

***U.N.A.M.***

***FACULTAD DE INGENIERÍA***

***DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL,  
TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA.***

***DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA.***

***PROGRAMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS  
MÉTODOS ESTADÍSTICOS EN HIDROLOGÍA.***

***M.I. MA. DEL ROSIO RUIZ URBANO.***

***FEBRERO 2002***



FACULTAD DE INGENIERIA

PROG.AUTO  
MET.ESTA  
91

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



\*907931\*

G-

G.- 907931

## PRESENTACIÓN

La Facultad de Ingeniería ha decidido realizar una serie de ediciones provisionales de obras recientemente elaboradas por académicos de la institución, como material de apoyo para sus clases, de manera que puedan ser aprovechadas de inmediato por alumnos y profesores. Tal es el caso del *Programa de automatización de los métodos estadísticos en hidrología*, elaborado por Ma. del Rosío Ruiz Urbano.

Se invita a los estudiantes y profesores a que comuniquen a los autores las observaciones y sugerencias que mejoren el contenido de la obra, con el fin de que se incorporen en una futura edición definitiva.

# ÍNDICE

Tema	Nombre	Pág.
	<b>Introducción.</b>	<b>1</b>
<b>I</b>	<b>Métodos estadísticos en Hidrología.</b>	<b>3</b>
1.1	Análisis de Frecuencia.	3
1.2	Distribución Exponencial con dos parámetros.	4
1.3	Distribución General de Valores Extremos (Gumbel)	5
1.4	Método de Nash.	5
1.5	Distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p)	6
1.6	Distribución Normal.	7
1.7	Distribución Log-Normal.	9
1.8	Distribución Gamma de dos parámetros.	10
1.9	Distribución Gamma de tres parámetros (Pearson tipo III)	11
1.10	Método del error cuadrático mínimo.	12
1.11	Procedimiento de cálculo para correlacionar una Muestra a una distribución de probabilidad.	13
<b>II</b>	<b>Características del programa.</b>	<b>14</b>
<b>III</b>	<b>Ejemplo de aplicación.</b>	<b>18</b>
<b>IV</b>	<b>Bibliografía.</b>	<b>23</b>
	<b>Tablas y gráficas.</b>	<b>24</b>



## Introducción.

Uno de los objetivos de la asignatura de Hidrología, es mostrar a los alumnos, las herramientas de cálculo utilizadas en Hidrología Aplicada para diseño de Obras Hidráulicas. Una de esas herramientas de cálculo que se utiliza es a través del uso de las técnicas estadísticas para determinar los eventos de diseño máximos, asociados a diferentes periodos de retorno.

Este procedimiento de cálculo se fundamenta en correlacionar los registros históricos de las estaciones hidrométricas, con las diferentes distribuciones de probabilidad que existen.

Sin embargo, el desarrollar en forma completa un ejemplo de aplicación real, a través de esta técnica, conlleva varias horas clase que en muchos casos hace que el alumno pierda de vista el concepto fundamental, por esa razón, en este trabajo, se plantea utilizar el proceso de automatización de los métodos estadísticos, a través de programar en Visual Basic for Application de Excel, las distribuciones de probabilidad más utilizadas, con el objetivo de que el alumno, interactúe con la computadora para darle solución a un problema y preste más atención a los conceptos básicos del tema, así como pueda utilizar el programa para asignaturas consecuentes.

El trabajo consiste en tres partes fundamentales:

La primera, muestra los aspectos teóricos relacionados con los métodos estadísticos para maximización de eventos hidrológicos, la segunda, presenta las características del programa de automatización y finalmente, la tercera parte, presenta un ejemplo de aplicación a un registro hidrométrico real.

Asimismo, este material didáctico incluye un disco que contiene el archivo "**Análisis de frecuencia.xls**", que sirve para aplicar el proceso de automatización a cualquier registro hidrométrico.

## I Métodos estadísticos en Hidrología.

### I.1 Análisis de Frecuencia.

Uno de los problemas más importantes en la hidrología consiste en obtener una interpretación de eventos probabilísticos a futuro, asociados a un registro en el pasado.

Ejemplo de este caso, es la estimación de gastos máximos y su procedimiento se conoce con el nombre de análisis de frecuencia.

Muchos procesos en Hidrología deben ser analizados y explicados con base a la ciencia probabilística, por su inherente aleatoriedad. Por lo tanto, no es posible predecir una avenida o una precipitación con base únicamente determinística. Afortunadamente, los métodos estadísticos permiten presentar, organizar y reducir datos para facilitar su interpretación y evaluación. Esta parte del trabajo presenta los gastos máximos anuales cuantificados y presentados con distribuciones de probabilidad continua.

Muchas funciones de densidad de probabilidad continuas son usadas en la Hidrología, sin embargo este trabajo hace énfasis solo en las más comunes. Ellas son:

- Distribución Exponencial con dos parámetros
- Distribución Gamma de dos parámetros.
- Distribución Gamma de tres parámetros (Pearson tipo III).
- Distribución General de Valores Extremos (Gumbel)
- Distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p)
- Distribución Log-Normal.
- Método de Nash.
- Distribución Normal.

Para poder correlacionar una muestra de registro hidrométrico a una distribución de probabilidad, se requiere de un método de estimación de parámetros que permita relacionar la información muestral con la poblacional, los métodos de estimación de parámetros que se conocen son:

**Momentos.** Iguala momentos poblacionales con muestrales.

**Máxima Verosimilitud.** Supone que el mejor parámetro de una función debe ser aquel que maximiza la probabilidad de ocurrencia de la muestra observada.

**Mínimos cuadrados.** Minimiza la suma de los cuadrados de todas las desviaciones entre los valores calculados y observados.

**Probabilidad Pesada.** Deriva expresiones para los parámetros de distribuciones cuyas formas inversas se puede definir inversamente.

**Sextiles.** El rango de la variable es dividida en 6 intervalos, tal que la probabilidad acumulada en cada intervalo es de un sexto.

Este material didáctico, considera el método de momentos para la estimación de parámetros en las funciones de distribución.

Se debe recordar que una variable aleatoria, es aquella que no se puede predecir con certeza al realizar un experimento y su comportamiento se describe mediante su ley de probabilidades, la cual se especifica por su función de densidad de probabilidad  $f(x)$ , o por su función de densidad acumulada  $F(x)$  que representa el área bajo la curva de la función de densidad, representando la probabilidad de ocurrencia del evento.

## 1.2 Distribución Exponencial con dos parámetros.

La función de distribución exponencial se define como:

$$F(x) = \int_0^x (1 - e^{-\beta x}) dx \quad (1.1)$$

y la función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \beta e^{-\beta x} \quad (1.2)$$

donde,  $\beta$  se conoce como parámetro de escala.

La estimación del parámetro de escala por el método de momentos se hará a través de la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{1}{\hat{x}} \quad (1.3)$$

donde  $\hat{x}$ , es la media de la muestra, que se calculará a través de la siguiente expresión:

$$\hat{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1.4)$$

La ecuación para determinar los gastos calculados a través de la muestra con la distribución Exponencial es:

$$Q_{calc.} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{1}{T}\right)}{-\beta} \quad (1.5)$$

donde, T es el periodo de retorno en años y Qcalc, es el gasto de diseño calculado con la distribución exponencial para un periodo de retorno dado.

### I.3 Distribución General de Valores Extremos I. (Gumbel)

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = \int_0^x e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} dx \quad (1.6)$$

La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)} e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (1.7)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de escala y forma de la función, y se estiman por el método de momentos como  $\alpha = 0.78 s$  y  $\beta = x - 0.5772\alpha$ , donde x representa la media de la muestra y se valúa con la ecuación 1.4 y s es la desviación estándar que se calculará con la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2}{n-1}} \quad (1.8)$$

Despejando "x" de la ec. 1.6, la ecuación para determinar los gastos a través de la distribución Gumbel es:

$$x = Q_{calc} = \beta - \alpha \left[ \ln \left( \ln \frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (1.9)$$

### I.4 Método de Nash.

Utilizando la función de distribución de probabilidad de Gumbel de una población, Nash propone la siguiente metodología para calcular los parámetros de la función:

Sea:

$$Q_{calc} = a + c \ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \quad (I.10)$$

Comparando la ec. I.10 con la I.9,  $a = \beta$  y  $c = -\alpha$

Con un cambio de variable, la ec. I.10 queda:

$$Q_{calc} = a + cx \quad (I.11)$$

$$x = \ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \quad (I.12)$$

y “a” y “c” son los parámetros de la función, que se obtendrán a través de un análisis de correlación lineal simple con el criterio de los mínimos cuadrados.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i y_i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (I.13)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (I.14)$$

El subíndice  $i$  representa los datos muestrales.

## I.5 Distribución Gumbel de dos poblaciones (Gumbel 2p).

En muchos lugares, los gastos máximos anuales pertenecen a dos poblaciones diferentes, la primera es la de los gastos producidos por precipitaciones relacionadas con los fenómenos meteorológicos dominantes en la región en estudio, y la segunda es la de los gastos producidos por precipitaciones ciclónicas, normalmente mayores que los primeros.

