



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

201
10

**“ANALISIS DE REGRESION APLICADO A
PROBLEMAS HIDROLOGICOS”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ACTUARIO

PRESENTA:

Luisa Amalia Carrillo Bautista

MEXICO, D. F.

1987



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 está 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.

I N D I C E

I.	OBJETIVO	1
II.	FUNDAMENTOS DE HIDROLOGIA	4
	A. Precipitación	
	B. Escurrimiento	
	C. Registros Hidrológicos	
III.	ANALISIS DE REGRESION	14
	A. Definiciones básicas	
	B. Regresión lineal simple	
	C. Regresión y correlación múltiple	
IV.	PROCEDIMIENTOS DE REGRESION APLICADOS A PROBLEMAS HIDROLOGICOS	23
	A. Curvas Intensidad de lluvia - Duración - Período de retorno.	
	B. Gastos Máximos	
	C. Curvas Elevaciones - Gasto	
	D. Relación entre Precipitación y Escurrimiento	
V.	DESARROLLO DEL PROGRAMA 'HIDRØ'	55
	A. Características	
	B. Limitaciones	
	C. Descripción	
	D. Descripción de las formas de entrada	
	E. Descripción de las formas de salida	

VI.	COMENTARIOS FINALES	76
	BIBLIOGRAFIA	77
	ANEXO 1	80
	ANEXO 2	106

I. OBJETIVO.

Fijar la fecha exacta del nacimiento de una ciencia es siempre difícil. Esto se aplica particularmente a la hidrología, cuyo origen puede encontrarse en varias esferas conexas: la geografía física, la meteorología, la geología, la hidráulica, etc.

Las fases iniciales de la hidrología se vinculan, por una parte, a las primeras obras de ingeniería de la antigüedad que servían para abastecer de agua a las ciudades o para fines agrícolas, y, por otra parte, a los intentos de eminentes eruditos por comprender el medio físico que rodea al hombre.

Entre los conceptos básicos de la hidrología, el del ciclo hidrológico puede considerarse fundamental. Por evidente que este ciclo pueda parecer hoy, hubo de transcurrir mucho tiempo para que se lograra comprender su mecanismo, y ni siquiera los intelectos más brillantes del Renacimiento pudieron evitar algunas hipótesis falsas.

Aunque existen algunas referencias al asunto en literatura más antigua, le correspondió a Pierre Perrault el gran mérito de demostrar con evaluaciones cuantitativas en su libro: "De l'origine des fontaines", publicado en 1674, que las precipitaciones y las nevadas son la causa del flujo en los ríos, abriendo así el camino para el reconocimiento universal del ciclo hidrológico en su interpretación moderna, esto justificó la decisión de aceptar la obra de Pierre Perrault como principio de la hidrología científica y de celebrar su tricentenario en 1974.

Si bien se puede aceptar que hacia fines del Siglo XVII ya existían casi todos los elementos necesarios para fundar la

hidrología, no se reconocía a ésta como ciencia específica y sólo se llegó a ese reconocimiento a medida que fue evolucionando en el transcurso de los siglos siguientes.

No fue sino hasta el siglo pasado en que la hidrología alcanzó un reconocimiento definitivo como disciplina. Su consolidación fue acompañada durante los últimos sesenta o setenta años por la publicación de una serie de manuales de hidrología, registrándose de esta manera el progreso científico que sucedía con la aparición de revistas especializadas y con la creación de centros e institutos de investigación hidrológica.

Las disciplinas en que se apoya la investigación hidrológica son básicamente la geografía física, la meteorología, la geología, la hidráulica, las matemáticas y la estadística, aunque también es fácil encontrar relaciones de la hidrología con la física, química, biología, investigación de operaciones y otras. Así el ingeniero especializado en hidrología trabaja normalmente integrado a equipos en los que colaboran especialistas en la mayor parte de las disciplinas mencionadas, aunque como regla general representa el papel principal.

Una parte importante del trabajo del hidrólogo es la recolección y análisis de datos. La disposición de datos básicos adecuados es esencial en todas las ciencias, y la hidrología no es una excepción. De hecho, las características de los fenómenos naturales con que tiene que ver la hidrología hacen que este punto pueda ser especialmente delicado. Es difícil tratar muchos de los problemas hidrológicos mediante un razonamiento deductivo riguroso, y no siempre es posible arrancar de una ley básica y determinar a partir de ésta el resultado hidrológico deseado. En vez de eso es necesario con mucha frecuencia partir de un conjunto de hechos observados y, mediante

un análisis de ellos, establecer las normas que gobiernan tales hechos. Así, el hidrólogo se encuentra en una difícil posición cuando no cuenta con los datos históricos adecuados para la zona particular del problema. Por esto, la mayoría de los países del mundo disponen de una o más agencias gubernamentales que tienen la responsabilidad de recolectar y difundir datos hidrológicos.

Realizar el análisis de datos es muy laborioso, y aunque existen ya muchos paquetes de cómputo para intentar realizar dicho análisis, se encuentran generalmente disponibles en sofisticados y costosos sistemas de cómputo, fuera del alcance de la mayoría de los hidrólogos. Actualmente en el mercado mexicano se encuentran varios tipos de microcomputadoras, de precios relativamente económicos y accesibles, permitiendo a un mayor número de personas contar con una herramienta de cálculo bastante poderosa. Es por eso que se ha pensado en el desarrollo de un programa para microcomputadora, que realice el análisis en cuestión de una manera más rápida y económica, permitiendo al analista dedicar su tiempo a la parte creativa de su trabajo, optimizando la solución de su problema.

Como una primera instancia el estudio se enfocará a un análisis estadístico de problemas hidrológicos, que son aplicables cotidianamente dentro de la ingeniería civil para el diseño de obras.

Estos problemas hidrológicos se resuelven mediante un análisis de regresión, permitiéndole así al hidrólogo tener una mejor visibilidad de su problema particular y obtener soluciones, con las cuales el hidrólogo podrá aplicar su criterio y a pesar de que existe siempre una falta de precisión en la solución de los problemas, mediante otro tipo de cálculos se pueden usar factores de seguridad que permitan que la solución al diseño de interés tenga un rango aceptable de falla.

II. FUNDAMENTOS DE HIDROLOGIA

Primeramente, se considera vital mostrar las definiciones básicas de la hidrología, para poder comprender el problema y obtener más fácilmente un modelo matemático, y posteriormente se propone un programa de cómputo, el cual permite resolverlo de una manera más exacta.

La hidrología es una rama de la hidráulica que se encarga del estudio del agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas, su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos, para poder utilizarla en diversos fines y la disponibilidad de que se presente en exceso, para prevenir efectos indeseables.

Entre los conceptos fundamentales de la hidrología se encuentra el del ciclo hidrológico. Como todo ciclo, el ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, ya que básicamente el ciclo es el movimiento del agua al quedar sujeta a los distintos fenómenos que ocurren en la naturaleza, y su descripción puede comenzar en cualquier punto.

La evaporación del agua de las grandes superficies de almacenamiento por la acción de rayos solares y el viento emigra hacia capas superiores de la atmósfera, formando nubes, que al condensarse, forman lluvias, la nieve o el granizo; al ocurrir su precipitación sobre la tierra una parte reducida se escurre, formando los cauces naturales por lo que regresa a los grandes almacenamientos, en donde se reinicia el ciclo. Otra parte se infiltra, de la cual una porción menor puede ir a zonas muy profundas y por mucho tiempo no tomará parte en el ciclo; otra, la mayor, regresará a los cauces naturales por diversos medios.

Una cuenca hidrológica es la unidad básica de estudio del ciclo hidrológico y se define como una zona de la superficie terrestre tal que si fuera impermeable todas las gotas de la lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por un sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.

Los datos hidrológicos son fundamentalmente de dos tipos: escurrimientos y precipitaciones. Un análisis del primer tipo de datos tendría como resultado directo el gasto máximo, mientras que con el segundo se obtendrían los datos necesarios para alimentar un modelo de la relación lluvia - escurrimiento - para obtener la avenida de diseño.

A. PRECIPITACION

La precipitación es el agua que recibe la superficie terrestre en cualquier estado físico, proveniente de la atmósfera. Para que se origine la precipitación es necesario que una parte de la atmósfera se enfríe hasta que el aire se sature con vapor de agua, originándose la condensación del vapor atmosférico. El enfriamiento de la atmósfera se logra por la elevación del aire. De acuerdo con la condición que provoca dicha elevación, la precipitación puede ser por convección, orográfica y ciclónica.

1. Precipitación por convección. Es la más común en los trópicos. Se origina por el levantamiento de masas del aire más cálido al encontrarse a su alrededor con masas de aire densas y frías, o por el desigual calentamiento de la superficie terrestre y la masa de aire. Al irse elevando dichas masas de aire, se expanden y se enfrían dinámicamente, originando la condensación y precipitación.

2. Precipitación orográfica. Es debida al levantamiento del aire producido por las barreras montañosas. No es muy claro -

si el efecto de las montañas ejerce una acción directa de sustentación o si induce a turbulencias y corrientes de convección secundarias, pero en cualquier caso ocurre un desplazamiento vertical de la masa de aire, produciéndose un enfriamiento de esta condensación y precipitación.

3. Precipitación ciclónica. Está asociada al paso de ciclones y está ligada con los planos de contacto (superficiales - frontales) entre masas de aire de diferentes temperaturas y condiciones de humedad. Esta precipitación puede ser no frontal y puede ocurrir donde existe una depresión barométrica. El levantamiento del aire se origina por convergencia horizontal de la entrada de la masa de aire en un área de baja presión.

La precipitación frontal es originada por el levantamiento del aire caliente sobre el frío. Este levantamiento puede ocurrir cuando el aire caliente se mueve sobre el aire frío o viceversa. Cuando sucede lo primero se dice que tiene un frente caliente y si sucede lo inverso se le llama frente frío. La precipitación producida por un frente caliente se distribuye sobre un área bastante grande y es ligera y continua. La precipitación originada por un frente frío es intensa y de corta duración; generalmente se distribuye cerca de la superficie frontal.

La precipitación se mide en altura de lámina de agua y se expresa comunmente en milímetros. Los aparatos más usuales para medir la precipitación son el pluviógrafo y el pluviómetro.

El tipo de registro que se utiliza para recabar información de la precipitación depende de tres condiciones: localización, tipo de aparato y acceso al sitio donde se encuentre ubicado.

En algunas ocasiones la selección del tipo de registro depende de la utilización de la información, si por ejemplo se utiliza para la predicción de avenidas, los registros de la precipitación deben ser procesados lo más rápido posible, para lo cual conviene manejar los datos de la estación central, empleando registros en cintas magnéticas.

Basicamente existen dos tipos de registros

1. Los registros continuos, los cuales permiten dibujar los datos en papel.
2. Los registros discontinuos, denominados así debido a que la lectura o impresión de los datos se hace a intervalos de tiempo prefijados de acuerdo con el uso que se le da a la información. Estos registros pueden hacerse en papel impreso, cinta perforada o cinta magnética.

Para conocer la precipitación en alguna región del país se dispone aproximadamente de 3000 pluviómetros y 400 pluviógrafos, los cuales son operados por la Comisión Federal de Electricidad, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la Comisión Internacional de Límites y Aguas. Cada una de ellas publica boletines hidrológicos en los que resume la información recabada. La información se presenta en formas auxiliares, las cuales varían según la dependencia que la elabore y el uso que se le vaya a dar, como ya se mencionó anteriormente.

El estudio de frecuencias de lluvias es muy utilizado principalmente en hidrología en el estudio de predicción de tormentas, transporte de las mismas y su relación con escurrimientos, para el diseño de drenajes en caminos como en ciudades y aeropuertos.

El análisis de frecuencias de lluvia se aplica en forma directa a registros de pluviómetros si se estudian alturas de lluvias diarias y principalmente a pluviógrafos en donde se tiene un registro completo de todas las variables de las características fundamentales de la lluvia. Este análisis se puede hacer a áreas más extensas.

El proceso que se sigue en el análisis de lluvias puntuales es similar al análisis de gastos, sólo que en general se trabaja con series de datos excedentes anuales y con dos variables en lugar de una.

Estas dos variables comprenden las características que definen a una precipitación pluvial, que son su altura de lluvia y su duración.

Por lo anterior, para definir una cierta distribución de probabilidades de alguna de las dos variables, se deberá considerar constantes una de ellas para definir a la otra. A partir de un análisis de este tipo es factible correlacionar posteriormente las dos variables, involucradas sus frecuencias de incidencias.

B. ESCURRIMIENTO

El escurrimiento se define como el volumen de precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre, una vez que ha sido interceptada, sigue diversos caminos hasta llegar a una corriente. Conviene dividir estos caminos en tres clases.

1. Escurrimiento superficial.
2. Escurrimiento subsuperficial
3. Escurrimiento subterráneo

1. El escurrimiento superficial es aquel volumen de agua de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie de estudio y a la red de drenaje hasta salir de la cuenca. Se puede decir que su efecto sobre el escurrimiento total es directo y sólo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que ésta cese. La parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial se le denomina precipitación en exceso.

2. El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, pero se mueve lateralmente sobre el horizonte lateral del mismo. Esto puede ocurrir cuando exista un estrato impermeable paralelo a la superficie del suelo; su efecto puede ser inmediato o retardado, dependiendo de las características del suelo. En general, si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial; en caso contrario, se le considera como escurrimiento subterráneo.

3. El escurrimiento subterráneo es el que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez que éste se ha saturado. La contribución del escurrimiento subterráneo es muy lenta con respecto al superficial.

Para analizar el escurrimiento total, puede considerarse le compuesto por los escurrimientos directo y base. Este último proviene del agua subterránea, y el directo es el originado por el escurrimiento superficial.

El proceso de escurrimiento depende de las condiciones - existentes y de la cantidad de agua producida por la tormenta. De esta forma cuando llueve en una zona determinada:

1. El agua es interceptada por los objetos existentes en la zona, como arbustos, pastos, árboles y, en general, aquello - que impida al agua llegar al suelo.
2. Se infiltra en el suelo o llena las diferentes depresio-- nes de la superficie.

La primera de estas cantidades se denomina lluvia inter-- ceptada L , y aunque no es muy importante, puede disponer de la mayor parte de una lluvia ligera. La segunda cantidad se llama infiltración F ; se denomina capacidad de infiltración al máx-- imo volumen de agua que absorbe un suelo en determinadas con-- diciones. La última cantidad se designa almacenaje de depre-- sión, V_d ; posteriormente este almacenaje se evapora, o es - - empleado por la vegetación, pero no origina escurrimiento su-- perficial.

Después de que las depresiones del suelo han sido llena-- das, si la intensidad de lluvia excede a la capacidad de infil-- tración del suelo, la diferencia es la llamada lluvia en exce-- so, h_{pe} .

Dentro del estudio de datos hidrológicos, uno de los más usuales es el análisis de gastos máximos anuales, pues está re-- lacionado directamente con el diseño de vertedores de presas, capacidad de drenajes en caminos, obras de protección, encauza-- miento y de defensas en ríos, etc.

El análisis de gastos es costumbre realizarlo utilizando las máximas anuales, aunque en ocasiones se utilizan los exce--

dentés anuales.

El análisis de gastos máximos anuales consiste en la obtención de su distribución de frecuencias, para posteriormente - obtener a partir de ella el gasto de diseño para un cierto período de retorno.

Primeramente se obtienen los períodos de retorno ligados al registro disponible de gastos máximos anuales, para esto, los gastos máximos anuales se ordenan en forma decreciente - - asignándoles su número de orden y se determinan sus períodos - de retorno correspondientes. De esta forma, se tiene para cada gasto máximo anual registrado o excedente anual, sus períodos de retorno y por ende, su probabilidad de ocurrencia.

Conocida esta muestra de parejas de valores, se procede a determinar su distribución de probabilidad, seleccionando diversas distribuciones teóricas y probando cual es la más representativa de la muestra en estudio.

Determinada la distribución de frecuencias de los gastos máximos anuales que se esten analizando, se procede a valuar - el período de retorno asignado al diseño.

Obtenido el período de retorno de diseño, a partir de la distribución de gastos conocida, se obtiene el gasto máximo de diseño. Se debe tener en cuenta las limitaciones que implica una extrapolación cuando el período de retorno de diseño es - grande comparado con los años de registro disponibles.

C. REGISTROS HIDROLOGICOS

Los datos hidrológicos disponibles son generalmente pre-

sentados en orden cronológico. En general muchos de los datos originales de que se disponen, no tienen significancia práctica en el análisis de los mismos, debido a que usualmente el diseño hidrológico de un proyecto, es gobernado sólo por alguna o algunas condiciones críticas. Por esta razón generalmente se trabaja sólo con dos tipos de datos, conocidos como series de valores extremos y series de duración parcial.

La serie de valores extremos incluye sólo el valor más grande o más pequeño de los valores comprendidos en el registro, en un cierto intervalo constante de tiempo. Si el intervalo de tiempo es un año, la serie obtenida se le conoce como "serie anual", y si contiene los valores más grandes se le denomina serie de "máximos anuales"; si se refiere a los valores menores, se llama serie de "mínimos anuales". La serie de duración parcial constituye una serie de datos, los cuales se seleccionan de forma tal que su magnitud sea mayor que un cierto valor base, esto se escoge para que el número de valores en la serie sea igual al número de años de registro, la serie de datos resultante se le denomina "serie de excedentes anuales".

La selección de qué tipo de serie de datos debe usarse en un diseño, se basa en la aplicación que se le va a dar al análisis de los datos; los excedentes anuales se emplean si el segundo valor más grande en el año puede afectar en el diseño. La serie de máximas anuales se utiliza cuando en el diseño gobiernan las condiciones más críticas. En general estos tipos no difieren mucho, excepto en los valores bajos, y para efectos de comparación, conviene utilizar las dos series. Tradicionalmente los gastos se analizan como series de máximos anuales y los lluviosos como series de excedentes anuales.

1. Período de Retorno

En un análisis de frecuencias de datos hidrológicos el primer objetivo es determinar el intervalo de recurrencia o período de retorno.

Sea el evento "la altura máxima de precipitación en 24 hrs. en cualquier año es de 500 mm", es claro que en el experimento "ocurrencia de una tormenta", la probabilidad de que el resultado tome un valor exacto es nula, por lo que es necesario hablar más bien de intervalos, como por ejemplo que la precipitación mencionada tome un valor de 500 mm o mayor, un valor de 500 mm o menor, o bien que esté en el intervalo de 300 a 500 mm.

El número de años en que, en promedio, se presenta un evento como el anterior, se llama período de retorno, intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia y se acostumbra denotarlo como T.

Así, se dice que "el período de retorno de la precipitación máxima en 24 hrs. de 500 mm es de 25 años" cuando, en promedio, se presenta una precipitación de esa magnitud o mayor una vez cada 25 años. Nótese que esto no significa que dicha precipitación se presente exactamente una vez cada 25 años.

Por definición se tiene entonces la siguiente relación:

$$P(A) \cdot T_A = 1 \quad (2.1)$$

es decir

$$T = 1/P$$

donde T y P se refieren a cualquier evento A.

Asociado a eventos máximos anuales, se define como el tiempo - promedio entre la ocurrencia de dos eventos mayores o iguales a x_i . De acuerdo con esta definición, se puede estimar con la ecuación

$$Tr = \frac{1}{1-P(x_i)} = \frac{n+1}{m} \quad (2.2)$$

donde $P(x_i)$ es la probabilidad observada de la muestra, que se estima mediante la fórmula de Weibull (1)

$$P(x_i) = \frac{n+1-m}{m+1} \quad (2.3)$$

n es el número de datos y m es el número de orden que ocupa x_i en la serie de datos, si estos se ordenan de mayor a menor.

(1) Chow, V.T. "Hand book of applied hydrology" Ed. McGraw-Hill

III. ANALISIS DE REGRESION

El análisis de regresión es una de las herramientas más utilizadas dentro de la hidrología, ya que permite estimar datos faltantes de interés, obtener los registros en una estación relacionando los datos disponibles de otras estaciones adyacentes a ella, realizar estudios tales que relacionen dos o más variables hidrológicas, así como hacer estudios sobre la dependencia de las variables. Es por todo esto que es de gran utilidad el análisis de regresión dentro de la hidrología ya que además permite analizar problemas de múltiples variables aleatorias.

