



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**Documentación del Simulador:**  
**Tránsito de Avenidas por Computadora en**  
**Obras de Excedencias con Descarga Libre.**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO CIVIL**  
**P R E S E N T A**  
**MARLENE CELIA SOLIS PEREZ**

México, D. F.

1989

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

	página
I. INTRODUCCION	1
II. ASPECTOS GENERALES	3
III. TRANSITO DE AVENIDAS EN VASOS DE ALMACENAMIENTO	6
IV. DESCRIPCION DETALLADA DEL SIMULADOR	15
V. INSTRUCTIVO DE OPERACION	22
VI. APENDICES	
a) AJUSTE DE MINIMOS CUADRADOS	54
b) METODO DE EULER	57
VII. CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFIA	63

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

La documentación del paquete para computadora Tránsito de Avenidas en una Obra de Excedencias con Descarga Libre, tiene como objetivo desarrollar el respaldo teórico para la operación de éste.

En el Capítulo II, se plantean los antecedentes del simulador, los objetivos con que fue creado, así como, el contenido general y sus bases teóricas.

La parte siguiente, Capítulo III, es la explicación del fenómeno hidráulico. Se analiza cada una de las componentes con un enfoque tal, que permite rápidamente hacerse una idea de conjunto de todos los elementos que se requieren para hacer el Tránsito de Avenidas.

El Capítulo IV trata sobre la descripción detallada del simulador, es decir, es una reseña de las partes del paquete que da cuenta de sus características principales.

Uno de los apartados más importantes es el Capítulo V, pues es el instructivo, éste se expone por medio de un ejemplo. En él se muestran figuras que ayudan a comprender mejor la mecánica del simulador.

En el Capitulo VI se presentan las conclusiones, donde se evalua de que forma se cumple el propósito del paquete, y se plantean algunas propuestas para difundirlo como parte de un proyecto más amplio.

En las parte final de la tesis, se encuentran los Apéndices A y B, en éstos se explican, respectivamente, el método de Euler y el de los Mínimos Cuadrados .

## CAPITULO II

### ASPECTOS GENERALES

En los últimos años, se ha dedicado un gran esfuerzo a utilizar el avance de la computación como herramienta para la docencia; sin embargo, en la Facultad de Ingeniería existe un "rezago entre el estado de la tecnología y los métodos de enseñanza"[1].

A principios de 1988 cuando se planteó lo anterior en el diagnóstico de la problemática institucional, surgió en el Laboratorio de Hidráulica la iniciativa de elaborar un proyecto para el desarrollo de simuladores enfocados a la enseñanza de la Ingeniería Civil, en particular, de la Hidráulica; y de esta manera se trató de cubrir el vacío que hay de dicho tipo de material. La primera etapa del proyecto lo constituye el paquete Simulador del Tránsito de Avenidas en una Obra de Excedencias con Descarga Libre, y en una segunda se pretende realizar simuladores sobre el tránsito de avenidas controlado por compuertas, flujo en medios porosos (pozos) y otros transitorios hidráulicos.

---

[1]Reséndiz Daniel, "Plan para atender problemas prioritarios de la Facultad de Ingeniería" (proyecto), México 1988.

Este primer simulador tiene como objetivo "contar con un paquete de computadora que permitiera al alumno, no necesariamente experto en computación, interactuar con el simulador de tal manera que modificando determinadas condiciones observara de inmediato los efectos generados, permitiendo entender tanto en forma cualitativa como cuantitativa el fenómeno hidráulico en estudio"[2].

La presente documentación complementa el paquete, proporciona bases para aprovecharlo mejor, ya que permite conocer los conceptos fundamentales del tránsito de avenidas, describe cada una de las partes del simulador, y presenta el instructivo de operación.

El paquete es un programa en Basic, cuya estructura hace posible controlar y acceder a distintas opciones, de captura, manejo de archivo, inicio de cálculo y salida. Cada parte es independiente de las otras, consta de una pantalla en la que se indican los pasos a seguir, tanto para introducir información como para corregir errores. Existe la alternativa de emplear archivos de datos para su uso indiscriminado. Los resultados se despliegan en una pantalla especial con pausa o sin ella, para

---

[2]León Luis, Ponencia "Enseñanza Asistida Por Computadora", Congreso Nacional de Hidráulica, México 1986.

resumen de varias simulaciones con distintas dimensiones de vertedor.

Las herramientas matemáticas del simulador son: el método de Euler y los Mínimos Cuadrados. El primero se utiliza para resolver la ecuación de continuidad que modela la forma cómo transita una avenida por donde se encuentra el vaso de almacenamiento de una presa. El método de los mínimos cuadrados traduce las características hidráulicos del vaso, en cuanto a capacidad de almacenamiento, a una ecuación fácil de manipular en un programa de computadora.



### CAPITULO III

#### TRANSITO DE AVENIDAS EN VASOS DE ALMACENAMIENTO

El tránsito de avenidas es una técnica que se emplea para conocer la evolución del nivel de embalse de una presa, y del gasto de salida, al presentarse un escurrimiento. Consiste en la simulación del paso de la avenida por el vaso, en donde las descargas son controladas mediante la obra de excedencias.

Su propósito más importante es el de dimensionar la obra de excedencias; aunque tiene otras aplicaciones como fijar la altura de cortina, proyectar las obras de desvío y la altura de ataguías.

El modelo de simulación se basa en la ecuación de continuidad:

$$DV/DT = I - O$$

donde

DV/DT es la variación del volumen de agua del vaso con respecto al tiempo.

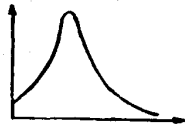
I es el caudal de agua que entra al vaso.

O es el caudal de agua que sale del vaso.

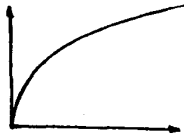
Por lo tanto, para llevar acabo el tránsito se requiere de:  
1) el hidrograma de entradas, 2) la curva de capacidades del vaso, 3) la ley de descarga. Esta información, se procesa en la ecuación de continuidad, es decir, se compara el caudal que llega al vaso con su capacidad de almacenamiento y con el gasto que desaloja el vertedor, durante un periodo de tiempo en el que se completa el paso de la avenida por la presa. Lo anterior proporciona los niveles sucesivos del embalse, así como, el hidrograma del gasto de salida.

Existen varios procedimientos para resolverlo, algunos semigráficos, otros numéricos. Como interesa realizar la simulación por computadora el método que se utiliza en el paquete es el de Euler, por la facilidad que tiene de ser programado (ver Apendice B).

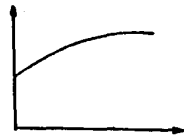
# COMPONENTES DEL TRÁNSITO DE AVENIDAS



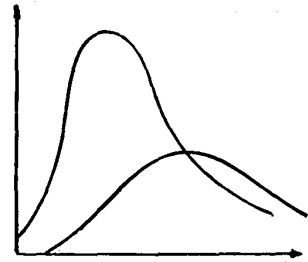
Hidrograma de entrada



Curva de capacidades



Ley de descarga



Hidrograma de salida

## HIDROGRAMA DE ENTRADAS

El hidrograma relaciona los gastos con el tiempo en que ocurren, se requiere para el tránsito de avenidas el de la avenida de diseño; también puede ser el de avenidas que frecuentemente se tendrán que manejar en la presa, cuando se quiere revisar la obra de excedencias.

La avenida de diseño es el escurrimiento máximo que una obra debe manejar sin que le ocurran daños. Los estudios destinados a estimarla están basados en registros de la variación del gasto y de alturas de lluvia en la cuenca.

