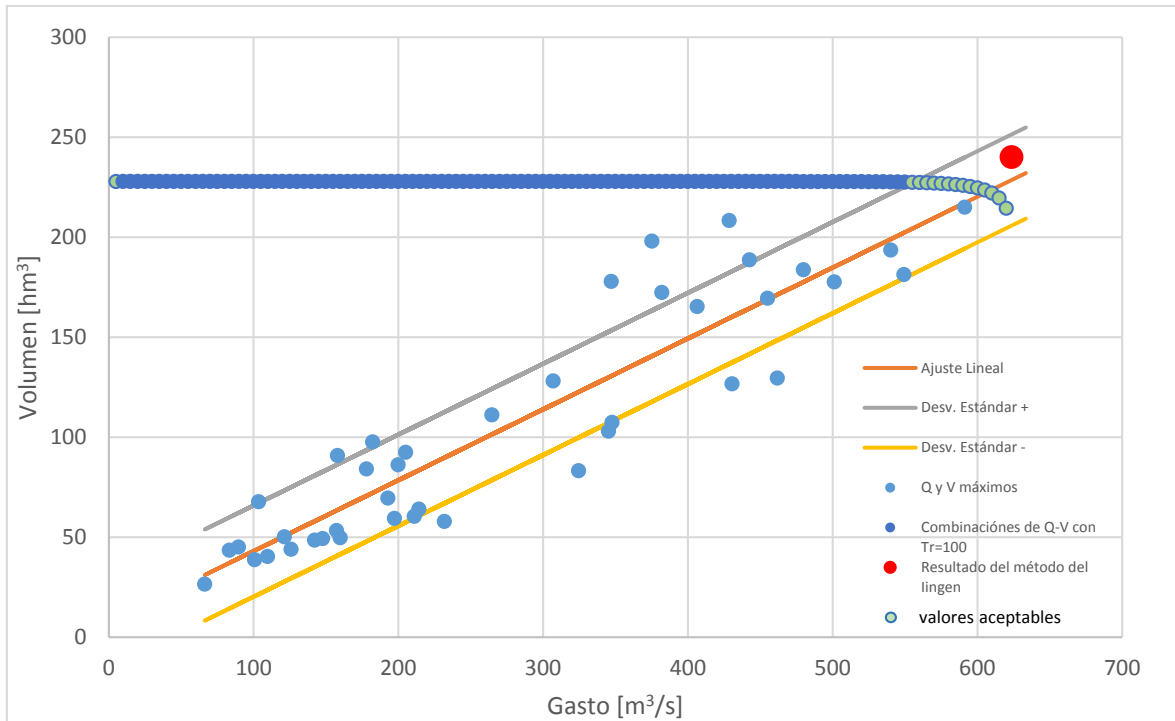


Figura 5.19 Selección de valores aceptables de combinación de gasto y volumen para la estación El Tejar

Los valores resltados en color verde son los que se encuentran dentro de los rangos de desviación estandar, por lo cual, serán los que podrán seleccionarse para la creación de la avenida de diseño, ademas en rojo se muestra el resultado obtenido con el método del Instituto de Ingeniería y al igual que para la estación Paso del Toro no son parte de la curva de combinaciones pero están dentro del rango aceptable.

Las combinaciones que pueden ser consideradas para la creación de la avenida de diseño son:

Tabla 5.36 Valores de gasto y volumen que se consideran aceptables para la estimación de la avenida de diseño

Combinaciones que dan $T_r=100$ que entran en el rango		
$Q_p$ [m <sup>3</sup> /s]	V [hm <sup>3</sup> ]	$T_r$
555	227.408229	100.000497
560	227.311868	99.9999999
565	227.191049	99.9999997
570	227.038836	99.9999992
575	226.846105	99.9999983
580	226.600451	99.9999968
585	226.284586	99.9999954
590	225.873634	99.9999954
595	225.330289	99.9999945
600	224.595383	99.9999882
605	223.567421	99.9999971
610	222.050493	100.000043
615	219.583367	100.000037
620	214.504095	100.000171

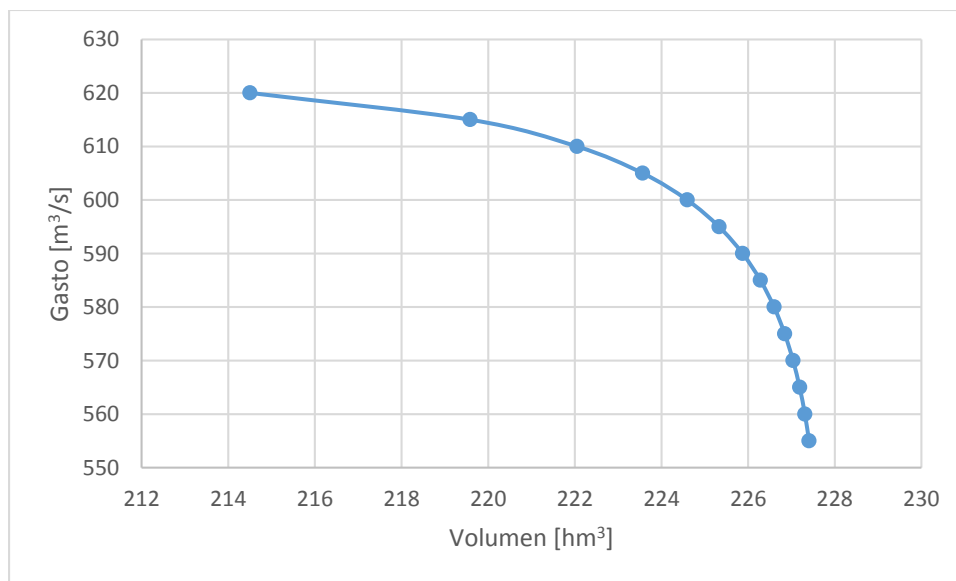


Figura 5.20 Curva de combinaciones de gasto y volumen con  $T_r=100$  aceptables para su uso

## 6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta una comparación de los hidrogramas de diseño obtenidos por los métodos del Instituto de Ingeniería y el Bivariado para las estaciones Paso del Toro y El Tejar.

Estación 28039 “Paso del Toro”

Habiendo obtenido los hidrogramas correspondientes a diferentes periodos de retorno, 12 para ser precisos, correspondientes a la estación hidrométrica Paso del Toro, ubicada en el cauce del río Cotaxtla, obtenidos para ambos métodos, procederemos a compararlos y así determinar las diferencias en los resultados así como sus similitudes.

Gasto Pico

Al analizar los procedimientos de cálculo de ambos métodos, es posible percatarse que el gasto pico que presenten ambos hidrogramas sea muy parecido, esto es debido que para obtener el gasto pico del método bivariado se utilizan los valores de los gastos medios máximos anuales del registro, mismos que se presentarán en la metodología del instituto de ingeniería, precisamente en los volúmenes máximos anuales para 1 día, estos no serán afectados de ninguna forma por lo cual al momento de realizar el ajuste doble Gumbel para ambos casos los gastos obtenidos serán los mismos, con los cuales en el caso del método bivariado se realizará la iteración de gastos y volúmenes que cumplan tanto con el periodo de retorno buscado así como que entren en el rango de valores aceptables.

A continuación se presenta el valor de cada gasto pico para cada periodo de retorno.

Tabla 6.1 Gastos pico de hidrogramas para ambos métodos, estación 28039

Tr	Gasto Pico [m <sup>3</sup> /s]		diferencia	¿Cuál es más Grande?
	lingen	Bivariado		
2	362.72	290	72.72	lingen
5	539.23	450	89.23	lingen
10	644.59	570	74.59	lingen
20	725.16	665	60.16	lingen
50	820.75	770	50.75	lingen
100	889.96	835	54.96	lingen
200	958.11	900	58.11	lingen
500	1047.45	1005	42.45	lingen
1000	1115.01	1075	40.01	lingen
2000	1183.1	1160	23.1	lingen
5000	1271.78	1250	21.78	lingen
10000	1341.45	1330	11.45	lingen

Como se puede apreciar los gastos son muy parecidos, siendo mayores en este caso los obtenidos con el método del instituto de ingeniería, claro está que los resultados obtenidos con el método bivariado pueden ser diferentes, seleccionando otros valores de los aceptables que cumplen con cada periodo de retorno.

### Volumen

El volumen obtenido para cada hidrograma asociado a cada periodo de retorno se presenta para cada método en la tabla siguiente:

Tabla 6.2 Volúmenes de hidrogramas para ambos métodos estación 28039

Tr	Volumen [m <sup>3</sup> ]		Diferencia	¿Cuál es mayor?
	lingen	Bivariado		
2	64861344	166293237.3	101431893.3	Bivariado
5	87826464	253133204	165306740	Bivariado
10	105142752	317274469.5	212131717.5	Bivariado
20	135237600	364914341.1	229676741.1	Bivariado
50	184150368	420794576.1	236644208.1	Bivariado
100	220717440	463283065.1	242565625.1	Bivariado
200	257585184	504651800.8	247066616.8	Bivariado
500	304930656	554241824.1	249311168.1	Bivariado
1000	341782848	593637018.2	251854170.2	Bivariado
2000	379256256	624368112.8	245111856.8	Bivariado
5000	427553856	676751100.6	249197244.6	Bivariado
10000	461243808	698439419.2	237195611.2	Bivariado



Es evidente que los volúmenes obtenidos con el método del instituto de ingeniería son menores a los obtenidos con el método Bivariado de Ramírez y Aldama, esto se debe principalmente a que el segundo método utiliza los valores de volúmenes máximos anuales, los ajusta probabilísticamente y con ellos se construye el hidrograma, en cambio, el método del Instituto de Ingeniería le da forma al hidrograma y después se calculan los volúmenes asociados a este, además al ser los gastos obtenidos con el método bivariado menores a los del instituto de Ingeniería en los volúmenes se debe aumentar el valor para que así la función conjunta bivariada cumpla con el periodo de retorno.

A continuación se presenta un análisis a los hidrogramas obtenidos para los  $Tr= 2, 50, 100, 1000, 10000$  años.

