

198
209



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO HIDRAULICO PARA LA REHABILITACION
DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO, D. F.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

ANA MARTHA VASCONCELOS FLORES



MEXICO, D. F.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1991



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.

INDICE

	pág
1. INTRODUCCION	1
2. INFORMACION DISPONIBLE	4
2.1 INFORMACION RECOPIADA	5
2.2 VISITA AL LUGAR DE ESTUDIO	6
3. MODELO MATEMATICO DE SIMULACION EN CANALES CON FLUJO TRANSITORIO	9
3.1 PLANTEAMIENTO	10
3.2 METODO DE ELIMINACION DE GAUSS	14
3.3 INSTRUCTIVO DE OPERACION	15
4. ANALISIS DE HUNDIMIENTOS	21
4.1 NIVELACIONES REALIZADAS	22
4.2 PROCESAMIENTO DE LAS NIVELACIONES	22
4.3 HUNDIMIENTOS REGISTRADOS	23
4.4 SELECCION DE SECCIONES Y AJUSTE POR HUNDIMIENTOS	23
5. FUNCIONAMIENTO EN EPOCA DE ESTIAJE	29
5.1 APORTACIONES FACTIBLES	30
5.2 ZONA ORIENTE	30
5.2.1 Alternativas estudiadas	30
5.2.2 Gráficas y Perfiles	31
5.2.3 Comentarios	31
5.3 ZONA TURISTICA	32
5.3.1 Alternativas analizadas	32
5.3.2 Gráficas y Perfiles	33
5.3.3 Comentarios	33
5.4 ZONA NORTE	34
5.4.1 Simulaciones analizadas	34
5.4.2 Gráficas y Perfiles	34
5.4.3 Comentarios	34

5.5 EVAPORACION	34
5.6 INFILTRACION	35
5.7 USO CONSUNTIVO	36
6. ANALISIS EN EPOCA DE LLUVIAS	46
6.1 ESCURRIMIENTOS PLUVIALES	46
6.2 ZONA ORIENTE	47
6.2.1 Simulaciones efectuadas	47
6.2.2 Tablas, Gráficas y Perfiles	48
6.2.3 Comentarios	48
6.3 ZONA TURISTICA	49
6.3.1 Alternativas estudiadas	49
6.3.2 Tablas y Gráficas	49
6.3.3 Comentarios	50
6.4 ZONA NORTE	50
6.4.1 Alternativas analizadas	50
6.4.2 Tablas, Gráficas y Perfiles	51
6.4.3 Comentarios	51
6.5 AJUSTES POR ALMACENAJE	51
7. OBRAS PROPUESTAS	66
7.1 FUNCIONAMIENTO GENERAL	67
7.2 ZONA ORIENTE	67
7.3 ZONA TURISTICA	68
7.4 ZONA NORTE	68
7.5 ENTREGA DE AGUA TRATADA	69
7.6 LAGUNA DE SAN GREGORIO	69
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS	78
PLANOS	79

1. INTRODUCCION

Xochimilco se deriva de Xochilt y Milly que significa "Sementera de Flores", conocido también como los "Sembradíos de Flores". Xochimilco surgió a finales del siglo XII, representado por un pequeño poblado ubicado en el Sur del Valle de México, los nativos de ese lugar dependían principalmente del antiguo Lago de Xochimilco, de donde obtenían productos animales y vegetales para su consumo. Se les atribuye además, la construcción de las primeras chinampas y la calzada de Quoyucan Tenochtitlán.

El lago de Xochimilco, ahora formado por un sistema de canales, localizado al Sureste del Distrito Federal, en la Delegación del mismo nombre, representa un Patrimonio Ecológico, que se debe perdurar y rescatar de la problemática que le afecta actualmente.

Hoy día, la falta de recarga del manto acuífero provoca una insuficiente aportación de agua para mantener los niveles o tirantes hidráulicos en los canales durante la época de estiaje y en la temporada de lluvias, existen inundaciones debido a que se han venido presentando hundimientos por la extracción de agua de los pozos en la zona, que en algunas áreas son bastante considerables, pues ocasionan inundaciones en las chinampas, perdiéndose con ello tierra de cultivo.

Dado que la red de canales de Xochimilco es muy grande, para mayor facilidad del estudio, se dividió en tres zonas: la primera corresponde a la Turística, en la parte Sur separada del resto de los canales por los bordos de Galtongo y Xilopa, estructuras vertedoras que descargan hacia la parte Norte. La segunda, localizada hacia el Oriente, desde el Canal Galtongo hasta el Puente Urrutia y el vertedor, que también descarga en la zona Norte en el inicio del Canal Apatlaco, y la tercera, la zona de Chinampas, situada al Norte, formada por el resto de los canales (plano 1).

En la época de estiaje, la zona Turística se alimenta con agua proveniente de la presa San Lucas, y de los pozos SL 14 y SL 15, ubicados al Oriente del sistema de canales; las zonas Oriente y Norte tienen aportaciones de agua de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella; ésta es entregada en el Canal Galtongo, pero no alcanza a llegar a la zona Norte ya que es una de las que presenta mayores hundimientos, toda esa región se encuentra inundada, no alcanzándose a distinguir los canales.

Otra problemática que afecta a los canales de Xochimilco, en las zonas Norte y Oriente, en la época de estiaje, aparte de que no hay nivel de agua suficiente para el paso de trajineras, es la existencia abundante del lirio.

En la temporada de lluvias, la zona Turística vierte sus excedencias hacia la zona Norte, que tiene cotas topográficas más bajas, ocasionando inundaciones en las chinampas, por lo que el agua tiene que salir por el Canal de Chalco o hacia el Canal Nacional.

Con ayuda de un modelo matemático, que simula el comportamiento hidráulico, se analizó el sistema de canales, en cada una de las tres zonas durante la época de lluvias y en la de estiaje, obteniendo con ello los datos de niveles de agua, velocidades y gastos en los canales. También se hizo un estudio para conocer cómo fué el comportamiento de los hundimientos en los años posteriores al levantamiento topográfico de detalle en los canales; se contó para ello con información proporcionada por el Departamento del Distrito Federal (D.D.F.).

Los alcances que se presentan en este trabajo se estudiaron para una solución inmediata en la rehabilitación de los canales de Xochimilco y, a largo plazo, una respuesta a los problemas que puedan presentarse en un futuro.

Por dichas razones se analizan algunas posibilidades para mantener el nivel de agua en el sistema de canales, de tal manera que en la época de estiaje se tengan los niveles adecuados para el uso de trajineras, aprovechando el caudal entregado por la Planta del Cerro de la Estrella, y en la época de avenidas sea factible controlar los excedentes dirigiéndolos hacia zonas donde se puedan eliminar sin problemas de inundaciones.

2. INFORMACION DISPONIBLE

Era necesario para la realización del presente estudio, recopilar toda la información disponible de la problemática del sistema de canales de Xochimilco, así como la información topográfica de años anteriores y la más reciente hasta 1989 con que cuenta la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H.).

Se realizó una visita al lugar con el objeto de ampliar la información de la zona en estudio, y con ello detectar algunos problemas y detalles que no se pueden conocer en los informes y planos.

A continuación se presenta la relación de estudios, proyectos y planos recabados y comentarios a la visita realizada.

2.1 INFORMACION RECOPIADA.

Gran parte de la información usada en este estudio, fué tomada de el "Estudio del Sistema de Drenaje Canal de Chalco, D. F.", realizado en el año de 1988.

a) Estudios y Proyectos

Análisis de Sistemas Regionales de Drenaje de la Cd. de México, Informe y Anexos 1 a 3 Diciembre de 1986.

Programa CANAL Manual del Usuario, Febrero de 1987.

Simulador del Funcionamiento Hidráulico del Sistema Lagunario de Xochimilco, Informe Final, Febrero de 1987.

Plan Hidráulico. Xochimilco, Informe y Planos, 1989.

b) Planos

Levantamiento Topográfico en el Sistema de Canales de Xochimilco. Plano general. Ubicación de los bancos de nivel. Escala 1:10 000. Diciembre de 1986

Sistema de Canales de Xochimilco. Plano general. Ubicación de los bancos de nivel. Escala 1:10 000. Septiembre de 1987.

Hundimiento en el periodo (1976-1985) debido a la extracción de agua.

Levantamiento Topográfico en el Sistema de Canales de Xochimilco. Planimetría. Altimetría. Plantas, Perfiles y Secciones. Canales del 1 al 657. Escala plantas 1:2 000, perfiles y secciones H 1:500, V 1:100. Marzo de 1987.

Delegación Xochimilco. Estructura de Control Canal Nacional y Canal de Cuemanco. Estructural. Planta y perfil. Escala 1:50. Marzo de 1988

Niveles de control en los Canales de Xochimilco. Delegación Xochimilco. Escala 1:10 000. DGOH. Noviembre de 1985.

Gráficas de niveles en diversas zonas de Xochimilco, de 1984 a 1988.

2.2 VISITA AL LUGAR DE ESTUDIO.

El objetivo de esta visita, fué conocer el área e identificar directamente en campo los lugares con mayores problemas; en resumen de todo el Sistema de Canales de Xochimilco se puede decir lo siguiente:

Se recorrieron los Canales principales, definiendo con ello los más importantes o con mayor tránsito de trajineras, estos se indican en el plano 1.

Se detectaron dos problemas importantes; el primero en el embarcadero de Nativitas, en la parte Sur de la zona Turística, el canal en forma de "U" de dicho embarcadero (Canal del 27), tiene que dragarse periódicamente debido a la falta de tirante necesario para el paso de las trajineras. Por otra parte, en la misma zona existe una área denominada "plantera", ubicada en la parte Oriente, pegada a la Avenida Nuevo León, en donde se tienen niveles altos de agua, que en época de lluvias sufre inundaciones.

Se observó que, la comunicación de la zona Turística con la Norte es a través de los bordos de Xilopa y Caltongo, ubicados en el cruce de la Av. Nuevo León como se muestra en el plano 1; dichos bordos están formados por

una estructura para el paso de las trajineras de una zona a otra y de una estructura vertedora en forma de ventana sin ningún control. Se señaló que por un lado las gentes del embarcadero de Nativitas tapan dicha salida para aumentar los niveles del agua en toda la zona, mientras que los habitantes del área plantera tratan de quitar los obstáculos en el vertedor para bajar los niveles y no sufrir inundaciones.

En la zona plantera existen dos tuberías, una de 0.20 y otra de 0.30 m de diámetro que atraviesan la Av. Nuevo León, para descargar a la zona Norte, pero definitivamente son insuficientes para una descarga considerable que varíe los niveles en la zona Turística y que además, parece que tiene obstrucciones por basura y la presencia de lirio.

El operador de la regleta de la zona indicó que la lectura más alta registrada fué la cota 37.30 m, en donde ya se tienen inundaciones en la parte plantera, y la más baja ha sido la 37.01 m en la época de estiaje, lo cual indica una variación de los niveles del agua de aproximadamente 30 cm en dicha zona.

Otro de los recorridos realizados fué partiendo de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras de Sn. Luis, donde se visitó una falla que se tiene seccionada en el Canal Sn. Luis, producida desde los sismos de 1985. A la altura del pueblo de San Gregorio Atlapulco, se recorrió el canal anterior observándose la limpieza del mismo y la falta de niveles de agua. Posteriormente se estuvo en el límite Poniente de esta zona que está definido por el puente Urrutia en el extremo del Canal Apatlaco donde se tiene un seccionamiento que impide la comunicación y en otro Canal existe otro puente que también está seccionado, pero en una margen cuenta con un vertedor que descarga hacia la zona Norte.

Se continuó el recorrido por el Canal del Bordo hasta la zona entre este Canal y el de Chalco, la cual está completamente inundada con las aguas tratadas, ya que como se verá en el capítulo 4 es donde se tiene los hundimientos mas grandes en los últimos años. Se observó en el tramo

recorrido del Canal del Bordo, que el nivel del agua dentro del canal estaba más arriba que el nivel en el área inundada, sin tenerse ningún rompimiento en el bordo, por lo que puede deberse a filtraciones en el mismo.

Se visitó el sitio de entrega del agua tratada de la Planta del Cerro de la Estrella, ubicado en el Canal Caltongo en su confluencia con el Canal de Chalco. El Canal Caltongo tiene una costalera aguas abajo de la descarga, para obligar al agua a irse hacia la zona Oriente de los Canales de Xochimilco. Aguas arriba y abajo de la unión del Caltongo en el Canal Chalco también existen costaleras, que se usan para manejar el agua tratada hacia la Laguna de los Reyes en la Delegación de Tiáhuac.

En el recorrido por la zona Norte, se observó que las chinampas se encuentran en niveles muy bajos, lo que ocasiona que ya no se siembre en ellas por estar expuestas a frecuentes inundaciones al igual que áreas de algunos barrios ribereños de Xochimilco.

Por el Canal Ampapilco se visitó la parte Norte de dicha zona, en donde en la mayoría de los casos los canales son estrechos y con lirio, teniéndose poco movimiento de trajineras. Dentro del barrio de Xochimilco, cerca del Canal Cuemanco, existe una serie de canales bastante angostos, con inferencia de mangueras para el abastecimiento de agua potable a las casas y grandes cantidades de basura y lirio; esta zona se ubica por el Canal la Santísima.

Del Canal Cuemanco se recorrió también parte de los canales que llevan al Canal de La Noria, en la zona de los embarcaderos de los clubes de regatas, área que se nota con el mejor mantenimiento del sistema de canales.

3. MODELO MATEMATICO DE SIMULACION EN CANALES CON FLUJO TRANSITORIO

En este capítulo se describe el contenido y funcionamiento del programa "CANAL", modelo matemático que se utilizó para la simulación hidráulica de los canales de Xochimilco. El programa fué hecho por los Doctores: Carlos Cruickshank y Moises Berezousky, investigadores del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Se presenta a continuación las bases del modelo y su implementación en un programa de computadora en lenguaje "FORTRAN"; posteriormente se da un instructivo de operación.

3.1 PLANTEAMIENTO

El programa CANAL es un modelo matemático que simula el tránsito de avenidas en canales irregulares o conductos prismáticos, dentro de un sistema de ellos que puede estar formado por interconexiones cerradas en forma de anillos, con derivaciones y con bifurcaciones; ésto implica el cálculo de las variaciones de nivel, de velocidad y gasto en cada uno de los tramos en los que se divide el sistema hidráulico para su análisis.

El programa resuelve las Ecuaciones de Continuidad e Impulso y Cantidad de Movimiento, basado en un esquema de diferencias finitas, para un escurrimiento no permanente a superficie libre; el flujo debe estar en régimen subcrítico para que pueda cumplir con los procedimientos de cálculo del programa, resulta indispensable entonces, revisar el comportamiento del flujo para utilizarlo en un caso concreto.

El esquema de cálculo del modelo es implícito por lo que tiene la ventaja de utilizar intervalos de integración mayores y con ello reducir el tiempo de cálculo.

La ecuación de Continuidad para un escurrimiento a superficie libre en una sola dimensión se puede escribir de la siguiente manera:

$$B \frac{\delta H}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = q \quad (1)$$

donde:

- B ancho de la superficie libre del agua, en m
- H elevación de la superficie libre del agua, en m, y además $H = z + y$.
- z cota del punto más bajo de la sección transversal, m
- y tirante, en m
- Q gasto o cuadal inicial, en m^3/s .

- q gasto lateral por metro de longitud del cauce, en $m^3/s\cdot m$.
- x coordenada en la dirección longitudinal del cauce en m.
- t tiempo en seg.

A su vez, la ecuación de Impulso y Cantidad de Movimiento para las mismas condiciones de flujo es:

$$\frac{\delta V}{\delta t} + V \frac{\delta V}{\delta x} + g \frac{\delta H}{\delta x} + g S_f = \frac{q}{A} (V_q - V) \quad (2)$$

donde:

- V velocidad media, en m/s.
- A área hidráulica en m^2 .
- S_f gradiente hidráulico (adimensional) = $(Vn/R_h^{2/3})$ según la fórmula de Manning.
- V_q velocidad en la dirección "x" del gasto lateral "q", en m/s. se considera nula en este modelo.
- g aceleración debida a la gravedad, en m/s^2 .
- R_h radio hidráulico en metros.

En la Ecuación de Impulso y Cantidad de Movimiento se supone que el fondo del canal no se modifica durante el análisis, lo que quiere decir que no existe arrastre de fondo durante el paso de una avenida. Se considera que existe la posibilidad de que se invierta el sentido de flujo durante el análisis, por ello en la ecuación de Manning, que se utiliza para el cálculo del gradiente hidráulico, se sustituye el cuadrado de la velocidad por el producto de ésta con la misma, pero en valor absoluto.

El esquema numérico que usa en la simulación hidráulica transitoria el programa CANAL es por medio de diferencias finitas con un método implícito, resuelto por el método de eliminación de Gauss.

Un punto importante en la aplicación del programa CANAL son las condiciones iniciales y de frontera; por lo cual a continuación se hacen algunas aclaraciones al respecto.

Las condiciones de frontera se pueden dividir en externas e internas; las primeras se refieren a las condiciones que se tienen en los extremos del sistema y se relacionan con una situación ajena al sistema mismo, como es el caso de un hidrograma en las secciones aguas arriba y un tirante constante en las secciones aguas abajo, también se pueden establecer estas condiciones cuando se desea introducir un gasto de agua constante o un hidrograma en forma lateral en algunos tramos del sistema. Las condiciones de frontera internas se refieren a las uniones y bifurcaciones de los canales.

Las condiciones iniciales son los niveles y velocidades para un instante t_0 , que son las condiciones que guarda el sistema hidráulico antes de la influencia de una avenida, situación que puede corresponder a un estado estático o a un régimen permanente.

Cuando el sistema se encuentra estático existen tirantes constantes y velocidades nulas. Si el sistema se encuentra en régimen permanente se tienen que definir los tirantes y las velocidades al ingreso de un gasto constante o gasto base del canal o río; estas condiciones se pueden obtener haciendo uso del mismo programa CANAL, en el cual se introducen los hidrogramas de gasto base en los tramos correspondientes y se simula el sistema durante un tiempo suficientemente largo para que las condiciones entre los intervalos de simulación no varien, en cuyo caso se han encontrado las condiciones del régimen permanente.