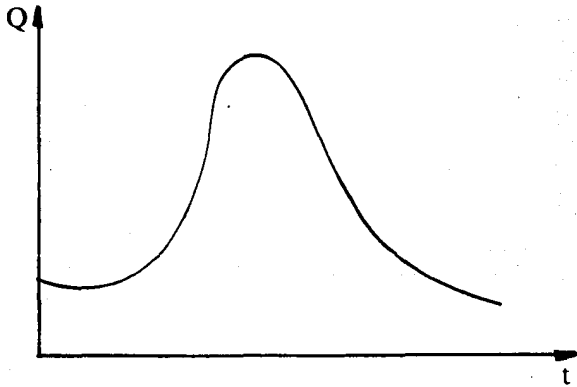
Existen básicamente dos tipos de método para la determinación de la avenida de diseño: los estadísticos y los basados en la relación lluvia-escorrimento, en éstos se incluyen los métodos empíricos. Dentro de los estadísticos el más común es el de Gumbel; el método del hidrograma unitario corresponde a los que hacen uso de la relación lluvia-escorrimento; y las envolventes de Creager forman parte de los empíricos. La selección del método depende de la información disponible, las características de la obra y la magnitud de los daños que ocasionaría una avenida mayor que la de diseño.

La avenida de diseño necesaria para determinar las condiciones máximas extraordinarias del funcionamiento de una presa (el NAME), es aquella que tiene la probabilidad de ser

igualada o superada una vez en cierto número de años. A este número de años se le conoce como el periodo de retorno, puede ser de 50 a 100 años en caso de presas pequeñas, o de 5000 a 10 000 años para grandes presas.

Los elementos de una avenida son: gasto máximo o pico, tiempo de duración y volumen de agua.

#### HIDROGRAMA TIPO



CURVA DE CAPACIDADES DEL VASO

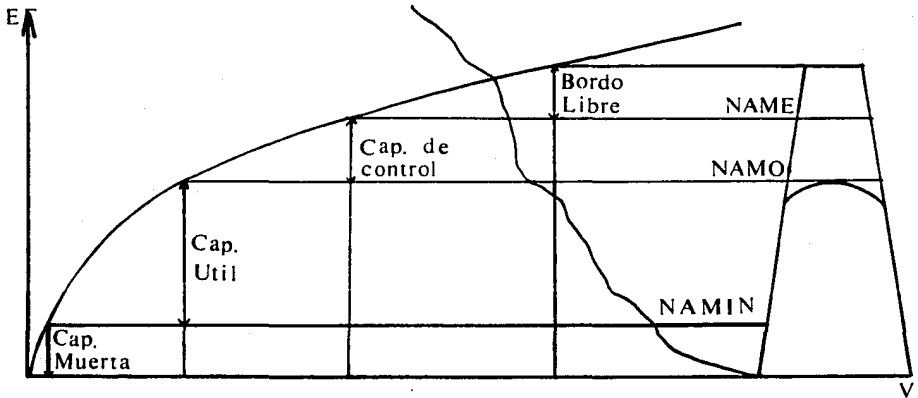
Es una gráfica que relaciona el volumen en un vaso con el nivel de agua en él. Esta se contruye midiendo las áreas entre los contornos sucesivos de relieve en un mapa topográfico, las cuales multiplicadas por el incremento de elevación entre éstos, producen incrementos de volumen; ambas variables se grafican dando como resultado la curva de capacidades del vaso.

Para tener una ecuación que defina la relación entre las elevaciones y la capacidad de almacenamiento del embalse, se ajustan los datos con que se cuenta, por medio de Mínimos Cuadrados (Apéndice A), a una función exponencial del tipo:

$$V = K(H - H_0)^n$$

donde V es el volumen que se puede almacenar.  
 H es el nivel de agua en el vaso.  
 Ho es el nivel para el cual el volumen es nulo  
 K y N son los parámetros de ajuste.

CARACTERISTICAS DE UN VASO DE ALMACENAMIENTO



<b>NAME</b>	nivel de aguas máximas extraordinarias
<b>NAMO</b>	nivel de aguas máximas ordinarias
<b>NAMIN</b>	nivel de aguas mínimas

Las capacidades y elevaciones de un vaso de almacenamiento se muestran en la figura anterior, y se definen de la siguiente manera:

▶ La capacidad de azolves es el volumen destinado a la acumulación de los azolves que llegan al vaso durante la vida útil de la presa, se calcula cuantificando el volumen de sólidos en suspensión y los acarrees de fondo.

▶ La capacidad muerta está por debajo del NAMIN, que es la elevación que permite hacer desfogues del gasto base o de diseño adecuadamente, sea para generar energía u otro fin.

▶ La capacidad útil es el volumen destinado a regularizar los escurrimientos aprovechables de una corriente; está delimitada por el NAMIN y el NAMO, cuando el vertedor no opera con compuertas este nivel se localiza al pie de la cresta vertedora. Se determina por medio del análisis de Funcionamiento de Vaso.

▶ La capacidad de control es el volumen destinado al manejo de los escurrimientos producidos por avenidas extraordinarias, es el sobrealmacenamiento máximo previsto en la presa con descarga libre. Esta se fija por medio del análisis del Tránsito de Avenidas.

▶ El bordo libre es la distancia entre el NAME y la corona de la cortina, se prevee para evitar que el oleaje la invada.



### LEY DE DESCARGA

La ley de descarga es la ecuación que hace posible conocer la forma como una obra de excedencias opera. Esta en el caso del simulador es un vertedor tipo cimacio cuya capacidad de descarga depende de sus dimensiones, de la carga real sobre la estructura y de su geometría. El efecto de estos factores sobre la magnitud del gasto de salida se consideran mediante el coeficiente "C" de descarga en la fórmula general de vertedores:

$$Q = C LeH^{(1.5)}$$

donde

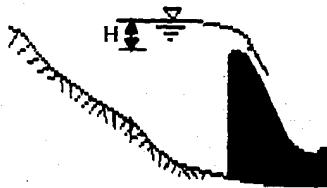
Q es el gasto.

C es el coeficiente de descarga.

H es la carga total sobre la cresta.

Le es la longitud efectiva de cresta.

### VERTEDOR TIPO CIMACIO



## CAPITULO IV

### DESCRIPCION DETALLADA DEL SIMULADOR

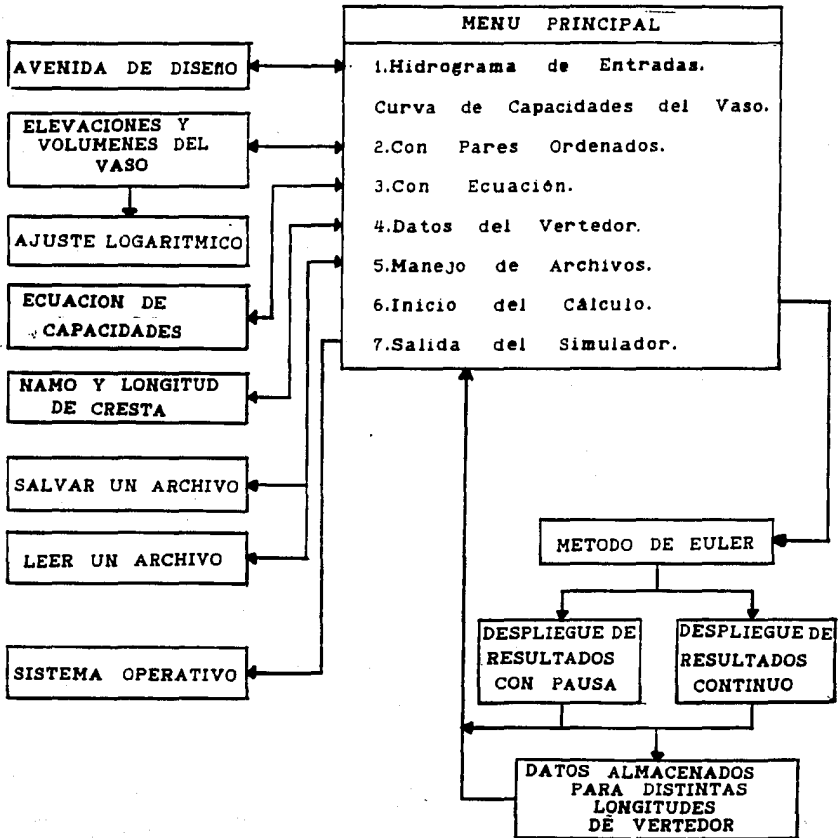
El paquete está elaborado para utilizarse en microcomputadora PC con un mínimo de 512 Kb y equipada al menos con una unidad de disco. Tiene integrado el sistema operativo MSDOS, por lo cual cuando no se tiene disco duro, es innecesaria la instalación previa.