$Tr= 2$  años

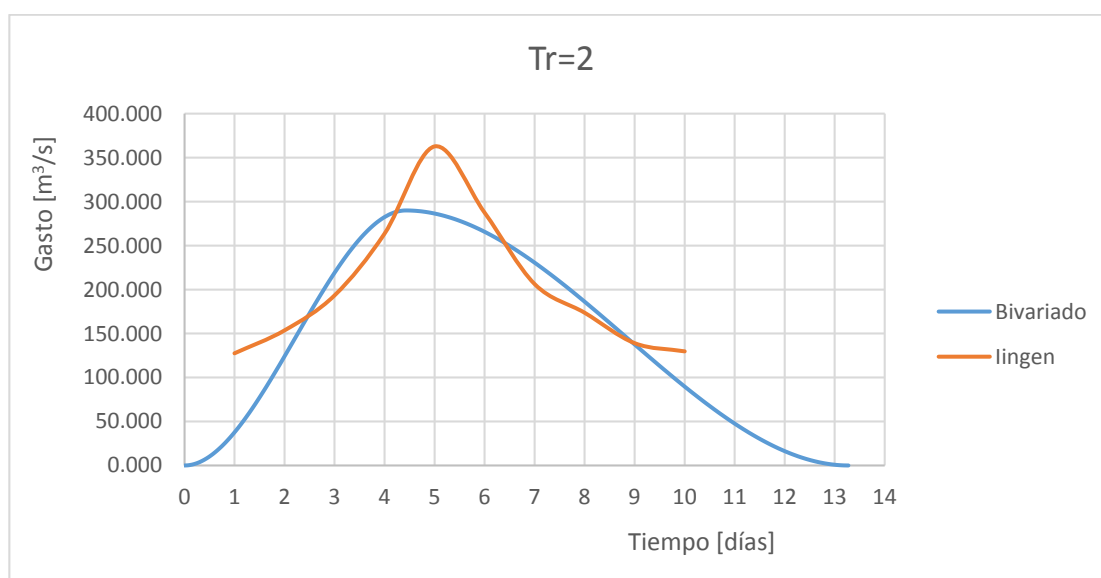


Figura 6.1 Hidrogramas para un  $Tr=2$ , estación 28039

Como ya se apreció con anterioridad el volumen que tiene el hidrograma obtenido con el método bivariado es mayor, el gasto pico como ya se explico es menor, por lo cual las principales diferencias las da la forma del hidrograma, la primera diferencia que se aprecia es el tiempo en el cual se presenta el gasto pico, para el método del instituto el tiempo pico es a la mitad del hidrograma (5 días), mientras que para el método Bivariado se seleccionó 4.42 días que resulta ser el 0.333% del tiempo base. Es evidente también que el tiempo

base del método bivariado es mayor al del Instituto de Ingeniería, esto es debido a que la forma triparamétrica hermitiana de 3er orden que se le aplicó ajusta el tiempo base conforme a que el volumen calculado se cumpla en el hidrograma partiendo de los valores de gasto pico y tiempo pico, por ello que los 10 días propuestos al inicio del cálculo se convierten en 13.27 días. El método del instituto mantiene esos 10 días.

Tabla 6.3 Resultados de métodos para un  $Tr=2$ , estación 28039

Tr=2	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	362.72	290	72.72
V [m <sup>3</sup> ]	64861344	166293237.3	101431893.3
tp [días]	5	4.420	0.580
tb [días]	10	13.27	3.27

Tr=50 años

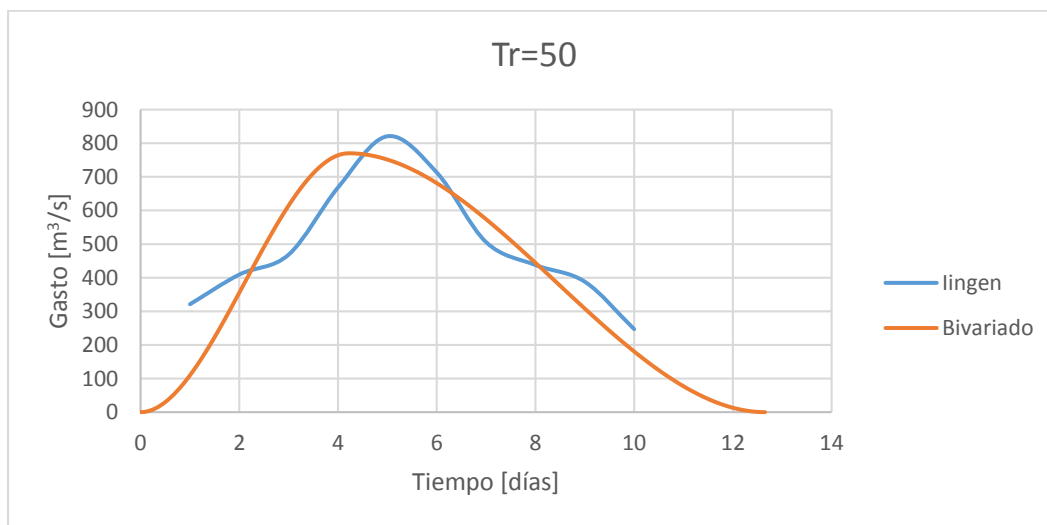


Figura 6.2 Hidrogramas para  $Tr=50$  años, estación 28039

Es evidente que el hidrograma obtenido por el método del instituto de ingeniería contempla un volumen menor, en este caso la diferencia entre los tiempos base de ambos hidrogramas es más marcada, puesto que el método bivariado resulto en un tiempo base de 12.65 días, 2.65 días más que el 10 con el que cuenta el del Instituto de Ingeniería.

Tabla 6.4 Resultados de hidrogramas, estación 28039

Tr=50	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	820.75	770	50.75
V [m <sup>3</sup> ]	184150368	420794576.1	236644208.1
tp [días]	5	4.21	0.79
tb [días]	10	12.65	2.65

Tr=100 años

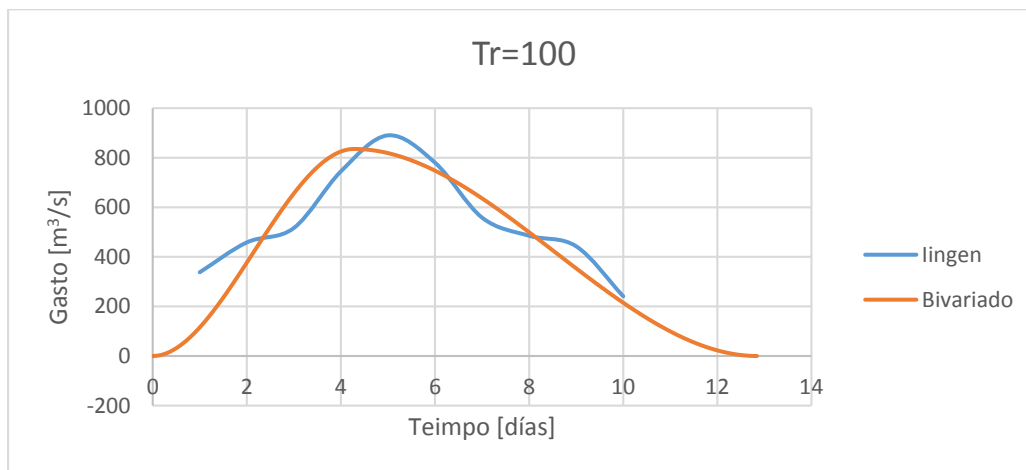


Figura 6.3 Hidrogramas para Tr=100 años, estación 28039

Aquí la diferencia de tiempos base se vuelve más grande, como se puede apreciar el comportamiento entre ambos hidrogramas es continuo cuando el periodo de retorno va en aumento.

Tabla 6.5 Características de hidrogramas Tr=100, estación 28039

Tr=100	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	889.96	835	54.96
V [m <sup>3</sup> ]	220717440	463283065.1	242565625.1
tp [días]	5	4.28	0.72
tb [días]	10	12.84	2.84

Tr=1000



Figura 6.4 Hidrogramas para Tr=1000 años, estación 28039

Tabla 6.6 Características de hidrogramas Tr=1000, estación 28039

Tr=1000	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m³/s]	1115.01	1075	40.01
V [m³]	341782848	593637018.2	251854170.2
tp [días]	5	4.26	0.74
tb [días]	10	12.78	2.78

Tr=10000

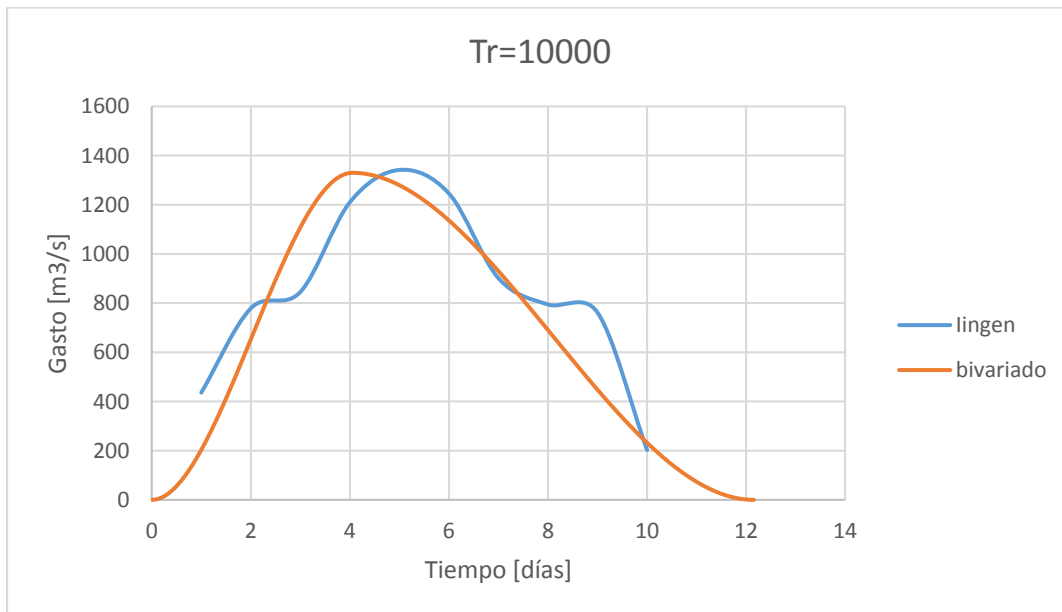


Figura 6.5 Hidrogramas para Tr=10000 años, estación 28039

Tabla 6.7 Características de hidrogramas  $Tr=10000$ , estación 28039

Tr=10000	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	1341.45	1330	11.45
V [m <sup>3</sup> ]	461243808	698439419.2	237195611.2
tp [días]	5	4.05	0.95
tb [días]	10	12.15	2.15

### Estación 28040 “El Tejar”

La estación El Tejar se encuentra en el cauce del río Jamapa en el Estado de Veracruz, a continuación se presentan los resultados de hidrogramas obtenidos para diferentes periodos de retorno con los métodos propuestos

#### Gasto pico

Como ya se explicó para la estación 28039 el gasto pico obtenido por ambos métodos resulta ser muy parecido pero no igual, debido principalmente a la selección de las combinaciones gasto-volumen del método bivariado.

