

527

UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA

"TRANSITO DE AVENIDAS EN CAUCES UTILIZANDO  
EL METODO DE MUSKINGUM"

DISERTACION

MARIO RENE MORENO ZEPEDA

//

ABRIL 1987

# Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

"TRANSITO DE AVENIDAS EN CAUCES UTILIZANDO  
EL METODO DE MUSKINGUM"

DISERTACION

SOMETIDA A LA CONSIDERACION  
DE LA  
ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DE SONORA

POR

MARIO RENE MORENO ZEPEDA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO  
CON ESPECIALIDAD EN IRRIGACION

ABRIL 1987

### DEDICADO A:

Mi Madre: sus sacrificios, desvelos y preocupaciones no han sido en vano, gracias, es la mejor herencia que se pueda dar.

María Rosa: en este tiempo he contado con tu presencia, apoyo y comprensión, se que de ahora en adelante seguiremos juntos.

Mis hermanas y hermanos: les agradezco el apoyo que me han dado, estaré siempre disponible para ustedes.

Monchi: a ti especialmente porque tu indicaste con tu ejemplo el camino a seguir.

Jano: mas que cuñado y compadre tengo en ti a un amigo.

Fam. Yanes Saavedra: lo que inicio como amistad se ha transformado en algo mas firme.

Mis maestros: a cada uno de ellos que han participado en mi formación transmitiendo sus conocimientos y experiencias, les estaré eternamente agradecido.

Mis compañeros: a todos con los que estuve en cada etapa de mis estudios.

Mis escuelas: gracias por permitirme prepararme en sus aulas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa cooperación prestada por el Ing. A. Tapia jefe del departamento de hidrometría del distrito de riego no. 75 para la planeación, compilación y organización de la información requerida.

El agradecimiento se hace extensivo muy especialmente - al Dr. Christopher Watts cuya participación y asesoría ha - hecho posible la realización de este trabajo.

Asimismo la colaboración del Ing. Oscar A. Cámara Durán en lo referente al manejo de la computadora fué de gran utilidad.

Se agradece de una manera muy especial a la Universidad de Sonora en particular a la Escuela de Agricultura y Ganadería, así como también al Instituto Tecnológico de Sonora específicamente a la Maestría en Administración de Recursos Hidráulicos por su ayuda para la elaboración del presente - trabajo.

## INDICE

	Pag
Introducción.....	1
Literatura revisada.....	3
Conclusiones.....	22
Recomendaciones.....	25
Bibliografía.....	26
Anexo.....	27

## INDICE DE CUADROS

	Pag
1- Determinación de las constantes para el método de Muskingum.....	19
2- Datos de escala-gasto para la obtención de la curva de ajuste escala-gasto para la estación Chinipas.....	28
3- Datos de escala-gasto para la obtención de la -- curva de ajuste escala-gasto para la estación Palo Dulce.....	31
4- Ajuste de la curva escala-gasto para la estación Chinipas ( $H_o=0.94$ ).....	38
5- Ajuste de la curva escala-gasto para la estación Palo Dulce ( $H_o=0.35$ ).....	42
6- Lectura de escala en la estación de aforo Chinipas en febrero de 1973.....	47
7- Lectura de escala en la estación de aforo Palo Dulce en febrero de 1973.....	48
8- Ecurrimiento en la estación de aforo Chinipas en febrero de 1973.....	51
9- Ecurrimiento en la estación de aforo Palo Dulce en febrero de 1973.....	52
10- Gastos medios presentados del 1 de febrero de -- 1973 al 28 de febrero de 1973.....	55
11- Hidrograma de la estación Chinipas e hidrograma de la estación Palo Dulce de la avenida presentada del 21 al 28 de febrero de 1973.....	56

## INDICE DE FIGURAS

	Pag
1- Proceso del pronóstico tradicional de una avenida.....	5
2- Almacenamiento contra salidas simultáneas.....	6
3- Perfiles posibles de la superficie del agua en un canal durante el paso de una onda de avenida.....	7
4- Cálculo del almacenamiento en un tramo basado en las secciones transversales del cauce.....	9
5- Cálculo del almacenamiento en el canal a partir de los hidrogramas de entrada y de salida.....	10
6- Curva escala-gasto para estación de aforo Chinipas.....	45
7- Curva escala-gasto para estación de aforo Palo Dulce...	46
8- Gasto medio diario del 1 de febrero de 1973 al 28 de febrero de 1973 en estación de aforo Chinipas.....	53
9- Gasto medio diario del 1 de febrero de 1973 al 28 de febrero de 1973 en estación de aforo Palo Dulce.....	54
10- Avenida presentada del 21 al 28 de febrero de 1973.....	57
11- Determinación constantes método Muskingum ( $x=0$ ).....	60
12- Determinación constantes método Muskingum ( $x=0.1$ ).....	61
13- Determinación constantes método Muskingum ( $x=0.2$ ).....	62
14- Determinación constantes método Muskingum ( $x=0.3$ ).....	63
15- Determinación constantes método Muskingum ( $x=0.4$ ).....	64
16- Determinación constantes método Muskingum ( $x=0.48$ ).....	65
17- Determinación constantes método Muskingum ( $x=0.5$ ).....	66
18- Curva elevación-gasto.....	68



## INDICE DE PROGRAMAS

	Pag
1- Programa que modifica la columna de las escalas del archivo de datos para el ajuste de la curva escala-gasto.....	33
2- Programa que calcula por el método de mínimos cuadrados los coeficientes A y B para una serie de N pares de valores X y Y para ecuaciones lineales, exponenciales, logarítmicas.....	34
3- Programa que convierte los archivos de escala a gasto utilizando la ecuación escala-gasto ajustada a la estación Chimpas.....	49
4- Programa que convierte los archivos de escala a gasto utilizando la ecuación escala-gasto ajustada a la estación Palo Dulce.....	50
5- Programa para calcular los parámetros y coeficientes del método de Muskingum.....	58

## INTRODUCCION

La cuenca del río Fuerte es una de las de mayor importancia en México, debido a su extensión y a los volúmenes escurridos que genera anualmente, es por ello que se han realizado obras hidráulicas para la regulación de sus aguas, sin embargo, su situación geográfica permite el desarrollo de fenómenos meteorológicos que entran a tierra, alcanzando a producir perturbaciones atmosféricas, ocasionando con esto lluvias de importancia, las cuales propician escurrimientos cuyas aguas al ser conducidas por los ríos forman grandes avenidas que son difíciles de controlar adecuadamente, provocando con esto que en los márgenes de los ríos se produzcan inundaciones que afectan a poblaciones y causan daños a la agricultura.

La creciente necesidad de aprovechar los recursos hidráulicos más eficientemente ha estimulado las investigaciones para pronosticar y transitar las avenidas, esto trae consigo un beneficio no solo en reducir los posibles daños de una inundación sino que permite un manejo completo de los escurrimientos. Es importante por lo tanto un pronóstico oportuno de la avenida como el tránsito de la misma ya sea en el cauce o en el embalse.

Se entiende como avenida el producto del escurrimiento por la lluvia y/o el deshielo en cantidades tan grandes que

no pueden alojarse en los cauces de las corrientes.

El tránsito de avenidas en cauces, es una técnica hidrológica que es usada para predecir las variaciones temporales y espaciales de una onda al pasar la extensión de un tramo de río (determinando su tiempo y magnitud), además es útil para calcular el efecto de almacenamiento del cauce en la forma y movimiento de la misma, esto permite tomar medidas de evacuación temporal ya sea de bienes o personas.

Al contar con un aviso anticipado de las características de una avenida es posible llevar a cabo acciones apropiadas - definiendo políticas de operación flexibles que pueden irse - modificando conforme se obtiene información sobre la avenida pronosticada.

El objetivo del presente trabajo es aplicar la técnica de tránsito de avenidas en cauces mediante el método de Muskingum o analítico, específicamente en el río Oteros en el tramo comprendido entre las estaciones hidrométricas Chinipas y Palo Dulce que aforan los escurrimientos de las subcuencas Chinipas I y Chinipas II respectivamente en la cuenca del río --Fuerte.

La elaboración de este estudio está enfocada básicamente a estas subcuencas por su disponibilidad de información y además con la pretensión de establecer la secuencia para una - integración completa y tener los parámetros para el tránsito en toda la cuenca para que en futuras avenidas se puedan tomar las debidas precauciones al conocer el movimiento de la - onda que se presente.

## LITERATURA REVISADA

Generalmente se intenta controlar las grandes avenidas - mediante obras de regulación, conducción y protección como - son presas, canales, y bordos. Este tipo de medidas para con- trolar las avenidas, a las que se acostumbra clasificar como medidas estructurales, ayudan considerablemente a disminuir - el riesgo de inundación, sin embargo, debido principalmente a limitaciones económicas no se diseña para eliminar totalmente dicho riesgo. Problemas como los señalados conducen a adop- tar medidas no estructurales que reduzcan los daños causados por las avenidas y que permitan operar eficientemente los me- canismos de control.

Entre las medidas no estructurales se pueden citar: eva- cuación temporal, planificación de uso del suelo de acuerdo - con la posibilidad de inundación, predicción y tránsito de ave- nidas, etc. ( 6 )

Tránsito de avenidas se puede definir como el procedimien- to bajo el cual el tiempo y magnitud de una ola de avenida es determinado por medio de los datos o información conocida o - supuesta en uno o más puntos aguas arriba. ( 5,6 )

Dado el caudal en un punto aguas arriba el proceso de -- tránsito puede utilizarse para calcular el caudal en un punto aguas abajo. ( 4 )

El tránsito de avenidas se puede considerar bajo dos ti--

pos amplios pero de alguna manera relacionados como son "tránsito en depósitos" y "tránsito en canal abierto". El primero de ellos provee métodos para evaluar los efectos modificados en una ola que pasa a través de un depósito, en el diseño y planeación se aplica a la determinación del lugar y capacidad del depósito, el tamaño de las estructuras de salida y vertedores, etc.

El tránsito de canal abierto se usa para determinar el tiempo y magnitud de olas de avenidas en ríos. ( 1 )

Los esfuerzos por pronosticar avenidas centraban su interés únicamente en la descarga máxima de la avenida, relacionando la ocurrencia del gasto pico con los parámetros meteorológicos y fisiográficos de una cuenca; sin embargo, la importante necesidad de aprovechar los recursos hidráulicos al máximo ha estimulado la investigación para determinar el hidrograma completo lograndose con ello el manejo completo de los escurrimientos y aunado a esto un beneficio tanto personales como materiales al reducir el daño por inundación. (6)

En la figura no. 1 se muestra el proceso del pronóstico tradicional de una avenida, los distintos tiempos varían de acuerdo a cada situación.

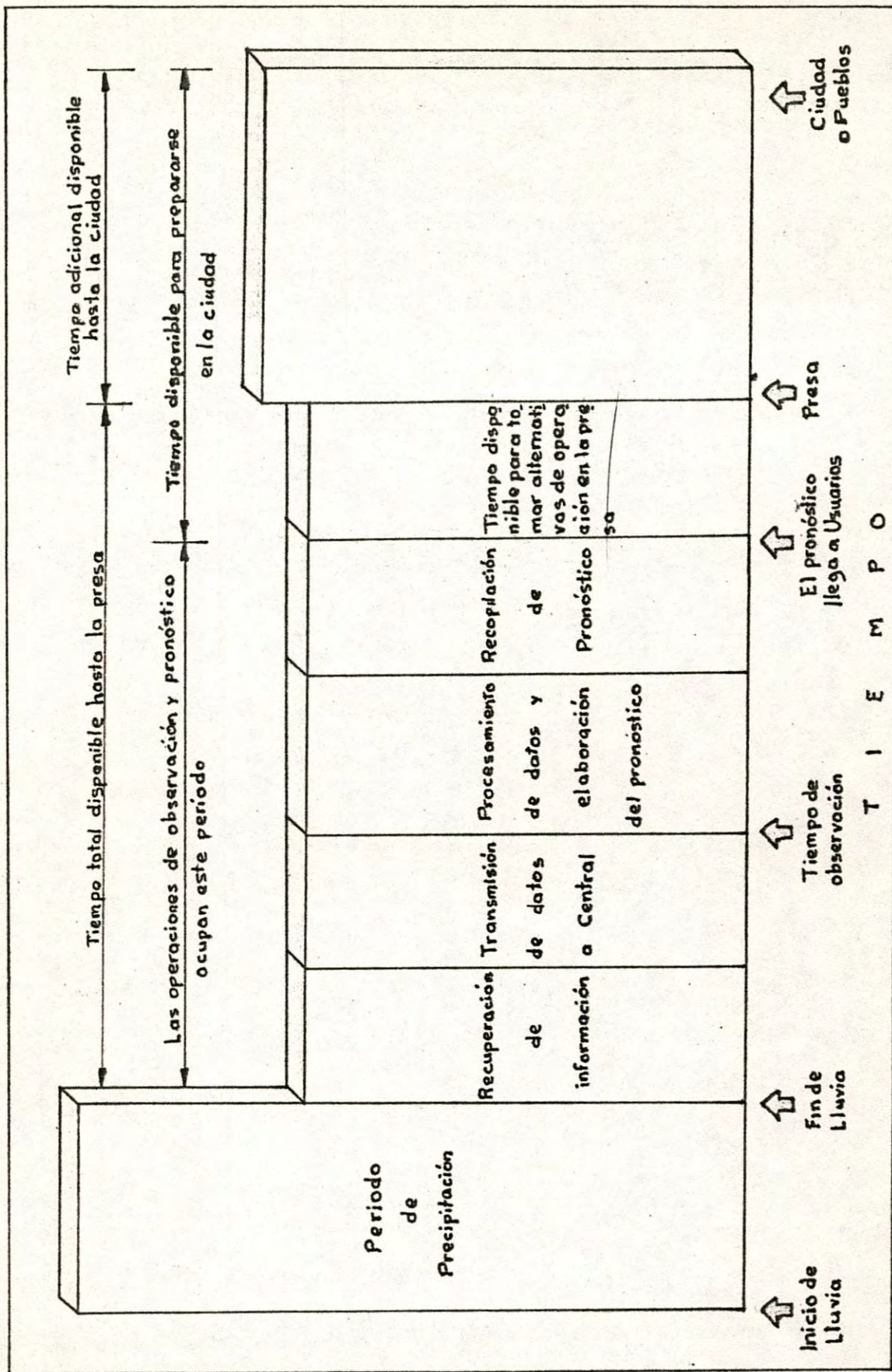


Fig.2 - Proceso del pronóstico tradicional de una avenida

### Tránsito en cauces naturales

El tránsito en canales naturales es complicado por el hecho de que el almacenamiento no es función única de las salidas. Esto puede ilustrarse cuando se colocan en una gráfica los valores del almacenamiento contra las salidas simultáneas de caudal, o sea,  $S$  vs.  $xI + (1-x)O$ , siendo  $S$  almacenamiento,  $I$  las entradas,  $O$  las salidas y  $x$  es la importancia relativa de entradas y salidas al tramo en el almacenamiento (figura 2).

La curva resultante es usualmente un lazo ancho que indica mayor almacenamiento para una salida dada durante niveles ascendentes del río que durante niveles descendentes. La razón es obvia si se consideran los diferentes perfiles de la superficie del agua que existe durante el período de tránsito de una onda de avenida. ( 4 )

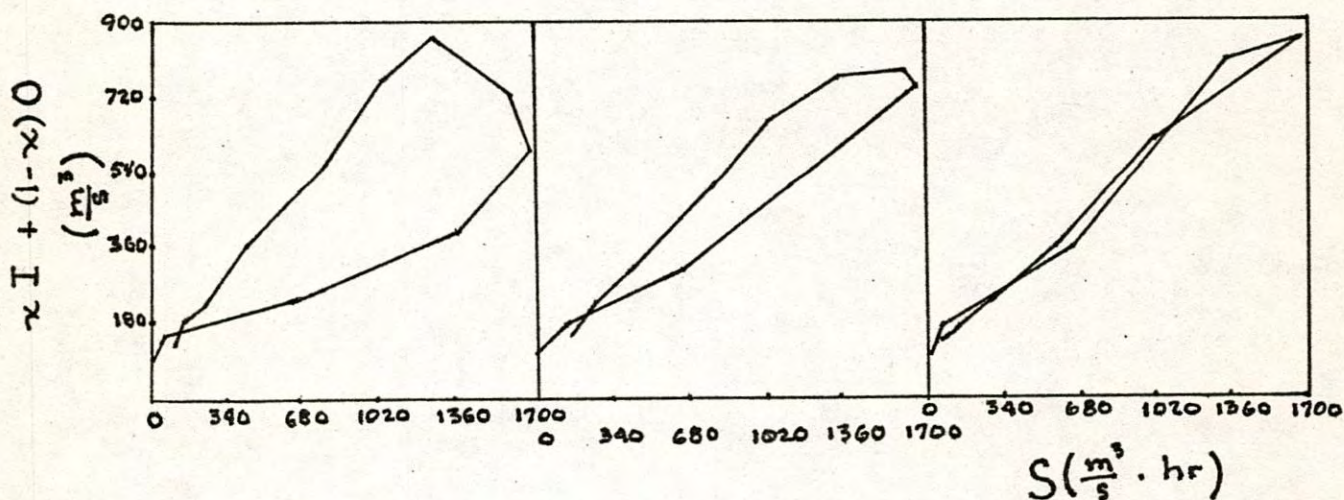


Fig. 2 Almacenamiento ( $S$ ) vs. salidas simultáneas ( $xI + (1-x)O$ )

El volumen de almacenamiento puede estar relacionado con el flujo de salida con una función lineal simple únicamente cuando el flujo de entrada y el flujo de salida son iguales, esto es, cuando un flujo uniforme exista. Durante el avance de una onda de avenida sin embargo el flujo de entrada siempre excede al flujo de salida produciendo por lo tanto un almacenamiento de cuña llamado "almacenamiento cuña".

