



PAQUETE DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Manual de Usuario

Descripción breve

Este paquete está dirigido principalmente a maestros y estudiantes que abordan temas de Hidrología Superficial, con el fin de apoyar en la impartición y conceptualización de la materia. Además, pretende ser una primera introducción a paquetes computacionales mucho más completos que se distribuyen comercial y gratuitamente a la comunidad interesada en el tema de la hidrología superficial.

Salvador Díaz Maldonado

salva.gestion@gmail.com

Julio, 2023.

Contenido

Comentarios breves2

Introducción:	1
1. SIMULACION DE VASOS	2
Introducción:	2
Archivos de datos:	3
Ejecución del programa:	4
Ejemplo ¹ :	5
Comentarios finales	8
2. TRÁNSITO EN VASOS	12
Introducción:	12
Archivos de datos:	12
Ejecución del programa.	13
Ejemplo:	13
Comentarios finales	20
3. TRANSITO EN CAUCES	21
Introducción:	21
Archivos de datos:	21
Ejecución del programa:	22
Ejemplo - Opción a) -	23
Ejemplo - Opción b) -	32
Comentarios finales	36
4. CURVAS: $h-d-T$ e $i-d-T$	37
Introducción:	37
Archivos de datos:	37
Ejecución del programa:	38
Ejemplo:	38
Comentarios finales	46
5. HIDROGRAMA UNITARIO INSTANTANEO.	47
Introducción.	47
Archivo de datos:	47
Ejemplo:	48
Comentarios finales	51

Comentarios breves.

Este trabajo está dirigido principalmente a maestros y estudiantes que abordan temas de Hidrología Superficial, con el fin de apoyar en la impartición y conceptualización de la materia.

Además, pretende ser una primera introducción a otros paquetes computacionales especializados, mucho más completos que se distribuyen comercial y gratuitamente a la comunidad interesada en el tema de la hidrología superficial, tales como los del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC -por sus siglas en inglés) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU.

Tratando de que sean accesibles a la mayoría de los usuarios, todos los programas parten de la situación que se tienen creados los archivos de datos. Se pretende facilitar su manejo, ya que se puede usar cualquier editor para crear dichos archivos de texto, por supuesto, respetando el formato de los mismos. Además, se presentan ejercicios resueltos con el fin de ejemplificar el uso del paquete.

También, el hecho de que el alumno se auxilie de una computadora, puede provocar que se interese en su uso, resolviendo problemas que posiblemente se le presenten en su vida profesional, aprovechando además la rapidez en el manejo de información.

Por otro lado, se incluyen algunos conceptos básicos sobre los temas abordados que pueden auxiliar al usuario.

A manera de recomendación, antes de ejecutar cualquiera de los programas del paquete, leer detenidamente el presente manual de usuario para un mejor aprovechamiento.

Salvador Díaz Maldonado

PAQUETE DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL

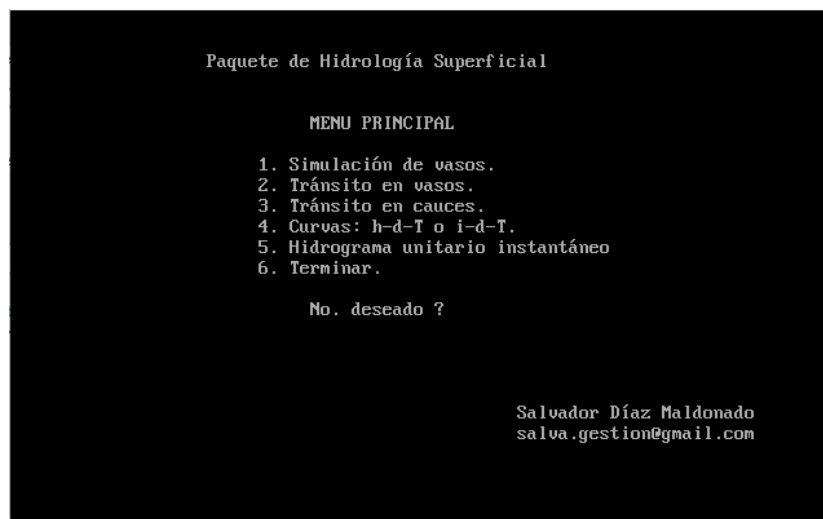
Manual de Usuario

Introducción:

El paquete computacional **HIDSUP** que incluye el paquete de Hidrología Superficial contiene dos archivos: HIDSUP.zip y qb64.zip, los cuales antes de ejecutarlos hay que descomprimirlos, recomendablemente en la misma carpeta.

- HIDSUP.zip; hidsup.exe, MANUAL_HIDSUP.pdf
- qb64.zip; jpeg.dll, libfreetype-6.dll, libgcc_s_sjlj-1.dll, libogg-0.dll, libpng12-0.dll, libstdc++-6.dll, libtiff-3.dll, libvorvis-0.dll, libvorbisfile-3.dll, SDL.dll, SDL_image.dll, SDL_mixer.dll, SDL_net.dll, zlib1.dll.

Para ejecutar el paquete, una vez que se han descomprimido los archivos mencionados anteriormente, solo se teclea "**HIDSUP**" y aparecerá un menú con las opciones referentes a cada tema:



Entonces, dependiendo el problema a resolver se escoge la opción.

A continuación, se explica el funcionamiento de cada una de las opciones del paquete.

1. SIMULACION DE VASOS

Introducción:

Con el fin de que la opción 1 sea más versátil se procuró que hubiera una cierta interacción con el usuario al ingresar las demandas, esto para poder corregir algún valor en función de los datos obtenidos a principio del ciclo -déficits o derrames.

La ecuación de funcionamiento de vasos usada está basada en la de continuidad, que para un intervalo de tiempo se puede representar como¹:

$$X - D = \Delta V$$

donde

X -> volumen de entradas al vaso en el intervalo Δt .

D -> volumen de salidas del vaso en el intervalo Δt .

ΔV -> cambio de almacenamiento en el vaso en el mismo intervalo.

Para el vaso simulado por el presente paquete las entradas y salidas son las siguientes:

a) Entradas:

$$X = E_{cp} + E_t + E_{ll}$$

donde

E_{cp} -> entrada por cuenca propia

E_t -> entrada por transferencia desde otras cuencas

E_{ll} -> entrada por lluvia directa sobre el vaso

b) Salidas:

$$D = S_d + S_e + S_i + S_{de}$$

donde

S_d -> volumen extraído para satisfacer la demanda

¹ Aparicio, M. F. (1989). "Fundamentos de Hidrología de Superficie", LIMUSA. México.

S_e -> volumen evaporado
 S_i -> volumen infiltrado en el vaso
 S_{de} -> volumen derramado o vertido

Archivos de datos:

Para poder ejecutar **HIDSUP** es necesario crear previamente **dos archivos de datos**:

1 archivo) Datos batimétricos de la presa, donde se encuentran los datos de elevaciones-capacidades y elevaciones-área. En los cuales el programa hace interpolación lineal para encontrar volúmenes y áreas solicitados.

El primer archivo de datos quedará:

$EL(1), AR(1), VOL(1)$
 $EL(2), AR(2), VOL(2)$
 .
 .
 .
 $EL(NV), AR(NV), VOL(NV)$

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

donde

$EL(i)$ -> valor de elevación del punto i de la curva, en m. $i = 1, 2, \dots, NV$
 $AR(i)$ -> valor del área del punto i de la curva $E-A$, en km^2 . $i = 1, 2, \dots, NV$
 $VOL(i)$ -> valor del volumen del punto i de la curva $E-V$, en hm^3 . $i = 1, 2, \dots, NV$
 NV -> número de valores de los puntos de la curva $E-A$, $E-V$ y $E-Q$.

2 archivo) Datos hidráulicos e hidrológicos en el vaso. Quedando el segundo archivo:

$FAC1, FAC2$
 $NAMO, NAMINO$
 NI, ACP, AE
 NR
 $CICLO\$(1), VE(1), HP(1), HEV(1), SI(1), ET(1)$
 $CICLO\$(2), VE(2), HP(2), HEV(2), SI(2), ET(2)$
 .
 .
 $CICLO\$(NR), VE(NR), HP(NR), HEV(NR), SI(NR), ET(NR)$

donde

FAC1 -> depende de las unidades que se usan para los volúmenes.

$$FAC1 = \begin{cases} 1 \text{ [m}^3\text{]} \\ 1000 \text{ [miles de m}^3\text{]} \\ 1000000 \text{ [hm}^3 \text{ o millones de m}^3\text{]} \end{cases}$$

FAC2 -> depende de unidades que se usan para la precipitación y la evaporación.

$$FAC2 = \begin{cases} 0.001 \text{ [mm]} \\ 0.01 \text{ [cm]} \\ 1 \text{ [m]} \end{cases}$$

NAMO -> nivel de aguas máximo de operación, en m.

NAMINO -> nivel de aguas mínimo de operación, en m.

NI -> nivel inicial desde donde se va a iniciar la simulación, en m.

ACP -> área de la cuenca propia

AE -> área de la cuenca, correspondiente a la estación hidrométrica, mismas unidades que *ACP*.

[en caso de que no se tengan *ACP* y *AE*, se almacenan con valores iguales a 1]

NR -> número de período.

CICLO\$(i) -> nombre del período, o del incremento de tiempo, que se va a usar. $i = 1, 2, \dots, NR$

VE(i) -> volumen de entrada por cuenca propia, en m³, miles de m³, hm³. $i = 1, 2, \dots, NR$

HP(i) -> altura de precipitación sobre el vaso, en mm, cm, m. $i = 1, 2, \dots, NR$

HEV(i) -> lámina de evaporación en el vaso, en mm, cm, m. $i = 1, 2, \dots, NR$

SI(i) -> infiltración, porcentaje (en %) del volumen medio mensual. $i = 1, 2, \dots, NR$

ET(i) -> entrada por transferencia desde otras cuencas, en m³, miles de m³, hm³. $i = 1, 2, \dots, NR$

Ejecución del programa:

Para ejecutar el programa **HIDSUP**, una vez creados previamente los archivos de datos correspondientes, se teclea **HIDSUP**, se selecciona la opción 1 seguido del [Return o Entrar].

Luego se ingresan un título sugerido para la “corrida” y los nombres de los archivos creados. Finalmente, se pregunta el nombre del archivo en donde se grabarán los resultados, el cual tendrá un formato tipo texto.

Posteriormente se procede al proceso interactivo en función de la demanda, que como se dijo

anteriormente, se puede modificar con relación a los resultados del fin del período, de los déficits o de los volúmenes de vertido del período en curso.

Ejemplo1:

Se tiene un vaso cuyas curvas batimétricas elevaciones-volúmenes y elevaciones-áreas, las cuales se muestran en la figura 1, la cual fue trazada con los datos de la tabla 1.