Tabla 6.8 Gastos pico, estación 28040

Tr	Gasto pico		Diferencia
	lingen	Bivariado	
10000	944.65	940	4.65
5000	887.19	880	7.19
2000	815.38	805	10.38
1000	764.65	750	14.65
500	717.52	705	12.52
200	661.97	645	16.97
100	623.76	610	13.76
50	587.88	575	12.88
20	541.62	530	11.62
10	504.36	495	9.36
5	452.68	405	47.68
2	237.68	205	32.68

#### Volumen

La diferencia de volúmenes de un método a otro es relativamente pequeña, el método que arroja volúmenes mayores es el del Instituto de Ingeniería.

Tabla 6.9 Volúmenes de hidrogramas, estación 28040

Tr	Gasto pico		Diferencia
	lingen	bivariado	
10000	944.65	940	4.65
5000	887.19	880	7.19
2000	815.38	805	10.38
1000	764.65	750	14.65
500	717.52	705	12.52
200	661.97	645	16.97
100	623.76	610	13.76
50	587.88	575	12.88
20	541.62	530	11.62
10	504.36	495	9.36
5	452.68	405	47.68
2	237.68	205	32.68

A continuación se presentan los hidrogramas en comparación para los Tr= 10, 50, 100, 1000, 10000.

Tr=10

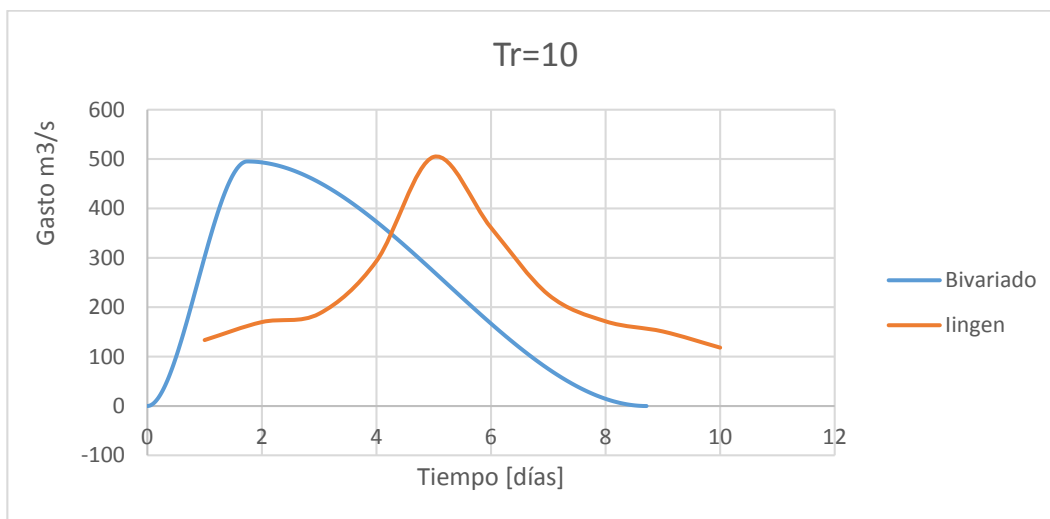


Figura 6.6 Hidrogramas para Tr=10 años, estación 28040

Es evidente que estos hidrogramas se noten desfasados, esto es debido a que para la estación El Tejar se eligió que el tiempo pico se presentara al 20% del tiempo base, lo cual resulta en una diferencia de alrededor de 2 días de un método a otro, también se puede destacar que el tiempo base disminuyó de 10 a 8.71 días al aplicar la forma triparamétrica hermitiana, a diferencia de la estación 28039 donde aumentó.

Tabla 6.10 Características de hidrogramas  $Tr=10$ , estación 28040

Tr=10	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	504.36	495	9.36
V [m <sup>3</sup> ]	91284192	80925483.64	10358708.36
tp [días]	5	1.74	3.260
tb [días]	10	8.71	1.29

Tr=50

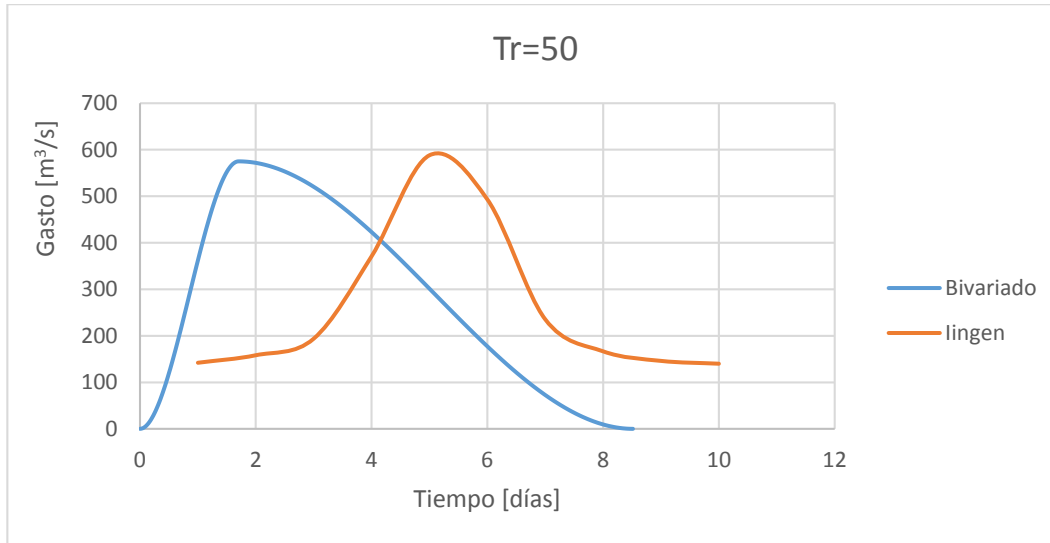


Figura 6.7 Hidrogramas para  $Tr=50$  años, estación 28040

De igual forma estos hidrogramas están desfasados y también el tiempo pico del hidrograma bivariado se redujo.

Tabla 6.11 Características de hidrogramas  $Tr=50$ , estación 28040

Tr=50	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	587.88	575	12.88
V [m <sup>3</sup> ]	105674112	211541233.7	105867121.7
tp [días]	5	1.7	3.3
tb [días]	10	8.51	1.49

Tr=100

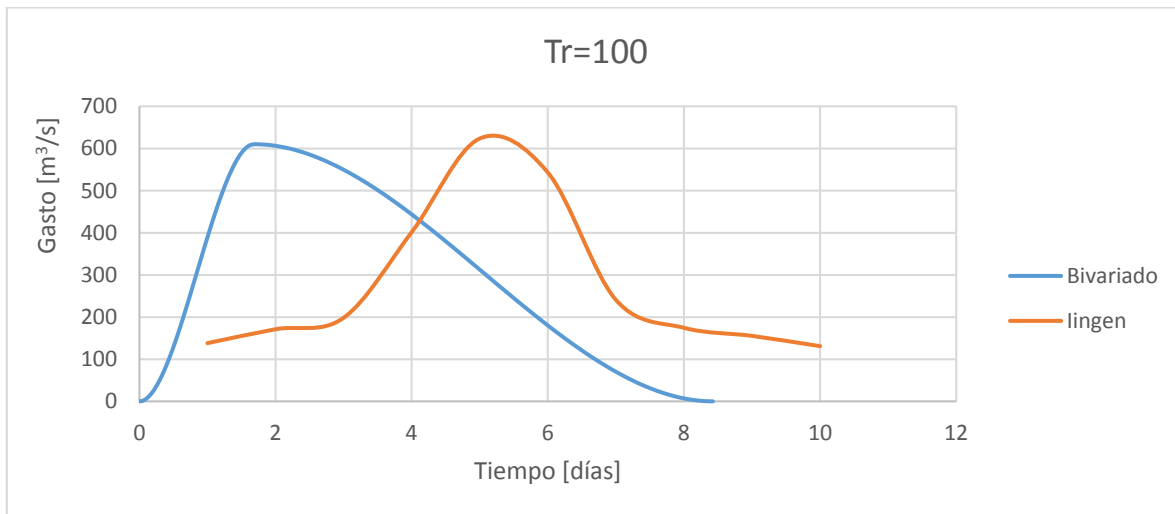


Figura 6.8 Hidrogramas para Tr=100 años, estación 28040

Para este tiempo de retorno los comportamientos para los dos anteriores continuo, es decir no se apreció que existieran variaciones diferentes a las esperadas.