Contrariamente durante la baja, el flujo de salida excede al flujo de entrada resultando en un almacenamiento de cuña negativa. La cuña puede estar relacionada a la diferencia entre los valores instantáneos del flujo de entrada y el flujo de salida. Además hay un almacenamiento de prisma o - "almacenamiento prismático", es el que se tiene entre el fondo del canal y una línea paralela, (figura 3). ( 1 )

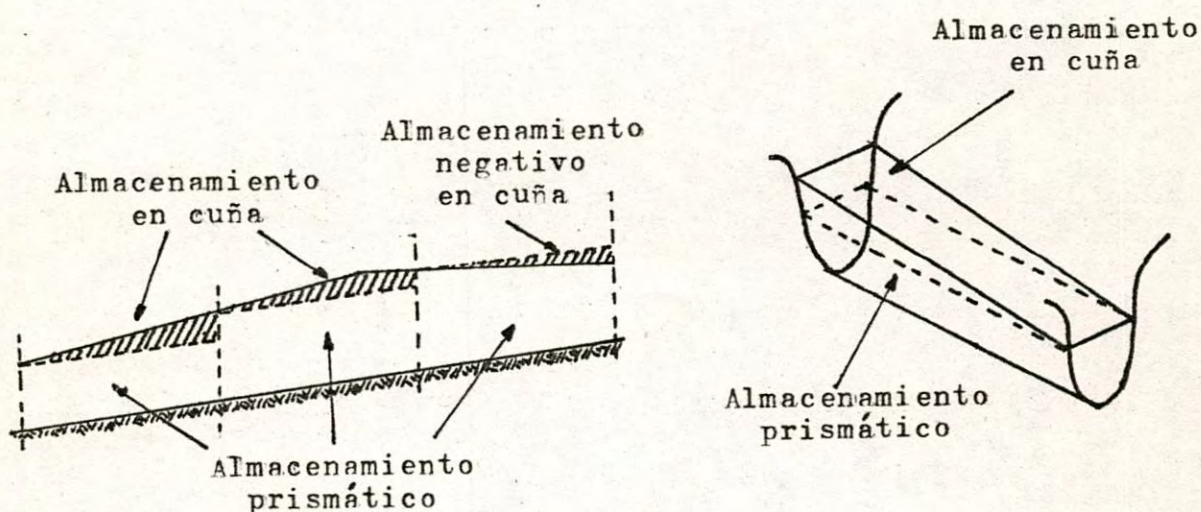


Fig. 3 Perfiles posibles de la superficie del agua en un canal durante el paso de una onda de avenida



## Ecuación de almacenamiento

Todas las técnicas hidrológicas de tránsito en ríos están fundamentadas en la ecuación de continuidad.

$$I - O = \frac{dS}{dt} \dots\dots\dots 1$$

$$\bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta S}{t} \dots\dots\dots 2$$

donde:

$I$  = flujo de entrada a la extensión del río

$O$  = flujo de salida a la extensión del río

$\frac{dS}{dt}$  = cambio de almacenamiento dentro de la extensión

$\bar{I}$  = promedio de flujo de entrada en el intervalo de tiempo

$\bar{O}$  = promedio de flujo de salida en el intervalo de tiempo

$\Delta S$  = cambio de almacenamiento

$t$  = intervalo de tiempo

El procedimiento de tránsito empieza dividiendo el tiempo entre un número de incrementos iguales  $\Delta t$  (intervalo de tránsito) y expresando la ecuación 1 como:

$$\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \Delta t - \frac{O_j + O_{j+1}}{2} \Delta t = S_{j+1} - S_j \dots\dots\dots 3$$

Inicialmente se conocen  $I_j$ ,  $I_{j+1}$ ,  $O_j$  y  $S_j$ , se trata de encontrar  $O_{j+1}$  y  $S_{j+1}$ , puesto que hay dos incógnitas es necesario encontrar una segunda relación entre almacenamiento y flujo para poder hallar la solución. ( 7 )

De importancia inicial previa al tránsito de avenida es la selección del período de tránsito apropiado. Este intervalo nunca debe ser mayor que el tiempo de viaje de la onda a través del tramo de río, pues la onda podría atravesar el tra

mo durante el período  $t$ . Si por otra parte el período  $t$  se hace muy pequeño el trabajo requerido aumenta pues se necesitan las mismas operaciones para cada período. En general valores de  $t$  comprendidos entre un medio y un tercio del tiempo de viaje trabajan bastante bien. ( 1 )

#### Determinación de almacenamiento

Antes de poder establecer una relación entre almacenamiento y flujo es necesario medir el volúmen de agua que hay en el río para varios niveles. ( 4 )

Los volúmenes se calculan de acuerdo con mediciones de la sección transversal utilizando la fórmula de los prismas, considerando que la superficie del agua está a nivel entre las dos secciones transversales. El almacenamiento total del tramo es igual a la suma de los almacenamientos parciales entre cada dos secciones, (figura 4).

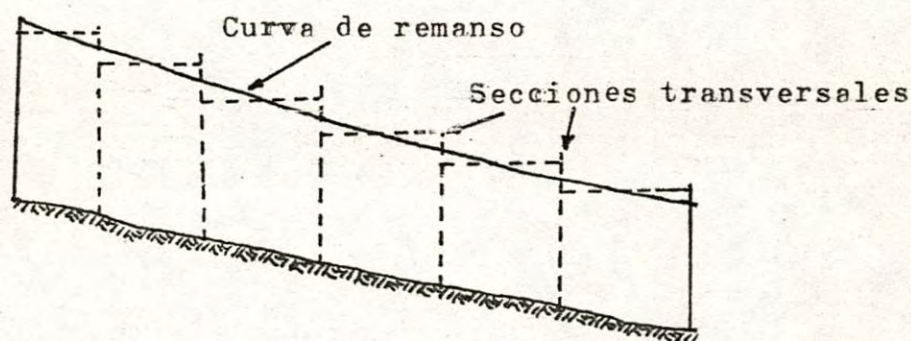


Fig. 4 Cálculo del almacenamiento en un tramo basado en las secciones transversales del cauce.

Este método requiere mediciones extensas para obtener secciones transversales adecuadas y muchos cálculos de los perfiles de la superficie libre del agua para varias condiciones de flujo no permanente para obtener una descripción del almacenamiento en todo el rango de condiciones esperadas.

El método es costoso y difícil de llevar a cabo y solo se usa cuando no hay alternativa.

El método más común para determinar el almacenamiento en un tramo de río consiste en utilizar las ecuaciones 2 y 3 con caudales observados. ( 7 )

La figura 5 muestra los hidrogramas de entrada y salida para un tramo de río.

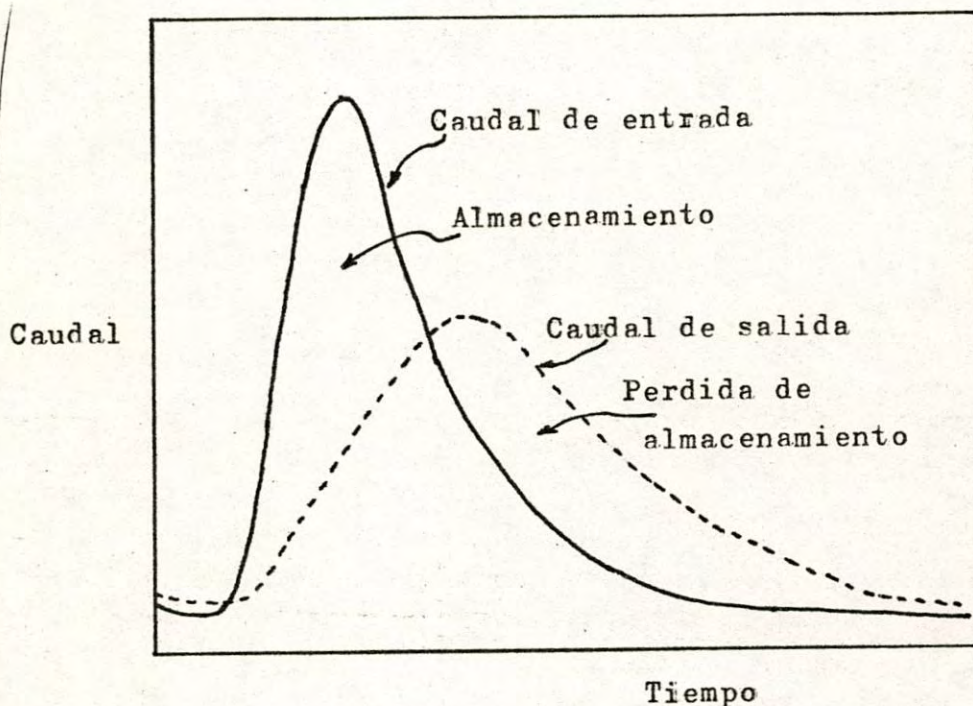


Fig. 5 Almacenamiento en el canal a partir de los hidrogramas de entrada y de salida.

Cuando las entradas exceden las salidas  $\Delta S$  es positivo; cuando las salidas exceden las entradas  $\Delta S$  es negativo, ( $\Delta S$  es el cambio de almacenamiento que se produce durante el período). Dado que el tránsito de ondas requiere solo el conocimiento de  $\Delta S$  el valor real de  $S$  no es necesario y el punto de almacenamiento cero se puede escoger arbitrariamente.

te. En cualquier tiempo el almacenamiento será la suma de los incrementos positivos y negativos de  $\Delta S$  a partir del punto cero. ( 1,4 )

Uno de los inconvenientes más problemáticos del tránsito de avenidas es el influjo local que entra al tramo entre las dos estaciones que lo delimitan.

Si el influjo local se presenta cerca de la estación de entrada, generalmente se suma directamente al hidrograma de entrada. Si el influjo local ocurre más cerca de la estación final del tramo, se puede sustraer del hidrograma de salida antes de calcular el almacenamiento.

Si el influjo local es relativamente pequeño en comparación con el caudal principal, cualquier sistema, aplicado en forma conveniente, deberá dar buenos resultados. Si el influjo local es grande, debe considerarse la posibilidad de reducir el tamaño del tramo.

El volúmen total del influjo local no medido puede determinarse sustrayendo las salidas medidas de las entradas medidas para un período que comience y termine con el mismo estado de flujo bajo, o sea, para S O. ( 4 )

#### Método de Muskingum o Método Analítico

Este método fué desarrollado por G. T. McCarthy y otros en conexión con estudios del proyecto de control de avenidas del distrito de conservación Muskingum del Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos en 1934-1935. El método involucra el concepto de almacenamiento de prisma y cuña. ( 1 )

El método de Muskingum es un método simplificado para tran

sitar avenidas entre dos secciones de un río. La simplificación consiste en utilizar una ecuación en la que se supone - que el almacenamiento (S) en el tramo comprendido entre las - dos secciones, es una función lineal del gasto que entra en - la sección aguas arriba (1) y el que sale en la de aguas aba- - jo (0). Además supone que la función no varía con el tiempo.  
( 6 )

El almacenamiento en una extensión de río estable puede - esperarse que dependa primordialmente en la descarga hacia - dentro y hacia afuera de la extensión y en las característi- - cas hidráulicas de la sección del canal. El almacenamiento dentro de una extensión en un tiempo dado puede expresarse co- - mo:

$$S = b/a \left[ xI^{m/n} + (1-x)O^{m/n} \right] \dots\dots\dots 4$$

donde a y n son constantes de la relación media de nive- - les vs. descarga para el tramo,  $q = ag^n$ , y b y m son constantes en la relación media de niveles vs. almacenamiento para el -- tramo,  $S = bg^m$ . ( 7 )

En un canal natural con planicies de inundación el expo- - nente n puede aproximarse a 1 o ser menor de 1. La constante x expresa la importancia relativa de las entradas y las sali- - das al tramo en el almacenamiento del mismo. Para un embalse simple  $x=0$  (las entradas no tienen efecto); si las entradas y las salidas fueran igualmente importantes x sería igual a 0.5

La constante k conocida como la constante de almacena- - miento es la relación entre almacenamiento y descarga, tiene dimensiones de tiempo.

El método de Muskingum asume que  $m/n=1$  y permite que --

b/a=k resultando la ecuación 4 en:

$$S=k [xI+(1-x)O] \dots\dots\dots 5$$

La aplicación de esta ecuación ha mostrado que k es usual y razonablemente cercana al tiempo de viaje dentro de la extensión.

Para la mayoría de los ríos x está entre 0 y 0.5 con un valor medio de aproximadamente 0.2. ( 1,3,4,7 )

#### Determinación de k y x

Los valores de k y x son comúnmente estimados usando k como tiempo de recorrido de la onda en la extensión y el valor promedio de x (x=0.2). Si los registros de hidrogramas de entradas y salidas están disponibles para una o más avenidas el proceso de tránsito es fácilmente revertido para proveer mejores valores de k y x para la extensión, esto se logra graficando los valores instantáneos de S contra  $xI+(1-x)O$  para varios valores seleccionados de x, porque S y  $xI+(1-x)O$  se asume que están linealmente relacionados mediante la ecuación 5.

El valor aceptado de x es aquel que hace tomar los datos a la forma más cercana a una curva de valor único. El método de Muskingum considera que dicha curva es una recta. Después de trazado, el valor de k es determinado como el recíproco de la pendiente por medio de la curva más angosta, usando la ecuación 5 se tiene:

$$k = \frac{S}{xI(1-x)O} \dots\dots\dots 6$$

Si se utiliza la ecuación 5 para calcular el almacenamiento en los instantes j y j+1 se tendrá:

$$S_{j+1} - S_j = k [x(I_{j+1} - I_j) + (1-x)(O_{j+1} - O_j)] \dots\dots\dots 7$$

Sustituyendo 3 en 7 se tiene:

$$O_{j+1} = C_0 I_{j+1} + C_1 I_j + C_2 O_j \dots\dots\dots 8$$

donde  $C_0, C_1$  y  $C_2$  son coeficientes y se obtienen como sigue:

$$C_0 = \frac{-kx + 0.5 t}{k - kx + 0.5 t} \dots\dots\dots 9$$

$$C_1 = \frac{kx + 0.5 t}{k - kx + 0.5 t} \dots\dots\dots 10$$

$$C_2 = \frac{k - kx - 0.5 t}{k - kx + 0.5 t} \dots\dots\dots 11$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1 \dots\dots\dots 12$$

Notese que  $k$  debe tener las mismas unidades de  $t$ .

De esta manera si se conocen  $k, x$  y  $\Delta t$  se pueden calcular -- los valores de  $C_0, C_1$  y  $C_2$ , una vez determinados estos, con la avenida de entrada en la sección de aguas arriba y el primer valor en la sección aguas abajo, la avenida de salida en esta última sección puede conocerse aplicando paso a paso la ecuación 8. ( 6,7 )

#### Secuencia del método de Muskingum

El método de Muskingum se puede considerar compuesto de dos partes, la primera que consiste en obtener ciertos parámetros y coeficientes se le llama de calibración y la segunda donde se realiza propiamente el tránsito de la avenida se le denomina de aplicación.

##### 1- Calibración del método

Se debe disponer de la siguiente información:

Un tránsito de avenida conocido con su hidrograma de entrada en el sitio aguas arriba y su correspondiente hidrograma de sa-

lida en el sitio aguas abajo.

El procedimiento se realiza por aproximaciones sucesivas y consiste en:

- a) Para un intervalo de tiempo  $\Delta t$  seleccionado, obtener para distintos tiempos el almacenamiento a partir del tránsito conocido.

$$S_j = I_j - O_j + S_{j-1} \dots\dots\dots 13$$

- b) Suponer un valor de  $x$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ )
- c) A partir del hidrograma conocido obtener para distintos tiempos correspondientes al almacenamiento obtenido en el inciso a el valor de  $xI + (1-x)O$
- d) Dibujar  $S$  contra  $xI + (1-x)O$
- e) Si en el dibujo del inciso d los trazos se ajustan aproximadamente a una recta, el valor de  $k$  es el recíproco de la pendiente de esta recta y  $x$  el valor supuesto para el cual se obtuvo  $xI + (1-x)O$ . En caso contrario ir al inciso b y repetir el procedimiento hasta cumplir con lo impuesto al principio de este inciso.

Conocidas  $k$  y  $x$  se sustituyen en las ecuaciones 9, 10 y 11 para obtener  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$ , se revisa que cumplan con la ecuación 12.

## 2- Aplicación del método

Se necesita conocer:

- a)  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$
- b) Todo el hidrograma de ingreso
- c) El primer gasto de egreso

El método se aplica por medio de la ecuación 8, por ejem-



plo se conocen  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n, O_1$ , y  $C_0, C_1$  y  $C_2$  con dicha ecuación para  $j=2$

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

todo el segundo miembro es conocido por lo que se puede determinar  $O_2$ , para  $j=3$  se tiene:

$$O_3 = C_0 I_3 + C_1 I_2 + C_2 O_2$$

también el segundo miembro es conocido pues antes se obtuvo  $O_2$

El proceso se repite el número de veces (n) que se desee.

( 3 )

Para entender mejor la secuencia del método se realizó un ejemplo que se muestra a continuación.

Ejemplo: Para los hidrogramas de entrada y salida que se presentaron durante la avenida del 21 al 28 de febrero de 1973 medidos en las estaciones de Chinipas y Palo Dulce respectivamente sobre el río Oteros en la cuenca del río Fuerte (cuyos valores se muestran en el cuadro no. 1). Determinar el valor de las constantes  $k$  y  $x$  que se utilizan en el método de Muskingum.

De acuerdo a la información proporcionada y siguiendo la secuencia de cálculo indicada se tiene:

Etapa de calibración

- Los hidrogramas de entrada y salida se dividen en intervalos de tiempo iguales ( $\Delta t = 6$  horas)

- En las columnas 1,2,3,4 del cuadro 1 se anotan los valores de día, hora, gasto de entrada (I), gasto de salida (O) correspondiente a cada intervalo de tiempo.

- En la columna 5 se determinan los gastos medios de entrada para cada intervalo de tiempo

$$I_j = \frac{I_j + I_{j+1}}{2}$$

por ejemplo:

$$I_2 = \frac{166.93 + 48.44}{2} = 107.68 ; \quad I_3 = \frac{473.27 + 166.93}{2} = 320.10$$

- De la misma manera que la columna 5 se determina el gasto medio de salida para cada intervalo de tiempo (\* columna 6).

- La columna 7 se obtiene restando los valores de la columna 6 de la columna 5 a partir del intervalo de tiempo en el cual la resta de gasto de entrada menos gasto de salida originales da cero o aproximadamente cero.

por ejemplo:

$$107.68 - 142.06 = -34.38$$

$$320.10 - 204.22 = 115.88$$

- La columna 8 son los valores de la columna 7 acumulados.  
 - Utilizando los valores de las columnas 3,4 y suponiendo un valor de x se calcula el valor  $y_j = xI_{j-1} + (1-x)O_{j-1}$  (columna 9,10,11,12,13,14 y 15 según sea el valor de x supuesto).

por ejemplo:

$$\text{si } x=0 \quad y_2 = 0(48.44) + (1)(118.73) = 118.73$$

$$\text{si } x=0.2 \quad y_2 = (0.2)(48.44) + (0.8)(118.73) = 104.67$$

- Se grafican los valores de y (cols. 9,10,11,12,13,14 o 15) contra los de S (col 8) para cada x supuesta (figuras 11, 12,13,14,15,16 o 17).

- De la figura obtenida en el paso anterior, se selecciona el valor de x para el que la relación  $xI + (1-x)O$  contra S se a-

semeje más a una línea recta. En este caso se seleccionó  $x=0.48$  (figura 16).

- Se calcula el valor de  $k$  como el recíproco de la pendiente de la recta obtenida en el paso anterior.

$$k=12.50455$$

- Determinación de los coeficientes - con los datos de  $k$  y  $x$  obtenidos se determinan los valores de  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$

$$C_0 = \frac{-kx+0.5 t}{k - kx+0.5 t} = \frac{-(12.50455)(0.48)+(0.5)(6)}{(12.50455)-(12.50455)(0.48)+(0.5)(6)}$$

$$C_0 = -0.3159406$$

$$C_1 = \frac{kx+0.5 t}{k - kx+0.5 t} = \frac{(12.50455)(0.48)+(0.5)(6)}{(12.50455)-(12.50455)(0.48)+(0.5)(6)}$$

$$C_1 = 0.9473622$$

$$C_2 = \frac{k - kx - 0.5 t}{k - kx + 0.5 t} = \frac{(12.50455)-(12.50455)(0.48)-(0.5)(6)}{(12.50455)-(12.50455)(0.48)+(0.5)(6)}$$

$$C_2 = 0.3685782$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 0.9999998$$

Etapa de aplicación

Determinados los parámetros y coeficientes se puede transitar cualquier avenida que se presente para obtener el hidrograma de salida, conociendo de antemano el hidrograma de entrada y el primer gasto de egreso en la estación aguas abajo.