La principal condición que debe reunir el problema es que se trate de flujo en régimen subcrítico, como sucede en la mayoría de los casos reales en sistemas naturales de ríos, no así en los canales formados en estructuras hidráulicas artificiales.

Aún cuando el programa funciona correctamente cuando el tirante constante en una sección de frontera aguas abajo es el crítico, se recomienda evitar esta situación, dado que en el cálculo de cualquier perfil de agua en estas condiciones, se requiere que la distancia entre secciones sea lo más corta posible para lograr una precisión adecuada del perfil hidráulico.

Una de las limitaciones impuestas a los esquemas de simulación de este tipo es que deben cumplir con la condición de Courant, la cual implica que:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{|V| + (g y)^{0.5}}$$

donde x es la longitud del tramo más chico del sistema y el valor de "y" se debe tomar para los valores promedio de simulación.

En general se recomienda que un problema cualquiera no debe estar definido geoméricamente por menos de 10 tramos y que el intervalo de tiempo no debe exceder de 3 a 5 veces la relación dada por el miembro derecho de la ecuación anterior. Además de las condiciones anteriores, se recomienda cumplir con lo siguiente:

Si se desea exceder el intervalo de tiempo en más de 3 a 5 veces el valor de la relación dada por la ecuación, deben utilizarse más de 20 tramos; si no se quiere perder demasiada precisión, el intervalo de tiempo no debe ser mayor de 10 veces al calculado con la ecuación.

Para la formación de la red de canales de un sistema por simular se pueden numerar de cualquier forma siempre y cuando el número dado no sea mayor que el máximo señalado en la dimensión de las principales variables del programa. La numeración puede ser ascendente, descendente, salteada o corrida, pero se recomienda proporcionar al programa los tramos del sistema de aguas arriba hacia aguas abajo, hasta completar un río específico, y así con cada uno de los ríos que formen el

esquema por simular. Es importante señalar que el primer tramo aguas arriba tiene antecesor cero y el último tramo aguas abajo no tiene sucesor.

3.2 METODO DE ELIMINACION DE GAUSS

El procedimiento más cómodo para obtener las soluciones de un sistema de ecuaciones lineales es, tal vez, el conocido como Método de Gauss.

Este método consiste en la eliminación consecutiva de las incógnitas con el propósito de llegar a un sistema que tenga la forma "escalonada". En general se dice que una matriz está en forma escalonada si el número de ceros anteriores al primer elemento no nulo de cada renglón aumenta al pasar de un renglón al siguiente hasta llegar eventualmente a renglones cuyos elementos son todos nulos.

Para llevar a cabo dicha eliminación sin alterar las soluciones del sistema, se recurre a las transformaciones elementales, que consisten en :

- i) Intercambiar dos renglones.
- ii) Multiplicar un renglón por un número diferente de cero.
- iii) Multiplicar un renglón por un número y sumarlo a otro renglón, reemplazando este último por el resultado obtenido.

Si durante el proceso se obtiene una ecuación de la forma:

$$C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_n x_n = 0$$

$$\text{donde } C_1, C_2, \dots, C_n = 0$$

entonces se tiene la ecuación nula, esta se desecha puesto que cualquier conjunto de n valores es una solución de la misma.

Si durante el proceso se obtiene una ecuación de la forma:

$$C_1 x_1 + C_2 x_2 + \dots + C_n x_n = b; \text{ con } b \text{ diferente de } 0$$

$$\text{donde } C_1, C_2, \dots, C_n = 0$$

El sistema es incompatible, puesto que dicha ecuación no tiene solución; de otra manera para que el sistema sea compatible, al menos uno de los coeficientes C_1, C_2, \dots, C_n debe ser diferente de 0.

Si el sistema es compatible y al reducirlo a la forma escalonada se obtienen n ecuaciones no nulas, entonces el sistema es determinado y su solución se obtiene por sustitución sucesiva de los valores de las incógnitas, a partir de la última cuyo valor es inmediato.

Si el sistema es compatible y al reducirlo a la forma escalonada se obtienen $r < n$ ecuaciones no nulas, entonces el sistema es indeterminado y su solución general se obtiene dejando $n - r$ incógnitas libres (como parámetros) y expresando a las otras r incógnitas en función de estas.

3.3 INSTRUCTIVO DE OPERACION

El programa CANAL en lenguaje FORTRAN, está estructurado de un programa principal y siete subrutinas. El programa básicamente guarda su forma original de como fué hecho en el Instituto de Ingeniería, solo se han modificado algunas subrutinas, dado que su aplicación inicial fué en cauces naturales con llanuras de inundación; posteriormente se ha usado para redes de colectores (Programa TUAVE) y éste aplicado a sistemas de canales abiertos y cerrados. A continuación se indican cada una de las partes que forman dicho programa.

PROGRAMA PRINCIPAL. Este programa controla el proceso de simulación llevando a las iteraciones en el tiempo, llamando a las subrutinas y haciendo la impresión de resultados de la simulación transitoria.

SUBROUTINA DATA. Lee e imprime los datos de entrada del problema por resolver.

SUBROUTINA FACTO. Calcula los factores para el método implícito de cálculo y que son conocidos para el instante de cálculo según las Ecuaciones de Continuidad y Ley del Impulso y Cantidad de Movimiento. Llama a la subrutina SECNAT para el cálculo de las características geométricas de las secciones.

SUBROUTINA RIOS. Calcula los términos de las ecuaciones que no se generaron en FACTO y forma la matriz de coeficientes, con el vector de términos independientes correspondientes. Con la solución de ecuaciones que efectúa la subrutina HUECA, determina las velocidades para cada tramo.

SUBROUTINA HUECA. Soluciona el sistema de ecuaciones mediante el método de eliminación de Gauss.

SUBROUTINA SECNAT. Para cada sección de cálculo determina: área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico y ancho de la superficie libre, de acuerdo con el tirante resultante en cada intervalo y la geometría de la sección, definida en forma discreta.

SUBROUTINA INTER. Mediante una interpolación lineal, obtiene los factores (pendiente de una recta entre dos puntos conocidos) para generar el gasto de hidrogramas en un instante determinado.

SUBROUTINA INIT. Subrutina que inicializa las variables, dándoles valor cero.

Para facilidad de entendimiento del funcionamiento del programa a continuación se presenta el significado de las variables y sus unidades, así como la relación entre las variables de entrada y salida.

VARIABLES O DATOS DE ENTRADA.

Lee TIT(I), I=1,20
Formato 15X, 20A4
TIT(I) título o nombre de la simulación

Lee DELTP, TMAX
Formato 10F8.0
DELTP incremento de tiempo, en segundos
TMAX tiempo máximo de cálculo, en horas

Nota El intervalo de tiempo debe ser acorde con la separación entre secciones, según la expresión de Courant.

Lee NTOTR, NRIOS, NIMP, NGAS, IOP
Formato 16I5
NTOTR número total de tramos de ríos
NRIOS número de ríos o canales
NIMP frecuencia de impresión
NGAS número de tramos con hidrogramas laterales
IOP bandera para impresión de datos de entrada, si es 1 imprime

Nota En los tramos de unión o derivación no debe haber hidrogramas laterales

Lee N, KTIP(N), NTU(N), (NU(N,K), K=1,NTU(N))
Formato 16I5
N número del tramo
KTIP(N) tipo de elemento

- 1 elemento cualquiera
- 2 elemento con tirante constante
- 3 elemento inicial de derivación

NTU(N) número de tramos asociados 1 o 2
 NU(N,K) números de los asociados
 K-1 antecesor
 K-2 sucesor

Lee N, ZF(N), DX(N), NMAN(N), Y(N), V(N)

Formato 1615

N número del tramo
 ZF(N) cota del fondo al centro del tramo N
 en m
 DX(N) longitud del tramo N en m
 NMAN(N) coeficiente de rugosidad del tramo N
 Y(N) tirante inicial al centro del tramo en m
 V(N) velocidad inicial al principio del tramo
 N en m/s

Lee N, JO(N), ZF1(N)

Formato 2I4,4F10.0

N número del tramo
 JO(N) número de puntos de la sección
 transversal
 ZF1(N) cota del punto mas bajo de la sec. en m.

Lee (SX(J,N), SY(J,N), J-1,JO(N))

Formato (6(F6.0,F7.0))

SX(J,N) cadenamiento del punto J de la sección N
 en metros
 SY(J,N) elevación del punto J de la sección N en
 metros

Nota Si existen dos elevaciones consecutivas iguales, el programa marca error en la subrutina SECNAT, modificar una de ellas en 0.10 m.

Si hay hidrogramas de entrada al inicio de los ríos o canales

Lee NTS(I), NUMP(I)

Formato 16I5

NTS(I) tramo donde se tiene el hidrograma
NUMP(I) si KTIP=1 o 2 es el número de puntos del hidrograma de entrada
si KTIP=3 número del antecesor

Si hay hidrogramas de entrada al inicio de los ríos o canales

Lee (TPO(I,J), QAVEN(I,J), J=1, NUMP(I))

Formato 10F8.0

TPO(I,J) tiempos del hidrograma en hr

QAVEN(I,J) gasto del hidrograma en m³/s

Si hay hidrogramas de entrada lateral a tramos:

Lee NQ(I), NQP(I)

Formato 16I5

NQ(I) tramo donde entra el hidrograma lateral

NQP(I) número de puntos del hidrograma lateral

Nota Si el tramo es de unión o derivación no poner hidrograma lateral.

Lee (TQQ(I,J), QQA(I,J), J=1, NQP(I))

Formato 10F8.0

TQQ(I,J) tiempos del hidrograma en seg

QQA(I,J) gasto lateral por unidad de longitud en
 $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$

VARIABLES DE SALIDA O RESULTADOS.

Imprime N, Y(N), HR(N), V(N), AREA(N), Q

Formato 12X,17,5F12.3

N número del tramo

Y(N) tirante en metros

HR(N) nivel del agua en m

V(N) velocidad en m/s

AREA(N) área hidráulica en m^2

Q gasto de entrada al tramo en m^3/s

Imprime N, HRMAX(N), VMAX(N), QMAX(N), TMAXQ(N)

Formato 18,2X,4F10.3

N número del tramo

Para todo el tiempo de simulación:

HRMAX(N) nivel máximo del agua en m

VMAX(N) velocidad máxima en m/s

QMAX(N) gasto máximo en m^3/s

TMAXQ(N) tiempo en que se presenta el Qmax en hrs

En el siguiente capítulo se describe la aplicación y calibración del programa CANAL para los canales de Kochimilco, después del análisis correspondiente de los hundimientos.

4. ANALISIS DE HUNDIMIENTOS

En este capítulo se explica el procesamiento de la información topográfica de diferentes años, para la obtención de los hundimientos y con ellos observar el comportamiento de los canales y del área en estudio en conjunto

Posteriormente se muestra, la aplicación del ajuste por los hundimientos del modelo en los Canales de Xochimilco, así como la formación de los archivos de datos para los tres sistemas en los que se dividieron los canales.

4.1 NIVELACIONES REALIZADAS

Se contaba con la información de planimetría y altimetría de los levantamientos topográficos de los bancos de nivel del área en estudio, realizados en diciembre de 1986, octubre de 1987 y enero-febrero de 1989, por la Compañía ESTOMSA, información como ya se mencionó anteriormente, proporcionada por el D.D.F.

Durante la realización de los levantamientos topográficos se tuvieron que reponer algunos bancos de nivel que desaparecieron, estos se referenciaron al banco de nivel fijo Xochitepec M(S14E01)3 con una elevación de 2306.468 m.s.n.m. ubicado en la esquina SW del Tanque Xochitepec en la Delegación Xochimilco D.F.

4.2 PROCESAMIENTO DE LAS NIVELACIONES

Una vez que se contó con toda la información de las elevaciones de los distintos levantamientos topográficos se procesaron los datos como se indica a continuación:

Se consignó la información de las elevaciones de los bancos de nivel en un plano de la zona en estudio.(plano 2).

Se obtuvieron las diferencias entre elevaciones de distintos años.

Se trazaron las curvas de igual hundimiento para el caso de los hundimientos entre 1986-1987, 1987-1989 y 1986-1989.

En el caso de algunos bancos de nivel reemplazados, las diferencias encontradas eran confusas, por lo que se desecharon por falta de una diferencia correcta, es decir, la información que presentaban variaba mucho de la de los bancos de nivel existentes.

En las diferencias encontradas entre 1986-1987, se presentan hundimientos desde 0.10 m. hasta de 0.40 m. en la zona Oriente que son los hundimientos más grandes, en la zona Turística existen hundimientos desde 0.10 m. hasta 0.35 m. y en la zona Norte se presenta un hundimiento casi uniforme de 0.20 a 0.25 m.

En los hundimientos existentes entre 1987-1989, los hundimientos en la zona Oriente son desde 0.20 m. hasta 0.90 m., en la zona Turística de 0.20 m. a 0.55 m. y en la zona Norte de 0.35 m. a 0.50 m.

En los hundimientos de 1986 a 1989 (plano 2) que es una combinación de los dos anteriores, se puede observar en conjunto el comportamiento que ha tenido el suelo en este periodo. En la zona Oriente que es la que tiene mayores diferencias, las curvas presentan hundimientos que van desde 0.25 m. hasta 1.20 m., En la zona Turística los hundimientos están comprendidos entre los 0.30 m. y 0.90 m. y en la zona Norte el hundimiento es de 0.60 m. a 1.10 m., este hundimiento se encuentra en el límite con la zona Oriente.

Se puede observar que el mayor hundimiento registrado es en la cercanía del Canal de Chalco, disminuyendo hacia la parte Sur del área en estudio, en que se tienen suelos mas firmes. Es claro que el asentamiento del terreno en la zona es producto de la explotación del manto acuifero por los pozos profundos en operación a lo largo del Canal de Chalco.

Para la utilización del programa CANAL en el análisis del comportamiento de los canales de Xochimilco, se procedió a armar los tres sistemas en los que se dividió la zona en estudio.

Primeramente se analizó el coeficiente de rugosidad de la fórmula de Manning, el cual después de varias pruebas se tomó igual a 0.025, que es el

correspondiente a este tipo de canales formados en tierra, observándose que varía poco la pérdida de energía por fricción, debido a que trabajan en régimen subcrítico.

De cada uno de los sistemas formados, para la elaboración de los archivos de datos, se determinaron los canales principales para la simulación, debido a que existen canales muy angostos y de poca importancia, además de que por la forma en que esta dimensionado el programa no podían considerarse todas las secciones de las que se tenía información.

Las secciones que se tomaron para la utilización del programa Canal fueron aquellas de las que se conocía su altimetría de acuerdo al levantamiento de la Subdirección de Programación de 1986, posteriormente se adecuaron las secciones para registrar los hundimientos desde el primer levantamiento hasta la última información, tomando en cuenta para esto el análisis descrito al principio de este capítulo (plano 2).

Se ajustaron las secciones con los hundimientos registrados, superponiendo las secciones en el plano de curvas de isohundimiento para conocer su valor y restarlo de las cotas que formaban a todas las secciones. Los hundimientos obtenidos, así como las cotas de fondo antes y después del ajuste se presentan en la tablas 4.1, 4.2 y 4.3 para cada una de las zonas.

En la siguiente tabla se muestra como se armaron los sistemas en la zona Oriente, en la Turística y en la Norte, en el plano 3 se puede ver gráficamente la ubicación de canales y secciones

CANAL	ORIENTE	TURISTICA	NORTE
	S E C	C I O N	E S
1	1 a 17	1 a 17	1 a 14
2	18 a 40	40 a 43 y 18 a 31	15 a 20
3	41 a 44	32 a 34	21 a 26
4	45 y 47	35 a 39	27 y 28
5	48 a 51	44 a 49	29 a 31
6	52 a 55	50 a 52	32 a 43
7	56 y 57	53 y 54	44 a 48
8	58 a 63	55 y 56	49 a 60
9	64 a 66	57 a 60	61 y 62
10	67 a 69	61 y 62	63 y 64
11	70 a 73	63 y 64	65 y 66
12	-- --	65 y 66	67 a 69

TABLA 4.1
ZONA ORIENTE
HUNDIMIENTOS

SEC.	COTA ANTERIOR M	HUND. M	COTA AJUSTADA M	SEC.	COTA ANTERIOR M.	HUND. M.	COTA AJUSTADA M.
1	35.00	1.10	33.90	37	34.30	0.30	34.00
2	35.20	1.10	34.10	38	34.60	0.20	34.40
3	35.00	0.80	34.20	39	35.50	0.10	35.40
4	34.80	0.70	34.10	40	35.10	0.40	34.70
5	34.90	0.60	34.30	41	35.20	1.00	34.20
6	34.60	0.80	33.80	42	35.30	0.90	34.40
7	34.20	1.00	33.20	43	34.50	0.60	33.90
8	33.80	1.10	32.70	44	34.10	0.60	33.50
9	33.60	1.10	32.50	45	35.20	0.60	34.60
10	33.40	1.10	32.30	47	34.20	0.50	33.70
11	33.50	1.10	32.40	48	34.90	0.60	34.30
12	33.90	1.10	32.80	49	35.10	0.60	34.50
13	33.80	1.10	32.70	50	34.70	0.40	34.30
14	33.80	1.00	32.80	51	35.20	0.40	34.80
15	34.30	0.90	33.40	52	34.90	0.50	34.40
16	35.10	0.70	34.40	53	35.20	0.60	34.60
17	35.10	0.60	34.50	54	34.90	1.00	33.90
18	34.90	0.50	34.40	55	35.60	0.30	35.30
19	34.40	0.50	33.90	56	35.10	0.60	34.50
20	34.10	0.60	33.50	57	35.70	0.30	35.40
21	33.30	0.50	32.80	58	35.50	0.40	35.10
22	33.60	0.60	33.00	59	35.80	0.60	35.20
23	33.80	0.50	33.30	60	35.30	0.60	34.70
24	33.70	0.40	33.30	61	35.60	0.70	34.90
25	33.50	0.40	33.10	62	35.50	0.80	34.70
26	33.90	0.40	33.50	63	34.20	0.30	33.90
27	34.90	0.40	34.50	64	35.30	0.30	35.00
28	34.50	0.40	34.10	65	35.30	0.40	34.90
29	35.00	0.40	34.60	66	35.00	0.70	34.30
30	35.50	0.30	35.20	67	35.40	0.60	34.80
31	35.70	0.20	35.50	68	35.60	0.40	35.20
32	35.80	0.20	35.60	69	35.60	0.60	35.00
33	34.60	0.20	34.40	70	35.40	0.90	34.50
34	35.00	0.20	34.80	71	35.60	1.00	34.60
35	35.20	0.20	35.00	72	35.60	0.90	34.70
36	34.30	0.20	34.10				