La simulación del tránsito de avenidas se desarrolla con pantallas ilustradas y mensajes indicativos que dan al paquete la doble función de intérprete y guía en forma simultánea. El paquete se divide básicamente en tres bloques: la captura, el proceso y los resultados.

En el Menú de Captura, se resumen las distintas alternativas para llevar a cabo la simulación. Es la parte que controla la secuencia de ejecución, y proporciona flexibilidad al usuario.

En el siguiente diagrama se explica la estructura del paquete:

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SIMULADOR



**CAPTURA**

Datos que se introducen en cada opción de captura:

**||| Hidrograma de entradas**

número de datos disponibles

intervalo de tiempo entre datos

gastos de entrada

**||| Curva de capacidades por pares de datos**

número de datos disponibles

cota de cero volumen

elevaciones y capacidades

**||| Curva de capacidades por ecuación**

cota de cero volumen

coeficiente de ajuste

exponente de ajuste

**||| Datos del vertedor**

nivel del pie de cresta

longitud del vertedor

En las distintas pantallas de captura está contenida toda la información antes señalada, junto con las gráficas correspondientes del hidrograma de entradas y la curva de capacidades del vaso. Para esta última, si se capturan los datos por pares (elevación y volumen), se despliega junto con la curva

correspondiente a los datos puntuales, la que resulta del ajuste logarítmico, de esta manera, se puede observar la calidad del ajuste. Para la opción "Datos del vertedor", se muestra la figura del cimacio en planta y perfil.

En todas las opciones existe la posibilidad de modificar datos, así como corregir errores que se detectan, por ejemplo, valores nulos o negativos de gasto y tiempo. Cuando los datos ya se han salvado en un archivo, se pueden hacer cambios en ellos fácilmente.

#### **MANEJO DE ARCHIVOS**

Esta opción (la número 5) permite leer el hidrograma de entradas, la curva de capacidades del vaso, y la ley de descarga, de un archivo previamente grabado o generario para su posterior uso.

Los archivos ya grabados en disco aparecen en pantalla, al mismo tiempo que la indicación de dar el nombre del archivo a usar o salvar.

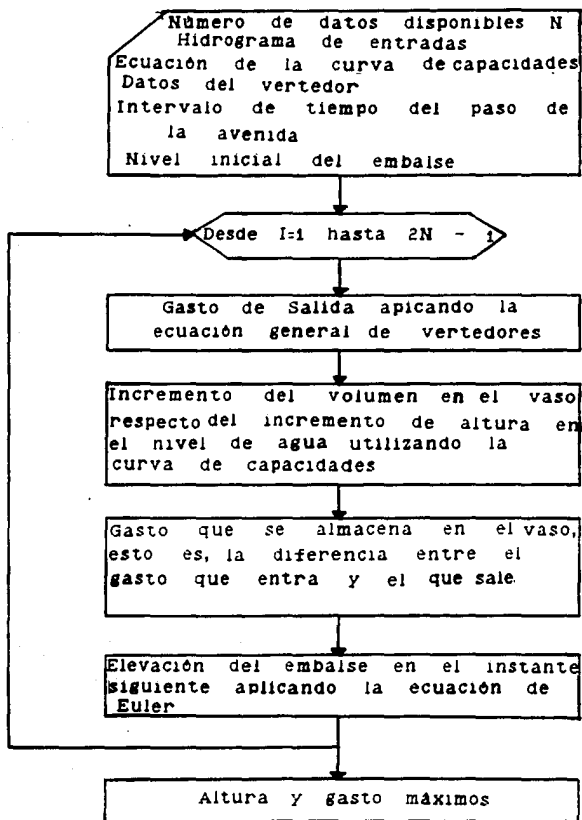
Para leer o salvar un archivo se introduce su nombre respetando el formato: nombre.dat.

#### **EL PROCESO**

La solución del tránsito de avenidas comienza al elegirse:  
6. Inicio del cálculo. Una vez leídos los datos de la captura y

guardados en matrices, se resuelve el transitorio aplicando el método de Euler. La secuencia de cálculo es la siguiente:

DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE EULER



---

## RESULTADOS

Los resultados del tránsito se presentan en un despliegue gráfico, que puede tener dos modalidades: continuo o con pausa de 3 a 4 segundos.

La pantalla de despliegue consta de un croquis del vertedor, en el que es posible observar la variación de la superficie libre del vaso que produce el paso de la avenida; el gasto que entra y sale; y el tiempo transcurrido. Sobre el hidrograma de entrada se dibuja el de salida. Al terminar se resumen en un cuadro los valores máximos de los gastos de entrada y salida, y del nivel del embalse; también se indica la longitud del vertedor para la que se realizó el tránsito.

Existe la posibilidad de almacenar los resultados de varias simulaciones, con el objeto de poder establecer comparaciones entre distintas longitudes de cresta. Esta pantalla muestra en un cuadro similar al que aparece en la pantalla de resultados, los valores más importantes: longitud de vertedor, elevación máxima alcanzada, la altura correspondiente al pie de la cresta, y los gastos máximos de salida. También, aparecen el hidrograma de entrada, que es constante, y los de salida generados por las diferentes condiciones del tránsito.

**SALIDA DEL PAQUETE**

Existe en el Menú de Captura la opción para salir del paquete, al confirmarse la salida se vuelve al sistema operativo y el programa queda almacenado en el disco C. Por lo cual, si se está trabajando en disco flexible y se quiere utilizarlo de nuevo, hay que introducir "BASICA SIMULA" y presionar Return o Enter. En cambio, dentro de un subdirectorio del disco duro, habrá que introducir "SIMTRANS".



**CAPITULO V**  
**INSTRUCTIVO DE OPERACION**

**Puesta en Marcha**

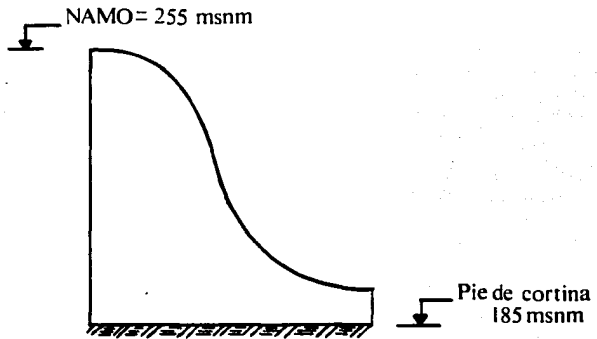
El paquete se puede instalar en microcomputadoras P.C. con un mínimo de 512 Kb de memoria. El modo de hacerlo varía según sea en disco duro o en unidad de disco flexible. En el primer caso deben seguirse las siguientes instrucciones:

1. Crear en C: un subdirectorío para el simulador
2. Introducir la instrucción A:INSTALAC
3. Para utilizar el paquete escribir SIMTRANS desde el subdirectorío y presionar enter.