El hidrograma de salida se obtiene aplicando la fórmula:

$$O_{j+1} = C_0 I_{j+1} + C_1 I_j + C_2 O_j$$

10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00
18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
26.00	26.00	26.00	26.00	26.00	26.00
27.00	27.00	27.00	27.00	27.00	27.00
28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
29.00	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00
30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
31.00	31.00	31.00	31.00	31.00	31.00
32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
34.00	34.00	34.00	34.00	34.00	34.00
35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00
36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00
38.00	38.00	38.00	38.00	38.00	38.00
39.00	39.00	39.00	39.00	39.00	39.00
40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
41.00	41.00	41.00	41.00	41.00	41.00
42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00
43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00
46.00	46.00	46.00	46.00	46.00	46.00
47.00	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00
48.00	48.00	48.00	48.00	48.00	48.00
49.00	49.00	49.00	49.00	49.00	49.00
50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00

10.00  
 11.00  
 12.00  
 13.00  
 14.00  
 15.00  
 16.00  
 17.00  
 18.00  
 19.00  
 20.00  
 21.00  
 22.00  
 23.00  
 24.00  
 25.00  
 26.00  
 27.00  
 28.00  
 29.00  
 30.00  
 31.00  
 32.00  
 33.00  
 34.00  
 35.00  
 36.00  
 37.00  
 38.00  
 39.00  
 40.00  
 41.00  
 42.00  
 43.00  
 44.00  
 45.00  
 46.00  
 47.00  
 48.00  
 49.00  
 50.00

Cuadro 1. Determinación de las constantes para el método de Muskingum

1	2	3	4	5	6	7	8
Día	Hora	Entrada m <sup>3</sup> /seg	Salida m <sup>3</sup> /seg	$\bar{I}_j = \frac{I_j + I_{j-1}}{2}$	$\bar{O}_j = \frac{O_j + O_{j-1}}{2}$	$\Delta S$	S
	6:00	48.44	118.73	24.22	59.36	-	-
21	12:00	166.93	165.39	107.68	142.06	-34.38	-34.38
	18:00	473.27	243.05	320.10	204.22	115.88	81.50
	6:00	1259.51	396.42	866.39	319.73	546.66	628.16
22	12:00	1169.94	602.09	1214.72	499.25	715.47	1348.63
	18:00	875.43	748.44	1022.68	675.26	347.42	1691.05
	6:00	498.58	883.32	687.00	815.88	-128.88	1562.17
23	12:00	432.66	744.80	465.62	814.06	-348.44	1213.73
	18:00	353.68	558.83	393.17	651.81	-258.64	955.09
	6:00	267.59	462.35	310.63	510.59	-199.96	755.13
24	12:00	246.60	386.86	257.09	424.60	-167.51	587.62
	18:00	220.95	334.78	233.77	360.82	-127.05	460.57
	6:00	191.65	272.14	206.30	303.46	-97.16	363.41
25	12:00	186.56	241.31	189.10	256.72	-67.62	295.79
	18:00	169.32	219.33	177.94	230.32	-52.28	243.51
	6:00	162.21	203.35	165.76	211.34	-45.58	197.93
26	12:00	152.97	191.12	157.59	197.23	-39.64	158.29
	18:00	146.24	173.70	149.60	182.41	-32.81	125.48
	6:00	137.51	150.84	141.87	162.22	-20.35	105.13
27	12:00	129.08	145.76	133.29	148.30	-15.01	90.12
	18:00	122.93	137.15	126.00	141.45	-15.45	74.67
	6:00	118.93	124.30	120.93	130.72	-9.79	64.88
28	12:00	111.13	118.73	115.03	121.51	-6.48	58.40
	18:00	107.34	113.32	109.23	116.02	-6.79	51.61

Cols. 1,2,3,4 - Datos dados

Col. 5  $\bar{I}_j = \frac{I_j + I_{j-1}}{2}$  ejem:  $I_2 = \frac{166.93 + 48.44}{2} = 107.68$

Col. 6  $\bar{O}_j = \frac{O_j + O_{j-1}}{2}$  ejem:  $O_2 = \frac{165.39 + 118.73}{2} = 142.06$

### Secuencia del método de Muskingum usando computadora

Se elaboró una secuencia para resolver este tipo de problemas mediante computadora IBM-XT utilizando lenguaje de programación BASIC. Los pasos a seguir con sus respectivos programas son los siguientes: (se resolvió el ejemplo anterior - de esta forma)

- 1- Determinación de la ecuación y curva escala-gasto
  - a) De reportes hidrométricos diarios se toman las lecturas de escala y aforos (cuadro 2 y 3)
  - b) Aplicar el programa que modifica los datos de escala para el ajuste de la curva escala-gasto (programa 1)
  - c) Aplicar el programa del método logarítmico para la obtención de la ecuación de ajuste (programa 2, cuadro 4 y 5)
  - d) Usando la ecuación de ajuste obtener datos para la gráfica de la curva escala-gasto (figura 6 y 7)

NOTA: La obtención de esta curva y su importancia se explica detalladamente en el anexo.

- 2- Toma de datos de lectura de escala en la estación de entrada y en la estación de salida para el período considerado (cuadro 6 y 7).
- 3- Aplicar el programa que convierte los archivos de escala a gasto utilizando la ecuación ajustada para cada estación (programa 3 y 4)
- 4- De la aplicación de los programas anteriores se obtiene el escurrimiento en cada estación de aforo (cuadro 8 y 9)
- 5- De la hoja de escurrimientos se grafican los gastos -

los gastos medios diarios (figura 8 y 9 los datos de las dos gráficas se muestran en el cuadro 10)

#### Calibración del método

- 6- Registrar los datos de hidrograma de entrada y salida -- (cuadro 11)
- 7- Graficar el hidrograma de entrada y salida (figura 10)
- 8- Aplicar el programa para la obtención de los parámetros y coeficientes del método de Muskingum (programa 5) ,
- 9- El programa anterior nos da las gráficas para la obtención de  $k$  y  $x$  (figuras 11,12,13,14,15,16 y 17)

#### Aplicación del método

Para aplicarlo se requiere: hidrograma de entrada, primer - gasto de salida,  $C_0, C_1, C_2$  y aplicar la ecuación 8

Si se cuenta con los gastos medios diarios o los gastos - instantáneos para el período considerado en la estación de entrada y en la estación de salida, se entra directamente a la calibración del método.

## CONCLUSIONES

Muchas comunidades deben bastante de su prosperidad a las ventajas ofrecidas por corrientes de agua adyacentes o cercanas. Efectos adversos, sin embargo, son experimentados cuando avenidas extraordinarias ocurren. Cuando es posible se deben tomar medidas para eliminar el efecto de este tipo de avenidas.

Los procedimientos para evaluar estas medidas tanto en la fase de diseño como de operación y métodos para predecir la cresta de la avenida son importantes económicamente.

El escoger un procedimiento depende de muchos factores, incluyendo la naturaleza de la información disponible.

El método de Muskingum es un procedimiento que sirve para transitar avenidas en cauces y por su simplificación permite que sea manejado fácilmente, su utilidad consiste en que se determina en el punto de interés el tiempo y la magnitud de la avenida que está por transitar, con el conocimiento de estos se pueden tomar las precauciones debidas para la protección de la zona posible de afectación, definiendo las políticas a seguir.

Para la toma de una decisión es necesario contar con un centro de procesamiento en el que se reciba casi instantáneamente la información de los escurrimientos que se están presentando en la cuenca.



Un punto muy importante al que se refiere este método, es - la atenuación que recibe la onda de avenida que se presenta debido a la capacidad de almacenamiento que tiene el cauce, esto sirve para que mediante estudios específicos se vea la posibilidad de aumentar dicho almacenamiento ya sea mediante bordos, o por rectificación del mismo, esto principalmente en zonas donde se vean afectadas poblaciones o bienes de valor considerable.

En las zonas donde no es posible y que esten en peligro de una inundación es conveniente planificar el uso del suelo para utilizarlo en aquellas actividades que permitan desalojar de una manera rápida teniendo el mínimo de pérdidas.

El método funciona muy bien cuando se tienen datos disponibles de avenidas presentadas, pero si no se cuenta con datos se debe tomar con reserva los valores de los parámetros, ya que dichas avenidas son la base en la determinación de  $k$  y  $x$ .

En el caso particular de la cuenca que se trata se debe de tener cuidado en ir ajustando los parámetros y coeficientes para obtener el hidrograma de salida lo más real posible para reducir al máximo el error.

Por lo que se refiere al ejemplo expuesto, el resultado nos indica que se tiene un tiempo de 12.5 horas antes de que se presente la cresta de la avenida, este tiempo en realidad no es mucho pero es suficiente para tomar precauciones en cuanto al movimiento de personas y de bienes.

El método de Muskingum no es de ninguna manera exacto, sin embargo, es adecuado en la planeación y diseño de etapas de control de avenidas a proyectos de propósitos múltiples.

Los objetivos de un pronóstico que son la exactitud del hi-

drograma y su conocimiento con la mayor anticipación posible, - son muy importantes ya que si bien la alerta permite la evacuación, la precisión del pronóstico generalmente varía con la antelación con la cual es conocido y por otra parte, un pronóstico sobreestimado ocasiona gastos y ansiedad innecesarios, además reduce la credibilidad de pronósticos subsecuentes.

## RECOMENDACIONES

El método de Muskingum auxiliado de la ventaja de contar con una red de comunicación, que permite tener actualizados los datos hidrometeorológicos de la cuenca y de un sistema de cálculo en el que este programado el método, de manera que permita procesar rápidamente la información, logrando con ello tomar las decisiones a la mayor brevedad posible de acuerdo a resultados obtenidos. Esto implica que en el puesto central de registro se cuente con una microcomputadora a la que se alimenten directamente los datos.

Es recomendable que los valores de  $k$  y  $x$  sean obtenidos de el mayor número posible de avenidas con que se cuente, para con tener una gama más amplia de condiciones en las cuales se presentaron dichas avenidas, además realizar posteriores ajustes con avenidas que se vayan presentando.

La planificación del suelo tanto del cauce como de sus alrededores es muy importante, se debe considerar la posibilidad de realizar actividades en las cuales no se arriesgue mucho, como sería el establecimiento de praderas, cultivos, parques para la preservación de flora y fauna, etc. De una manera estricta debe de evitarse el que se establezcan asentamientos humanos en el cauce o en sus cercanías sin la debida protección ya que al momento de presentarse una avenida y encontrarse con estos bostáculos se agrava el problema.

## BIBLIOGRAFIA

- 1- Chow Ven Te ed. 1964. Handbook of applied hidrology. A compendium of water resource technology. New York. McGraw Hill. Chapter 25 pp 34-45
- 2- ITSON. 1986. Proyecto de estimación de precipitación y escurrimiento con captura de datos por percepción remota, apoyo terrestre y empleo de modelos matemáticos. Segundo informe. Ciudad Obregón, Son. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Comisión del Plan Nacional Hidráulico.
- 3- Cruickshank, Carlos. s.f. Tránsito de avenidas en llanuras de inundación. México, D.F. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería.
- 4- Linsley R. K., M. Kohler and J.L.H. Paulus. 1975. Hidrología para ingenieros. Traducido de la 2da. ed. norteamericana por A. Deeb, J. I. Ordoñez y F. Castillon. 2da. ed. México, D.F. McGraw Hill. Capítulo 9 pp 237-250
- 5- SARH. 1975. Actualización al boletín hidrológico num. 36, región hidrológica num. 10 (Sinaloa). México, D.F. Dirección de Hidrología. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Estudios. Tomo VI.
- 6- CFE. 1981. Predicción de avenidas. México, D.F. Manual de diseño de obras civiles (Hidrotecnia). Instituto de Investigaciones Eléctricas. Tomo A.1.11
- 7- Viessman W., J.W. Knapp and G.L. Lewis. 1977. Introduction to hidrology. Second edition. New York. Harper & Row Publishers. Chapter 7 pp 231-247

A N E X O

ADRO-DATOS DE ESCALA - GASTO PARA LA OBTENCION DE  
2 LA " CURVA DE AJUSTE ESCALA - GASTO "

CHINIPAS

No. DE DATO	ESCALA (m)	GASTO (m <sup>3</sup> /s)
1	0.22	2.37
2	0.23	2.59
3	0.24	2.85
4	0.26	2.91
5	0.36	10.00
6	0.39	11.63
7	0.40	13.08
8	0.43	14.00
9	0.49	18.00
10	0.51	16.82
11	0.54	14.16
12	0.55	15.00
13	0.56	23.00
14	0.57	20.35
15	0.61	19.93
16	0.63	18.60
17	0.66	28.98
18	0.69	27.38
19	0.73	24.60
20	0.75	29.25
21	0.78	31.29
22	0.83	49.72
23	0.86	61.00
24	0.89	62.00
25	0.90	61.00
26	0.95	68.00
27	1.00	80.00
28	1.04	72.44
29	1.08	63.75
30	1.14	78.54
31	1.15	102.00
32	1.16	105.75
33	1.17	108.00
34	1.18	110.00
35	1.23	123.50
36	1.24	122.50
37	1.25	128.00
38	1.27	130.00
39	1.32	141.00
40	1.33	144.00
41	1.35	150.00
42	1.36	150.50
43	1.38	154.50
44	1.40	161.00
45	1.45	174.33
46	1.48	172.50
47	1.51	190.00
48	1.52	180.00

CUADRO 2 (cont.)

No. DE DATO	ESCALA (m)	GASTO (m <sup>3</sup> /s)
49	1.56	154.00
50	1.62	174.00
51	1.64	167.75
52	1.66	173.80
53	1.69	209.05
54	1.71	230.00
55	1.73	225.00
56	1.76	235.00
57	1.80	245.00
58	1.84	250.00
59	1.89	250.00
60	1.98	249.78
61	2.07	305.00
62	2.10	313.00
63	2.15	300.00
64	2.24	336.00
65	2.29	383.20
66	2.30	406.00
67	2.31	380.80
68	2.34	545.91
69	2.36	400.00
70	2.39	414.74
71	2.43	429.49
72	2.47	423.80
73	2.53	418.32
74	2.62	530.00
75	2.76	492.70
76	2.88	610.20
77	2.89	590.75
78	2.98	692.77
79	3.00	700.00
80	3.01	864.45
81	3.02	885.70
82	3.03	1091.79
83	3.04	752.00
84	3.13	776.64
85	3.17	798.73
86	3.20	900.82
87	3.21	1122.71
88	3.23	870.00
89	3.27	722.20
90	3.32	1082.40
91	3.33	920.00
92	3.35	936.02
93	3.36	950.00
94	3.44	990.00
95	3.50	1087.10
96	3.52	1030.00

CUADRO 2 (cont.)

No. DE DATO	ESCALA (m)	GASTO (m <sup>3</sup> /s)
97	3.58	1182.00
98	3.70	1153.56
99	3.74	1150.00
100	3.80	1200.00
101	3.85	1220.00
102	4.13	1418.00
103	4.63	1603.02



ADRO DATOS DE ESCALA - GASTO PARA LA OBTENCION DE  
 3 LA " CURVA DE AJUSTE ESCALA - GASTO "

## PALO DULCE

No. DE DATO	ESCALA (m)	GASTO (m <sup>3</sup> /s)
1	0.47	2.23
2	1.41	9.36
3	1.46	5.32
4	1.49	7.74
5	1.55	6.65
6	1.60	9.77
7	1.64	10.49
8	1.65	11.25
9	1.70	12.24
10	1.75	9.32
11	1.80	9.79
12	1.85	23.86
13	1.97	26.80
14	2.10	38.89
15	2.17	55.47
16	2.28	61.73
17	2.35	76.63
18	2.45	83.21
19	2.50	74.60
20	2.65	110.36
21	2.71	121.11
22	2.80	124.72
23	2.85	207.80
24	2.96	150.50
25	3.15	265.59
26	3.19	207.80
27	3.25	196.00
28	3.29	181.21
29	3.55	224.18
30	3.65	246.55
31	3.95	286.30
32	4.15	312.12
33	4.45	394.25
34	4.63	538.88
35	4.65	370.08
36	4.67	403.91
37	4.72	347.52
38	4.75	413.25
39	4.77	489.74
40	4.80	526.14
41	4.85	505.85
42	4.87	492.38
43	4.89	457.30
44	4.94	488.23
45	4.95	465.64
46	5.00	546.18
47	5.03	578.56
48	5.05	600.25

CUADRO 3 (cont.)