A. DEFINICIONES BASICAS

Cuando se tiene información acerca de dos o más variables relacionadas es natural buscar un modo de expresar la forma de las relaciones funcionales. Además, es deseable conocer la consistencia de la relación. Esto es, no se busca únicamente una función matemática que indique de qué manera están relacionadas las variables, si no que se desea saber también con qué precisión se puede predecir el valor de una variable si conocemos los valores de las variables asociadas. Como se sabe las técnicas utilizadas para lograr estos dos objetivos se conocen como métodos de regresión y métodos de correlación. Los métodos de regresión se usan para determinar la "mejor" relación funcional entre las variables, mientras que los métodos de correlación se utilizan para medir el grado de asociación de las distintas variables.

Como se mencionó en la Sección A del capítulo anterior una variable hidrológica se representa con registros continuos o registros discontinuos. El intervalo puede estar definido con base al tiempo, a la altura o al área. Dependiendo de ciertos criterios en un problema específico los registros con - - -

tínuos pueden considerarse discontinuos, es decir, en cada uno de los intervalos se puede utilizar el valor promedio, el valor máximo o bien el valor mínimo.

Hay que recordar también que toda información hidrológica es obtenida por medio de observaciones que por lo tanto están sujetas a los errores humanos y a los errores sistemáticos (debido a un mal funcionamiento de los aparatos de medición). La falta de homogeneidad en los datos es resultado de los mismos cambios del medio ambiente y no están dentro del control humano. Por ésto, es necesario tomar ciertas consideraciones, con respecto al manejo de la información al realizar los análisis estadísticos, así como también al momento de obtener las conclusiones finales.

Las relaciones que pueden existir entre las variables hidrológicas son aquellas que muestren las causas y los efectos - producidos en una estación hidrológica, como la relación precipitación - escurrimiento en una cuenca, o bien la correlación - que hay entre los efectos de estaciones colindantes, como la correlación de precipitaciones de dos estaciones.

B. ANALISIS DE REGRESION LINEAL SIMPLE

Es conveniente antes de proceder a un análisis de regresión lineal simple de una serie de parejas de datos, graficar éstas, con el fin de conocer la tendencia en los datos. La relación más sencilla entre dos variables es la lineal, es decir

$$Y = a + b X \quad (3.1)$$

en donde a y b son valores desconocidos que indican la ordenada en el origen y la pendiente de la función. Otras relaciones entre dos variables son:

$$Y = ae^{bX} \quad Y = aX^b \quad Y = a + b(1/X)$$

la tercera relación es lineal y las otras dos, tomando logaritmos en ambos miembros, pueden reducirse a forma lineal.

Una vez graficadas las parejas de valores de datos y conocida su tendencia se analizan para conocer cuál es la relación que mejor se ajusta a dicha tendencia. Por lo tanto, si la tendencia es una línea recta, a la cual se le denomina recta de regresión, para calcular su ecuación, se puede utilizar el método de mínimos cuadrados.

En la Figura 3.1 se muestra una serie de parejas de datos (X_i, Y_i) , la ecuación de la recta de regresión se puede escribir.

$$Y' = a' + b'X \quad (3.2)$$

la cual plantea el problema de calcular los valores de los parámetros a y b , tales que proporcionen el mejor ajuste de los datos. Para esto, como ya se mencionó se puede utilizar el método de mínimos cuadrados, el cuál se basa en que la suma de los errores al cuadrado sea mínima.

El error (e) para cada punto se obtiene como

$$e_i = Y_i - Y'_i = Y_i - (a' + b'X_i) \quad (3.3)$$

donde Y_i es el valor observado y Y_i' es el valor estimado u obtenido de la ecuación de la recta de regresión.

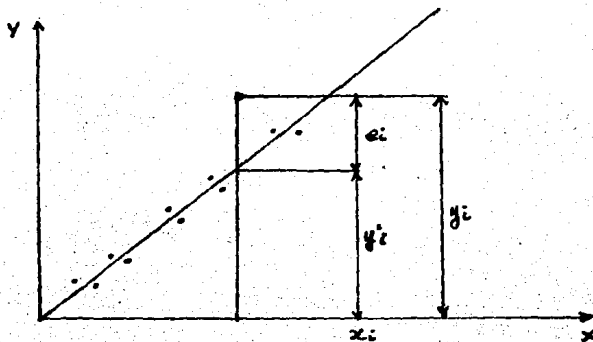


Figura 3.1

Representación esquemática del
Análisis de regresión lineal simple

Estos errores o residuos, respecto a la línea estimada serán positivos o negativos según el punto observado se encuentra por encima o por debajo de la línea. Si se elevan al cuadrado y se suman, la cantidad resultante será no nula y variará directamente con la dispersión de los puntos respecto a la línea.

El principio de los mínimos cuadrados es el de que los valores a' , b' deberán escogerse de tal forma que hagan a $\sum e^2$ lo más pequeño posible, entonces se obtiene el sistema clásico de ecuaciones normales (ver referencia 8)

$$\sum_{i=1}^n Y_i = a'n + b \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = a' \sum_{i=1}^n X_i + b' \sum_{i=1}^n X_i^2$$

Se tiene entonces dos sistemas de ecuaciones con dos incógnitas a' y b' que son los parámetros buscados. Así se obtiene que

$$b' = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (3.4)$$

y

$$a' = \bar{Y} - b' \bar{X} \quad (3.5)$$

donde

$$x_i = X_i - \bar{X}$$

$$y_i = Y_i - \bar{Y}$$

Conforme la pareja de valores (X_i, Y_i) tiendan a agruparse sobre una línea recta la varianza del error e_i tenderá a cero. La varianza en la regresión se puede escribir como:

$$Se^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 (1-r^2)}{n-2} \quad (3.6)$$

donde

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}$$

se define como el coeficiente de correlación lineal que proporciona una idea de qué tan agrupadas están la parejas de valores (X_i, Y_i) a la curva de ajuste, en este caso a una línea recta.

De la ecuación (3.6) se obtiene que si r es 1 o -1 se tiene que la varianza del error es cero, y por lo tanto todos los (X_i, Y_i) están sobre la línea recta.

Entonces conforme r tiende a cero, la correlación entre las variables X y Y disminuye. Si r es igual a cero implica que la varianza del error es igual a la varianza de la variable dependiente y por lo tanto no existe la correlación entre las variables X y Y .

De las ecuaciones (3.2) y (3.3) se observa que para cada valor estimado de la variable dependiente se tendrá un cierto error, en función de qué tan correlacionados estén las variables. Una medida de la variación de los puntos con respecto a la recta de regresión se puede deducir a partir del intervalo de confianza de $100(1-\alpha)$ que se define como:

$$(a' + b'X_0) \pm t_{\alpha/2} Se \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum x_i^2}\right)^{1/2} \quad (3.7)$$

donde $t_{\alpha/2}$ se obtiene de la distribución t-student con $(n-2)$ - grados de libertad y X_0 es un valor determinado.

C. ANALISIS DE REGRESION LINEAL MULTIPLE

Esta técnica se utiliza cuando la variable dependiente Y es función de dos o más variables independientes $X_2, X_3 \dots X_k$ es muy usada en hidrología para obtener relaciones como por ejemplo entre los gastos máximos y las características fisiográficas de la cuenca en estudio, para generación de escurrimiento, etc.

Se supone entonces que existe una relación lineal entre la variable Y y $(k - 1)$ variables explicativas X_2, X_3, \dots, X_k y un término de perturbación u . Si se tiene una muestra de n -- observaciones de Y y X se puede escribir:

$$Y_i = b_1 + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} + u_i \quad i = 1, \dots, n \quad (3.8)$$

Los coeficientes b y los parámetros de la distribución u son desconocidos y el problema que se presenta es obtener las estimaciones de estas incógnitas. Las n ecuaciones de la expresión anterior se pueden formular en notación matricial como:

$$y = Xb + u \quad (3.9)$$

Las fórmulas que se presentan a continuación se desarrollan a partir de la relación inicial (3.8), en que las variables se miden desde el origen cero. En este trabajo no se presenta el desarrollo de estas, debido a que no es el objetivo de éste, existe una extensa bibliografía acerca de ellas y sólo es de interés mostrar algunas de sus aplicaciones en Hidrología. Si el usuario en un momento dado desea revisar estos conceptos puede ver la referencia 8.

Utilizando el principio de mínimos cuadrados se obtiene -
que:

$$\hat{\underline{b}} = (\underline{X}'\underline{X})^{-1} \underline{X}'\underline{y} \quad (3.10)$$

La varianza del error se calcula como

$$Se^2 = \underline{y}'\underline{y} - \hat{\underline{b}}\underline{X}'\underline{y} \quad (3.11)$$

y el coeficiente de correlación lineal múltiple queda definido por:

$$R^2 = \frac{\underline{b}'\underline{X}'\underline{y} - (1/n) (\Sigma Y)^2}{\underline{y}'\underline{y} - (1/n) (\Sigma Y)^2}$$

IV. PROCEDIMIENTOS DE REGRESION APLICADOS A PROBLEMAS HIDROLOGICOS.

Como se ha dicho anteriormente una de las herramientas básicas dentro de la hidrología es el análisis de regresión, ya que es aplicable en varios modelos, por lo que el análisis de ellos podrá ser realizado con el mismo paquete con un cambio mínimo de las ecuaciones básicas, o de los datos del problema.

Así, realizando éste tipo de análisis se podría llegar por ejemplo, a obtener una idea del grado óptimo de una estructura - que depende por un lado de su costo, y por otro lado del costo - de las pérdidas asociadas con una falla. Es decir, puede ser - aceptable que un aeropuerto pequeño se inunde en promedio una - vez cada dos o tres años, si el costo de su sistema de drenaje - se compara con el de uno que sólo permita inundaciones una vez - cada 50 años en promedio, o más aún podría resultar totalmente - incosteable un sistema de drenaje con el que fuera posible ex- - traer cualquier cantidad de precipitación por grande que fuera, aún cuando tal drenaje fuera posible de construir.

Por otra parte, sería poco económico y poco ético aceptar - un riesgo alto de falla del vertedor de una presa grande situada aguas arriba de una ciudad importante, pues ésta falla tendría - consecuencias desastrosas, mientras que en el ejemplo del aero-- puerto una insuficiencia de drenaje no ocasionaría más que algu- nas molestias a los usuarios.

Sin embargo, al menos en lo que a teoría estadística res- - pecta, no es posible tener una seguridad del 100% de que no exis- ta ninguna avenida cuyas dimensiones hagan insuficiente el verte- dor de la presa, sino que sólo se puede hablar de aceptar un - - riesgo pequeño. La magnitud aceptable de este riesgo depende en tonces del balance entre el costo de la obra y el de los daños que se producirían al verificarse una falla, y para poder deter

minar cuál es el riesgo que se corre al proponer los parámetros de la obra, es necesario analizar los datos hidrológicos recabados en la zona de estudio.

En este capítulo se muestran algunas de las aplicaciones del análisis de regresión dentro de la hidrología, cabe señalar que éstas no son únicas pero son las de mayor aplicación debido a su utilidad.

A. CURVAS INTENSIDAD DE LLUVIA - DURACION - PERIODO DE RETORNO.

La obtención de esta curva permite tener un conocimiento de la variación de la intensidad o de la precipitación con respecto a su frecuencia de incidencia.

Existen básicamente dos métodos con los que se pueden determinar la relación entre las variables intensidad (i), duración (d) y período de retorno (T_n) para un sitio dado.

El primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología. El segundo método relaciona simultáneamente las tres variables en una familia de curvas de ecuación:

$$i = \frac{kT_n^m}{d^n} \quad (4.1)$$

donde

- i = intensidad de lluvia, en mm/h
- T_n = período de retorno, en años
- d = duración de la intensidad en minutos
- k, m, n = parámetros que se obtienen al realizar el ajuste de la ecuación (4.1) mediante un análisis de regresión lineal múltiple.

Si se toman logaritmos de la ecuación (4.1) se obtiene:

$$\log i = \log k + m \log T_n - n \log d$$

o bien

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad (4.2)$$

donde

$$\begin{aligned} y &= \log i & a_1 &= m & x_1 &= \log T_n \\ a_0 &= \log k & a_2 &= -n & x_2 &= \log d \end{aligned}$$

la ecuación (4.2) es la de una familia de líneas rectas de pendiente a_2 , ordenada al origen a_0 y espaciamento a_1 .

Si los datos registrados de i , d y T_n se dibujan en papel logarítmico, usualmente se agrupan en torno a líneas rectas. - A veces las líneas resultan ligeramente curvas, lo que puede - corregir agregando a las duraciones un valor constante c o bien en algunos casos, cuando la pendiente de las líneas varía mucho, dividiendo la línea para cada período de retorno en dos rectas. Si los datos se agrupan suficientemente en torno a líneas rectas, el valor de c puede tomarse como cero.

Al hacer un ajuste de regresión lineal múltiple de una serie de tres variables, se obtiene, como ya se definió en el capítulo anterior, un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\begin{aligned} \Sigma y &= N a_0 + a_1 \Sigma x_1 + a_2 \Sigma x_2 \\ \Sigma x_1 y &= a_0 \Sigma x_1 + a_1 \Sigma x_1^2 + a_2 \Sigma x_1 x_2 \\ \Sigma x_2 y &= a_0 \Sigma x_2 + a_1 \Sigma x_1 x_2 + a_2 \Sigma x_2^2 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Así calculando los coeficiente a_0 , a_1 y a_2 es posible estimar los parámetros m y n de la ecuación (4.1)

En la tabla 4.1 se muestran los valores de altura de precipitación máxima para diferentes duraciones, registrados en la estación "Santa Catarina, Tamaulipas". Con objeto de utilizarlos para estimar la posibilidad de inundación local en la zona, se requiere determinar la precipitación máxima que puede presentarse para diferentes duraciones y con diferentes probabilidades.

FECHA			DURACION, MIN					
AÑO	MES	DIA	5	10	20	45	80	120
1954	10	05	-	-	-	10.5	12.8	14.2
	10	08	8.0	9.0	9.3	-	-	-
1955	07	08	8.0	8.0	-	-	-	-
	11	02	-	8.0	14.5	20.5	34.0	48.0
1956	05	15	12.5	15.5	20.0	24.8	25.5	25.6
1957	09	21	7.5	11.0	14.3	19.0	25.7	29.0
1958					Sin datos			
1959	06	14	5.7	-	9.2	10.0	15.2	15.6
	08	13	-	6.8	-	-	-	-
1960	08	11	9.8	11.7	18.0	20.6	21.1	22.6
1961	07	10	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
1962	09	10	13.5	18.5	20.7	38.5	60.0	80.0
1963	05	17	8.0	10.0	11.5	-	-	-
	06	16	-	-	-	20.3	23.1	30.0
1964	05	31	10.0	17.5	18.8	18.5	10.2	19.8

Tabla 4.1

El primer paso es transformar las alternativas de precipitación de la tabla 4.1 a intensidades dividiendolas entre sus respectivas duraciones, mediante la ecuación

$$i = \frac{h_p(60)}{d} \quad (4.4)$$

donde i = intensidad de lluvia, en mm/h.

h_p = altura de precipitación

d = duración, en minutos

como se muestra en la tabla 4.2

AÑO	DURACIONES, MIN.					
	5	10	20	45	80	120
1954	96	54	28	14	10	7
1955	96	48	44	27	26	24
1956	150	93	60	33	19	13
1957	90	66	43	25	19	15
1959	68	41	28	13	11	8
1960	118	70	54	27	16	11
1961	85	43	21	9	5	4
1962	162	111	62	51	45	40
1963	96	60	35	27	17	15
1964	120	105	53	25	14	10

Intensidades en mm/h.

Tabla 4.2

Una vez transformados los datos a intensidades, es necesario asignar a cada uno un período de retorno de acuerdo con la ecuación para máximos anuales.

$$T_n = \frac{n + 1}{m}$$

En la Tabla (4.3) se han ordenado los datos para cada duración de mayor a menor y se les ha asignado un período de retorno, su gráfica se muestra en la figura 4.1, con símbolos

Número de Orden	T_r años	Duración, Min.					
		5	10	20	45	80	120
1	11.0	162	111	62	51	45	40
2	5.5	150	105	60	33	26	24
3	3.67	120	93	54	27	19	15
4	2.75	118	70	53	27	19	15
5	2.20	96	66	44	27	17	13
6	1.83	96	60	43	25	16	11
7	1.57	96	54	35	25	14	10
8	1.38	90	48	28	14	11	8
9	1.22	85	43	28	13	10	7
10	1.10	68	41	20	9	5	4

Intensidades en mm/h.

Tabla 4.3

Con éstos datos se va a calcular mediante un análisis de regresión múltiple considerando como se muestra en la ecuación (4.2) las siguientes variables

$$\begin{aligned}
 y &= \log I_m & m &= 1, \dots, 60 \\
 x_1 &= \log T_{r_j} & j &= 1, \dots, 10 \\
 x_2 &= \log d_k & k &= 1, \dots, 6
 \end{aligned}$$

con lo que se obtendría una matriz X de 60 x 3 de términos independientes y un vector columna y de 60 posiciones, los cálculos detallados no se muestran debido a su extensión por lo que sólo se presentan los resultados.

Así se tiene:

$$a_0 = 2.274 ; a_1 = 0.574 ; a_2 = - 0.683$$

de los cuales se calculan los antilogaritmos correspondientes k , m y ℓ .

$$k = 187.7720 \quad m = 0.5736 \quad y \quad n = 0.6828$$

por lo que la ecuación (4.1) quedaría expresada como:

$$i = \frac{187.7720 T^x (0.5736)}{d^{0.6828}}$$

con un coeficiente de correlación de 0.94 por lo que las variables están altamente correlacionadas.

En las figuras (4.1) se muestran las curvas ajustadas con la ecuación obtenida, así como también los puntos observados en los períodos correspondientes a 11, 2.2 y 1.1 años.

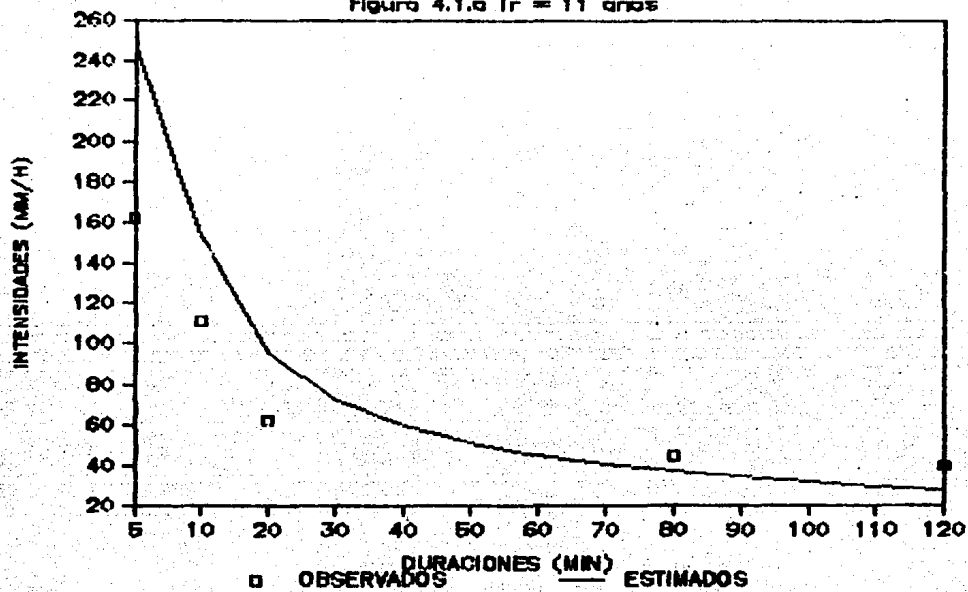
Obteniéndose que la varianza del error es:

$$\begin{aligned} Se^2 &= \underline{y'y} - \underline{\hat{b}X'y} = 146.1309 - 145.636 \\ &= 0.495 \end{aligned}$$

y finalmente en la tabla 4.4 se muestra la tabla de predicción para los mismos períodos de retorno. Se estima que un análisis manual de éste tipo de problemas tomaría alrededor de dos días completos de un ingeniero de experiencia media, sin tomar en cuenta la precisión de resultados y el tiempo de graficación de las curvas.