TABLA 4.2
 ZONA TURISTICA
 HUNDIMIENTOS

SEC.	COTA ANTERIOR M	HUND. M	COTA AJUSTADA M	SEC.	COTA ANTERIOR M.	HUND. M.	COTA AJUSTADA M.
1	35.40	0.40	35.00	34	35.20	0.40	34.80
2	35.50	0.20	35.30	35	35.40	0.60	34.80
3	35.60	0.30	35.30	36	35.30	0.60	34.70
4	34.70	0.30	34.40	37	34.80	0.60	34.20
5	35.30	0.40	34.90	38	35.00	0.60	34.40
6	35.30	0.50	34.80	39	34.60	0.60	34.00
7	35.10	0.50	34.60	40	35.30	0.40	34.90
8	35.10	0.60	34.50	41	35.30	0.60	34.70
9	34.40	0.60	33.80	42	35.30	0.70	34.60
10	34.40	0.60	33.80	43	34.70	0.80	33.90
11	34.40	0.60	33.80	44	35.50	0.60	34.90
12	34.60	0.60	34.00	45	35.20	0.60	34.60
13	34.70	0.60	34.10	46	34.70	0.80	33.90
14	34.30	0.60	33.70	47	35.10	0.70	34.40
15	34.30	0.60	33.70	48	34.70	0.80	33.90
16	35.70	0.60	35.10	49	34.80	0.80	34.00
17	35.80	0.70	35.10	50	35.00	0.70	34.30
18	34.70	0.80	33.90	51	34.70	0.80	33.90
19	34.70	0.80	33.90	52	34.30	0.80	33.50
20	34.70	0.90	33.80	53	35.10	0.80	34.30
21	34.40	0.80	33.60	54	34.70	0.90	33.80
22	34.40	0.80	33.60	55	34.70	0.80	33.90
23	34.20	0.80	33.40	56	34.60	0.80	33.80
24	34.20	0.80	33.40	57	35.40	0.60	34.80
25	34.20	0.80	33.40	58	34.90	0.70	34.20
26	34.20	0.80	33.40	59	34.90	0.80	34.10
27	34.80	0.80	34.00	60	34.70	0.80	33.90
28	34.80	0.80	34.00	61	35.00	0.70	34.30
29	34.80	0.70	34.10	62	34.80	0.80	34.00
30	35.00	0.70	34.30	63	34.70	0.60	34.10
31	35.00	0.70	34.30	64	34.70	0.70	34.00
32	35.30	0.50	34.80	65	34.60	0.70	33.90
33	35.60	0.20	35.40	66	35.00	0.70	34.30

TABLA 4.3
ZONA NORTE
HUNDIMIENTOS

SEC.	COTA ANTERIOR M	HUND. M	COTA AJUSTADA M	SEC.	COTA ANTERIOR M.	HUND. M.	COTA AJUSTADA M.
1	34.40	0.80	33.60	36	33.80	0.70	33.10
2	34.60	0.90	33.70	37	33.50	0.60	32.90
3	34.20	0.80	33.40	38	33.50	0.60	32.90
4	34.10	0.70	33.40	39	33.40	0.60	32.80
5	35.00	0.60	34.40	40	33.30	0.60	32.70
6	34.00	0.60	33.40	41	33.80	0.60	33.20
7	33.70	0.60	33.10	42	33.70	0.60	33.10
8	33.10	0.60	32.50	43	34.00	0.60	33.40
9	33.10	0.60	32.50	44	35.20	0.60	34.60
10	33.20	0.60	32.60	45	33.80	0.60	33.20
11	33.10	0.60	32.50	46	33.70	0.60	33.10
12	33.40	0.60	32.80	47	33.90	0.50	33.40
13	33.50	0.60	32.90	48	33.90	0.50	33.40
14	34.70	0.60	34.10	49	33.50	0.90	32.60
15	34.40	0.90	33.50	50	34.60	0.90	33.70
16	34.30	0.90	33.40	51	34.40	0.90	33.50
17	34.10	0.80	33.30	52	33.90	0.80	33.10
18	34.20	0.70	33.50	53	33.70	0.80	32.90
19	34.90	0.60	34.30	54	33.50	0.70	32.80
20	34.90	0.60	34.30	55	33.50	0.70	32.80
21	34.40	0.60	33.80	56	34.10	0.60	33.50
22	34.20	0.60	33.60	57	35.70	0.50	35.20
23	34.00	0.70	33.30	58	34.20	0.50	33.70
24	34.10	0.70	33.40	59	34.40	0.60	33.80
25	34.10	0.70	33.40	60	34.10	0.60	33.50
26	34.20	0.70	33.50	61	34.60	0.70	33.90
27	34.40	0.70	33.70	62	34.60	0.70	33.90
28	34.00	0.70	33.30	63	34.10	0.60	33.50
29	33.80	0.70	33.10	64	34.10	0.60	33.50
30	33.90	0.70	33.20	65	34.10	0.70	33.40
31	34.10	0.70	33.40	66	34.30	0.60	33.70
32	34.50	0.80	33.70	67	34.30	0.90	33.40
33	34.00	0.80	33.20	68	34.20	0.90	33.30
34	33.70	0.80	32.90	69	34.10	0.90	33.20
35	33.80	0.70	33.10				

5. FUNCIONAMIENTO EN EPOCA DE ESTIAJE

En este capítulo se presentan y comentan los resultados de las simulaciones realizadas en los canales de Xochimilco para la época de estiaje, que son alimentados por el agua tratada de la Planta del Cerro de la Estrella (Zona Oriente) o pozos no usados para el agua potable (Zona Turística). El escaso volumen de alimentación de agua tratada en el Canal Caltongo, solamente se tiene en la Zona Oriente, que es afectada por la evaporación y por los hundimientos, que han hecho que se almacene en la parte Norte del sistema, denominada Laguna de San Gregorio, en donde no se le da ningún uso y al contrario es mayor la pérdida por evaporación. Esta situación aunada con los hundimientos de los canales en la parte Norte, hace que los canales

del Sur no tengan niveles adecuados y más aún, que a la Zona Norte no pase absolutamente nada de gasto, ni sea factible el bombeo a la Zona Turística en sustitución o ayuda de los pozos que la abastecen actualmente.

5.1 APORTACIONES FACTIBLES

Como se anotó anteriormente, la alimentación a los canales de Xochimilco es principalmente de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella, de donde por medio de una tubería se descarga al Canal Caltongo en la Zona Oriente. Se señala un caudal de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$, pero en el Plan Hidráulico Delegacional se indica entre 0.75 y $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$. Por la variación anterior, el análisis en estiaje se realizó para gastos de 0.25 , 0.50 , 0.75 y $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.2 ZONA ORIENTE

Para conocer el comportamiento de los canales de la Zona Oriente en estiaje, se efectuaron 24 simulaciones agrupadas en 6 alternativas, cada una para los 4 gastos de entrada anteriormente indicados. A continuación se describe cada una de ellas.

5.2.1 Alternativas estudiadas.

Alternativa 1. De la estructura de descarga en la sección 17 se tomó el nivel mayor con la que puede trabajar, resultando la elevación 36.45 m . Con este nivel y tomando esta sección como de salida, se alimentó el sistema con los gastos de análisis por la sección 18.

Alternativa 2. Semejante a la anterior pero ahora con el nivel más bajo en la descarga, cota 35.65 m .

Alternativas 3 y 4. Para las dos elevaciones extremas, 36.45 y 35.65 m , haciendo la alimentación ahora por la sección 40 en el extremo Poniente del sistema; sitio de donde se podría hacer la entrega del agua tratada

directamente hacia las tres zonas.

Alternativa 5. Aceptando la Laguna de San Gregorio y pensando que toda el agua tratada se fuera hacia ahí (salida en la sección 1), con un nivel a la cota 36.00 m para evitar el bombeo. En esta alternativa la alimentación vuelve a estar en la sección 18.

Alternativa 6. Simulación igual a la anterior, pero con el gasto de entrada en la sección 40.

5.2.2 Gráficas y Perfiles.

Con los resultados de las simulaciones anteriores, se formaron gráficas y perfiles para visualizar los resultados obtenidos. Primeramente se hicieron gráficas con el gasto de entrada al sistema en el eje horizontal y en el vertical el gasto en el tramo; las figuras 5.1 y 5.2 son una muestra del comportamiento de los resultados, estas gráficas pertenecen a la sección 4 del Canal 1, para las 6 alternativas; en la primera para las alternativas 1 a 4 y en la segunda para las alternativas 5 y 6, en donde el gasto en la sección es positivo si va en el sentido supuesto en la numeración de tramos y negativo si es al contrario.

Para los 11 canales del sistema se prepararon perfiles, en donde se incluyeron las cotas de fondo de las secciones y las de sus bordos; en ellas se representan los 3 niveles estudiados: 36.45, 35.65 y 36.00 m; un ejemplo para este tipo de gráficas es la figura 5.3 y 5.4 del canal 1 y 2 respectivamente.

5.2.3 Comentarios

De los perfiles se pudo observar que prácticamente no hay variación en los niveles del agua a lo largo de todos los canales, dado que los gastos son muy pequeños.

Por lo que se refiere a la distribución de gastos, en el canal 1 con la alimentación en la sección 40 (alternativas 3 y 4) el gasto es menor propiciando que exista mayor caudal en el resto de canales y no en éste, el cual por los hundimientos es el más bajo. Para el canal 2 se logra mayor gasto en donde existe mayor concentración de canales con la entrada del agua por la sección 40. Para el resto de los canales, salvo el 3 y 4 que por su cercanía con la entrega en Galtongo reducen sus caudales, también se tienen un incremento en sus gastos teniendo la entrada de agua por la sección 40.

Para las simulaciones a la elevación del agua a la cota 36.0 m (Alternativas 5 y 6), se nota mejor repartición de caudales en todos los canales con la alimentación al Suroeste (Sección 40) que en el Noreste (Sección 18) y aceptando que los excedentes salgan hacia la Laguna de San Gregorio por la sección 1.

5.3 ZONA TURISTICA

Para esta zona se efectuaron 12 simulaciones en 3 alternativas cada una para los 4 gastos de análisis y considerando la elevación 37.00 m que es la medida que se presenta en el sistema por el control de los vertedores de Galtongo y Xilopa.

5.3.1 Alternativas analizadas.

Alternativa 1. La entrada del agua es por la sección 1 que es por donde actualmente descargan los pozos y que podría ser la alimentación futura directa del agua tratada de la Planta del Cerro de la Estrella. Las salidas son por los vertedores actuales de Galtongo y Xilopa (secciones 17 y 31).

Alternativa 2. Con la misma forma de simulación de la alternativa 1, pero quitando los canales con mayor hundimiento que, de acuerdo al análisis hecho en el capítulo 4, en el plano 2 se pueden ver los canales que

presentan un mayor asentamiento. Las secciones que se cancelaron en esta corrida fueron: 18 a 25 y 42 a 56.

Alternativa 3. Semejante a la anterior pero quitándole un gasto de $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$ en la sección 49, que sería el caudal de alimentación para la zona más baja seccionada para evitar inundaciones. El gasto se obtuvo en forma aproximada con los tubos que descargan en dicha área hacia la Zona Norte; los tubos se ubican en la parte plantera en el sitio denominado La Curva.

5.3.2 Gráficas y Perfiles.

En forma semejante a la Zona Oriente, se prepararon gráficas de gastos de entrada al sistema contra los de cada sección y para las tres alternativas simuladas, una de estas gráficas se presenta en la figura 5.5. Por otra parte, para cada uno de los 12 canales del sistema se formaron sus perfiles con las cotas de fondo, de bordos y del nivel del agua, el perfil del Canal 1 es el mostrado en la fig. 5.6

5.3.3 Comentarios

Con el nivel del agua en la cota 37.0 m, se observan los tramos donde se desborda el agua, cuando se aumenta el nivel en los vertedores para que la Zona Turística tenga mayor tirante de agua para la navegación de las trajineras. Estos tramos son precisamente los que se quitaron en las alternativas 2 y 3, los cuales por efecto de los hundimientos han quedado más bajo que los otros propiciando la salida del agua a las chinampas.

Para las tres alternativas la distribución de gastos es semejante, siendo en los tramos de entrada mayor el caudal en las alternativas 2 y 3 por el seccionamiento del área hundida, pero para el caso de la última simulación se reduce el movimiento del agua en las cercanías de los vertedores por la extracción a la zona separada del resto de canales.

5.4 ZONA NORTE

5.4.1 Simulaciones analizadas

Para la Zona Norte se efectuaron simulaciones para los cuatro gastos de análisis, con la alimentación en la sección 1 (parte Oriente del Canal Apatlaco) y salida por la sección 14 hacia Canal Nacional. Se fijó como nivel del agua la cota 36.0 m.

5.4.2 Gráficas y Perfiles

Con los resultados de las simulaciones anteriores se hicieron las gráficas de comparación de gastos y perfiles que forman a esta zona; en las gráficas 5.7 y 5.8 se muestra un esquema representativo de los comportamientos de gastos y perfiles respectivamente.

5.4.3 Comentarios

Con el agua a la cota 36.0 m se presentan desbordamientos en algunos tramos de los canales 1, 6, 7, 8 y 12; que corresponden a zonas bajas que existían con anterioridad en la parte Noroeste y las que han producido los hundimientos en la zona Sureste.

Referente a la distribución de gastos, solo se plantea en algunos canales y como se tomaron para el análisis varios sentidos por la intercomunicación de toda la red de canales.

5.5 EVAPORACION

Para tomar en cuenta la evaporación del agua en los canales de Xochimilco se efectuaron los trabajos siguientes:

- i) Se recopiló la información mensual de la lámina de evaporación y precipitación en la zona durante 13 años,

obteniéndose los valores medios que se indican en la tabla 5.5.1.

- ii) Se calculó la evaporación efectiva, multiplicando la lámina del evaporímetro por el factor de ajuste (0.75).
- iii) La evaporación neta mensual se obtuvo de restar la precipitación de la evaporación efectiva tal como se muestra en la tabla 5.5.1. Cabe aclarar que los valores negativos corresponden a precipitación sobrante.
- iv) Para todos los canales del sistema y por zonas, se determinó el área expuesta a la evaporación para las elevaciones 36.0, 36.5 y 37.0 m, haciendo uso del archivo con que se cuenta de las secciones de todos los canales de levantamiento topográfico de 1987. Se obtuvieron áreas totales de 170, 243 y 317 ha respectivamente para las tres elevaciones.
- v) Para cada mes, zona en análisis y para las tres elevaciones se calcularon los volúmenes de evaporación mensual y se encontraron los gastos medios (ver tabla 5.5.1).
- vi) En las fig. 5.9, 5.10 y 5.11 se muestra para cada zona la variación mensual de los gastos de evaporación para las tres elevaciones. Los gastos negativos corresponden al exceso de precipitación sobre la evaporación en los meses lluviosos.

5.6 INFILTRACION

Las pérdidas por infiltración no se consideran porque de acuerdo al tipo de suelo de Xochimilco y tomando en cuenta que las chinampas se encuentran en un estado casi saturado, el gasto que se infiltra es muy pequeño y por lo tanto se puede evitar considerarlo.

Se necesita conocer el gasto que se aporta para la agricultura. La porción chinampera con explotación intensiva de cultivo es de aproximadamente 2300 ha. en la cual se cultiva maíz hortalizas y flores, de ésta área solo el 10 % requiere ser regada, el resto mantiene la humedad necesaria por medios naturales. Para este análisis se recurrió al método de Thornwaite, el cual calcula el uso consuntivo mensual como una función de las temperaturas medias mensuales mediante la fórmula:

$$U_j = 1.6 \left[\frac{10 T_j}{I} \right]$$

donde:

U_j uso consuntivo en el mes j , en cm.

T_j Temperatura media en el mes j en °C.

a, I constantes.

la constante I se calcula como sigue:

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

donde:

$$i_j = \left[\frac{T_j}{5} \right]^{1.514}$$

y j es el número de mes

Los resultados de este análisis se muestran en la siguiente tabla:

MES	TEMP	i	U _j
ene	11.8	3.669	3.775
feb	12.7	4.101	4.261
mar	15.8	5.709	5.949
abr	17.4	6.606	6.926
may	18.3	7.130	7.499
jun	18.2	7.071	7.435
jul	17.7	6.779	7.115
ago	17.8	6.837	7.179
sep	17.6	6.721	7.052
oct	15.8	5.709	5.949
nov	13.4	4.448	4.588
dic	12.3	3.907	4.009

$$I = 68.690 \quad 71.674$$

$$\text{Área} = 230 \text{ ha}; \text{V}_{\text{anual}} = 1648490 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{cul}} = 0.052 \text{ m}^3/\text{s}$$

De este resultado se puede concluir, que solo es necesario, según los valores de la tabla 5.5.1, considerar los gastos de evaporación en cada zona, de acuerdo a la elevación del agua, como mínimo para mantener los niveles en los canales, ya que los gastos por infiltración y riego son muy pequeños y pueden despreciarse.