- * Con el fin de facilitar el planteamiento del ejemplo, se usaron las siguientes fórmulas para generar las curvas y las tablas:

$$VOL = 10 ELEV^{1.18} \quad [10^3 \text{ m}^3]$$

$$AREA = 0.25 ELEV^{1.3} \quad [\text{km}^2]$$

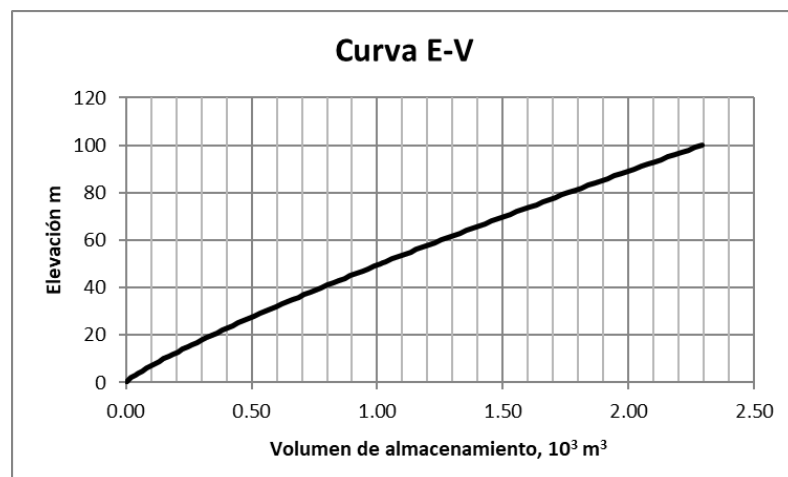
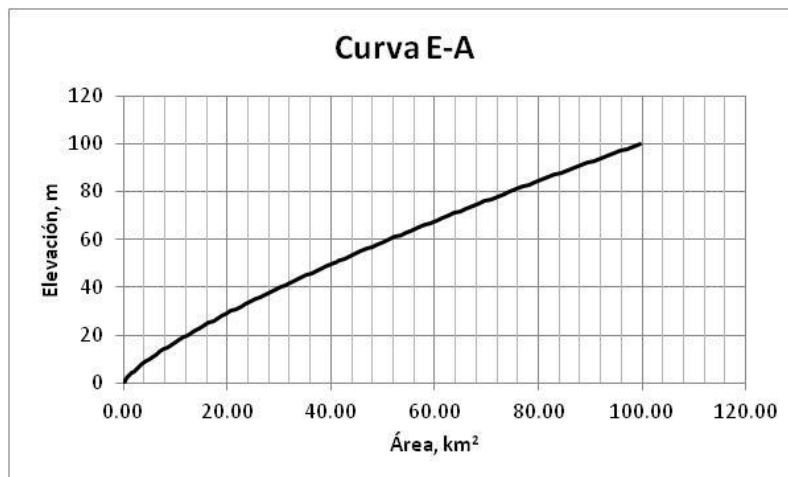


Tabla 1. Datos de las curvas $E-V$ y $E-A$.

Elevación (m)	Área (km ²)	Volumen (hm ³)
0	0.000000	0.000000
1	0.250000	0.010000
2	0.615572	0.022658
3	1.042792	0.036560
...
96	94.382747	2.183132
97	95.662839	2.209992
98	96.946896	2.236901
99	98.234890	2.263860
100	99.526793	2.290868

También,

$NAMO = 50.40$ m.

$NAMINO = 7.05$ m.

$NI = 50.40$ m. (se inicia en $NAMO$)

$ACP = 400$ km².

$AE = 500$ km².

Simular el funcionamiento del vaso, durante 12 períodos (en este caso 12 meses), para las dos opciones siguientes:

- Con los datos de demanda dados en la tabla 2 (Ejemplo 1.a).
- Procurando que no existan déficits ni derrames, modificando para ello las demandas (Ejemplo 1.b).

En la tabla 2 se muestran los datos restantes.

Tabla 2. Datos hidrológicos del ejemplo

mes	V_e (10 ³ m ³)	h_p (mm)	h_{ev} (mm)	S_D (10 ³ m ³)
nov	75.0	1.0	1.0	200
dic	87.5	0.0	0.0	260
ene	100.0	0.0	0.0	280
feb	137.5	1.0	1.0	320

mar	250.0	3.0	3.0	390
abr	387.5	5.0	5.0	400
may	562.5	4.0	4.0	390
jun	850.0	4.0	4.0	320
jul	650.0	3.0	3.0	280
ago	652.5	3.0	3.0	230
sep	437.5	2.0	2.0	190
oct	131.3	1.0	1.0	190

Entonces, los archivos de datos quedarán:

El denominado, para este ejemplo, "Presa.dat" (usando las fórmulas de las curvas topográficas):

```

0,0.0000,0.0000
1,0.2500,10.0000
2,0.6156,22.6577
3,1.0428,36.5597
4,1.5157,51.3370
5,2.0258,66.8013
6,2.5677,82.8359
7,3.1374,99.3609
8,3.7321,116.3178
9,4.3497,133.6614
10,4.9882,151.3561
. . .
90,86.7871,2023.0479
91,88.0428,2049.5987
92,89.3026,2076.2021
93,90.5666,2102.8577
94,91.8346,2129.5648
95,93.1066,2156.3232
96,94.3827,2183.1323
97,95.6628,2209.9917
98,96.9469,2236.9010
99,98.2349,2263.8598
100,99.5268,2290.8677

```

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

Y el archivo "Vaso.dat":

```

1000,0.001
50.4,7.05

```

```

50.4,400,500
12
"NOV", 75 ,1,1,0,0
"DIC", 87.5,0,0,0,0
"ENE",100 ,0,0,0,0
"FEB",137.5,0,1,0,0
"MAR",250 ,1,3,0,0
"ABR",387.5,2,3,0,0
"MAY",562.5,3,4,0,0
"JUN",850, 4,4,0,0
"JUL",650, 4,3,0,0
"AGO",562.5,5,3,0,0
"SEP",437.5,4,2,0,0
"OCT",131.3,2,1,0,0

```

Finalmente, al correr el programa **HIDSUP** se dan: el título y los nombres de los archivos, que para este ejemplo en particular son "Presa.dat" y "Vaso.dat". Luego se ingresan los valores de las extracciones mensuales por pantalla: para el caso (a) sin modificar ninguna de ellas, aunque exista déficit o derrame y para el caso (b) disminuyendo las extracciones para que no exista déficit ni derrames. Vale la pena comentar que algo similar puede hacerse cuando existan derrames. Es decir, incrementarse la extracción mensual.

Los resultados arrojados por **HIDSUP** se muestran en la siguiente página.

Comentarios finales

En el inciso (a) se solicitan inicialmente un total 3,450 millares de m^3 , produciéndose déficit en varios meses, es decir, en esos meses se obtuvieron almacenamientos menores al NAMO, pero el programa restringe el almacenamiento mínimo al NAMINO. Entonces, en los meses con déficits realmente no se puede extraer el volumen requerido inicialmente. En esta opción también se puede ejecutar el ejemplo disminuyendo el NAMINO, de tal manera que no se produzcan déficits y además se obtengan los almacenamientos menores al NAMINO, sin embargo, hay que tener cuidado porque se corre el riesgo de secar la presa si no se disminuyen las extracciones iniciales.

Por otro lado, en el ejemplo del inciso (b) se disminuyen las extracciones cuando se producen déficits y se incrementan cuando se tienen derrames. Siempre con las restricciones de que los niveles de la presa sean mayores que el NAMINO y menores que el NAMO. En este inciso se extraen 3,677 millares de m^3 . Inicialmente se puede deducir que es mejor que la opción anterior, sin embargo, frecuentemente la periodicidad de la extracción es muy importante.

Finalmente, si no se puede satisfacer la demanda requerida, esta se debe disminuir. También, tal vez se

podría satisfacer dicha demanda inicial, bajando hasta un nivel conservador por debajo del NAMINO y produciendo desfogues (lo cual no se considera en el programa **HIDSUB**) para controlar los derrames. Todo esto es parte del marco de incertidumbre en que el operador de las presas debe programar su manejo.

**** Ejemplo 1.a. Demanda solicitada.**

ARCHIVOS:

Datos batimétricos (Elev (m), Area (km2), Vol (hm3): presa.dat
 Datos hidrológicos: vaso.dat

Elevación a NAMO: 50.4 m. Volumen a NAMO: 1020.660 hm3
 Elevación a NAMINO: 7.05 m. Volumen a NAMINO: 100.245 hm3
 Elevación inicial: 50.4 m. Volumen inicial: 1020.660 hm3
 Área cuenca propia: 400 km2. Área cuenca de la estación hidrométrica: 500 km2

Datos hidrológicos mensuales [Aportación (hm3), Precipitación (mm), Evaporación (mm) Infiltración (hm3) y Entrada desde otra cuenca (hm3), respectivamente]:

NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
75.000	87.500	100.000	137.500	250.000	387.500	562.500	850.000	650.000	562.500	437.500	131.300
1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	4.000	5.000	4.000	2.000
1.000	0.000	0.000	1.000	3.000	5.000	4.000	4.000	3.000	3.000	2.000	1.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

CICLO:	Ei	Ai	Vi	Ii	Oi	ELLi	SEi	SIi	Pi	Vi+1	Ei+1	Ai+1
NOV	50.40	40.84	1,020.66	60.00	200.00	37.78	37.78	0.00	0.00	880.66	44.48	34.72
DIC	44.48	34.72	880.66	70.00	260.00	0.00	0.00	0.00	0.00	690.66	36.20	26.56
ENE	36.20	26.56	690.66	80.00	280.00	0.00	0.00	0.00	0.00	490.66	27.09	18.22
FEB	27.09	18.22	490.66	110.00	320.00	0.00	13.77	0.00	-13.77	266.89	16.17	9.32
MAR	16.17	9.32	266.89	200.00	390.00	5.65	16.94	0.00	-11.29	100.25	7.05	3.17 DEFI.
ABR	7.05	3.17	100.25	310.00	400.00	3.42	8.56	0.00	-5.14	100.25	7.05	3.17 DEFI.
MAY	7.05	3.17	100.25	450.00	390.00	12.72	16.96	0.00	-4.24	156.01	10.26	5.16
JUN	10.26	5.16	156.01	680.00	320.00	48.84	48.84	0.00	0.00	516.01	28.27	19.26
JUL	28.27	19.26	516.01	520.00	280.00	99.30	74.47	0.00	24.82	780.83	40.17	30.41
AGO	40.17	30.41	780.83	450.00	230.00	183.71	110.23	0.00	73.48	1,020.66	50.40	40.84 DERR.
SEP	50.40	40.84	1,020.66	350.00	190.00	185.56	92.78	0.00	92.78	1,020.66	50.40	40.84 DERR.
OCT	50.40	40.84	1,020.66	105.04	190.00	79.66	39.83	0.00	39.83	975.53	48.51	38.86

**** Ejemplo 1.b. Demanda modificada para eliminar déficits y derrames.**

ARCHIVOS:

Datos batimétricos (Elev (m), Área (km2), Vol (hm3): presa.dat
 Datos hidrológicos: vaso.dat

Elevación a NAMO: 50.4 m. Volumen a NAMO: 1020.66 hm3
 Elevación a NAMINO: 7.05 m. Volumen a NAMINO: 100.245 hm3
 Elevación inicial: 50.4 m. Volumen inicial: 1020.66 hm3
 Área cuenca propia: 400 km2. Área cuenca de la estación hidrométrica: 500 km2

Datos hidrológicos mensuales [Aportación (hm3), Precipitación (mm), Evaporación (mm) Infiltración (hm3) y Entrada desde otra cuenca (hm3), respectivamente]:

NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
75.000	87.500	100.000	137.500	250.000	387.500	562.500	850.000	650.000	562.500	437.500	131.300
1.000	0.000	0.000	0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	4.000	5.000	4.000	2.000
1.000	0.000	0.000	1.000	3.000	5.000	4.000	4.000	3.000	3.000	2.000	1.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

CICLO:	Ei	Ai	Vi	Ii	Oi	ELLi	SEi	SIi	Pi	Vi+1	Ei+1	Ai+1
NOV	50.40	40.84	1,020.66	60.00	200.00	37.78	37.78	0.00	0.00	880.66	44.48	34.72
DIC	44.48	34.72	880.66	70.00	260.00	0.00	0.00	0.00	0.00	690.66	36.20	26.56
ENE	36.20	26.56	690.66	80.00	280.00	0.00	0.00	0.00	0.00	490.66	27.09	18.22
FEB	27.09	18.22	490.66	110.00	320.00	0.00	13.77	0.00	-13.77	266.89	16.17	9.32
MAR	16.17	9.32	266.89	200.00	354.00	6.24	18.72	0.00	-12.48	100.42	7.06	3.17
ABR	7.06	3.17	100.42	310.00	300.00	6.70	16.75	0.00	-10.05	100.37	7.06	3.17
MAY	7.06	3.17	100.37	450.00	390.00	12.73	16.98	0.00	-4.24	156.13	10.26	5.16
JUN	10.26	5.16	156.13	680.00	320.00	48.86	48.86	0.00	0.00	516.13	28.28	19.27
JUL	28.28	19.27	516.13	520.00	280.00	99.32	74.49	0.00	24.83	780.95	40.17	30.41
AGO	40.17	30.41	780.95	450.00	283.00	177.62	106.57	0.00	71.05	1,019.00	50.33	40.77
SEP	50.33	40.77	1,019.00	350.00	440.00	161.98	80.99	0.00	80.99	1,010.00	49.95	40.37
OCT	49.95	40.37	1,010.00	105.04	190.00	78.71	39.35	0.00	39.35	964.39	48.04	38.37

2. TRÁNSITO EN VASOS.

Introducción:

La opción 2 de **HIDSUP** aplica un método numérico de relajación para hacer el tránsito en el vaso.