Cuando se tiene disco flexible:

1. Introducir el disco en la unidad A:
2. Encender la microcomputadora y esperar que inicie la secuencia.

El instructivo de operación se explica por medio de un ejemplo: Analizar la operación de la obra de excedencias ante el ingreso de una avenida y longitud de cresta de 40m, 70m y 100m, con los siguientes datos:



Datos de elevaciones y capacidades del vaso

Elevación (msnm)	Volumen (10 m <sup>3</sup> )
190	1.025
195	5.413
200	10.823
205	25.097
210	35.128
215	52.838
220	75.162
225	92.048
230	128.454
235	156.339
240	185.671
245	215.418
250	250.554
255	282.054
260	336.896
265	370.058
270	407.521

Datos de la Avenida de Diseño

Tiempo hrs	Gasto m <sup>3</sup> /s
1	1000
2	3000
3	6000
4	12000
5	15000
6	14000
7	11000
8	6000
9	4000
10	3000
11	2000
12	1500
13	1200
14	1000
15	800
16	600
17	500
18	400
19	300
20	200
21	100

FIGURA 1

*Simulación por computadora  
de una  
Obra de Excedencias*

**U.N.A.M. Facultad de Ingeniería**

**DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y  
GEODESICA.**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA HIDRAULICA.  
LABORATORIO DE HIDRAULICA.**

**PARA CONTINUAR PRESIONE CUALQUIER TECLA.**

Una vez iniciado el proceso aparece la pantalla de presentación (figura 1) y enseguida el Menú de Captura (figura 2).

Para llevar acabo el tránsito se seguirá el orden ascendente de las opciones.

FIGURA 2

## *Menú de Captura*

- 1- Hidrograma de Entradas.  
Curva de Capacidades del Vaso. (Opción 2 ó 3)
  - 2- Con pares ordenados (Elev. vs Vol.)
  - 3- Con ecuación.
- 4- Datos del vertedor de excedencias.  
(NOTA- Vertedor con descarga libre)
- 5- Manejo de Archivos (Leer/Salvar)
- 6- *Inicio del cálculo...*
- 7- Salida del simulador.

INTRODUCE LA OPCIÓN DESEADA

El Menú de Captura permite controlar el desarrollo de la simulación y hacer en cualquier orden la captura de datos. Las pantallas que conforman el simulador hacen que el proceso sea interactivo.

Opcion 1: Hidrograma de Entradas

Cuando se elige esta opción (figura 3) es necesario introducir:

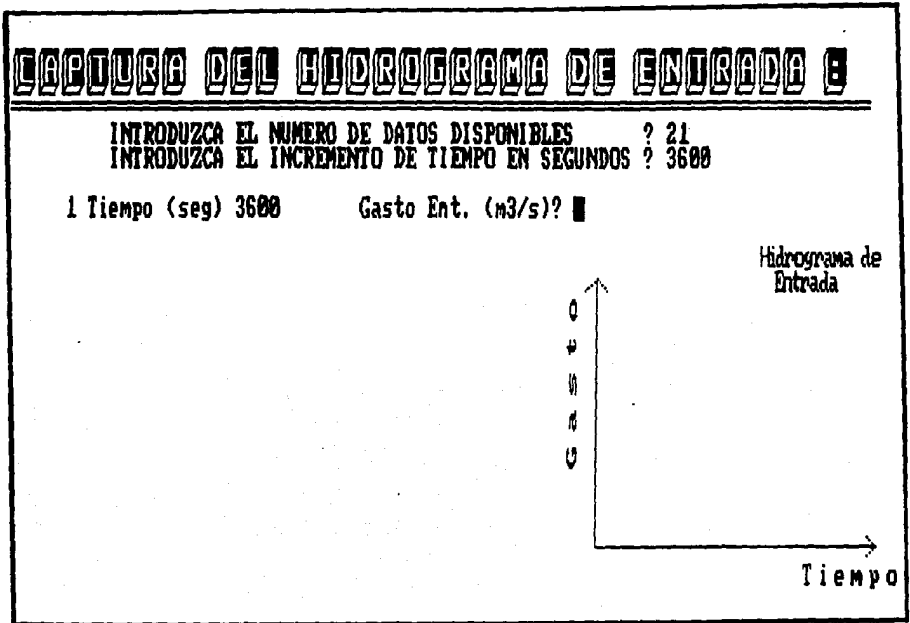
El número de datos disponibles: 21

El incremento de tiempo en segundos: 3600

Los gastos de entrada:

Tiempo hrs	Gasto m <sup>3</sup> /s
1	1000
2	3000
3	6000
4	12000
5	15000
6	14000
7	11000
8	6000
9	4000
10	3000
11	2000
12	1500
13	1200
14	1000
15	800
16	600
17	500
18	400
19	300
20	200
21	100

FIGURA 3



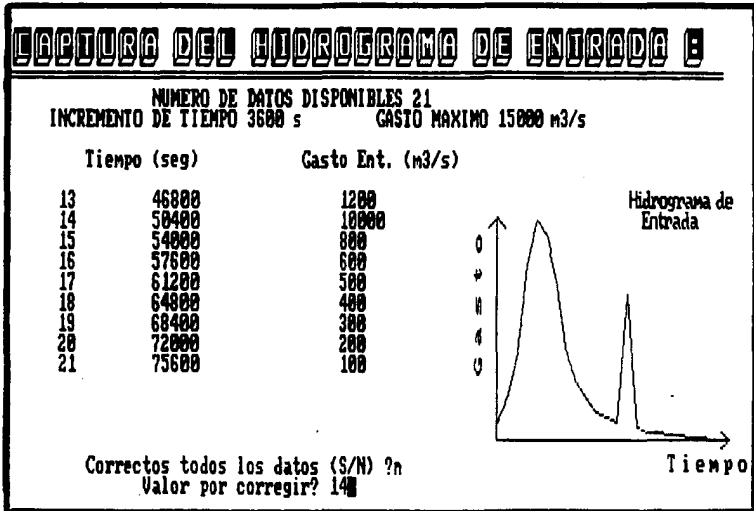
Es importante cuidar que los valores capturados esten en las unidades indicadas.



Después de hacer la captura de la avenida de diseño, se verifica que sean correctos los datos, si hay algún error, como en el ejemplo (el gasto correspondiente a los 50400 segundos no es 10000 m<sup>3</sup> /s), las correcciones se realizan siguiendo las indicaciones de la figura 4.

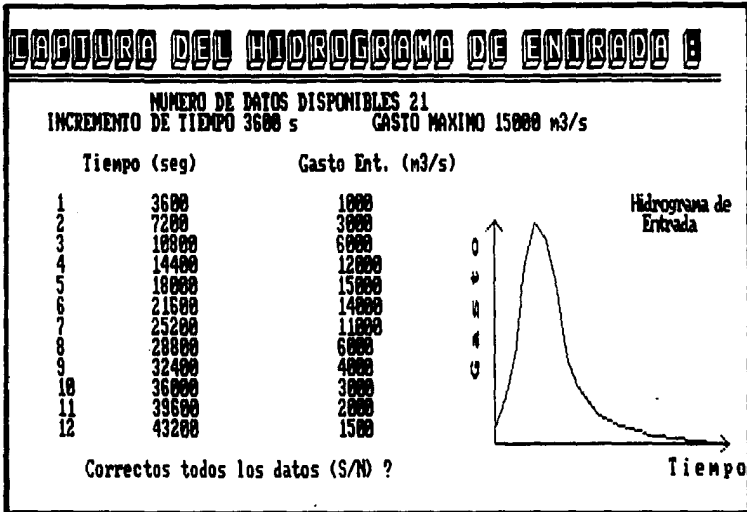
Posteriormente se enlistan el tiempo y los gastos, junto a ellos aparece el hidrograma sin errores (figura 5).

FIGURA 4



Cuando es necesario modificar algún dato, basta con introducir el número de orden de éste y escribir el correcto.

FIGURA 5



Al aceptarse como correctos todos los datos ya no es posible alterarlos.