FIG. 5.1 COMPARACION DE GASTOS
SECCION 4 ZONA ORIENTE

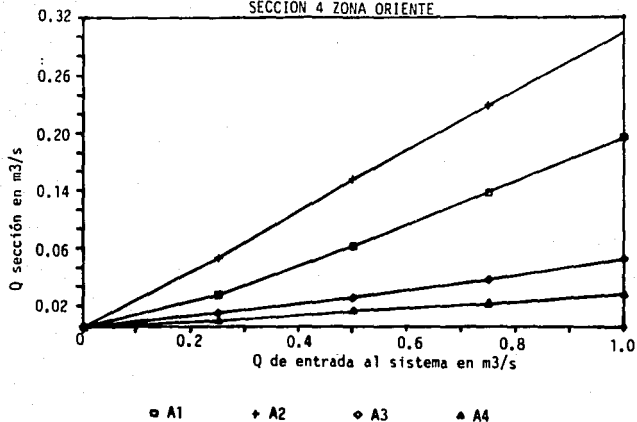


FIG. 5.2 COMPARACION DE GASTOS
SECCION 4 ZONA ORIENTE

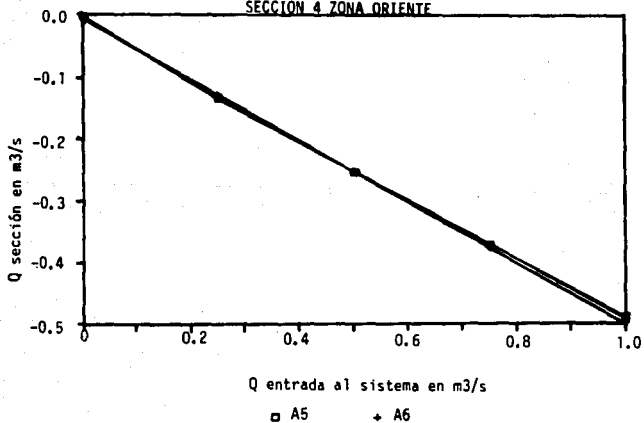
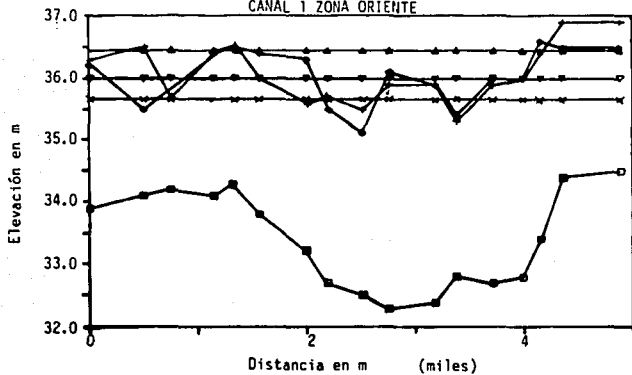
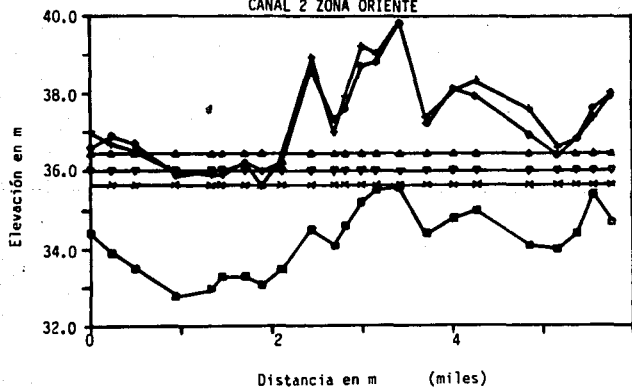


FIG.5.3 PERFILES A GASTO CONSTANTE
CANAL 1 ZONA ORIENTE



fondo + bd o b1 ▲ 36.45 × 35.65 ▼ 36.0

FIG. 5.4 PERFILES A GASTO CONSTANTE
CANAL 2 ZONA ORIENTE



fondo + bd o b1 ▲ 36.45 × 35.65 ▼ 36.0

FIG. 5.5 COMPARACION DE GASTOS
SECCION 7 ZONA TURISTICA

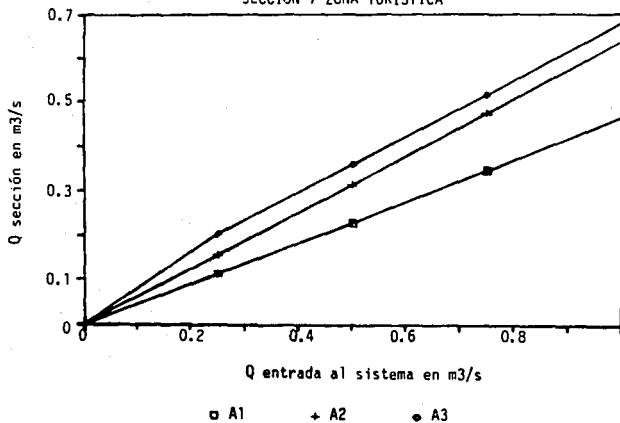


FIG. 5.6 PERFILES A GASTO CONSTANTE
CANAL 1 ZONA TURISTICA

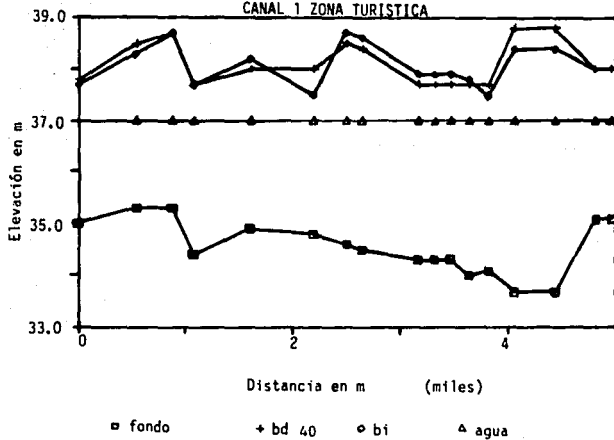


FIG. 5.7 COMPARACION DE GASTOS
CANAL 1 ZONA NORTE

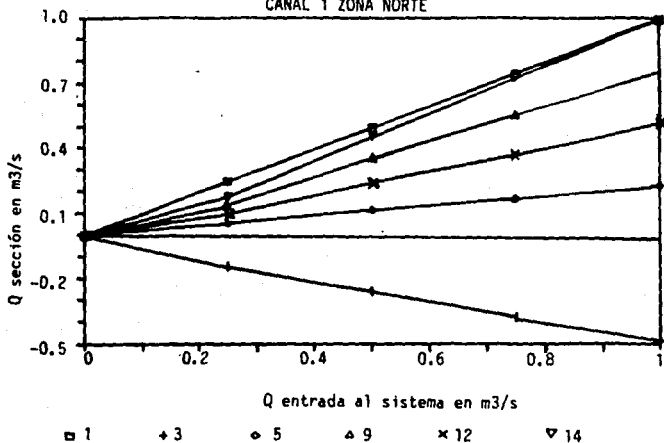


FIG. 5.8 PERFILES A GASTO CONSTANTE
CANAL 1 ZONA NORTE

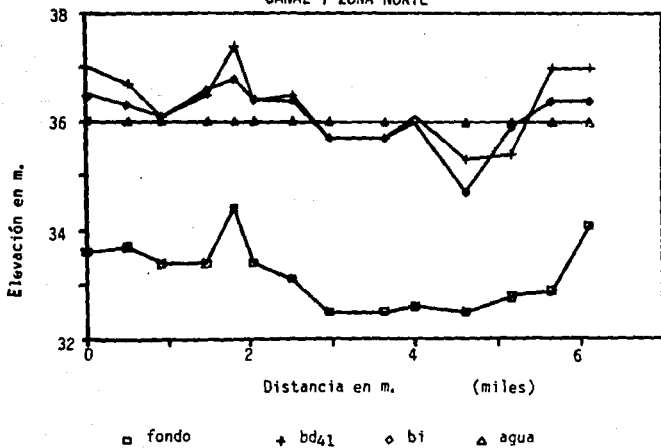


FIG. 5.9 GASTOS DE EVAPORACION MENSUAL

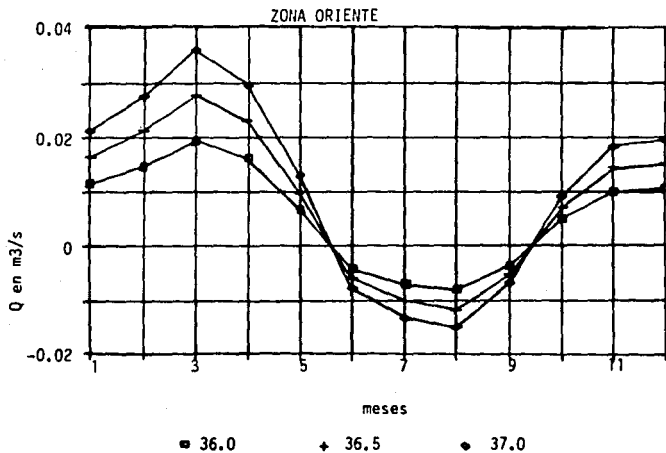


FIG. 5.10 GASTOS DE EVAPORACION MENSUAL

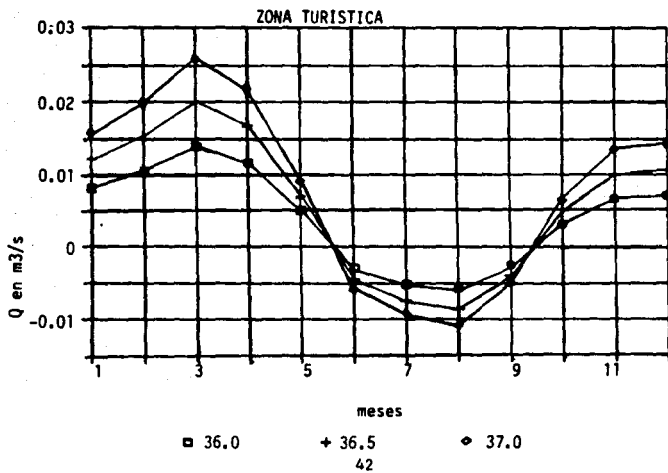


FIG. 5.11 GSATOS DE EVAPORACION MENSUAL
ZONA NORTE

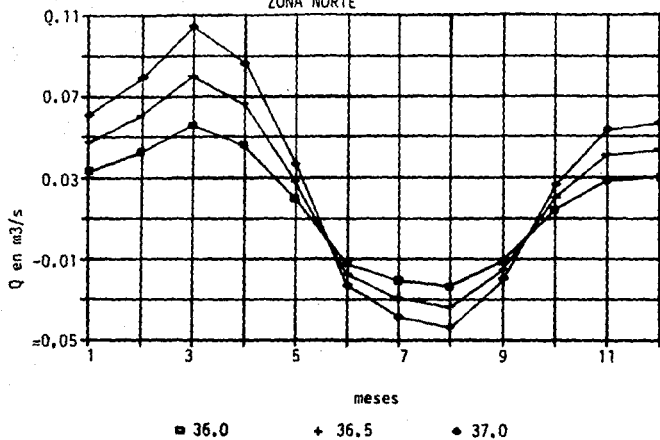


TABLA 5.5.1

ANALISIS DE EVAPORACION

MES	L. AGUA mm	EVAP mm	EVAP EFEC mm	EVAP NETA mm	ZONA ORIENTE ELEVACION EN m					
					36		36.5		37	
					V m3	Q m3/s	V m3	Q m3/s	V m3	Q m3/s
ENERO	13.70	128.30	96.23	82.53	30468	0.011	43614	0.016	56711	0.021
FEBRERO	9.00	140.50	105.38	96.38	35582	0.015	50934	0.021	66229	0.027
MARZO	10.30	200.80	150.60	140.30	51799	0.019	74149	0.028	96414	0.036
ABRIL	29.00	186.70	141.53	112.53	41544	0.016	59469	0.023	77327	0.030
MAYO	74.40	185.10	123.83	49.43	18248	0.007	26121	0.010	33965	0.013
JUNIO	124.60	126.60	94.95	-29.85	-10947	-0.004	-15670	-0.006	-20375	-0.008
JULIO	135.70	112.40	84.30	-51.40	-18977	-0.007	-27165	-0.010	-35322	-0.013
AGOSTO	140.30	108.80	81.60	-58.70	-21672	-0.008	-31023	-0.012	-40339	-0.015
SEPTIEMBRE	100.30	99.00	74.25	-26.05	-9618	-0.004	-13767	-0.005	-17902	-0.007
OCYUBRE	43.60	105.70	79.28	35.68	13171	0.005	18854	0.007	24516	0.009
NOVIEMBRE	11.90	109.30	81.98	70.07	25872	0.010	37035	0.014	48156	0.019
DICIEMBRE	6.20	110.20	82.65	76.45	28225	0.011	40404	0.015	52536	0.020
SUMA	699.00	1595.40	1196.55	497.55	183695	0.071	262955	0.101	341916	0.131

V volumen mensual de evaporación neta
 Q gasto medio mensual de evaporación neta
 QT gasto medio mensual de evaporación neta para todos los canales

TABLA 5.5.1
(CONT.)
ANALISIS DE EVAPORACION

ZONA TURISTICA ELEVACION EN m				ZONA NORTE ELEVACION EN m							SUMA ELEVACION EN m			
36		36.5		37		36		36.5		37		36	36.5	37
V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	QT	QT	QT
m3	m3/s	m3	m3/s	m3	m3/s	m3	m3/s	m3	m3/s	m3	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
21861	0.008	31302	0.012	40734	0.015	88005	0.033	125983	0.047	163961	0.061	0.052	0.075	0.098
25530	0.011	36555	0.015	47571	0.020	102774	0.042	147126	0.061	191478	0.079	0.068	0.097	0.126
37166	0.014	53216	0.020	69252	0.026	149616	0.056	214182	0.080	278748	0.104	0.089	0.128	0.166
29808	0.011	42681	0.016	55542	0.021	119997	0.046	171781	0.066	223565	0.086	0.074	0.106	0.138
13093	0.005	18747	0.007	24396	0.009	52707	0.020	75452	0.028	98198	0.037	0.031	0.045	0.058
-7854	-0.003	-11248	-0.004	-14635	-0.006	-31619	-0.012	-45264	-0.017	-58909	-0.023	-0.019	-0.028	-0.036
-13616	-0.005	-19496	-0.007	-25371	-0.009	-54813	-0.020	-78467	-0.029	-102122	-0.038	-0.033	-0.047	-0.061
-15550	-0.006	-22265	-0.008	-28974	-0.011	-62598	-0.023	-89611	-0.033	-116625	-0.044	-0.037	-0.053	-0.069
-6901	-0.003	-9881	-0.004	-12858	-0.005	-27780	-0.011	-39768	-0.015	-51758	-0.020	-0.017	-0.024	-0.032
9450	0.004	13532	0.005	17609	0.007	38044	0.014	54461	0.020	70879	0.026	0.023	0.032	0.042
18563	0.007	28579	0.010	34589	0.013	74728	0.029	108976	0.041	139225	0.054	0.046	0.066	0.086
20252	0.008	28997	0.011	37736	0.014	81526	0.030	116709	0.044	151891	0.057	0.049	0.069	0.090
131801	0.051	188721	0.073	245591	0.094	530587	0.204	759560	0.292	988532	0.380	0.325	0.465	0.606

V volumen mensual de evaporación neta
Q gasto medio mensual de evaporación neta
QT gasto medio mensual de evaporación neta para todos los canales

6. ANALISIS EN EPOCA DE LLUVIAS

El comportamiento de los canales de Xochimilco en la época de lluvias, se determinó mediante los escurrimientos pluviales a partir de las precipitaciones, para posteriormente transitarlos por los canales hasta las salidas de los tres sistemas.

6.1 ESCURRIMIENTOS PLUVIALES

En el análisis de los escurrimientos pluviales, se consideró una tormenta con un periodo de retorno de 5 años de acuerdo a las indicaciones de la DGCOH, y coeficientes de escurrimiento de 0.3 y 0.05 para las áreas urbanas

y no urbanas respectivamente. Se integraron los hidrogramas para los diferentes tramos, a partir de la Fórmula Racional y se valuó la tormenta dentro de ciertos rangos, igual al tiempo de concentración (t_c). Este último se dedujo según el criterio de Chow:

$$t_c = \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

donde:

- t_c tiempo de concentración en hrs.
- L distancia del punto más alejado en m.
- S pendiente del cauce en por ciento.

La duración de la tormenta quedó determinada por el mayor tiempo de concentración calculado para cada uno de los tramos, quedando entonces, como tiempo base del hidrograma la suma de la duración más el t_c de cada tramo. En las tablas 6.1 a 6.3 se presentan los datos de los hidrogramas con el número de la sección o tramo de incorporación, separados para las tres zonas en estudio.

6.2 ZONA ORIENTE

Con los hidrogramas generados para el escurrimiento pluvial, se realizaron tres simulaciones variando la sección de salida, para conocer el comportamiento de los volúmenes transitados.

6.2.1 Simulaciones efectuadas

Alternativa A. En esta simulación se fijó la elevación de la sección de salida a la cota 36.65 m, se analizó que pasaría al sacar los gastos pluviales hacia la Zona Norte, para lo cual se fijó como sección de salida la 17 al final del Canal 1.

Alternativa B. Para usar la Laguna de San Gregorio como vaso regulador antes de descargar al Canal de Chalco, en esta simulación se fijó como

salida la sección 1 al inicio del canal 1, dándole la elevación 36.0 m que permitirá descargar el agua hacia la Laguna. La elevación de descarga corresponde a la cresta vertedora del canal hacia la Laguna.

Alternativa C. Con la elevación del agua a la cota 36.0 m en las secciones de salida 1 y 17, para conocer con esta simulación la forma de repartición de gastos hacia la Zona Norte y a la Laguna de San Gregorio.

6.2.2 Tablas, Gráficas y Perfiles.

En la tabla 6.4 se resume el cálculo realizado para las tres alternativas estudiadas, en ellas se presentan los hidrogramas de algunas de las secciones representativas de cada canal, en el plano 3 se puede ver la ubicación de los canales y secciones de cada una de las zonas, dando los valores máximos de elevación del agua, velocidad en la sección, gasto y tiempo en que se presenta. Las gráficas de los resultados anteriores se presentan en las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 para la alternativa A, B y C respectivamente para el canal 1.