Archivos de datos:

Para correr esta opción se necesitan, al igual que en la opción anterior de simulación de vasos, *dos archivos de datos*:

1 archivo) Un archivo con los datos propios de la presa, similar al de la opción anterior, pero sin incluir el área, e introduciendo el gasto vertido en función de la elevación.

$EL(1), VOL(1)$
 $EL(2), VOL(2)$
.
.
.
 $EL(NV), VOL(NV)$

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

donde

$NV \rightarrow$ número de valores de los puntos de la curva $E-V$.
 $EL(i) \rightarrow$ valor de elevación del punto i de la curva, en m.
 $VOL(i) \rightarrow$ valor del volumen del punto i de la curva $E-V$, en hm^3 .

2 archivo) Archivo de datos para la avenida a transitar. Teniendo el siguiente formato:

$IO, EO, ELO, SOT, DT, TOL$
 L, Cv, n
 $II(1)$
 $II(2)$
.
.
.
 $II(NI)$

donde

$IO \rightarrow$ gasto inicial de entrada, antes del hidrograma de entrada, en m^3/s .
 $EO \rightarrow$ elevación inicial en el vaso, en m.

<i>ELO</i> ->	elevación del vertedor, en m.
<i>SOT</i> ->	descarga constante por la obra de toma, en m ³ /s.
<i>DT</i> ->	incremento de tiempo para el hidrograma, en s.
<i>TOL</i> ->	tolerancia, por ser un método iterativo necesita una cierta tolerancia o error entre el valor actual y el anterior. Esta tolerancia está en función del volumen de la presa, entonces puede dimensionarse como un porcentaje del mismo.
<i>L</i> ->	longitud del vertedor, m
<i>Cv</i> ->	coeficiente de descarga, m ^{0.5} /s
<i>n</i> ->	exponente de la ecuación de vertido
<i>II(i)</i> ->	gasto del hidrograma de entrada, en m ³ /s.

Ejecución del programa.

Una vez creados los archivos de datos correspondientes, a continuación, se ejecuta el paquete **HIDSUP** y se escoge la opción 2, alimentando por pantalla:

- El título
- Nombre del archivo de datos de las curvas *E-V*.
- Nombre del archivo de datos del hidrograma de entrada.

Luego aparecerá en pantalla la gráfica del tránsito, para continuar oprima [Entrar o Return]. Y posteriormente le muestra el tránsito con valores numéricos, solicitando el nombre del archivo en donde grabará los resultados.

Ejemplo:

Suponer que se quiere hacer un tránsito de una avenida para el vaso usado en el ejemplo anterior de simulación. Considerar que se desfogan 20 m³/s como gasto ecológico.

$$VOL = 10 \text{ ELEV}^{1.18} \quad [10^3 \text{ de m}^3]$$

$$QVERT = Cv * Lvert(E - Elo)^{Coe} = 2 * 15 (ELEV - 50.40)^{1.5} \quad [m^3/s]$$

donde la longitud del vertedor es igual a $L = 15$ m y el coeficiente de descarga igual a $Cv = 2$ y el exponente de la ecuación de vertido $n = 1.5$.

Entonces, el primer archivo de datos, similar a la opción anterior, se denomina "Presa1.dat". En la tabla 3 se muestra un resumen,

Tabla 3. Datos de las curvas *E-V*

Elevación (m)	Volumen (hm ³)
0	0.000000
1	0.010000
2	0.022658
3	0.036560
...	...
50	1.011078
51	1.034982
52	1.058971
...	...
96	2.183132
97	2.209992
98	2.236901
99	2.263860
100	2.290868

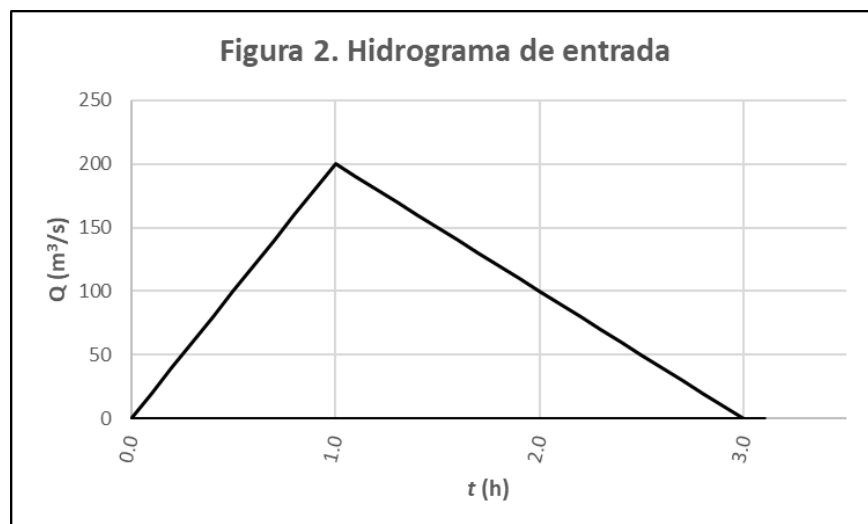
Por lo que archivo “Presa1.dat” quedaría con el siguiente formato (resumido):

```
0,0.0000
1,0.0100
2,0.0227
3,0.0366
4,0.0513
5,0.0668
. . .
48,0.9635
49,0.9873
50,1.0111
51,1.0350
52,1.0590
. . .
95,2.1563
96,2.1831
97,2.2100
98,2.2369
```

99,2.2639
100,2.2909

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

Por otro lado, el hidrograma de entrada se muestra en la figura 2,



Para elaborar el siguiente archivo, que se denominará “Hidro.dat”, se requieren los siguientes datos (ya nombrados previamente):

$I_0 = 0$	gasto inicial de entrada, antes del hidrograma de entrada, en m^3/s .
$E_0 = 50.4$	elevación inicial en el vaso, en m.
$E_{L0} = 50.4$	elevación del vertedor, en m.
$SOT = 20.0$	descarga constante por la obra de toma, en m^3/s .
$DT = 360$	incremento de tiempo para el hidrograma, en s.
$TOL = .001$	tolerancia, por ser un método iterativo necesita una cierta tolerancia o error entre el valor actual y el anterior. Esta tolerancia está en función del volumen de la presa, entonces puede dimensionarse como un porcentaje del mismo.
L	Longitud del vertedor, m
C_v	Coeficiente del vertedor
n	Exponente de la ecuación del vertedor
$II(i) \rightarrow$	gasto del hidrograma de entrada, en m^3/s .

i	$\Pi(i)$
1	20
2	40
3	60
4	80
5	100
6	120
7	140
8	160
9	180
10	200
11	190
12	180
13	170
14	160
15	150
16	140
17	130
18	120
19	110
20	100
21	90
22	80
23	70
24	60
25	50
26	40
27	30
28	20
29	10
30	0
31	0
32	0
33	0
34	0
35	0

Entonces, suponiendo un incremento de tiempo $DT = 360$ s (0.1 h) y una tolerancia $TOL = 0.001$, el segundo archivo de datos, denominado para este ejemplo "Hidro.dat", quedará:

0,50.4,50.4,20,360,.001

15,2,1.5

20

40

60

80

100

120

140

160

180

200

190

180

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

0

0

0

0

0
0
0
0
0

Los resultados arrojados por el programa **HIDSUP** se muestran en la figura 3 y la tabla 3.



Figura 3.

TABLA 3. TRANSITO DE LA AVENIDA EN EL VASO.

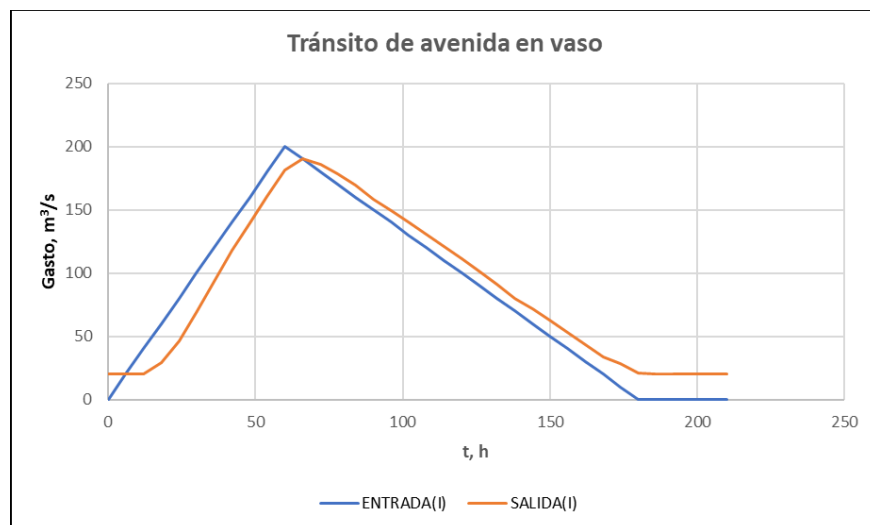
Tránsito de avenida en el vaso.

Archivos de entrada: Presal.dat, Hidro.dat

I	ENTRADA (I) m3/s	VOLUMEN (I) 1000m3	ELEV (I) m	SALIDA (I) m3/s
1	0.00	1,020.66	50.40	20.00
2	20.00	1,017.06	50.25	20.00
3	40.00	1,020.66	50.40	20.00
4	60.00	1,029.90	50.79	28.98
5	80.00	1,041.36	51.26	46.33
6	100.00	1,052.82	51.74	68.67
7	120.00	1,063.63	52.19	93.27
8	140.00	1,072.76	52.57	118.03
9	160.00	1,080.73	52.91	139.62
10	180.00	1,087.48	53.19	160.43
11	200.00	1,093.90	53.45	181.43
12	190.00	1,096.61	53.56	190.28

13	180.00	1,095.17	53.50	185.57
14	170.00	1,093.06	53.42	178.68
15	160.00	1,090.33	53.30	169.76
16	150.00	1,087.39	53.18	160.13
17	140.00	1,084.34	53.06	150.14
18	130.00	1,080.98	52.92	140.30
19	120.00	1,077.49	52.77	130.83
20	110.00	1,073.88	52.62	121.04
21	100.00	1,070.22	52.47	111.12
22	90.00	1,066.54	52.31	101.15
23	80.00	1,062.85	52.16	91.16
24	70.00	1,058.62	51.98	79.98
25	60.00	1,054.46	51.81	71.86
26	50.00	1,049.77	51.62	62.73
27	40.00	1,044.84	51.41	53.12
28	30.00	1,039.80	51.20	43.30
29	20.00	1,034.82	50.99	33.77
30	10.00	1,029.04	50.75	28.15
31	0.00	1,021.91	50.45	21.22
32	0.00	1,014.49	50.14	20.00
33	0.00	1,007.29	49.84	20.00
34	0.00	1,000.09	49.54	20.00
35	0.00	992.89	49.23	20.00
36	0.00	985.69	48.93	20.00
37	0.00	978.49	48.63	20.00
38	0.00	971.29	48.33	20.00
39	0.00	964.09	48.02	20.00
40	0.00	956.89	47.72	20.00

Si se desea una mejor gráfica que la mostrada en la figura 3, se puede elaborar a partir de los resultados generados en el archivo de resultados. Aquí una muestra en Excel:



Comentarios finales.

En la tabla 3 se aprecia un volumen máximo almacenado de 1,096.6 miles de m^3 . Lo que significa que si a *NAMO* se tienen 1,020.6 hm^3 , el volumen de superalmacenamiento para esta avenida será: $1,096.61 - 1,020.66 = 75.95$ miles de m^3 . Además, se tiene un gasto vertido máximo de $190.28 m^3/s$.