Opción 2: Curva de capacidades del vaso  
con pares ordenados

Dentro del apartado 2 (figura 6) se piden:

El número de datos disponibles: 17

EL pie de cortina en msnm: 185

Los pares elevación y volumen:

Datos de elevaciones y capacidades del vaso

Elevación (msnm)	Volumen ( $10^6$ m <sup>3</sup> )
190	1.025
195	5.413
200	10.823
205	25.097
210	35.128
215	52.838
220	75.162
225	92.048
230	128.454
235	156.339
240	185.671
245	215.418
250	250.554
255	282.054
260	336.896
265	370.058
270	407.521

En caso de haber un error en la captura se hacen las correcciones de la misma forma como se explicó para el hidrograma de la avenida. En la curva de capacidades se observa que la elevación con número de orden 9 es 230 msnm, en lugar de 225 msnm (figura 7).

Con los datos y la curva correctos, el paquete llama a la subrutina que hace el ajuste logaritmico y genera una función de tipo:  $V = K(\text{Elev} - \text{Namo})^N$ . Ambas curvas se trazan juntas con el fin de determinar visualmente la calidad del ajuste (figura 8 y 9).

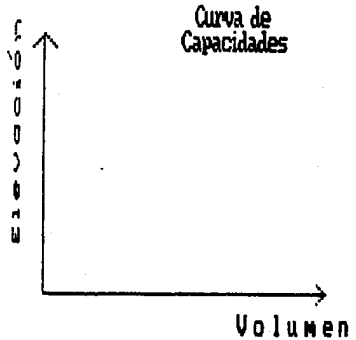
FIGURA 6

# CURVA ELEVACION-CAPACIDADES DEL VASO

INTRODUZA EL NUMERO DE PARES DE DATOS DISPONIBLES ? 17  
 INTRODUZA ELEVACION DEL PIE DE CORTINA (m.s.n.m) ? 185

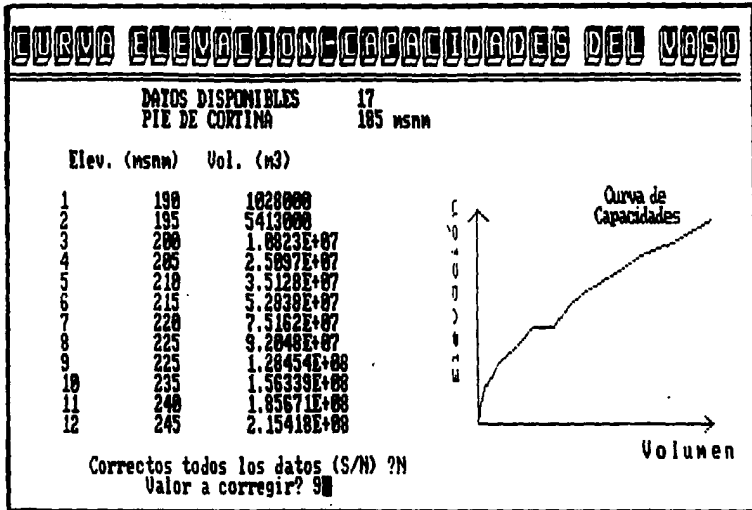
1 Elevacion (m.s.n.m.)? 190

Volumen (m<sup>3</sup>)? 1.828E+6



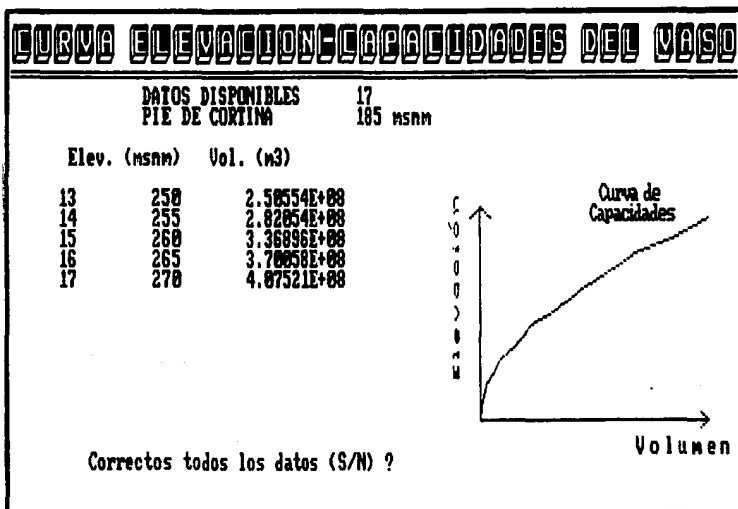
Como en la opción anterior, en ésta se dan instrucciones que facilitan la captura, con ellos se traza la gráfica de la curva de capacidades del vaso.

FIGURA 7



Si se requiere corregir algún dato, únicamente se indica el número de orden y el nuevo valor.

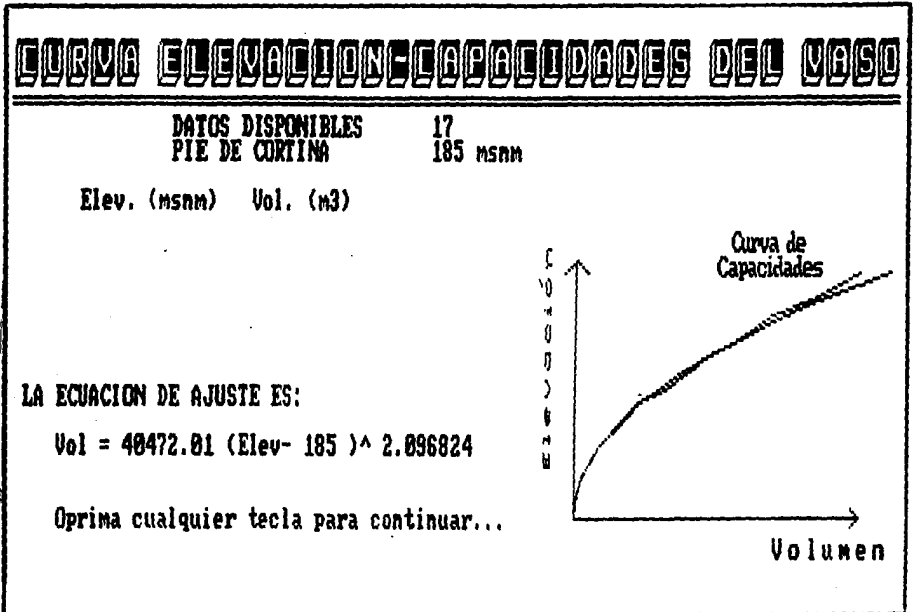
FIGURA 8



Atención: Al responder que son correctos los datos sin ser cierto, se tiene que capturar de nuevo todos los pares de elevación y volumen.



FIGURA 9



Como se puede ver la curva del ajuste logaritmico tiene un buen nivel de aproximación con respecto a la curva anterior; en la izquierda se muestra la ecuación de ajuste.

Opción 3: Curva de capacidades del vaso  
con ecuación

Es necesario capturar los valores de K y N que  
resulten del ajuste logaritmico (figura 10):

$$K = 40472.01$$

$$N = 2.096824$$

El pie de cortina es 185 msnm.

FIGURA 10

# CURVA ELEVACION-CAPACIDADES DEL VASO

**CURVA DE CAPACIDADES CON ECUACION  
INTRODUZCA ELEVACION DEL PIE DE CORTINA (m.s.n.m) ? 185**

**LA ECUACION DE AJUSTE DEBE SER:**

$$Vol = k * (Elev - N.Pie C.)^N$$

Donde: Vol [m3] ; Elev [m.s.n.m.]