Tabla 6.12 Características de hidrogramas Tr=100, estación 28040

Tr=100	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	623.76	610	13.76
V [m <sup>3</sup> ]	123695424	222050493.4	98355069.41
tp [días]	5	1.68	3.32
tb [días]	10	8.42	1.58



Tr=1000

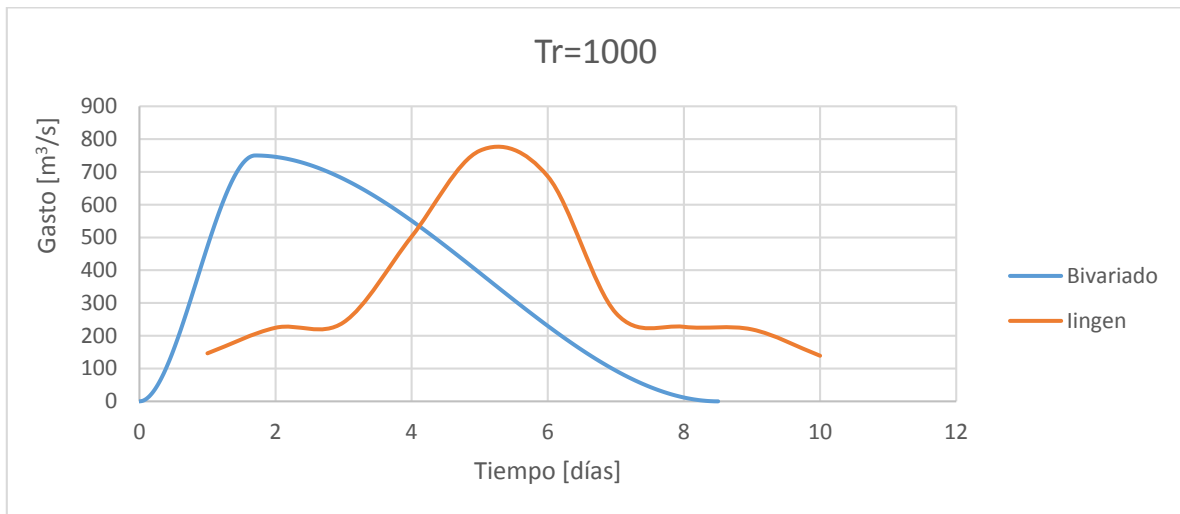


Figura 6.9 Hidrogramas para Tr=1000 años, estación 28040

La diferencia que se aprecia de  $116 \text{ hm}^3$  en los volúmenes pareciera ser mucha en principio puesto que, los dos hidrogramas se parecen mucho, pero los valores indican otra cosa.

Tabla 6.13 Características de hidrogramas Tr=1000, estación 28040

Tr=1000	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m³/s]	764.65	750	14.65
V [m³]	172243584	275541776.8	103298192.8
tp [días]	5	1.7	3.3
tb [días]	10	8.5	1.5

Tr=10000

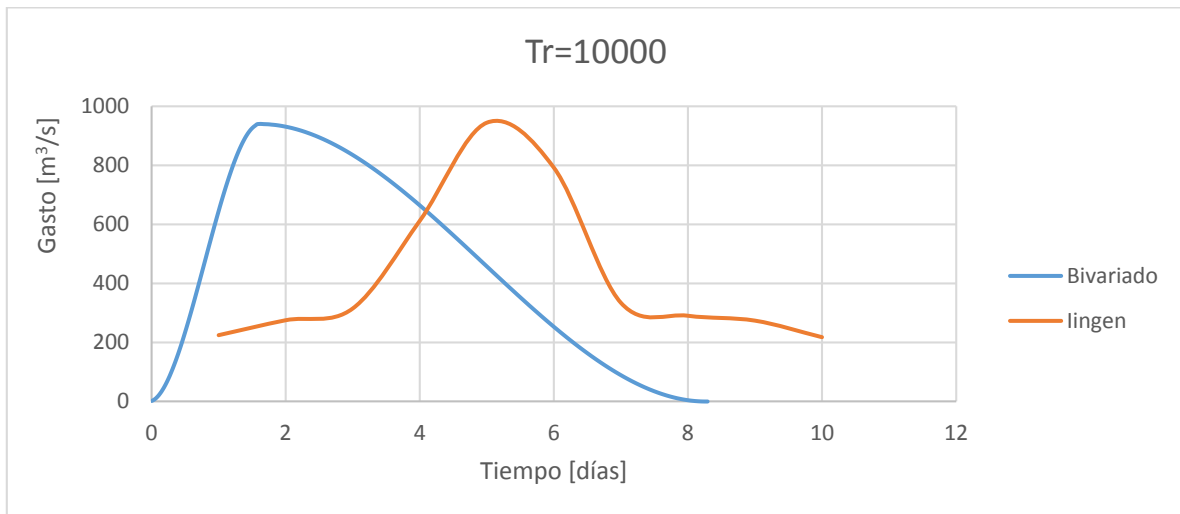


Figura 6.10 Hidrogramas para Tr=10000 años, estación 28040

La reducción del tiempo base para el hidrograma bivariado aumento con respecto al aumento en el periodo de retorno, a pesar de que los volúmenes aumentan, esto debido a que los gastos aumentan en mayor medida, proporcionando de mayor altura al hidrograma.

Tabla 6.14 Características de hidrogramas Tr=10000, estación 28040

Tr=10000	lingen	Bivariado	Diferencia
Q [m <sup>3</sup> /s]	944.65	940	4.65
V [m <sup>3</sup> ]	178763328	364304064	185540736
tp [días]	5	1.66	3.34
tb [días]	10	8.3	1.7

## 7. CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias en los hidrogramas obtenidos con los métodos estudiados, el del Instituto de Ingeniería y el Bivariado de Ramírez y Aldama, pero también se apreciaron similitudes, lo que indica que existe cierta congruencia entre ellos.

Cada método tiene ciertas ventajas y desventajas en su aplicación y resultados.

En ambos métodos se partió del uso de los registros de gastos medios diarios, pero su procesamiento es diferente; el primero, busca obtener los gastos promedio máximos anuales en un determinado número de días y el volumen se obtiene como una consecuencia de ello; en el segundo, se toma en cuenta a los valores de gastos medios máximos anuales y al volumen máximo anual, por separado, de modo independiente.

Se consideró para ambos métodos un tiempo base estimado a partir de un análisis espectral.

Se propuso para ambos métodos emplear hidrogramas con el mismo tiempo base, de modo que el gasto de pico sea el gasto diario más grande del hidrograma y el volumen asociado a él sea la suma de los gastos medios diarios del hidrograma multiplicado por 86,400 segundos.

En el método bivariado se consideró la forma triparamétrica hermitiana tratando de mantener el tiempo base estimado.

Con respecto al tiempo pico, se aprecia que el método del Instituto de Ingeniería lo coloca a la mitad del hidrograma, algo que no siempre se presenta en la naturaleza pero resulta conveniente.

En el método Bivariado se puede seleccionar libremente el tiempo pico, en este trabajo que se definió a partir de los valores de tiempo pico de los hidrogramas escogidos.

Para el método Bivariado es posible encontrar varios valores de gasto y volumen que tendrá un hidrograma de diseño para determinado periodo de retorno; se recomienda que se elijan

entre los valores cercanos a la curva de correlación entre gastos de pico y de volumen históricos.

Los resultados de gasto y volumen obtenidos con los dos métodos cerca de la curva de ajuste son parecidos.

## ANEXO 1

Tabla A1 Identificación de volúmenes máximos asociados al gasto máximo para todos los años de registro de la estación Paso del Toro 28039.

año	mes	día	Q máx. [m <sup>3</sup> /s]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Días antes del Q máx.	Días después del Q máx.
1952	JUN	21	456	245609280	9	0
1952	JUN	21	456	274674240	8	1
1952	JUN	21	456	269196480	7	2
1952	JUN	21	456	253471680	6	3
1952	JUN	21	456	238861440	5	4
1952	JUN	21	456	231940800	4	5
1952	JUN	21	456	236278080	3	6
1952	JUN	21	456	249981120	2	7
1952	JUN	21	456	263502720	1	8
1952	JUN	21	456	246110400	0	9
1953	JUL	3	279.4	61463232	9	0
1953	JUL	3	279.4	75472128	8	1
1953	JUL	3	279.4	83327616	7	2
1953	JUL	3	279.4	88612704	6	3
1953	JUL	3	279.4	91710144	5	4
1953	JUL	3	279.4	94742784	4	5
1953	JUL	3	279.4	100241280	3	6
1953	JUL	3	279.4	108043200	2	7
1953	JUL	3	279.4	112536864	1	8
1953	JUL	3	279.4	110866752	0	9
1954	JUN	25	467.9	170534592	9	0
1954	JUN	25	467.9	192246912	8	1
1954	JUN	25	467.9	203855616	7	2
1954	JUN	25	467.9	216129600	6	3
1954	JUN	25	467.9	227197440	5	4
1954	JUN	25	467.9	223706880	4	5
1954	JUN	25	467.9	222929280	3	6
1954	JUN	25	467.9	214030080	2	7
1954	JUN	25	467.9	209753280	1	8
1954	JUN	25	467.9	215110080	0	9
1955	JUL	7	566.2	113973696	9	0
1955	JUL	7	566.2	133297920	8	1
1955	JUL	7	566.2	154335456	7	2
1955	JUL	7	566.2	186157440	6	3
1955	JUL	7	566.2	218921184	5	4

1955	JUL	7	566.2	238934880	4	5
1955	JUL	7	566.2	254017728	3	6
1955	JUL	7	566.2	275866560	2	7
1955	JUL	7	566.2	305138880	1	8
1955	JUL	7	566.2	279771840	0	9
1956	JUN	23	348.4	136818720	9	0
1956	JUN	23	348.4	158167296	8	1
1956	JUN	23	348.4	171933408	7	2
1956	JUN	23	348.4	185086080	6	3
1956	JUN	23	348.4	196905600	5	4
1956	JUN	23	348.4	201571200	4	5
1956	JUN	23	348.4	208802880	3	6
1956	JUN	23	348.4	208457280	2	7
1956	JUN	23	348.4	207869760	1	8
1956	JUN	23	348.4	196067520	0	9
1957	JUN	24	326	70951680	9	0
1957	JUN	24	326	87728832	8	1
1957	JUN	24	326	94883616	7	2
1957	JUN	24	326	98701632	6	3
1957	JUN	24	326	100751040	5	4
1957	JUN	24	326	101361024	4	5
1957	JUN	24	326	98714592	3	6
1957	JUN	24	326	95094432	2	7
1957	JUN	24	326	92789280	1	8
1957	JUN	24	326	86985792	0	9
1958	OCT	15	470.8	140456160	9	0
1958	OCT	15	470.8	166384800	8	1
1958	OCT	15	470.8	178299360	7	2
1958	OCT	15	470.8	186429600	6	3
1958	OCT	15	470.8	195451488	5	4
1958	OCT	15	470.8	205148160	4	5
1958	OCT	15	470.8	208699200	3	6
1958	OCT	15	470.8	208111680	2	7
1958	OCT	15	470.8	199549440	1	8
1958	OCT	15	470.8	189276480	0	9
1959	JUN	18	399.4	154861632	9	0
1959	JUN	18	399.4	176582592	8	1
1959	JUN	18	399.4	191503872	7	2
1959	JUN	18	399.4	204868224	6	3
1959	JUN	18	399.4	214415424	5	4
1959	JUN	18	399.4	223110720	4	5
1959	JUN	18	399.4	226005120	3	6