Sobre los perfiles de cada canal se trazaron las envolventes de los tirantes máximos para las alternativas B y C, un ejemplo de estos perfiles se muestra en las figs. 6.4 y 6.5.

6.2.3 Comentarios

Para la salida de todos los escurrimientos pluviales, hacia la Zona Norte (Alternativa A) se tiene una regulación del orden del 50%, dando un gasto máximo en la sección 17 de $8.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por lo que se refiere a la alternativa B, en que se hace la salida hacia la Laguna de San Gregorio (sección 1), el gasto máximo de salida se reduce a $7.69 \text{ m}^3/\text{s}$ y en un tiempo más corto que la alternativa A.

En la alternativa C se tienen gastos máximos de 5.53 y $5.35 \text{ m}^3/\text{s}$ para las

salidas a la Laguna y a la Zona Norte respectivamente.

De lo anterior se concluye que con dos salidas se tiene menor regulación en los canales por tener el agua mayor facilidad de salida, pero se logran niveles menores del agua en los canales. Por otra parte, en la alternativa C se aprovecha la regulación de la Zona Norte antes de que el agua llegue a la Laguna de San Gregorio.

6.3 ZONA TURISTICA

Para esta zona se tomó la elevación del agua a la cota 37.0 en las dos salidas del sistema (secciones 17 y 31) correspondientes a los vertedores de Caltongo y Xilopa.

6.3.1 Alternativas estudiadas.

Se simularon dos alternativas (D y E), la primera con todos los canales y la segunda al igual que en el análisis en época de estiaje se quitaron los que presentan mayor hundimiento en el área plantera. Las secciones no usadas en la alternativa E fueron: de la 18 a la 25 y de la 42 a la 56.

6.3.2 Tablas y Gráficas.

En la tabla 6.5 se muestran para las dos alternativas, hidrogramas en las secciones de cálculo y los valores máximos de la elevación del agua, velocidad y gasto en la sección y el tiempo en que se alcanza el valor mayor del caudal; gráficamente se presentan los hidrogramas característicos del análisis del canal 1 en las fig 6.6 para la alternativa D y en las fig 6.7 para la alternativa E. Para este caso no se graficaron envolventes de elevación máxima del agua, ya que prácticamente la cota 36.0 m tuvo un incremento máximo de 6 cm, siendo los perfiles en los canales prácticamente iguales a los presentados en el capítulo 5 correspondientes a gasto constante en estiaje; lo anterior fue debido a que la mayoría de los canales de esta zona son muy anchos y tienen gran capacidad de almacenaje.

6.3.3 Comentarios

Las dos simulaciones son muy semejantes, con una regulación del orden del 10%, valor pequeño porque el agua tiende a salir inmediatamente por los vertedores a la Zona Norte, en la alternativa E se reduce el número de canales, por el seccionamiento de los que se encuentran hundidos, pero también disminuyen las áreas de aportación de los escurrimientos pluviales.

6.4 ZONA NORTE

Para esta zona, la más extensa y más complicada, se realizaron cuatro simulaciones de los escurrimientos pluviales, tomando en cuenta los hidrogramas que le llegan de las otras dos zonas.

6.4.1 Alternativas analizadas.

Para las cuatro alternativas siguientes se consideraron los escurrimientos de la alternativa D de la Zona Turística y la elevación del agua a la cota 36.0 m que se registró con la Laguna de San Gregorio.

Alternativa F. Se tomó el hidrograma de la alternativa A de la Zona Oriente, con entrada en la sección 49 y salida hacia Canal Nacional por la sección 14.

Alternativa G. Con el hidrograma de la alternativa C de la Zona Oriente, con entrada en la sección 49 y salida hacia la Laguna de San Gregorio por la sección 69.

Alternativa H. Semejante a la alternativa F pero con dos salidas: a Canal Nacional (sección 14) y a la Laguna de San Gregorio (Sección 69).

Alternativa I. Semejante a la alternativa G con las dos salidas señaladas anteriormente.

6.4.2 Tablas, Gráficas y Perfiles.

En las tablas 6.6 se da un resumen de los resultados de las cuatro simulaciones respectivamente, en la misma forma a las de las otras zonas. En la fig 6.8 se presenta del canal 1 el hidrograma de la alternativa F, en la 6.9 el de la G, en la 6.10 el de la H y en la 6.11 el de la I. En las figs. 6.12 y 6.13 las envolventes de tirantes máximos para las alternativas F y G, y H e I. Todas las figuras anteriores corresponden a los resultados del canal 1 como un ejemplo demostrativo del análisis hecho para esta zona.

6.4.3 Comentarios

Para la alternativa G (salida a la Laguna de San Gregorio) existe mayor regulación dentro de los canales bajando el gasto máximo de salida de 27.0 m³/s de la alternativa F (salida a Canal Nacional) a 16.0 m³/s; aunque los niveles en los canales aumentan del orden de 10 cm.

Las alternativas H e I tienen prácticamente los mismos resultados pues solo difieren en las aportaciones de la Zona Oriente; tienen niveles menores en los canales por tener dos salidas que da mayor rapidez de desalojo de las aguas pluviales del sistema de canales.

6.5 AJUSTES POR ALMACENAJE

En las Zonas Oriente y Turística prácticamente se simuló la totalidad de los canales importantes, quedando fuera los muy pequeños en ancho, profundidad o longitud; pero para el caso de la Zona Norte en que se tiene gran cantidad de canales, solamente se tomaron en una longitud de 28 km siendo el total de 90 km, por lo que fue necesario tomar en cuenta el almacenaje en dichos canales en los hidrogramas de salida del sistema.

Por lo anterior, se revisaron las curvas de elevaciones-capacidades de los canales no analizados en las simulaciones y con las elevaciones del agua en los otros canales se calculó el almacenamiento, con lo cual se hizo el

ajuste de los hidrogramas.

En las figs 6.14 y 6.15 se muestran los hidrogramas de salida para las alternativas F y G respectivamente, en donde se incluye el hidrograma tal como fue obtenido en la simulación. El almacenaje en los canales reduce el gasto de pico del hidrograma pero el volumen de agua que se va al resto de canales posteriormente regresa para salir del sistema.

TABLA 6.1 GASTOS PLUVIALES ZONA ORIENTE

SECCION ENTRADA	Q _j max m ³ /s	t _c hrs	t _b hrs
4	0.23439	1.65	4.70
11	0.23511	1.58	4.63
16	0.11968	2.70	5.75
18	2.23740	1.72	4.77
21	2.28600	1.72	4.77
25	2.59798	0.88	3.93
30	1.77072	1.42	4.47
33	1.29819	0.78	3.83
35	2.62612	0.78	3.83
38	1.17600	0.73	3.78
43	0.33611	1.98	5.03
67	0.22344	1.43	4.48
72	0.06972	3.05	6.10
61	0.19400	1.52	4.57

TABLA 6.2 GASTOS PLUVIALES ZONA TURISTICA

SECCION ENTRADA	Q _j max m ³ /s	t _c hrs	t _b hrs
2	0.57120	1.22	4.27
4	1.72900	1.33	4.38
7	1.60746	1.17	4.22
12	1.26338	1.03	4.08
27	0.27156	1.77	4.82
33	0.02622	1.03	4.08
37	0.61320	1.45	4.50
45	0.07018	1.03	4.08
55	1.24128	1.25	4.30
57	1.54729	1.33	4.38
61	0.82075	1.27	4.32

TABLA 6.3 GASTOS PLUVIALES ZONA NORTE

SECCION ENTRADA	Q _j max m ³ /s	t _c hrs	t _b hrs
4	0.18150	0.98	4.03
7	12.37893	1.27	4.32
11	0.21801	0.83	3.88
16	0.52515	1.43	4.48
22	0.17829	1.03	4.08
33	0.16802	1.72	4.77
41	0.17355	1.07	4.12
43	3.40896	1.27	4.32
45	0.27430	1.20	4.25
50	0.30243	3.05	6.10
56	0.42240	2.27	5.32
65	0.12680	1.25	4.30
67	0.11718	2.20	5.25

TABLA 6.4
HIDROGRAMAS, GASTOS Y BLEVACIONES MAXIMAS DEL AGUA
ZONA ORINTE

TIEMPO	ALTERNATIVA A						ALTERNATIVA B						ALTERNATIVA C						
	1	4	7	11	14	17	1	4	7	11	14	17	1	4	7	11	14	17	
	S	R	C	C	I	O	S	R	C	C	I	O	S	R	C	C	I	O	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.16	0.16	0.26	0.35	1.07	0.74	0.39	0.19	0.13	0.23	0.00	0.50	-0.10	0.22	0.25	0.26	0.26	0.76
1.00	0.00	0.37	1.07	1.05	1.06	2.35	2.44	1.26	0.64	0.37	0.55	0.00	1.80	-0.37	0.50	0.82	0.05	1.95	
1.50	0.00	0.64	1.77	1.79	1.06	3.04	3.65	1.90	1.03	0.57	0.82	0.00	2.60	-0.60	0.72	1.27	1.36	2.96	
2.00	0.00	0.93	2.43	2.49	2.50	5.13	4.97	2.40	1.36	0.76	1.01	0.00	3.57	-0.90	0.80	1.60	1.79	3.80	
2.50	0.00	1.15	2.94	3.00	3.10	6.26	6.13	2.99	1.59	0.87	1.09	0.00	4.46	-1.08	1.01	2.02	2.14	4.49	
3.00	0.00	1.33	3.30	3.55	3.67	4.20	7.06	3.39	1.77	0.98	1.17	0.00	5.13	-1.23	1.14	2.29	2.43	5.04	
3.50	0.00	1.49	3.63	3.90	4.01	7.80	7.69	3.67	1.94	1.12	1.23	0.00	5.53	-1.30	1.17	2.40	2.62	5.35	
4.00	0.00	1.40	3.48	3.96	4.07	8.00	7.64	3.66	2.01	1.17	1.14	0.00	5.31	-1.26	0.96	2.36	2.52	5.19	
4.50	0.00	1.40	3.20	3.82	3.90	7.67	7.09	3.46	1.92	1.21	1.08	0.00	4.61	-1.11	0.74	2.03	2.10	4.63	
5.00	0.00	1.25	2.82	3.54	3.62	7.13	6.33	3.14	1.79	1.13	0.97	0.00	3.72	-0.92	0.56	1.67	1.80	3.86	
5.50	0.00	1.13	2.53	3.24	3.32	6.52	5.56	2.80	1.60	0.99	0.82	0.00	2.89	-0.72	0.46	1.33	1.44	3.07	
6.00	0.00	1.03	2.30	2.94	3.02	5.93	4.87	2.40	1.39	0.82	0.66	0.00	2.25	-0.53	0.39	1.02	1.11	2.36	
6.50	0.00	0.93	2.00	2.66	2.73	5.36	4.21	2.17	1.19	0.66	0.51	0.00	1.72	-0.35	0.28	0.71	0.79	1.74	
7.00	0.00	0.84	1.80	2.39	2.45	4.83	3.60	1.87	1.01	0.53	0.41	0.00	1.17	-0.19	0.16	0.41	0.47	1.16	
7.50	0.00	0.75	1.67	2.13	2.19	4.34	3.02	1.60	0.84	0.44	0.34	0.00	0.62	-0.05	0.06	0.16	0.20	0.63	
8.00	0.00	0.66	1.48	1.89	1.94	3.86	2.52	1.32	0.69	0.36	0.27	0.00	0.11	0.04	0.00	0.00	0.02	0.22	
8.50	0.00	0.50	1.30	1.66	1.70	3.42	2.02	1.04	0.54	0.29	0.21	0.00	-0.02	0.05	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04	
9.00	0.00	0.51	1.12	1.44	1.40	3.01	1.52	0.77	0.40	0.22	0.16	0.00	-0.18	0.02	0.01	-0.03	-0.04	-0.14	
9.50	0.00	0.44	0.96	1.24	1.27	2.62	1.02	0.51	0.27	0.15	0.10	0.00	-0.01	-0.02	0.00	0.01	0.01	-0.01	
10.00	0.00	0.37	0.81	1.05	1.00	2.26	0.52	0.25	0.14	0.00	0.05	0.00	0.10	-0.01	0.01	0.03	0.04	0.10	
10.50	0.00	0.31	0.69	0.80	0.91	1.93	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.01	0.01	0.06	
11.00	0.00	0.26	0.55	0.72	0.75	1.63	-0.23	-0.12	-0.07	-0.04	-0.04	0.00	-0.03	0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.04	
11.50	0.00	0.21	0.44	0.59	0.60	1.36	-0.19	-0.09	-0.06	-0.05	-0.04	0.00	-0.06	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.06	
12.00	0.00	0.16	0.35	0.46	0.48	1.12	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	
12.50	0.00	0.12	0.27	0.36	0.37	0.91	0.09	0.05	0.03	0.02	0.02	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	
13.00	0.00	0.09	0.20	0.27	0.28	0.72	0.00	0.04	0.03	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	
13.50	0.00	0.07	0.14	0.20	0.20	0.56	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	
14.00	0.00	0.04	0.09	0.14	0.14	0.42	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.02	0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	
14.50	0.00	0.03	0.05	0.09	0.09	0.30	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	
15.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.06	0.20	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	
H MAX	36.75	36.76	36.76	36.70	36.67	36.45	36.00	36.23	36.37	36.39	36.39	36.42	36.00	36.13	36.22	36.21	36.19	36.00	
V MAX	0.00	0.21	0.16	0.24	0.14	0.50	0.75	0.72	0.09	0.09	0.06	0.00	0.55	0.01	0.07	0.10	0.11	0.50	
Q MAX	0.00	1.50	3.63	3.97	4.00	8.03	7.75	3.70	2.01	1.21	1.23	0.00	5.54	0.06	1.19	2.40	2.63	5.37	
t MAX	0.00	3.70	3.50	3.05	3.05	3.05	3.70	3.75	4.00	4.55	3.50	0.00	3.55	0.30	3.30	3.55	3.60	3.60	

Emax en m
V max en m/s
Q max en m³/s
y max en hrs

TABLA 6.5
HIDROGRAMAS, GASTOS Y ELEVACIONES MAXIMAS DEL AGUA
SONA TURISTICA

TIEMPO	ALTERNATIVA D					ALTERNATIVA B				
	S	R	C	C	I	O	N	N	S	9
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.59	0.05	0.27	0.84	0.00	0.92	0.25	0.31	1.00
1.00	0.00	1.61	0.38	1.04	2.70	0.00	2.58	0.98	1.41	3.48
1.50	0.00	2.83	0.94	1.82	4.48	0.00	3.79	1.52	2.20	5.32
2.00	0.00	3.20	1.13	2.04	5.06	0.00	3.79	1.49	2.31	5.67
2.50	0.00	3.43	1.27	2.17	5.34	0.00	3.83	1.52	2.33	5.76
3.00	0.00	3.50	1.31	2.21	5.44	0.00	3.83	1.52	2.34	5.77
3.50	0.00	3.14	1.38	2.08	4.91	0.00	3.19	1.43	2.18	5.11
4.00	0.00	2.43	1.28	1.62	3.69	0.00	1.74	0.83	1.42	3.24
4.50	0.00	1.04	0.48	0.77	1.70	0.00	0.06	-0.13	34.00	0.81
5.00	0.00	0.14	-0.17	0.14	0.18	0.00	-0.53	-0.56	-0.37	-0.80
5.50	0.00	-0.57	-0.45	-0.29	-0.62	0.00	-0.15	-0.05	-0.21	-0.37
6.00	0.00	-0.33	-0.12	-0.21	-0.34	0.00	0.32	0.34	0.22	0.53
6.50	0.00	0.12	0.16	0.04	0.15	0.00	0.10	0.04	0.13	0.25
7.00	0.00	0.20	0.11	0.11	0.21	0.00	-0.20	-0.21	-0.14	-0.32
7.50	0.00	0.02	-0.03	0.02	0.02	0.00	-0.07	-0.03	-0.09	-0.16
8.00	0.00	-0.08	-0.07	-0.04	-0.09	0.00	0.15	0.15	0.10	0.24
8.50	0.00	-0.04	-0.01	-0.03	-0.04	0.00	0.05	0.02	0.06	0.12
9.00	0.00	0.03	0.03	0.01	0.03	0.00	-0.10	-0.11	-0.07	-0.16
9.50	0.00	0.03	0.02	0.02	0.04	0.00	-0.03	-0.01	-0.04	-0.17
10.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.06	0.13
10.50	0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.06
11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.06	-0.04	-0.09
11.50	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.02	-0.04
12.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.04	0.05	0.03	0.08
12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03
13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.04	-0.03	-0.05
13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.02
14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.05
14.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03
H max	37.06	37.04	37.04	37.04	37.04	37.06	37.04	37.04	37.04	37.04
V max	0.00	0.09	0.03	0.05	0.11	0.00	0.10	0.03	0.05	0.12
Q max	0.00	3.52	1.43	2.26	5.45	3.84	1.62	2.30	5.77	4.47
t max	0.00	3.10	3.30	3.20	3.15	0.00	3.10	3.25	3.20	3.05