Se ha demostrado que, en estos casos, la función de distribución de probabilidad se puede expresar como:

$$F(x) = F_1(x) [p + (1-p)F_2(x)] \quad (I.15)$$

donde  $F_1(x)$  y  $F_2(x)$  son, respectivamente, las funciones de distribución de probabilidad de los gastos máximos anuales producidos por tormentas ciclónicas y de los producidos por ellas, y  $p$  es la probabilidad de que en un año cualquiera el gasto máximo no sea producido por una tormenta ciclónica. El número de parámetros de la función anterior es:

$$n = n_1 + n_2 + 1 \quad (I.16)$$

donde  $n_1$  = número de parámetros de  $F_1(x)$ ,  $n_2$  = número de parámetros de  $F_2(x)$  y el parámetro restante es  $p$ . El valor de  $p$  será entonces:

$$p = \frac{N_n}{N_T} \quad (I.17)$$

donde  $N_n$  es el número de años de registro en que el gasto máximo no se produce por una tormenta ciclónica y  $N_T$  es el número total de años de registro.

$F_1(x)$  y  $F_2(x)$  son del tipo Gumbel, por lo que la función de probabilidad queda así:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \left[ p + (p-1)e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right] \quad (I.18)$$

donde  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  son los parámetros correspondientes a la población no ciclónica y  $\alpha_2$  y  $\beta_2$  corresponden a la ciclónica.

La estimación de parámetros  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\beta_2$ , por momentos se calculan con el mismo criterio de la distribución Gumbel de 1 población.

En este caso no es posible determinar una ecuación para el cálculo de gastos máximos debido a que la función de distribución de probabilidad de Gumbel de dos poblaciones es implícita, eso implica que la solución de dicha ecuación debe realizarse a través de algún método para determinar raíces en una función.

## **I.6 Distribución Normal.**

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1.19)$$

donde,  $\mu$  y  $\sigma$  son los parámetros de la distribución. Estos parámetros determinan la forma de la función  $f(x)$  y su posición en el eje  $x$ .

Los valores de  $\mu$  y  $\sigma$  son la media y la desviación estándar de la población y pueden estimarse como la media y desviación estándar de los datos. La función de distribución de probabilidad normal es:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (1.20)$$

Como se sabe, hoy en día no se conoce analíticamente la integral de la ecuación  $F(x)$ , por lo que es necesario recurrir a métodos numéricos para valuarla. Sin embargo, para hacer esto se requiere una tabla para cada valor de  $\mu$  y  $\sigma$ , por lo que se ha definido la variable estandarizada:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1.21)$$

que está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. Así la función de distribución de probabilidad se puede escribir como:

$$F(x) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (1.22)$$

La función  $F(z)$  se ha calculado numéricamente y se han publicado tablas de ella. Debido a que la función  $F(z)$  es simétrica, en dicha tabla se encuentran únicamente valores de:

$$\int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (1.23)$$

con lo que es posible calcular  $F(z)$  para cualquier valor de  $z$ .

Otra manera más conveniente de estimar  $f(z)$  o  $F(z)$ , es mediante fórmulas aproximadas. La función de densidad  $f(z)$  se aproxima, como:

$$z = w - \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \quad (1.24)$$

Donde

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802853$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - P(t))^2}\right)} \quad (1.25)$$

donde:

$$P(t) = 1 - \frac{1}{T} \quad (1.26)$$

Para calcular los gastos máximos de diseño con esta distribución, se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{calc} = \bar{Q} + s_z \quad (1.27)$$

donde:  $\bar{Q}$  y  $s$  son respectivamente la media y desviación estándar de la muestra.

## 1.7 Distribución Log-Normal.

En esta función los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2} \quad (1.28)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la distribución. Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  son respectivamente la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria.

Esta función no necesariamente es simétrica. Los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  se estiman a partir de  $n$  observaciones  $x_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , como :



$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln(x_i)}{n} \quad (1.29)$$

$$\beta = \sum_{i=1}^n \left( \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.30)$$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \alpha}{\beta} \right)^2} dx \quad (1.31)$$

Los valores de la función de distribución de probabilidad, se obtienen usando la misma variable estandarizada, que se define para este como:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta} \quad (1.32)$$

Por lo que para calcular los gastos máximos de diseño se utiliza la siguiente expresión:

$$Q_{calc} = \bar{Q} + s_z \quad (1.33)$$

donde:  $\bar{Q}$  y  $s$  son respectivamente la media y desviación estándar de los logaritmos de la muestra.

## 1.8 Distribución Gamma de dos parámetros.

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \int_0^x \left( \frac{x^{\beta-1} e^{\left(\frac{-x}{\alpha}\right)}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \right) dx \quad (1.34)$$

La función de densidad de probabilidad gamma de dos parámetros se define como:

$$f(x) = \frac{x^{(\beta-1)} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} \quad (1.35)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de escala y forma de la función y  $\Gamma(\beta)$  es la función Gamma.

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se evalúan por el criterio de momentos a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \frac{s^2}{\hat{x}} \quad (1.36)$$

$$\beta = \left(\frac{\hat{x}}{s}\right)^2 \quad (1.37)$$

donde  $x$  y  $s$  son la media y desviación estándar de los datos.

Para obtener los eventos de diseño para diferentes periodos de retorno la distribución Gamma puede ser obtenida en forma aproximada utilizando la variable estandarizada  $z$  de la distribución Normal a través de la siguiente ecuación de aproximación:

$$Q_{calc.} = (\alpha)(\beta) \left[ 1 - \frac{1}{9\beta} + z \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right]^3 \quad (1.38)$$

### 1.9 Distribución Pearson tipo III. (Gamma con tres parámetros)

La función de densidad de probabilidad de la distribución Pearson tipo III se define como:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left( \frac{x - x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)} \quad (1.39)$$

donde:  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $x_0$  son los parámetros de escala, de forma y de ubicación respectivamente.

Los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $x_0$  se estiman a través del criterio de momentos con las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \frac{gs}{2} \quad (1.40)$$

$$\beta = \frac{4}{g^2} \quad (1.41)$$

$$x_0 = \hat{x} - \alpha\beta \quad (1.42)$$

donde,  $x$ ,  $s$  y  $g$  son la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría respectivamente de la muestra.

Para determinar los eventos de diseño para cualquier periodo de retorno la distribución Pearson tipo III puede ser evaluada a través de una aproximación con la variable estandarizada  $z$  de la distribución normal, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{calc.} = (\alpha)(\beta) \left[ 1 - \frac{1}{9\beta} + z \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right]^3 + x_0 \quad (1.43)$$

#### 1.10 Método del error cuadrático mínimo.

Consiste en calcular, para cada función de distribución, el error cuadrático como:

$$E = \left[ \sum_{i=1}^n (Q_{ci} - Q_{mi})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1.44)$$

Donde,  $Q_{ci}$  es el  $i$ -ésimo dato calculado con la distribución de probabilidad,  $Q_{mi}$  es  $i$ -ésimo dato del registro hidrométrico en cuestión y  $E$  es el error cuadrático mínimo.

La función de probabilidad de mayor ajuste al registro hidrométrico será entonces aquella que cumpla un valor de  $E$  cercano a cero.

### I.11 Procedimiento de cálculo para correlacionar una muestra a una distribución de probabilidad.

1. Obtener los valores de la muestra.
2. Ordenar los gastos de la muestra de mayor a menor (Ya que el objetivo es determinar gastos máximos).
3. Calcular el periodo de retorno para cada año de registro, a través de la ecuación:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (1.45)$$

donde

n, número de años del registro  
m, número de orden que se asigna a la muestra  
T, periodo de retorno.

4. Determinar la probabilidad de excedencia

$$P(x) = \frac{1}{T} \quad (1.46)$$

(En algunos casos será necesario determinar la probabilidad de no excedencia)

5. Calcular el gasto máximo de acuerdo a la distribución de probabilidad elegida.
6. Determinar los errores al cuadrado, con base en las diferencias entre gasto calculado y medido.
7. Finalmente, evaluar la sumatoria de errores al cuadrado.

## **II Características del programa.**

La determinación de los gastos máximos de diseño es una fase muy importante ya que de esta información se inicia el diseño de una obra hidráulica.

El programa permite realizar un análisis de frecuencia de una muestra de gastos máximos anuales para determinar con base en esta herramienta los eventos de diseño asociados a la distribución de probabilidad con mejor ajuste.

El procedimiento de cálculo esta basado en la correlación que se hace de la muestra de un registro hidrométrico con las diferentes distribuciones de probabilidad más usadas en hidrología.

El programa está hecho en un ambiente Windows utilizando la herramienta de cálculo Office 2000 y específicamente con el editor de Visual Basic Applications (VBA).

Para que el programa funcione es necesario tener instalado Microsoft Office versión 97 como mínimo.

El almacenamiento de datos se realiza a través de una ventana que se despliega al momento de abrir el archivo en Excel denominado "Análisis de Frecuencia.xls".

Los datos de salida son almacenados en diferentes hojas de trabajo de Excel.

Para poder correr el programa el usuario requiere introducir los datos de un registro hidrométrico y éstos serán tomados automáticamente por las diferentes hojas de trabajo.