1959	JUN	18	399.4	224830080	2	7
1959	JUN	18	399.4	221996160	1	8
1959	JUN	18	399.4	207515520	0	9
1960	JUL	19	457.1	129898944	9	0
1960	JUL	19	457.1	155697984	8	1
1960	JUL	19	457.1	173778048	7	2
1960	JUL	19	457.1	181476288	6	3
1960	JUL	19	457.1	190861920	5	4
1960	JUL	19	457.1	199614240	4	5
1960	JUL	19	457.1	206905536	3	6
1960	JUL	19	457.1	214600320	2	7
1960	JUL	19	457.1	212198400	1	8
1960	JUL	19	457.1	197242560	0	9
1961	AGT	1	448.5	150920928	9	0
1961	AGT	1	448.5	173730528	8	1
1961	AGT	1	448.5	185604480	7	2
1961	AGT	1	448.5	193432320	6	3
1961	AGT	1	448.5	193743360	5	4
1961	AGT	1	448.5	181431360	4	5
1961	AGT	1	448.5	170281440	3	6
1961	AGT	1	448.5	166095360	2	7
1961	AGT	1	448.5	164235168	1	8
1961	AGT	1	448.5	150826752	0	9
1962	JUL	5	329.9	83719008	9	0
1962	JUL	5	329.9	93563424	8	1
1962	JUL	5	329.9	96102720	7	2
1962	JUL	5	329.9	105637824	6	3
1962	JUL	5	329.9	115471008	5	4
1962	JUL	5	329.9	120605760	4	5
1962	JUL	5	329.9	123450048	3	6
1962	JUL	5	329.9	125250624	2	7
1962	JUL	5	329.9	125808768	1	8
1962	JUL	5	329.9	109666656	0	9
1963	JUL	4	275.5	83454624	9	0
1963	JUL	4	275.5	90408096	8	1
1963	JUL	4	275.5	93461472	7	2
1963	JUL	4	275.5	94652064	6	3
1963	JUL	4	275.5	93985920	5	4
1963	JUL	4	275.5	96003360	4	5
1963	JUL	4	275.5	98496000	3	6
1963	JUL	4	275.5	98479584	2	7
1963	JUL	4	275.5	93197952	1	8
1963	JUL	4	275.5	86242752	0	9

1964	JUL	1	204.3	62024832	9	0
1964	JUL	1	204.3	70068672	8	1
1964	JUL	1	204.3	74789568	7	2
1964	JUL	1	204.3	77748768	6	3
1964	JUL	1	204.3	81882144	5	4
1964	JUL	1	204.3	82860192	4	5
1964	JUL	1	204.3	83658528	3	6
1964	JUL	1	204.3	90013248	2	7
1964	JUL	1	204.3	91637568	1	8
1964	JUL	1	204.3	87801408	0	9
1965	AGT	18	201.2	79891488	9	0
1965	AGT	18	201.2	88859808	8	1
1965	AGT	18	201.2	91421568	7	2
1965	AGT	18	201.2	89848224	6	3
1965	AGT	18	201.2	87906816	5	4
1965	AGT	18	201.2	86741280	4	5
1965	AGT	18	201.2	85186080	3	6
1965	AGT	18	201.2	83140992	2	7
1965	AGT	18	201.2	78959232	1	8
1965	AGT	18	201.2	75444480	0	9
1966	JUN	28	378.6	131795424	9	0
1966	JUN	28	378.6	146032416	8	1
1966	JUN	28	378.6	154186848	7	2
1966	JUN	28	378.6	160887168	6	3
1966	JUN	28	378.6	168168960	5	4
1966	JUN	28	378.6	168869664	4	5
1966	JUN	28	378.6	163636416	3	6
1966	JUN	28	378.6	144885024	2	7
1966	JUN	28	378.6	128487168	1	8
1966	JUN	28	378.6	105007104	0	9
1967	SEP	25	387.9	109659744	9	0
1967	SEP	25	387.9	131031648	8	1
1967	SEP	25	387.9	147690432	7	2
1967	SEP	25	387.9	161203392	6	3
1967	SEP	25	387.9	169324992	5	4
1967	SEP	25	387.9	174559104	4	5
1967	SEP	25	387.9	178460064	3	6
1967	SEP	25	387.9	181761408	2	7
1967	SEP	25	387.9	183151584	1	8
1967	SEP	25	387.9	159700896	0	9
1968	JUL	7	221.2	111715200	9	0
1968	JUL	7	221.2	111568320	8	1
1968	JUL	7	221.2	109373760	7	2



1968	JUL	7	221.2	102921408	6	3
1968	JUL	7	221.2	95850432	5	4
1968	JUL	7	221.2	92218176	4	5
1968	JUL	7	221.2	90535104	3	6
1968	JUL	7	221.2	89214048	2	7
1968	JUL	7	221.2	87808320	1	8
1968	JUL	7	221.2	82726272	0	9
1969	SEP	3	616	244788480	9	0
1969	SEP	3	616	250490880	8	1
1969	SEP	3	616	254448000	7	2
1969	SEP	3	616	259727040	6	3
1969	SEP	3	616	284411520	5	4
1969	SEP	3	616	308594880	4	5
1969	SEP	3	616	322004160	3	6
1969	SEP	3	616	325442880	2	7
1969	SEP	3	616	310331520	1	8
1969	SEP	3	616	284065920	0	9
1970	AGT	5	403.6	136520640	9	0
1970	AGT	5	403.6	149558400	8	1
1970	AGT	5	403.6	166691520	7	2
1970	AGT	5	403.6	175192416	6	3
1970	AGT	5	403.6	179328384	5	4
1970	AGT	5	403.6	181935936	4	5
1970	AGT	5	403.6	183635424	3	6
1970	AGT	5	403.6	185056704	2	7
1970	AGT	5	403.6	172282464	1	8
1970	AGT	5	403.6	160575264	0	9
1971	JUL	19	195.9	49857120	9	0
1971	JUL	19	195.9	62862048	8	1
1971	JUL	19	195.9	69062976	7	2
1971	JUL	19	195.9	73104768	6	3
1971	JUL	19	195.9	76879584	5	4
1971	JUL	19	195.9	76705056	4	5
1971	JUL	19	195.9	75611232	3	6
1971	JUL	19	195.9	75396960	2	7
1971	JUL	19	195.9	76991040	1	8
1971	JUL	19	195.9	81514944	0	9
1972	JUL	29	747	182532096	9	0
1972	JUL	29	747	226092384	8	1
1972	JUL	29	747	238463136	7	2
1972	JUL	29	747	248454432	6	3
1972	JUL	29	747	257878080	5	4
1972	JUL	29	747	263157120	4	5

1972	JUL	29	747	264954240	3	6
1972	JUL	29	747	264841920	2	7
1972	JUL	29	747	262992960	1	8
1972	JUL	29	747	232908480	0	9
1973	JUN	23	396.8	77729760	9	0
1973	JUN	23	396.8	95919552	8	1
1973	JUN	23	396.8	111068928	7	2
1973	JUN	23	396.8	118133856	6	3
1973	JUN	23	396.8	123779232	5	4
1973	JUN	23	396.8	140303232	4	5
1973	JUN	23	396.8	158352192	3	6
1973	JUN	23	396.8	174201408	2	7
1973	JUN	23	396.8	188127360	1	8
1973	JUN	23	396.8	202988160	0	9
1974	SEP	23	838.8	191594592	9	0
1974	SEP	23	838.8	261893088	8	1
1974	SEP	23	838.8	307017216	7	2
1974	SEP	23	838.8	334824192	6	3
1974	SEP	23	838.8	356584032	5	4
1974	SEP	23	838.8	374149152	4	5
1974	SEP	23	838.8	389715840	3	6
1974	SEP	23	838.8	403971840	2	7
1974	SEP	23	838.8	390035520	1	8
1974	SEP	23	838.8	341331840	0	9
1975	SEP	15	754	427489920	9	0
1975	SEP	15	754	460486080	8	1
1975	SEP	15	754	459302400	7	2
1975	SEP	15	754	436207680	6	3
1975	SEP	15	754	398822400	5	4
1975	SEP	15	754	357493824	4	5
1975	SEP	15	754	310198464	3	6
1975	SEP	15	754	272450304	2	7
1975	SEP	15	754	238762944	1	8
1975	SEP	15	754	196824384	0	9
1976	JUN	28	476	84977856	9	0
1976	JUN	28	476	121709088	8	1
1976	JUN	28	476	151532640	7	2
1976	JUN	28	476	171906624	6	3
1976	JUN	28	476	191427840	5	4
1976	JUN	28	476	206858016	4	5
1976	JUN	28	476	218532384	3	6
1976	JUN	28	476	228378528	2	7
1976	JUN	28	476	233832960	1	8

1976	JUN	28	476	236511360	0	9
1977	SEP	23	224	46039968	9	0
1977	SEP	23	224	56205792	8	1
1977	SEP	23	224	63289728	7	2
1977	SEP	23	224	69194304	6	3
1977	SEP	23	224	72881856	5	4
1977	SEP	23	224	77207904	4	5
1977	SEP	23	224	80541216	3	6
1977	SEP	23	224	82887840	2	7
1977	SEP	23	224	85078080	1	8
1977	SEP	23	224	83711232	0	9
1978	JUN	25	279	77546592	9	0
1978	JUN	25	279	86743008	8	1
1978	JUN	25	279	91619424	7	2
1978	JUN	25	279	96712704	6	3
1978	JUN	25	279	103157280	5	4
1978	JUN	25	279	108025056	4	5
1978	JUN	25	279	110575584	3	6
1978	JUN	25	279	111250368	2	7
1978	JUN	25	279	110896992	1	8
1978	JUN	25	279	93706848	0	9
1979	SEP	9	408.5	96908832	9	0
1979	SEP	9	408.5	120599712	8	1
1979	SEP	9	408.5	131855904	7	2
1979	SEP	9	408.5	143899200	6	3
1979	SEP	9	408.5	164890080	5	4
1979	SEP	9	408.5	188360640	4	5
1979	SEP	9	408.5	198186912	3	6
1979	SEP	9	408.5	204386112	2	7
1979	SEP	9	408.5	212734080	1	8
1979	SEP	9	408.5	209329920	0	9
1980	SEP	26	515.9	106327296	9	0
1980	SEP	26	515.9	135649728	8	1
1980	SEP	26	515.9	159957504	7	2
1980	SEP	26	515.9	173711520	6	3
1980	SEP	26	515.9	176571360	5	4
1980	SEP	26	515.9	176450400	4	5
1980	SEP	26	515.9	179116704	3	6
1980	SEP	26	515.9	183098880	2	7
1980	SEP	26	515.9	187563168	1	8
1980	SEP	26	515.9	182321280	0	9
1986	JUN	4	280.91413	41730867.36	9	0
1986	JUN	4	280.91413	56424294.14	8	1