Hmax en m
V max en m/s
Q max en m³/s
y max en hrs

TABLA 6.6
HIDROGRAMAS, GASTOS Y ELEVACIONES MAXIMAS DEL AGUA
ZONA NORTE

ALTERNATIVA F								ALTERNATIVA G							
TIEMPO	1	3	5	9	12	14		1	3	5	9	12	14		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.50	0.00	0.21	-0.09	6.02	3.06	3.72	0.00	0.17	-0.22	5.06	1.11	0.00	0.00	0.00	
1.00	0.00	-0.67	-0.04	11.62	7.84	10.65	0.00	-1.01	-0.82	7.18	2.51	0.00	0.00	0.00	
1.50	0.00	-0.77	0.19	16.36	11.90	16.83	0.00	-1.29	-1.18	8.82	3.58	0.00	0.00	0.00	
2.00	0.00	-0.68	0.73	19.26	14.46	20.85	0.00	-1.43	-1.19	9.06	4.21	0.00	0.00	0.00	
2.50	0.00	-0.75	1.11	21.26	16.40	23.91	0.00	-1.58	-1.21	8.88	4.55	0.00	0.00	0.00	
3.00	0.00	-0.73	1.37	22.83	17.83	26.17	0.00	-1.63	-1.26	8.64	4.80	0.00	0.00	0.00	
3.50	0.00	-0.42	2.13	21.76	18.13	27.28	0.00	-1.33	-0.66	5.88	4.35	0.00	0.00	0.00	
4.00	0.00	-0.89	2.80	21.10	17.13	26.57	0.00	-0.86	0.32	3.64	3.71	0.00	0.00	0.00	
4.50	0.00	0.06	3.08	18.17	15.50	26.55	0.00	-0.60	1.06	2.51	3.16	0.00	0.00	0.00	
5.00	0.00	-0.98	2.82	17.46	14.43	22.85	0.00	-0.75	1.19	2.88	3.08	0.00	0.00	0.00	
5.50	0.00	-0.12	2.75	16.42	13.49	21.43	0.00	-0.82	1.16	2.75	3.04	0.00	0.00	0.00	
6.00	0.00	-0.12	2.60	15.47	12.63	20.15	0.00	-0.82	1.14	2.57	2.96	0.00	0.00	0.00	
6.50	0.00	-0.10	2.47	14.50	11.84	18.95	0.00	-0.78	1.12	2.41	2.88	0.00	0.00	0.00	
7.00	0.00	-0.08	2.34	13.73	11.09	17.83	0.00	-0.75	1.09	2.24	2.79	0.00	0.00	0.00	
7.50	0.00	-0.07	2.22	12.91	10.38	16.76	0.00	-0.71	1.07	2.08	2.70	0.00	0.00	0.00	
8.00	0.00	-0.07	2.10	12.12	9.70	15.74	0.00	-0.67	1.04	1.92	2.60	0.00	0.00	0.00	
8.50	0.00	-0.03	1.98	11.36	9.05	14.75	0.00	-0.63	1.01	1.76	2.50	0.00	0.00	0.00	
9.00	0.00	0.00	1.87	10.60	8.41	13.78	0.00	-0.59	0.98	1.59	2.39	0.00	0.00	0.00	
9.50	0.00	0.02	1.75	9.86	7.79	12.84	0.00	-3.55	0.95	1.43	2.29	0.00	0.00	0.00	
10.00	0.00	0.04	1.64	9.13	7.19	11.90	0.00	-0.52	0.91	1.27	2.17	0.00	0.00	0.00	
10.50	0.00	0.05	1.53	8.41	6.59	10.99	0.00	-0.47	0.87	1.11	2.07	0.00	0.00	0.00	
11.00	0.00	0.07	1.41	7.69	5.99	10.07	0.00	-0.44	0.84	0.95	1.94	0.00	0.00	0.00	
11.50	0.00	0.09	1.30	6.98	5.41	9.17	0.00	-0.40	0.79	0.78	1.82	0.00	0.00	0.00	
12.00	0.00	0.10	1.19	6.26	4.83	8.26	0.00	-0.37	0.76	0.61	1.69	0.00	0.00	0.00	
12.50	0.00	0.11	1.06	5.54	4.25	7.35	0.00	-0.32	0.72	0.44	1.56	0.00	0.00	0.00	
13.00	0.00	0.11	0.94	4.83	3.68	6.44	0.00	-0.29	0.68	0.27	1.42	0.00	0.00	0.00	
13.50	0.00	0.11	0.81	4.11	3.11	5.52	0.00	-0.26	0.63	0.10	1.27	0.00	0.00	0.00	
14.00	0.00	0.11	0.68	3.40	2.54	4.59	0.00	-0.22	0.58	-0.08	1.13	0.00	0.00	0.00	
14.50	0.00	0.10	0.54	2.67	1.97	3.65	0.00	-0.19	0.53	-0.24	0.98	0.00	0.00	0.00	
15.00	0.00	0.09	0.40	1.94	1.41	2.69	0.00	-0.16	0.48	-0.41	0.83	0.00	0.00	0.00	
H max	36.11	36.11	36.13	36.10	36.10	36.00		36.24	36.24	36.23	36.27	36.27	36.24	36.24	
V max	0.00	0.00	0.28	0.22	0.09	0.54		0.00	0.00	0.09	0.89	0.02	0.00	0.00	
Q max	0.00	0.21	3.12	23.08	19.26	27.38		0.00	0.17	1.19	9.23	4.83	0.00	0.00	
t max	0.00	0.58	4.48	3.10	3.25	3.50		0.00	0.50	4.98	2.15	3.10	3.75	0.00	

Emax en m
V max en m/s
Q max en m³/s
t max en hrs

TABLA 6.6 (cont)
HIDROGRAMAS, GASTOS Y ELEVACIONES MAXIMAS DEL AGUA
ZONA NORTE

TIEMPO	ALTERNATIVA II						ALTERNATIVA I					
	1	3	5	9	12	14	1	3	5	9	12	14
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	0.00	0.22	-0.09	6.00	3.03	3.63	0.00	0.22	-0.09	6.00	3.02	3.61
1.00	0.00	-0.67	-0.07	11.43	7.69	10.14	0.00	-0.67	-0.08	11.42	7.69	10.13
1.50	0.00	-0.81	0.10	15.84	11.61	15.99	0.00	-0.81	0.09	15.83	11.60	15.98
2.00	0.00	-0.76	0.60	18.36	13.94	19.54	0.00	-0.76	0.59	18.35	13.93	19.51
2.50	0.00	-0.94	0.91	19.81	15.53	22.00	0.00	-0.94	0.91	19.79	15.52	21.97
3.00	0.00	-1.04	1.11	20.76	16.51	23.53	0.00	-1.04	1.10	20.73	16.49	23.48
3.50	0.00	-0.81	1.84	18.88	16.23	23.89	0.00	-0.82	1.84	18.83	16.20	23.83
4.00	0.00	-0.45	2.55	16.14	14.40	22.03	0.00	-0.45	2.55	16.08	14.35	21.95
4.50	0.00	-0.17	2.87	13.53	11.94	18.85	0.00	-0.18	2.86	13.45	11.88	18.75
5.00	0.00	-0.31	2.63	12.44	10.36	16.30	0.00	-0.31	2.62	12.36	10.30	16.19
5.50	0.00	-0.40	2.40	10.96	9.04	14.23	0.00	-0.41	2.40	10.88	8.97	14.13
6.00	0.00	-0.42	2.23	9.80	7.95	12.56	0.00	-0.42	2.22	9.73	7.89	12.46
6.50	0.00	-0.39	2.08	8.88	7.09	11.21	0.00	-0.39	2.07	8.81	7.03	11.12
7.00	0.00	-0.35	1.94	8.10	6.40	10.12	0.00	-0.36	1.94	8.04	6.35	10.03
7.50	0.00	-0.31	1.83	7.44	5.83	9.23	0.00	-0.31	1.82	7.37	5.78	9.15
8.00	0.00	-0.26	1.72	6.87	5.35	8.48	0.00	-0.26	1.71	6.82	5.31	8.41
8.50	0.00	-0.22	1.63	6.36	4.93	7.84	0.00	-0.22	1.62	6.32	4.90	7.78
9.00	0.00	-0.17	1.54	5.90	4.55	7.26	0.00	-0.17	1.53	5.86	4.52	7.21
9.50	0.00	-0.13	1.45	5.46	4.20	6.74	0.00	-0.13	1.44	5.43	4.18	6.69
10.00	0.00	-0.09	1.36	5.03	3.86	6.23	0.00	-0.09	1.36	5.01	3.84	6.19
10.50	0.00	-0.05	1.28	4.61	3.53	5.74	0.00	-0.05	1.27	4.59	3.51	5.71
11.00	0.00	-0.02	1.19	4.20	3.20	5.25	0.00	-0.02	1.19	4.18	3.19	5.23
11.50	0.00	0.01	1.10	3.79	2.87	4.77	0.00	0.01	1.10	3.77	2.87	4.75
12.00	0.00	0.04	1.00	3.37	2.55	4.27	0.00	0.04	1.00	3.36	2.54	4.27
12.50	0.00	0.07	0.91	2.95	2.22	3.78	0.00	0.07	0.91	2.94	2.21	3.77
13.00	0.00	0.09	0.81	2.53	1.89	3.29	0.00	0.09	0.81	2.53	1.89	3.28
13.50	0.00	0.11	0.70	2.11	1.57	2.78	0.00	0.10	0.70	2.11	1.57	2.78
14.00	0.00	0.11	0.60	1.68	1.24	2.27	0.00	0.11	0.60	1.69	1.24	2.27
14.50	0.00	0.12	0.48	1.26	0.91	1.75	0.00	0.12	0.48	1.26	0.91	1.75
15.00	0.00	0.11	0.36	0.82	0.58	1.22	0.00	0.11	0.36	0.83	0.59	1.23
H max	36.09	36.00	36.13	36.09	36.09	36.00	36.09	36.00	36.13	36.09	36.09	36.00
V max	0.00	0.00	0.27	0.20	0.08	0.48	0.00	0.00	0.27	0.20	0.08	0.48
Q max	0.00	0.22	2.91	20.87	16.71	24.06	0.00	0.22	2.91	20.83	16.60	24.00
t max	0.00	0.50	4.40	3.10	3.15	3.30	0.00	0.50	4.40	3.10	3.20	3.30

Hmax en s
V max en m/s
Q max en m³/s
y max en hrs

FIG. 6.1 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT. A
CANAL 1 ZONA ORIENTE

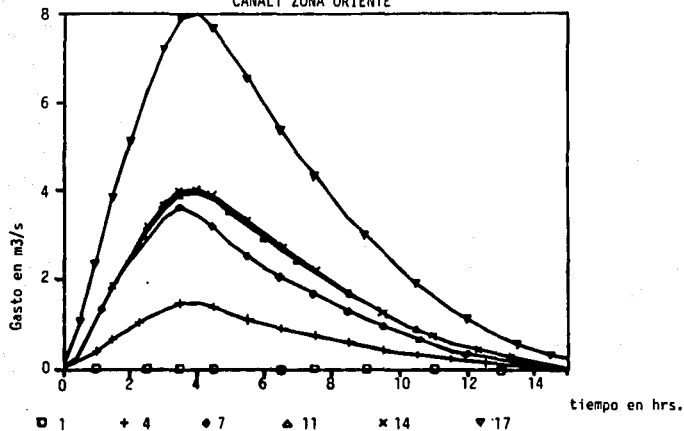


FIG. 6.2 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT. B
CANAL 1 ZONA ORIENTE

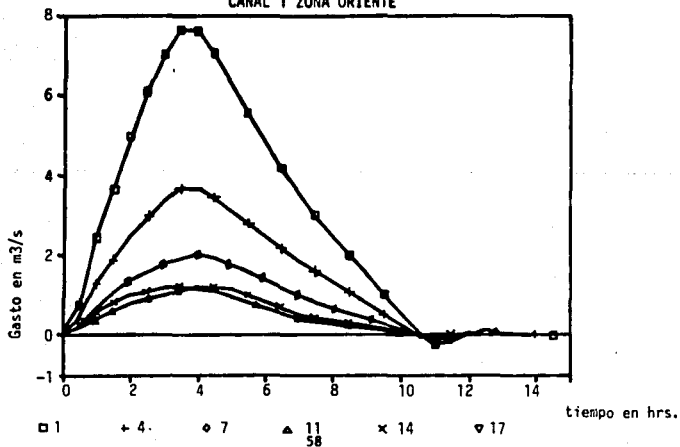


FIG. 6.3 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT, C
CANAL 1 ZONA ORIENTE

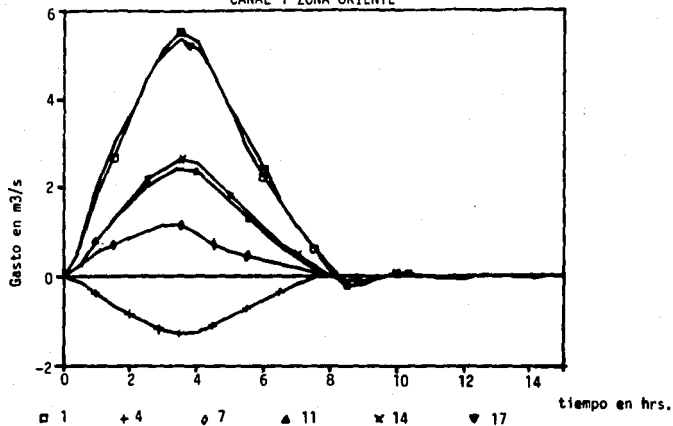


FIG 6.4 ENVOLVENTE DE TIRANTES MAXIMOS
CANAL 1 ZONA ORIENTE

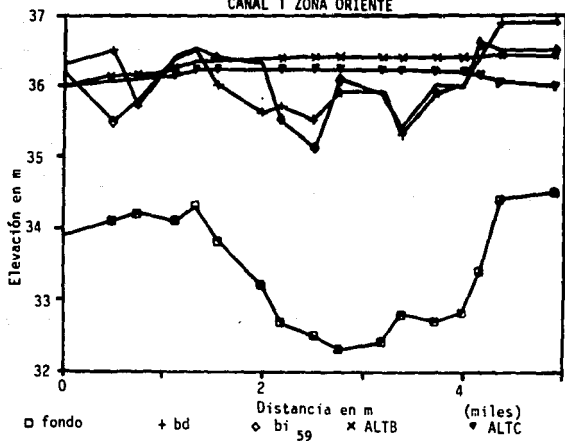


FIG. 6.5 ENVOLVENTE DE TIRANTES MAXIMOS

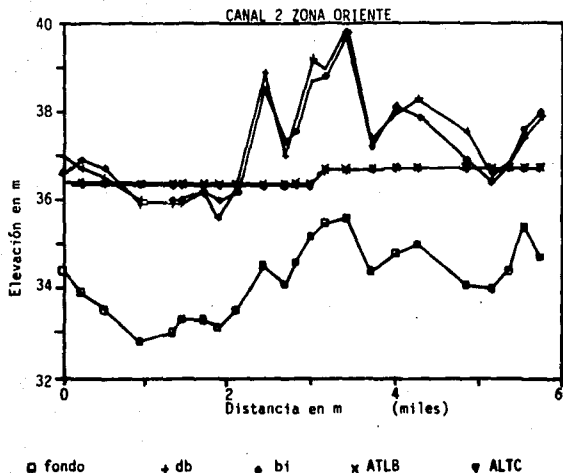


FIG. 6.6 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT. D

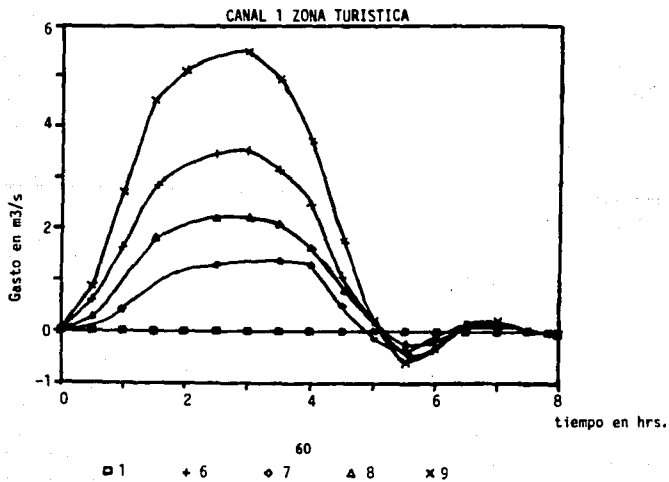


FIG. 6.7 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT E
CANAL 1 ZONA TURISTICA

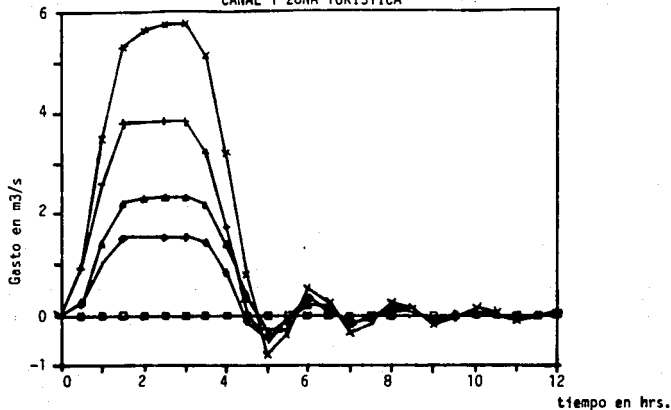


FIG. 6.8 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT. F
CANAL 1 ZONA NORTE

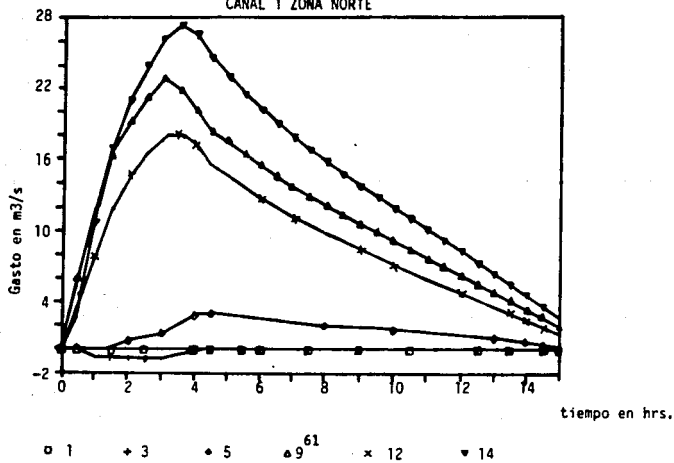


FIG. 6.9 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT. G
CANAL 1 ZONA NORTE