El programa incluye 11 hojas de trabajo que permiten mostrar al usuario los resultados obtenidos del análisis de frecuencia y estas son:

- 1) Datos.**
- 2) Distribución exponencial.**
- 3) Distribución Gamma de 2 parámetros.**
- 4) Distribución Gumbel de 1 parámetro.**
- 5) Distribución Gumbel de 2 parámetros.**
- 6) Distribución Log - Normal.**
- 7) Método de Nash.**
- 8) Distribución Normal.**
- 9) Distribución Pearson de 3 parámetros.**
- 10) Resumen de resultados.**
- 11) Graficación.**

Todos los resultados obtenidos pueden desplegarse en pantalla y ser enviados directamente a la impresora como se acostumbra en el ambiente Windows.

En el programa el usuario interactúa a través de una serie de ventanas que permiten hacer sencillo el uso del paquete.

La ventana principal (Fig. II.1), está provista de tres botones de comando, el primero para abrir la ventana de datos (Fig. II.2), el segundo para desplegar

el menú principal de cálculo (Fig. II.3) y el tercero para calcular otro análisis de frecuencia.

Al activar la ventana de "Entrada de datos" se despliegan tres botones de comando con dos etiquetas de texto, cada uno con las siguientes funciones (Tabla II.1):

<b>Año</b>	Sirve para incluir los años del registro.
<b>Gasto (m<sup>3</sup>/s)</b>	Sirve para incluir los gastos del registro.
<b>O.K.</b>	El programa entiende que se ha terminado de vaciar el registro hidrométrico.
<b>Continuar</b>	Indica que se vacíe la información de las cajas de texto a la base datos del programa.
<b>Cancelar.</b>	Se sale de la ventana de captura.

(Tabla II.1) Funciones de los botones de comando en la ventana de entrada de datos

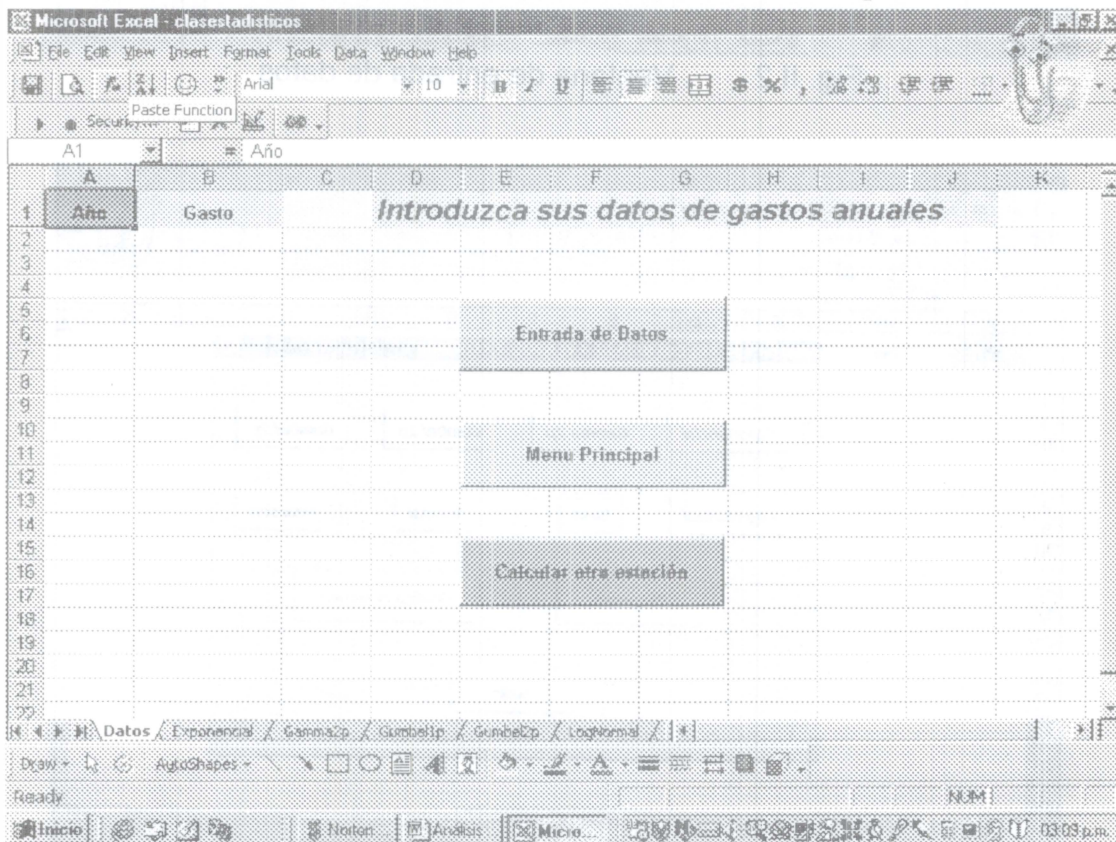


Fig. II.1 Ventana principal del programa.



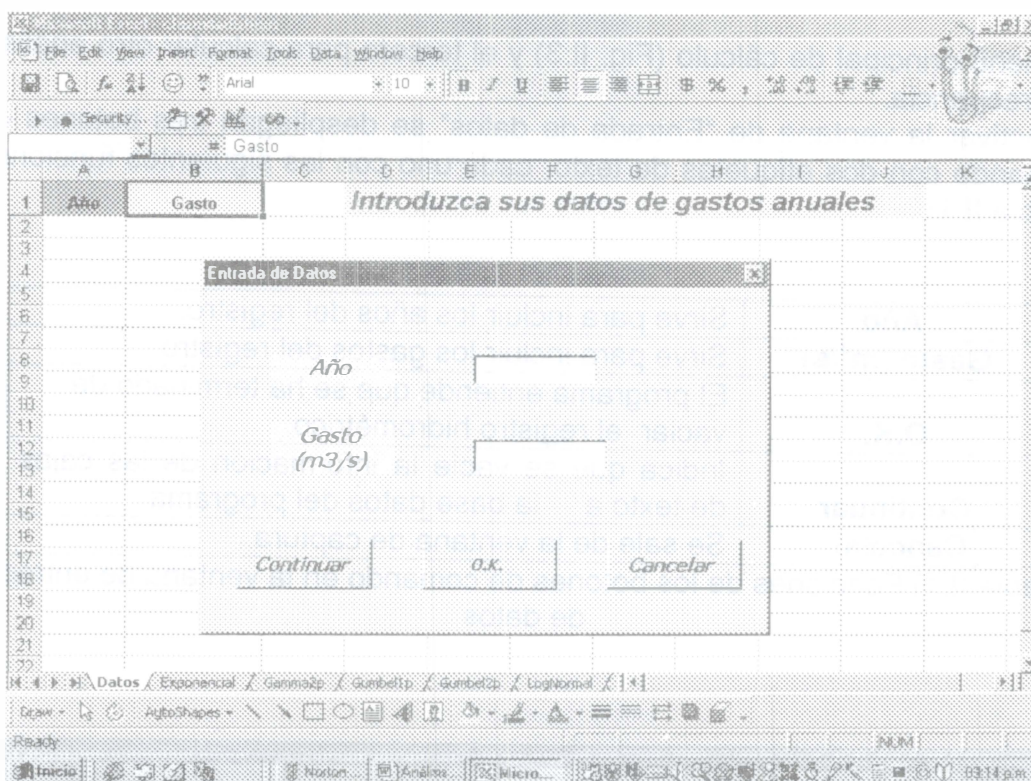


Fig. II.2 Ventana de entrada de datos

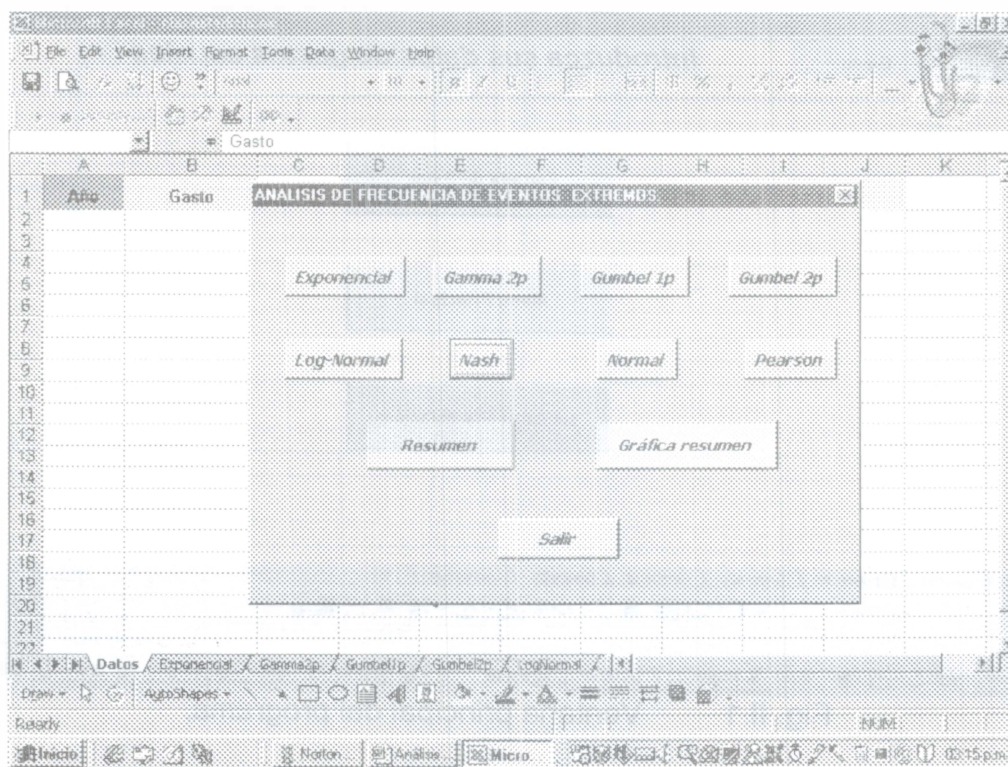


Fig. II.3 Ventana del menú principal.