1986	JUN	4	280.91413	65313346.46	7	2
1986	JUN	4	280.91413	68444494.56	6	3
1986	JUN	4	280.91413	66922771.97	5	4
1986	JUN	4	280.91413	68113500.48	4	5
1986	JUN	4	280.91413	68198236.42	3	6
1986	JUN	4	280.91413	69804416.74	2	7
1986	JUN	4	280.91413	76022994.53	1	8
1986	JUN	4	280.91413	79326345.6	0	9
1987	JUL	15	244.31092	80310691.3	9	0
1987	JUL	15	244.31092	91925997.12	8	1
1987	JUL	15	244.31092	96637533.41	7	2
1987	JUL	15	244.31092	99134084.74	6	3
1987	JUL	15	244.31092	100927668.4	5	4
1987	JUL	15	244.31092	101485912.6	4	5
1987	JUL	15	244.31092	102563739.6	3	6
1987	JUL	15	244.31092	103917851.4	2	7
1987	JUL	15	244.31092	109093373	1	8
1987	JUL	15	244.31092	113073957.5	0	9
1988	SEP	4	395.60689	124589817.8	9	0
1988	SEP	4	395.60689	150331774.2	8	1
1988	SEP	4	395.60689	175733135.7	7	2
1988	SEP	4	395.60689	197393204.4	6	3
1988	SEP	4	395.60689	208279798.8	5	4
1988	SEP	4	395.60689	212613145.9	4	5
1988	SEP	4	395.60689	215568147.7	3	6
1988	SEP	4	395.60689	218500402.2	2	7
1988	SEP	4	395.60689	215173505.4	1	8
1988	SEP	4	395.60689	198868640	0	9
1991	JUL	4	407.21101	169727192.6	9	0
1991	JUL	4	407.21101	180220404.4	8	1
1991	JUL	4	407.21101	191028634	7	2
1991	JUL	4	407.21101	208487998.7	6	3
1991	JUL	4	407.21101	223119627	5	4
1991	JUL	4	407.21101	237225289.2	4	5
1991	JUL	4	407.21101	242295642.1	3	6
1991	JUL	4	407.21101	230588875.9	2	7
1991	JUL	4	407.21101	208104478.6	1	8
1991	JUL	4	407.21101	184898466.7	0	9
1992	AGT	11	314.84119	94877359.78	9	0
1992	AGT	11	314.84119	107970186.8	8	1
1992	AGT	11	314.84119	115224802.6	7	2
1992	AGT	11	314.84119	121244194.7	6	3
1992	AGT	11	314.84119	126962075.8	5	4

1992	AGT	11	314.84119	131299671.2	4	5
1992	AGT	11	314.84119	133641991.6	3	6
1992	AGT	11	314.84119	135910305.2	2	7
1992	AGT	11	314.84119	135317311.8	1	8
1992	AGT	11	314.84119	124901022	0	9
1993	JUN	22	409.57302	88895304	9	0
1993	JUN	22	409.57302	111602598.3	8	1
1993	JUN	22	409.57302	132735786.9	7	2
1993	JUN	22	409.57302	148464467.1	6	3
1993	JUN	22	409.57302	163806552.3	5	4
1993	JUN	22	409.57302	178411959.1	4	5
1993	JUN	22	409.57302	188639782.8	3	6
1993	JUN	22	409.57302	197217043.5	2	7
1993	JUN	22	409.57302	208237269.3	1	8
1993	JUN	22	409.57302	199302426.7	0	9
1994	SEP	14	190.69093	71372714.98	9	0
1994	SEP	14	190.69093	76935182.4	8	1
1994	SEP	14	190.69093	81840048.19	7	2
1994	SEP	14	190.69093	90797466.24	6	3
1994	SEP	14	190.69093	96892225.06	5	4
1994	SEP	14	190.69093	103760504.9	4	5
1994	SEP	14	190.69093	106619545.7	3	6
1994	SEP	14	190.69093	106460866.1	2	7
1994	SEP	14	190.69093	104261306.1	1	8
1994	SEP	14	190.69093	94280143.1	0	9
1998	JUL	18	387.66812	151863286.8	9	0
1998	JUL	18	387.66812	164569082.4	8	1
1998	JUL	18	387.66812	167684712.2	7	2
1998	JUL	18	387.66812	156939680.7	6	3
1998	JUL	18	387.66812	142691731.5	5	4
1998	JUL	18	387.66812	138481521.7	4	5
1998	JUL	18	387.66812	138455326.1	3	6
1998	JUL	18	387.66812	139048647	2	7
1998	JUL	18	387.66812	119800517.2	1	8
1998	JUL	18	387.66812	96852051.65	0	9
2000	AGT	11	462.42918	90340398.14	9	0
2000	AGT	11	462.42918	114753620.2	8	1
2000	AGT	11	462.42918	145103960.7	7	2
2000	AGT	11	462.42918	175486541.5	6	3
2000	AGT	11	462.42918	189407895.3	5	4
2000	AGT	11	462.42918	199558332.3	4	5
2000	AGT	11	462.42918	207436231.6	3	6
2000	AGT	11	462.42918	213264992.4	2	7

2000	AGT	11	462.42918	215166260.7	1	8
2000	AGT	11	462.42918	192694789.7	0	9
2003	JUL	27	415.61094	144131579.7	9	0
2003	JUL	27	415.61094	146163819.2	8	1
2003	JUL	27	415.61094	143459633.1	7	2
2003	JUL	27	415.61094	139187178.1	6	3
2003	JUL	27	415.61094	135145783.6	5	4
2003	JUL	27	415.61094	137972843.4	4	5
2003	JUL	27	415.61094	143331706.7	3	6
2003	JUL	27	415.61094	145806696.9	2	7
2003	JUL	27	415.61094	143885325	1	8
2003	JUL	27	415.61094	130500969.7	0	9
2005	OCT	6	541.46308	112908384.9	9	0
2005	OCT	6	541.46308	154021206.2	8	1
2005	OCT	6	541.46308	187719385.2	7	2
2005	OCT	6	541.46308	215465249.7	6	3
2005	OCT	6	541.46308	235182943.6	5	4
2005	OCT	6	541.46308	248638974.6	4	5
2005	OCT	6	541.46308	259707784.9	3	6
2005	OCT	6	541.46308	270562529.7	2	7
2005	OCT	6	541.46308	275877213.1	1	8
2005	OCT	6	541.46308	259367565.9	0	9

Tabla A.2 Identificación de volúmenes máximos asociados al gasto máximo para todos los años de registro de la estación El Tejar 28040.

año	mes	día	Q máx. [m <sup>3</sup> /s]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Días antes del Q máx.	Días después del Q máx.
1952	JUN	21	347.14	177799968	8	1
1952	JUN	21	347.14	166095446	7	2
1952	JUN	21	347.14	147019277	6	3
1952	JUN	21	347.14	137837203	5	4
1952	JUN	21	347.14	134425958	4	5
1952	JUN	21	347.14	139021920	3	6
1952	JUN	21	347.14	149895878	2	7
1952	JUN	21	347.14	153294163	1	8
1952	JUN	21	347.14	133182058	0	9
1953	JUL	3	109.777	29893190.4	9	0
1953	JUL	3	109.777	33795705.6	8	1
1953	JUL	3	109.777	34419168	7	2
1953	JUL	3	109.777	34413552	6	3

1953	JUL	3	109.777	35012217.6	5	4
1953	JUL	3	109.777	35336822.4	4	5
1953	JUL	3	109.777	36225273.6	3	6
1953	JUL	3	109.777	38485670.4	2	7
1953	JUL	3	109.777	40314672	1	8
1953	JUL	3	109.777	38516601.6	0	9
1954	JUN	25	264.738	70419110.4	9	0
1954	JUN	25	264.738	79987651.2	8	1
1954	JUN	25	264.738	84576787.2	7	2
1954	JUN	25	264.738	89581420.8	6	3
1954	JUN	25	264.738	94191638.4	5	4
1954	JUN	25	264.738	97745011.2	4	5
1954	JUN	25	264.738	99802368	3	6
1954	JUN	25	264.738	96489964.8	2	7
1954	JUN	25	264.738	101839421	1	8
1954	JUN	25	264.738	111076099	0	9
1955	JUL	21	549.293	170934106	9	0
1955	JUL	21	549.293	180513878	8	1
1955	JUL	21	549.293	181231776	7	2
1955	JUL	21	549.293	180328896	6	3
1955	JUL	21	549.293	172964678	5	4
1955	JUL	21	549.293	168295536	4	5
1955	JUL	21	549.293	164795990	3	6
1955	JUL	21	549.293	164151446	2	7
1955	JUL	21	549.293	162241315	1	8
1955	JUL	21	549.293	149958432	0	9
1956	JUL	15	324.686	77999328	9	0
1956	JUL	15	324.686	83179526.4	8	1
1956	JUL	15	324.686	81954028.8	7	2
1956	JUL	15	324.686	79108790.4	6	3
1956	JUL	15	324.686	76703587.2	5	4
1956	JUL	15	324.686	76228819.2	4	5
1956	JUL	15	324.686	73107360	3	6
1956	JUL	15	324.686	71294342.4	2	7
1956	JUL	15	324.686	70273353.6	1	8
1956	JUL	15	324.686	67601260.8	0	9
1957	SEP	18	89.63	28576713.6	9	0
1957	SEP	18	89.63	32336668.8	8	1
1957	SEP	18	89.63	35844249.6	7	2
1957	SEP	18	89.63	40901241.6	6	3
1957	SEP	18	89.63	43292275.2	5	4