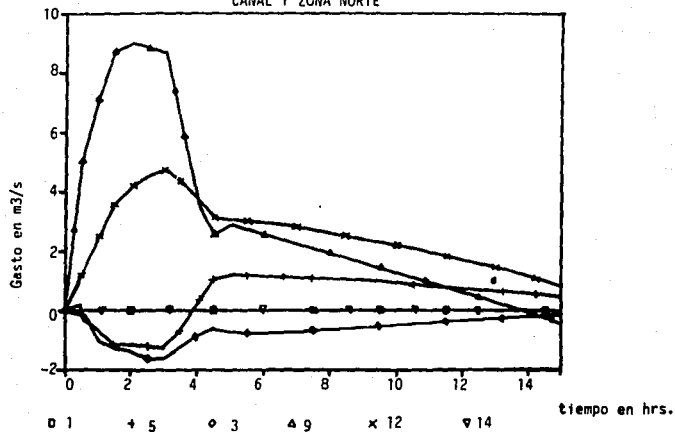


FIG. 6.10 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT. H
CANAL 1 ZONA NORTE

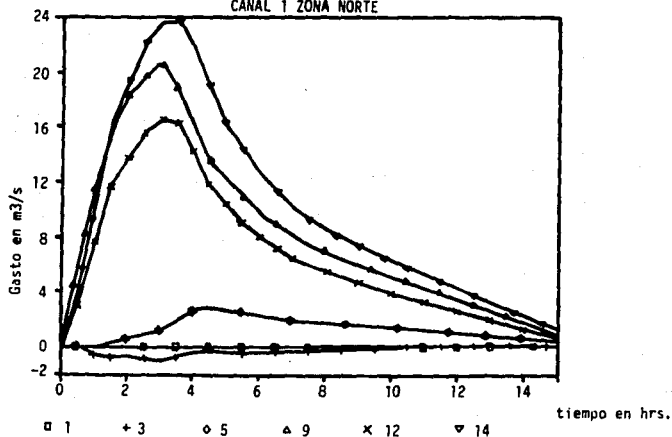
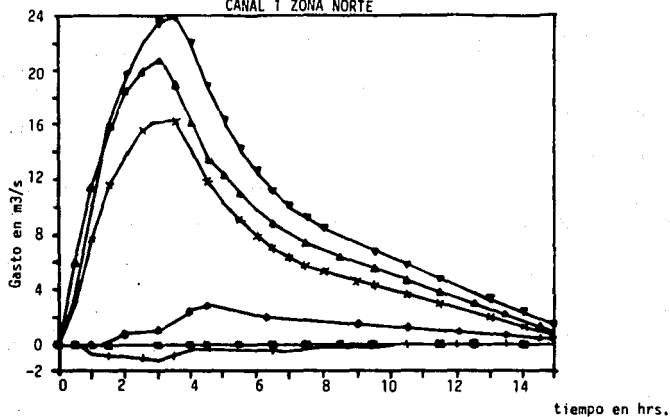
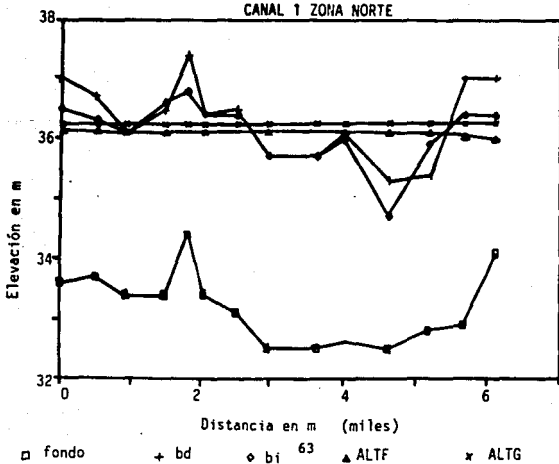


FIG. 6.11 HIDROGRAMAS PLUVIALES ALT. I
CANAL 1 ZONA NORTE



□ 1 + 3 ◊ 5 ▲ 9 . × 12 ▽ 14

FIG. 6.12 ENVOLVENTE DE TIRANTES MAXIMOS
CANAL 1 ZONA NORTE



□ fondo + bd ◊ bi 63 ▲ ALTF × ALTG

FIG. 6.13 ENVOLVENTE DE TIRANTES MAXIMOS
CANAL 1 ZONA NORTE

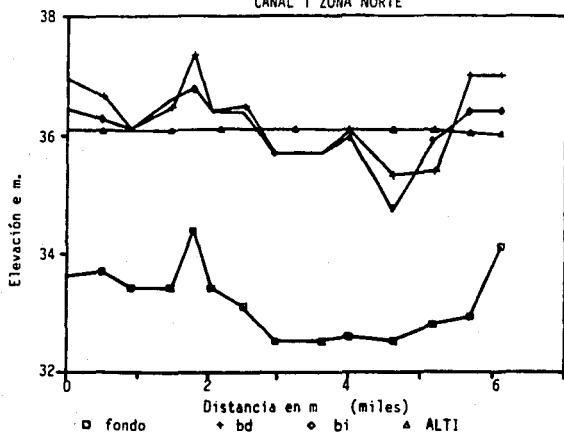


FIG. 6.14 AJUSTE DE HIDROGRAMA
ZONA NORTE ALTERNATIVA F

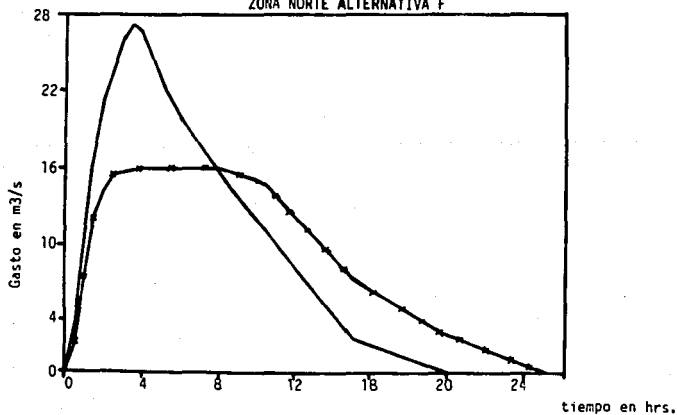
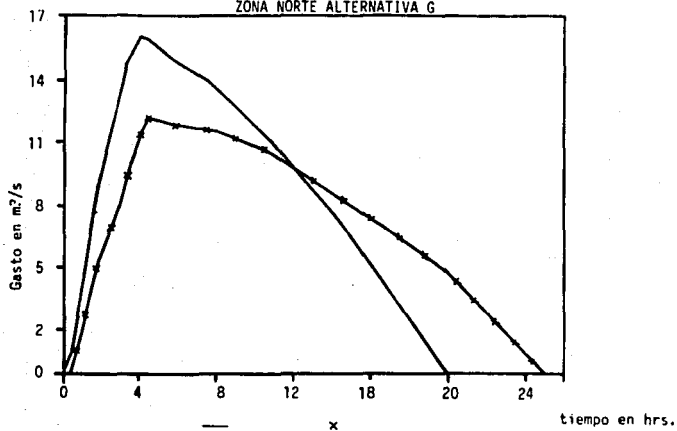


FIG. 6.15 AJUSTE DE HIDROGRAMA
ZONA NORTE ALTERNATIVA G



7. OBRAS PROPUESTAS

Con los resultados de los análisis de las tres zonas, aisladas e interrelacionadas entre sí, para las épocas de estiaje y de lluvias, se propusieron las obras requeridas para el adecuado funcionamiento del sistema de canales que forman el Lago de Xochimilco. En dichos análisis se tomó en cuenta los hundimientos descritos en el capítulo 4; se recomienda un estudio para conocer como será el comportamiento de los hundimientos, de lo contrario las obras aquí propuestas como solución al problema deberán tener modificaciones

Básicamente el funcionamiento que se propone para los canales de Xochimilco se resume en los puntos siguientes:

- i) Localizar la entrega de agua tratada en la parte Oriente del Canal Apatlaco, en el Puente de Urrutia, de donde se podrá alimentar mejor la Zona Oriente, tal como se señaló en el capítulo 5; en forma semejante se podrán sustituir los pozos que dan agua a la Zona Turística; dejando los excedentes para alimentar la Zona Norte. Dependiendo de la carga disponible de entrega del agua tratada de la Planta del Cerro de la Estrella, se podrá dar por gravedad o bombeo la alimentación de los canales, o en todo caso bombear a la Zona Turística que es la más alta.
- ii) El área que ha sufrido los hundimientos más fuertes (1.20 m en tres años) se ha denominado Laguna de San Gregorio, en donde es factible confinar el agua para tener la regularización de los escurrimientos pluviales y posteriormente descargarlos al Canal de Chalco donde se bombearán al Canal Nacional.
- iii) Dragado de canales para mejorar el paso de los escurrimientos pluviales y evitar áreas de inundación.
- iv) Para la Zona Turística es necesario aislar los canales hundidos para tener los niveles adecuados para la navegación de trajineras en el resto de canales de la zona.

Para esta zona se propone rectificación de canales por medio de dragado, para eliminar salientes que obstaculizan el paso del agua y que incrementan

los niveles de agua al paso de las avenidas pluviales y una estructura vertedora para descargar los escurrimientos pluviales hacia la Laguna de San Gregorio. En los perfiles de los capítulos 5 y 6 se observan los obstáculos de fondo, pero se tendrá que realizar levantamientos topográficos a detalle para poder precisar dichas obras.

La estructura vertedora hacia la Laguna se propone en forma lateral en el Canal del Bordo (Canal 1), con un gasto de diseño de $7.60 \text{ m}^3/\text{s}$, se requerirá de una longitud de cresta de 40.0 m, con una carga de 0.21 m; por lo que la cota de la cresta vertedora estará a la cota 35.79 m y la elevación máxima del agua en el canal estará a la 36.00 m. En el plano 1 se presenta la ubicación de la estructura y en la figura 7.1 la forma de ésta.

7.3 ZONA TURISTICA

En esta zona lo que se requiere es seccionar los canales que se han hundido en mayor proporción que el resto, para permitir sobreelevar el nivel del agua en los canales que cuentan con trajineras para fines recreativos. El seccionamiento se podrá realizar con bordos de costaleras del tipo usado por la DGCCH la ubicación de estos seccionamientos se ve en el plano 1.

Para la zona que se seccionará que cuenta con una salida por medio de dos tuberías de 0.30 m de diámetro hacia la Zona de Chinampas, tendrá que ser alimentada de la Zona Turística. Se propone que se pase el agua por medio de una tubería de 0.45 m de diámetro controlada con una compuerta que permita fijar el nivel de la zona seccionada de acuerdo a las salidas que tenga hacia la Zona Norte. Con la tubería de ese diámetro el gasto será de $0.125 \text{ m}^3/\text{s}$ con 0.02 m de carga y una longitud de tubería de 10 m.

7.4 ZONA NORTE

A través del Canal Japón y construyendo otro tramo de canal de aproximadamente 700 m de longitud, es factible dar salida al agua pluvial

de la Zona Norte hacia la Laguna de San Gregorio, además de una estructura de descarga con un vertedor lateral semejante al propuesto para la la Zona Oriente pero de 78 m de longitud de cresta para pasar un gasto de $15.0 \text{ m}^3/\text{s}$ con una carga de 0.21 m, teniéndose la elevación del agua a la cota 36.0 m figura 7.2. El canal de unión con la laguna será de sección trapecial con un ancho de plantilla de 3 m, taludes 2:1 y tirante de 3.0 m (fig. 7.3); por lo cual pasará el gasto de $15.0 \text{ m}^3/\text{s}$ con una velocidad de 0.56 m/s. en el plano 1 se muestra la ubicación de las obras anteriores.

Dada la gran cantidad de canales en esta zona y con los hundimientos registrados difícilmente se podría marcar dragado de canales, pues se requerirán levantamientos topográficos actualizados de los canales y del área de la Laguna de San Gregorio para afinar los niveles de agua en el tránsito de las avenidas pluviales en conjunción con el manejo de dicha Laguna.

7.5 ENTREGA DE AGUA TRATADA

Como se anotó anteriormente, se propone relocalizar la entrega de agua tratada del Cerro de la Estrella en las cercanías del Puente Urrutía al inicio Oriente del Canal Apatlaco, para que sea factible alimentar a las tres zonas. Del sitio actual de entrega al propuesto, se necesita una tubería de acero de 6 km de longitud, por el trazo aproximado que se presenta en el plano 1. Para un gasto de $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ el diámetro será de 1.07 m, teniendo una pérdida de energía por fricción de 6.18 m, es decir un gradiente hidráulico de 0.0001.

De acuerdo a la carga disponible actual, que se desconoce, se verá si esta es suficiente para entregar el agua en el nuevo sitio por gravedad, o es necesario bombear.

7.6 LAGUNA DE SAN GREGORIO

Con la información topográfica disponible, niveles en aproximadamente 10

puntos, se configuró el área factible de usar para regularización de los caudales pluviales; procediéndose a calcular la curva elevaciones-capacidades. Se manejaron dos posibilidades, la primera con toda el área factible de aprovechar que se denominó Laguna Grande y otra con la mitad del área llamada Laguna Chica. En las figuras 7.4 y 7.5 se muestran las gráficas de las dos curvas. El volumen total de escurrimientos que llegarían a la laguna es de aproximadamente 740 000 m³, según los hidrogramas obtenidos en las simulaciones; aceptando no tener salidas de la laguna hacia el Canal de Chalco, en la duración de la tormenta se llegará a las elevaciones 35.30 y 35.98 respectivamente para la Grande y la Chica.

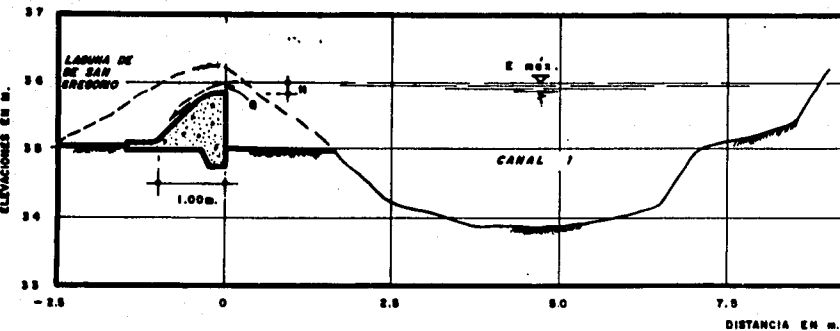
Si se tiene la elevación máxima del agua en los canales de las Zonas Oriente y Norte en la cota 36.0 m, en el caso de la Laguna Chica ya no podría aceptar más agua, mientras que para la Grande le queda un volumen remanente de 1304 800 m³ para aceptar otros escurrimientos.

El tiempo de vaciado hacia Canal de Chalco está en función del gasto de salida, que si es de 1 m³/s será de 8.5 días, mientras que si es de 10 m³/s pasará a 0.85 de día.

De lo anterior se concluye que lo más adecuado es la Laguna con el área total, dado que permite mayor regularización y mayor tiempo para un vaciado al Canal de Chalco, con gastos menores por bombear al Canal Nacional.

DATOS DE PROYECTOS

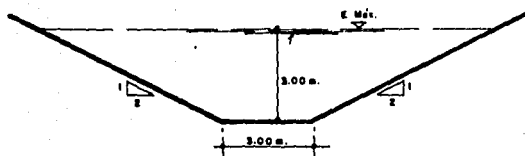
B DISEÑO = 7.68 m³/s
H VERTEDOR = 0.21 m
E MAX. = 38.00 m
L CRESTA = 40.00 m



**ESTRUCTURA DE DESCARGA A LAGUNA
ZONA ORIENTE**

DATOS DE PROYECTO

$Q = 13.06 \text{ m}^3/\text{s}$
 $T = 3.00 \text{ m}$
 $A = 27.00 \text{ m}^2$
 $P = 16.42 \text{ m}$
 $R_m = 1.86 \text{ m}$
 $S_m = 0.0001$
 $S = 0.025$
 $V = 0.98 \text{ m}$



**SECCION DE RECTIFICACION Y CONSTRUCCION
PARA DESCARGA A LA LAGUNA
ZONA NORTE**

DATOS DE PROYECTO

$Q \text{ DISEÑO} = 18.04 \text{ m}^3/\text{s}$
 $D \text{ VERTICIONAL} = 0.21 \text{ m}$
 $C \text{ BARRIO} = 15.00 \text{ m}$
 $L \text{ OBRERA} = 75.00 \text{ m}$



**ESTRUCTURA DE DESCARGA A LAGUNA
ZONA NORTE**

FIG. 7.2 Y 7.3

CURVAS ELEVACIONES - CAPACIDADES

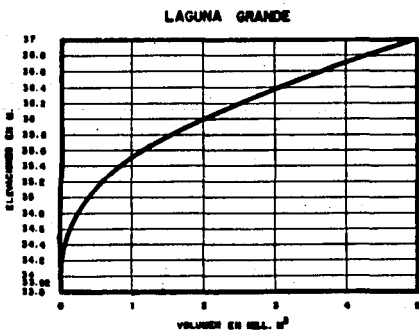
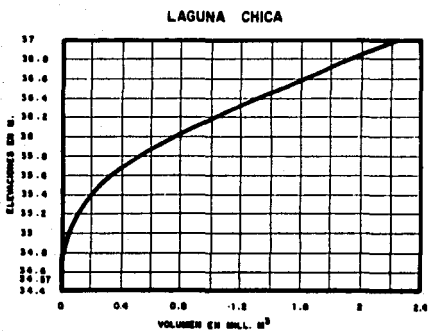


FIG. 7.4 Y 7.5

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se debe detener la extracción del agua subterránea a lo largo del Canal de Chalco; pues es lo que provoca los asentamientos del suelo que afectan a los niveles del agua en los canales de Xochimilco, haciendo que aumenten los niveles en la parte Norte y disminuyan en la parte Sur, donde se ubica la zona recreativa, dificultando la navegación de las trajineras.

En la actualidad con sistemas y paquetes de computadora, se facilita en gran medida la solución a problemas como el que presenta el Sistema de Canales de Xochimilco, en este estudio se pudo ver la bondad del modelo matemático para el tránsito de avenidas en canales, que podrá utilizarse en

aplicaciones posteriores, así como la importancia de la participación y apoyo de investigadores mexicanos que hacen posible la simulación y solución a problemas como éste.