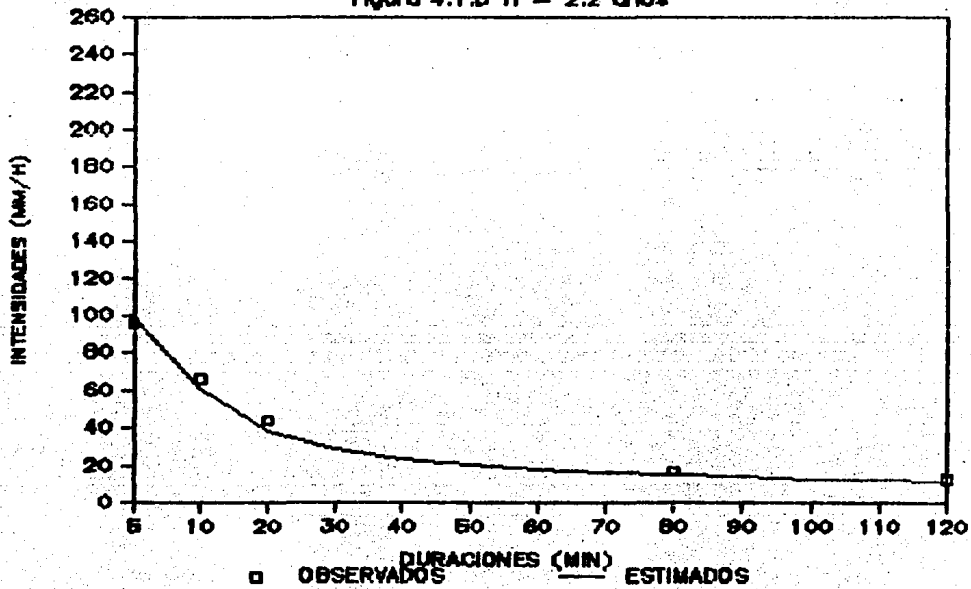
CURVA I-D-Tr

Figura 4.1.a Tr = 11 años



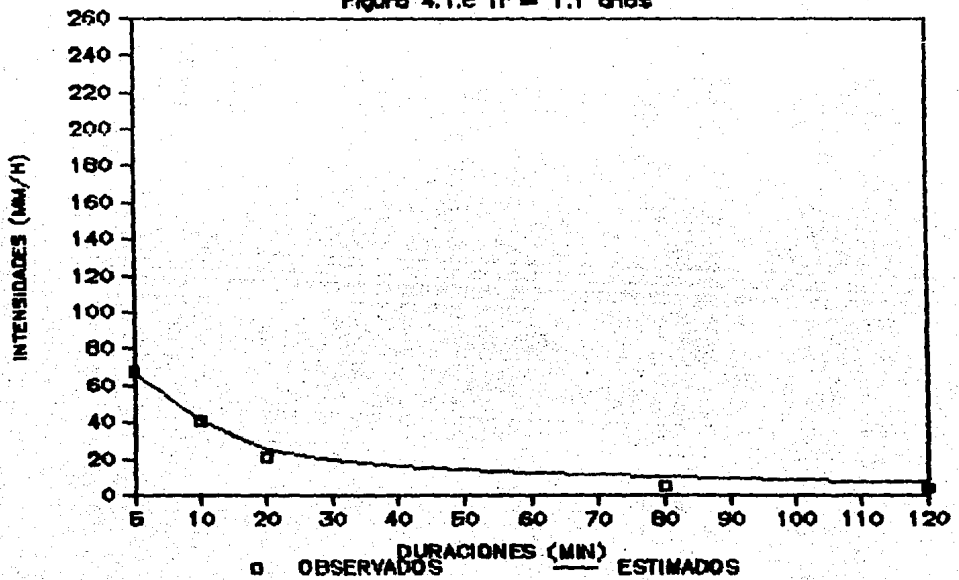
CURVA I-D-Tr

Figura 4.1.b Tr = 2.2 años



CURVA I-D-Tr

Figura 4.1.c Tr = 1.1 años



T _n Años	Duraciones, Min.					
	5	10	20	45	80	120
11.0	247.57	154.22	96.07	55.25	37.28	28.27
2.2	98.35	61.27	38.17	21.94	14.81	11.23
1.1	66.09	41.17	25.65	14.74	9.95	7.55

Tabla de Intensidades Estimadas en mm/h.

Tabla 4.4

B. GASTOS MAXIMOS

Como se mencionó en el Capítulo I de este trabajo uno de los análisis más usuales dentro de la hidrología corresponde al de gastos máximos ya sean anuales o bien mensuales. Los gastos máximos anuales se analizan mediante un modelo de regresión múltiple y los mensuales con un modelo de regresión simple. Debido a su gran aplicación dentro de la hidrología existen una infinidad de relaciones funcionales, sin embargo, éste trabajo se centrará a las que sean más usuales.

B.1 GASTOS MEDIOS MENSUALES

En la tabla 4.5, se proporcionan los gastos medios mensuales aforados por estaciones hidrométricas sobre una corriente localizada en el límite de los Estados de Tabasco y Chiapas dentro de la cuenca del Río Grijalva durante el año de 1979. Se desea obtener, la ecuación que relaciona dichos gastos, así como el gasto medio esperado en el Río Mezcapala cuando se presente en el Río Grijalva un gasto medio de 3,500 m³/seg.

Generalmente esto se propone como una ecuación del tipo:

$$y = a + bx \quad (4.5)$$

asignando a los gastos las variables:

y = variable dependiente a la estación Reforma del Río Mezcapala.

x = variable independiente a la estación Malpaso II sobre el Río Grijalva.

Orden	1979 mes	Río Mezcapala QM m ³ /seg.	Río Grijalva QM m ³ /seg.
1	Enero	321.08	175.97
2	Febrero	222.81	75.83
3	Marzo	155.41	45.94
4	Abril	274.58	77.57
5	Mayo	431.65	131.18
6	Junio	446.52	136.05
7	Julio	456.84	171.13
8	Agosto	1270.04	475.75
9	Septiembre	2089.29	897.42
10	Octubre	1618.41	710.58
11	Noviembre	431.72	268.30
12	Diciembre	509.33	224.12

Gastos medios mensuales aforados durante 1979

Tabla 4.5

Se calculan los parámetros a y b , obteniendo que:

$$a = 47.4642$$

$$b = 2.2591$$

Por tanto, la ecuación de la recta de regresión que proporciona el mejor ajuste entre los valores de los gastos medios mensuales en los Ríos Grijalva (x) y Mezcapala (y) resulta:

$$y = 47.4642 + 2.2591x$$

siendo su coeficiente de correlación

$$r = 0.98707$$

Para conocer el gasto medio que circula por el Río Mezcapala, cuando aguas abajo en el Río Grijalva se presentó un gasto - de 3,500 m³/seg, de la ecuación de la recta de regresión se tiene que si:

$$x = 3\ 500$$

entonces

$$y = 47.4642 + 2.2591 (3\ 500) = 7,954.314$$

que resultaría el gasto medio en el Río Mezcapala, obtenido por la recta de regresión.

Considerando para valuar el intervalo de confianza de la predicción un nivel de significancia de: 0.95, ($\alpha = 0.05$) y $\alpha/2 = 0.025$ y grados de libertad $v = n - 2 = 12 - 2 = 10$ de los valores tabulados de la distribución t se deduce:

$$t_{\alpha/2} = t_{0.025} = 2.228$$

siendo la varianza del error igual a:

$$Se^2 = \Sigma y^2 (1 - r^2) / (n - 2) = 9889820.800 (1 - .98707) = 127,895.389$$

$$Se = 357.5966$$

Entonces

$$2.228 (357.5966) \left(1 + \frac{1}{12} + \frac{12 (3500 - 282.487)^2}{9733214.492} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$= 2964.7081$$

por lo tanto se podría afirmar que el gasto medio más probable ($p = 0.95$) esperado en la región Reforma cuando se presentan - 3 500 m³/seg. en la estación Malpaso II sería, con su intervalo de confianza de:

$$y = 7954.214 \pm 2964.7081$$

así

$$Q \text{ med máximo} = 7954.314 + 2964.7081 = 10,919.0221$$

$$Q \text{ med mínimo} = 7954.314 - 2964.7081 = 4989.6059$$

La gráfica obtenida de los puntos observados y la ecuación de ajuste se muestra en la figura 4.2

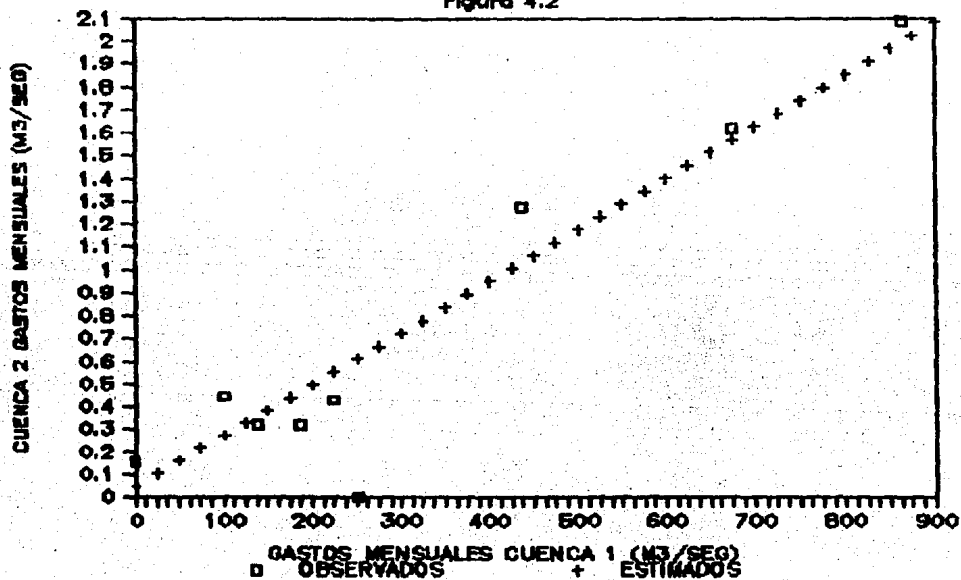
B.2 GASTOS MAXIMOS ANUALES

A partir del análisis de las características de las subcuencas aforadas más representativas correspondientes a la cuenca del Río Pánuco, se desea tener una relación que permita conocer el gasto para diversos períodos de retorno.

Las cuencas que se seleccionaron para el análisis se muestran en la tabla 4.6. La información de estaciones, gastos máximos y año de registros se tomaron del "Boletín Hidrológico - No. 32, Tomo I" editado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

CURVA GASTOS MENSUALES

Figura 4.2



cos, a las cuales se les calculó sus características más importantes, relacionando éstas con el gasto máximo registrado.

Corriente Río	Estación Nombre	Area km ²	Pendiente	Gastos m ³ /seg.
Tampaón	El Pujal	23 373	0.0076	5 410
Moctezuma	Pte. Macintla	17 238	0.0077	5 233
Amajac	Temamatla	6 884	0.0135	4 037
Tempoal	Tempoal	5 275	0.0139	3 295
Axtla	Requetemú	661	0.0792	2 696

Características de las subcuencas Seleccionadas para el Análisis

Tabla 4.6

Después de revisar varias ecuaciones, se propuso una ecuación del tipo

$$Q_{max} = aA^bS^cT^d \quad (4.6)$$

donde Q_{max} = Gasto máximo en m^3/seg .

A = Area, en km^2

S = Pendiente

T = Período de retorno, en años

a, b, c, d = parámetros por determinar

Aunque lógicamente al hacer intervenir en el problema sólo cinco subcuencas, para procesar la ecuación planteada, se tiene muy poca información para realizar el ajuste de los parámetros y utilizarlos para hacer inferencia. Por claridad, se prefirió sacrificar información y trabajar solamente con cinco subcuencas. Hecha la aclaración anterior, como la ecuación anterior representa una relación no lineal, se hace la transformación necesaria para aplicar el procedimiento visto ya anteriormente. Tomando logaritmos decimales se tiene que:

$$\log Q_{max} = \log a + b \log A + c \log S + d \log T$$

es decir si

$$y = \log Q_{max}$$

$$a_0 = \log a$$

$$a_1 = b$$

$$a_2 = c$$

$$a_3 = d$$

$$x_1 = \log A$$

$$x_2 = \log S$$

$$x_3 = \log T$$

Se obtiene la relación lineal:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3$$

con la cual y procesando la información recabada de las cinco - subcuencas se obtiene:

$$\begin{aligned} a_0 &= 2.703 = \log a \\ a_1 &= 0.055 = b \\ a_2 &= -0.245 = c \\ a_3 &= 0.681 = d \end{aligned}$$

siendo su coeficiente de correlación 0.97

finalmente la ecuación buscada es:

$$\log Q_{max} = \log a + b \log A + c \log S + d \log T$$

sustituyendo se tiene:

$$\log Q_{max} = 2.703 + 0.055 \log A - 0.245 \log S + 0.681 \log T$$

entonces

$$Q_{max} = 505.135 (A^{0.055}) (S^{-0.245}) (T^{0.680})$$

la varianza del error se define como:

$$Se^2 = \underline{y'y} - \hat{\underline{bX'y}}$$

donde $\hat{\underline{bX'y}} = a_0 \sum y_i + a_1 \sum yx_1 + a_2 \sum yx_2 + a_3 \sum yx_3 + \dots + a_n \sum yx_n$

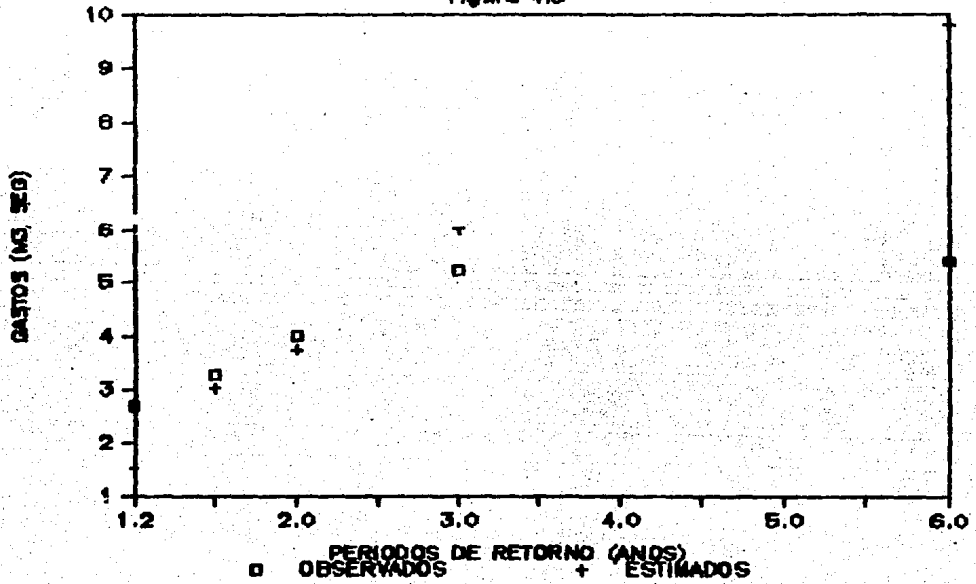
$$\hat{\underline{bX'y}} = 64.913$$

por otro lado:

$$\underline{y'y} = 64.9147$$

CURVA GASTOS ANUALES

Figura 4.3



sustituyendo se tiene:

$$Se^2 = .002$$

y la desviación estándar del error

$$Se = .041$$

siendo $S = 0.0071$ el gasto máximo para el Río Pánuco asociado a un período de retorno $T_R = 25$ años, resultaría según la ecuación obtenida en la estación de Las Adjuntas $A = 61,063.00$

$$Q = 27,710 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

C. CURVA ELEVACIONES - GASTO

La curva elevaciones - gasto relaciona el gasto con el nivel del agua en la sección del río considerada.

Si, como ocurre en la mayoría de los casos, la sección de medición no es una sección de control, la relación tirantes---gasto no es única, de tal manera que al pasar una avenida ocurre al fenómeno que se ejemplifica en la figura 4.4

La función por ajustar para estas curvas se define como:

$$Q = c H^n \quad (4.7)$$

donde

Q = gasto en $\text{m}^3/\text{seg.}$

H = nivel de agua en m.

c, n = parámetros que deben ajustarse

En la tabla 4.7 se presentan los gastos máximos mensuales - aforados y su correspondiente valor sobre la escala de referencia del Río Mezcapala, Estación Las Peñitas, en el Estado de Chiapas correspondiente a la cuenca del Río Grijalva. El cero de la esca la se encuentra en la cota +50.00 respecto al banco del nivel. - Se desea encontrar la ecuación que mejor relacione dichos valores, su coeficiente de correlación, así como el gasto máximo mensual - esperado en la corriente cuando se tenga una lectura de escala de 6.80 m.

Utilizando la ecuación (4.7) para poder realizar el análisis de regresión múltiple será necesario transformar dicha ecua ción para obtener así una relación lineal, así tomando logaritmos si tiene:

$$\log Q = \log C + n \log H$$

considerando

$$y = \log Q$$

$$a_0 = \log C$$

$$a_1 = n$$

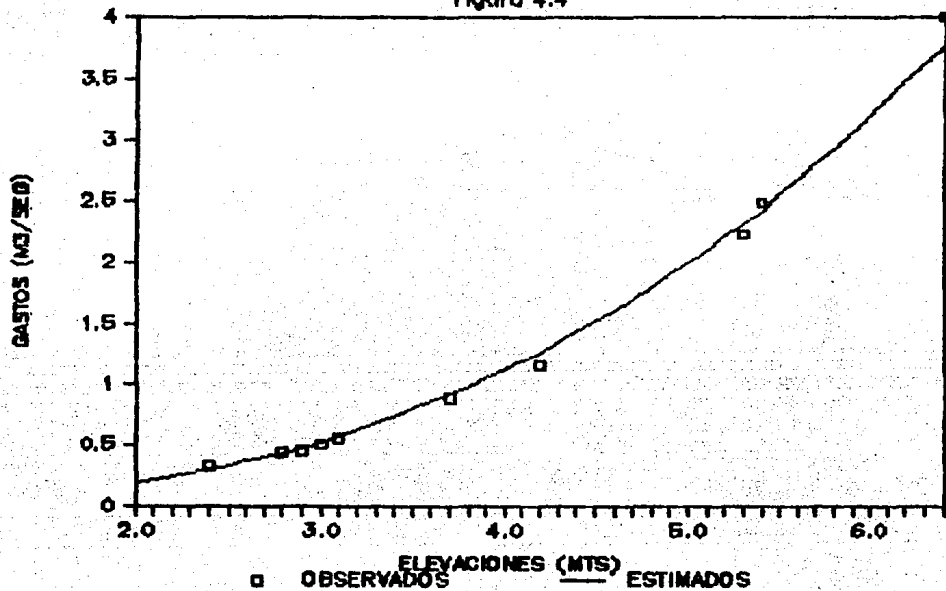
$$x_1 = \log H$$

se obtiene

$$y = a_0 + a_1 x_1$$

CURVA ELEVACION-GASTOS

Figura 4.4



Orden	Mes	Q_{max} (m ³ /seg.)	Lectura en la Escala de Tirantes respecto al cero (m)
1	Enero	1 156.000	4.16
2	Febrero	445.740	2.75
3	Marzo	325.450	2.41
4	Abril	457.000	2.86
5	Mayo	506.500	2.97
6	Junio	560.500	3.09
7	Julio	884.500	3.69
8	Agosto	2 230.000	5.30
9	Septiembre	4 000.000	6.40
10	Octubre	3 765.000	6.42
11	Noviembre	2 490.000	5.39
12	Diciembre	944.000	3.68

Gastos máximos mensuales en la escala correspondiente al Río - Mezcapala en la estación La Peñita.

Tabla 4.7

Calculando el valor de los parámetros se tiene que:

$$a_0 = 1.50$$

$$a_1 = 2.57$$

de donde sustituyendo en la ecuación anterior

$$y = 1.50 + 2.57 x_1$$

es decir $\log C = 1.50$

$$n = 2.57$$

Sacando antilogaritmos y sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación (4.7) se tiene:

$$Q = 31.9208 H^{2.57}$$

con su coeficiente de correlación de 0.998

Entonces si la elevación es de 6.80 mts. sustituyendo en la ecuación anterior se tiene un gasto de 4,408.70 m³/seg.