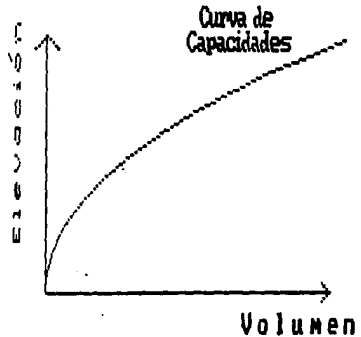
VALOR DE k ? 40472.01

VALOR DE N ? 2.096824

**LA ECUACION DE AJUSTE ES:**

$$Vol = 40472.01 (Elev - 185)^{2.096824}$$

Oprima cualquier tecla para continuar...



Para modificar un valor incorrecto, se tiene que regresar al Menú de Captura y volver a entrar a esta pantalla.

Opción 4: Datos del vertedor de excedencias

En esta opción se pregunta:

El nivel del pie de cresta: 255 msnm

La longitud del vertedor: 45 m

La elevación inicial, con la que comienza el tránsito, es la del nivel de la cresta (figura 11).

FIGURA 11

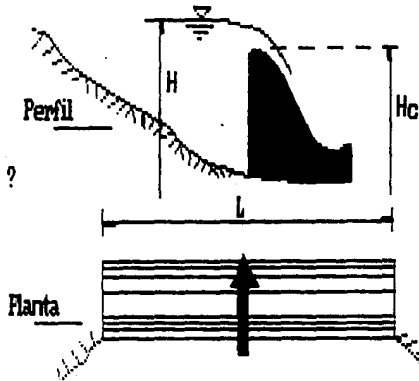
# DATOS DEL VERTEDEDOR DE EXPERIENCIAS 8

INTRODUZCA LA ELEVACION DE LA CRESTA Hc (msnm)? 255  
 INTRODUZCA LA LONGITUD DEL VERTEDEDOR L (m)? 45

Los datos capturados son:

Datos del Vertedor:

ELEVACION Cresta Hc = 255 m.s.n.m.  
 ELEVACION Inicial H = 255 m.s.n.m.  
 LONGITUD Vertedor L = 45 m



Correctos todos los datos (S/N) ?

Aquí se presenta el croquis en planta y perfil del vertedor tipo cimacio, cuya ecuación tiene como coeficiente de descarga  $2 \text{ m}^{3/2}/\text{s}$ .

Opción 5: Manejo de archivos



Después de introducir todos los elementos indispensables para realizar el tránsito de avenidas, se pueden salvar en un archivo (figura 12).

Lo anterior es útil en caso de repetir el tránsito con otra avenida o longitud de vertedor, pues existe la posibilidad de leer archivos (figura 13).

El proceso de captura de datos se simplifica cuando ya existe el archivo. Las pantallas correspondientes al Hidrograma de Entradas, la Curva de Capacidades del Vaso y los Datos del Vertedor de Excedencias son las que muestran las figuras 14, 15 y 16.

FIGURA 12

<i>Captura por Archivos</i>			
ARCHIVOS DE DATOS DISPONIBLES:			
BODO .DAT	CIEPS .DAT	PROYECT .DAT	PRUEBA .DAT
PRUEBA2 .DAT	PRUEBA3 .DAT	PRUEBA4 .DAT	PRUEBA5 .DAT
TORTUGAS.DAT	TESIS .DAT		
<b>NOMBRE DEL ARCHIVO A CARGAR. (nombre.dat) (*=FIND? TESIS.DAT)</b>			

El nombre del archivo no debe exceder 5 caracteres y lleva la extensión ".DAT".

FIGURA 13

<i>Captura por Archivos</i>			
ARCHIVOS DE DATOS EXISTENTES:			
BUDO .DAT	CIEPS .DAT	PROYECTO.DAT	PROYECT .DAT
PRUEBA .DAT	PRUEBA2 .DAT	PRUEBA3 .DAT	PRUEBA4 .DAT
PRUEBAS .DAT	TORTUGAS.DAT		
NOMBRE DEL ARCHIVO POR SALVAR (nombre.dat) (*=FIN)? TESIS.DAT			

Con la tecla del asterisco (\*) se retorna al Menú de Captura.

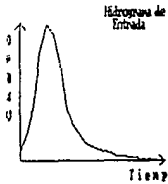


**CAPTURAS DEL HIDROGRAMA DE ENTRADA :**

YA EXISTE HIDROGRAMA DE ENTRADA CAPTURADO ?  
DESEA CAMBIAR HIDROGRAMA DE ENTRADA (S/N) ?

LOS DATOS EXISTENTES SON:

NUMERO DE DATOS	21
INCREMENTO TIEMPO	3688 s
CASTO MAXIMO	15800 m3/s



Hidrograma de Entrada

Y

4

3

2

1

0

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

Tiempo

**CURVA ELEVACION-CAPACIDADES DEL VERTEDOR :**

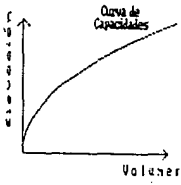
YA EXISTE VALOR EN LA CURVA DE CAPACIDADES ?  
DESEA CAMBIAR VALOR DE LA ECUACION (S/N) ?

LOS DATOS EXISTENTES SON:

NIVEL DE PIE DE CORTINA 185 msnm

Y LA ECUACION DE AJUSTE ES:

$Vol = 48472.81 (Elev - 185)^2 + 2.896824$



Curva de Capacidades

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

Elevación

**DATOS DEL VERTEDOR DE EXISTENCIAS :**

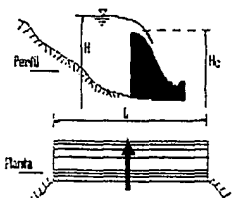
YA EXISTEN DATOS DEL VERTEDOR DE EXISTENCIAS ?  
DESEA CAMBIAR DATOS DEL VERTEDOR (S/N) ?

LOS DATOS EXISTENTES SON:

ELEVACION Cresta  $H_c = 255$  m.s.n.m.

ELEVACION Inicial  $H = 255$  m.s.n.m.

LONGITUD Vertedor  $L = 45$  m



Datos del Vertedor:

Perfil

Planta

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

Si se desea hacer cambios se oprimir la tecla "S" y proceder como en los otros apartados.

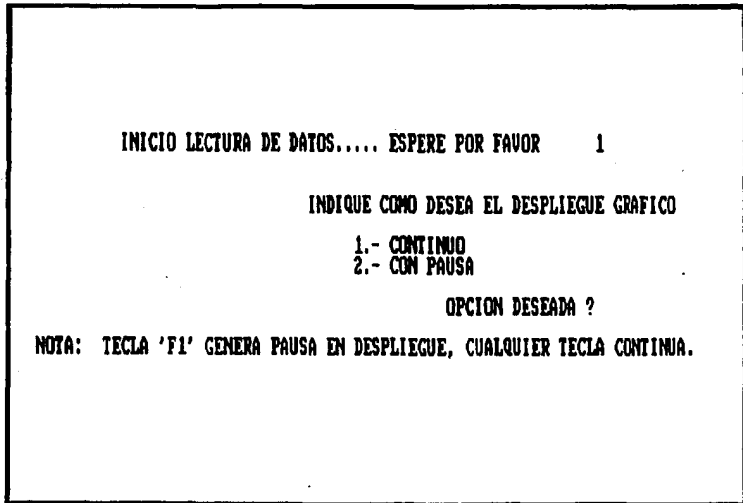
Opción 6: Inicio de cálculo

El despliegue gráfico de los resultados puede hacerse de dos formas: continuo, cuando se quiere obtenerlos rápidamente; o con pausa de 3 a 4 segundos para captar el fenómeno con detenimiento (figura 17).

En un croquis del vaso una línea horizontal representa los niveles toma el embalse; también se registra el caudal que entra y sale de él cada intervalo de tiempo (figura 18).