Terminando el proceso de alimentación de datos se activa el botón de Menú Principal y se despliega la segunda ventana.

Esta forma incluye once botones de comando: ocho corresponden a las distribuciones de probabilidad, uno al cuadro resumen, uno a la graficación y uno a la salida del programa.

Este programa de automatización tiene las siguientes ventajas y limitaciones:

1. Se consideran registros con longitudes mínimas de diez años.
2. La longitud máxima de registro está sujeta al número de renglones máximo que tiene Excel (65536).
3. Los resultados negativos en el gasto calculado por no tener significado físico harán cero.
4. El método para encontrar la raíz en la función de la distribución Gumbel de dos poblaciones es el de Newton Raphson.
5. El programa solo calcula los eventos de diseño para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años. Cualquier otro valor diferente a estos se tendrá que realizar por separado.
6. El programa permite realizar el análisis de frecuencia para cualquier número de estaciones, ya que está provisto de una instrucción que permite limpiar las hojas de trabajo de Excel y solicitar nueva información.



### III Ejemplo de aplicación.

La región hidrológica número 10 que aparece en la Fig. II.4, se encuentra ubicada al norte de la República Mexicana y cuenta con 21 estaciones hidrométricas, las cuales están localizadas en las cuencas de los ríos: El Fuerte, Sinaloa, Culiacán, San Lorenzo, Elota y Piactla, que se ubican en los estados de Chihuahua y Sinaloa.

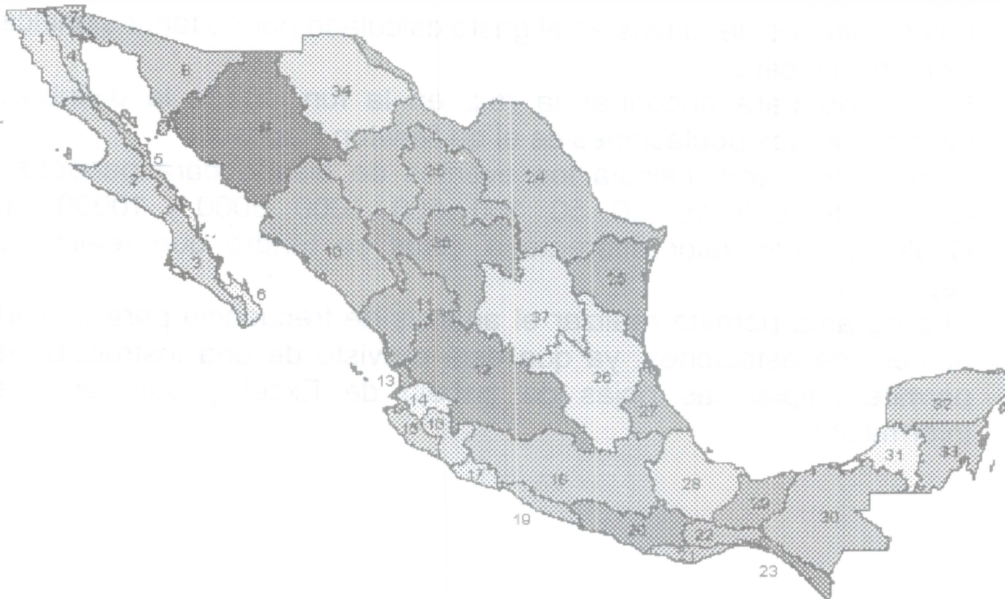


Fig. II.4 Regiones hidrológicas en México.

La Fig. II.5, muestra la localización de las estaciones hidrométricas en esta región.



La tabla III.1 presenta los nombres, ubicación, áreas y periodo de registro de las estaciones en cuestión.

Nombre estación	Ubicación Estado	Area (Km <sup>2</sup> )	Años de registro.	Periodo de registro.
Acatitan	Sinaloa	1884	26	1955-1980
Badiraguato	Sinaloa	1019	22	1959-1981
Chinipas	Chihuahua	5098	15	1966-1980
Choix	Sinaloa	1403	25	1956-1980
Guatenipa	Sinaloa	8252	16	1965-1980
Huites	Sinaloa	26020	39	1942-1980
Ixpalino	Sinaloa	6166	28	1953-1980
Jaina	Sinaloa	8179	39	1942-1980
La Huerta	Sinaloa	6149	12	1969-1980
Los Molinos	Sinaloa	3763	10	1961-1970
Naranja	Sinaloa	2064	42	1939-1980
Palo Dulce	Chihuahua	6323	23	1958-1980
Piaxtla	Sinaloa	5307	16	1958-1973
San Fco.	Sinaloa	17531	32	1942-1973
San Ignacio	Chihuahua	12166	14	1967-1980
Santa Cruz	Sinaloa	8919	37	1944-1980
Tamazula	Sinaloa	2241	18	1963-1980
Tecusiapa	Sinaloa	3763	15	1959-1973
Toahayana	Sinaloa	5281	23	1958-1980
Urique II	Chihuahua	4000	13	1968-1980
Zopilote	Sinaloa	666	42	1939-1980

Tabla III.1 Características de las estaciones hidrométricas en la región 10

La información contenida en los registros hidrométricos es de gastos máximos anuales.

En este caso, se consideró a la estación Badiraguato como un ejemplo de aplicación para el análisis de frecuencia, ubicada en el estado de Sinaloa con una superficie de 1018 Km<sup>2</sup> y 22 años de registro que van de 1959 a 1981.

Su registro hidrométrico se muestra en la tabla III.2.

G- 907931

Por lo tanto las interrogantes son:

- ¿Cuál es la distribución de probabilidad que mejor se ajusta al registro hidrométrico de la estación Badiraguato con base en el criterio de los mínimos cuadrados?
- ¿Cuáles son los eventos de diseño para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años, considerando el mejor ajuste?



- c) ¿Cuál es el hidrograma de diseño que se tiene para un gasto máximo asociado a un periodo de retorno de 100 años?. Considere una longitud del río de 10000 m con una pendiente media del cauce de 0.002 m/m.

Año	Gasto (m <sup>3</sup> /s)
1959	361
1960	435
1961	276
1962	4220
1963	420
1964	236
1965	213
1966	922
1967	480
1968	435
1969	64
1970	250
1971	435
1972	470
1973	585
1974	600
1975	290
1976	320
1977	250
1978	245
1979	890
1980	434
1981	516

Tabla III.2 Registro hidrométrico de la estación Badiraguato.

### Solución

- a) Para dar solución a este inciso, se utilizará el programa de automatización de ajuste a las distribuciones de probabilidad explicadas en el tema I

El procedimiento es el siguiente:

1. Se abre el programa Excel, versión 1997 o 2000.
2. Se abre el archivo llamado **“Análisis de frecuencia”**, del disco “A”.
3. El programa pregunta si se habilitan o no los macros, se contesta que si.
4. Aparece la ventana principal del programa. (Fig. II.1)

5. Se salva con el mismo nombre pero en el disco duro de la computadora. Para efectos de rapidez en el cálculo.
6. Se introducen los datos del registro de la estación hidrométrica Badiraguato. Este paso se lleva a cabo haciendo un click en el botón de comando llamado **“Entrada de Datos”** que despliega la segunda ventana (Fig. II.2)
7. Se alimenta el programa introduciendo cada uno de los años como su correspondiente gasto, cuidando de hacer click en el botón de comando **“Continuar”** para ingresar el nuevo año y gasto de la estación, al finalizar el registro, se hará un click en el botón de comando llamado **“O.K.”**.
8. Se regresa a la pantalla principal del programa (Fig. II.1) y se observa que el archivo de datos este correctamente escrito, en su defecto, se puede corregir directamente en la hoja de trabajo de Excel.
9. Se hace un click en el botón de comando **“Menú Principal”**.
10. Se despliega la ventana de la Fig. II.3.
11. Se hace click en todos y cada uno de los botones de comando correspondientes a las distribuciones de probabilidad. En este punto se tendrá especial atención en observar que el proceso de cálculo de una distribución de probabilidad deberá finalizarse, antes de iniciar otro cálculo con alguna otra distribución. Este punto es fácil establecerlo, ya que en el ángulo inferior izquierdo aparecerá la palabra **“ready”**, cuando el programa ha finalizado su cálculo.
12. Posteriormente se puede hacer click en el botón **“Resumen”** y **“Gráfica resumen”**, donde aparecerá información de la distribución de probabilidad de mejor ajuste, de acuerdo con el criterio de los mínimos cuadrados.
13. Finalmente, se podrá abrir las hojas de trabajo y observar los resultados obtenidos de la muestra.
14. Salvar con otro nombre, el archivo que se generó.