Si se elige para valuar el error un nivel de 0.95, $\alpha = 0.05$ y $\frac{\alpha}{2} = 0.025$ los grados de libertad $v = n - 2 = 10$ de los valores - tabulados para la distribución t se obtiene:

$$t \frac{\alpha}{2} = t_{0.025} = 2.228$$

la varianza del error es:

$$Se^2 = 0.0005970$$

y la desviación estándar $Se = 0.0244$

Si la elevación es de 6.80 mts, se obtiene $x_0 = \log (6.80) = 0.8325$ se tiene:

$$= (2.228)(0.0244) \left(1 + \frac{1}{12} + \frac{12 (0.8325 - 0.588)^2}{2.90} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 0.0723$$

por tanto se tiene que el valor del gasto máximo mensual más probable que se presenta en el Río Mexcapala cuando la lectura es de 6.8, se obtiene directamente de las ecuaciones encontradas, despreciando el error, sin que ésto afecte a la predicción en forma significativa, así cuando

$$h = 6.80 \text{ m. se tiene } Q = 4\,408 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Lo anterior es de esperarse pues el coeficiente de correlación prácticamente tiene el valor de la unidad y esto se visualiza claramente en la figura 4.4

D. RELACION ENTRE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO

La información acerca de escurrimiento en una sección de interés sobre una corriente es necesaria para diseñar obras de aprovechamiento o de protección. En muchas ocasiones, el diseñador se encuentra con poca o ninguna información de mediciones directas que le permitan conocer la historia de los escurrimientos en el sitio de interés, por lo que tiene que recurrir a estimarlos a partir de los datos de precipitación. Además, cuando la cuenca ha estado o estará sujeta a cambios de importancia (por ejemplo, por la construcción de obras de almacenamiento, urbanización y desforestación en partes de la cuenca, etc), estos cambios modifican el régimen del escurrimiento, por lo que su registro histórico no representa correctamente el comportamiento futuro de la corriente.

En esos casos, es necesario contar con un modelo que permita estimar los escurrimientos a partir de las características de la lluvia, tomando en cuenta las condiciones de la cuenca.

La relación entre la lluvia y el escurrimiento es compleja; depende por una parte de las características de la cuenca y por otro lado de la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo.

Debido a lo complejo del fenómeno y a que la cantidad y calidad de la información disponible varía de un problema a otro, se ha desarrollado una gran cantidad de métodos para relacionar la lluvia con el escurrimiento. Dichos métodos van desde simples fórmulas empíricas, hasta modelos extremadamente detallados basados en modelos de física.

Como existe una gran variedad de modelos precipitación - escurrimiento, conviene agruparlos en diferentes categorías a efecto de escoger el más adecuado para cada caso en particular. Una manera de clasificarlos es de acuerdo con la información que se requiere para su evaluación de esta manera, los modelos de precipitación - escurrimiento se dividen en tres grandes grupos:

- a. Modelos que requieren únicamente las principales características físicas promedio de la cuenca en estudio.
- b. Modelos para los que es necesario contar con registros simultáneos de precipitación y escurrimiento.
- c. Modelos para los que se debe disponer (además de los registros simultáneos de precipitación y escurrimiento) de las características físicas detalladas de la cuenca.

Al primer grupo corresponden las fórmulas empíricas las que han sido obtenidas relacionando mediciones simultáneas de lluvia y de escurrimiento con las características de las cuencas.

El segundo grupo se conoce como modelos de caja negra; se calibran a partir de los datos de ingreso y salida de la cuenca sin tomar en cuenta explícitamente sus características físicas.

Al tercer grupo pertenecen los modelos que, a partir de la información detallada de las características físicas de la cuenca y de la aplicación de las fórmulas fundamentales de la hidráulica, pretenden simular el proceso de escurrimiento de todas las cuencas.

Aunque los modelos del tercer grupo son los más completos, ya que ofrecen un conocimiento detallado del proceso precipitación - escurrimiento, su aplicación se restringe a cuencas donde se dispone de una amplia información de características topográficas.

ficas y geológicas, uso del suelo, etc, y se conoce como precipitación la distribución de la lluvia en la cuenca y en el tiempo. Cuando no se tiene la información necesaria, no es recomendable utilizar éste tipo de métodos.

En éste trabajo sólo se considera el denominado como Fórmula Racional debido a su gran aplicación y a su relación con las curvas I-D-Tr expuestas ya anteriormente. Este método pertenece al primer grupo, es decir, a los modelos empíricos.

Es de los más antiguos (1889), considera que el gasto máximo se alcanza cuando la precipitación se mantiene con una intensidad constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración. La fórmula racional es:

$$Q_p = 0.278 C i A \quad (4.8)$$

donde

- Q_p gasto máximo o poco, en m^3/seg .
- C coeficiente de escurrimiento
- i intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h .
- A Area de la cuenca, en km^2

Para estimar el tiempo de concentración se utiliza la fórmula de Kerpish

$$t_c = \frac{0.86 L^3}{H} + 0.325$$

donde

- t_c tiempo de concentración, en hrs.

L longitud del cauce principal, en Km.

H desnivel entre los extremos del cauce principal, en mts.

El coeficiente de escurrimiento supone que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de precipitación, de tal manera que el volumen escurrido, VED, es igual al producto del volumen llovido, VLL, por el coeficiente CE llamado coeficiente de escurrimiento, es decir,

$$CE = \frac{VED}{VLL}$$

o bien se determina en base a las tablas ya conocidas por el hidrólogo donde se muestra el tipo de zona urbana y su correspondiente coeficiente de escurrimiento mínimo y máximo como lo muestra la tabla 4.8

Con los datos que se muestran en la tabla 4.9 se desea determinar el gasto de diseño para un período de retorno de 10 años a la salida de una cuenca con las siguientes características:

Consta de dos áreas, $A_1 = 1.5 \text{ km}^2$ con un tiempo de concentración $t_1 = 15 \text{ min.}$ siendo una zona suburbana y la segunda $A_2 = 2.0 \text{ km}^2$ con un tiempo de concentración $t_2 = 5 \text{ min.}$ siendo una zona residencial.

El tiempo de concentración total es

$$t_c = t_1 + t_2 = 20 \text{ min.}$$

Tipo de Area Drenada	Coeficiente de Escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
ZONAS COMERCIALES		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares (espaciados)	0.40	0.60
Multifamiliares (compactos)	0.60	0.75
Semiurbanos	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES	0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO	0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL	0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS	0.10	0.30
CALLES		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
ESTACIONAMIENTOS	0.75	0.85
TECHADOS	0.75	0.95
PRADERAS		
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02)	0.05	0.10
Suelos arenosos pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02 - 0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

Tabla 4.8 *Valores del Coeficiente de Escurrimiento

*Manual de Diseño de Obras Civiles
CFE Tomo A 1.5

Número de Orden	DURACION, MIN.					
	5	10	20	45	80	120
1	13.5	19.0	29.0	55.5	66.8	80.0
2	12.5	18.5	28.5	47.5	60.0	67.8
3	12.4	18.3	26.7	38.5	55.2	56.0
4	11.0	17.5	25.9	35.5	38.0	48.0
5	10.7	16.0	20.7	30.4	36.4	46.0
6	10.5	15.5	20.0	30.0	34.0	44.6
7	10.0	15.5	18.0	28.2	34.0	38.6
8	10.0	12.7	18.0	26.0	32.3	38.0
9	10.0	11.7	17.8	24.8	32.1	36.4
10	10.0	11.3	17.1	23.5	32.0	35.8
11	9.8	11.0	16.2	23.0	29.2	32.2
12	8.5	10.7	16.2	20.6	28.7	30.0
13	8.2	10.6	16.1	20.5	25.7	29.2
14	8.0	10.3	15.0	20.3	25.5	29.0
15	8.0	10.0	14.5	20.0	23.1	26.2
16	8.0	10.0	14.4	19.0	22.3	25.6
17	8.0	9.7	14.3	18.5	21.1	25.2
18	7.7	9.6	14.2	18.5	19.5	22.6
19	7.5	9.5	11.7	17.3	19.2	19.8
20	7.2	9.0	11.5	15.8	15.9	15.8
21	7.1	8.7	10.5	10.5	15.2	15.6
22	6.6	8.0	9.3	10.5	10.8	14.2
23	6.4	7.8	9.2	10.0	10.5	13.8
24	5.7	7.1	9.0	9.5	10.0	11.8
25	5.5	6.8	7.1	7.1	8.7	9.4
26	4.8	4.8	6.1	6.3	7.1	7.2

Tabla 4.9 Intensidades de Lluvia

De la tabla 4.8 se obtienen los valores para calcular el coeficiente de escurrimiento C, es decir

$$\text{Zona suburbana } C_1 = 0.3$$

$$\text{Zona residencial } C_2 = 0.7$$

$$\bar{C} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2}{A_1 + A_2} = 0.53$$

Se calculan las curvas I-D-T obteniéndose la siguiente ecuación

$$i = \frac{4.8756 T_n^{0.6626}}{d^{-0.3590}}$$

Así con el tiempo de concentración de 20 minutos y el período de retorno de 10 años, se calcula la intensidad de lluvia sustituyendo en la ecuación anterior, es decir

$$i = \frac{4.8756 (10)^{0.6626}}{20^{-0.3590}} = 65.732$$

Entonces, sustituyendo en la ecuación (4.8)

$$\begin{aligned} Q_p &= 0.278 C i A \\ &= 0.278 (0.53) (65.73) (3.5) \\ &= 33.81 \text{ m}^3/\text{seg.} \end{aligned}$$

Como se hizo mención anteriormente el cálculo de este tipo de análisis realizándolo manualmente, tomaría muchas horas hombre, aumentaría la posibilidad de error y se tendría menor precisión que con el uso del programa, adicionalmente éste permite estudiar diferentes alternativas con un costo menor.

Los resultados numéricos obtenidos son utilizados para diversos proyectos de ingeniería entre los cuales se pueden citar el diseño de drenajes en poblaciones, estudios de cuencas para control y abastecimiento de aguas para riego y consumo, estudios de factibilidad y diseño de presas, localización de aeropuertos entre otros.

Los cálculos anteriores se muestran en el anexo 2. Las gráficas que se presentan fueron obtenidas por medio del paquete LOTUS.

V. DESARROLLO DEL PROGRAMA 'HIDRO'

Una vez que se han descrito en los capítulos anteriores algunas de las relaciones hidrológicas con el análisis de regresión, se procede a desarrollar el programa en la microcomputadora.

El programa se desarrolló en lenguaje FORTRAN debido a que es uno de los lenguajes más conocidos por los programadores y - además por la facilidad de su uso con respecto a los algoritmos matemáticos comparado a otros lenguajes como el BASIC o el COBOL que son de mayor utilidad para programas administrativos.

Todos los problemas hidrológicos expuestos en el capítulo anterior tienen un mismo algoritmo de solución, como el que se muestra en la figura 5.1. El primer paso es el de la lectura de datos, para identificar cuál es el problema que se va a procesar; dependiendo de esto, se le asigna la función de distribución correspondiente, para así procesar y analizar la información dada mediante regresión lineal simple o múltiple y obtener la función de mejor ajuste. Finalmente, en cualquier opción es posible obtener las predicciones deseadas por el usuario; así - con este algoritmo es posible ampliar las opciones del programa 'HIDRO' de una forma sencilla y rápida, ya que basta conocer la función de distribución de los datos hidrológicos por estudiar y las variables que incluyen en ellos para poder integrar la - nueva opción dentro del programa.

De esta forma, con el uso de este programa, es posible apresurar el proceso eliminando las complicaciones de cálculo y reducir la probabilidad de error humano. También debido a que es difícil, (como ya se mencionó anteriormente) que los problemas hidrológicos tengan una relación funcional fija, debido a la aleatoriedad de las variables que influyen en ellos, se puede 'jugar' con varios tipos de funciones, en las que intervengan las varia-

bles deseadas y lograr con ello una mejor ecuación ajustada que la que se presenta en este trabajo. Cabe señalar aquí que las ecuaciones expuestas a lo largo de este trabajo son las de uso más frecuente y las más representativas, de los problemas hidrológicos expuestos, sin embargo, no tienen ninguna explicación teórica, ya que sólo han sido la conclusión de experiencias adquiridas a lo largo del tiempo y en algunos casos puede ser que se logre una mejor relación de las variables realizando otro tipo de transformación.

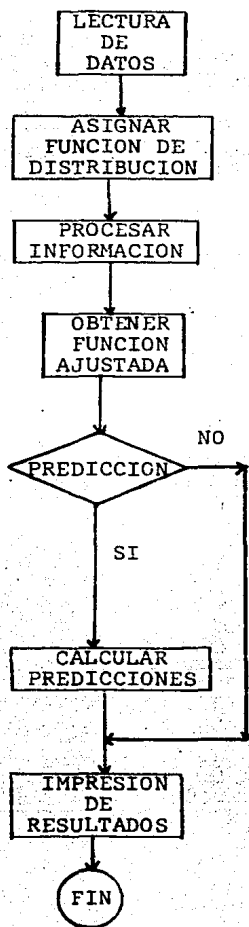


Figura 5.1 Algoritmo General para la solución de un Problema Hidrológico en el Programa 'HIDRØ'

A. CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA

Con las ecuaciones expuestas en el capítulo anterior, el programa considera las siguientes opciones:

1. Cálculo de las curvas de intensidad de lluvia - duración - período de retorno.
2. Gastos máximos anuales o mensuales.
3. Cálculo de la curva elevación - gastos.
4. Cálculo de la relación lluvia - escurrimiento con el método racional.

La forma de introducir los datos de entrada dependerá de la opción elegida y se describirá detalladamente en el inciso D del presente capítulo, también la información de salida dependerá de la opción y su descripción se presenta en el inciso E.

A continuación se presentan los alcances específicos de cada una de las opciones mencionadas.

A.1 Curvas I- D - Th

Es conveniente recordar que el análisis de estas curvas se realiza por medio de un análisis de regresión lineal múltiple mediante una transformación logarítmica de la ecuación.

$$i = \frac{K T h^m}{d^n}$$

Con el uso del programa 'HIDRØ' es posible manejar hasta diez duraciones, considerar alturas y/o intensidades de precipitación hasta en cien años de registro y calcular hasta cien períodos de

retorno por medio de series de máximos anuales o bien por series de excedentes anuales, es decir:

$$Tn = \frac{n + 1}{m} \quad \text{para series de máximos anuales, o}$$

$$Tn = \frac{n}{m} \quad \text{para series de excedentes anuales}$$

Por último con la ecuación de mejor ajuste obtenida, es posible calcular la predicción hasta en cien periodos de retorno.

A.2 Gastos máximos

En esta opción se puede escoger entre obtener la ecuación de mejor ajuste tanto para gastos máximos mensuales como para gastos máximos anuales, recordando que para los primeros se realiza un análisis de regresión simple y para los segundos un análisis de regresión múltiple, ambos consideran hasta cien periodos de registro, teniendo también la opción de usar series de máximos anuales o de excedentes anuales. Finalmente también se pueden obtener las predicciones de hasta cien periodos de registro, en el caso de gastos máximos anuales, o cuando se maneje la opción de gastos máximos mensuales se podrán predecir hasta cien gastos con la ecuación obtenida por el programa 'HIDRØ'

A.3 Curva elevación gastos

Recordando que la ecuación

$$Q = ch^n$$

El programa 'HIDRØ' la transforma en una ecuación del tipo:

$$Y = a_0 + a_1 x_1 ; \text{ con } c = a_0 \text{ y } n = a_1$$

Mediante un análisis de regresión simple, es posible determinar la recta de mejor ajuste, de hasta cien períodos de registro, haciendo posible también obtener en un momento dado la predicción de cien gastos, conociendo sólo las elevaciones.

A.4 Relación lluvia - escurrimiento

Como se mencionó en el capítulo IV, existen varios métodos para obtener este tipo de relación, sin embargo, en este programa sólo se considera el método racional americano, debido a su relación con las curvas $I - D - T_R$, teniendo entonces las mismas características ya mencionadas en el punto A.1.

B. LIMITACIONES

El programa 'HIDRØ' considera en general las siguientes restricciones para su uso:

1. Calcular sólo las opciones señaladas en el punto anterior; Si el usuario desea obtener en un momento la solución de otro tipo de problema hidrológico deberá de incluirlo en el paquete realizando los ajustes correspondientes dentro del programa. Si dicho problema tiene un comportamiento semejante a uno de los que ya se consideran, lo podrá procesar teniendo en cuenta cuales son sus datos de entrada y qué lugar ocuparían éstos en la ecuación correspondiente.
2. Para cualquier opción se consideran como máximo hasta cien períodos de registro y hasta cien predicciones posibles.
3. Para la opción de curvas $I - D - T_R$ y para la de relación lluvia - escurrimiento se manejan hasta diez duraciones diferentes.

4. Para la opción de relación lluvia - escurrimiento se pueden incluir hasta diez zonas diferentes.

C. DESCRIPCION

El programa consta de un programa principal y 21 subrutinas, todos los cálculos se efectúan en doble precisión, el diagrama de bloques del programa principal se muestra en la figura 5.2. En la subrutina *IDT* se procesa lo concerniente a curvas de intensidad - duración - período de retorno; en la subrutina - *GASMAX* se procesa los problemas de gastos máximos, ya sean anuales o mensuales; en *CEG* se contempla la opción para la curva elevación - gastos; y por último en la subrutina *RLE* se ejecuta lo referente a la relación lluvia - escurrimiento. A continuación se describe la estructura de cada una de estas opciones:

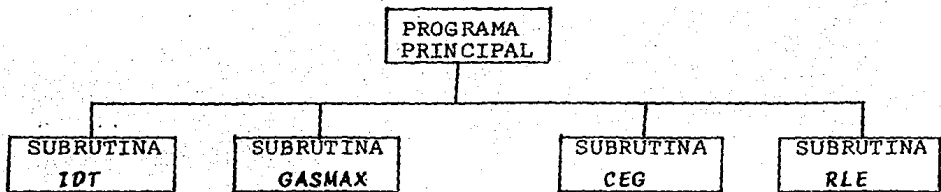


Figura 5.2 Diagrama de Bloques Programa Principal

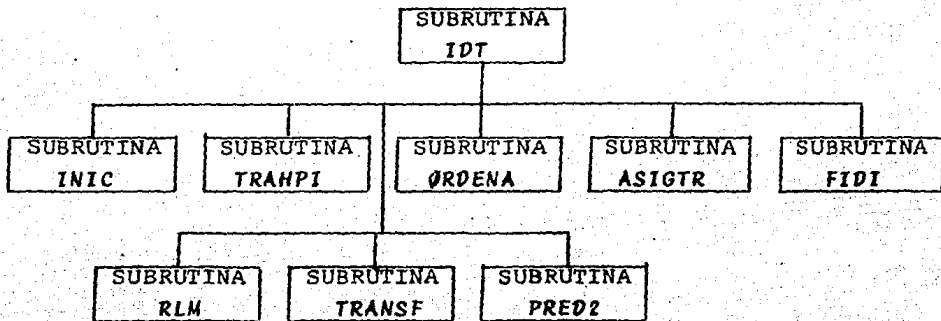


Figura 5.3 Diagrama de Bloques Subrutina IDT

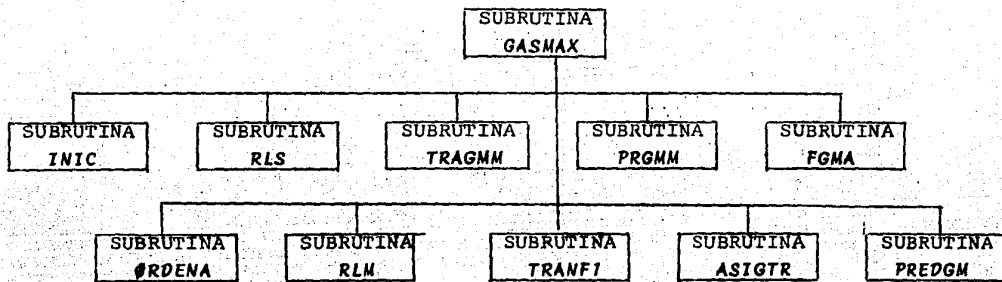


Figura 5.4 Diagrama de Bloques
Subrutina GASMAX

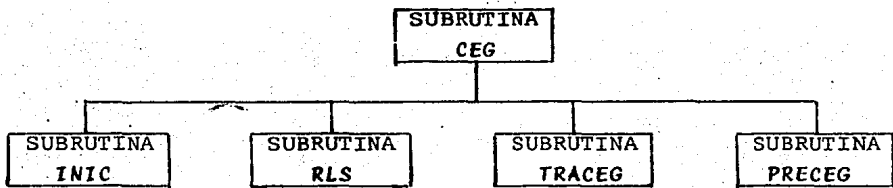


Figura 5.5 Diagrama de Bloques Subrutina CEG

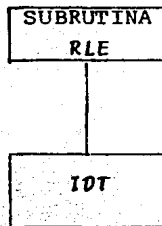


Figura 5.6 Diagrama de Bloques Subrutina RLE

C.1 SUBROUTINA IDT

Esta subrutina es la rama principal para el cálculo de las curvas $I - D - T_k$, ya que por medio de ella se iniciarán las variables (INIC), se leen las opciones de calcular los períodos de retorno con series de excedentes anuales o bien, con series de máximos anuales (ASIGTR), se transforman las alturas en intensidades de lluvia (TRANPI), se ordenan éstas en orden decreciente - - (ORDENA), se asigna la función de transformación lineal (FIOT), de calcular la función de ajuste mediante el modelo de análisis - de regresión lineal múltiple (RLM), de obtener los parámetros correspondientes a la ecuación antes ajustada (TRANSF), y de obtener en un momento dado las predicciones necesarias si el usuario así lo desea (PREO2). El diagrama de bloques correspondiente se presenta en la figura 5.3.