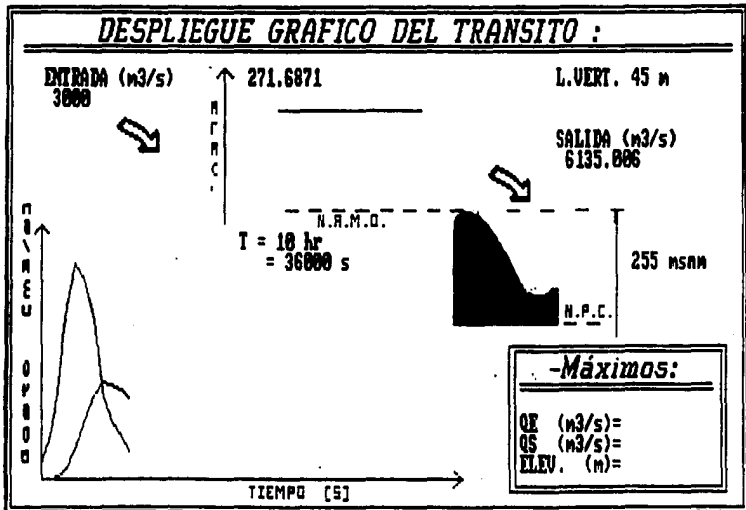
Al final se resumen en una tabla los valores máximos de los gastos de entrada y salida, así como de la altura del almacenamiento en el vaso (figura 19).

FIGURA 17



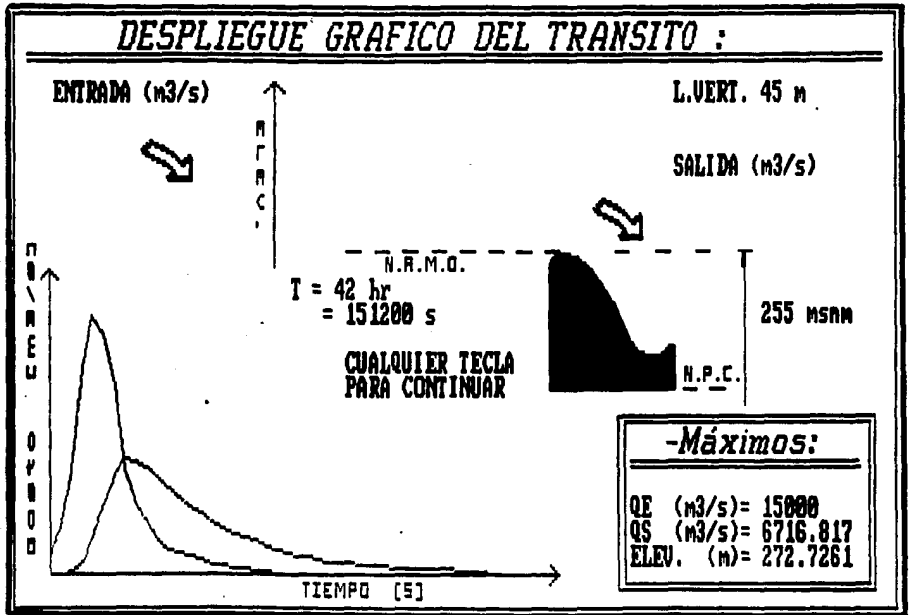
Antes de elegir el tipo de despliegue hay unos segundos de espera.

FIGURA 18



Para interrumpir el despliegue se oprime la tecla F1 o PAUSE o simultaneamente CTRL-NUMLOCK, depende del teclado de la microcomputadora que se utilece; con presionar cualquier tecla se reactiva el proceso.

FIGURA 19

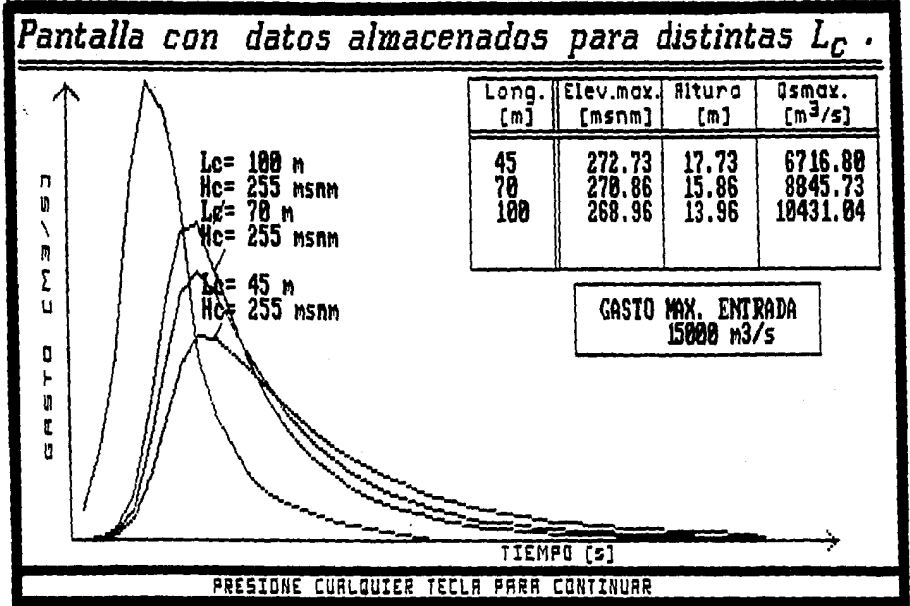


Al finalizar el tránsito se completan los hidrogramas de entrada y salida, y el cuadro de valores máximos.

### **Pantalla con datos almacenados para distintas longitudes**

El objetivo principal del tránsito de avenidas es diseñar las dimensiones del vertedor, por lo cual esta pantalla es importante, pues hace posible la comparación entre elevaciones del embalse, y gastos máximos de salida. Así, se puede establecer la longitud más adecuada para las características de la presa en cuestión (figura 20).

FIGURA 20



Se pueden almacenar los resultados hasta de 4 transitos para distintas longitudes de cresta.

En el momento de cometer un error no previsto dentro del programa, la secuencia se bloquea y es necesario pulsar una tecla. Si no se recupera entonces se debe introducir el comando GOTO 170, y presionar Enter o Return. Los datos ya capturados no se pierden, a menos que el error sea grave.

Para cancelar la ejecución de cualquier mandato se presiona "F2". También es posible imprimir las pantallas del paquete, esto se hace oprimiendo simultáneamente "Shift" y "Print-Screen".

La salida del paquete se efectúa al seleccionar la opción 7. Para volver a utilizar el paquete:

1. Si es en disco duro C:>SIMTRANS.
2. Si es en disco flexible pero no se ha apagado la máquina C:>BASICA SIMULA.



APENDICE A:  
AJUSTE DE MINIMOS CUADRADOS

El método de los Mínimos Cuadrados es un algoritmo que se utiliza para aproximar una función difícil de evaluar o que se conoce por unos cuantos valores finitos, a otra más sencilla y susceptible de evaluar en cualquier punto.

Esta parte de establecer que el grado de aproximación del polinomio  $P_m(x)$ , sea tal, que la máxima magnitud de la diferencia:

$$f(x_i) - P_m(x_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$
$$m < n$$

donde  $f(x_i)$ , es la función que se desea ajustar, resulte la más pequeña posible.

Cuando se tienen valores puntuales de una función  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , para cada  $x_i$  se tiene una diferencia entre  $y(x)$  y la curva de ajuste, a esta diferencia "D" se le llama desviación o error. Una medida de la calidad del ajuste es que la suma de los cuadrados de las diferencias  $D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2$  sea pequeño.