3. TRANSITO EN CAUCES

(Método hidrológico de Muskingum)

Introducción:

Esta opción puede correrse de dos maneras para transitar una avenida en el tramo de un cauce:

- 1) *Cuando se tienen datos previos de un hidrograma de entrada y de uno de salida en el tramo del cauce, de tal modo que se pueden calcular los valores de x y K .*

Aquí se aplica la siguiente ecuación de continuidad²:

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (3.1)$$

que, expresada con diferencias finitas, y considerando que es muy posible que los caudales de entrada y salida no sean constantes a lo largo del Δt , se puede expresar como:

$$S_t = \Delta t \left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2} - \frac{O_{t-1} + O_t}{2} \right) + S_{t-1} \quad (3.2)$$

También, en caso de los caudales de entrada y salida fueran constantes en el Δt , la ecuación (3.2) quedaría de la siguiente forma:

$$S_t = \Delta t(I_t - O_t) + S_{t-1} \quad (3.3)$$

- 2) *Cuando no se tienen datos anteriores de hidrogramas de entrada y salida y se conocen los valores de x y K .*

Archivos de datos:

Entonces, para correr el programa se deben tener *dos tipos de archivos de datos, dependiendo de la información disponible.*

- a) *Si se tienen datos de una avenida anterior, entonces los valores de x y K pueden ser calculados en función de la gráfica de almacenamiento acumulado vs descarga ponderada acumulada.*

- Primer archivo: Para calcular x y K :

DT
 $II(1),OO(1)$
 $II(2),OO(2)$

.

² US Army Corps of Engineers. Hydrologic Modeling System HEC-HMS.2000.

.
.
.
II(NV),OO(NV)

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

- Segundo archivo: Para valores conocidos de x y K :

ENT(1)
ENT(2)
.
.
.
ENT(NR)

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

donde

DT -> intervalo de tiempo de medición de los gastos, en las mismas unidades que K .
NV -> número de datos de entrada y salida de la avenida anterior de referencia, para el cálculo de x y K .
II(i) -> gasto i del hidrograma de entrada de la avenida de referencia, m^3/s .
OO(i) -> gasto i del hidrograma de salida de la avenida de referencia, m^3/s .
NR -> número de valores del hidrograma de entrada que se quiere transitar.
ENT(i) -> gasto i del hidrograma de entrada que se quiere transitar, m^3/s .

- b) Si no se tienen datos de la avenida anterior, el archivo de datos queda:

DT
ENT(1)
ENT(2)
.
.
.
ENT(NR)

donde las variables significan lo mismo que las anteriores. Y los valores de x y K se ingresan por pantalla.

Ejecución del programa:

Para correr el programa, una vez creados los archivos de datos, se teclea la opción 3 de **HIDSUP** seguida del [Entrar o Return]. A continuación, se pregunta si se calculan o no los valores de x y K y el nombre del

archivo de datos a leer. Si no existen datos para calcular los valores de x y K , éstos se deben dar por pantalla.

Por otro lado, si se van a calcular los valores de x y K , se van ajustando los valores de ellos a través de una gráfica mostrada por pantalla en un proceso interactivo, hasta que satisface nuestra correlación deseada.

También, como en todas las opciones de este programa, se pregunta si se desea crear un archivo con los resultados.

Ejemplo - Opción a) -

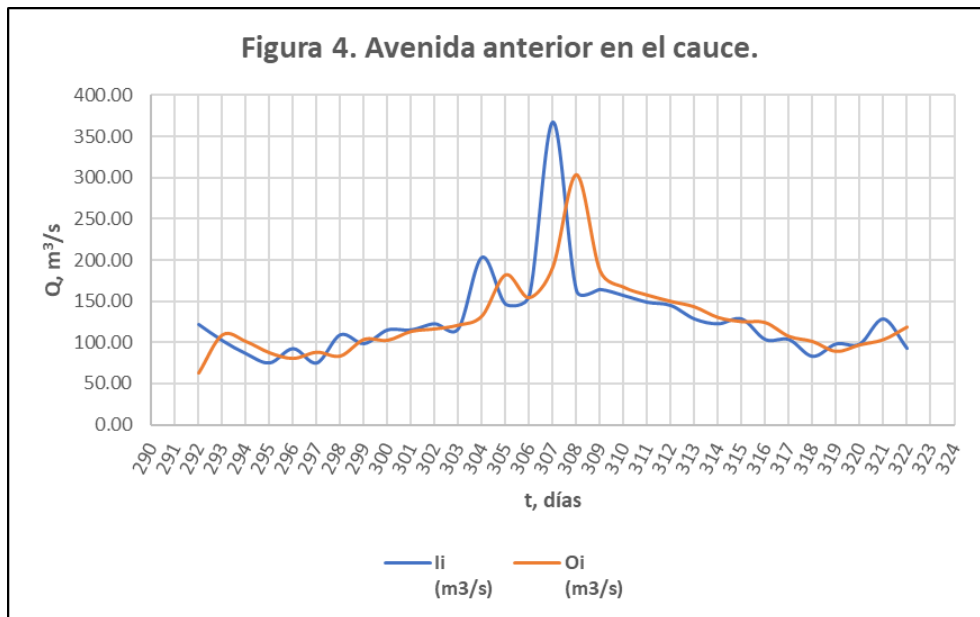
Suponga que se tienen los siguientes datos de una avenida anterior, medidos con intervalos de 1 día³:

i	t_i (día)	I_i (m ³ /s)	O_i (m ³ /s)
1	292	122.10	62.46
2	293	102.50	108.89
3	294	86.70	100.93
4	295	75.50	87.21
5	296	92.80	80.33
6	297	75.50	87.84
7	298	109.60	83.24
8	299	98.90	103.42
9	300	115.40	102.40
10	301	115.40	113.23
11	302	122.90	116.29
12	303	117.10	120.83
13	304	203.60	132.14
14	305	146.60	182.19
15	306	157.20	154.30
16	307	367.60	191.78
17	308	163.10	304.21
18	309	164.60	186.87
19	310	157.20	167.08
20	311	149.00	157.48
21	312	145.10	149.76
22	313	128.70	143.14
23	314	122.90	130.14
24	315	128.70	125.07
25	316	103.80	123.95
26	317	103.80	107.16
27	318	83.40	100.96
28	319	98.50	88.84
29	320	98.40	96.87
30	321	128.70	103.20
31	322	93.10	118.52

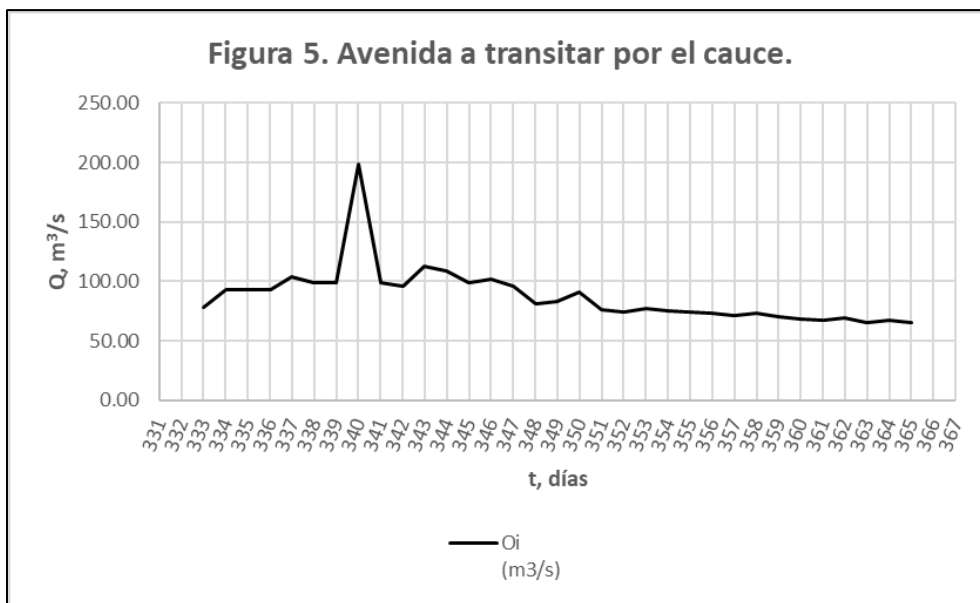
Ver Figura 4.

³

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3205/ChocontaGarciaYolimaMartinezRodriguezAmparo2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



Y se quiere transitar la siguiente avenida, también con gastos medidos con intervalos de 1 día (figura 5):



i	t_i (día)	O_i (m ³ /s)
1	333	78.60
2	334	93.10
3	335	93.10
4	336	93.10
5	337	103.80
6	338	98.50
7	339	98.90
8	340	198.40
9	341	98.90
10	342	95.60
11	343	112.50
12	344	108.50
13	345	98.50
14	346	102.30
15	347	95.60
16	348	81.20
17	349	82.90
18	350	90.90
19	351	76.40
20	352	73.80
21	353	77.20
22	354	75.50
23	355	74.70
24	356	73.00
25	357	71.70
26	358	73.00
27	359	70.80
28	360	68.70
29	361	67.40
30	362	69.20
31	363	65.30
32	364	67.00
33	365	65.30

NOTA IMPORTANTE: En la opción cuando se calculan los valores de los parámetros x y K , como se sabe, se requieren los hidrogramas de entrada y de salida de una avenida anterior. Sin embargo, cuando se calcula la columna del almacenamiento algunos autores recurren a los valores registrados en la mencionada avenida, I_i y O_i ; por otro lado, otros autores calculan el almacenamiento con un promedio de las entradas i e $i+1$, tanto de la entrada como de las salidas registradas, $\frac{I_i+I_{i+1}}{2}$ y $\frac{O_i+O_{i+1}}{2}$. Considerando lo anterior, el programa **HIDSUP** pregunta al usuario cuál de las dos opciones requiere para resolver su problema.

Esta nota será a detallada continuación con varios ejemplos resueltos aquí con **HIDSUP**.

a) Calcular solamente los valores de los parámetros x y K .

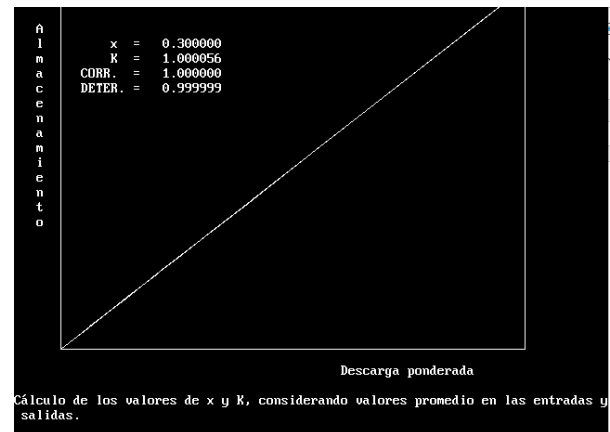
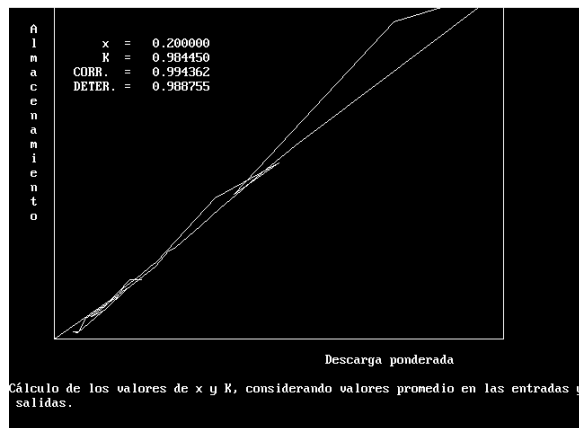
Archivo: Con los datos de la avenida anterior suministrados anteriormente, se estructura un archivo denominado en este ejemplo, "Opcion_a1.dat".

```
1
122.1,62.46
102.5,108.89
86.7,100.93
75.5,87.21
92.8,80.33
75.5,87.84
109.6,83.24
98.9,103.42
115.4,102.4
115.4,113.23
122.9,116.29
117.1,120.83
203.6,132.14
146.6,182.19
157.2,154.3
367.6,191.78
163.1,304.21
164.6,186.87
157.2,167.08
149,157.48
145.1,149.76
128.7,143.14
122.9,130.14
128.7,125.07
103.8,123.95
103.8,107.16
83.4,100.96
98.5,88.84
98.4,96.87
128.7,103.2
93.1,118.52
```

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

Se elige la opción 3 del menú principal de **HIDSUP**, luego la opción 1 para calcular los valores de x y K . Se ingresa el nombre del archivo a leer (Opcion_a1.dat). Aquí es donde se pregunta si se desea considerar los promedios de las entradas y salidas de las avenidas $\frac{I_i+I_{i+1}}{2}$ y $\frac{O_i+O_{i+1}}{2}$ consideradas para calcular los parámetros x y K ; se iniciará considerando dichos promedios, por lo que se elige la respuesta "S".