Los resultados correspondientes a la estación Badiraguato se presentan al final del trabajo, y de acuerdo a la información obtenida del cuadro resumen la mejor distribución para esta estación fue **“Gumbel de dos poblaciones”** con una sumatoria de errores de **1885.19** unidades.

- b) La solución a este inciso depende de la información obtenida en el inciso a), por lo que basta con abrir exclusivamente la hoja de trabajo **“Gumbel de dos poblaciones”** del archivo que se generó y obtener los eventos de diseño para los periodos de retorno solicitado, tal como aparece en la tabla III.3

EVENTOS DE DISEÑO					
DIST. DOBLEGUMBEL					
T (años)	F(Q)	F1(Q)	F2(Q)	F(Q)calc.	Qcalc. (m3/s)
2	0.50	0.82133468	0.09656883	-0.000694259	410.16
5	0.80	0.97830797	0.15816073	-0.000730742	698.65
10	0.90	0.99999998	0.53833509	-0.000361952	2026.54
20	0.95	1	0.76565176	-0.00094627	3050.18
50	0.98	1	0.90753656	-0.000100748	4282.18
100	0.99	1	0.95138454	-0.000568579	5092.84
500	1.00	1	0.98723799	-0.000774351	6742.78
1000	1.00	1	0.99361063	-0.000388993	7588.58
5000	1.00	1	0.99616339	-0.000634046	8210.81
10000	1.00	1	0.99644395	-0.000673054	8303.39

Tabla III.3 Resultados obtenidos de la estación Badiraguato para diferentes periodos de retorno (Dist. Gumbel de 2 poblaciones)

- c) Para dar respuesta a este inciso, se utilizará el criterio del Hidrograma Adimensional de la Soil Conservation Service (SCS), para darle forma al hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años.

El valor del tiempo pico se determinará con base en las siguientes ecuaciones:

$$t_p = 0.5d_e + 0.6t_c$$

$$d_e = 2\sqrt{t_c}$$

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

- tc, tiempo de concentración en horas
- L, longitud del cauce principal en metros.
- S, pendiente del cauce principal en m/m.
- De, duración en exceso en horas.
- Tp, tiempo pico en horas.

Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores, se tiene:

$$t_c = 4.275 \text{ h}$$

$$d_e = 4.135 \text{ h}$$

$$t_p = 4.625 \text{ h}$$



Sustituyendo el valor de  $t_p$  y  $Q_p = 5092.84 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $T = 100$  años), en la tabla adimensional de la SCS, se tiene: (Tabla III.3).

Hidrograma adimensional		Hidrograma de diseño	
$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t$ (h)	$Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
0.0	0.000	0.00	0.00
0.1	0.015	0.46	76.39
0.2	0.075	0.93	381.96
0.3	0.160	1.39	814.85
0.4	0.280	1.85	1426.00
0.5	0.430	2.31	2189.92
0.6	0.600	2.78	3055.70
0.8	0.890	3.70	4532.63
1.0	1.000	4.63	5092.84
1.2	0.920	5.55	4685.41
1.4	0.750	6.48	3819.63
1.6	0.560	7.40	2851.99
1.8	0.420	8.33	2138.99
2.0	0.320	9.25	1629.71
2.2	0.240	10.18	1222.28
2.4	0.180	11.10	916.71
2.6	0.130	12.03	662.07
2.8	0.098	12.95	499.10
3.0	0.075	13.88	381.96
3.5	0.036	16.19	183.34
4.0	0.018	18.50	91.67
4.5	0.009	20.81	45.84
5.0	0.004	23.13	20.37

Tabla III.3 Hidrograma adimensional de la Soil Conservation Service e Hidrograma de Diseño para  $T = 100$  años.

Su representación gráfica se encuentra al final del trabajo.

### Bibliografía.

- 1.- Aparicio M. F. (1989) "Fundamentos de hidrología de superficie." Editorial LIMUSA México, D.F.
- 2.- Nelson R. (1993) "Guía completa de VISUAL BASIC para windows" Editorial Mc Graw Hill México, D.F.
- 3.- Kite G. W. (1977) "Frequency and Risk Analyses in Hydrology" Water Resources Publications Littleton, Colorado 80161, USA.
- 3.- Bloch S.C. "EXCEL for engineers and scientists" ed. Wiley, U.S.A.
- 4.- Miller y Freund "Probabilidad y estadística para ingenieros" ed. Reverté Mexicana, México D.F.

## ***Tablas y gráficas.***

## Distribución Exponencial

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	1/T	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	0.0416667	1844.238	13170.21
1960	435	922	2	12	0.0833333	1442.002	268321.8
1961	276	890	3	8	0.125	1206.709	568955
1962	4220	600	4	6	0.1666667	1039.766	850515.9
1963	420	585	5	4.8	0.2083333	910.2746	1108231
1964	236	516	6	4	0.25	804.4726	1344504
1965	213	480	7	3.428571	0.2916667	715.0183	1562454
1966	922	470	8	3	0.3333333	637.5295	1764834
1967	480	435	9	2.666667	0.375	569.1795	1953902
1968	435	435	10	2.4	0.4166667	508.0383	2131488
1969	64	435	11	2.181818	0.4583333	452.7294	2299077
1970	250	434	12	2	0.5	402.2363	2457883
1971	435	420	13	1.846154	0.5416667	355.7872	2608912
1972	470	361	14	1.714286	0.5833333	312.782	2753004
1973	585	320	15	1.6	0.625	272.7451	2890867
1974	600	290	16	1.5	0.6666667	235.2932	3023101
1975	290	276	17	1.411765	0.7083333	200.1124	3150226
1976	320	250	18	1.333333	0.75	166.9432	3272687
1977	250	250	19	1.263158	0.7916667	135.5677	3390873
1978	245	245	20	1.2	0.8333333	105.802	3505125
1979	890	236	21	1.142857	0.875	77.48885	3615745
1980	434	213	22	1.090909	0.9166667	50.49308	3722997
1981	516	64	23	1.043478	0.9583333	24.69753	3827119

MEDIA DE Q: 580.304  
 BETA: 0.002  
 SUMA DE ERROR 6946.717

EVENTOS DE DISEÑO DIST. EXPONENCIAL	
T (años)	Q (m3/s)
2.00	402.24
5.00	933.96
10.00	1336.20
20.00	1738.44
50.00	2270.16
100.00	2672.40
500.00	3606.36
1000.00	4008.60
5000.00	4942.56
10000.00	5344.80



## Distribución Gamma de 2 parámetros

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	0.9583333	2.521132	1.732022	2347.183	3507444.6
1960	435	922	2	12	0.9166667	2.229308	1.3832	1694.397	596597
1961	276	890	3	8	0.875	2.039334	1.1504	1334.164	197281.86
1962	4220	600	4	6	0.8333333	1.893018	0.9673	1089.778	239882.69
1963	420	585	5	4.8	0.7916667	1.771223	0.8120	907.4685	103985.94
1964	236	516	6	4	0.75	1.665109	0.6742	763.7879	61398.821
1965	213	480	7	3.428571	0.7083333	1.569805	0.5481	646.4478	27704.857
1966	922	470	8	3	0.6666667	1.482304	0.4303	548.2295	6119.8526
1967	480	435	9	2.666667	0.625	1.400592	0.3182	464.5487	873.12662
1968	435	435	10	2.4	0.5833333	1.32323	0.2100	392.326	1821.074
1969	64	435	11	2.181818	0.5416667	1.249127	0.1044	329.4049	11150.333
1970	250	434	12	2	0.5	1.17741	0.0000	274.2286	25526.887
1971	435	420	13	1.846154	0.4583333	1.107343	-0.1043	225.6493	37772.202
1972	470	361	14	1.714286	0.4166667	1.038264	-0.2095	182.8102	31751.596
1973	585	320	15	1.6	0.375	0.96954	-0.3168	145.0724	30599.657
1974	600	290	16	1.5	0.3333333	0.900517	-0.4277	111.9678	31695.467
1975	290	276	17	1.411765	0.2916667	0.83047	-0.5436	83.17158	37182.798
1976	320	250	18	1.333333	0.25	0.758528	-0.6669	58.4896	36676.234
1977	250	250	19	1.263158	0.2083333	0.683542	-0.8004	37.8593	45003.677
1978	245	245	20	1.2	0.1666667	0.603857	-0.9491	21.36641	50011.982
1979	890	236	21	1.142857	0.125	0.516781	-1.1208	9.278124	51402.809
1980	434	213	22	1.090909	0.0833333	0.41716	-1.3319	2.065091	44493.536
1981	516	64	23	1.043478	0.0416667	0.291752	-1.6262	0.001697	4095.7828