Mediante los mínimos cuadrados se estima la función  $P_m(x)$ , de tal manera que para una muestra de tamaño "n" se minimice esta suma:

$$ED^2 = E[Y_i - P_m(x_i)]^2 \dots 1$$

La ecuación de la curva de elevaciones-capacidades de un vaso es:

$$V = KH^N \dots 2$$

Esta se puede transformar a una ecuación lineal por medio de logaritmos:

$$\log V = \log K + N \log H \dots 3$$

Si la ecuación es  $y(x) = a + bx$ , en este caso:

$$a = \log K$$

$$b = N$$

El ajuste de una línea recta se lleva a cabo fácilmente, como a continuación se explica:

$$\text{Tenemos } y(x) = a + bx \dots 4$$

Para encontrar los coeficientes  $a$  y  $b$  que minimicen la expresión 1, se valua 4 en  $x = x_1$ , y se sustituye en aquella:

$$ED^2 = G = E[y_1 - (a + bx_1)]^2$$

Derivando parcialmente con respecto a los parámetros  $a$  y  $b$ :

$$dG/da = -2 E (y_1 - a - bx_1)$$

$$dG/db = -2 E (y_1 - a - bx_1)x_1$$

Iguando a cero, para encontrar que valores de  $a$  y  $b$  minimizan  $G$ , y simplificando:

$$E y = a + b E x$$

$$E yx = a E x + b E x^2$$

que es un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, al resolverlo obtenemos:

$$a = E y + (E y E x - E y x / (E x^2 - (E x)^2)) E x$$

$$b = E y x - E y E x / (E x^2 - (E x)^2)$$

Los coeficientes de ajuste de la ecuación 3 serían:  $N$  y  $\log K$ .

Esto es,  $K = \text{antilog}(a)$  y  $N = b$ .

APENDICE B:  
METODO DE EULER

El método de Euler permite resolver ecuaciones diferenciales de primer orden con condiciones iniciales:

$$\begin{aligned} dy/dx &= f(x,y) \quad \dots 1 \\ y(x_0) &= y_0 \end{aligned}$$

Integrandola entre  $x_0$  y  $x_1$ :

$$\int_{x_0}^{x_1} dy/dx = y(x_1) - y(x_0)$$

Despejando:

$$y(x_1) = y_0 + \int_{x_0}^{x_1} f(x,y) dx$$

La función  $f(x,y)$  debe variar muy poco en el intervalo  $x_0 \leq x \leq x_1$ , pues el incremento de  $x$  es pequeño. Por lo tanto, se puede decir que  $f(x,y) = f(x_0,y_0)$ .

$$y(x_1) = y_0 + \int_{x_0}^{x_1} f(x_0, y_0) dx$$

$$y(x_1) = y_0 + f(x_0, y_0)(x_1 - x_0)$$

Sustituyendo  $(x_1 - x_0)$  por  $h$  :

$$y(x_1) = y_0 + f(x_0, y_0)h$$

En general:

$$y(x_{n+1}) = y_n + f(x_n, y_n)h \quad \dots 2$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Gráficamente, el método se basa en lo siguiente: la pendiente de la tangente a la curva que pasa por el punto  $(x_0, y_0)$  está dada por la función  $f(x_0, y_0)$  según la ecuación 1; si con esta función se traza la tangente y sobre ella se avanza una pequeña distancia  $(h)$ , se obtiene un nuevo punto  $(x_1, y_1)$ , donde  $x_1 = x_0 + h$ . El proceso se repite comenzando en  $(x_1, y_1)$ , así sucesivamente hasta  $(x_n, y_n)$ ; el resultado es una línea poligonal, misma que tendrá un mayor grado de aproximación a la solución exacta en la medida que el incremento de la variable  $x$  sea más pequeño.

El método de Euler se aplica a la ecuación de continuidad como se muestra enseguida:

La ecuación de continuidad es  $dV/dt = I - O \dots 3$

también  $dV/dt = (dV/dH)(dH/dt) \dots 4$

El volumen que se almacena en el vaso está dado por la ecuación de ajuste de la curva de capacidades:

$$V = KH^N$$

Entonces:

$$dV/dH = NKH^{(N-1)}$$

Sustituyendo en 4:

$$dV/dt = dH/dt(NKH^{(N-1)})$$

Esta llevada a la ecuación de continuidad :

$$dH/dt(NKH^{(N-1)}) = I - O$$

Despejando,

$$dH/dt = I - O / NKH^{(N-1)}$$

De acuerdo a la ecuación general del método de Euler:

$$H_{n+1} = H_n + \left[ I - O / NKH_n \right]^{(N-1)} t$$

El gasto de salida se puede calcular con la fórmula general de vertedores:

$$O = CL(H_n - H_c)^{3/2}$$

Por lo tanto,

$$H_{n+1} = H_n + \left[ I - CL(H_n - H_c)^{3/2} / NKH_n \right]^{(N-1)} t$$

el tránsito debe comenzar al menos con el nivel de agua en la cresta, es decir,  $H_o > H_c$ .

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES

En el Capitulo II se expusieron los objetivos del simulador: lograr la mejor comprensión, cualitativa y cuantitativa, del Tránsito de Avenidas. Este trabajo, junto con opiniones de algunos alumnos, permitió evaluar el funcionamiento del paquete.

En lo referente al aspecto cualitativo, se comprenden los conceptos del fenómeno porque al manejar por separado sus componentes (en la parte de captura), y después integrarlos (en el despliegue gráfico), hace posible entender sus características particulares y cómo se relacionan entre sí.

Los resultados (opción 6) muestran de inmediato los cambios cuantitativos que se producen cuando hay modificaciones en la longitud de la obra de excedencias, el volumen de la descarga varía y distintos son los efectos en las elevaciones del embalse.

El proyecto se vincula con el plan de desarrollo de la Facultad porque:

- ||| proporciona recursos para atender la demanda de servicios de apoyo al aprendizaje.



||| responde a la necesidad de introducir al proceso de enseñanza-aprendizaje las técnicas modernas de computación.

Los trabajos que pueden darle continuidad al tema son el desarrollo de simuladores con su respectiva documentación, tales como:

Simulación del Funcionamiento de Vaso.

Simulación de Pozos de Oscilación.

Simulación de Flujo Variado.

Simulación del Golpe de Ariete.

Con el fin de difundir este y futuros materiales es necesario contar con el equipo (microcomputadoras) suficiente para ello, pues todavía es escaso. Otra medida para lograr lo anterior, es el establecimiento de una biblioteca, la cual tenga el servicio de préstamo para que los paquetes puedan utilizarse en máquinas de otras áreas de la Facultad. A mediano plazo, sería ideal crear un taller de enseñanza asistida por computadora, de la División de Ingeniería Civil, con paquetes cuyo contenido no se restrinja a la Hidráulica.

## B I B L I O G R A F I A :

- 1.-Brice Carnahan, H.A. Luther, James O. Wilkes,  
"Applied Numerical Methods", Wiley, EUA.
- 2.-C.F.E. "Manual de diseño de Obras Civiles", Sección  
A, Hidrotecnia, Decciones A.1.8 y A.1.10, México  
1980.
- 3.-Fuente Florencia Ma. Concepción, "Ecuaciones  
Diferenciales", Limusa, México 1979.
- 4.-León Luis, Ponencia "Enseñanza Asistida Por  
Computadora", X Congreso Nacional de Hidráulica,  
México 1988.
- 5.-Linsey, Kohler y Paulus, " Hidrologia para  
Ingenieros", Mc Graw Hill, 2da edición, México 1985.
- 6.-Luthe, Olivera, Shulz, "Métodos Números", Limusa,  
México 1978.
- 7.-Reséndiz Daniel, "Plan para atender problemas  
prioritarios de la Facultad de Ingeniería"  
(proyecto), México 1988.

- 8.-Soteio A.G., "Hidráulica General", vol. I, Limusa, México 1976.
- 9.-S.L. Ross, "Introducción a las ecuaciones diferenciales", Interamericana, 3ra edición, México 1982.
- 10.-Springal, "Hidrología", Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., México 1970.