Prosiguiendo, se solicita un título para la gráfica preliminar con la que se decidirá por los valores de x y K que arrojen mejores valores de la correlación entre la descarga ponderada y el almacenamiento.



Se selecciona el valor de $x = 0.3$ por ser el que produce una correlación y determinación aceptables.

Una vez que se decide no continuar ingresando valores de x en la siguiente pantalla, **HIDSUP** muestra los valores de x y K obtenidos, $x = 0.3$ y $K = 1.000056$.

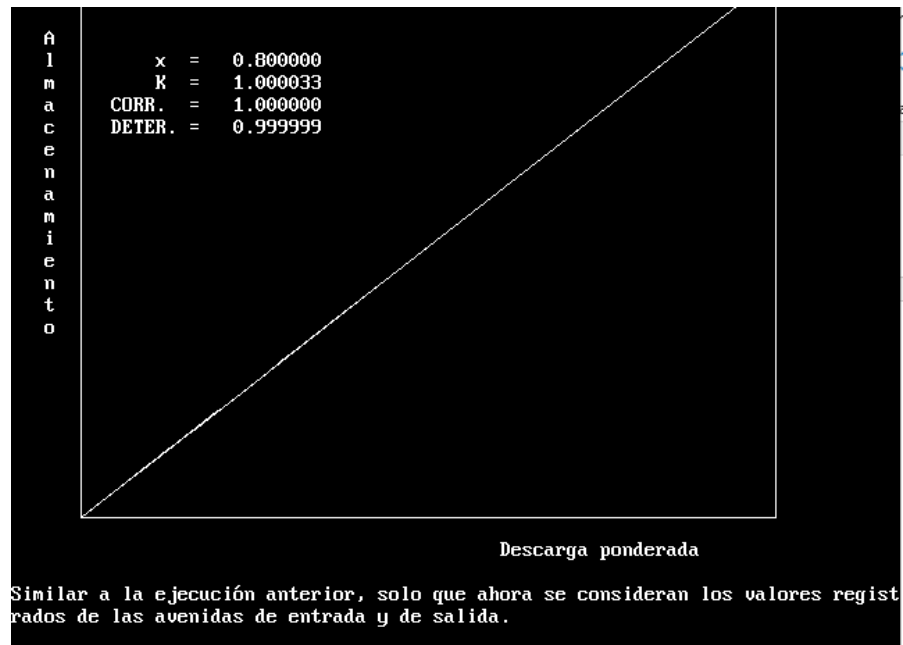
```
Ajuste estimado con x = .3 Y K = 1.000056
ALFA = 1.200039
Oi+1 = .6666589 Ii + .1666473 Ii+1 + .1666938 Oi
¿Quieres transitar una avenida [S/N]?
```

En esta opción no se desea transitar una avenida, solamente calcular los valores de x y K , por lo que se teclea N y regresa al menú principal de **HIDSUP**.

Por otro lado, continuando con esta misma opción en este ejemplo, a continuación, se resuelve nuevamente para obtener los valores de x y de K , pero ahora considerando los valores registrados de los hidrogramas de entrada y de salida, I_i y O_i , en lugar de los promedios como en el punto anterior. Entonces, cuando se pregunta lo siguiente, se responde N,

```
¿Quieres considerar las entradas y salidas promedio para calcular x y K [S/N]?
```

Con esta opción, los nuevos valores estimados de x y K resultan 0.8 y 1.000033, respectivamente.



Se observa que un valor tan grande de x es atípico, por lo que podría recomendarse considerar los valores promedio de las entradas y salidas, que sus valores registrados.

Una vez resuelto este tipo de problemas, la siguiente opción, en donde se acepta transitar una avenida, una vez calculados los valores de x y K , será ejecutada a continuación usando los valores promedio de los hidrogramas de entrada y de salida de referencia.

b) Se estiman los valores de x y de K ; y además se transita una avenida.

Archivos: Se ingresan dos archivos: uno el creado anteriormente "Opcion_a1.dat" y otro en donde se tiene la avenida a transitar, denominado en este ejemplo "Opcion_a2.dat", mostrado a continuación.

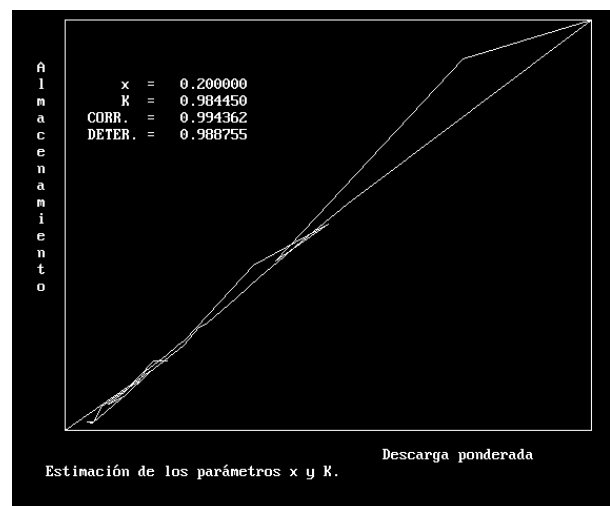
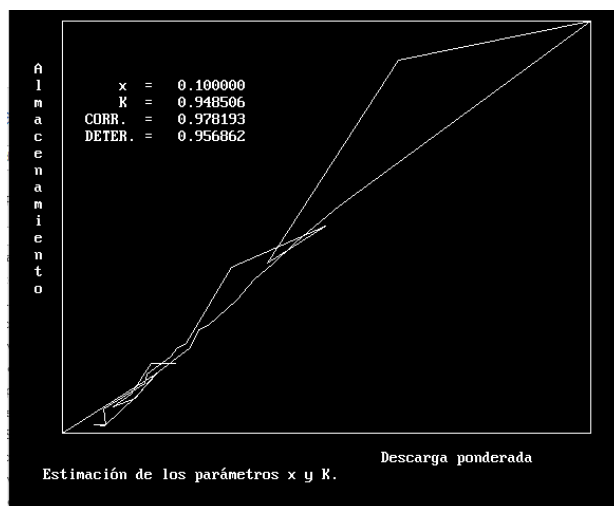
78.60
 93.10
 93.10
 93.10
 103.80
 98.50
 98.90
 198.40
 98.90
 95.60
 112.50
 108.50
 98.50
 102.30

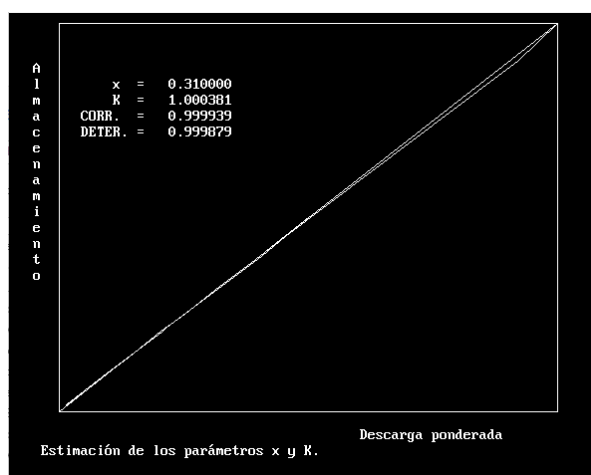
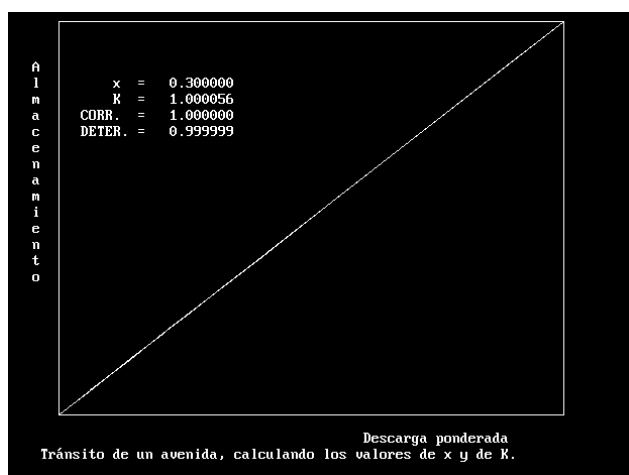
95.60
81.20
82.90
90.90
76.40
73.80
77.20
75.50
74.70
73.00
71.70
73.00
70.80
68.70
67.40
69.20
65.30
67.00
65.30

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

Ahora se ejecuta el programa **HIDSUP**, como se dijo con los valores promedio de las entradas y salidas, y afirmando que se desea transitar una avenida, además de estimar los valores de x y de K .

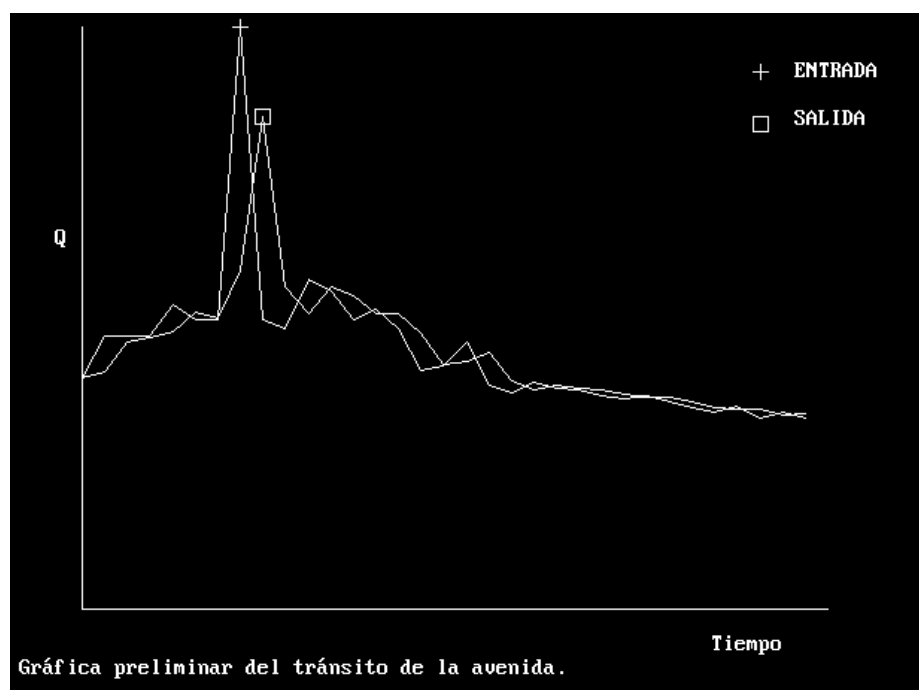
Los resultados son:





Procediendo iterativamente, se puede seleccionar el valor de $x = 0.3$ y $K = 1.000056$, considerando los coeficientes de correlación y determinación de la regresión.

Continuando, la gráfica preliminar del tránsito en el cauce es la siguiente:



Y los resultados,

Tránsito de una avenida, calculando los valores de x y de K .

Archivos: opción_a1.dat, opción_a2.dat

El mejor ajuste se obtiene con $x = .3$ Y $K = 1.000056$

ALFA = 1.200039 , C1 = .6666589 , C2 = .1666473 , C3 = .1666938

POR LO TANTO:

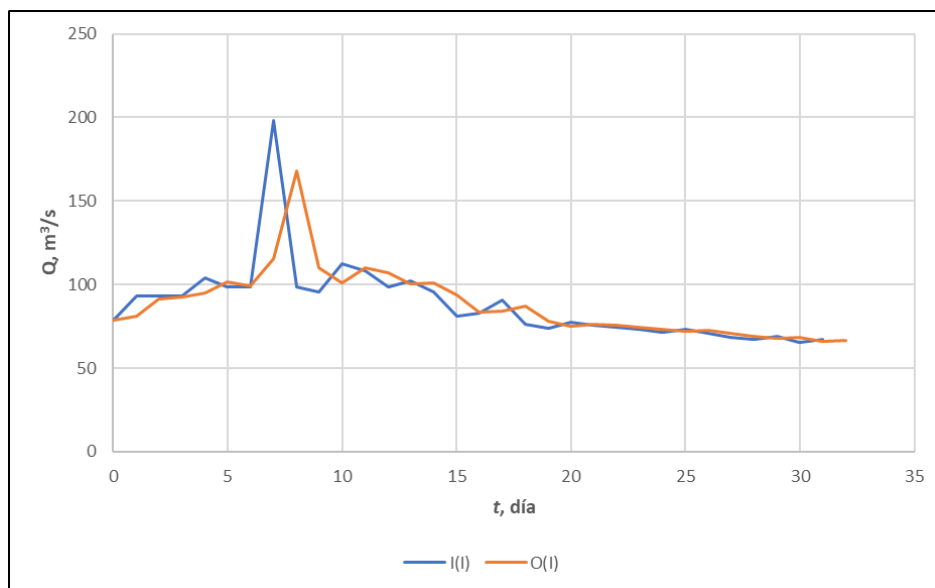
$O_{i+1} = .6666589 I_i + .1666473 I_{i+1} + .1666938 O_i$

Tránsito de una avenida, calculando los valores de x y de K .