MEDIA DE Q: 580.304  
 DESV. EST. 818.554  
 ALFA: 1154.618  
 BETA: 0.503  
 SUMA DE ERROR **2276.065**

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION GAMMA 2P				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2.00	0.50	1.18	0.00	274.23
5.00	0.80	1.79	0.84	940.31
10.00	0.90	2.15	1.28	1530.27
20.00	0.95	2.45	1.65	2171.32
50.00	0.98	2.80	2.05	3082.24
100.00	0.99	3.03	2.33	3812.63
500.00	1.00	3.53	2.88	5626.40
1000.00	1.00	3.72	3.09	6452.97
5000.00	1.00	4.13	3.54	8466.19
10000.00	1.00	4.29	3.72	9370.86

## Distribución Gumbel

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	Xi	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	-3.156849494	2227.337654	3970703.225
1960	435	922	2	12	-2.441716399	1770.745381	720368.722
1961	276	890	3	8	-2.013418678	1497.289389	368800.4022
1962	4220	600	4	6	-1.701983355	1298.446736	487827.8432
1963	420	585	5	4.8	-1.454081455	1140.168378	308211.9278
1964	236	516	6	4	-1.245899324	1007.24997	241326.533
1965	213	480	7	3.4285714	-1.064673327	891.5422924	169367.0584
1966	922	470	8	3	-0.902720456	788.1399603	101213.0343
1967	480	435	9	2.6666667	-0.755014863	693.8341129	66995.09798
1968	435	435	10	2.4	-0.6180462	606.3834925	29372.30148
1969	64	435	11	2.1818182	-0.489219929	524.1315584	7944.434711
1970	250	434	12	2	-0.366512921	445.7866012	138.9239678
1971	435	420	13	1.8461538	-0.248258101	370.2842406	2471.656737
1972	470	361	14	1.7142857	-0.132995836	296.6925415	4135.449213
1973	585	320	15	1.6	-0.019356889	224.1372847	9189.66019
1974	600	290	16	1.5	0.094047828	151.731578	19118.15653
1975	290	276	17	1.4117647	0.208755483	78.49398157	39008.62732
1976	320	250	18	1.3333333	0.32663426	3.23171331	60894.58732
1977	250	250	19	1.2631579	0.45019365	0	62500
1978	245	245	20	1.2	0.583198081	0	60025
1979	890	236	21	1.1428571	0.732099368	0	55696
1980	434	213	22	1.0909091	0.910235093	0	45369
1981	516	64	23	1.0434783	1.156269006	0	4096

MEDIA DE Q:	580.304
DESV. EST.	818.554
ALFA	638.472
BETA	211.778
SUMA DE ERROR	2514.340

EVENTOS DE DISEÑO DIST. GUMBEL	
T (años)	Q (m3/s)
2.00	445.79
5.00	1169.45
10.00	1648.57
20.00	2108.16
50.00	2703.06
100.00	3148.84
500.00	4178.99
1000.00	4621.87
5000.00	5649.70
10000.00	6092.29



## Distribución Gumbel de dos poblaciones.

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	F1(Q)	F2(Q)	F(Q) calc.	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	0.9583333		1 0.8077901	-0.000118	3322.685132	805173.9722
1960	435	922	2	12	0.9166667		1 0.6163889	-6.04E-05	2326.767312	1973371.202
1961	276	890	3	8	0.875	0.9999999	0.4248949	-2.38E-05	1632.730021	551647.8838
1962	4220	600	4	6	0.8333333	0.9989741	0.2330149	-0.000924	985.6780606	148747.5665
1963	420	585	5	4.8	0.7916667	0.970366	0.1511333	-0.000368	669.0193819	7059.256533
1964	236	516	6	4	0.75	0.9243814	0.1307108	-0.000304	578.9451455	3962.091342
1965	213	480	7	3.428571	0.7083333	0.8753956	0.1201584	-0.000375	529.6172493	2461.87143
1966	922	470	8	3	0.6666667	0.8263291	0.113206	0.0003617	495.8610836	668.795644
1967	480	435	9	2.666667	0.625	0.7752652	0.1077974	-0.000103	468.8180973	1143.663702
1968	435	435	10	2.4	0.5833333	0.7243782	0.103473	-0.000134	446.654249	135.8215196
1969	64	435	11	2.181818	0.5416667	0.6733606	0.0998181	-7.71E-05	427.5147375	56.02915535
1970	250	434	12	2	0.5	0.6213347	0.0965688	-0.000694	410.1631562	568.1951247
1971	435	420	13	1.846154	0.4583333	0.5705558	0.0937274	-0.000186	394.7137261	639.3956481
1972	470	361	14	1.714286	0.4166667	0.5204351	0.0911544	0.0009434	380.4889867	379.8206033
1973	585	320	15	1.6	0.375	0.4676789	0.0886258	2.013E-05	366.2800626	2141.844197
1974	600	290	16	1.5	0.3333333	0.4161696	0.086281	0.0001706	352.8894855	3955.08739
1975	290	276	17	1.411765	0.2916667	0.3641653	0.0839911	-1.84E-05	339.6029198	4045.331402
1976	320	250	18	1.333333	0.25	0.3116693	0.0817128	-0.000549	326.1670263	5801.41589
1977	250	250	19	1.263158	0.2083333	0.2610725	0.0795009	0.0004963	312.9061214	3957.180106
1978	245	245	20	1.2	0.1666667	0.208451	0.0771199	-3.64E-05	298.3792855	2849.348122
1979	890	236	21	1.142857	0.125	0.1562345	0.0745762	-0.000197	282.5545926	2167.330094
1980	434	213	22	1.090909	0.0833333	0.1033278	0.0716144	-0.000859	263.7045214	2570.948492
1981	516	64	23	1.043478	0.0416667	0.051184	0.0677591	-0.000856	238.4275924	30424.98499

	Promedio	Desv. est.	Alfa	Beta
Pob. ciclónica	5	1443.4	1560.1115	0.0008218
Pob. No ciclónica	18	340.5556	120.18722	0.0106671

P inicial                      0.8 SUMA DE E    1885 187  
P ajustada                    0.782608696

EVENTOS DE DISEÑO					
DIST. DOBLEGUMBEL					
T (años)	F(Q)	F1(Q)	F2(Q)	F(Q)calc.	Qcalc. (m3/s)
2	0.50	0.621334679	0.096568935	-0.000694259	410.16
5	0.80	0.978307966	0.158160735	-0.000730742	698.65
10	0.90	0.999999985	0.539335086	-0.000361952	2028.54
20	0.95	1	0.765851756	-0.00094527	3050.19
50	0.98	1	0.90753856	-0.000100748	4282.18
100	0.99	1	0.951384537	-0.000568579	5092.84
500	1.00	1	0.987237985	-0.000774351	6742.78
1000	1.00	1	0.993610632	-0.000388993	7588.58
5000	1.00	1	0.996163392	-0.000634045	8210.81
10000	1.00	1	0.99644395	-0.000673054	8303.39

## Distribución Log-Normal

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	LnQ	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	0.9583333	2.521132	1.732022	8.34759	1485.8572	2204801
1960	435	922	2	12	0.9166667	2.229308	1.3832	6.826545	1143.9521	1304055
1961	276	890	3	8	0.875	2.039334	1.1504	6.791221	960.75544	917295.5
1962	4220	600	4	6	0.8333333	1.893018	0.9673	6.39693	837.54348	694794.7
1963	420	585	5	4.8	0.7916667	1.771223	0.8120	6.371612	745.47463	548302.7
1964	236	516	6	4	0.75	1.665109	0.6742	6.246107	672.28678	443938.1
1965	213	480	7	3.428571	0.7083333	1.569805	0.5481	6.173786	611.66541	365620.3
1966	922	470	8	3	0.6666667	1.482304	0.4303	6.152733	559.94513	304643.4
1967	480	435	9	2.666667	0.625	1.400592	0.3182	6.075346	514.81376	255847.6
1968	435	435	10	2.4	0.5833333	1.32323	0.2100	6.075346	474.71931	215964
1969	64	435	11	2.181818	0.5416667	1.249127	0.1044	6.075346	438.56757	182814
1970	250	434	12	2	0.5	1.17741	0.0000	6.073045	405.55465	154885.3
1971	435	420	13	1.846154	0.4583333	1.107343	-0.1043	6.040255	375.06766	131093
1972	470	361	14	1.714286	0.4166667	1.038264	-0.2095	5.888878	346.62233	110637.6
1973	585	320	15	1.6	0.375	0.96954	-0.3168	5.768321	319.82114	92915.93
1974	600	290	16	1.5	0.3333333	0.900517	-0.4277	5.669881	294.32304	77463.72
1975	290	276	17	1.411765	0.2916667	0.83047	-0.5436	5.620401	269.81869	63917.29
1976	320	250	18	1.333333	0.25	0.758528	-0.6669	5.521461	246.00642	51986.93
1977	250	250	19	1.263158	0.2083333	0.683542	-0.8004	5.521461	222.56247	41437.68
1978	245	245	20	1.2	0.1666667	0.603857	-0.9491	5.501258	199.09356	32074.5
1979	890	236	21	1.142857	0.125	0.516781	-1.1208	5.463832	175.04014	23728.36
1980	434	213	22	1.090909	0.0833333	0.41716	-1.3319	5.361292	149.42087	16236.08
1981	516	64	23	1.043478	0.0416667	0.291752	-1.6262	4.158883	119.83818	9377.633