C.2 SUBROUTINA GASMAX

Como se observa en la figura 5.4 se presentan las diez subrutinas que componen la opción de gastos máximos, de las cuales tres de ellas realizan los cálculos para los gastos máximos mensuales y nueve los gastos máximos anuales, la restante (INIC) es la encargada de inicializar las variables que intervienen en el modelo.

Dentro de la subrutina GASMAX se lee la opción de realizar los gastos mensuales o anuales, así para los primeros se les asigna la función del tipo

$$y = a + b_x$$

Donde y serán los gastos de la cuenca por estudiar y x - los gastos de otra cuenca de la cual se tiene información, - entonces aplicando regresión lineal simple (RLS) se obtiene la ecuación de mejor ajuste obteniendo así los parámetros (TRAGNM)

y en un momento dado poder predecir (PRGMM) los gastos de la cuenca deseada.

En el caso de gastos máximos anuales se tiene la opción de calcular el período de retorno por series de máximas anuales o - bien por excedentes anuales (ASIGTR), asignando la función correspondiente (FGMA) del tipo:

$$\log Q = a + b \log A + c \log S + d \log Tn$$

donde

Q = Gasto

A = Area

S = Pendiente.

Tn = Período de retorno

Ya expuesta en el capítulo anterior y ordenando los datos en forma decreciente (ORDENA) se calcula la recta de mejor ajuste por medio de un análisis de regresión múltiple (RLM) para - - obtener los parámetros por medio de una transformación antilogarítmica (TRANFI) que permita al usuario en un momento dado realizar las predicciones (PREDGM) que estime convenientes.

C.3 SUBROUTINA CEG

Para realizar la opción de curvas elevaciones - gastos se crearon cinco subrutinas que se presentan en la figura 5.5; como ya se mencionó en los dos puntos anteriores, el primer paso trata de inicializar las variables (INIC), debido a que se tiene - una ecuación del tipo

$$y = a + bx$$

Se analiza por medio de un análisis de regresión simple - (RLS) se transforman los parámetros obtenidos (TRACEG) para finalmente obtener si se desea las predicciones requeridas (PRECEG).

C.4 SUBROUTINA RLE

La parte correspondiente a la relación lluvia - escurrimiento es una aplicación directa de las curvas $I - D - T_k$, por lo que se consideró la subrutina *IDT* dentro de esta opción como lo muestra la figura 5.6. En la subrutina *RLE* se realizan tanto las lecturas necesarias, como los cálculos correspondientes al método racional mencionados en el capítulo IV.

D. DESCRIPCION DE LAS FORMAS DE ENTRADA

La información de entrada dependerá de la opción o del problema hidrológico por procesar, a continuación se presenta cada una de estas formas de manera esquemática, con los formatos correspondientes, si el usuario desea más información al respecto en el anexo 1 se presenta la codificación completa del programa.

D.1 FORMA PRINCIPAL

a. Identificación (4(10A8, /))

Esta forma es necesaria, consta de cuatro líneas o tarjetas de 80 columnas cada una para escribir la identificación completa del problema por procesar. Esta información la imprime el programa para identificar el listado. La información puede ser letras o números.

b. Opción (I1)

Se tienen cuatro posibles opciones, si se especifica:

1 (uno) el programa realizará el procedimiento para las curvas - $I - D - T_n$, 2 (dos) ejecutará lo referente a gastos máximos 3 - (tres) indicará la opción de cálculo de la curva elevaciones - gastos, y 4 (cuatro) calculará la relación lluvia - escurrimiento mediante el método racional.

D.2 FORMAS PARA CURVAS $I - D - T_n$

Las líneas o tarjetas que se presentan a continuación sólo serán aplicables en el caso de haber elegido la opción 1 en la forma principal.

a. Parámetros (3A2)

En ésta línea se le da a elegir al usuario la posibilidad de trabajar con alturas de precipitación, intensidad de lluvia y la manera de calcular los períodos de retorno por series de máximos o de excedentes anuales. Esto es, el usuario tiene seis - campos de tipo alfabético para definir SI tiene o NO datos de alturas de precipitación, SI tiene o NO información referente a intensidades de lluvia; por último si desea trabajar con series de máximos anuales tecléa un SI en las columnas 5 y 6 correspondientes a ésta línea y si tecléa un NO entonces se trabajará con series de excedentes anuales.

b. Número de duraciones (I5)

En ésta línea se tecléa el número de duraciones de las cuales se tiene información ya sea de alturas y/o de intensidades, - recordando que el número máximo de ésta variable es diez y debe - de terminar en la columna cinco de la línea.

c. Duraciones (10F5.0)

Se especifican las duraciones en minutos de las cuales te

nemos información, el número de éstas cantidades deben de ser el mismo que el definido en el inciso anterior.

d. Número de alturas (I5)

En ésta línea se especifica el número de alturas registradas, ésta información sólo se llena en el caso de haber elegido la opción en el inciso a. de que sí hay alturas de precipitación, el número de años de registro debe de cargarse hacia la derecha del campo (finalizar en la columna 5) ya que es entero.

e. Información de alturas (I5, 10F5.0)

En el primer campo se teclea el año de registro, si en un año específico no existe información alguna se recomienda no incluirlo en el bloque de datos; en los diez campos restantes se indican las alturas correspondientes a las duraciones definidas en el inciso c. en el mismo orden. Debe de existir el número de líneas especificado en el inciso d. Se proporciona en milímetros.

f. Número de intensidades (I5)

Este dato se incluye si se especificó que sí hay información de intensidades en el inciso a. se define el número total de años registrados, debe de cargarse a la derecha del campo.

Cabe señalar aquí que en el caso de que hubiese información tanto de alturas como de intensidades el número total de años de registro considerando ambos tipos de información no debe de exceder de cien.

g. Información de intensidades (I5, 10F5.0)

Al igual que en el inciso e. en el primer campo se define

el año de registro, y en los diez campos restantes se incluye la información de las intensidades definidas en mm/h, y en el orden correspondiente de las duraciones señaladas en el inciso c. Deben de haber tantas líneas como las definidas en el inciso f.

h. Opción de predicción (A2)

En caso de que NO se desee la predicción de algún período de retorno basta con declararlo en ésta línea, si se desea entonces señalar un SI en este campo y continuar con los siguientes - incisos.

i Número de predicciones (I5)

Se señala el número total de períodos de retorno que se - desean predecir, ésta información debe de finalizar en el campo número cinco de ésta línea, recordando que se pueden predecir - hasta cien períodos.

j. Información de los períodos de retorno (F5.0)

En este campo se define el período en años por predicción, debe de haber tantos períodos (líneas) como el número definido - en el inciso i.

D.3 FORMAS PARA GASTOS MAXIMOS

De haber elegido la segunda opción en la forma principal punto D.1, se tiene:

a. Parámetros (3A2)

Consta de tres variables alfabéticas, las cuales nos permiten elegir entre: trabajar o no con gastos máximos mensuales

(SI o NO), ejecutar la opción de gastos máximos anuales (SI o NO) y si se desea la opción de series de máximos anuales en lo referente al cálculo de períodos de retorno, si en este campo se especifica NO los cálculos se realizarán con series de excedentes anuales.

Los siguientes campos que se detallan se llenan en caso de opción de gastos máximos mensuales.

b. Número de años de registro (I5)

Debe de cargarse a la derecha del campo, no debe de rebasar a 100 períodos.

c. Información de gastos (2F10.0)

Se tienen dos variables de diez campos cada una en la primera se deben de incluir los gastos de la estación que tome el lugar de la variable y y en la segunda los gastos de la estación que ocupe el lugar de la variable x , ambos se definen en m^3/seg .

d. Opción de predicción (A2)

Si no se desea predicción sólo se indica en este campo, en caso contrario definir los siguientes datos.

e. Número de gastos por predicción (I5)

Se define el número total de gastos por predecir cargada a la derecha de este campo.

f. Gastos por predicción (F10.0)

Se dan en m^3/seg , deben de existir tantos gastos como los

especificados en el inciso e .

Los siguientes formatos se incluyen en caso de haber elegido la opción de gastos máximos anuales.

g. Número de gastos anuales registrados (I5)

No deben de exceder a cien años de registro, y deben de cargarse a la derecha del campo.

h. Información de las cuencas (3F10.0)

El total de estas líneas debe de ser el especificado en el inciso anterior, consta básicamente de tres datos de diez campos cada uno, en el primero se debe de especificar el gasto - - observado en m^3/seg , en segundo lugar el área correspondiente en km^2 y por último la pendiente de cada una de las cuencas observadas.

i. Opción de predicción (A2)

Al igual que en los casos anteriores, si NO se desea predicción basta con señalar en esta línea y no llenar las formas - siguientes.

j. Número de períodos por predecir (I5)

Se carga a la derecha del campo y no debe de exceder a - cien.

k. Información de predicciones (3F10.0)

En el primer campo se da el área, en el segundo la pen--diente, y en el tercero el año correspondiente al período de retorno, todo esto de cada cuenca, el número total de líneas de - esta forma debe de ser el definido en el inciso j

D.4 FORMAS PARA CURVAS ELEVACIONES - GASTOS

Las siguientes formas se llenan en el caso de haber elegido la opción 3 (tres) en el punto D.1.

a. Número de años registrados (I5)

Se carga a la derecha del campo, no debe de ser mayor de cien, si en un año específico no existe información alguna no se incluye en éste dato.

b. Información de datos observados (2F10.0)

Hay que recordar que la información tanto de los gastos - observados como de las elevaciones son registros mensuales, los gastos se especifican en el primer campo en $m^3/seg.$ y las elevaciones en el segundo campo en metros. El número total de líneas de esta forma debe de ser igual al número especificado en el inciso a. por 12

c. Opción de predicción (A2)

Al igual que todas las opciones de predicción señaladas - anteriormente si se especifica NO en éste campo ya no se dan los siguientes formatos.

d. Número de gastos por predicción (I5)

No deben de ser mayor a cien y la información debe de ir perforada a la derecha de este campo.

D.5 FORMAS PARA RELACION LLUVIA - ESCURRIMIENTO

Las formas que se presentan a continuación se utilizan en el caso de haber elegido la opción 4 (cuatro) en el punto D.1.

Como se definió en el capítulo anterior, el método racional para obtener la relación lluvia - escurrimiento considera primero la ecuación que describe el comportamiento de las curvas $I - D - T_R$ de la zona en estudio, así se deben de llenar las formas señaladas en el punto D.2 de ésta sección para obtener dicha ecuación, y a continuación dar las siguientes formas:

a. Número total de áreas (I5)

Corresponde al total de zonas que se desea obtener la relación, no deben de exceder a diez y se debe de cargar hacia la derecha del campo.

b. Tiempo de concentración (10F5.0)

Se tienen hasta diez variables de cinco campos cada una para definir los tiempos de traslado de cada una de las zonas de be de existir un tiempo por cada área señalada en el inciso a. y se dan en minutos.

c. Areas (10F5.0)

Estas se dan en km^2 y se tienen diez variables de cinco campos cada una para definir las.

d. Coeficientes de escurrimiento (10F5.0)

Se tienen también diez variables de cinco campos cada uno para definirlos, recordando que estos coeficientes se encuentran en tablas para cada tipo de zona.

e. Número total de períodos de retorno (I5)

No deben de exceder a diez, se cargan a la derecha del campo, serán para los cuales se desee obtener el gasto de diseño.

f. Períodos de retorno (10F5.0)

Se definen en años y cada uno se puede teclear hasta en cinco años.

E. DESCRIPCION DE LAS FORMAS DE SALIDA

Los reportes de salida incluyen la impresión de la información de entrada para efectuar una segunda revisión de dicha información y como constancia del problema realizado. En el anexo 2 se muestran los problemas que fueron expuestos en el capítulo IV del presente trabajo para facilitar la comprensión de lo que se explica a continuación: en caso de que el problema se resolviera por regresión lineal múltiple se presentan además de la información de entrada la varianza y la desviación estandar del error, el vector de términos beta obtenidos, la correlación obtenida de los datos de entrada y la ecuación ajustada. En caso de que el usuario haya elegido la opción de predicción se presenta en todos los casos la tabla correspondiente, de acuerdo al problema elegido. En caso de que se resuelva por regresión lineal simple se presentan los coeficientes alfa y beta, así como el coeficiente de correlación, y la ecuación ajustada, en caso de elegir la opción de predicción se presenta la tabla correspondiente en la última parte del lista. Toda impresión en su última línea debe de tener el comentario de "FIN DE TRABAJO", con ella el usuario nota que toda la información de entrada fue procesada correctamente de acuerdo con su opción.

VI. COMENTARIOS FINALES

Como se hizo mención en el Capítulo I existen muchos paquetes de cómputo para intentar realizar un análisis de regresión, algunos de ellos han sido desarrollados por la compañía norteamericana SPSS que ha puesto en el mercado su paquete para microcomputadora SPSS / PC+. Este paquete es de lo más completo a lo que teoría estadística respecta ya que con él se puede obtener entre otras cosas

- Tablas y Análisis de Frecuencias
- Estadísticas Básicas
- Pruebas de Hipótesis
- Gráficas
- Análisis de Regresión Lineal Simple
- Análisis de Varianza
- Pruebas no paramétricas
- Análisis de Regresión Lineal Múltiple
- Reportes de Información de entrada en forma detallada

Este sistema es compatible para las máquinas IBM PC/XT/AT con 10MB o disco duro de memoria periférica, y que tengan un mínimo de 389 k de memoria central (RAM) para su ejecución. A su vez el sistema consta de tres partes que son: el sistema básico, estadístico avanzadas, y tablas, de las cuales las dos últimas son opcionales y tienen un costo extra, aproximadamente \$1,000 USD. cada uno de ellos. SPSS/PC+ es básicamente un sistema que consiste en interconectar archivos en disco duro, se maneja mediante un archivo que se llama SPSS/PC.COM. Otros archivos contienen procedimientos que son necesarios para la ejecución, teniendo como extensión EXE o bien, OVL. En adición a éstos se tienen también dentro del mismo paquete un archivo que contiene mensajes de ayuda y mensajes de errores denominado SPSSSE.MSG.

Existen tres tipos de comandos que son necesarios para poder utilizar este paquete y son: los comandos de operación, de definición y de manipulación de archivos y los comandos de procedimiento. Con estos comandos es posible leer, modificar, escribir y analizar la información, o inclusive obtener ayuda - del mismo sistema, por lo que es necesario tener en disposición el manual de operación del sistema.

Dentro de la parte correspondiente a análisis de regresión lineal simple SPSS/PC+ puede calcular el coeficiente de correlación lineal, la ecuación de la recta de regresión, predicción, la prueba de bondad de ajuste y graficación. En la parte de análisis de regresión lineal múltiple, calcula el vector de los coeficientes de la ecuación de regresión correspondiente, pruebas de hipótesis, intervalos de confianza, prueba de bondad de ajuste, coeficiente de correlación lineal múltiple, análisis de varianza, predicción, graficación, coeficientes de correlación parciales, determina la importancia de las variables, varianza de las estimaciones.

El programa HIDRØ ocupa para su ejecución 78 k de memoria periférica y lo que requiera el sistema operativo de memoria central, lo cual depende del sistema operativo que el usuario esté utilizando. Se tiene acceso al programa fuente para realizar los cambios que el usuario requiera los reportes se presentan en español. Para utilizarlo se necesita conocer los comandos básicos del sistema operativo y de algún editor como el Wordstar o el SPFFPC para creación, modificación de archivos y la ejecución misma del programa.

Es cierto que el programa SPSS/PC+ es uno de los mejores programas en lo referente a estadística, sin embargo, a veces se presentan problemas para utilizar éste tipo de paquetes, como pueden ser: el usuario se debe de restringir y acoplar al

programa debido a que no tiene acceso al programa fuente; se - pueden tener problemas en capacidad de máquina debido al número de archivos que se manejan; los reportes se presentan en inglés y en forma estándar; y además tiene que aprender los co--mandos propios del paquete para poder ocuparlo.

En los problemas que se presentaron en este trabajo, así como en otros casos resulta impráctico utilizar éste tipo de paquetes, debido al tipo de información que se maneja y el tipo de resultados que se necesitan por lo que a veces es necesario, - más conveniente, menos costoso y más rápido desarrollar el programa que comprar un paquete sofisticado.

BIBLIOGRAFIA

1. Aparicio Mijares, Francisco Javier; "HIDROLOGIA DE SUPERFICIES", Centro de Actualización Profesional, Colegio de Ingenieros Civiles. México, 1985.
2. Manual de Diseño de Obras Civiles, "PRECIPITACION", Tomo - A.1.2. Comisión Federal de Electricidad, México.
3. Manual de Diseño de Obras Civiles, "ESCURRIMIENTO" Tomo - A.1.3. Comisión Federal de Electricidad. México.
4. Manual de Diseño de Obras Civiles "PERDIDAS" Tomo A.1.4. Comisión Federal de Electricidad, México.
5. Manual de Diseño de Obras Civiles "RELACION ENTRE PRECIPITACION Y ESCURRIMIENTO" Tomo A.1.5. Comisión Federal de Electricidad, México.
6. Boletín Hidrológico No. 49 Tomos I y II, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, 1973.
7. Linsley, Kohler; Paulus; "HIDROLOGIA PARA INGENIEROS", Ed. Mc Graw Hill, México, 1981.
8. Johnston, J: "METODO DE ECONOMETRIA", Ed. Vicens Universidad, México 1975.