I	I(I)	O(I)
0	78.60	78.60
1	93.10	81.02
2	93.10	91.09
3	93.10	92.76
4	103.80	94.83
5	98.50	101.42
6	98.90	99.05
7	198.40	115.51
8	98.90	168.00
9	95.60	109.87
10	112.50	100.79
11	108.50	109.88
12	98.50	107.06
13	102.30	100.56
14	95.60	100.89
15	81.20	94.08
16	82.90	83.63
17	90.90	84.35
18	76.40	87.39
19	73.80	77.80
20	77.20	75.03
21	75.50	76.56
22	74.70	75.54
23	73.00	74.56
24	71.70	73.04
25	73.00	72.14

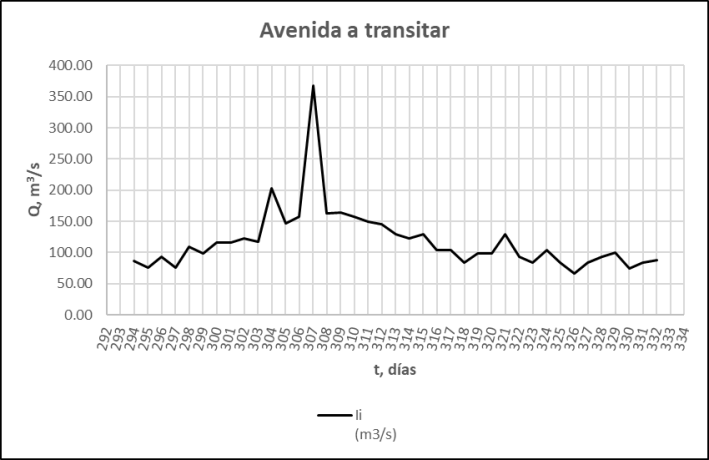
26	70.80	72.49
27	68.70	70.73
28	67.40	68.82
29	69.20	67.94
30	65.30	68.34
31	67.00	66.09
32	65.30	66.57

Graficando con Excel los resultados se obtiene la siguiente figura:



Ejemplo - Opción b) -

Se dispone del hidrograma de los caudales diarios de entrada en el tramo del mismo cauce³. Sabiendo que los valores de x y K son, respectivamente, 0.3 y 1.000056, calcular el hidrograma de salida.



i	t_i (día)	I_i (m³/s)
1	294	86.70
2	295	75.50
3	296	92.80
4	297	75.50
5	298	109.60
6	299	98.90
7	300	115.40
8	301	114.40
9	302	122.90
10	303	117.10
11	304	103.60
12	305	146.60
13	306	157.20
14	307	367.60
15	308	163.10
16	309	164.60
17	310	157.20
18	311	149.00
19	312	145.10
20	313	128.70
21	314	122.90
22	315	128.70
23	316	103.80
24	317	103.80
25	318	83.40
26	319	98.50
27	320	98.40
28	321	128.70
29	322	93.10
30	323	83.40
31	324	103.80
32	325	83.40
33	326	65.80
34	327	83.40
35	328	93.10
36	329	100.40
37	330	74.30
38	331	83.40
39	332	88.30

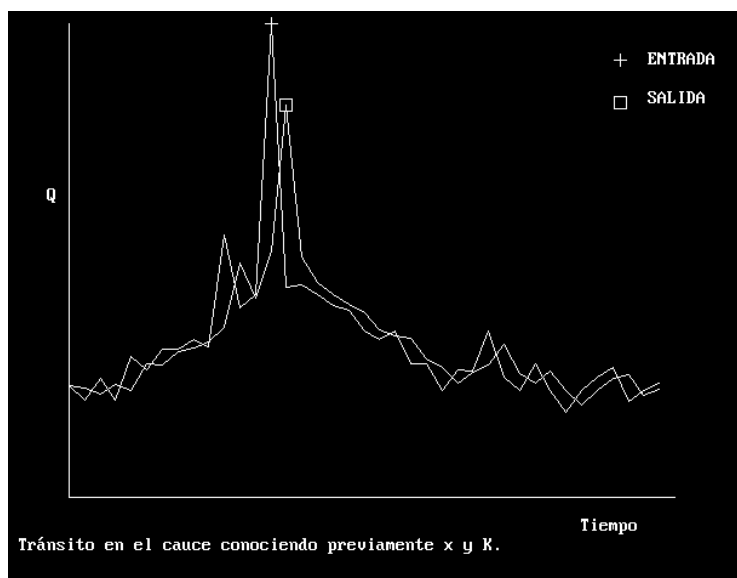
Ahora, crear el archivo el archivo de datos (aquí nombrado Opcion_b.dat):

1
86.70
75.50
92.80
75.50
109.60
98.90
.
.
.
83.40
65.80
83.40

93.10
100.40
74.30
83.40
88.30

Importante: No incluir líneas sin datos en el archivo, después de la línea final de datos.

Ejecutando **HIDSUP** en la opción 3, se obtienen los siguientes resultados.



Tránsito en el cauce conociendo x y K .

Archivo: Opcion_b.dat

$x = .3$ Y $K = 1.000056$

ALFA = 1.200039 , C1 = .6666589 , C2 = .1666472 , C3 = .1666939

POR LO TANTO:

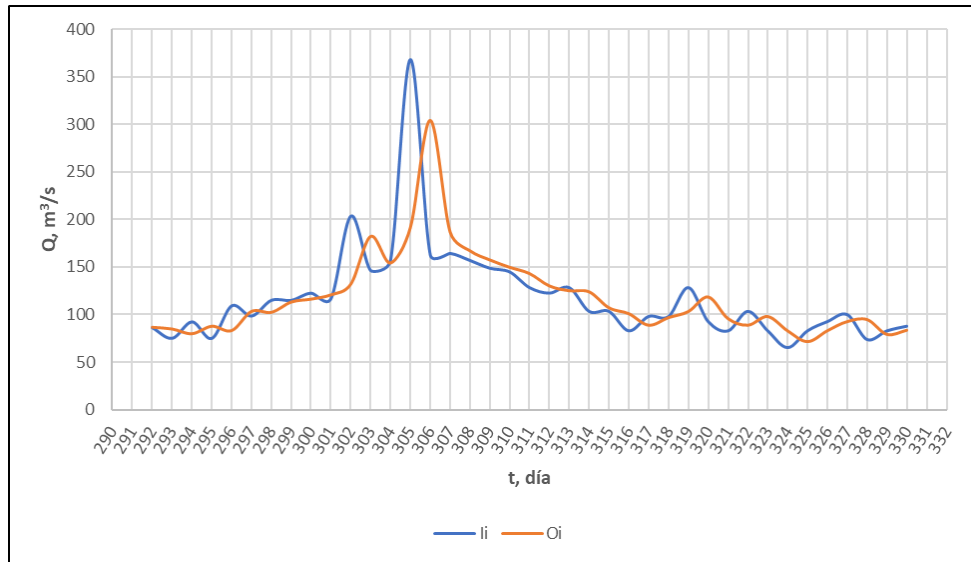
$O_{i+1} = .6666589 I_i + .1666472 I_{i+1} + .1666939 O_i$

Tránsito en el cauce conociendo x y K .

I	I (I)	O (I)
0	86.70	86.70
1	75.50	84.83
2	92.80	79.94
3	75.50	87.77

4	109.60	83.23
5	98.90	103.42
6	115.40	102.40
7	115.40	113.23
8	122.90	116.29
9	117.10	120.83
10	203.60	132.14
11	146.60	182.19
12	157.20	154.30
13	367.60	191.78
14	163.10	304.21
15	164.60	186.87
16	157.20	167.08
17	149.00	157.48
18	145.10	149.76
19	128.70	143.14
20	122.90	130.14
21	128.70	125.07
22	103.80	123.95
23	103.80	107.16
24	83.40	100.96
25	98.50	88.84
26	98.40	96.87
27	128.70	103.19
28	93.10	118.52
29	83.40	95.72
30	103.80	88.85
31	83.40	97.91
32	65.80	82.89
33	83.40	71.58
34	93.10	83.05
35	100.40	92.64
36	74.30	94.76
37	83.40	79.23
38	88.30	83.52

Graficando en Excel el archivo de resultados,



Comentarios finales

Como se aprecia en los ejemplos ejecutados en las dos opciones, el comportamiento de las avenidas transitadas resultantes es el esperado.

4. CURVAS: $h-d-T$ e $i-d-T$

(Método de Gumbel y de Regresión Lineal Múltiple)

Introducción:

Como es sabido, la obtención de estas curvas es un procedimiento un poco largo, sobre todo el método de regresión lineal múltiple. Por lo que el objetivo principal del programa **HIDSUP**, opción 4, pretende reducir dicho tiempo de cálculo.

Archivos de datos:

Para obtener las ecuaciones de las curvas $h-d-T$ e $i-d-T$ se requiere un archivo de datos con la altura de precipitación, en mm, para las duraciones obtenidas, con el siguiente formato:

```
NDUR
DUR(1)
DUR(2)
.
.
.
DUR(NDUR)
NCICLOS
CICLO$(1),HP(1,1),HP(2,1),...,HP(NDUR,1)
CICLO$(1),HP(2,1),HP(2,2),...,HP(NDUR,2)
.
.
.
CICLO$(NCICLOS,1),HP(NCICLOS,2),...,HP(NCICLOS,NDUR)
```

donde

NDUR ->	número de duraciones.
DUR(i) ->	duración i , min
NCICLOS ->	número de incrementos de tiempo para los datos.
CICLO\$(i) ->	nombre del intervalo de tiempo.
HP(i,j) ->	valor de la altura de precipitación para el ciclo i y la duración j , mm

El resultado se grabará en un archivo, del cual se ingresa el nombre como dato inicial, con los resultados

de las curvas $h-d-T$ e $i-d-T$.

Ejecución del programa:

El siguiente paso es teclear la opción 4 de **HIDSUP**.

Ejemplo:

Suponer que se tienen los siguientes valores de altura de precipitación máxima anual,

CICLO	DURACIÓN (min)					
	5	10	20	45	80	120
1938	10.0	19.0	29.0	47.5	55.2	56.0
1939	11.0	18.3	26.7	30.4	32.1	32.2
1940	8.0	10.7	14.4	28.2	29.2	29.2
1941	6.6	8.7	10.5	10.5	10.5	13.8
1942	12.4	16.0	29.9	55.5	66.8	67.8
1943	10.5	12.7	16.1	17.3	19.5	25.2
1944	7.7	10.6	16.2	26.0	32.3	46.0
1945	7.2	10.3	14.2	20.0	32.0	44.6
1946	8.5	9.7	15.0	15.8	15.9	15.0
1947	10.0	10.0	17.1	23.5	28.7	35.8
1948	6.4	9.6	11.7	18.5	22.3	26.2
1949	8.2	9.5	18.0	23.0	34.0	38.6
1950	4.8	4.8	6.1	6.3	8.7	9.4
1951	10.7	15.5	28.5	35.5	36.4	36.4
1952	5.5	7.8	9.0	9.5	10.0	11.8
1953	10.0	11.3	16.2	30.0	38.0	38.0
1954	8.0	9.0	9.3	10.5	12.8	14.2
1955	8.0	8.0	14.5	20.5	34.0	48.0
1956	12.5	15.5	20.0	24.8	25.5	25.6
1957	7.5	11.0	14.3	19.0	25.7	29.0
1959	5.7	6.8	9.2	10.0	15.2	15.6
1960	9.8	11.7	18.0	20.6	21.1	22.6
1961	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2
1962	13.5	18.5	20.7	38.5	60.0	80.0
1963	8.0	10.0	11.5	20.3	23.1	30.0
1964	10.0	17.5	17.8	18.5	19.2	19.8

Determinar las curvas altura de precipitación-duración-período de retorno ($h-d-T$ e $i-d-T$).