No. DE DATO	ESCALA (m)	GASTO (m <sup>3</sup> /s)
49	5.06	534.48
50	5.10	581.46
51	5.15	584.07
52	5.23	557.52
53	5.25	567.32
54	5.40	543.64
55	5.45	509.09
56	5.47	534.28
57	5.52	576.91
58	5.55	568.54
59	5.58	620.40
60	5.68	716.75
61	5.77	709.71
62	5.78	611.06
63	5.95	642.24
64	6.10	605.74
65	6.12	678.91
66	6.15	804.72
67	6.23	710.07
68	6.35	894.00
69	6.45	789.15
70	6.63	707.97
71	6.65	831.23
72	6.67	1252.90
73	7.05	921.22
74	7.15	1362.22
75	7.35	1127.88
76	7.50	1362.22
77	7.95	1293.95
78	8.65	1556.77

## PROGRAMA 1

```

10 CLS
20 PRINT " *****"
30 PRINT " PROGRAMA QUE MODIFICA LA COLUMNA DE LAS ESCALA DEL ARCHIVO"
40 PRINT " DE DATOS PARA EL AJUSTE DE LA CURVA = ESCALA - GASTO = "
50 PRINT " *****"
50 PRINT :PRINT
70 DIM Q(200),H(200)
80 INPUT " NOMBRE DEL ARCHIVO ORIGINAL DE DATOS ";IN$:PRINT
90 INPUT " CUANTO SE VA A RESTAR A CADA VALOR DE ESCALA ";HO:PRINT
100 OPEN IN$ FOR INPUT AS#1
110 I=0
120 WHILE EOF(1)=0
130 I=I+1
140 INPUT #1,H(I),Q(I)
150 WEND
160 PRINT " HAY ";I;" DATOS EN ";IN$:PRINT :PRINT
170 FOR J=1 TO I
180 H(J)=H(J)-HO
190 NEXT J
200 INPUT " NOMBRE DEL ARCHIVO PARA LOS DATOS MODIFICADOS ";OT$
210 OPEN OT$ FOR OUTPUT AS#2
220 FOR J=1 TO I
230 PRINT #2,USING " #####.###" ;J,H(J),Q(J)
240 NEXT J
250 CLOSE #2
260 PRINT " *****"
270 END

```

```

10 * ONEVREG.BAS : 11 MAY 82 : DMF : 99:78->80: 6060-80:+SPC BTWN COLS (IBM)
5 *
0 * ))-----) ONEVREG (-----((
5 *
0 * This program calculates (by the least squares method) the
5 * coefficients, A and B, for a set of N pairs of X,Y values
0 * for Linear, Exponential, Logarithmic and Power Law
5 * postulated equations. In addition to A and B, the following
0 * are also calculated: Standard Error of A; Standard Error of B;
5 * Standard Error of estimate of Y on X;
0 * Coefficient of Determination.
5 *
0 * WRITTEN OCT 1979 - DAVID M. FOGG
5 *
0 * COPYRIGHT (C) 1979, NORTHWEST ANALYTICAL - PORTLAND, OR
5 *
0 * ))-----) INITIALIZATION (-----(( (100-395)
9 CLEAR 500: DEFINT I-N: ON ERROR GOTO 9000: WIDTH,80
00 *
10 BL%=CHR$(7)
20 BS%=CHR$(8)
40 FF%=CHR$(12)
60 DIM EST(4), RES(4), DRES(4), RES2(4), DRES(4), REGB(4)
80 DIM A(4,9), HD$(9)
00 COLS=2
398 * ))-----) INPUT SECTION (-----(( (3000-3995)
000 CLS: PRINT: PRINT
020 PRINT TAB(13)"---) ONE INDEPENDENT VARIABLE REGRESSION (---": PRINT
030 PRINT: INPUT"MAXIMUM # of Data Pairs":MXROWS
033 PRINT: PRINT"-- Select Desired Regression(s) ---"
035 PROM%= "Linear: A+(B*X)": GOSUB 7000: REGB(1)=YN%
037 PROM%= "Exponential: A*EXP(B*X)": GOSUB 7000: REGB(2)=YN%
039 PROM%= "Logarithmic: A+B*LOG(X)": GOSUB 7000: REGB(3)=YN%
041 PROM%= "Power Curve: A*X^B": GOSUB 7000: REGB(4)=YN%
050 DIM X!(MXROWS), Y!(MXROWS), R(MXROWS), S(MXROWS)
070 PRINT
080 PRINT"X = Data Column # 1": PRINT"Y = Data Column # 2"
090 PRINT
100 GOSUB 3900 *- (GET MODE OF INPUT)-
120 GOSUB 3700 *- (READ DATA PAIRS)-
140 N=ROWS
200 FOR I=1 TO N: R(I)=X!(I): S(I)=Y!(I): NEXT
220 GOTO 4000
598 * ===(INPUT VECTOR OR MATRIX)=== (3700..3800) ** IN: ROWS, MXROWS, COLS, COL
! (
** OUT: X!( ), Y!( )
700 WHILE (ROWS(MXROWS) AND (NOT EOF(1)): GOSUB 3800
710 X!(ROWS)=COL!(1): IF COLS=2 THEN Y!(ROWS)=COL!(2)
730 WEND
790 RETURN
798 * ===(GET ROW)=== (3800..3900) ** IN: HICOL, ICOLS, SOL( ), ROWS ** OUT: ROWS+
,
DL!( )
800 PRINT". ";
805 IF EOF(1) THEN RETURN
820 FOR COL=1 TO HICOL: INPUT #1,COL!(SEL(COL)):NEXT
855 IF HICOL<ICOLS THEN LINE INPUT #1,G1$

```

```

,SEL(
00 ROWS=0: HICOL=0: ICOLS=0
15 LINE INPUT "Name of Input File: ";IFIL$
16 ON ERROR GOTO 3995
17 CLOSE 1: OPEN "1",1,IFIL$
18 ON ERROR GOTO 9000
19 PRINT COLS"Data Columns"
20 WHILE ICOLS<COLS: INPUT"# of File Columns";ICOLS: WEND
25 DIM COL!(COLS), SEL(ICOLS)
30 FOR COL=1 TO COLS: TS=0: WHILE TS<1 OR TS>ICOLS: PRINT"File Column for Data
column #"COL" - "; INPUT TS: WEND: SEL(TS)=COL: NEXT
50 FOR COL=ICOLS TO 1 STEP -1: IF SEL(COL) THEN HICOL=COL: RETURN
55 NEXT
95 PRINT BL$*** "IFIL$;": BAD FILE NAME!": RESUME 3915
98 * )>-----) MAIN ALGORITHM SECTION (-----(( (4000-5995)
00 PRINT
10 FOR J=1 TO 4: ON J GOSUB 5100,5200,5300,5400
15 IF NOT REGS(J) THEN 4360
20 Z2=0: Z5=0: Z6=0: Z7=0: Z9=0
40 FOR I=1 TO N
50 Z5=Z5+X!(I)*Y!(I)
60 Z6=Z6+X!(I)/N: Z7=Z7+Y!(I)/N
00 Z9=Z9+X!(I)^2: Z2=Z2+Y!(I)^2
20 NEXT I
40 Z3=Z6*N: Z4=Z3^2/N: Z8=N*Z9*Z7
00 A(J,2)=(Z5-Z8)/(Z9-Z4): A(J,1)=Z7-A(J,2)*Z5
20 A(J,6)=A(J,2)/(Z2-(((Z7*N)^2)/N))*(Z5-Z8)
40 A(J,7)=(1/(N-1))*(Z5-Z8)
50 A(J,8)=A(J,7)/SQRT(Z2-(((Z7*N)^2)/N))/(N-1)
60 A(J,9)=A(J,6)/SQRT(Z9-(((Z6*N)^2)/N))/(N-1)
00 A(J,5)=SQRT(Z2-A(J,1)*Z7*N-A(J,2)*Z5)/(N-2)
20 A(J,4)=A(J,5)/SQRT(Z9-(((Z6*N)^2)/N)
40 A(J,3)=SQRT(Z9/(N*(Z9-(((Z6*N)^2)/N))))*A(J,5)
50 NEXT J
60 IF REGS(2) THEN A(2,1)=EXP(A(2,1))
90 IF REGS(4) THEN A(4,1)=EXP(A(4,1))
00 GOTO 5000
98 * --(LINEAR DATA)--
00 RETURN ' IT'S ALREADY THERE
98 * --(EXPONENTIAL DATA)--
100 FOR I=1 TO N
110 IF B(I)<=0 THEN REGS(2)=0: REGS(4)=0: I=N: GOTO 5240
120 Y!(I)=LOG(B(I))
140 NEXT I
160 RETURN
98 * --(LOGARITHMIC DATA)--
100 FOR I=1 TO N
110 IF R(I)<=0 THEN REGS(3)=0: REGS(4)=0: I=N: GOTO 5340
120 X!(I)=LOG(R(I)): Y!(I)=S(I)
140 NEXT I
160 RETURN
98 * --(POWER LAW DATA)--
100 FOR I=1 TO N
110 IF R(I)<=0 OR S(I)<=0 THEN REGS(4)=0: I=N: GOTO 5440
120 Y!(I)=LOG(S(I))
140 NEXT I
160 RETURN
98 * )>-----) OUTPUT SECTION (-----(( (5000-5995)
100 PRINT
140 GOSUB 6900: IF MD=4 THEN 9900
150 IF MD=3 THEN SK=0 ELSE PROM$="Skip Detail Data": GOSUB 7000: SK=YN$
160 HD$=" X A+(B*X) A*EXP(B*X) A+B*LOG(X) A*X^B

```

```

5
0 T1=1: T2=15: T3=29: T4=43: T5=57: T6=71
0 FOR J=1 TO 4: EST(J)=0: RES2(J)=0: DRES(J)=0: NEXT
0 FOR I=1 TO N
0 IF NOT SK THEN GOSUB 6700: IF CQ THEN I=N: GOTO 6360
0 IF REGS(1) THEN EST(1)=A(1,1)+A(1,2)*R(I)
5 IF REGS(2) THEN EST(2)=A(2,1)*EXP(A(2,2)*R(I))
0 IF REGS(3) THEN EST(3)=A(3,1)+A(3,2)*LOG(R(I))
0 IF REGS(4) THEN EST(4)=A(4,1)*R(I)^A(4,2)
0 FOR J=1 TO 4: IF REGS(J) THEN RES(J)=S(I)-EST(J) ELSE 6283
5 RES2(J)=RES2(J)+RES(J)^2
7 IF I>1 THEN DRES(J)=DRES(J)+(RES(J)-DRES(J))^2
10 DRES(J)=RES(J)
13 NEXT J
15 IF SK THEN 6360
10 ON MD GOTO 6300,6320,6340
10 PRINT TAB(T1)R(I);TAB(T2)EST(1);TAB(T3)EST(2);TAB(T4)EST(3);TAB(T5)EST(4);
1(T6)S(I)
0 GOTO 6360
10 LPRINT TAB(T1)R(I);TAB(T2)EST(1);TAB(T3)EST(2);TAB(T4)EST(3);TAB(T5)EST(4)
13(T6)S(I)
20 GOTO 6360
40 PRINT #2, R(I);EST(1);EST(2);EST(3);EST(4);S(I);RES(1);RES(2);RES(3);RES(4)

30 NEXT I
15 FOR J=1 TO 4: IF REGS(J) THEN A(J,9)=DRES(J)/RES2(J)
17 NEXT
70 IF MD=1 THEN PRINT ELSE IF MD=2 THEN LPRINT ELSE 6000
75 IF SK THEN GOSUB 6700
30 HD$(1)="A REG COEFF": HD$(2)="B REG COEFF"
35 HD$(3)="A STD ERROR": HD$(4)="B STD ERROR"
30 HD$(5)="STD ERR EST": HD$(6)="COEFF DET "
35 HD$(7)="COVARIANCE ": HD$(8)="CORR COEFF "
37 HD$(9)="DURAN-WATSON"
30 FOR I=1 TO 9
40 ON MD GOTO 6450,6470
50 PRINT HD$(1);TAB(T2)A(1,I);TAB(T3)A(2,I);TAB(T4)A(3,I);TAB(T5)A(4,I)
50 GOTO 6500
70 LPRINT HD$(1);TAB(T2)A(1,I);TAB(T3)A(2,I);TAB(T4)A(3,I);TAB(T5)A(4,I)
30 NEXT I
40 GOTO 6000
38 ' ----(PAGING ROUTINE)----
40 IF MD=3 THEN RETURN ' (not needed for file D/P)
18 IF PH$="" THEN PH$="----) ONEVREG ("+IFIL$+"): "
20 IF ML=0 THEN LC=0: IF MD=1 THEN ML=18: GOTO 6820 ELSE ML=63: PG=1: PRINT: P
NT"---) MAKE PRINTER READY": LINE INPUT"Page Header: ";Z$: PH$=PH$+Z$: GOTO 665
40 LC=LC+1: IF (LC MOD ML) THEN RETURN
50 IF MD=2 THEN 6850
78 '
80 PRINT: LINE INPUT"Continue or Quit (C,Q)? ";I$: I%= LEFT$(I$,1)
80 '
90 IF INSTR(" Cc",I%)>1 THEN CQ=-1: RETURN ELSE CQ=0
10 '
20 CLS: PRINT HD$: PRINT H2$: PRINT
40 RETURN
48 '
50 LPRINT FF$:
55 LPRINT: LPRINT PH$:TAB(66)"PAGE ";PG: LPRINT
60 LPRINT HD$: LPRINT H2$: LPRINT
70 PG=PG+1
80 RETURN
88 ' ----( SET OUTPUT MODE )----

```

```

Output (1=Screen;2=Printer;3=File;4=EXIT)
5 ML=0: CO=0: PH$="" {reset PABOUT vars}
0 IF MO <> 3 THEN RETURN
0 LINE INPUT "Name of Output file: "; I$
0 ON ERROR GOTO 6990
0 CLOSE 2: OPEN "I", 2, I$
0 PRINT I$; " exists: re-use it (Y,N)? ";: LINE INPUT II$
0 II=INSTR(" YyNn", LEFT$(II$, 1)): IF II < 2 THEN 6960 ELSE IF II > 3 THEN 6930
5 CLOSE 2: OPEN "O", 2, I$
0 ON ERROR GOTO 9000: RETURN
0 IF ERR=53 THEN RESUME 6975 ELSE 6980
8 ' =====(UTILITY ROUTINES)===== (7000-7500: COMMON / 7500-8000: UNIQUE)
9 ' --- (GET Y/N ANS) --- (IN: PROM$ OUT: YN%)
0 YN%=0
0 WHILE YN%=0: PRINT PROM$;: LINE INPUT " (Y/N)? "; YN$: YN%= INSTR(" YyNn", LEFT$(YN$, 1))\0: WEND
0 YN%= YN% -E
0 RETURN
8 ' <-----<< ERROR TRAPS >>-----> (9000-9995)
0 ' <ERRORECOVERY STARTS HERE - IF IMPLEMENTED: DON'T DELETE THIS REM>
8 IF ERR=62 AND ERL=3820 THEN PRINT BL$ "*** BAD INPUT: ABORTING ***": GOTO 99

8 ' * * * * UNRECOVERABLE ERRORS * * * * *
0 PRINT: PRINT
0 PRINT BL$ " * * * E R R O R * * *"
0 PRINT "Check your input data for validity..."
0 PRINT "Try re-running the program..."
0 PRINT "And/or call NORTHWEST ANALYTICAL for help!"
0 PRINT "ERROR DESCRIPTION ---"
8 ' >>-----> EGRESS >>----->
0 ON ERROR GOTO 0
0 CLOSE: CLEAR 200: DEFSNB A-Z

```

CUADRO 4 ---> ONE INDEPENDENT VARIABLE REGRESSION <---

MAXIMUM # of Data Pairs? 103

- Select Desired Regression(s) --

Linear:  $A+(B*X)$  (Y/N)? Y

Exponential:  $A*EXP(B*X)$  (Y/N)? Y

Logarithmic:  $A+B*LOG(X)$  (Y/N)? Y

Power Curve:  $A*X^B$  (Y/N)? Y

= Data Column # 1

= Data Column # 2

Name of Input File: AJCHI2.EQ

2 Data Columns

of File Columns? 3

File Column for Data Column # 1 - ? 2

File Column for Data Column # 2 - ? 3



## CUADRO 4 (cont.)

-&gt; ONEVREG (AJCHI2.EQ): AJUSTE DE LA CURVA ESCALA-GASTO EST. CHINIPAS (Ho=0.94

PAGE 1

X	A+(B*X)	A*EXP(B*X)	A+B*LOG(X)	A*X^B	Y
22	-194.9795	17.68542	-474.3012	2.637956	2.37
23	-191.4975	17.92528	-454.4762	2.902922	2.59
24	-188.0156	18.16838	-435.4951	3.181513	2.85
26	-181.0517	18.66453	-399.7969	3.779925	2.91
36	-146.2322	21.35606	-254.662	7.617159	10
39	-135.7864	22.2368	-218.9638	9.049878	11.63
4	-132.3044	22.53838	-207.6724	9.55692	13.08
43	-121.8586	23.46788	-175.4181	11.16726	14
49	-100.9669	25.44347	-117.163	14.79423	18
51	-94.00302	26.13828	-99.32106	16.12509	16.82
54	-83.55718	27.21625	-73.82896	18.23696	14.16
55	-80.07525	27.58536	-65.64546	18.97191	15
56	-76.5933	27.95948	-57.60945	19.72243	23
57	-73.11136	28.33866	-49.71559	20.48858	20.35
61	-59.18357	29.90756	-19.46744	23.71015	19.93
63	-52.21967	30.72429	-5.079468	25.4157	18.6
66	-41.77382	31.99138	15.66798	28.09338	28.98
69	-31.328	33.31073	35.49297	30.91518	27.38
73	-17.40021	35.1549	60.62578	34.90347	24.6
75	-10.43631	36.11492	72.68027	36.99506	29.25
78	9.521484E-03	37.60432	90.17229	40.25501	31.29
83	17.41925	40.22442	117.8824	46.01725	49.72
86	27.86508	41.88331	133.718	49.67339	61
89	38.31091	43.61061	149.0105	53.4796	62
9	41.79288	44.20207	153.9937	54.78184	61
95	59.20261	47.28186	178.1071	61.54547	68
	76.61234	50.57624	200.9834	68.73241	80
.04	90.5401	53.37626	218.4753	74.78897	72.44
.08	104.4679	56.3313	235.3071	81.12029	63.75
.14	125.3596	61.0734	259.4205	91.13578	78.54
.15	128.8415	61.90169	263.3156	92.86583	102
.16	132.3235	62.74121	267.177	94.61332	105.75
.17	135.8054	63.59212	271.0053	96.37826	108
.18	139.2874	64.45456	274.801	98.16071	110
.23	156.6971	68.94546	293.3094	107.3359	123.5
.24	160.1791	69.88053	296.9207	109.2237	122.5
.25	163.661	70.82824	300.5029	111.1291	128
.27	170.6249	72.76244	307.5823	114.993	130
.32	188.0346	77.8322	324.8041	124.9629	141
.33	191.5166	78.88778	328.1701	127.0102	144
.35	198.4805	81.04207	334.8268	131.1584	150
.36	201.9624	82.14117	338.1182	133.2592	150.5
.38	208.9263	84.38429	344.6291	137.5146	154.5
.4	215.8902	86.6887	351.0463	141.8418	161
.45	233.2999	92.72876	366.6967	152.9744	174.33
.48	243.7457	96.55298	375.8299	159.8706	172.5
.51	254.1916	100.5349	384.7798	166.93	190
.52	257.6735	101.8984	387.7236	169.3194	180
.56	271.6013	107.5397	399.3084	179.0594	154
.62	292.493	116.5927	416.1402	194.2177	174
.64	299.4569	119.7766	421.6125	199.4174	167.75
.66	306.4208	123.0475	427.0185	204.6905	173.8
.69	316.8667	128.1221	435.0066	212.7389	209.05

## CUADRO 4 (cont.)

-&gt; ONEVREG (AJCHI2.EQ): AJUSTE DE LA CURVA ESCALA-GASTO EST. CHINIPAS (Ho=0.94

PAGE 2

X	A+(B*X)	A*EXP(B*X)	A+B*LOG(X)	A*X^B	Y
.71	323.8305	131.6209	440.2536	218.1968	230
.73	330.7944	135.2152	445.4396	223.7288	225
.76	341.2402	140.7916	453.1072	232.1662	235
.8	355.168	148.5862	463.1298	243.6766	245
.84	369.0958	156.8123	472.9322	255.4858	250
.89	386.5056	167.7382	484.8897	270.669	250
.98	417.8431	189.3589	505.6371	299.1854	249.78
.07	449.1806	213.7662	525.4621	329.2366	305
.1	459.6264	222.5822	531.8793	339.5966	313
.15	477.0362	238.0907	542.3737	357.246	300
.24	508.3737	268.7794	560.6628	390.2248	336
.29	525.7834	287.5066	570.5085	409.2216	383.2
.3	529.2653	291.4059	572.4518	413.079	406
.31	532.7473	295.358	574.3867	416.9559	380.8
.34	543.1931	307.5388	580.1414	428.7028	545.91
.36	550.157	315.9371	583.9371	436.6313	400
.39	560.6029	328.9667	589.5708	448.6702	414.74
.43	574.5306	347.1791	596.9732	464.9949	429.49
.47	588.4585	366.3997	604.2548	481.6326	423.8
.53	609.3501	397.2442	614.9591	507.1773	418.32
.62	640.6876	448.447	630.5486	546.8232	530
.76	689.4348	541.5226	653.7652	611.6826	492.7
.88	731.2183	636.5339	672.7463	670.3853	610.2
.89	734.7002	645.1666	674.2923	675.4075	590.75
.98	766.0376	728.3252	687.9693	721.5112	692.77
.01	773.0016	748.2148	690.9525	731.9781	700
.02	776.4835	758.3623	692.4366	737.2416	864.45
.03	779.9655	768.6472	693.9159	742.5257	885.7
.04	783.4474	779.0715	695.3902	747.83	1091.79
.04	786.9293	789.6375	696.8598	753.1544	752
.13	818.2669	891.4182	709.8717	801.9857	776.64
.17	832.1947	940.7692	715.5351	824.2164	798.73
.2	842.6405	979.5669	719.736	841.1036	900.82
.21	846.1224	992.8519	721.1275	846.7734	1122.71
.23	853.0863	1019.966	723.8976	858.1739	870
.27	867.0141	1076.433	729.3868	881.2204	722.2
.32	884.4238	1151.434	736.1546	910.4895	1082.4
.33	887.9058	1167.05	737.4959	916.4046	920
.35	894.8696	1198.92	740.1665	928.2969	936.02
.36	898.3516	1215.18	741.4959	934.274	950
.44	926.2071	1353.455	751.9902	982.8293	990
.5	947.0989	1467.392	759.702	1020.112	1087.1
.52	954.0628	1507.464	762.2433	1032.704	1030
.58	974.9544	1634.366	769.7813	1070.98	1182
.7	1016.738	1921.119	784.4856	1149.774	1153.56
.74	1030.666	2027.477	789.2812	1176.705	1150
.8	1051.557	2198.154	796.3793	1217.728	1200
.85	1068.967	2351.311	802.2093	1252.49	1220
.13	1166.462	3428.635	833.5196	1456.88	1418
.63	1340.559	6724.21	884.487	1863.327	1603.02
REG COEFF	-271.5823	13.14942	200.9834	68.73241	
REG COEFF	348.1946	1.347104	445.9892	2.153198	
STD ERROR	23.6437	.1130401	26.36239	1.672527E-02	