A N E X O 1

##LARGE

C*****

C

C

PROGRAMA PRINCIPAL

C

C

ANALISIS DE REGRESION LINEAL MULTIPLE APLICADO A DATOS
HIDROLOGICOS

C

C

C*****

C

IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
DIMENSION A(10)
CHARACTER * 8 A
CHARACTER * 14 DATOS,RESUL

C

WRITE(*,150)

150 FORMAT(' NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS A EJECUTAR ?',/)

READ(*,151)DATOS

151 FORMAT(A)

OPEN(1,FILE=DATOS,STATUS='OLD')

WRITE(*,152)

152 FORMAT(' NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS POR OBTENER ?',/)

READ(*,151)RESUL

OPEN(6,FILE=RESUL,STATUS='NEW')

C

C

LECTURA DE ENCABEZADO

C

DO 10 I=1,4

READ(1,101) (A(J),J=1,10)

WRITE(6,101) (A(J),J=1,10)

10 CONTINUE

WRITE(6,105)

C

C

LECTURA DE LA OPCION DESEADA

C

READ(1,100)LOPT

IF(LOPT.EQ.1) GO TO 1

IF(LOPT.EQ.2) GO TO 2

IF(LOPT.EQ.3) GO TO 3

IF(LOPT.EQ.4) GO TO 6

GO TO 4

C

C

CURVAS I-D-T

C

1 WRITE(6,200)

CALL IDT

WRITE(6,110)

GO TO 5

C

C

GASTOS MAXIMOS

C

2 WRITE(6,201)

CALL GASMAX

WRITE(6,110)

GO TO 5

```

C
C CURVAS ELEVACIONES GASTO
C
3 WRITE(6,202)
  CALL CEG
  WRITE(6,110)
  GO TO 5
C
C RELACION LLUVIA-ESCURRIMIENTO
C
6 WRITE(6,203)
  CALL RLE
  WRITE(6,110)
  GO TO 5
4 WRITE(6,120)
C
C FORMATOS
C
100 FORMAT(I1)
101 FORMAT(10A8)
105 FORMAT(///)
110 FORMAT(//,25X,'FIN DE TRABAJO')
120 FORMAT(25X,'ERROR: LA OPCION DESEADA NO ESTA CONTENIDA EN ESTE',
  *      25X,/, '      PAQUETE')
200 FORMAT(15X,'CURVAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA-DURACION-PERIODO DE RET
  *ORNO',/)
201 FORMAT(15X,'GASTOS MAXIMOS ')
202 FORMAT(15X,'CURVA ELEVACION-GASTOS')
203 FORMAT(15X,'RELACION LLUVIA-ESCURRIMIENTO')
C
5 CONTINUE
  STOP
  END
C*****
C ASIGNACION DEL PERIODO DE RETORNO *
C *****
C*****
SUBROUTINE ASIGTR(TR,N3,LMA)
  IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
  DIMENSION TR(N3)
C
C SI LMA = 1 SERIE DE EXCEDENTES ANUALES
C SI LMA = 0 SERIE DE MAXIMOS ANUALES
C
  IF (LMA.EQ.0) GO TO 20
  DO 10 I=1,N3
    R1=FLOAT(N3)
    R2=FLOAT(I)
    R=R1/R2
    TR(I) = R
10 CONTINUE
  GO TO 30
20 CONTINUE
  DO 40 I=1,N3

```

```
R1=FLOAT(NS+1)
R2=FLOAT(I)
R=R1/R2
TR(I)=R
```

```
40 CONTINUE
30 CONTINUE
RETURN
END
```

```
C*****
C
C          INICIALIZACION DE VARIABLES
C
C*****
C
```

```
SUBROUTINE INIC
IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
COMMON /UND/D(10)
COMMON /TRES/ TR(100),DRINT(100,10)
COMMON /SEIS/ Y(500)
DO 60 I=1,10
60 D(I)=0.0
DO 10 I=1,100
10 TR(I)=0.0
DO 20 I=1,100
DO 20 J=1,100
20 DRINT(I,J)=0.0
DO 30 I=1,500
30 Y(I)=0.0
RETURN
END
```

```
C*****
C
C  ORDENAMIENTO DE PERIODOS DE RETORNO EN ORDEN DECRECIENTE
C
C*****
C
```

```
SUBROUTINE ORDENA(A,NR,I)
IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
DIMENSION A(100,100)
NM1=NR-1
5   K=0
DO 7 JJ=1,NM1
DIF=0.0
J=NR+1-JJ
KK=J-1
DIF=A(J,I)-A(KK,I)
IF(DIF)7,7,6
6   TEMP=A(J,I)
A(J,I)=A(KK,I)
A(KK,I)=TEMP
K=K+1
DIF=0.0
7   CONTINUE
IF(K)5,10,5
10 CONTINUE
```

RETURN
END

C*****
C
C CURVAS INTENSIDAD-DURACION-PERIODO DE RETORNO
C
C*****
C

SUBROUTINE IDT
IMPLICIT REAL * B (A-H,O-Z)
COMMON /UNO/ D(10)
COMMON /DOS/ BETA(10,1)
COMMON /TRES/ TR(100),ORINT(100,10)
COMMON /CUAT/ ORIG(100,10)
COMMON /CINC/ V1(100),V2(100),V3(100),V4(100),V5(100)
COMMON /SEIS/ Y(500)
COMMON /RESUL/RK,RM,RN
CHARACTER * 2 LOP1,LOP2,LPRED,LOPMA
DIMENSION THPI(100,10),TINT(100,10),IAN(100)

C*****

DEFINICION DE VARIABLES

C BETA(3,1).....RESULTADOS DE LA ECUACION DE REGRESION
C LOP1.....OPCION DE ALTURAS DE PRECIPITACION
C LOP2.....OPCION DE INTENSIDADES DE LLUVIA
C LPRED.....OPCION DE PREDICION
C THPI(N1,10)...ALURA DE PRECIPITACION TRANSFORMADA A INTENSIDADES
C TINT(N2,10)...INTENSIDADES DE LLUVIA
C N1.....NUMERO TOTAL DE ALTURAS
C N2.....NUMERO TOTAL DE INTENSIDADES
C ORINT(N3,10)..MATRIZ ORIGINAL DE INTENSIDADES
C Y(NF).....VECTOR DE TERMINOS DEPENDIENTES
C N3.....NUMERO TOTAL DE ALTURAS E INTENSIDADES
C NF.....NUMERO TOTAL DE ECUACIONES
C TR(N3).....PERIODO DE RETORNO
C V1(N3).....LOGARITMO DEL PERIODO DE RETORNO TR
C V2(10).....LOGARITMO DE LAS DURACIONES D

C*****

INICIALIZACION DE VARIABLES

CALL INIC
N1=0
N2=0
LMA=0

LECTURA DE OPCIONES DE ALTURAS E INTENSIDADES

READ(1,100)LOP1,LOP2,LOPMA

LECTURA DE DURACIONES

READ(1,55)ND


```

      READ(1,113) (D(J),J=1,ND)
      IF (LOPMA.EQ.'NO') LMA=1
C
      WRITE(6,108) LOP1,LOP2
      IF (LMA.EQ.1) GO TO 300
      WRITE(6,126)
      GO TO 310
300 WRITE(6,127)
310 CONTINUE
      IF (LOP1.EQ.'NO'.AND.LOP2.EQ.'NO') GO TO 5
      IF (LOP1.EQ.'NO') GO TO 1
C
      READ(1,102) N1
      WRITE(6,109) N1
C
      TRANSFORMACION DE ALTURAS A INTENSIDADES
C
      CALL TRAHPI (THPI,N1,ND)
      1 IF (LOP2.EQ.'NO') GO TO 2
C
      READ(1,102) N2
      WRITE(6,125) N2
      WRITE(6,110)
      WRITE(6,101)
      WRITE(6,1102)
      WRITE(6,1104) (D(J),J=1,ND)
      WRITE(6,1103)
      DO 10 I=1,N2
          READ(1,112) IAN(I), (TINT(I,J), J=1,ND)
          WRITE(6,111) IAN(I), (TINT(I,J), J=1,ND)
10 CONTINUE
      WRITE(6,1103)
      WRITE(6,1101)
C
      2 N3=N1+N2
      DO 20 I=1,N1
          DO 30 J=1,ND
              ORINT(I,J)=THPI(I,J)
30 CONTINUE
20 CONTINUE
C
      N4=N1+1
      K=0
      DO 330 I=N4,N3
          K=K+1
          DO 50 J=1,ND
              ORINT(I,J)=TINT(K,J)
50 CONTINUE
330 CONTINUE
C
      ORDENAMIENTO DE MAYOR A MENOR
C
      DO 222 II=1,ND
          CALL ORDENA(ORINT,N3,II)
C

```

```

C      ASIGNACION DEL PERIODO DE RETORNO
C
      CALL ASIGTR (TR,N3,LMA)
      WRITE(6,121)
      WRITE(6,122) (D(J),J=1,ND)
      WRITE(6,1103)
C
      DO 123 I=1,N3
        WRITE(6,124) I,TR(I), (ORINT(I,J),J=1,ND)
123 CONTINUE
      WRITE(6,1103)
      WRITE(6,1101)
C
C      TRANSFORMACION LOGARITMICA DE LAS INTENSIDADES
C
      CALL FIDT(N3,NF,ND)
C
C      ANALISIS DE REGRESION LINEAL
C
      CALL RLM(2,NF)
C
C      TRANSFORMACION ANTILOGARITMICA
C
      WRITE(6,1103)
      CALL TRANSF(RK,RM,RN)
      WRITE(6,106)RK,RM,RN
      WRITE(6,1103)
C
C      OPCION DE PREDICCION
C
      READ(1,103)LPRED
      IF(LPRED.EQ.'SI') GO TO 320
      WRITE(6,107)LPRED
      IF(LPRED.EQ.'ND') RETURN
320 CONTINUE
      CALL PRED2(RK,RM,RN,ND)
      5 CONTINUE
C
C      FORMATOS
C
      55 FORMAT (I5)
      100 FORMAT (JA2)
      101 FORMAT (1X, '*****',
+*****')
      102 FORMAT (I5)
      103 FORMAT (A2)
      104 FORMAT (10F7.2)
      106 FORMAT (/,10X, 'LA ECUACION AJUSTADA ES: ',/
+/,15X, 'I = ',F9.4, ' * (Tr **',F7.4,') / ( D **',F7.4,')',/
+/,10X, 'DONDE:',/,15X, 'I = INTENSIDAD DE LLUVIA',/,15X,
+ 'Tr = PERIODO DE RETORNO',/,15X, 'D = DURACIONES',/)
      107 FORMAT (/,10X,A2,1X, 'SE DESEA PREDICCION')
      108 FORMAT (10X,A2,3X, 'HAY ALTURAS DE PRECIPITACION',
+/,10X,A2,3X, 'HAY INTENSIDADES DE LLUVIA')
      109 FORMAT (/,10X, 'NUMERO DE ALTURAS DE PRECIPITACION =',1X,I5)

```

```

110 FORMAT(/,24X,'TABLA DE INTENSIDADES DE LLUVIA')
111 FORMAT(2X,I5,10F7.2)
112 FORMAT(I5,10F5.0)
113 FORMAT(10F5.0)
121 FORMAT(/,19X,'TABLA DE INTENSIDADES DE LLUVIA ORDENADAS')
122 FORMAT(1X,'*****',
+ '*****',
+,/,1X,'NO.DE',2X,'PER.DE',15X,'DURACIONES (EN MIN)',
+/,1X,'ORDEN',1X,'RETORNO',10F7.0,9X,
+ '(ANDS)',/)
124 FORMAT(1X,I4,2X,F7.2,2X,10F7.2)
125 FORMAT(/,10X,'NUMERO DE INTENSIDADES DE LLUVIA',I5)
126 FORMAT(/,10X,'PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR MAXIMOS ANUALES')
127 FORMAT(/,10X,'PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR EXCEDENTES ANUALES'
+ )
128 FORMAT(7X,10F7.2)
1101 FORMAT(5(/))
1102 FORMAT(30X,'DURACIONES (EN MIN)')
1103 FORMAT(1X,
+ '-----',
+ '-----')
1104 FORMAT(4X,'ANO',10F7.0)
RETURN
END

```

```

C*****
C
C TRANSFORMACION DE ALTURAS DE PRECIPITACION A INTENSIDADES *
C *
C*****
C

```

```

SUBROUTINE TRAHPI (THPI, N1, ND)
IMPLICIT REAL * B (A-H, O-Z)
COMMON /UNO/D (10)
DIMENSION THPI (100, 10), HP (100, 10), IEM (100)

```

```

C
C LECTURA DE ALTURAS DE PRECIPITACION
C

```

```

WRITE (6, 201)
WRITE (6, 205)
WRITE (6, 206)
WRITE (6, 203)
WRITE (6, 207) (D (J), J=1, ND)
DO 10 I=1, N1
READ (1, 101) IEM (I), (HP (I, J), J=1, ND)
WRITE (6, 200) IEM (I), (HP (I, J), J=1, ND)

```

```

10 CONTINUE

```

```

C
C WRITE (6, 203)
C WRITE (6, 202)
C WRITE (6, 205)

```

```

WRITE (6, 206)
WRITE (6, 207) (D (I), I=1, ND)
WRITE (6, 203)

```

```

      DO 20 I=1,N1
        DO 30 J=1,ND
          THPI(I,J)=(HP(I,J)*60.0)/D(J)
30      CONTINUE
        WRITE(6,200) IEM(I), (THPI(I,J), J=1,ND)
20     CONTINUE
C
C     FORMATOS
C
101    FORMAT(15,10F5.0)
201    FORMAT(/,25X,'TABLA DE ALTURAS DE PRECIPITACION')
200    FORMAT(2X,15,10F7.2)
202    FORMAT(5(/),24X,'TABLA DE INTENSIDADES TRANSFORMADAS')
203    FORMAT(1X,
+-----',
+-----')
205    FORMAT(1X,'*****')
+-----')
206    FORMAT(30X,'DURACIONES (EN MIN)')
207    FORMAT(4X,'AND',10F7.0)
      RETURN
      END
C*****
C     TRANSFORMACION DE LA FUNCION DE INTENSIDAD POR MEDIO DE LA
C
C           FUNCION LOGARITMICA
C
C*****
C
SUBROUTINE FIDT (N3,NF,ND)
IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
COMMON /UNO/ D(10)
COMMON /TRES/ TR(100),ORINT(100,10)
COMMON /CUAT/ ORIG(100,10)
COMMON /CINC/ V1(100),V2(100),V3(100),V4(100),V5(100)
COMMON /SEIS/ Y(500)
DIMENSION YMAR(100,10)
DIMENSION X1(100),X2(100)
DIMENSION VAR1(100),VAR2(10)
C
      DO 10 I=1,ND
        VAR2(I)=DLOG10(D(I))
10     CONTINUE
      DO 20 I=1,N3
        IF (TR(I).EQ.0.0) GO TO 20
        VAR1(I) =DLOG10 (TR(I))
20     CONTINUE
      NF=N3*ND
      DO 30 I=1,N3
        DO 40 J=1,ND
          IF (ORINT(I,J).EQ.0.0) GO TO 40
          YMAR(I,J)=DLOG10 (ORINT(I,J))
40     CONTINUE
30     CONTINUE
C
      L1=1

```

```

      L2=N3
      DO 50 J=1,ND
        DO 60 I=L1,L2
          X2(I) = VAR2(J)
60 CONTINUE
      L1=L2+1
      L2=L2+N3
50 CONTINUE
C
      J=0
      DO 70 I=1,NF
        J=J+1
        IF (J.GT.N3)J=1
        X1(I)=VAR1(J)
70 CONTINUE
C
      K=0
      DO 90 I=1,ND
        DO 100 J=1,N3
          K=K+1
          Y(K) = YMAR(J,I)
110 CONTINUE
100 CONTINUE
90 CONTINUE
C
      DO 130 I=1,NF
        ORIG(I,1)=X1(I)
        ORIG(I,2)=X2(I)
130 CONTINUE
      RETURN
      END
C*****
C
C      TRANSFORMACION ANTILOGARITMICA PARA CURVAS I-D-T
C
C*****
C
      SUBROUTINE TRANSF (RK,RM,RN)
      IMPLICIT REAL * B (A-H,O-Z)
      COMMON /DOS/ BETA(10,1)
      RK=10**(BETA(1,1))
      RM=BETA(2,1)
      RN=-BETA(3,1)
      RETURN
      END
C*****
C
C      PREDICION DE INTENSIDADES
C
C*****
C
      SUBROUTINE PRED2 (RK,RM,RN,ND)
      IMPLICIT REAL * B (A-H,O-Z)
      COMMON /UNO/ D(10)
      DIMENSION XO(100),R(100,10)

```

```

C
  READ(1,102)NP
  WRITE(6,200)NP
  DO 10 I=1,NP
    READ(1,101)X0(I)
10  CONTINUE
  WRITE(6,202) (D(J),J=1,ND)
  WRITE(6,203)

C
  DO 30 J=1,ND
    DO 20 I=1,NP
      R(I,J)=RK*(X0(I)**RM)/(D(J)**RN)
20  CONTINUE
30  CONTINUE
  DO 40 I=1,NP
    WRITE(6,201)X0(I), (R(I,J),J=1,ND)
40  CONTINUE
  WRITE(6,203)

C
C  FORMATOS
C
100 FORMAT(I2)
101 FORMAT(F5.0)
102 FORMAT(I5)
200 FORMAT(///,10X,'NUMERO DE PERIODOS DE RETORNO PARA PREDICION',15
+)
201 FORMAT(1X,F5.1,2X,9(F7.2,1X),8X,F7.2)
202 FORMAT(3(/),27X,'TABLA DE PREDICION',/,
+ '*****'
+ '*****',/,1X,
+ 'PER.DE',19X,'DURACIONES',/,1X,'RETORNO',10(4X,F4.0),
+/,2X,'ANOS')
203 FORMAT(1X,
+ '-----'
+ '-----')

C
  RETURN
  END
C*****
C
C
C          GASTOS MAXIMOS
C
C*****
C
SUBROUTINE GASMAX
  IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
  COMMON /LND/ D(10)
  COMMON /CUAT/ ORIG(100,10)
  COMMON /TRES/ TR(100),ORINT(100,10)
  COMMON /CINC/ V1(100),V2(100),V3(100),V4(100),V5(100)
  COMMON /SEIS/ YORIG(500)
  COMMON /SIET/ BET,ALF
  CHARACTER * 2 LOP1,LOP2,LPRED,LOPMA

C
C  INICIALIZACION DE VARIABLES

```

```

C      LMA=0
      CALL INIC
      READ(1,100)LOP1,LOP2,LOPMA
C
      IF (LOPMA.EQ.'NO') LMA=1
      IF (LMA.NE.1) GO TO 400
      WRITE(6,401)
      GO TO 410
400  WRITE(6,402)
410  CONTINUE
      IF (LOP1.EQ.'NO') GO TO 1
      WRITE(6,300)
C
C      LECTURA DE NUMERO DE ANOS
C
      READ(1,101)NA
      WRITE(6,200)NA
C
      WRITE(6,201)
      WRITE(6,205)
      WRITE(6,207)
C
C      PROCEDIMIENTO PARA GASTOS MAXIMOS MENSUALES
C
C      Q.....GASTOS 1
C      H.....GASTOS 2
C      NM.....NUMERO DE MESES
C      TR.....PERIODO DE RETORNO
C
      NM=NA*12
      DO 20 I=1,NM
        READ(1,104)Q,H
        WRITE(6,105)I,Q,H
        V(I)= H
        YORIG(I)= Q
        Q=0.0
        H=0.0
20  CONTINUE
C
      WRITE(6,206)
C
C      PROCEDIMIENTO DE REGRESION LINEAL SIMPLE
C      PARA GASTOS MAXIMOS MENSUALES
C
      CALL RLS(NM)
C
C      FUNCION DE TRANSFORMACION PARA GASTOS MAXIMOS
C      MENSUALES
      CALL TRAGMM (A,H0)
C
C
      READ(1,102)LPRED
      IF (LPRED.EQ.'SI') GO TO 228
C

```

```

WRITE(6,3011)LPRED
22B CONTINUE
IF (LPRED.EQ.'NO') GO TO 1
C
C OPCION DE PREDICCION DE GASTOS MAXIMOS MENSUALES
C
CALL PRGMM(A,H0)
C
1 IF (LOP2.EQ.'NO') GO TO 2
WRITE(6,301)
READ(1,101)N
WRITE(6,221)N
C
C PROCEDIMIENTO PARA GASTOS MAXIMOS ANUALES
C
CALL ASIGTR (TR,N,LMA)
CALL FGMA(TR,N)
DO 2222 II=1,3
2222 CALL ORDENA(ORIG,N,II)
CALL RLM (3,N)
CALL TRANF1(R1,R2,R3,R4)
C
C PROCEDIMIENTO DE PREDICCION
C
READ(1,102)LPRED
IF (LPRED.EQ.'SI') GO TO 220
WRITE(6,103) LPRED
220 CONTINUE
IF (LPRED.EQ.'NO') RETURN
CALL PREDGM(R1,R2,R3,R4)
C
C FORMATOS
C
100 FORMAT(3A2)
101 FORMAT(2I5)
102 FORMAT(A2)
103 FORMAT(/,10X,A2,1X,'SE DESEA PREDICCION')
104 FORMAT(2F10.0)
105 FORMAT(10X,15,3X,2F10.2)
200 FORMAT(10X,'NUMERO DE ANOS',5X,15,/)
201 FORMAT(13X,'GASTOS MAXIMOS MENSUALES',/,19X,'(M3/SEG)',/)
205 FORMAT(12X,'MES',7X,'EST. 1',4X,'EST. 2')
206 FORMAT(5X,'-----')
207 FORMAT(5X,'*****')
221 FORMAT(/,10X,'NUMERO TOTAL DE ANOS',15)
300 FORMAT(/,10X,'OPCION DE GASTOS MAXIMOS MENSUALES')
301 FORMAT(/,10X,'OPCION PARA GASTOS MAXIMOS ANUALES')
401 FORMAT(/,10X,'PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR EXCEDENTES ANUALES'
+)
402 FORMAT(/,10X,'PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR MAXIMOS ANUALES')
3011 FORMAT(/,10X,A2,1X,'SE DESEA PREDICCION')
2 RETURN
END
C***
C