Se genera un archivo de datos, aquí denominado hdt.dat:

```
6
5
10
20
45
80
120
26
1938,10,19,29,47.5,55.2,56
1939,11,18.3,26.7,30.4,32.1,32.2
1940,8,10.7,14.4,28.2,29.2,29.2
1941,6.6,8.7,10.5,10.5,10.5,13.8
1942,12.4,16,29.9,55.5,66.8,67.8
1943,10.5,12.7,16.1,17.3,19.5,25.2
1944,7.7,10.6,16.2,26,32.3,46
1945,7.2,10.3,14.2,20,32,44.6
1946,8.5,9.7,15,15.8,15.9,15
1947,10,10,17.1,23.5,28.7,35.8
1948,6.4,9.6,11.7,18.5,22.3,26.2
1949,8.2,9.5,18,23,34,38.6
1950,4.8,4.8,6.1,6.3,8.7,9.4
1951,10.7,15.5,28.5,35.5,36.4,36.4
1952,5.5,7.8,9,9.5,10,11.8
1953,10,11.3,16.2,30,38,38
1954,8,9,9.3,10.5,12.8,14.2
1955,8,8,14.5,20.5,34,48
1956,12.5,15.5,20,24.8,25.5,25.6
1957,7.5,11,14.3,19,25.7,29
1959,5.7,6.8,9.2,10,15.2,15.6
1960,9.8,11.7,18,20.6,21.1,22.6
1961,7.1,7.1,7.1,7.1,7.1,7.2
1962,13.5,18.5,20.7,38.5,60,80
1963,8,10,11.5,20.3,23.1,30
1964,10,17.5,17.8,18.5,19.2,19.8
```

A continuación, se muestran los resultados arrojados por **HIDSUP**:

Título: Ejemplo 1. Obtención de las curvas de $h-d-T$ e $i-d-T$.

Archivo con los datos iniciales: hdt.dat

=====

* Datos de h (en mm) para varias duraciones (en min):

=====

	D U R A C I O N, min					
CICLO	5.00	10.00	20.00	45.00	80.00	120.00
1938	10.00	19.00	29.00	47.50	55.20	56.00
1939	11.00	18.30	26.70	30.40	32.10	32.20
1940	8.00	10.70	14.40	28.20	29.20	29.20
1941	6.60	8.70	10.50	10.50	10.50	13.80
1942	12.40	16.00	29.90	55.50	66.80	67.80
1943	10.50	12.70	16.10	17.30	19.50	25.20
1944	7.70	10.60	16.20	26.00	32.30	46.00
1945	7.20	10.30	14.20	20.00	32.00	44.60
1946	8.50	9.70	15.00	15.80	15.90	15.00
1947	10.00	10.00	17.10	23.50	28.70	35.80
1948	6.40	9.60	11.70	18.50	22.30	26.20
1949	8.20	9.50	18.00	23.00	34.00	38.60
1950	4.80	4.80	6.10	6.30	8.70	9.40
1951	10.70	15.50	28.50	35.50	36.40	36.40
1952	5.50	7.80	9.00	9.50	10.00	11.80
1953	10.00	11.30	16.20	30.00	38.00	38.00
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	7.20
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	17.80	18.50	19.20	19.80

*** CURVAS h-d-T ***

* Método de Gumbel:

		D U R A C I O N, min					
Orden	Tr	5.00	10.00	20.00	45.00	80.00	120.00
1	27.00	13.50	19.00	29.90	55.50	66.80	80.00
2	13.50	12.50	18.50	29.00	47.50	60.00	67.80
3	9.00	12.40	18.30	28.50	38.50	55.20	56.00

4	6.75	11.00	17.50	26.70	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	15.60
21	1.29	7.10	8.70	10.50	10.50	15.20	15.00
22	1.23	6.60	8.00	9.30	10.50	12.80	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

DURACION: 5

Media: 8.754 Varianza: 5.010
 $h = 7.747 + -1.745 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm)

DURACION: 10

Media: 11.523 Varianza: 15.444
 $h = 9.755 + -3.064 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm)

DURACION: 20

Media: 16.192 Varianza: 43.236
 $h = 13.234 + -5.127 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm)

DURACION: 45

Media: 22.588 Varianza: 142.259
 $h = 17.223 + -9.300 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm)

DURACION: 80

Media: 27.512 Varianza: 232.202

$h = 20.656 + -11.881 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm)

DURACION: 120

Media: 31.462 Varianza: 319.881

$h = 23.415 + -13.945 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm)

* Método de correlación lineal múltiple:

$k = 3.010582$

$m = .4937085$

$n = -.3653776$

$h = 3.011 (Tr)^{0.494} (d)^{0.365}$ (mm/h)

=====
* Datos de i (en mm/h) para varias duraciones (en min)
=====

	D U R A C I O N, min					
CICLO	5.00	10.00	20.00	45.00	80.00	120.00
1938	120.00	114.00	87.00	63.33	41.40	28.00
1939	132.00	109.80	80.10	40.53	24.07	16.10
1940	96.00	64.20	43.20	37.60	21.90	14.60
1941	79.20	52.20	31.50	14.00	7.88	6.90
1942	148.80	96.00	89.70	74.00	50.10	33.90
1943	126.00	76.20	48.30	23.07	14.63	12.60
1944	92.40	63.60	48.60	34.67	24.22	23.00
1945	86.40	61.80	42.60	26.67	24.00	22.30
1946	102.00	58.20	45.00	21.07	11.92	7.50
1947	120.00	60.00	51.30	31.33	21.53	17.90
1948	76.80	57.60	35.10	24.67	16.72	13.10
1949	98.40	57.00	54.00	30.67	25.50	19.30
1950	57.60	28.80	18.30	8.40	6.52	4.70
1951	128.40	93.00	85.50	47.33	27.30	18.20
1952	66.00	46.80	27.00	12.67	7.50	5.90
1953	120.00	67.80	48.60	40.00	28.50	19.00

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	3.60
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	53.40	24.67	14.40	9.90

*** CURVAS i-d-T ***

* Método de Gumbel:

		D U R A C I O N, min					
Orden	Tr	5.00	10.00	20.00	45.00	80.00	120.00
1	27.00	162.00	114.00	89.70	74.00	50.10	40.00
2	13.50	150.00	111.00	87.00	63.33	45.00	33.90
3	9.00	148.80	109.80	85.50	51.33	41.40	28.00
4	6.75	132.00	105.00	80.10	47.33	28.50	24.00
5	5.40	128.40	96.00	62.10	40.53	27.30	23.00
6	4.50	126.00	93.00	60.00	40.00	25.50	22.30
7	3.86	120.00	93.00	54.00	37.60	25.50	19.30
8	3.38	120.00	76.20	54.00	34.67	24.22	19.00
9	3.00	120.00	70.20	53.40	33.07	24.07	18.20
10	2.70	120.00	67.80	51.30	31.33	24.00	17.90
11	2.45	117.60	66.00	48.60	30.67	21.90	16.10
12	2.25	102.00	64.20	48.60	27.47	21.53	15.00
13	2.08	98.40	63.60	48.30	27.33	19.28	14.60
14	1.93	96.00	61.80	45.00	27.07	19.13	14.50
15	1.80	96.00	60.00	43.50	26.67	17.33	13.10
16	1.69	96.00	60.00	43.20	25.33	16.72	12.80
17	1.59	96.00	58.20	42.90	24.67	15.83	12.60
18	1.50	92.40	57.60	42.60	24.67	14.63	11.30
19	1.42	90.00	57.00	35.10	23.07	14.40	9.90
20	1.35	86.40	54.00	34.50	21.07	11.92	7.80
21	1.29	85.20	52.20	31.50	14.00	11.40	7.50
22	1.23	79.20	48.00	27.90	14.00	9.60	7.10
23	1.17	76.80	46.80	27.60	13.33	7.88	6.90
24	1.13	68.40	42.60	27.00	12.67	7.50	5.90
25	1.08	66.00	40.80	21.30	9.47	6.52	4.70
26	1.04	57.60	28.80	18.30	8.40	5.32	3.60

DURACION: 5

Media: 105.046 Varianza: 721.409

$i = 92.963 + -20.942 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm/h)

DURACION: 10

Media: 69.138 Varianza: 555.993

$i = 58.530 + -18.385 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm/h)

DURACION: 20

Media: 48.577 Varianza: 389.124

$i = 39.702 + -15.380 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm/h)

DURACION: 45

Media: 30.118 Varianza: 252.904

$i = 22.963 + -12.399 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm/h)

DURACION: 80

Media: 20.634 Varianza: 130.614

$i = 15.492 + -8.911 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm/h)

DURACION: 120

Media: 15.731 Varianza: 79.970

$i = 11.708 + -6.973 \ln \ln [Tr/(Tr-1)]$ (mm/h)

* Método de correlación lineal múltiple:

$k = 3.010582$

$m = .4937085$

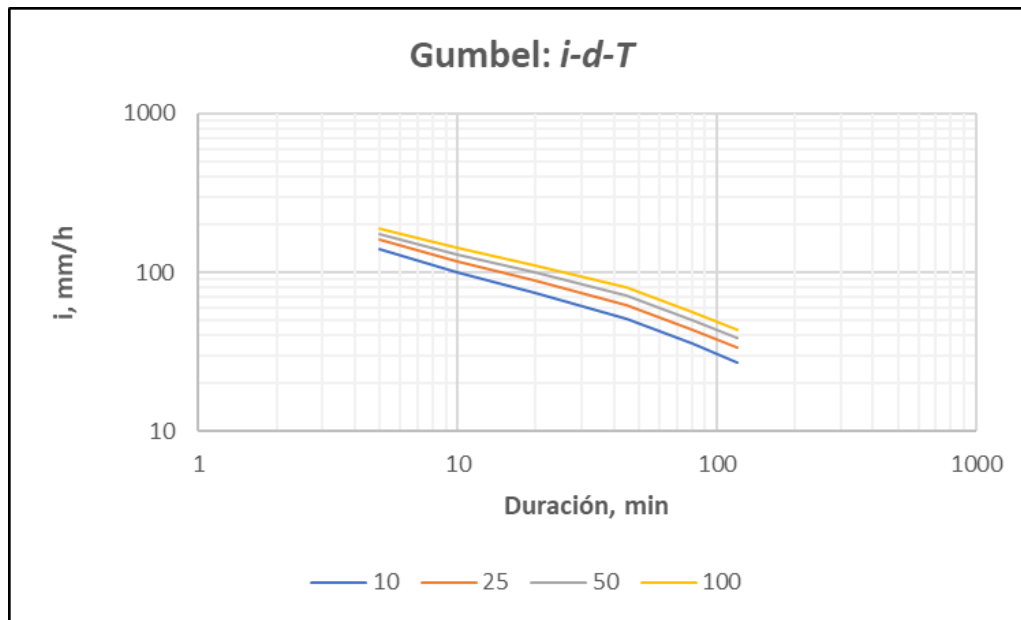
$n = -.3653776$

$i = 3.011 (Tr)^{0.494} (d)^{0.365}$ (mm/h)

Graficando los resultados con Excel, obtenidos con la intensidad, i , se obtiene lo siguiente:

- Gumbel.