MEDIA DE LnQ: 6.005  
 DESV. EST. DE LnQ: 0.750  
 SUMA DE ERROR: **2871.207**

EVENTOS DE DISEÑO				
DISTRIBUCION LOG-NORMAL				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2.00	0.50	1.18	0.00	405.55
5.00	0.80	1.79	0.84	762.10
10.00	0.90	2.15	1.28	1060.13
20.00	0.95	2.45	1.65	1392.21
50.00	0.98	2.80	2.05	1891.74
100.00	0.99	3.03	2.33	2320.67
500.00	1.00	3.53	2.88	3509.49
1000.00	1.00	3.72	3.09	4114.09
5000.00	1.00	4.13	3.54	5763.62
10000.00	1.00	4.29	3.72	6590.77



## Método de Nash

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	Xi	XiQi	Xi^2	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	-3.15685	-13321.9	9.965699	1952.068	5143516
1960	435	922	2	12	-2.44172	-2251.26	5.961979	1578.87	431478.8
1961	276	890	3	8	-2.01342	-1791.94	4.053855	1355.36	216560.1
1962	4220	600	4	6	-1.70198	-1021.19	2.896747	1192.835	351453.8
1963	420	585	5	4.8	-1.45408	-850.638	2.114353	1063.466	228929.7
1964	236	516	6	4	-1.2459	-642.884	1.552265	954.8247	192567.1
1965	213	480	7	3.428571	-1.06467	-511.043	1.133529	860.2506	144590.5
1966	922	470	8	3	-0.90272	-424.279	0.814904	775.7343	93473.48
1967	480	435	9	2.666667	-0.75501	-328.431	0.570047	698.6531	69512.96
1968	435	435	10	2.4	-0.61805	-268.85	0.381981	627.175	36931.24
1969	64	435	11	2.181818	-0.48922	-212.811	0.239336	559.9461	15611.53
1970	250	434	12	2	-0.36651	-159.067	0.134332	495.9106	3832.919
1971	435	420	13	1.846154	-0.24826	-104.268	0.061632	434.1984	201.5958
1972	470	361	14	1.714286	-0.133	-48.0115	0.017688	374.048	170.2503
1973	585	320	15	1.6	-0.01936	-6.1942	0.000375	314.7447	27.61821
1974	600	290	16	1.5	0.094048	27.27387	0.008845	255.5636	1185.864
1975	290	276	17	1.411765	0.208755	57.61651	0.043579	195.7026	6447.67
1976	320	250	18	1.333333	0.326634	81.65856	0.10669	134.1867	13412.71
1977	250	250	19	1.263158	0.450194	112.5484	0.202674	69.70637	32505.79
1978	245	245	20	1.2	0.583198	142.8835	0.34012	0.29705	59879.53
1979	890	236	21	1.142857	0.732099	172.7755	0.535969	0	55696
1980	434	213	22	1.090909	0.910235	193.8801	0.828528	0	45369
1981	516	64	23	1.043478	1.156269	74.00122	1.336958	0	4096

Promedio de Q:	580.304
Promedio de X:	-0.528
Suma XiQi:	-21080.139
Suma Xi^2:	33.302
c =	-521.857
a =	304.643
Suma de errores	2673.472

VENTOS DE DISEÑO MÉTODO DE NASH	
T (años)	Q (m3/s)
2	495.9106
5	1087.398
10	1479.014
20	1854.661
50	2340.898
100	2705.264
500	3547.259
1000	3909.244
5000	4749.35
10000	5111.099

## Distribución Normal

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	0.9583333	2.521132	1.732022	1998.057	4937029
1960	435	922	2	12	0.9166667	2.229308	1.3832	1712.53	624938.1
1961	276	890	3	8	0.875	2.039334	1.1504	1521.972	399389
1962	4220	600	4	6	0.8333333	1.893018	0.9673	1372.117	596164.3
1963	420	585	5	4.8	0.7916667	1.771223	0.8120	1244.966	435555.4
1964	236	516	6	4	0.75	1.665109	0.6742	1132.137	379624.4
1965	213	480	7	3.428571	0.7083333	1.569805	0.5481	1028.955	301352
1966	922	470	8	3	0.6666667	1.482304	0.4303	932.4924	213899.2
1967	480	435	9	2.666667	0.625	1.400592	0.3182	840.7386	164623.8
1968	435	435	10	2.4	0.5833333	1.32323	0.2100	752.2081	100621
1969	64	435	11	2.181818	0.5416667	1.249127	0.1044	665.7214	53232.34
1970	250	434	12	2	0.5	1.17741	0.0000	580.2735	21395.94
1971	435	420	13	1.846154	0.4583333	1.107343	-0.1043	494.9447	5616.714
1972	470	361	14	1.714286	0.4166667	1.038264	-0.2095	408.8283	2287.542
1973	585	320	15	1.6	0.375	0.96954	-0.3168	320.9612	0.923984
1974	600	290	16	1.5	0.3333333	0.900517	-0.4277	230.2444	3570.737
1975	290	276	17	1.411765	0.2916667	0.83047	-0.5436	135.3306	19787.88
1976	320	250	18	1.333333	0.25	0.758528	-0.6669	34.44988	46461.85
1977	250	250	19	1.263158	0.2083333	0.683542	-0.8004	0	62500
1978	245	245	20	1.2	0.1666667	0.603857	-0.9491	0	60025
1979	890	236	21	1.142857	0.125	0.516781	-1.1208	0	55696
1980	434	213	22	1.090909	0.0833333	0.41716	-1.3319	0	45369
1981	516	64	23	1.043478	0.0416667	0.291752	-1.6262	0	4096

MEDIA DE Q: 580.304  
 DESV. EST. 818.554  
 SUMA DE ERROR **2921.170**

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION NORMAL				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2.00	0.50	1.18	0.00	580.27
5.00	0.80	1.79	0.84	1269.05
10.00	0.90	2.15	1.28	1629.44
20.00	0.95	2.45	1.65	1926.98
50.00	0.98	2.80	2.05	2261.75
100.00	0.99	3.03	2.33	2484.88
500.00	1.00	3.53	2.88	2936.50
1000.00	1.00	3.72	3.09	3110.05
5000.00	1.00	4.13	3.54	3478.17
10000.00	1.00	4.29	3.72	3624.59



## Distribución Gamma de 3 parámetros (Pearson Tipo III)

Año	Gasto	Gasto ord.	No. Orden	T	F(Q)	w	z	Q calc.	Error ^ 2
1959	361	4220	1	24	0.9583333	2.521132	1.732022	595.9295	13133887
1960	435	922	2	12	0.9166667	2.229308	1.3832	592.7341	108416.1
1961	276	890	3	8	0.875	2.039334	1.1504	590.6111	89633.69
1962	4220	600	4	6	0.8333333	1.893018	0.9673	588.9471	122.1667
1963	420	585	5	4.8	0.7916667	1.771223	0.8120	587.5389	6.446137
1964	236	516	6	4	0.75	1.665109	0.6742	586.2922	4940.997
1965	213	480	7	3.428571	0.7083333	1.569805	0.5481	585.1545	11057.47
1966	922	470	8	3	0.6666667	1.482304	0.4303	584.0929	13017.19
1967	480	435	9	2.666667	0.625	1.400592	0.3182	583.0849	21929.15
1968	435	435	10	2.4	0.5833333	1.32323	0.2100	582.1141	21642.56
1969	64	435	11	2.181818	0.5416667	1.249127	0.1044	581.1673	21364.87
1970	250	434	12	2	0.5	1.17741	0.0000	580.2333	21384.19
1971	435	420	13	1.846154	0.4583333	1.107343	-0.1043	579.3023	25377.21
1972	470	361	14	1.714286	0.4166667	1.038264	-0.2095	578.3641	47247.17
1973	585	320	15	1.6	0.375	0.96954	-0.3168	577.4086	66259.17
1974	600	290	16	1.5	0.3333333	0.900517	-0.4277	576.4237	82038.53
1975	290	276	17	1.411765	0.2916667	0.83047	-0.5436	575.3951	89637.43
1976	320	250	18	1.333333	0.25	0.758528	-0.6669	574.3039	105173
1977	250	250	19	1.263158	0.2083333	0.683542	-0.8004	573.1236	104408.8
1978	245	245	20	1.2	0.1666667	0.603857	-0.9491	571.8132	106806.9
1979	890	236	21	1.142857	0.125	0.516781	-1.1208	570.3029	111758.4
1980	434	213	22	1.090909	0.0833333	0.41716	-1.3319	568.4523	126346.4
1981	516	64	23	1.043478	0.0416667	0.291752	-1.6262	565.8828	251886.3