```



```

C      FUNCION DE TRANSFORMACION PARA GASTOS MAXIMOS ANUALES      *
C      *
C*****
C
C      SUBROUTINE FBMA(T,N)
C      IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
C      COMMON /UNO/ D(10)
C      COMMON /CUAT/ ORIG(100,10)
C      COMMON /CINC/ V1(100),V2(100),V3(100),V4(100),V5(100)
C      COMMON /SEIS/ YORIG(500)
C      DIMENSION Q(100),A(100),S(100),T(100),Y(200)
C
C*****
C
C      DEFINICION DE VARIABLES
C      Q.....GASTOS MAXIMOS
C      A.....AREA
C      S.....PENDIENTE CAUCE PRINCIPAL
C      T.....PERIODO DE RETORNO
C*****
C
C      WRITE(6,200)
C      WRITE(6,201)
C      DO 10 I=1,N
C         READ(1,100) Q(I),A(I),S(I)
C         WRITE(6,34)Q(I),A(I),S(I),T(I)
10    CONTINUE
C
C      WRITE(6,202)
C
C      DO 20 I=1,N
C         Y(I)=DLOG10(Q(I))
C         IF(A(I).EQ.0.0) GO TO 223
C         V1(I)=DLOG10(A(I))
223    CONTINUE
C         IF(S(I).EQ.0.0) GO TO 224
C         V2(I)=DLOG10(S(I))
224    CONTINUE
C         IF(T(I).EQ.0.0) GO TO 20
C         V3(I)=DLOG10(T(I))
20    CONTINUE
C
C      DO 30 I=1,N
C         ORIG(I,1)=V1(I)
C         ORIG(I,2)=V2(I)
C         ORIG(I,3)=V3(I)
30    CONTINUE
C
C      DO 40 I=1,N
C         YORIG(I)=Y(I)
40    CONTINUE
C
C      34 FORMAT(4(5X,F10.3))
C      100 FORMAT(5F10.2)

```

```

200 FORMAT (52X, 'PER.DE',/, 7X, 'GASTOS', 10X, 'AREA', 9X, 'PENDIENTE',
+7X, 'RETORNO',/, 6X, ' (M3/SEG)', 8X, ' (KM2)', 13X, 14X, ' (ANOS)')
201 FORMAT (5X, '*****')
+*****')
202 FORMAT (5X, '-----')
+-----')
RETURN
END

```

```

C*****
C
C          TRANSFORMACION ANTILOGARITMICA GASTOS MAXIMOS
C
C*****
C

```

```

SUBROUTINE TRANF1 (R1, R2, R3, R4)
IMPLICIT REAL * B (A-H, O-Z)
COMMON /DOS/ BETA (10, 1)

```

```

C
C          R1=10*(BETA(1, 1))
C          R2=BETA(2, 1)
C          R3=BETA(3, 1)
C          R4=BETA(4, 1)
C          WRITE (6, 202)
C          WRITE (6, 335) R1, R2, R3, R4
C          WRITE (6, 202)

```

```

202 FORMAT (5X, '-----')
+-----')

```

```

335 FORMAT (/, 5X, 'LA ECUACION AJUSTADA ES:', /
+/, 5X, 'QM = ', F9.4, ' ( A **', F7.4, ' ) ( S **', F7.4, ' ) (Tr **',
+, F7.4, ' )', /, 5X, 'DONDE:', /, 10X, 'QM = GASTO', /, 10X, 'A = AREA',
+/, 10X, 'S = PENDIENTE', /, 10X, 'Tr = PERIODO DE RETORNO', /)
RETURN
END

```

```

C*****
C
C          PREDICCION DE GASTOS MAXIMOS
C
C*****
C

```

```

SUBROUTINE PREDGM (R1, R2, R3, R4)
IMPLICIT REAL * B (A-H, O-Z)
DIMENSION QO (100), AO (100), SO (100), TO (100)

```

```

C
C          READ (1, 101) NP
C          WRITE (6, 204) NP
C
C          DO 10 I=1, NP
C             READ (1, 100) AO (I), SO (I), TO (I)
10 CONTINUE
C             WRITE (6, 202)
C             WRITE (6, 206)
C             DO 11 I=1, NP
C                R=R1*(AO(I)**R2)*(SO(I)**R3)*(TO(I)**R4)
C                WRITE (6, 205) R, AO (I), SO (I), TO (I)
11 CONTINUE

```

```

WRITE(6,203)
C
C   FORMATOS
C
100 FORMAT(3F10.0)
101 FORMAT(I5)
202 FORMAT(52X,'PER. DE',/,7X,'GASTOS',10X,'AREA',9X,'PENDIENTE',
+7X,'RETORNO',/,6X,'(M3/SEG)',9X,'(KM2)',23X,'(ANOS)')
203 FORMAT(5X,
+-----+
+)
204 FORMAT(///,10X,'NUMERO DE PREDICCIONES',I5)
205 FORMAT(4(5X,F10.3))
206 FORMAT(5X,'*****',)
RETURN
END

```

```

C*****
C
C           INVERSION DE MATRICES
C
C*****

```

```

SUBROUTINE INVM (NR)
IMPLICIT REAL * B (A-H,D-Z)
COMMON /ONCE/ A(100,100)
C
DO 200 N=1,NR
  D1=A(N,N)
  IF(D1.NE.0.0)GO TO 20
  WRITE(6,10)
  WRITE(#,10)
10 FORMAT(3X,'ERROR: LA MATRIZ POR INVERTIR TIENE UN CERO EN LA DIAGO
+NAL PRINCIPAL')
  RETURN
20  DO 100 J=1,NR
100  A(N,J)=-A(N,J)/D1
     DO 150 I=1,NR
       IF(N-I) 110,150,110
110  DO 130 J=1,NR
       IF(N-J) 120,130,120
120  A(I,J)=A(I,J)+A(I,N)*A(N,J)
130  CONTINUE
150  A(I,N)=A(I,N)/D1
     A(N,N)=1.0/D1
200 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C*****
C
C           ANALISIS DE REGRESION LINEAL MULTIPLE
C
C*****

```

```

SUBROUTINE RLM(NVAR,N)

```

```

IMPLICIT REAL * B (A-H,O-Z)
COMMON /UNQ/ D(10)
COMMON /DOS/ BETA(10,1)
COMMON /CUAT/ ORIG(100,10)
COMMON /CINC/ V1(100),V2(100),V3(100),V4(100),V5(100)
COMMON /SEIS/ YORIG(500)
COMMON /ONCE/XTX(100,100)
DIMENSION X(100,100),XT(100,100)
DIMENSION XTX0(100,100),Y(1000),YT(1,500)
DIMENSION BT(1,10),XTY(100)
DIMENSION SUMX(100),SUMXY(100)

```

```

C
C NVAR= NUMERO DE VARIABLES INDEPENDIENTES ARREGLO X
C

```

```

C OPCION A ANALISIS DE REGRESION LINEAL SIMPLE
C

```

```

C IF(NVAR.EQ.1) GO TO 1
C

```

```

C RESTRICCION A SOLAMENTE 5 VARIABLES INDEPENDIENTES
C

```

```

C IF(NVAR.GT.99) GO TO 2
C

```

```

C OPCION A ANALISIS DE REGRESION LINEAL MULTIPLE
C

```

```

C IF(NVAR.GT.1.AND.NVAR.LE.10) GO TO 3

```

```

2 NERR=NVAR-9
  WRITE(6,101) NERR
  RETURN

```

```

C N=NUMERO DE ECUACIONES
C

```

```

1 CONTINUE
  WRITE(6,200)

```

```

C CALL RLS(N)
C

```

```

  RETURN
3 CONTINUE
  WRITE(6,201)
  M=NVAR+1

```

```

C FORMACION DE LA MATRIZ DE TERMINOS INDEPENDIENTES
C

```

```

  DO 10 I=1,N
    X(I,1)=!.0

```

```

10 CONTINUE
  DO 20 I=1,N
    K=0

```

```

    DO 30 J=2,M
      K=K+1
      X(I,J)=ORIG(I,K)

```

```

30 CONTINUE
20 CONTINUE
  DO 2251 J=1,M
2251 SUMX(J)=0.0

```

```

DO 2230 J=1,M
DO 2231 I=1,N
SUMX(J)=SUMX(J)+X(I,J)
2231 CONTINUE
2230 CONTINUE
C
C TRANSPOSICION DE MATRIZ X EN LA MATRIZ XT
C
DO 500 I=1,N
DO 500 J=1,M
XT(J,I)=X(I,J)
500 CONTINUE
C
C PRODUCTO MATRICIAL DE LAS MATRICES XT POR X EN LA MATRIZ XTX
C
C ***X(N,M) MATRIZ DE TERMINOS INDEPENDIENTES
C ***XT(M,N) TRANSPUESTA DE LA MATRIZ X
C ***XTX(N,N) PRODUCTO DE XT POR X
C
DO 504 I=1,M
DO 504 J=1,M
XTX(I,J)=0.0
DO 504 K=1,N
504 XTX(I,J)=XTX(I,J)+XT(I,K)*X(K,J)
C
C LECTURA DEL VECTOR DE TERMINOS DEPENDIENTES Y
C
C *** Y(N) VECTOR DE TERMINOS DEPENDIENTES
C
DO 90 I=1,N
Y(I)=YORIG(I)
90 CONTINUE
C
C IGUALACION DE LA MATRIZ XTX A LA MATRIZ XTXO
C
DO 503 I=1,M
DO 503 J=1,M
503 XTXO(I,J)=XTX(I,J)
C
C INVERSION DE LA MATRIZ XTX LA MATRIZ ORIGINAL SE CONVIERTE
C EN LA INVERSA
C
CALL INVM(M)
C
DO 505 I=1,M
XTY(I)=0.0
DO 505 K=1,N
505 XTY(I)=XTY(I)+XT(I,K)*Y(K)
C
C OBTENCION DEL VECTOR DE COEFICIENTES BETA
C
DO 506 I=1,M
BETA(I,1)=0.0
DO 506 J=1,M
506 BETA(I,1)=BETA(I,1)+XTX(I,J)*XTY(J)

```

```

C
C      CALCULO DE PARAMETROS ESTADISTICOS
C
      BTXTY=0.0
      YTY=0.0
      DO 501 I=1,N
501  YT(I,1)=Y(I)
C
      DO 2252 J=1,M
2252  SUMXY(J)=0.0
      DO 2235 J=1,M
          DO 2236 I=1,N
              SUMXY(J)=SUMXY(J)+X(I,J)*YT(I,1)
2236  CONTINUE
2235  CONTINUE
C
      BETY=0.0
      SECUA=0.0
      SERAIZ=0.0
      DO 2239 J=1,M
          BETY = BETY + BETA (J,1) * SUMXY(J)
2239  CONTINUE
      DO 60 I=1,N
          SUMY=SUMY+Y(I)
          SUMY2=SUMY2+(Y(I)**2)
60  CONTINUE
C
      SECUA=SUMY2-BETY
      WRITE(6,2241)SECUA
      SERAIZ=SQRT(SECUA)
      WRITE(6,2242)SERAIZ
C
      DO 502 I=1,M
502  BT(I,1)=BETA(I,1)
      DO 507 J=1,M
          BTXTY=BT(I,J)*XTY(J)+BTXTY
507  CONTINUE
      DO 508 I=1,N
508  YTY=YTY+YT(I,1)*Y(I)
      Y2=(SUMY**2)/N
C
C      OBTENCION DEL COEFICIENTE DE CORRELACION MULTIPLE 'R'
C
      WRITE(6,300)
      WRITE(6,4433)(I,BETA(I,1),I=1,M)
      WRITE(6,303)
      R=(BTXTY-Y2)/(YTY-Y2)
      WRITE(6,301) R
      WRITE(6,303)
C
C      FORMATOS
C
101  FORMAT(3X,'ERROR EL MODELO PLANTEADO SE EXCEDF EN:',I4,'VARIABLE
+ES')
103  FORMAT(10X,5F10.2)

```

```

104 FORMAT(F10.2)
200 FORMAT(//,10X,'PARAMETROS MODELO DE REGRESION LINEAL SIMPLE:',/)
201 FORMAT(//,10X,'PARAMETROS MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE:',/)
300 FORMAT(//,10X,'VECTOR DE TERMINOS BETA',/)
301 FORMAT(10X,'COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL MULTIPLE =' ,F7.5,
+/,10X, '*****')
303 FORMAT(///)
2241 FORMAT(//,15X,' VARIANZA DEL ERROR (SE**2)=' ,F10.4)
2242 FORMAT(//,15X,'DESV. STANDAR DEL ERROR (SE**1/2)=' ,F10.4)
4433 FORMAT(10X,15,3X,F10.3)
RETURN
END
C*****
C
C ANALISIS DE REGRESION LINEAL SIMPLE
C
C*****
C
SUBROUTINE RLS(N)
IMPLICIT REAL * B (A-H,O-Z)
COMMON /CINC/ X(100),DUMMY(400)
COMMON /SEIS/ Y(500)
COMMON /SIET/ BET,ALF
C
C CALCULO DE LAS SUMAS DE LAS VARIABLES
C CALCULO DE LAS SUMAS DE LOS CUADRADOS DE LAS VARIABLES
C
DO 10 I=1,N
SUMX=SUMX+X(I)
SUMY=SUMY+Y(I)
SUMY2=SUMY2+(Y(I)**2)
SUMX2=SUMX2+(X(I)**2)
SUMXY=SUMXY+(X(I)*Y(I))
10 CONTINUE
C
C OBTENCION DE LAS MEDIAS CORRESPONDIENTES
C
XM=SUMX/N
YM=SUMY/N
SXX=N*SUMX2-SUMX**2
SYY=N*SUMY2-SUMY**2
SXY=N*SUMXY-SUMX*SUMY
C
C CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION
C
BET=SXY/SXX
ALF=YM-(BET*XM)
C
C CORR= COEFICIENTE DE CORRELACION SIMPLE ENTRE
C LAS VARIABLES X Y Y
C
CORR=SXY*(DSQRT(SXX*SYY)**(-1))
WRITE(6,1000) BET,ALF,CORR
C
C FORMATOS

```

```

C
  100 FORMAT(2F10.0)
  1000 FORMAT(/,10X,'COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION SIMPLE',/,
    *15X,'COEFICIENTE BETA=',F10.2,/,15X,'COEFICIENTE ALFA=',F10.2,/,
    *15X,'COEFICIENTE DE CORRELACION=',F10.5,/,
    *15X,'*****',/)
  RETURN
  END
C*****
C
C      RELACION LLUVIA ESCURRIMIENTO
C
C*****
C
  SUBROUTINE RLE
  IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
  COMMON/DOS/BETA(10,1)
  COMMON/TABLA/NZ(24),CEMAX(24),CEMIN(24)
  COMMON/RESUL/RK,RM,RN
  DIMENSION TC(10),NZT(10),CMAX(10),A(10),PR(10),TINT(10)
  DIMENSION QP(10)
  CALL IDT
C
C      NUMERO TOTAL DE AREAS
C
C      READ(1,100)NT
C
C      LECTURA DE TIEMPO DE CONCENTRACION EN MINUTOS
C
C      READ(1,200)(TC(I),I=1,NT)
C
C      LECTURA DE AREAS EN KM2
C
C      READ(1,200)(A(I),I=1,NT)
C
C      LECTURA DE TIPO DE ZONAS DADAS EN TABLA
C
C      READ(1,200)(CMAX(I),I=1,NT)
C
C      SUMTC=0.0
C      SUMCA=0.0
C      SUMA=0.0
C
C      DO 30 I=1,NT
C          SUMTC=SUMTC+TC(I)
C          SUMCA=SUMCA+CMAX(I)*A(I)
C          SUMA=SUMA+A(I)
C  30 CONTINUE
C
C      CPROM=0.0
C      C=SUMCA/SUMA
C
C      LECTURA DEL NUMERO DE PERIODOS DE RETORNO
C      PARA LOS CUALES SE VA A CALCULAR EL GASTO DE DISEÑO

```



```

C      READ(1,100)NPR
      READ(1,200)(PR(I),I=1,NPR)
      DO 40 I=1,NPR
        TINT(I)=RK*(FR(I)**RN)/(SUMTC**RN)
40    CONTINUE

C      CALCULO DEL GASTO DE DISEÑO POR EL METODO RACIONAL AMERICANO
C
C      DO 50 I=1,NPR
        OP(I)=0.278*C*TINT(I)*SUMA
50    CONTINUE

C      IMPRESION DE RESULTADOS
C
C      WRITE(6,400)SUMTC,C
      WRITE(6,500)
      WRITE(6,402)
      WRITE(6,600)(PR(I),TINT(I),OP(I),I=1,NPR)
      WRITE(6,401)

C
100  FORMAT(15)
200  FORMAT(10F5.0)
400  FORMAT(5(/),10X,'TIEMPO DE CONCENTRACION TOTAL ',F5.2,' MIN',//,
      +10X,'COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO',F10.3,/)
401  FORMAT(1X,'-----',
      +',-----')
402  FORMAT(1X,'*****',
      +',*****')
500  FORMAT(1X,'PERIODO DE RETORNO',10X,'INTENSIDADES OBTENIDAS',
      +10X,'GASTOS DE DISEÑO',/,
      +1X,'      (ANOS) ',10X,'      (MM/HR) ',
      +10X,'      (M3/SEG)')
600  FORMAT(8X,F10.3,10X,F10.3,18X,F10.3)
      RETURN
      END
C*****
C      FUNCION DE TRANSFORMACION PARA GASTOS
C      MAXIMOS MENSUALES
C*****
C
SUBROUTINE TRAGM(A,H0)
IMPLICIT REAL *B(A-H,Z)
COMMON /SIET/ BET,ALF

C
A=ALF
H0=BET
WRITE(6,100)
WRITE(6,101)A,H0
WRITE(6,100)
101  FORMAT(/,10X,'LA ECUACION AJUSTADA ES:',//,10X,'BEST=',F9.4,
      +',',F9.4,' * (Q)',/,10X,'DONDE:',/,15X,'BEST = GASTO ESTIMADO',
      +',',15X,'Q = GASTO OBSERVADO',/)
100  FORMAT(5X,'-----')

```

+ - ?)