STD ERROR	10.85819	5.191283E-02	31.3794	1.990824E-02
D ERR EST	121.1645	.5792851	233.9161	.1484049
EFF DET	.9105658	.8695727	.6666709	.9914419
VARIANCE	425.067	1.64451	242.9715	1.173046
RR COEFF	.9542356	.9325088	.8164991	.9957118
RBN-WATSN	.4110407	.3149526	.1245511	<u>1.401622</u>

41

ECUACION DE LA CURVA:

$$Q = 68.73241 (H - 0.94)^{2.153198}$$

donde:

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

$H =$  escala en m

$H_0 = 0.94$  gasto nulo

## CUALRO 5 ---&gt; ONE INDEPENDENT VARIABLE REGRESSION &lt;---

MAXIMUM # of Data Pairs? 79

- Select Desired Regression(s) --

Linear:  $A+(B*X)$  (Y/N)? YExponential:  $A*EXP(B*X)$  (Y/N)? YLogarithmic:  $A+B*LOG(X)$  (Y/N)? YPower Curve:  $A*X^B$  (Y/N)? Y

= Data Column # 1

= Data Column # 2

Name of Input File: PD.EQ

? Data Columns

of File Columns? 3

File Column for Data Column # 1 - ? 2

File Column for Data Column # 2 - ? 3

## CUADRO 5 (cont.)

-> ONEVREG (PD.EQ): AJUSTE DE LA CURVA ESCALA - GASTO EST. PALO DULCE (Hc=0.35  
)

PAGE 1

X	A+(B*X)	A*EXP(B*X)	A+B*LOG(X)	A*X^B	Y
.47	-666.3088	12.62445	-1243.056	.5187137	2.23
.41	-384.4212	25.01024	-324.9302	12.21157	9.359999
.46	-369.4271	25.93646	-295.8083	13.49847	5.32
.49	-360.4307	26.50858	-278.8101	14.31143	7.74
.55	-342.4379	27.69095	-245.8172	16.03173	6.65
.6	-327.4438	28.71645	-219.2843	17.56407	9.770001
.64	-315.4486	29.56412	-198.6483	18.85642	10.49
.65	-312.4498	29.77992	-193.568	19.1889	11.25
.7	-297.4558	30.88278	-168.6194	20.90873	12.24
.75	-282.4617	32.02648	-144.3941	22.72608	9.32
.8	-267.4677	33.21254	-120.8514	24.64345	9.79
.85	-252.4737	34.44252	-97.95368	26.66336	23.86
.97	-216.488	37.58354	-45.43073	31.94431	26.8
.1	-177.5035	41.31037	7.974427	38.38754	38.89
.17	-156.5118	43.46795	35.37744	42.1828	55.47
.28	-123.525	47.08834	76.70196	48.62747	61.73
.35	-102.5334	49.54769	101.9738	53.04473	76.63
.45	-72.54529	53.28551	136.8002	59.79697	83.21
.5	-57.55127	55.25886	153.684	63.37335	74.6
.65	-12.56915	61.62835	202.3802	74.93201	110.36
.71	5.423645	64.37718	221.0909	79.91428	121.11
.8	32.4129	68.732	248.3944	87.78508	124.72
.85	47.40692	71.27738	263.1862	92.36816	207.8
.96	80.3938	77.21401	294.8349	102.9938	150.5
.15	137.3711	88.65615	346.8274	123.1678	265.59
.19	149.3663	91.27319	357.3728	127.7185	207.8
.25	167.3591	95.34426	372.9454	134.748	196
.29	179.3544	98.15871	383.1685	139.5717	181.21
.55	257.3233	118.591	446.7329	173.6897	224.18
.65	287.3115	127.5374	469.9486	188.1319	246.55
.95	377.2756	158.6333	535.9604	236.0999	286.3
.15	437.2517	183.4704	577.2386	272.1278	312.12
.45	527.2158	228.2038	635.5678	332.6039	394.25
.63	581.1944	260.1221	668.7061	372.7706	538.88
.65	587.192	263.9334	672.3085	377.4194	370.08
.67	593.1896	267.8005	675.8952	382.1055	403.91
.72	608.1836	277.7182	684.7953	393.9868	347.52
.75	617.18	283.8443	690.0901	401.2299	413.25
.77	623.1777	288.0031	693.6016	406.1065	489.74
.8	632.1741	294.356	698.8413	413.4938	526.14
.85	647.168	305.2571	707.5015	425.9994	505.85
.87	653.1657	309.7297	710.9408	431.0699	492.38
.89	659.1633	314.2678	714.3657	436.1795	457.3
.94	674.1575	325.9064	722.8676	449.1266	488.23
.95	677.1561	328.2852	724.5575	451.7451	465.64
.5	692.1502	340.4429	732.9568	464.9897	546.18
5.03	701.1467	347.9525	737.956	473.0567	578.56
5.05	707.1443	353.0509	741.2725	478.4854	600.25
5.06	710.143	355.6277	742.9256	481.2146	534.48
5.1	722.1383	366.1254	749.506	492.2335	581.46
5.15	737.1323	379.6845	757.6596	506.2373	584.07
5.23	761.1228	402.4309	770.5417	529.1786	557.52

## CUADRO 5 (cont.)

→ ONEVREG (PD.EQ): AJUSTE DE LA CURVA ESCALA - GASTO EST. PALO DULCE (Ho=0.35)  
 1) PAGE 2

X	A+(B*X)	A*EXP(B*X)	A+B*LOG(X)	A*X^B	Y
5.4	812.1025	455.3937	797.2744	580.157	543.64
5.45	827.0964	472.2584	804.9766	595.7363	509.09
5.47	833.094	479.1782	808.0379	602.0439	534.28
5.52	848.0881	496.924	815.6423	618.003	576.91
5.55	857.0846	507.8853	820.172	627.7095	568.54
5.58	866.0809	519.0882	824.6771	637.5145	620.4
5.68	896.0689	558.2478	839.5213	670.919	716.75
5.77	923.0582	596.0108	852.6595	701.9415	709.71
5.78	926.0571	600.3612	854.1066	705.4451	611.06
5.95	977.0367	679.373	878.3319	766.7611	642.24
6.1	1022.019	757.6817	899.1392	823.6636	605.74
6.12	1028.016	768.7833	901.8747	831.4521	678.91
6.15	1037.013	785.7416	905.9614	843.2248	804.72
6.23	1061.003	832.8147	916.7624	875.1492	710.07
6.35	1096.989	908.7638	932.7065	924.4971	894
6.45	1126.977	977.3196	945.7647	966.9781	789.15
6.63	1180.956	1114.015	968.7675	1046.615	707.97
6.65	1186.953	1130.338	971.2848	1055.718	831.23
6.67	1192.951	1146.899	973.7942	1064.873	1252.9
7.05	1306.906	1511.997	1020.099	1248.78	921.22
7.15	1336.894	1626.061	1031.87	1300.391	1362.22
7.35	1396.87	1880.65	1054.926	1407.742	1127.88
7.5	1441.852	2097.426	1071.81	1491.936	1362.22
7.95	1576.798	2909.525	1120.506	1764.05	1293.95
3.649999	1786.714	4840.851	1191.029	2248.464	1556.77
12.23	2860.287	65416.88	1480.464	6086.307	6800
REG COEFF	-807.2528	8.969321	-612.0728	4.547042	
REG COEFF	299.8806	.7272875	835.7139	2.875252	
STD ERROR	137.3319	.1872545	194.6116	.1147696	
STD ERROR	28.08306	3.829175E-02	132.5296	7.815759E-02	
TD ERR EST	513.1453	.6996827	656.347	.3870719	
JEFF DET	.5969158	.8240992	.3405498	.9461676	
CVARIANCE	1283.648	3.113175	262.7871	.9041122	
JRR COEFF	.7726031	.9077991	.5835664	.9727114	
JRBN-WATSN	.9080659	.888302	.7921638	1.57724	

ECUACION DE LA CURVA: 2.875252

$$Q = 4.547042 (H - 0.35)$$

donde:

Q = gasto en m<sup>3</sup>/seg

H = escala en m

Ho = 0.35 gasto nulo

FIG. 6 CURVA ESCALA-GASTO ESTACION DE AFORO EN CHINIPAS

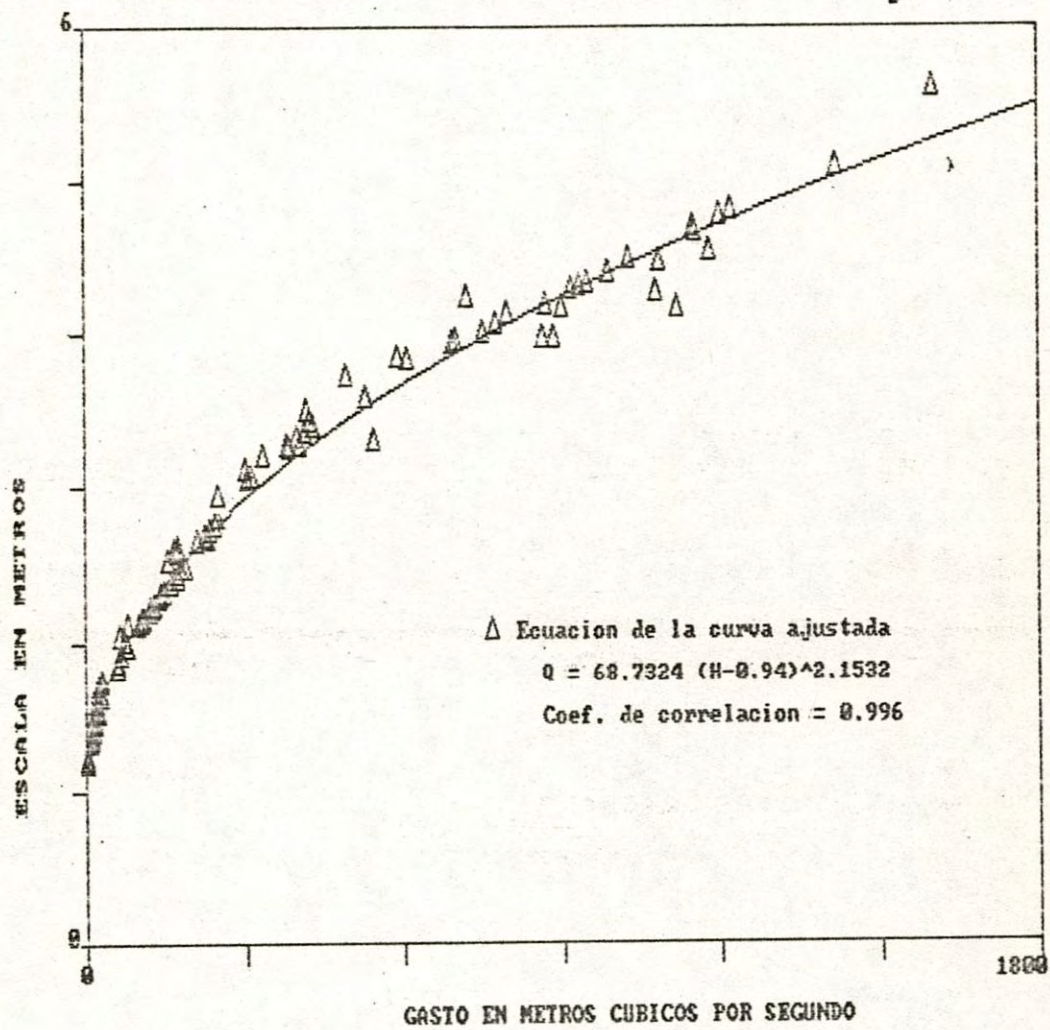
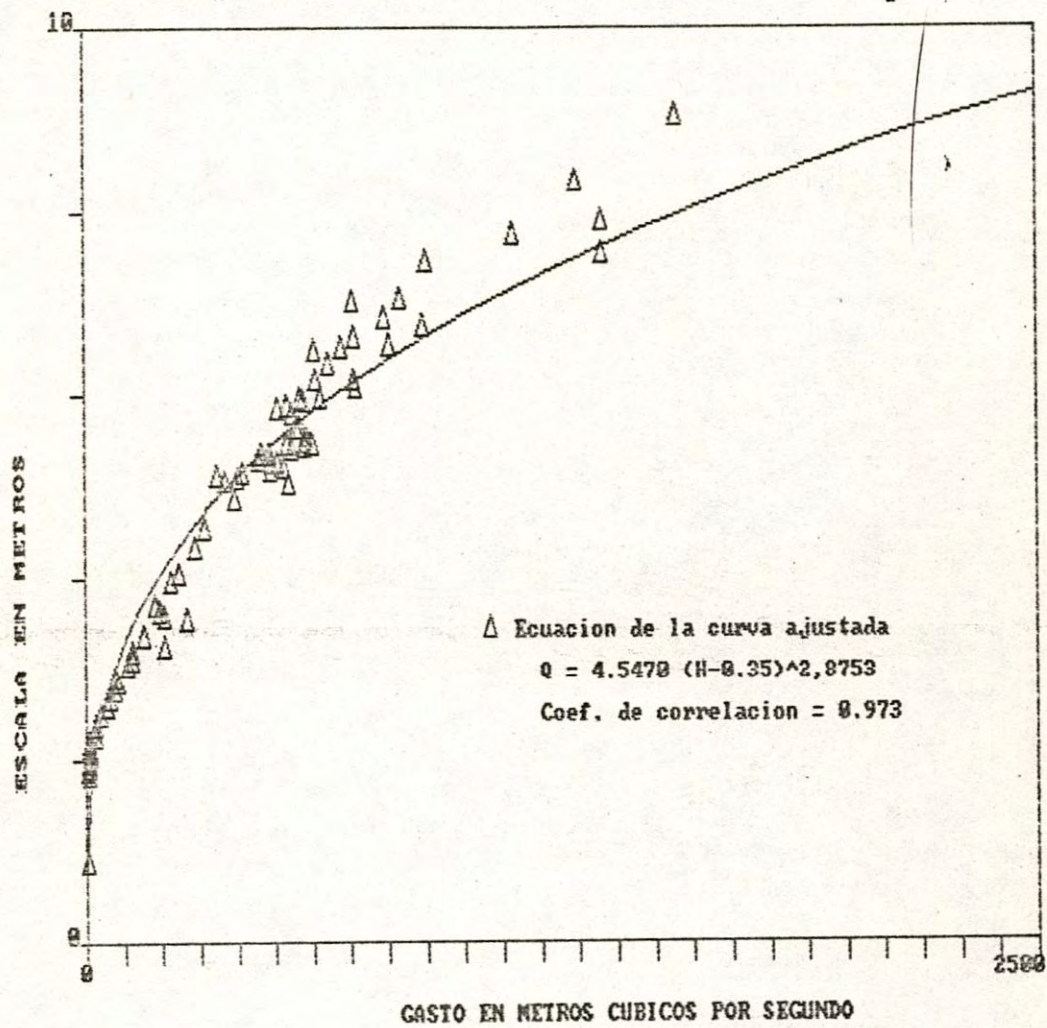


FIG. 7 CURVA ESCALA-GASTO ESTACION DE AFORO EN PALO DULCE





CUADRO 6 LECTURA DE ESCALA EN LA ESTACION DE AFORO DE CHINIPAS

FEBRERO 1973

DIA	6:00	12:00	18:00
1	1.62	1.64	1.64
2	1.62	1.64	1.64
3	1.63	1.62	1.62
4	1.61	1.61	1.59
5	1.58	1.58	1.58
6	1.57	1.57	1.57
7	1.56	1.56	1.56
8	1.60	1.62	2.74
9	2.90	2.83	2.69
10	2.41	2.34	2.29
11	2.20	2.15	2.11
12	2.02	1.99	1.95
13	1.89	1.87	1.85
14	1.82	1.80	1.79
15	1.74	1.73	1.72
16	1.69	1.68	1.68
17	1.64	1.63	1.63
18	1.61	1.60	1.60
19	1.58	1.58	1.57
20	1.57	1.56	1.56
21	1.79	2.45	3.39
22	4.80	4.67	4.20
23	3.45	3.29	3.08
24	2.82	2.75	2.66
25	2.55	2.53	2.46
26	2.43	2.39	2.36
27	2.32	2.28	2.25
28	2.23	2.19	2.17

## CUADRO 7 LECTURA DE ESCALA EN LA ESTACION DE AFORO PALO DULCE

FEBRERO 1973

DIA	6:00	12:00	18:00
1	1.79	1.79	1.79
2	1.89	1.89	1.89
3	1.89	1.89	1.89
4	1.89	1.86	1.84
5	1.84	1.83	1.83
6	1.81	1.80	1.80
7	1.79	1.79	1.79
8	1.80	1.80	1.81
9	3.44	3.52	3.57
10	3.22	3.19	3.10
11	2.89	2.85	2.77
12	2.54	2.52	2.49
13	2.38	2.32	2.30
14	2.26	2.23	2.20
15	2.16	2.16	2.12
16	2.08	2.07	2.04
17	2.00	2.00	2.00
18	1.97	1.97	1.97
19	1.94	1.92	1.91
20	1.90	1.90	1.90
21	3.46	3.84	4.34
22	5.08	5.82	6.25
23	6.60	6.24	5.68
24	5.34	5.04	4.81
25	4.50	4.33	4.20
26	4.10	4.02	3.90
27	3.73	3.69	3.62
28	3.51	3.46	3.41