MEDIA DE Q:	580.304
DESV. EST.	818.554
ASIMETRIA	4.343
BETA:	0.212
GAMMA:	1777.579
Xo:	203.370
SUMA DE ERROR	3816.326

EVENTOS DE DISEÑO DISTRIBUCION PEARSON III				
T (años)	F(Q)	W	z	Q (m3/s)
2.00	0.50	1.18	0.00	580.23
5.00	0.80	1.79	0.84	587.81
10.00	0.90	2.15	1.28	591.81
20.00	0.95	2.45	1.65	595.13
50.00	0.98	2.80	2.05	598.90
100.00	0.99	3.03	2.33	601.42
500.00	1.00	3.53	2.88	606.55
1000.00	1.00	3.72	3.09	608.54
5000.00	1.00	4.13	3.54	612.77
10000.00	1.00	4.29	3.72	614.47

## Resumen de errores al cuadrado

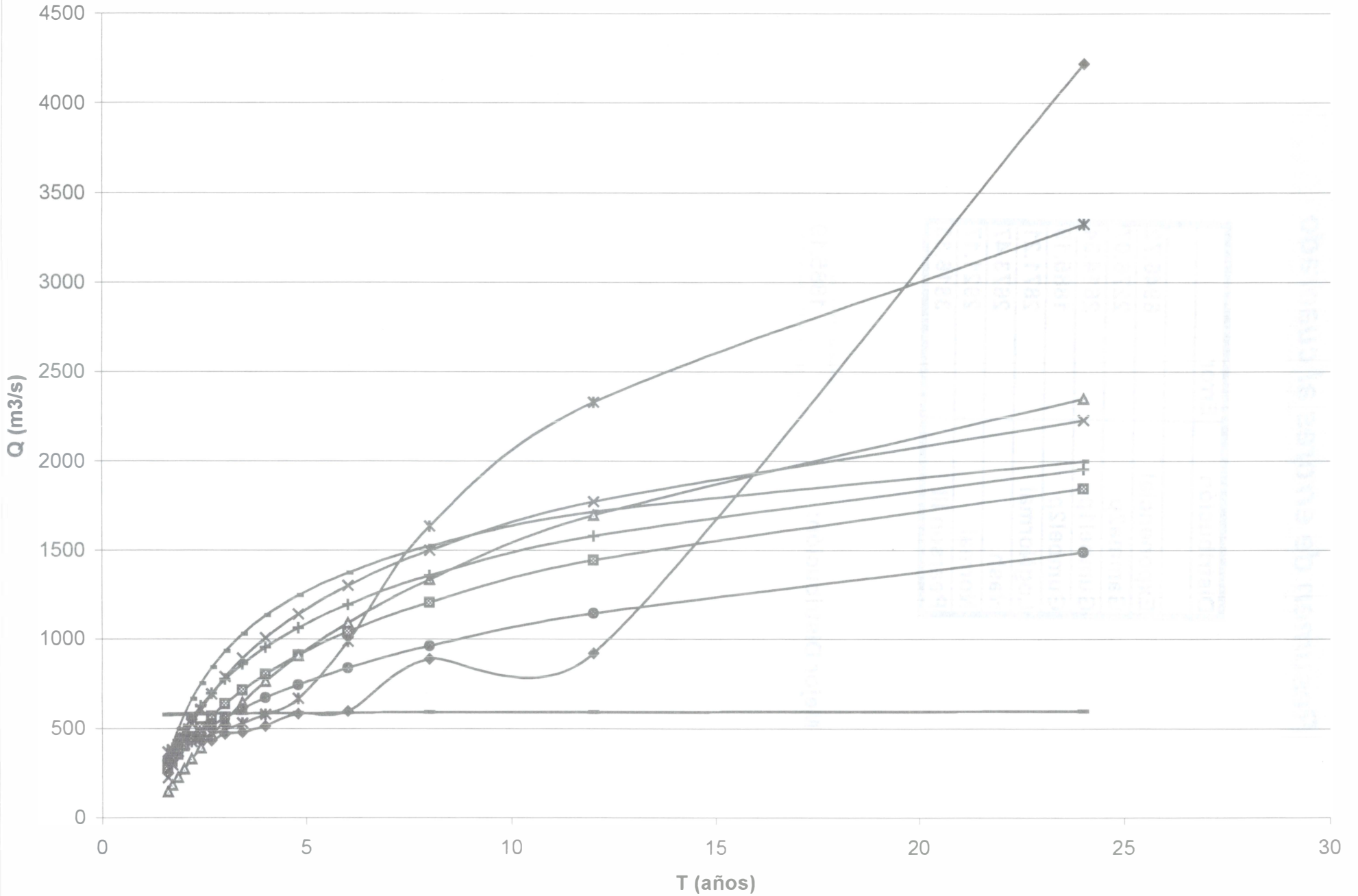
Distribución	Error
Exponencial	6946.72
Gamma2p	2276.07
Gumbel1p	2614.34
Gumbel2p	1885.19
LogNormal	2871.21
Nash	2673.47
Normal	2921.17
Pearson III	3816.33

Mejor Distribución:

1885.19

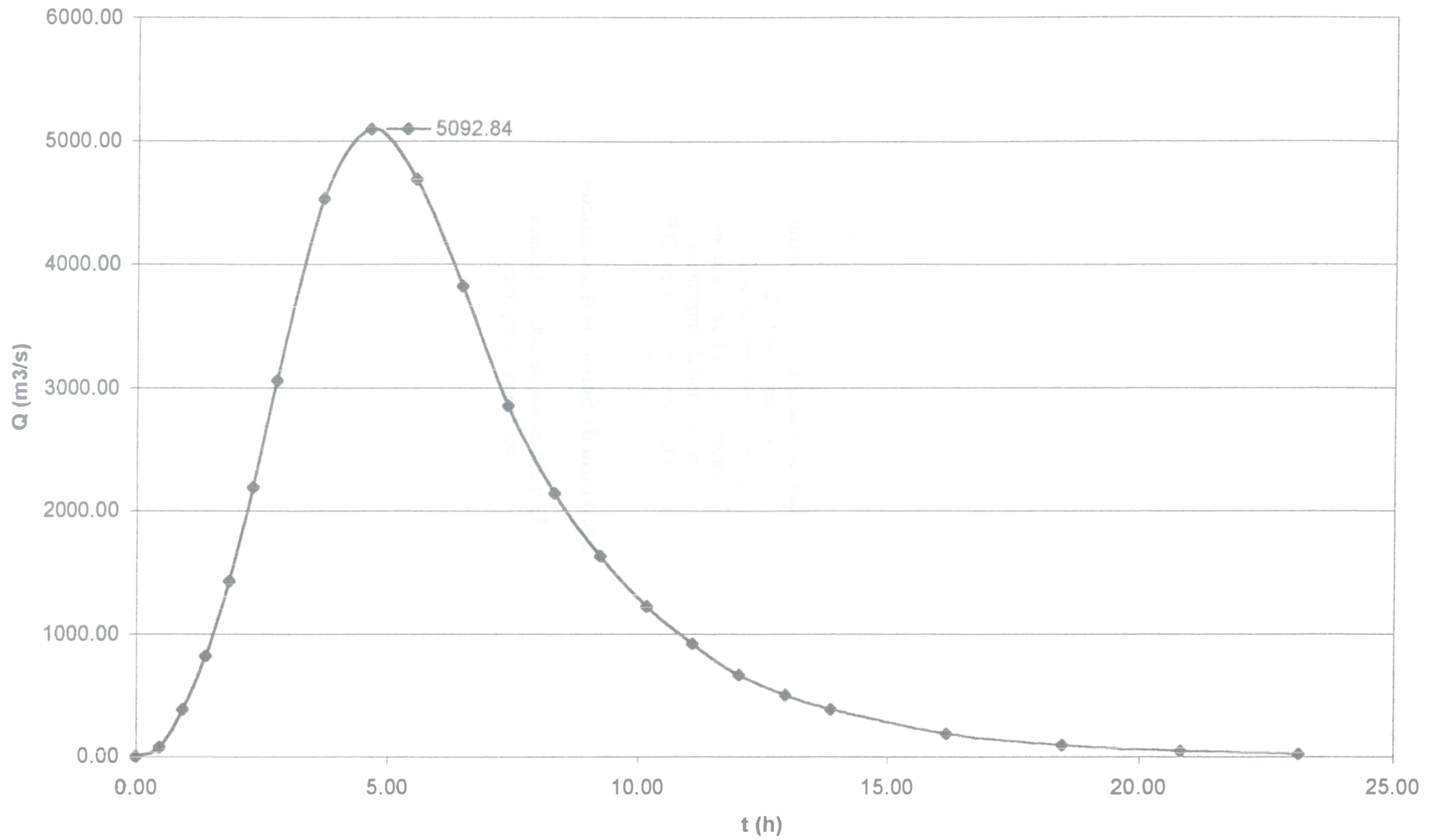


Gastos medidos y calculados.



◆ Datos medidos    ■ Exponencial    ▲ Gamma2p    × Gumbel1p    \* Gumbel2p    ● LogNormal    + Nash    — Normal    — Pearson III

## Hidrograma de diseño (T = 100 años)



77  
907931

Esta obra se terminó de imprimir  
en mayo de 2002  
en el taller de imprenta del  
Departamento de Publicaciones  
de la Facultad de Ingeniería,  
Ciudad Universitaria, México, D.F.  
C.P. 04510

**Secretaría de Servicios Académicos**

El tiraje consta de 500 ejemplares  
más sobrantes de reposición.