RETURN
END

C*****
C
C FUNCION DE PREDICCION PARA GASTOS *
C MAXIMOS MENSUALES *
C *****
C

SUBROUTINE PRGMM(A,H0)
IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)

READ(1,100)N
WRITE(6,201)N
WRITE(6,200)
WRITE(6,203)

DO 10 I=1,N
 READ(1,300)H
 QM=A+(H*H0)
 WRITE(6,400)I,H,QM
 QM=0.0
 H=0.0

10 CONTINUE
 WRITE(6,202)

FORMATS

100 FORMAT (I5)
300 FORMAT(F10.0)
201 FORMAT(///,10X,'NUMERO DE GASTOS POR PREDICCION',I5,/))
200 FORMAT(23X,'GASTO 1',9X,'GASTO 2',/,8X,'MES',20X,'(M3/SEG)'))
202 FORMAT(5X,'-----'))
203 FORMAT(5X,'*****'))
400 FORMAT(6X,I5,10X,F10.2,8X,F15.3)
RETURN
END

C*****
C
C CURVAS ELEVACIONES GASTO *
C *****
C

SUBROUTINE CEG
IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
COMMON /UNO/ D(10)
COMMON /CUAT/ ORIG(100,10)
COMMON /TRES/ TR(100),ORINT(100,10)
COMMON /CINC/ V1(100),V2(100),V3(100),V4(100),V5(100)
COMMON /SEIS/ YORIG(500)
COMMON /SIET/ BET,ALF
CHARACTER * 2 LOP1,LOP2,LPRED,LOPMA

```

C      INICIALIZACION DE VARIABLES
C
      LMA=0
      CALL INIC
      READ(1,100)LOP1,LOP2,LOPMA
C
      IF(LOPMA.EQ.'NO') LMA=1
      IF(LMA.NE.1) GO TO 400
      WRITE(6,401)
      GO TO 410
400    WRITE(6,402)
410    CONTINUE
      IF(LOP1.EQ.'NO') GO TO 1
      WRITE(6,300)
C
C      LECTURA DE NUMERO DE ANOS
C
      READ(1,101)NA
      WRITE(6,200)NA
C
      WRITE(6,201)
      WRITE(6,205)
      WRITE(6,207)
C
C      PROCEDIMIENTO PARA CURVA DE ELEVACIONES VS. GASTOS
C
      Q.....GASTOS
      H.....ELEVACIONES
      NM.....NUMERO DE MESES
C
      NM=NA*12
      DO 20 I=1,NM
          READ(1,104)Q,H
          WRITE(6,105)I,Q,H
          VI(I)=DLOG10(H)
          YDRIG(I)=DLOG10(Q)
          Q=0.0
          H=0.0
20    CONTINUE
C
      WRITE(6,206)
C
C      PROCEDIMIENTO DE REGRESION LINEAL SIMPLE
C      PARA GASTOS MAXIMOS MENSUALES
C
      CALL RLS(NM)
C
C      FUNCION DE TRANSFORMACION
C
      CALL TRACEG(A,H0)
C
      READ(1,102)LPRED
      IF(LPRED.EQ.'SI') GO TO 220
C

```

```

WRITE(6,3011)LPRED
220 CONTINUE
IF(LPRED.EQ.'NO') GO TO 1
C
C OPCION DE PREDICCION
C
CALL PRECEB(A,H0)
1 CONTINUE
100 FORMAT(3A2)
101 FORMAT(2I5)
102 FORMAT(A2)
103 FORMAT(/,10X,A2,1X,'SE DESEA PREDICCION')
104 FORMAT(2F10.0)
105 FORMAT(10X,15,3X,2F10.2)
200 FORMAT(10X,'NUMERO DE ANOS',5X,15,/)
201 FORMAT(13X,'CURVA ELEVACIONES-GASTOS',/)
205 FORMAT(12X,'ANO',7X,'GASTOS',3X,'ELEVACIONES',/,21X,'(M3/SEG)',
+4X,'(MTS)')
206 FORMAT(5X,'-----')
207 FORMAT(5X,'*****')
221 FORMAT(5X,'NUMERO TOTAL DE ANOS',15)
300 FORMAT(10X,'OPCION DE CURVA ELEVACIONES-GASTOS')
401 FORMAT(10X,'OPCION DE EXCEDENTES ANUALES')
402 FORMAT(10X,'OPCION DE MAXIMOS ANUALES')
3011 FORMAT(/,10X,A2,1X,'SE DESEA PREDICCION')
RETURN
END
C*****
C
C FUNCION DE TRANSFORMACION PARA GASTOS
C CURVAS ELEVACIONES-GASTOS
C
C*****
C
SUBROUTINE TRACEB (A,H0)
IMPLICIT REAL * 8 (A-H,O-Z)
COMMON /SIET/ BET,ALF
C
A=10**(ALF)
H0=BET
WRITE(6,100)
WRITE(6,101)A,H0
WRITE(6,100)
100 FORMAT(5X,'-----')
*-)
101 FORMAT(/,10X,'LA ECUACION AJUSTADA ES:',
+/,15X,'Q=' , F10.4, '**(EL)**',F10.4,/,5X,'DONDE:',/,10X,'EL = ELEVAC
+ION',/,10X,'Q = GASTO',/)
RETURN
END

```

```

*****
C      FUNCION DE PREDICION PARA CURVAS
C      ELEVACIONES GASTOS
C      *****
C
C      SUBROUTINE PRECEG(A,H0)
C      IMPLICIT REAL *B (A-H,D-Z)
C
C      READ(1,100)N
C      WRITE(6,201)N
C      WRITE(6,200)
C      WRITE(6,203)
C
C      H .....ELEVACION
C      QM.....GASTOS
C
C      DO 10 I=1,N
C          READ(1,300)H
C          QM=A*(H**HO)
C          WRITE(6,400)I,H,QM
C          QM=0.0
C          H=0.0
C      10 CONTINUE
C          WRITE(6,202)
C
C      FORMATOS
C
C      100 FORMAT (I5)
C      300 FORMAT(F10.0)
C      201 FORMAT(10X,'NUMERO DE ALTURAS POR PREDICION',I5,/)
C      200 FORMAT(4X,'ELEVACION',7X,'ELEVACION',12X,'GASTO',/,7X,'NO.'
C          +12X,'(NTS)',13X,'(M3/SEG)')
C      202 FORMAT(5X,'-----')
C      203 FORMAT(5X,'*****')
C      400 FORMAT(6X,I5,8X,F10.2,9X,F10.3)
C      RETURN
C      END

```

A N E X O 2

EJEMPLO NO. 1
 ALTURAS DE PRECIPITACION / PERIODO DE RETORNO POR SERIE DE MAXIMAS ANUALES
 ESTACION: 'SANTA CATARINA', TAMAULIPAS

CURVAS DE INTENSIDAD DE LLUVIA-DURACION-PERIODO DE RETORNO

SI HAY ALTURAS DE PRECIPITACION
 NO HAY INTENSIDADES DE LLUVIA

PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR MAXIMOS ANUALES

NUMERO DE ALTURAS DE PRECIPITACION = 10

TABLA DE ALTURAS DE PRECIPITACION

AÑO	DURACIONES (EN MIN)					
	5.	10.	20.	45.	80.	120.
1954	8.00	9.00	9.30	10.50	12.80	14.20
1955	8.00	8.00	14.50	20.50	34.00	48.00
1956	12.50	15.50	20.00	24.80	25.50	25.60
1957	7.50	11.00	14.30	19.00	25.70	29.00
1959	5.70	6.80	9.20	10.00	15.20	15.60
1960	9.80	11.70	18.00	20.60	21.10	22.60
1961	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10
1962	13.50	18.50	20.70	38.50	60.00	80.00
1963	8.00	10.00	11.50	20.30	23.10	30.00
1964	10.00	17.50	18.50	18.50	10.20	19.80

TABLA DE INTENSIDADES TRANSFORMADAS

AÑO	DURACIONES (EN MIN)					
	5.	10.	20.	45.	80.	120.
1954	96.00	54.00	27.90	14.00	9.60	7.10
1955	96.00	48.00	43.50	27.33	25.50	24.00
1956	150.00	93.00	60.00	33.07	19.13	12.80
1957	90.00	66.00	42.90	25.33	19.28	14.50
1959	68.40	40.80	27.60	13.33	11.40	7.80
1960	117.60	70.20	54.00	27.47	15.83	11.30
1961	85.20	42.60	21.30	9.47	5.32	3.55
1962	162.00	111.00	62.10	51.33	45.00	40.00
1963	96.00	60.00	34.50	27.07	17.33	15.00
1964	120.00	105.00	55.50	24.67	7.65	9.90

TABLA DE INTENSIDADES DE LLUVIA ORDENADAS

NO. DE ORDEN	PER. DE RETORNO	DURACIONES (EN MIN)					
		5.	10.	20.	45.	80.	120.
1	11.00	162.00	111.00	62.10	51.33	45.00	40.00
2	5.50	150.00	105.00	60.00	33.07	25.50	24.00
3	3.67	120.00	93.00	55.50	27.47	19.28	15.00
4	2.75	117.60	70.20	54.00	27.33	19.13	14.50
5	2.20	96.00	66.00	43.50	27.07	17.33	12.80
6	1.83	96.00	60.00	42.90	25.33	15.83	11.30
7	1.57	96.00	54.00	34.50	24.67	11.40	9.90
8	1.38	90.00	48.00	27.90	14.00	9.60	7.80
9	1.22	85.20	42.60	27.60	13.33	7.65	7.10
10	1.10	68.40	40.80	21.30	9.47	5.32	3.55

PARAMETROS MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE:

VARIANZA DEL ERROR (SE**2) = .5158

DESV. STANDAR DEL ERROR (SE**1/2) = .7182

VECTOR DE TERMINOS BETA

1 2.279
2 .587
3 -.693

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL MULTIPLE = .94433

LA ECUACION AJUSTADA ES:

$$I = 190.0279 * (T_r ** .5867) / (D ** .6928)$$

DONDE:

I = INTENSIDAD DE LLUVIA

T_r = PERIODO DE RETORNO

D = DURACIONES

NUMERO DE PERIODOS DE RETORNO PARA PREDICCION 3

TABLA DE PREDICCION

PER. DE RETORNO	DURACIONES					
	5.	10.	20.	45.	80.	120.
11.0	254.40	157.39	97.37	55.52	37.27	28.14
2.2	98.96	61.22	37.88	21.60	14.50	10.95
1.1	65.90	40.77	25.22	14.38	9.65	7.29

FIN DE TRABAJO

EJEMPLO NO. 2

APLICACION DE REGRESION LINEAL SIMPLE POLIUTLA ESTACION PALOS ALTOS---
GASTOS MEDIOS MENSUALES AFORADOS ENTRE LA ESTACION MALPASO II/ESTACION
REFORMA (RIO GRIJALVA Y RIO MEZCAPALA) AÑO DE 1979

GASTOS MAXIMOS

PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR EXCEDENTES ANUALES

OPCION DE GASTOS MAXIMOS MENSUALES

NUMERO DE AÑOS 1

GASTOS MAXIMOS MENSUALES
(M3/SEG)

MES	EST. 1	EST. 2
1	321.00	175.97
2	222.81	75.83
3	155.41	45.94
4	274.58	77.57
5	431.65	131.18
6	446.52	136.05
7	456.84	171.13
8	1270.04	475.75
9	2089.29	897.42
10	1618.41	710.58
11	431.72	268.30
12	509.33	224.12

COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION SIMPLE

COEFICIENTE BETA= 2.26

COEFICIENTE ALFA= 47.46

COEFICIENTE DE CORRELACION= .98707

LA ECUACION AJUSTADA ES:

QEST= 47.4642+ 2.2591 * (Q)

DONDE:

QEST = GASTO ESTIMADO

Q = GASTO OBSERVADO

NUMERO DE GASTOS POR PREDICION 12

MES	GASTO 1 (M3/BEG)	GASTO 2
1	175.97	445.000
2	75.83	218.773
3	45.94	151.248
4	77.57	222.704
5	131.18	343.815
6	136.05	354.816
7	171.13	434.066
8	475.75	1122.237
9	897.42	2074.837
10	710.58	1652.744
11	268.30	653.584
12	224.12	553.776

FIN DE TRABAJO

EJEMPLO NO. 3
 GASTO MAXIMO PARA DIFERENTES SUBCUENCAS PARA DIF. PERIODOS DE RETORNO
 TAMPADON/EL PUJAL-MOCTEZUMA/PTE.MAZACINTLA-ANAJAC/TEMAMATLA-AXTLA/REQUETEMU

GASTOS MAXIMOS

PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR MAXIMOS ANUALES

OPCION PARA GASTOS MAXIMOS ANUALES

NUMERO TOTAL DE ANOS 5

GASTOS (M3/SEG)	AREA (KM2)	PENDIENTE	PER. DE RETORNO (ANOS)
5410.000	23373.000	.008	6.000
5233.000	17238.000	.008	3.000
4037.000	6884.000	.014	2.000
3295.000	5275.000	.014	1.500
2696.000	661.000	.079	1.200

PARAMETROS MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE:

VARIANZA DEL ERROR (SE**2)= .0017

DESV. STANDAR DEL ERROR (SE**1/2)= .0412

VECTOR DE TERMINOS BETA

1	2.703
2	.055
3	-.245
4	.681

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL MULTIPLE = .97482

LA ECUACION AJUSTADA ES:

QM = 505.1350 (A ** .0546) (S ** -.2449) (Tr ** .6807)
DONDE:

QM = GASTO
A = AREA
S = PENDIENTE
Tr = PERIODO DE RETORNO

NUMERO DE PREDICCIONES		6		
GASTOS (M3/SEG)	AREA (KM2)	PENDIENTE	PER.DE RETORNO (ANOS)	
27718.330	61063.000	.007	25.000	*****
9790.966	23373.000	.008	6.000	
6007.276	17238.000	.008	3.000	
3766.307	6884.000	.014	2.000	
3029.995	5275.000	.014	1.500	
1517.440	661.000	.079	1.200	

FIN DE TRABAJO

EJEMPLO NO. 4
 CURVA DE ELEVACION-GASTOS
 RIO MEZCAPALA-ESTACION LA PENITA AÑO 1979

CURVA ELEVACION-GASTOS

OPCION DE EXCEDENTES ANUALES

OPCION DE CURVA ELEVACIONES-GASTOS

NUMERO DE AÑOS 1

CURVA ELEVACIONES-GASTOS

ANO	GASTOS (M3/SEG)	ELEVACIONES (MTS)
1	1156.00	4.16
2	445.74	2.75
3	325.45	2.41
4	457.00	2.86
5	506.50	2.97
6	560.50	3.09
7	884.50	3.69
8	2230.00	5.30
9	4000.00	6.40
10	3765.00	6.42
11	2490.00	5.39
12	994.00	3.68

COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION SIMPLE

COEFICIENTE BETA= 2.57

COEFICIENTE ALFA= 1.50

COEFICIENTE DE CORRELACION= .99826

LA ECUACION AJUSTADA ES:

$Q = 31.9208 * (EL) ** 2.5708$

DONDE:

EL = ELEVACION

Q = GASTO

NUMERO DE ALTURAS POR PREDICCION 13

ELEVACION ND.	ELEVACION (MTS)	GASTO (M3/SEG)
1	6.80	4408.698
2	4.16	1246.395
3	2.75	430.053
4	2.41	306.319
5	2.86	475.677
6	2.97	524.142
7	3.09	580.326
8	3.69	915.800
9	5.30	2323.068
10	6.40	3772.448
11	6.42	3802.829
12	5.39	2425.839
13	3.68	909.433

FIN DE TRABAJO

EJEMPLO NO. 5
 EJEMPLO DE RELACION LLUVIA-ESCURRIMIENTO CON EL MÉTODO RACIONAL
 DOS ÁREAS, ZONA URBANA Y ZONA RESIDENCIAL
 SE BUSCA DETERMINAR EL GASTO DE DISEÑO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS

RELACION LLUVIA-ESCURRIMIENTO
 NO HAY ALTURAS DE PRECIPITACION
 SI HAY INTENSIDADES DE LLUVIA

PERIODO DE RETORNO CALCULADO POR MAXIMOS ANUALES

NUMERO DE INTENSIDADES DE LLUVIA 26

TABLA DE INTENSIDADES DE LLUVIA

DURACIONES (EN MIN)

ANO	5.	10.	20.	45.	80.	120.
1	13.50	19.00	29.00	55.50	66.80	80.00
2	12.50	18.50	28.50	47.50	60.00	67.80
3	12.40	18.30	26.70	38.50	55.20	56.00
4	11.00	17.50	25.90	35.50	38.00	48.00
5	10.70	16.00	20.70	30.40	36.40	46.00
6	10.50	15.50	20.00	30.00	34.00	44.60
7	10.00	15.50	18.00	28.20	34.00	38.60
8	10.00	12.70	18.00	26.00	32.30	38.00
9	10.00	11.70	17.80	24.80	32.10	36.40
10	10.00	11.30	17.10	23.50	32.00	35.80
11	9.80	11.00	16.20	23.00	29.20	32.20
12	8.50	10.70	16.20	20.60	28.70	30.00
13	8.20	10.60	16.10	20.50	25.70	29.20
14	8.00	10.30	15.00	20.30	25.50	29.00
15	8.00	10.00	14.50	20.00	23.10	26.20
16	8.00	10.00	14.40	19.00	22.30	25.60
17	8.00	9.70	14.30	18.50	21.10	25.20
18	7.70	9.60	14.20	18.50	19.50	22.60
19	7.50	9.50	11.70	17.30	19.20	19.80
20	7.20	9.00	11.50	15.80	15.90	15.80
21	7.10	8.70	10.50	10.50	15.20	15.60
22	6.60	8.00	9.30	10.50	10.80	14.20
23	6.40	7.80	9.20	10.00	10.50	13.80
24	5.70	7.10	9.00	9.50	10.00	11.80
25	5.50	6.80	7.10	7.10	8.70	9.40
26	4.80	4.80	6.10	6.30	7.10	7.20

TABLA DE INTENSIDADES DE LLUVIA ORDENADAS

NO. DE ORDEN	PER. DE RETORNO	DURACIONES (EN MIN)					
		5.	10.	20.	45.	80.	120.
1	27.00	13.50	19.00	29.00	55.50	66.80	80.00
2	13.50	12.50	18.50	28.50	47.50	60.00	67.80
3	9.00	12.40	18.30	26.70	38.50	55.20	56.00
4	6.75	11.00	17.50	25.90	35.50	38.00	48.00
5	5.40	10.70	16.00	20.70	30.40	36.40	46.00
6	4.50	10.50	15.50	20.00	30.00	34.00	44.60
7	3.86	10.00	15.50	18.00	28.20	34.00	38.60
8	3.38	10.00	12.70	18.00	26.00	32.30	38.00
9	3.00	10.00	11.70	17.80	24.80	32.10	36.40
10	2.70	10.00	11.30	17.10	23.50	32.00	35.80
11	2.45	9.80	11.00	16.20	23.00	29.20	32.20
12	2.25	8.50	10.70	16.20	20.60	28.70	30.00
13	2.08	8.20	10.60	16.10	20.50	25.70	29.20
14	1.93	8.00	10.30	15.00	20.30	25.50	29.00
15	1.80	8.00	10.00	14.50	20.00	23.10	26.20
16	1.69	8.00	10.00	14.40	19.00	22.30	25.60
17	1.59	8.00	9.70	14.30	18.50	21.10	25.20
18	1.50	7.70	9.60	14.20	18.50	19.50	22.60
19	1.42	7.50	9.50	11.70	17.30	19.20	19.80
20	1.35	7.20	9.00	11.50	15.80	15.90	15.80
21	1.29	7.10	8.70	10.50	10.50	15.20	15.60
22	1.23	6.60	8.00	9.30	10.50	10.80	14.20
23	1.17	6.40	7.80	9.20	10.00	10.50	13.80
24	1.13	5.70	7.10	9.00	9.50	10.00	11.80
25	1.08	5.50	6.80	7.10	7.10	8.70	9.40
26	1.04	4.80	4.80	6.10	6.30	7.10	7.20

PARAMETROS MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE:

VARIANZA DEL ERROR (SE**2) = 29.9964

DESV. STANDAR DEL ERROR (SE**1/2) = 5.4769

VECTOR DE TERMINOS BETA

1 .688
 2 .663
 3 .359

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL MULTIPLE = .87482

LA ECUACION AJUSTADA ES:

$$I = 4.8756 * (Tr ** .6626) / (D ** -.3590)$$

DONDE:

I = INTENSIDAD DE LLUVIA

Tr = PERIODO DE RETORNO

D = DURACIONES

NUMERO DE PERIODOS DE RETORNO PARA PREDICCION 26

TABLA DE PREDICCION

PER. DE RETORNO	5.	10.	20.	45.	80.	120.
27.0	77.17	98.98	126.94	169.85	208.82	241.55
13.0	47.55	60.98	78.21	104.65	128.66	148.82
9.0	37.26	47.79	61.30	82.02	100.84	116.64
6.8	30.80	39.50	50.66	67.78	83.34	96.40
5.4	26.56	34.07	43.70	58.47	71.88	83.15
4.5	23.54	30.19	38.72	51.81	63.70	73.68
3.9	21.27	27.27	34.98	46.80	57.54	66.56
3.4	19.47	24.98	32.04	42.86	52.70	60.96
3.0	17.99	23.08	29.60	39.61	48.69	56.32
2.7	16.78	21.52	27.60	36.93	45.41	52.53
2.5	15.73	20.18	25.88	34.63	42.58	49.25
2.3	14.87	19.07	24.46	32.73	40.24	46.55
2.1	14.12	18.11	23.22	31.07	38.20	44.19
1.9	13.43	17.23	22.10	29.57	36.35	42.05
1.8	12.83	16.45	21.10	28.23	34.71	40.15
1.7	12.30	15.78	20.24	27.08	33.29	38.51
1.6	11.82	15.15	19.44	26.00	31.97	36.98
1.5	11.37	14.58	18.70	25.02	30.76	35.58
1.4	10.96	14.06	18.03	24.13	29.66	34.31
1.4	10.60	13.60	17.44	23.33	28.69	33.18
1.3	10.29	13.19	16.92	22.64	27.84	32.20
1.2	9.97	12.78	16.40	21.94	26.97	31.20
1.2	9.64	12.37	15.86	21.22	26.09	30.18
1.1	9.42	12.08	15.50	20.74	25.50	29.49
1.1	9.14	11.73	15.04	20.13	24.74	28.62
1.0	8.92	11.44	14.67	19.63	24.13	27.91

TIEMPO DE CONCENTRACION TOTAL 20.00 MIN

COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO .529

PERIODO DE RETORNO (ANOS)	INTENSIDADES OBTENIDAS (MM/HR)	GASTOS DE DISEÑO (M3/SEG)
***** 10.000	***** 65.732	***** 33.806

FIN DE TRABAJO