1957	SEP	18	89.63	44277408	4	5
1957	SEP	18	89.63	44982691.2	3	6
1957	SEP	18	89.63	44769024	2	7
1957	SEP	18	89.63	43625520	1	8
1957	SEP	18	89.63	40414982.4	0	9
1958	OCT	15	307.091	78682060.8	9	0
1958	OCT	15	307.091	94769308.8	8	1
1958	OCT	15	307.091	104400317	7	2
1958	OCT	15	307.091	111895776	6	3
1958	OCT	15	307.091	119091946	5	4
1958	OCT	15	307.091	125280173	4	5
1958	OCT	15	307.091	127149610	3	6
1958	OCT	15	307.091	128057674	2	7
1958	OCT	15	307.091	124529616	1	8
1958	OCT	15	307.091	117411466	0	9
1959	JUN	19	178.055	63327916.8	9	0
1959	JUN	19	178.055	70266182.4	8	1
1959	JUN	19	178.055	76174905.6	7	2
1959	JUN	19	178.055	80296531.2	6	3
1959	JUN	19	178.055	82567382.4	5	4
1959	JUN	19	178.055	84027024	4	5
1959	JUN	19	178.055	83900880	3	6
1959	JUN	19	178.055	81469152	2	7
1959	JUN	19	178.055	77033894.4	1	8
1959	JUN	19	178.055	65608876.8	0	9
1960	AGT	31	347.788	70244236.8	9	0
1960	AGT	31	347.788	78369724.8	8	1
1960	AGT	31	347.788	82066176	7	2
1960	AGT	31	347.788	82449187.2	6	3
1960	AGT	31	347.788	85387219.2	5	4
1960	AGT	31	347.788	88596892.8	4	5
1960	AGT	31	347.788	91841817.6	3	6
1960	AGT	31	347.788	99900864	2	7
1960	AGT	31	347.788	107369885	1	8
1960	AGT	31	347.788	107249789	0	9
1961	AGT	1	455.115	132068275	9	0
1961	AGT	1	455.115	147179981	8	1
1961	AGT	1	455.115	159713942	7	2
1961	AGT	1	455.115	169453987	6	3
1961	AGT	1	455.115	169060003	5	4
1961	AGT	1	455.115	159927869	4	5
1961	AGT	1	455.115	154956499	3	6
1961	AGT	1	455.115	154112285	2	7



1961	AGT	1	455.115	154781453	1	8
1961	AGT	1	455.115	128850480	0	9
1962	JUL	4	211.16	29956089.6	9	0
1962	JUL	4	211.16	40520217.6	8	1
1962	JUL	4	211.16	43763500.8	7	2
1962	JUL	4	211.16	45146505.6	6	3
1962	JUL	4	211.16	49557916.8	5	4
1962	JUL	4	211.16	53559619.2	4	5
1962	JUL	4	211.16	56260310.4	3	6
1962	JUL	4	211.16	58165344	2	7
1962	JUL	4	211.16	59697820.8	1	8
1962	JUL	4	211.16	60371827.2	0	9
1963	JUL	3	147.842	24793084.8	9	0
1963	JUL	3	147.842	35771760	8	1
1963	JUL	3	147.842	39717993.6	7	2
1963	JUL	3	147.842	41936572.8	6	3
1963	JUL	3	147.842	43709155.2	5	4
1963	JUL	3	147.842	45196272	4	5
1963	JUL	3	147.842	46427904	3	6
1963	JUL	3	147.842	47924092.8	2	7
1963	JUL	3	147.842	49278240	1	8
1963	JUL	3	147.842	44570908.8	0	9
1964	JUL	1	126.023	31031510.4	9	0
1964	JUL	1	126.023	34689081.6	8	1
1964	JUL	1	126.023	37009785.6	7	2
1964	JUL	1	126.023	38872137.6	6	3
1964	JUL	1	126.023	40611196.8	5	4
1964	JUL	1	126.023	42042931.2	4	5
1964	JUL	1	126.023	43072387.2	3	6
1964	JUL	1	126.023	43912281.6	2	7
1964	JUL	1	126.023	42815692.8	1	8
1964	JUL	1	126.023	38733638.4	0	9
1965	AGT	18	159.918	39839472	9	0
1965	AGT	18	159.918	46800547.2	8	1
1965	AGT	18	159.918	49390387.2	7	2
1965	AGT	18	159.918	49649328	6	3
1965	AGT	18	159.918	48672489.6	5	4
1965	AGT	18	159.918	48623328	4	5
1965	AGT	18	159.918	48631708.8	3	6
1965	AGT	18	159.918	48848745.6	2	7
1965	AGT	18	159.918	46875715.2	1	8
1965	AGT	18	159.918	43357852.8	0	9
1966	JUN	28	205.147	72410457.6	9	0

1966	JUN	28	205.147	79926393.6	8	1
1966	JUN	28	205.147	83742163.2	7	2
1966	JUN	28	205.147	85728412.8	6	3
1966	JUN	28	205.147	91044777.6	5	4
1966	JUN	28	205.147	92374300.8	4	5
1966	JUN	28	205.147	91579593.6	3	6
1966	JUN	28	205.147	83976134.4	2	7
1966	JUN	28	205.147	76754908.8	1	8
1966	JUN	28	205.147	63243676.8	0	9
1967	SEP	24	430.615	58267036.8	9	0
1967	SEP	24	430.615	79046323.2	8	1
1967	SEP	24	430.615	89513078.4	7	2
1967	SEP	24	430.615	100473091	6	3
1967	SEP	24	430.615	112734029	5	4
1967	SEP	24	430.615	117456048	4	5
1967	SEP	24	430.615	120657168	3	6
1967	SEP	24	430.615	123307574	2	7
1967	SEP	24	430.615	125638474	1	8
1967	SEP	24	430.615	126596045	0	9
1968	JUN	24	231.961	29847312	9	0
1968	JUN	24	231.961	35805974.4	8	1
1968	JUN	24	231.961	38907129.6	7	2
1968	JUN	24	231.961	41464828.8	6	3
1968	JUN	24	231.961	45698860.8	5	4
1968	JUN	24	231.961	48355228.8	4	5
1968	JUN	24	231.961	53094355.2	3	6
1968	JUN	24	231.961	56143843.2	2	7
1968	JUN	24	231.961	57552768	1	8
1968	JUN	24	231.961	57841689.6	0	9
1969	AGT	23	406.554	121988333	9	0
1969	AGT	23	406.554	135497837	8	1
1969	AGT	23	406.554	142637069	7	2
1969	AGT	23	406.554	143343648	6	3
1969	AGT	23	406.554	143273318	5	4
1969	AGT	23	406.554	144789984	4	5
1969	AGT	23	406.554	149041210	3	6
1969	AGT	23	406.554	154452528	2	7
1969	AGT	23	406.554	154402157	1	8
1969	AGT	23	406.554	165287088	0	9
1970	AGT	6	192.921	47804342.4	9	0
1970	AGT	6	192.921	55582329.6	8	1
1970	AGT	6	192.921	60080918.4	7	2
1970	AGT	6	192.921	62728905.6	6	3

1970	AGT	6	192.921	64677139.2	5	4
1970	AGT	6	192.921	66253075.2	4	5
1970	AGT	6	192.921	69239404.8	3	6
1970	AGT	6	192.921	69499987.2	2	7
1970	AGT	6	192.921	68812761.6	1	8
1970	AGT	6	192.921	63547632	0	9
1971	OCT	6	121.387	46761494.4	9	0
1971	OCT	6	121.387	48663072	8	1
1971	OCT	6	121.387	48178627.2	7	2
1971	OCT	6	121.387	46501430.4	6	3
1971	OCT	6	121.387	47539958.4	5	4
1971	OCT	6	121.387	49046688	4	5
1971	OCT	6	121.387	50114937.6	3	6
1971	OCT	6	121.387	50111654.4	2	7
1971	OCT	6	121.387	45859132.8	1	8
1971	OCT	6	121.387	44950032	0	9
1972	JUL	29	591.372	142994333	9	0
1972	JUL	29	591.372	178940102	8	1
1972	JUL	29	591.372	193299264	7	2
1972	JUL	29	591.372	200889936	6	3
1972	JUL	29	591.372	205527802	5	4
1972	JUL	29	591.372	211282301	4	5
1972	JUL	29	591.372	214950413	3	6
1972	JUL	29	591.372	214737005	2	7
1972	JUL	29	591.372	203059613	1	8
1972	JUL	29	591.372	159675235	0	9
1973	JUL	27	214.317	42289948.8	9	0
1973	JUL	27	214.317	50232355.2	8	1
1973	JUL	27	214.317	55919030.4	7	2
1973	JUL	27	214.317	59293382.4	6	3
1973	JUL	27	214.317	61343136	5	4
1973	JUL	27	214.317	62766057.6	4	5
1973	JUL	27	214.317	63994492.8	3	6
1973	JUL	27	214.317	63786441.6	2	7
1973	JUL	27	214.317	63460800	1	8
1973	JUL	27	214.317	54698803.2	0	9
1974	SEP	23	540.284	119227162	9	0
1974	SEP	23	540.284	140602003	8	1
1974	SEP	23	540.284	152617392	7	2
1974	SEP	23	540.284	163008547	6	3
1974	SEP	23	540.284	175860029	5	4
1974	SEP	23	540.284	183876048	4	5
1974	SEP	23	540.284	189208742	3	6