## PROGRAMA 3

```

3) 10 CLS
20 CLS
30 PRINT " *****"
40 PRINT " *   PROGRAMA QUE CONVIERTE LOS ARCHIVOS DE ESCALA A GASTO   *"
50 PRINT " * UTILIZANDO LA ECUACION E-Q AJUSTADA A LA EST. CHINIPAS   *"
60 PRINT " *****"
70 PRINT " *                                                                 *"
80 PRINT " *                                                                 *"
90 DIM DIA(31),E(31,3),QMD(31),VOL(31),G(31)
100 INPUT "           MES DE ";MES$
110 INPUT "           ANO DE ";ANO$:PRINT
120 INPUT " NOMBRE DEL ARCHIVO QUE CONTIENE LOS DATOS DE ESCALA ";IN$ :PRINT
130 OPEN IN$ FOR INPUT AS#1
140 I=0
150 WHILE EOF(1)=0
160 I=I+1
170 INPUT #1,DIA(I),E(I,1),E(I,2),E(I,3)
180 WEND
190 PRINT "           HAY ";I;" DATOS EN ";IN$:PRINT
200 FOR J=1 TO I
210 FOR K=1 TO 3
220 E(J,K) = 68.73241*(E(J,K) - .94)^2.153198
230 NEXT K : NEXT J
240 FOR J=1 TO I
250 QMD(J)=(1/8)*(3*E(J,1)+2*E(J,2)+3*E(J,3))
260 VOL(J)=86.4*QMD(J)
265 VOLT=VOLT+VOL(J)
270 G(J)=(QMD(J)*1000)/5262
280 NEXT J
290 INPUT " NOMBRE DEL ARCHIVO PARA LOS DATOS MODIFICADOS ";OT$:PRINT :PR
INT
300 PRINT " *****"
310 PRINT :PRINT
320 OPEN OT$ FOR OUTPUT AS#2
330 PRINT #2,"           ESCURRIMIENTO EN LA ESTACION DE AFORDO EN CHINIPAS
":PRINT #2,
340 PRINT #2,"           ";MES$:PRINT #2,
350 PRINT #2,"           ";ANO$:PRINT #2,
360 PRINT #2,"
-----"
370 PRINT #2,"           HORA           06:00           12:00           18:00           GASTO MEDIO           VOLUMEN
GASTO"
380 PRINT #2,"           DIA           (m^3/s)           (m^3/s)           (m^3/s)           (m^3/s)           (10^3 m^3)
(1/s/km^2)"
390 PRINT #2,"
-----"
400 FOR J=1 TO I
410 PRINT #2, USING "           ##           ####.##           ####.##           ####.##           ####.##           ####
##.###           ##.###";DIA(J);E(J,1);E(J,2);E(J,3);QMD(J);VOL(J);G(J)
420 NEXT J
430 PRINT #2,"
-----"
435 PRINT #2,:PRINT #2,USING"           VOLUMEN TOTAL:
#####.###";VOLT
440 CLOSE #2
450 END

```

## PROGRAMA 4

Ris. T. 1,6<sup>22</sup>

```

CLS
CLS
PRINT " *****"
PRINT " *   PROGRAMA QUE CONVIERTE LOS ARCHIVOS DE ESCALA A GASTO   *"
PRINT " * UTILIZANDO LA ECUACION E-Q AJUSTADA A LA EST. PALO DULCE  *"
PRINT " *****"
PRINT " *                                                                *"
PRINT " *                                                                *"
DIM DIA(31),E(31,3),QMD(31),VOL(31),G(31)
O INPUT "                               MES DE ";MES$
O INPUT "                               ANO DE ";ANO$:PRINT
O INPUT " NOMBRE DEL ARCHIVO QUE CONTIENE LOS DATOS DE ESCALA ";IN$ :PRINT
O OPEN IN$ FOR INPUT AS#1
O I=0
O WHILE EOF(1)=0
O I=I+1
O INPUT #1,DIA(I),E(I,1),E(I,2),E(I,3)
O WEND
O PRINT "                               HAY ";I;" DATOS EN ";IN$:PRINT
O FOR J=1 TO I
O FOR K=1 TO 3
O E(J,K) = 4.547*(E(J,K) - .35)^2.8753
O NEXT K : NEXT J
O FOR J=1 TO I
O QMD(J)=(1/8)*(3*E(J,1)+2*E(J,2)+3*E(J,3))
O VOL(J)=86.4*QMD(J)
O VOLT=VOLT+VOL(J)
O G(J)=(QMD(J)*1000)/5262
O NEXT J
O INPUT " NOMBRE DEL ARCHIVO PARA LOS DATOS MODIFICADOS ";OT$:PRINT :PR
IT
O PRINT " *****"
O PRINT :PRINT
O OPEN OT$ FOR OUTPUT AS#2
O PRINT #2,"                               ESCURRIMIENTO EN LA ESTACION DE AFORO EN PALO DUL
": PRINT #2,
O PRINT #2,"                               ";MES$:PRINT #2,
O PRINT #2,"                               ";ANO$:PRINT #2,
O PRINT #2,"
-----"
O PRINT #2,"          HORA          06:00          12:00          18:00  GASTO MEDIO  VOLUMEN
GASTO"
O PRINT #2,"          DIA          (m^3/s)          (m^3/s)          (m^3/s)          (m^3/s)          (10^3 m^3
1/s/km^2)"
O PRINT #2,"
-----"
O FOR J=1 TO I
O PRINT #2, USING "          ##          ####.##          ####.##          ####.##          ####.##          ####
.###.###";DIA(J);E(J,1);E(J,2);E(J,3);QMD(J);VOL(J);G(J)
O NEXT J
O PRINT #2,"
-----"
O PRINT #2,:PRINT #2, USING"                               VOLUMEN TOTAL:
#####.###";VOLT
O CLOSE #2
O END

```

## CUADRO 8 ESCURRIMIENTO EN LA ESTACION DE AFORO EN CHINIPAS

FEBRERO

1973

HORA DIA	06:00 (m <sup>3</sup> /s)	12:00 (m <sup>3</sup> /s)	18:00 (m <sup>3</sup> /s)	GASTO MEDIO (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	GASTO (l/s/km <sup>2</sup> )
1	29.96	31.89	31.89	31.16	2692.606	5.923
2	29.96	31.89	31.89	31.16	2692.606	5.923
3	30.92	29.96	29.96	30.32	2619.411	5.762
4	29.02	29.02	27.18	28.33	2447.756	5.384
5	26.29	26.29	26.29	26.29	2271.655	4.997
6	25.42	25.42	25.42	25.42	2195.917	4.830
7	24.55	24.55	24.55	24.55	2121.551	4.666
8	28.09	29.96	243.68	109.40	9452.449	20.791
9	292.72	270.67	229.34	263.44	22760.910	50.064
10	157.55	141.84	131.16	143.73	12418.060	27.314
11	113.05	103.61	96.38	104.44	9023.592	19.848
12	81.12	76.35	70.22	75.84	6552.527	14.413
13	61.55	58.79	56.10	58.81	5081.593	11.177
14	52.19	49.67	48.44	50.16	4333.428	9.532
15	42.51	41.37	40.26	41.38	3575.288	7.864
16	37.00	35.94	35.94	36.34	3139.460	6.905
17	31.89	30.92	30.92	31.28	2702.590	5.945
18	29.02	28.09	28.09	28.44	2457.223	5.405
19	26.29	26.29	25.42	25.96	2243.253	4.934
20	25.42	24.55	24.55	24.88	2149.438	4.728
21	48.44	166.93	473.27	227.37	20509.170	45.111
22	1259.51	1169.94	875.43	1093.09	94442.560	207.732
23	498.58	432.66	353.68	427.76	36958.670	81.293
24	267.59	246.60	220.95	244.86	21155.540	46.533
25	191.65	186.56	169.32	182.00	15724.870	34.588
26	162.21	152.97	146.24	153.91	13297.910	29.250
27	137.51	129.08	122.93	129.94	11226.540	24.693
28	118.93	111.13	107.34	112.63	9731.330	21.405

VOLUMEN TOTAL: 325977.900

## CUADRO 9 ESCURRIMIENTO EN LA ESTACION DE AFORO EN PALO DULCE

FEBRERO

1973

HORA DIA	06:00 (m <sup>3</sup> /s)	12:00 (m <sup>3</sup> /s)	18:00 (m <sup>3</sup> /s)	GASTO MEDIO (m <sup>3</sup> /s)	VOLUMEN (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	GASTO (l/s/km <sup>2</sup> )
1	12.97	12.97	12.97	12.97	1120.930	2.466
2	15.74	15.74	15.74	15.74	1359.618	2.991
3	15.74	15.74	15.74	15.74	1359.618	2.991
4	15.74	14.87	14.31	14.99	1294.763	2.848
5	14.31	14.04	14.04	14.14	1221.700	2.687
6	13.50	13.23	13.23	13.33	1152.015	2.534
7	12.97	12.97	12.97	12.97	1120.930	2.466
8	13.23	13.23	13.50	13.33	1152.015	2.534
9	116.55	125.44	131.21	124.27	10736.710	23.616
10	94.25	91.44	83.36	89.46	7729.554	17.002
11	66.34	63.38	57.72	62.36	5388.223	11.852
12	43.31	42.18	40.53	41.99	3627.602	7.979
13	34.82	31.95	31.02	32.68	2823.377	6.210
14	29.23	27.93	26.66	27.94	2414.061	5.310
15	25.04	25.04	23.48	24.46	2112.936	4.648
16	21.99	21.62	20.56	21.36	1845.541	4.059
17	19.19	19.19	19.19	19.19	1657.946	3.647
18	18.20	18.20	18.20	18.20	1572.741	3.459
19	17.25	16.63	16.33	16.75	1447.338	3.184
20	16.03	16.03	16.03	16.03	1385.158	3.047
21	118.73	165.39	243.05	177.02	15294.210	33.641
22	396.42	602.09	748.44	579.84	50098.420	110.194
23	883.32	744.80	558.83	727.01	62813.460	138.162
24	462.35	386.86	334.78	395.64	34183.120	75.188
25	272.14	241.31	219.33	244.63	21136.000	46.490
26	203.35	191.12	173.70	189.17	16344.490	35.951
27	150.84	145.76	137.15	144.44	12479.510	27.449
28	124.30	118.73	113.32	118.79	10263.600	22.575

VOLUMEN TOTAL:

275135.600

FIG. 8 GASTO MEDIO DIARIO DEL 1/FEB/73 AL 28/FEB/73

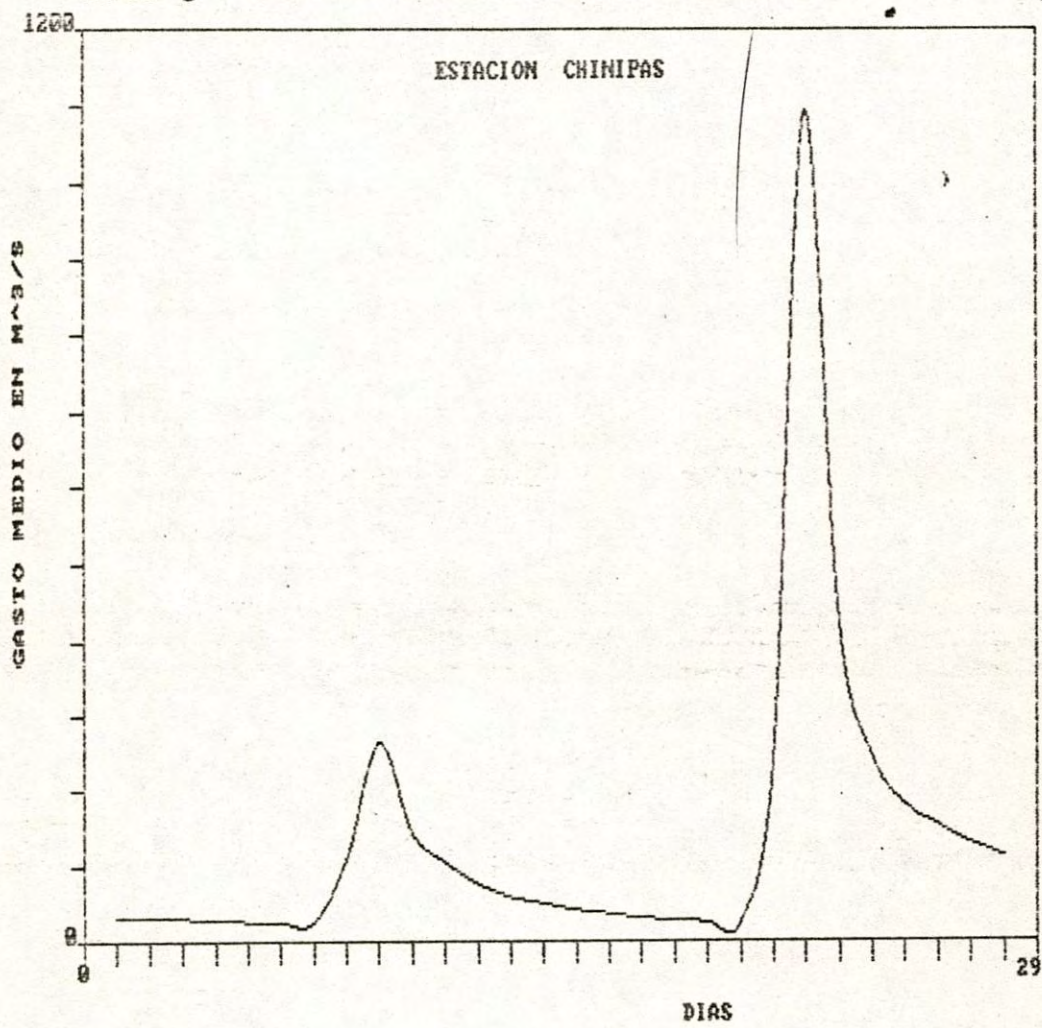
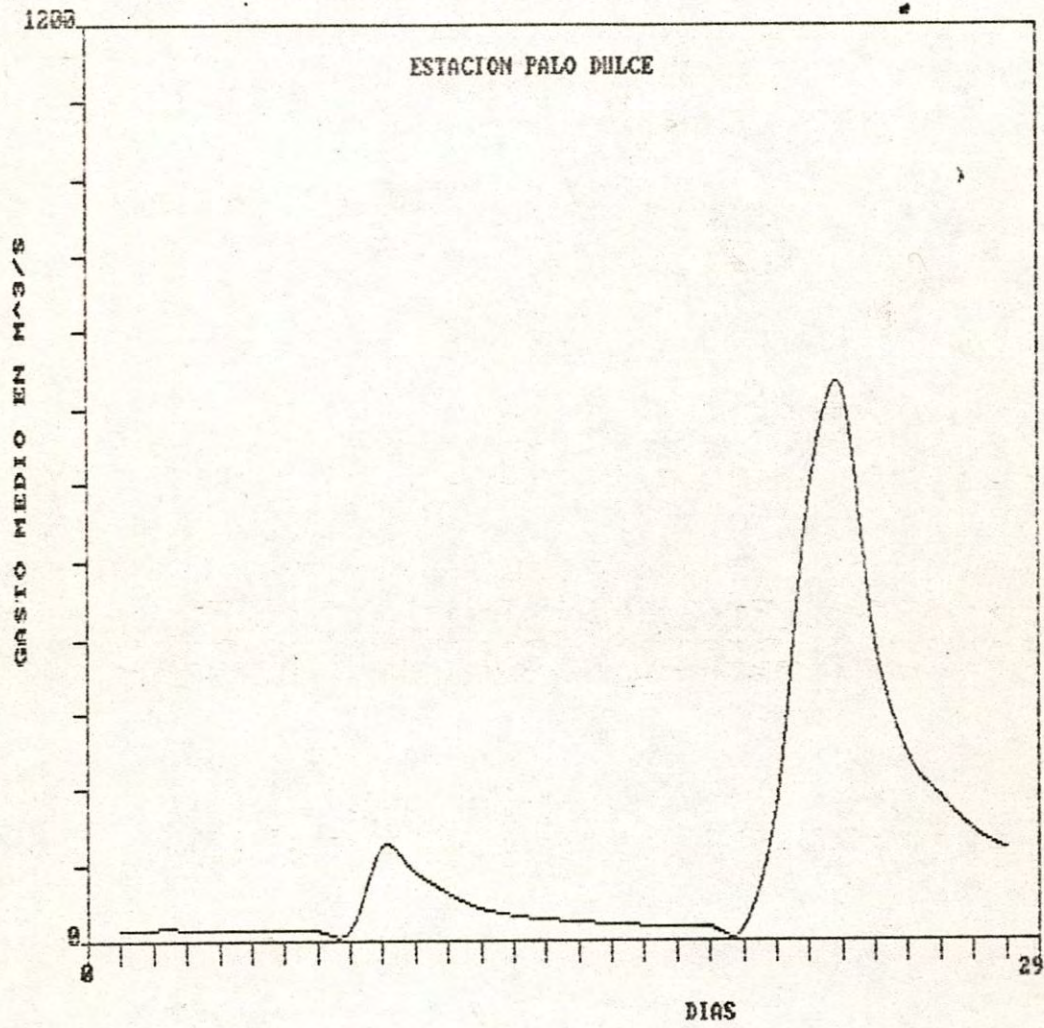


FIG. 9 GASTO MEDIO DIARIO DEL 1/FEB/73 AL 28/FEB/73





CUADRO 10 GASTOS MEDIOS PRESENTADOS DEL 1-FEB-73 AL 28-FEB-73

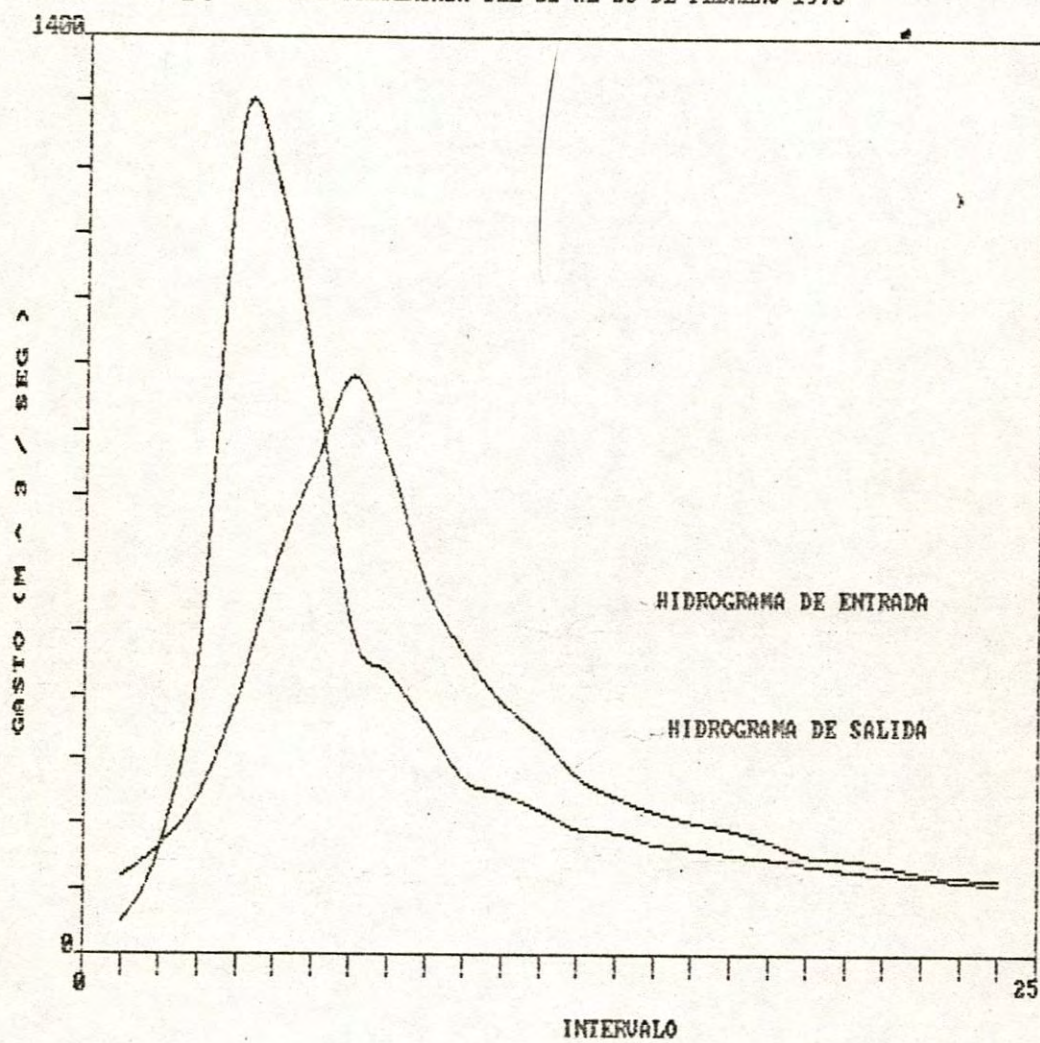
DIA	QMED CHINIPAS	QMED PALO DULCE
1	31.16	12.97
2	31.16	15.74
3	30.32	15.74
4	28.33	14.99
5	26.29	14.14
6	25.42	13.33
7	24.55	12.97
8	109.40	13.33
9	263.44	124.27
10	143.73	89.46
11	104.44	62.36
12	75.84	41.99
13	58.81	32.68
14	50.16	27.94
15	41.38	24.46
16	36.34	21.36
17	31.28	19.19
18	28.44	18.20
19	25.96	16.75
20	24.88	16.03
21	237.37	177.02
22	1093.09	579.84
23	427.76	727.01
24	244.86	395.64
25	182.00	244.63
26	153.91	189.17
27	129.94	144.44
28	112.63	118.79