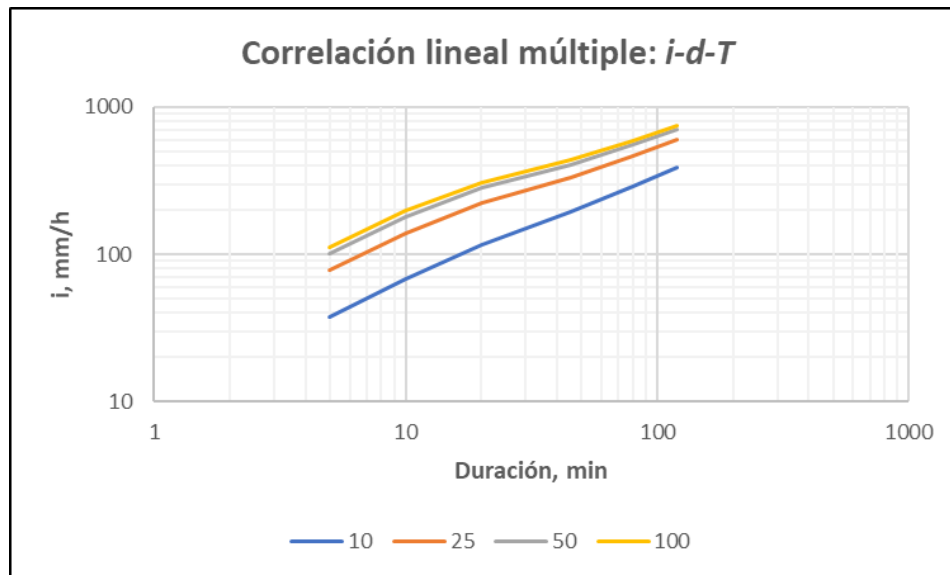
T años	Duración, min					
	5	10	20	45	80	120
10	140.09	99.90	74.31	50.87	35.55	27.40
25	159.95	117.34	88.90	62.62	43.99	34.01
50	174.68	130.27	99.71	71.34	50.26	38.92
100	189.30	143.10	110.45	80.00	56.48	43.78



NOTA: Las series de altura e intensidad de precipitación de todas las duraciones superan las pruebas de bondad de ajuste: Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling y Chi-cuadrada.

- Correlación lineal múltiple

T años	Duración, min					
	5	10	20	45	80	120
10	37.40	68.51	116.47	195.56	289.98	390.64
25	78.01	138.41	221.71	334.50	464.21	601.27
50	102.04	178.95	280.51	406.99	551.29	703.89
100	112.57	196.56	305.68	437.23	587.03	745.60



Comentarios finales

Se obtuvieron las curvas $h-d-T$ e $i-d-T$ con los procedimientos de Gumbel y de Correlación lineal múltiple. Para el caso de Gumbel, pudiera ampliarse más este procedimiento, verificando su ajuste a través de una prueba de bondad, para verificar que tan confiable es, estadísticamente hablando. También, verificar si existe otra función de distribución de probabilidad que se ajuste mejor que la Gumbel.

5. HIDROGRAMA UNITARIO INSTANTANEO.

Introducción.

Este programa encuentra el hidrograma unitario instantáneo para una tormenta dada. Como se sabe, el resolver este tipo de problemas implica la realización de varias operaciones con matrices, lo que hace que la computadora sea de gran ayuda. También vale la pena aclarar que en los resultados se muestran todas las matrices resultantes, esto con el fin de que se pueda comprender mejor el proceso de cálculo.

Archivo de datos:

Se necesita un solo archivo, el cual queda constituido de la siguiente manera:

NP
 $P(1)$
 $P(2)$
.
.
.
 $P(NP)$
 NQ
 $Q(1)$
 $Q(2)$
.
.
.
 $Q(NQ)$

donde

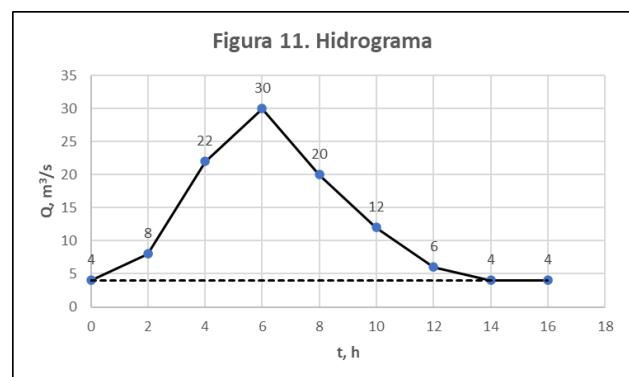
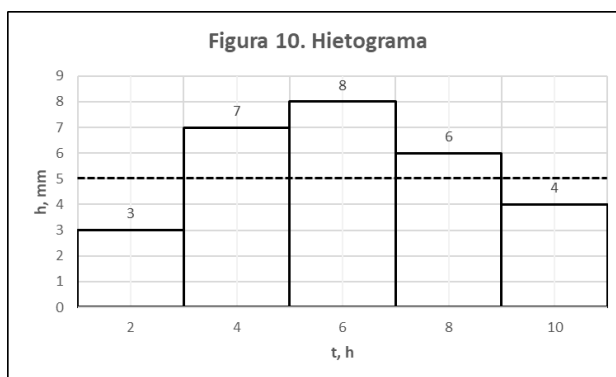
$NP \rightarrow$	número de alturas de precipitación del hietograma.
$P(i) \rightarrow$	valor de la precipitación en exceso i del hietograma, en mm.
...	
$P(NP) \rightarrow$	valor de la precipitación en exceso NP del hietograma, en mm.
$NQ \rightarrow$	número de gastos de escurrimiento directo del hidrograma con intervalos de tiempo iguales a los del hietograma.
$Q(i) \rightarrow$	gasto de escurrimiento directo i del hidrograma, en m^3/s .
...	
$Q(NQ) \rightarrow$	gasto de escurrimiento directo NQ del hidrograma, en m^3/s .

Ejecución del programa:

Una vez creado el archivo anterior, se corre el programa **HIDSUP** con la opción 5 y dando como datos por pantalla: el título de la corrida y el nombre del archivo.

Ejemplo:

Obtener el hidrograma unitario instantáneo para una tormenta presentada en una cuenca de 88.8 km^2 de área, cuyo hietograma e hidrograma se muestran en las figuras 10 y 11, respectivamente.



La duración en exceso es de 6 h. y el índice de infiltración media de $5 \text{ mm}/2 \text{ h}$.

Entonces, tomando incrementos de tiempo de cada dos horas en las figuras 10 y 11, se obtienen 3 valores de alturas de precipitación efectiva del hietograma y 6 gastos del hidrograma de escurrimiento directo.

Por lo tanto, el archivo de datos, nombrado "HUI.dat", quedará:

3
2
3
1
6
4
18
26
16
8
2

En la figura 12 y tabla 5 se muestran los resultados arrojados por **HIDSUP**.

Figura 12.

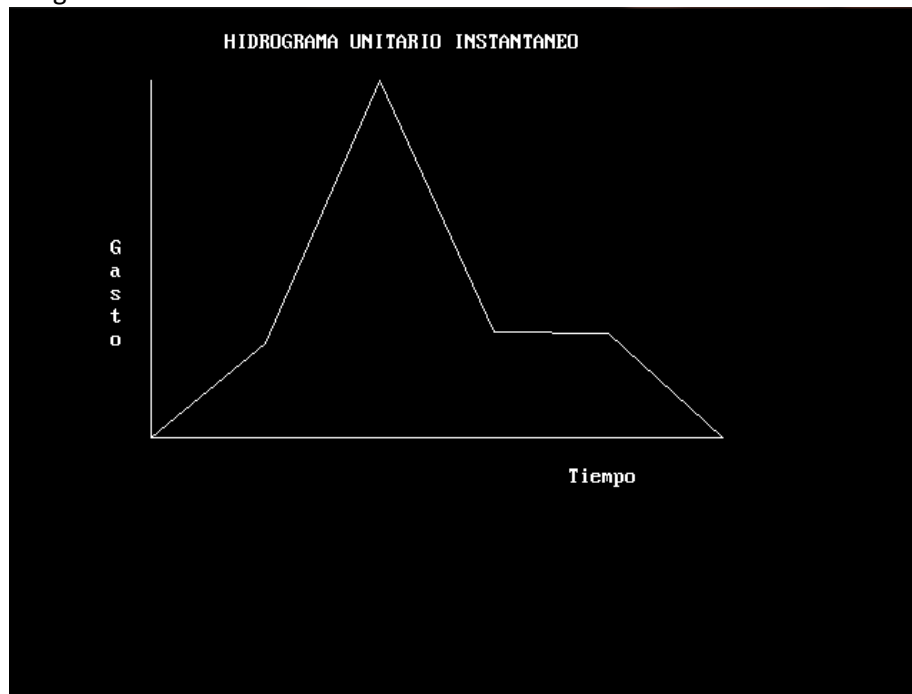


TABLA 5. EJEMPLO DEL HIDROGRAMA UNITARIO INSTANTANEO.

ARCHIVO: HUI.DAT

LAS ECUACIONES RESULTANTES PARA EL HIDROGRAMA DE ESCURRIMIENTO DIRECTO SON:

$$\begin{aligned}
 Q(1) &= P(1) U(1) \\
 Q(2) &= P(1) U(2) + P(2) U(1) \\
 Q(3) &= P(1) U(3) + P(2) U(2) + P(3) U(1) \\
 Q(4) &= P(1) U(4) + P(2) U(3) + P(3) U(2) + P(3) U(2) \\
 Q(5) &= \quad \quad \quad + P(2) U(4) + P(3) U(3) + P(3) U(3) + P(3) \\
 &\quad U(3) \\
 Q(6) &= \quad \quad \quad + \quad \quad \quad + P(3) U(4) + P(3) U(4) + P(3) \\
 &\quad U(4) + P(3) U(4)
 \end{aligned}$$

MATRIZ P:

2.000	0.000	0.000	0.000
3.000	2.000	0.000	0.000

1.000	3.000	2.000	0.000
0.000	1.000	3.000	2.000
0.000	0.000	1.000	3.000
0.000	0.000	0.000	1.000

MATRIZ Q:

4.000
18.000
26.000
16.000
8.000
2.000

MATRIZ TRANSPUESTA DE P:

2.000	3.000	1.000	0.000	0.000	0.000
0.000	2.000	3.000	1.000	0.000	0.000
0.000	0.000	2.000	3.000	1.000	0.000
0.000	0.000	0.000	2.000	3.000	1.000

MULTIPLICACION DE P TRANSPUESTA POR P:

14.000	9.000	2.000	0.000
9.000	14.000	9.000	2.000
2.000	9.000	14.000	9.000
0.000	2.000	9.000	14.000

MULTIPLICACION DE P TRANSPUESTA POR Q:

88.000
130.000
108.000
58.000

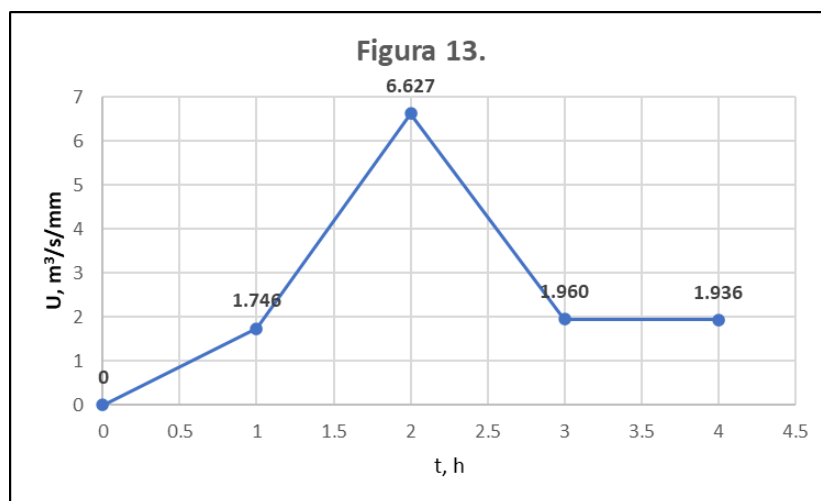
MATRIZ SOLUCION U:

U(1) = 1.746
U(2) = 6.627
U(3) = 1.960
U(4) = 1.936

GASTOS ESTIMADOS: GASTOS MEDIDOS:

3.491	4.000
18.490	18.000
25.547	26.000
16.380	16.000
7.768	8.000
1.936	2.000

En la figura 13 se muestra el hidrograma unitario instantáneo graficado con Excel.



Comentarios finales

Los gastos observados y estimados son muy similares, lo que refleja una calibración apropiada del modelo aquí aplicado.