1974	SEP	23	540.284	193478198	2	7
1974	SEP	23	540.284	173080541	1	8
1974	SEP	23	540.284	135262915	0	9
1975	SEP	11	428.676	115085837	9	0
1975	SEP	11	428.676	133617859	8	1
1975	SEP	11	428.676	147785040	7	2
1975	SEP	11	428.676	175143773	6	3
1975	SEP	11	428.676	193986403	5	4
1975	SEP	11	428.676	205394746	4	5
1975	SEP	11	428.676	208271347	3	6
1975	SEP	11	428.676	195288538	2	7
1975	SEP	11	428.676	186314170	1	8
1975	SEP	11	428.676	169373894	0	9
1976	JUN	28	442.713	67795660.8	9	0
1976	JUN	28	442.713	91203667.2	8	1
1976	JUN	28	442.713	106795238	7	2
1976	JUN	28	442.713	123800227	6	3
1976	JUN	28	442.713	143513597	5	4
1976	JUN	28	442.713	157616842	4	5
1976	JUN	28	442.713	168660230	3	6
1976	JUN	28	442.713	180890237	2	7
1976	JUN	28	442.713	187551504	1	8
1976	JUN	28	442.713	188616298	0	9
1977	OCT	26	142.311	24562828.8	9	0
1977	OCT	26	142.311	29738016	8	1
1977	OCT	26	142.311	32264956.8	7	2
1977	OCT	26	142.311	37075708.8	6	3
1977	OCT	26	142.311	41909356.8	5	4
1977	OCT	26	142.311	44307907.2	4	5
1977	OCT	26	142.311	46065110.4	3	6
1977	OCT	26	142.311	47342880	2	7
1977	OCT	26	142.311	48478521.6	1	8
1977	OCT	26	142.311	45462297.6	0	9
1978	SEP	24	197.395	37293523.2	9	0
1978	SEP	24	197.395	44481225.6	8	1
1978	SEP	24	197.395	47870697.6	7	2
1978	SEP	24	197.395	50381049.6	6	3
1978	SEP	24	197.395	52367558.4	5	4
1978	SEP	24	197.395	54101088	4	5
1978	SEP	24	197.395	55971734.4	3	6
1978	SEP	24	197.395	57731097.6	2	7
1978	SEP	24	197.395	59299171.2	1	8
1978	SEP	24	197.395	59284656	0	9

1979	SEP	9	158.104	52047446.4	9	0
1979	SEP	9	158.104	55906156.8	8	1
1979	SEP	9	158.104	58028313.6	7	2
1979	SEP	9	158.104	60973171.2	6	3
1979	SEP	9	158.104	68468803.2	5	4
1979	SEP	9	158.104	78028531.2	4	5
1979	SEP	9	158.104	82038528	3	6
1979	SEP	9	158.104	84731616	2	7
1979	SEP	9	158.104	87548169.6	1	8
1979	SEP	9	158.104	90783676.8	0	9
1980	SEP	26	345.265	50718873.6	9	0
1980	SEP	26	345.265	67852339.2	8	1
1980	SEP	26	345.265	81000345.6	7	2
1980	SEP	26	345.265	88862918.4	6	3
1980	SEP	26	345.265	93262320	5	4
1980	SEP	26	345.265	96028156.8	4	5
1980	SEP	26	345.265	98243366.4	3	6
1980	SEP	26	345.265	101165069	2	7
1980	SEP	26	345.265	102939552	1	8
1980	SEP	26	345.265	100969286	0	9
1981	JUL	15	461.878	97900012.8	9	0
1981	JUL	15	461.878	113897405	8	1
1981	JUL	15	461.878	121293504	7	2
1981	JUL	15	461.878	126421690	6	3
1981	JUL	15	461.878	128828966	5	4
1981	JUL	15	461.878	129509971	4	5
1981	JUL	15	461.878	129169469	3	6
1981	JUL	15	461.878	128037629	2	7
1981	JUL	15	461.878	125667331	1	8
1981	JUL	15	461.878	105956467	0	9
1982	JUL	26	66.316	14547772.8	9	0
1982	JUL	26	66.316	19616601.6	8	1
1982	JUL	26	66.316	21847104	7	2
1982	JUL	26	66.316	23336985.6	6	3
1982	JUL	26	66.316	24321168	5	4
1982	JUL	26	66.316	25146201.6	4	5
1982	JUL	26	66.316	24917328	3	6
1982	JUL	26	66.316	25034054.4	2	7
1982	JUL	26	66.316	25445145.6	1	8
1982	JUL	26	66.316	26463456	0	9
1983	JUL	20	382.105	146912141	9	0
1983	JUL	20	382.105	164769811	8	1
1983	JUL	20	382.105	171964080	7	2

1983	JUL	20	382.105	172310717	6	3
1983	JUL	20	382.105	168740410	5	4
1983	JUL	20	382.105	161087702	4	5
1983	JUL	20	382.105	157771066	3	6
1983	JUL	20	382.105	148295405	2	7
1983	JUL	20	382.105	131061456	1	8
1983	JUL	20	382.105	102613824	0	9
1984	AGT	16	157.471	53230176	9	0
1984	AGT	16	157.471	53156217.6	8	1
1984	AGT	16	157.471	53045020.8	7	2
1984	AGT	16	157.471	48600864	6	3
1984	AGT	16	157.471	47878214.4	5	4
1984	AGT	16	157.471	46164211.2	4	5
1984	AGT	16	157.471	44597347.2	3	6
1984	AGT	16	157.471	44670441.6	2	7
1984	AGT	16	157.471	44835552	1	8
1984	AGT	16	157.471	44041708.8	0	9
1987	JUL	15	199.95232	49137608.5	9	0
1987	JUL	15	199.95232	58522850.8	8	1
1987	JUL	15	199.95232	64529555.9	7	2
1987	JUL	15	199.95232	69453540.3	6	3
1987	JUL	15	199.95232	73917852.5	5	4
1987	JUL	15	199.95232	75681106.3	4	5
1987	JUL	15	199.95232	77883115.7	3	6
1987	JUL	15	199.95232	79900223.9	2	7
1987	JUL	15	199.95232	83744601.4	1	8
1987	JUL	15	199.95232	86127527.2	0	9
1992	AGT	11	501.21567	106275480	9	0
1992	AGT	11	501.21567	124015276	8	1
1992	AGT	11	501.21567	135432789	7	2
1992	AGT	11	501.21567	143534756	6	3
1992	AGT	11	501.21567	152955945	5	4
1992	AGT	11	501.21567	162316810	4	5
1992	AGT	11	501.21567	169121898	3	6
1992	AGT	11	501.21567	174836532	2	7
1992	AGT	11	501.21567	177618385	1	8
1992	AGT	11	501.21567	157341712	0	9
1994	SEP	17	83.40865	34826021.3	9	0
1994	SEP	17	83.40865	38047324.3	8	1
1994	SEP	17	83.40865	40199963.9	7	2
1994	SEP	17	83.40865	42090326.8	6	3
1994	SEP	17	83.40865	43431048.3	5	4
1994	SEP	17	83.40865	40459341	4	5

1994	SEP	17	83.40865	37363043.2	3	6
1994	SEP	17	83.40865	33725692.2	2	7
1994	SEP	17	83.40865	32065227.7	1	8
1994	SEP	17	83.40865	30219999.3	0	9
1995	JUL	16	100.8513	24739104.7	9	0
1995	JUL	16	100.8513	30309894.1	8	1
1995	JUL	16	100.8513	33219778.8	7	2
1995	JUL	16	100.8513	34777933.6	6	3
1995	JUL	16	100.8513	36280516	5	4
1995	JUL	16	100.8513	37495928.2	4	5
1995	JUL	16	100.8513	38470921.9	3	6
1995	JUL	16	100.8513	38655257.2	2	7
1995	JUL	16	100.8513	35393975.1	1	8
1995	JUL	16	100.8513	31491995.6	0	9
1997	OCT	11	479.8766	93283550.2	9	0
1997	OCT	11	479.8766	114132049	8	1
1997	OCT	11	479.8766	128512331	7	2
1997	OCT	11	479.8766	156385951	6	3
1997	OCT	11	479.8766	167977677	5	4
1997	OCT	11	479.8766	173491014	4	5
1997	OCT	11	479.8766	177535117	3	6
1997	OCT	11	479.8766	182336362	2	7
1997	OCT	11	479.8766	183684671	1	8
1997	OCT	11	479.8766	167176378	0	9
2002	SEP	14	103.61211	49172743.9	0	9
2002	SEP	14	103.61211	55011356.1	1	8
2002	SEP	14	103.61211	59452058.6	2	7
2002	SEP	14	103.61211	62577801.5	3	6
2002	SEP	14	103.61211	63519734.3	4	5
2002	SEP	14	103.61211	67153543.8	5	4
2002	SEP	14	103.61211	67644001.2	6	3
2002	SEP	14	103.61211	64706878.9	7	2
2002	SEP	14	103.61211	61333695.9	8	1
2002	SEP	14	103.61211	58418410.5	9	0
2005	OCT	6	182.372	42443308.8	9	0
2005	OCT	6	182.372	54674524.8	8	1
2005	OCT	6	182.372	63818064	7	2
2005	OCT	6	182.372	71874777.6	6	3
2005	OCT	6	182.372	78966576	5	4
2005	OCT	6	182.372	84855945.6	4	5
2005	OCT	6	182.372	90024134.4	3	6
2005	OCT	6	182.372	94172716.8	2	7
2005	OCT	6	182.372	97582320	1	8

2005	OCT	6	182.372	93422851.2	0	9
2010	SEP	19	375.26	116986896	9	0
2010	SEP	19	375.26	137171318	8	1
2010	SEP	19	375.26	152387482	7	2
2010	SEP	19	375.26	161374464	6	3
2010	SEP	19	375.26	168954422	5	4
2010	SEP	19	375.26	178521235	4	5
2010	SEP	19	375.26	188242618	3	6
2010	SEP	19	375.26	195792595	2	7
2010	SEP	19	375.26	197944474	1	8
2010	SEP	19	375.26	182026829	0	9

## REFERENCIAS

- Aparicio, J.. (2008). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México: Limusa.
- Gómez, G. F. . (2015). Actualización de las Avenidas de Diseño para la Operación de los Vertedores de la Presa Infiernillo. México: F.I. UNAM.
- Ramírez O. A. & Aldama A. . (2000). Análisis de Frecuencias Conjunto Para La Estimación de Avenidas de Diseño. México: AMH-IMTA.
- Ramírez O. A. & Aldama A. . (1998, septiembre-diciembre). Parametrización de Hidrogramas Mediante Interpolantes Hermitianos. Ingeniería Hidráulica en México, XIII, 19-28.
- Palacios S.. (2010). Tormentas de Diseño en el Río Grijalva. México: F.I. UNAM.
- Domínguez R. & Arganis M. . (2012, marzo 28). Validation of Methods to Estimate Design Discharge Flow Rates For Dam Spillways With Large Regulating Capacity. Hydrological Sciences Journal, 57, 460-478. 2012, marzo 02, De Taylor Francis Base de datos.