## CUADRO 11

HIDROGRAMA DE LA EST. CHINIPAS E HIDROGRAMA DE LA EST. PALO DULCE  
DE LA AVENIDA PRESENTADA DEL 21 AL 28 DE FEBRERO DE 1973

INTERVALO	TIEMPO		CHINIPAS	PALO DULCE
	DIA	HORA	(M <sup>3</sup> /SEG)	(M <sup>3</sup> /SEG)
1	21	6:00	48.44	118.73
2	21	12:00	166.93	165.39
3	21	18:00	473.27	243.05
4	22	6:00	1259.51	396.42
5	22	12:00	1169.94	602.09
6	22	18:00	875.43	748.44
7	23	6:00	498.58	883.32
8	23	12:00	432.66	744.80
9	23	18:00	353.68	558.83
10	24	6:00	267.59	462.35
11	24	12:00	246.60	386.86
12	24	18:00	220.95	334.78
13	25	6:00	191.65	272.14
14	25	12:00	186.56	241.31
15	25	18:00	169.32	219.33
16	26	6:00	162.21	203.35
17	26	12:00	152.97	191.12
18	26	18:00	146.24	173.70
19	27	6:00	137.51	150.84
20	27	12:00	129.08	145.76
21	27	18:00	122.93	137.15
22	28	6:00	118.93	124.86
23	28	12:00	111.13	118.73
24	28	18:00	107.34	113.32

FIG. 10 AVENIDA PRESENTADA DEL 21 AL 28 DE FEBRERO 1973



```

KEY OFF
) DIM IN(100),OT(100),S(100),SX(100),SY(100)
) CLS
) PRINT "PROGRAMA PARA CALCULAR LOS PARAMETROS DEL METODO MUSKINGUM"
) INPUT "NUMERO DE DATOS ";N
) INPUT "INTERVALO EN HORAS ";DT
) S(0)=0:SM=0:S1=0:S2=0
) INPUT "Nombre del archivo de datos"; NOM$
) IF NOM$ = "" THEN 70
) OPEN NOM$ FOR INPUT AS #1
) FOR I=1 TO N
) INPUT #1,IN(I),OT(I)
) NEXT I
) CLOSE #1
) GOTO 114
) FOR I=1 TO N
) TM=I*DT
) PRINT "INTERVALO";I; "(";TM;"HORAS)"
) INPUT "ENTRADAS (M^3/S) ";IN(I)
) INPUT "SALIDAS (M^3/S)";OT(I)
) 2 NEXT I
) 4 VENT = 0 : VSAL = 0
) 5 INPUT "KOD=0 GASTO MEDIO KOD=1 GASTO INSTANTANEO;KOD=";KOD
) 6 IF KOD<>0 AND KOD<>1 THEN 84
) 7 N1=N-1
) 8 FOR I=1 TO N1
) 0 IF KOD=1 THEN INQ=(IN(I)+IN(I+1))*0.5:OTP=(OT(I)+OT(I+1))*0.5 ELSE INQ=IN(I):O
) TP=OT(I)
) 2 S(I)=S(I-1)+INQ-OTP
) 4 VENT=VENT+INQ
) 6 VSAL=VSAL+OTP
) 0 IF S(I) > SM THEN SM = S(I)
) 2 NEXT I
) 3 VENT = VENT * DT * 3600: VSAL = VSAL * DT * 3600
) 4 PRINT "VOLUMEN DE ENTRADAS =";VENT:PRINT"VOLUMEN DE SALIDAS =";VSAL:PRINT"DI
) FERENCIA =";VENT-VSAL
) 6 FOR I =1 TO N1
) 0 S1 = S1 +S(I)
) 0 S2 = S2 + S(I)^2
) 0 NEXT I
) 1 HMAX=319: VMAX=143
) 2 DS=HMAX/SM
) 4 FOR I = 1 TO N1
) 6 SY(I) = INT (S(I)*DS)
) 8 NEXT I
) 0 PRINT :PRINT "QUE VALOR QUIERE PARA X (0<X<0.5)";
) 5 MX=0: X1=0: X2=0: XS=0
) 0 INPUT X
) 0 IF X<0 THEN PRINT "REENTER": GOTO 180
) 0 IF X>.5 THEN PRINT "REENTER":GOTO 180
) 5 CLS
) 0 XM=1-X
) 0 FOR I = 1 TO N1
) 0 IF KOD=1 THEN INQ=IN(I):OTP=OT(I) ELSE INQ=.5*(IN(I)+IN(I+1)):OTP=.5*(OT(I)+
) (I+1))
) 5 SX(I)=X*INQ+XM*OTP
) 0 IF SX(I) >MX THEN MX = SX(I)
) 0 X1 = X1 + SX(I)
) 0 X2 = X2 + SX(I)^2
) 0 XS = XS + SX(I)*S(I)
) 1 PRINT S(I),SX(I)

```

```
76 PRINT "OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR"  
77 RESP$=INKEY$:IF RESP$="" THEN 277  
78 CLS  
80 K = (XS-X1*S1/N1)/(X2-X1^2/N1)  
90 C1 = (X2-X1^2/N1)*(S2-S1^2/N1)  
00 C1 = SQR(C1)  
10 R = (XS-X1*S1/N1)/C1  
20 DX=VMAX/MX  
30 FOR I=1 TO N1  
40 C1=VMAX-SX(I)*DX  
50 SX(I) = INT(C1)  
50 NEXT I  
70 SCREEN 1,0  
30 LINE (0,0)-(HMAX,VMAX),,B  
30 PSET (SY(1),SX(1))  
30 FOR I=1 TO N1  
10 LINE -(SY(I),SX(I)).  
20 NEXT I  
30 LOCATE 20,10  
35 K = K*DT  
40 PRINT TAB(10);"X=";X;"      K=";K  
45 PRINT TAB(15); "R="R  
50 PRINT "QUIERE METER OTRO X (S/N)";  
50 A$=INPUT$(1)  
70 IF A$="n" OR A$="N" THEN 640  
30 IF A$="S" OR A$="s" THEN 170  
30 GOTO 450  
30 FOR I=1 TO N  
20 PRINT SX(I),SY(I)  
30 NEXT I  
40 C0=-(K*X-.5*DT)/(K-K*X+.5*DT)  
50 C1=(K*X+.5*DT)/(K-K*X+.5*DT)  
30 C2=(K-K*X-.5*DT)/(K-K*X+.5*DT)  
70 PRINT TAB(10);"C0=";C0:PRINT  
30 PRINT TAB(10);"C1=";C1:PRINT  
30 PRINT TAB(10);"C2=";C2:PRINT
```

FIG. 11 DETERMINACION CONSTANTES DE METODO DE MUSKINGUM

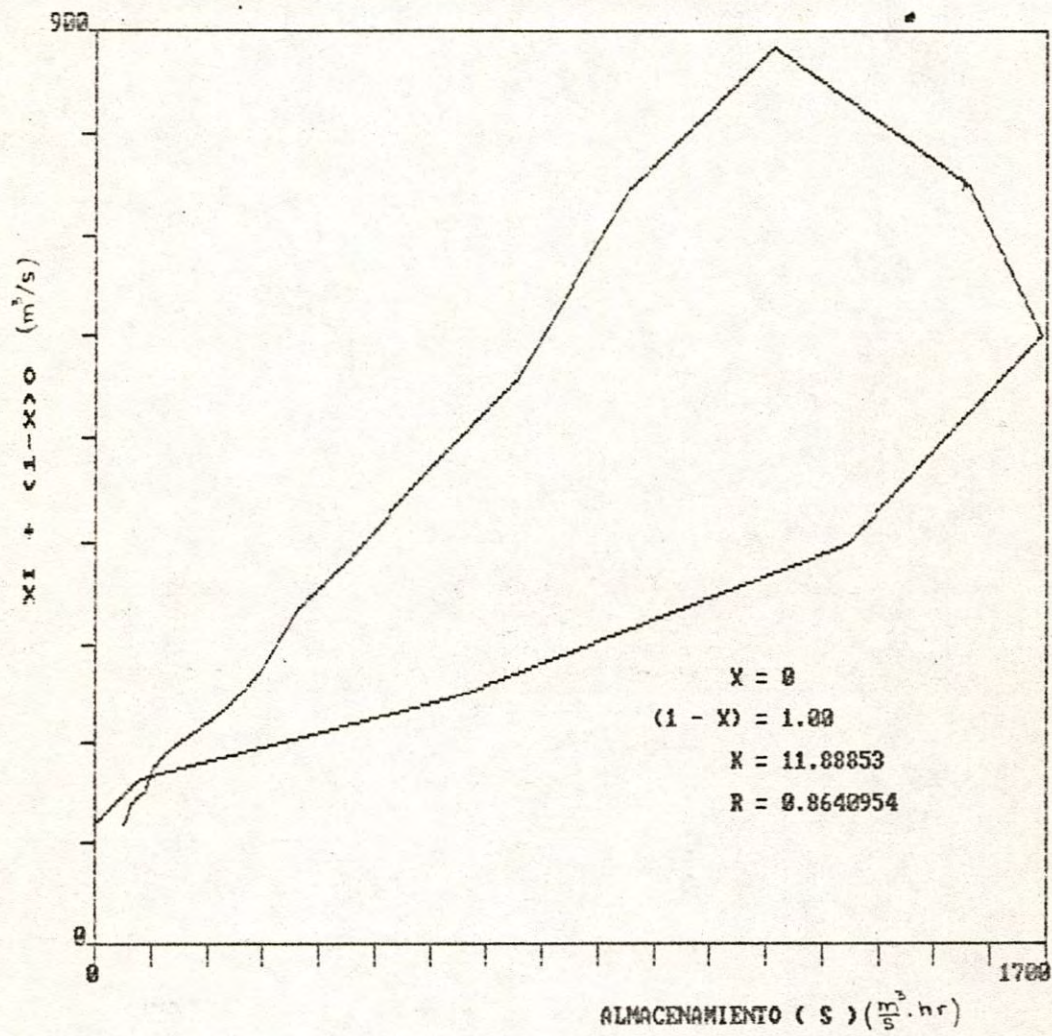


FIG. 12 DETERMINACION CONSTANTES DE METODO DE MUSKINGUM

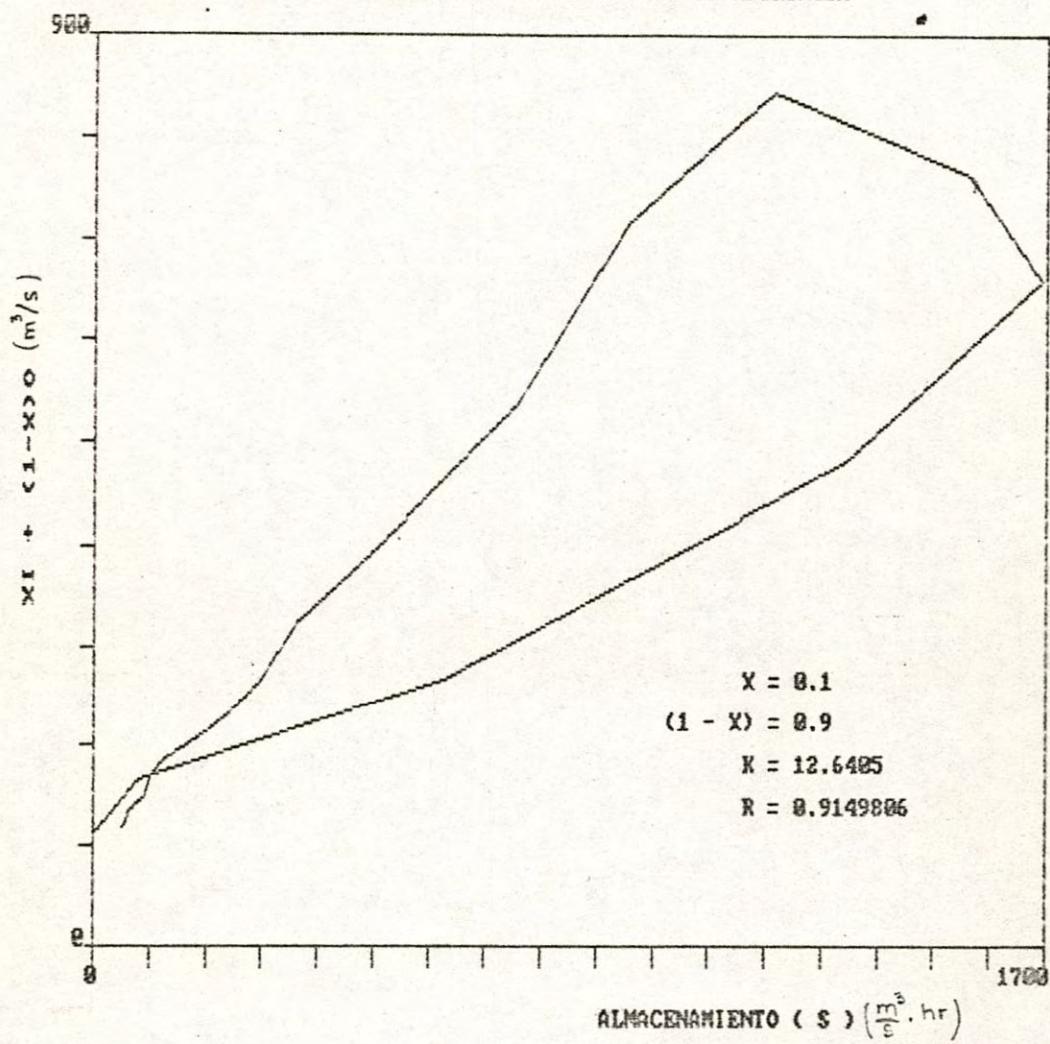


FIG. 13 DETERMINACION CONSTANTES DE METODO DE MUSKINGUM

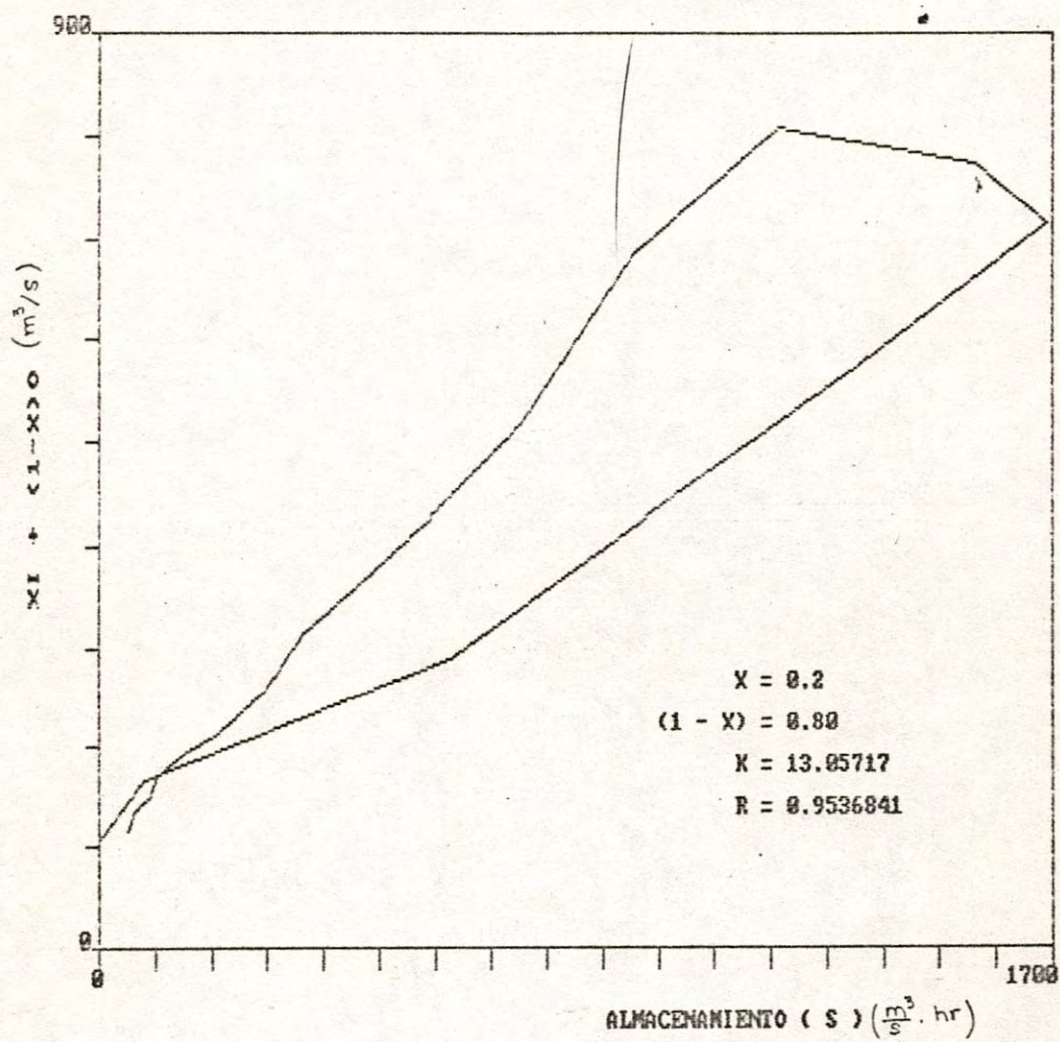




FIG. 14 DETERMINACION CONSTANTES DE METODO DE MUSKINGUM

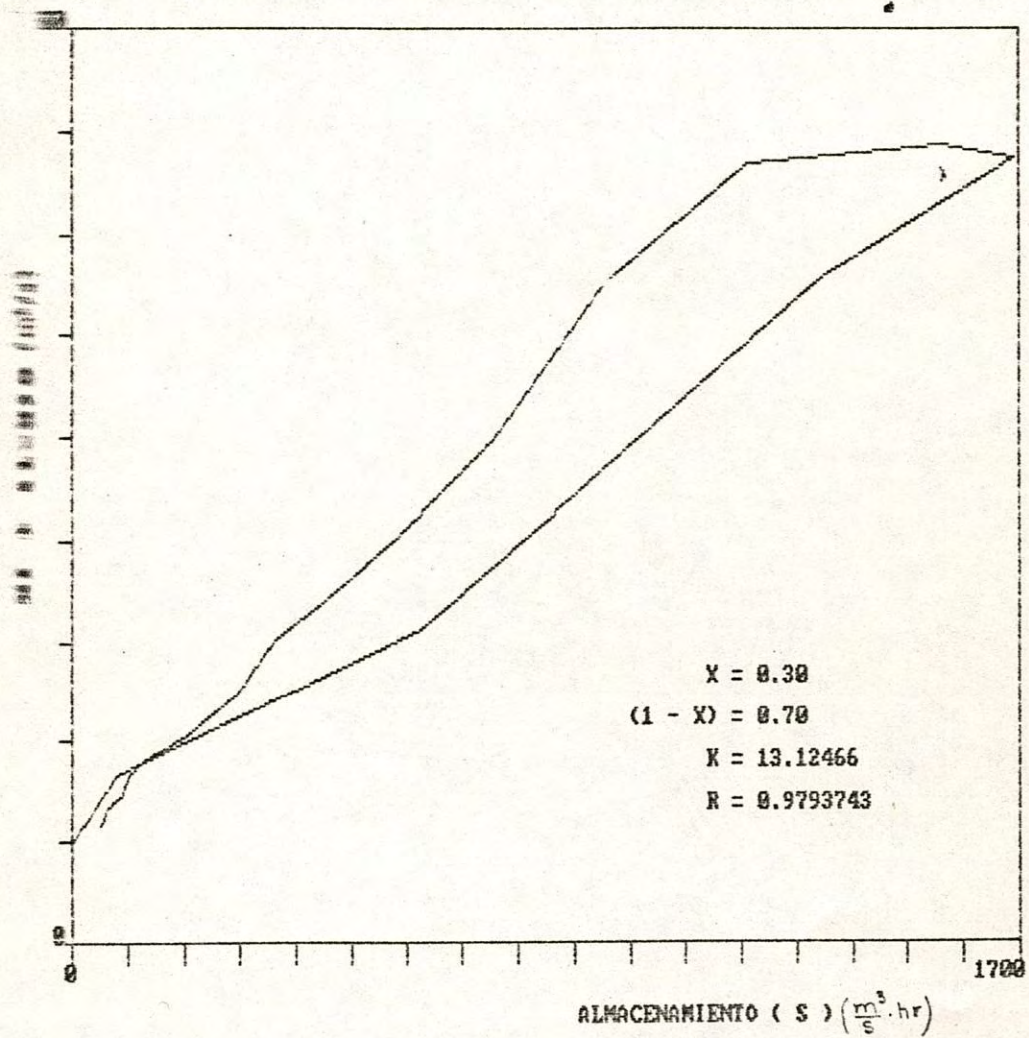


FIG. 15 DETERMINACION CONSTANTES DE METODO DE MUSKINGUM

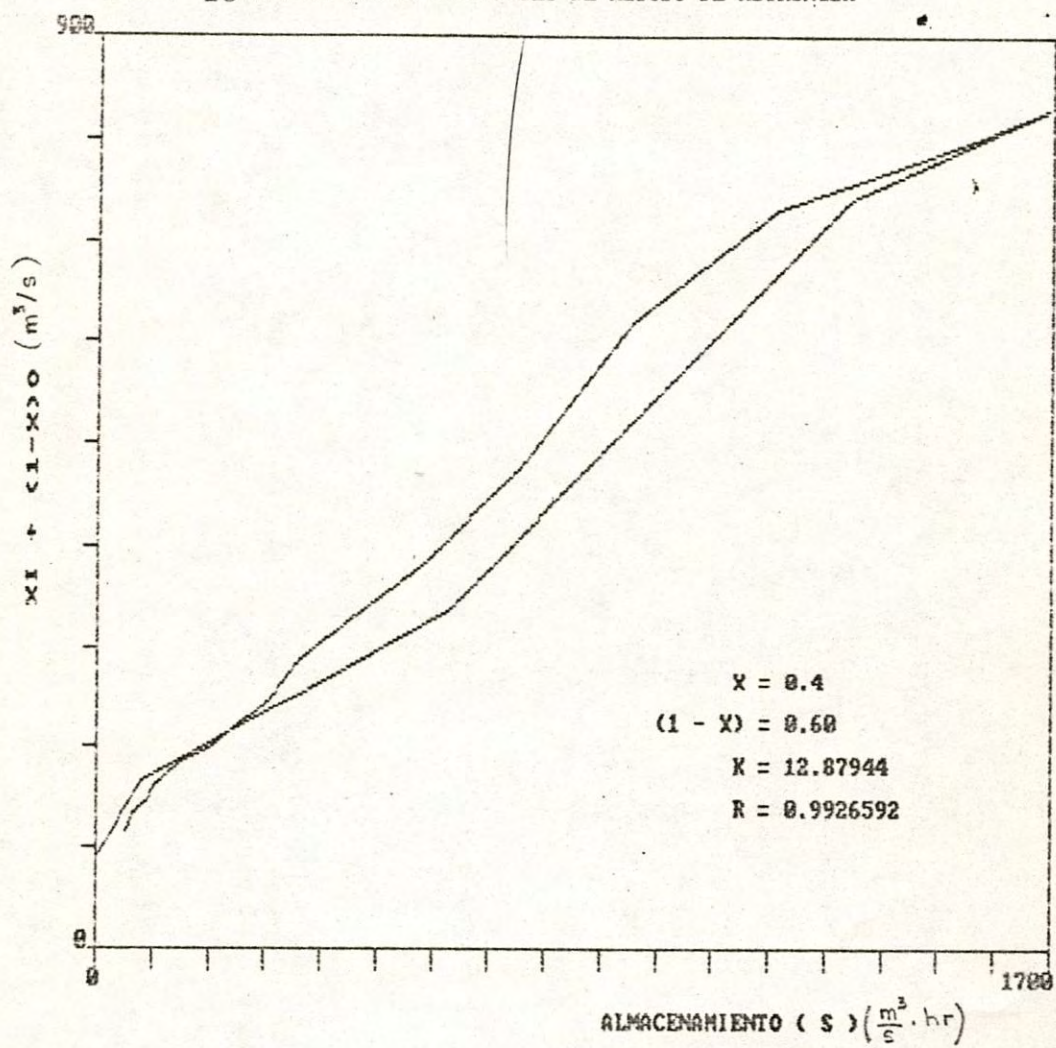


FIG. 16 DETERMINACION CONSTANTES DE METODO DE MUSKINGUM

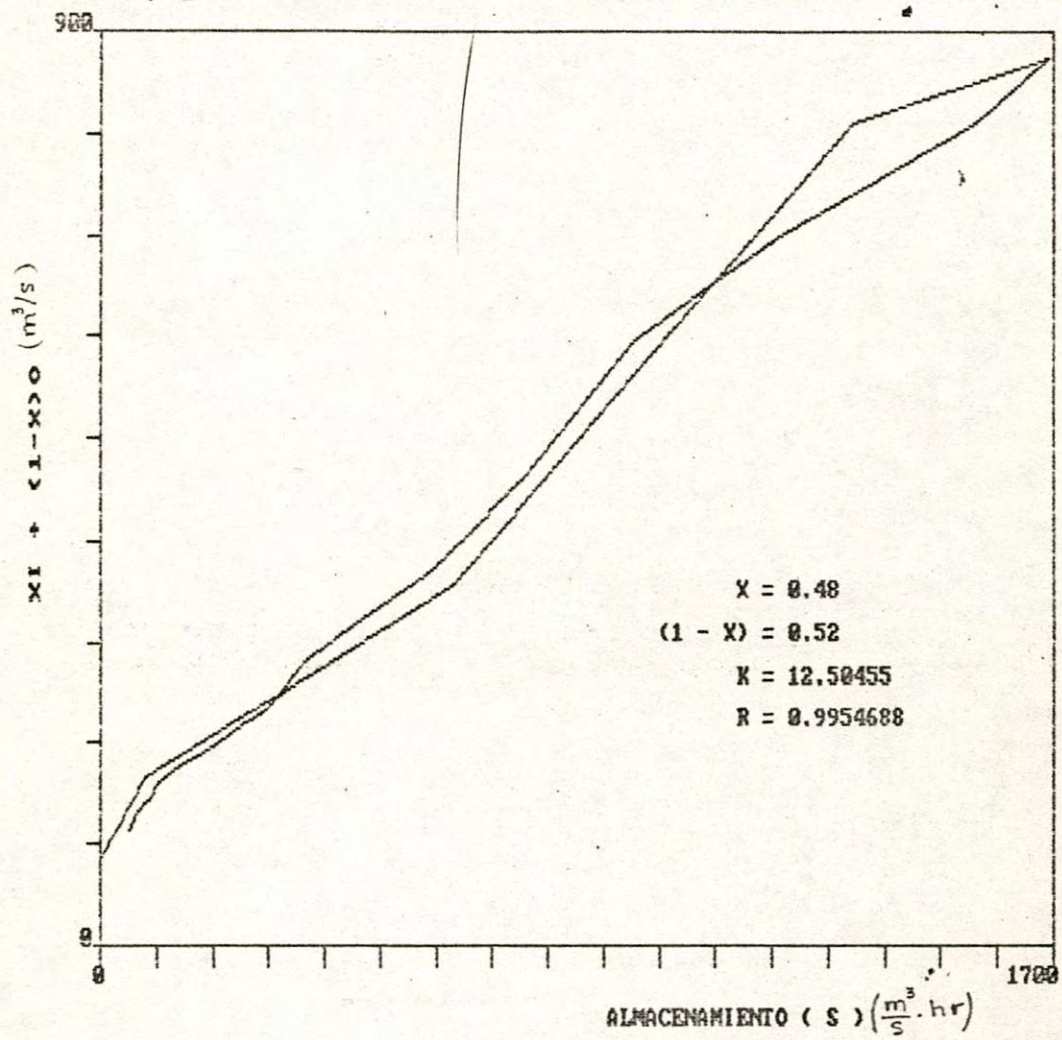
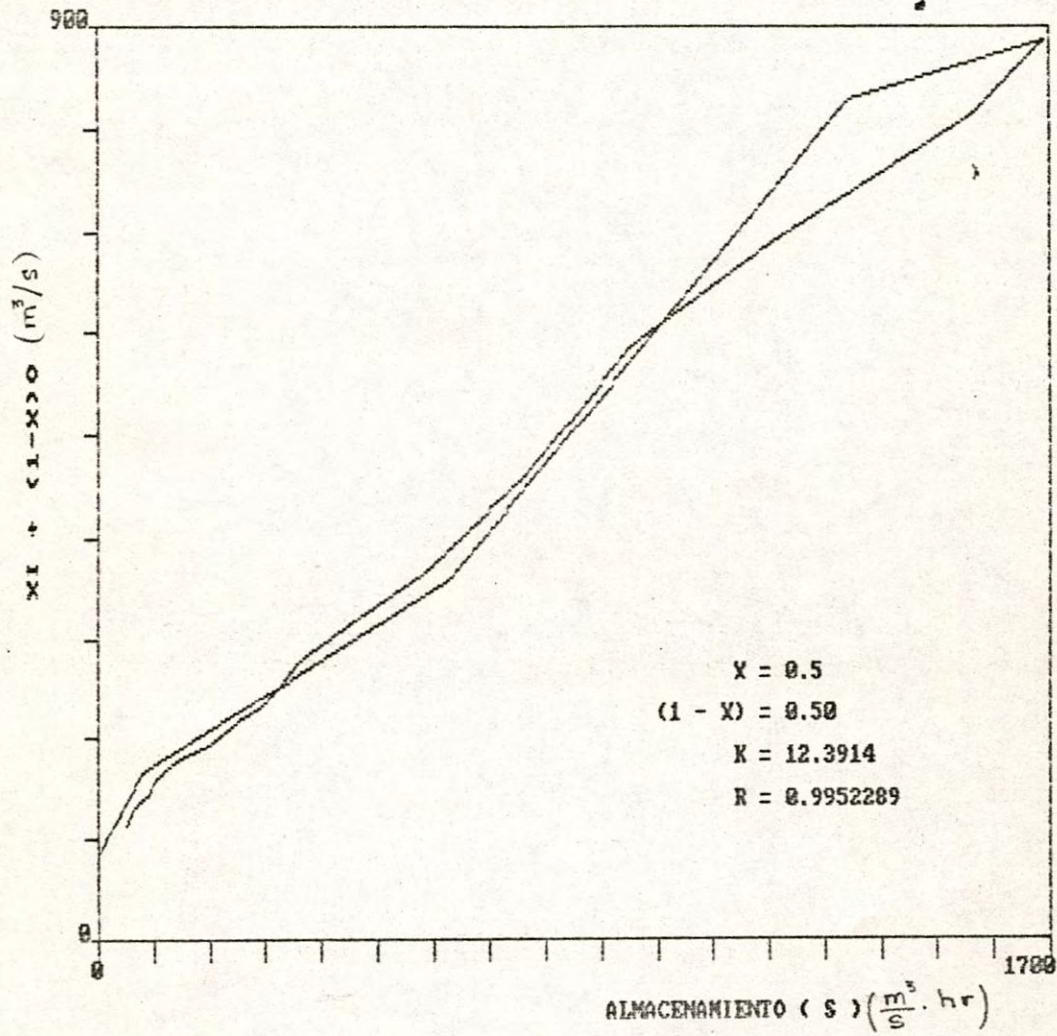


FIG. 17 DETERMINACION CONSTANTES DE METODO DE MUSKINGUM



### Determinacion de la curva elevacion-gasto

Por medio de la informacion obtenida de reportes hidrometricos diarios fue posible realizar la curva elevacion-gasto para las estaciones de aforo, donde diariamente se toman lecturas de escala y se realizan aforos a las 6:00 de la mañana y en ocasiones cuando se presentan avenidas, también se toman a las 12:00 del mediodía.

Para elaborar esta curva se consideraron todos los datos disponibles de 1965-1985 para obtener datos simultáneos de gastos grandes extraordinarios, mientras que se usaron datos recientes de los gastos ordinarios ya que estos reflejan las características actuales de la seccion.

A estos datos se les efectuó una depuracion con el criterio de eliminacion de aquellas lecturas de escala y aforo que se disparaban en mucho con relacion a los demas datos.

Para el ajuste de los datos a una curva continua se utilizo el "metodo logaritmico" apoyado en un programa de computadora (Stat Pack).

### Metodo logaritmico

La curva elevacion-gasto es una gráfica que relaciona el gasto con el nivel del agua en la seccion del río considerado. Si como ocurre en la mayoría de los casos, la seccion de medición no es una seccion de control la relacion tirante-gasto no es unica, de tal manera que al pasar una avenida ocurre el siguiente fenomeno expresado en la gráfica:

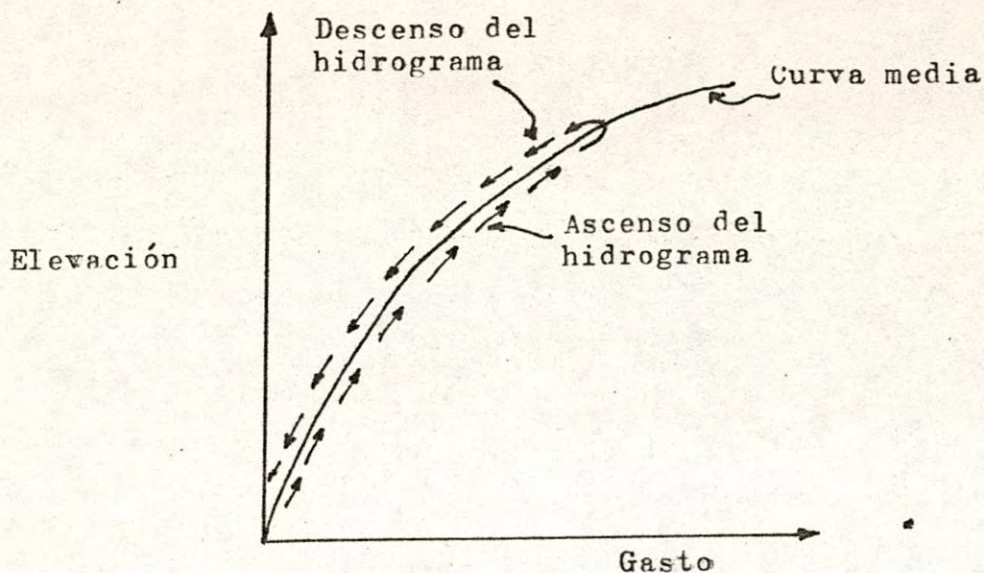


Fig. 18 - Curva elevación-gasto

El ajuste de la curva elevación-gasto se realiza utilizando una función del tipo:

$$Q = c(H - H_0)^n$$

donde:

$Q$  gasto en  $m^3/\text{seg}$  (regimen establecido)

$H$  nivel del agua en  $m$

$H_0$  nivel base (nivel para  $Q = 0$ ) en  $m$

$c, n$  parámetros que deben ajustarse

Debido a que el paso de las avenidas en los ríos puede modificar substancialmente la forma de la sección de medición es conveniente mantener un programa de aforos continuos (mediante el procedimiento sección-velocidad).

#### Suposiciones

\* Si la sección de control es aproximadamente simétrica con respecto a un eje central. Se basa en deducir la ecuación de la curva elevación-gasto de los datos conocidos.

\* En general el valor de  $H_0$  se conoce en forma aproximada

### Extrapolación de curva elevación-gasto

La extrapolación de la curva elevación-gasto es importante ya que generalmente, cuando se tienen gastos altos, estos no se aforan debido a las dificultades que se presentan al hacerlo.

El disponer de curvas elevación-gasto resulta de gran utilidad pues permite inferir el gasto conociendo solo la elevación de la superficie del agua. Cuando el regimen no está establecido y se desea deducir el gasto a partir de la curva elevación-gasto, se le deberan hacer correcciones dependiendo de las causas por lo que el regimen no este establecido.

Los ajustes principales pueden ser por:

- variación en la sección de control
- efectos de remanso
- paso de una avenida

Si la sección de contra es estable, se puede usar una curva elevación-gasto por períodos de tiempo muy grande e ir ajustando los gastos deducidos a partir de una serie de aforos hechos esporádicamente.

Si la sección de control cambia continuamente, resulta difícil disponer de una curva elevación-gasto en general los cambios ocurren en épocas de avenidas por lo que conviene en estos casos rehacer la curva elevación-gasto después de estas épocas, efectuando los aforos necesarios para volverla a construir. (2)