La utilización del modelo en la simulación del comportamiento hidráulico en el Sistema, tanto en época de estiaje como en temporada de avenidas, da a conocer en forma confiable los resultados de elevaciones, gastos y velocidades en los canales de Xochimilco, ya que previamente éste se calibró, con lo que se pudieron plantear algunas alternativas de solución considerando los cambios que ya ha tenido el área en estudio, como es aprovechar la zona de mayores hundimientos para la construcción necesaria de la Laguna de San Gregorio, que probablemente provoque la llegada de algunas especies de aves al lugar aumentando con ello la solución al problema ecológico, amén de evitar inundaciones regularizando el paso del agua hacia Canal Chalco antes de ser bombeada a Canal Nacional.

Es importante aclarar, que en este estudio se utilizó la topografía de años anteriores, puntualizando la información al último levantamiento del que se tenía información, por lo que los resultados y eficiencia de las estructuras propuestas están condicionados a una actualización de un último levantamiento topográfico.

Para garantizar la solución al problema de Xochimilco se debe compaginar lo propuesto en este trabajo con el resto de planes que se tienen para la zona, dándole importancia al aspecto hidráulico que está influenciado por los hundimientos que se están presentando con gran rapidez.

De todo lo anterior y dada la magnitud física del Sistema de Canales de Xochimilco, la labor para su rescate debe ser interdisciplinaria. Por ello, se propone que se implementen acciones para conocer periódicamente los hundimientos que se tienen en el área, así como crear programas de detección de zonas inundadas o canales con falta de nivel para la navegación de las trajineras, permitiendo la colaboración de estudiantes, a manera de servicio social coordinados por la DCCOH, obteniendo con ello

participación de gente capacitada e interesada en el mejoramiento del Sistema.

Finalmente la presente investigación persigue una utilidad social cuya finalidad está más allá de la academia, cumpliéndose así un hecho que enorgullese a cualquier estudiante de nuestra querida Universidad, consistente en devolverle a la sociedad Mexicana, apenas una humilde parte de todo lo que bondadosamente y durante años nos ha brindado.

El valor histórico de trabajos dedicados a éste tema específico es incontestable. Al interior de muchos paradigmas teóricos cuya pretención ha sido la interpretación del desarrollo humano a través del tiempo uno de los conceptos más interesantes, que constituye un verdadero dilema para, historiadores, antropólogos, sociólogos y sobre todo filósofos es el concepto referente al "modo asiático de producción" o las denominadas "sociedades hidráulicas".

Lo anterior quiere decir que hubo culturas en diferentes tiempos y espacios (Asia, Latinoamérica, Africa) cuyo florecimiento y grandeza fué un don de la naturaleza al surgir siempre al lado de Ríos, Lagos y Lagunas. Dentro de su propia cosmovisión, la fuente hidráulica donde se asentaban era la fuente misma de la vida, Dioses y Demonios, el Alfa y el Omega se sintetizaban en el divino elemento, sin el cual la vida sería imposible.

Dichas comunidades hidráulicas tienen para la historia un valor inestimable, ya que confirman formas alternas de desarrollo económico, político y social, completamente ajenas al patrón cultural occidental. Nuestro proceso histórico es cualitativamente diferente al Europeo, por lo menos hasta antes del siglo XVI difícilmente encontramos puntos de convergencia.

Justamente a Xochimilco, se le atribuye la construcción de las primeras chinampas y la Calzada de Quyucan Tenochtitlán, sentándose las bases del modelo de Ciudad bajo el cual posteriormente se erigiera la capital del

Imperio Mexica, la Gran Tenochtitlán. La chinampa, por su parte, constituye la categoría más sencilla, la más general y explicativa, la herramienta analítica invaluable para poder conocer el sistema económico de nuestros antepasados. La chinampa caracteriza un sistema económico de producción propio de estos lugares, aunque ya antes se indicó que éste tipo de sistemas económicos surgió en diferentes latitudes, fueron las mexicas quienes le dieron una funcionalidad y efectividad, difícilmente comparables con otras culturas. Fué el sistema de chinampas lo que permitió que este imperio alcanzara la grandeza que logró.

Por lo anterior, atender los problemas aquí señalados a los cuales se enfrenta Xochimilco, no es plantear nada más una problemática actual, es una cuestión atemporal, en donde, nuestra identidad va de por medio. De no rehabilitarse debidamente las canales de Xochimilco, habremos dado otro paso hacia la pérdida de la memoria de lo que fuimos. Ante el olvido generalmente la historia cobra costosas facturas. No se puede ser, sin saber lo que se fué.

REFERENCIAS

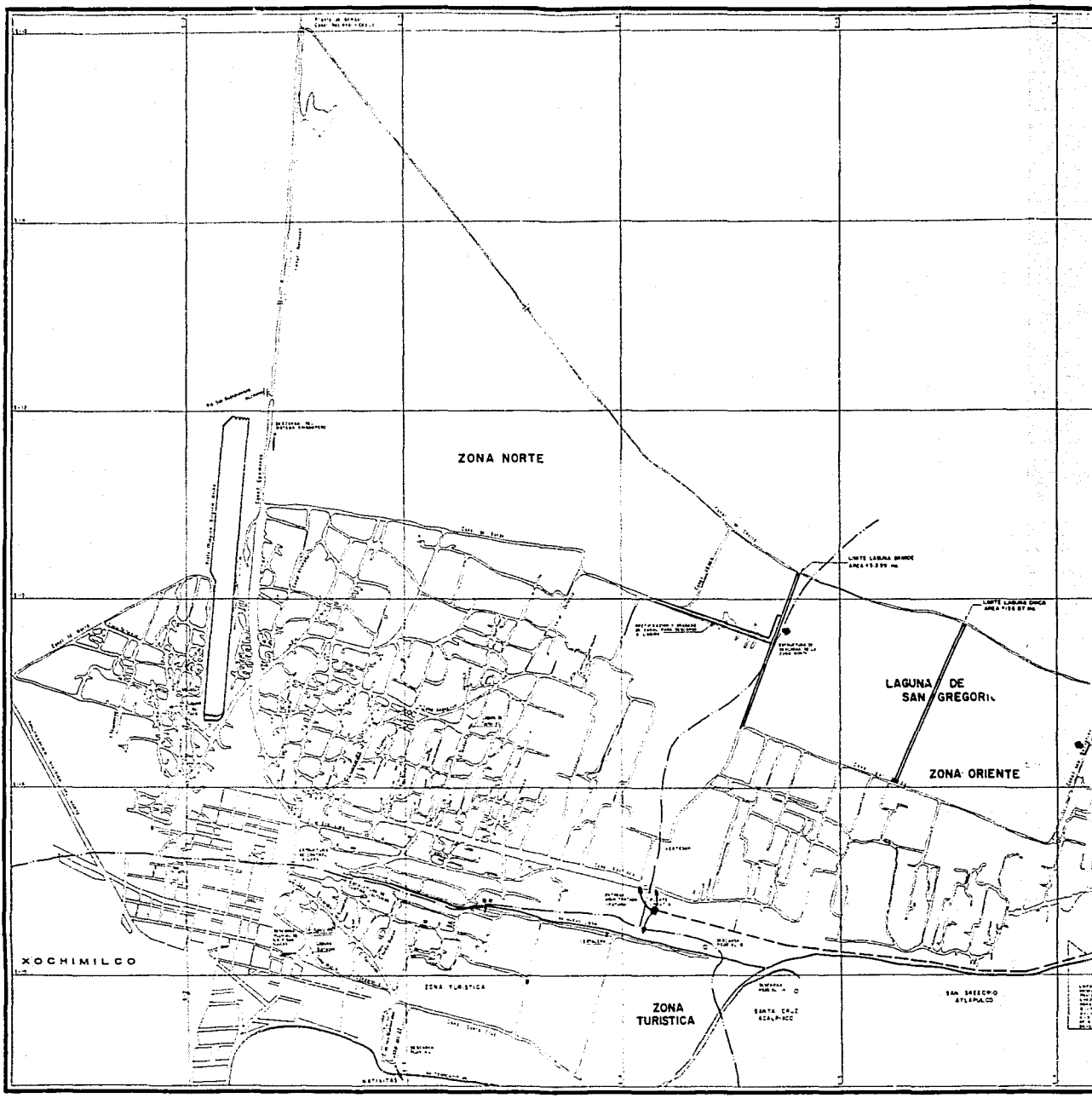
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
"PLAN HIDRAULICO", Xochimilco, 1989.

Francisco J. Aparicio Mijares, "HIDROLOGIA DE SUPERFICIE", UNAM,
Facultad de Ingeniería, 1986.

Eduardo Solar G., Leda Speziale de G., "ALGEBRA LINEAL", UNAM,
Facultad de Ingeniería, 1985.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de
Planeación, "NORMALES CLIMATOLOGICAS (1941-1970)", México
D. F., 1988.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión de
Aguas del Valle de México, "PROYECTOS EJECUTIVOS DEL DRENAJE DEL
VALLE DE GUAUTITLAN, MEX.", Informe Final, Sep. de 1978.



Plano de San Gregorio
del Municipio de Xochimilco

ZONA NORTE

LAGUNA DE SAN GREGORIO

ZONA ORIENTE

XOCHIMILCO

ZONA TURISTICA

ZONA TURISTICA

SAN GREGORIO ATLAPA

SANTA CRUZ
ECOPARQUE

LINTE LAGUNA NOROCC
AREA 132339 m²

LINTE LAGUNA OROCC
AREA 11287 m²

ESTACION DE
TRAMWAY
DE XOCHIMILCO

ESTACION DE
TRAMWAY
DE XOCHIMILCO

AV. DE LA UNIV.

ESTACION DE
TRAMWAY

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

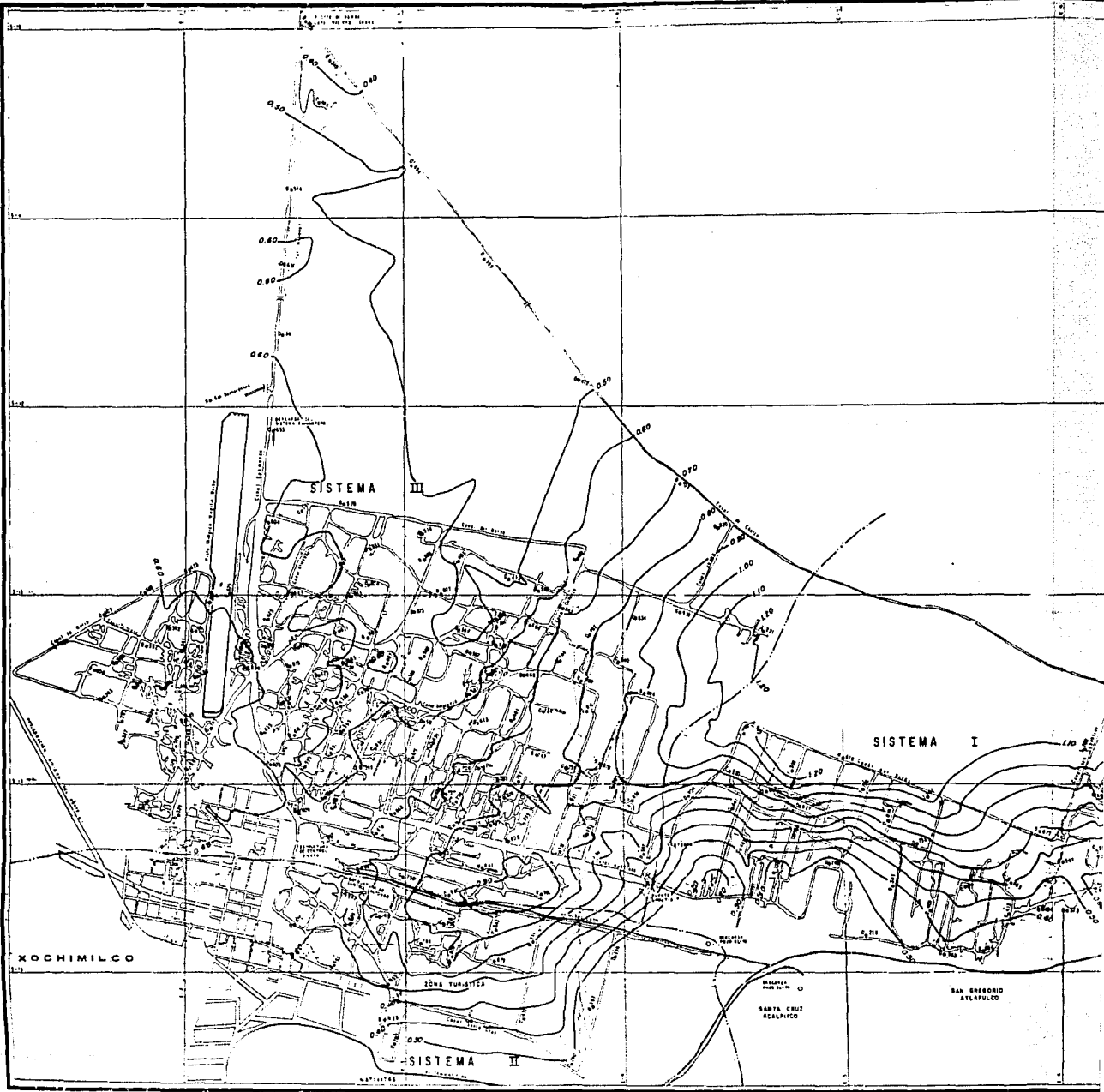
AV. DE LA UNIV.

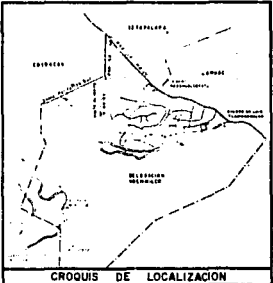
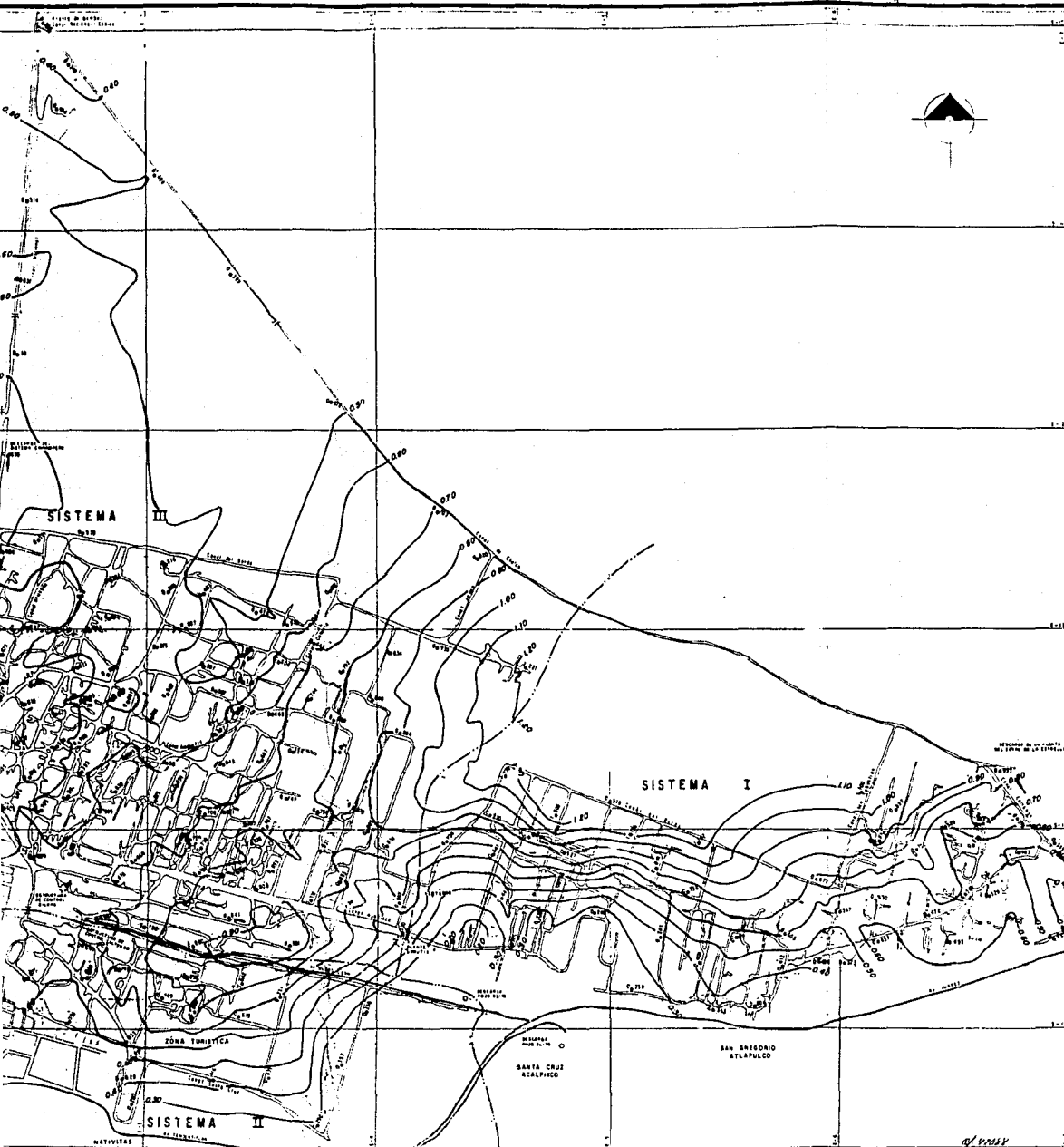
AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.

AV. DE LA UNIV.





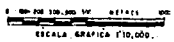
SIMBOLOGIA

LIMITE DE SISTEMA	---
CAÑAL	---
SIEMBRO DE BARRIO	---
MONUMENTO PARTIAL	○
CADA 100 M. DEL MONUMENTO	0.20 0.30

NOTAS

• EL PLANO DEL TITULO DEL LITIMONIO REALIZADO POR ESTE OFICIO

• ANEXOS NUMERADOS



	INGENIERIA.	ESTUDIO HIDRAULICO PARA LA REHABILITACION DE LOS CAÑALES DE XOCHIMILCO, D.F.	P-2
	ESTUDIO HIDRAULICO PARA LA REHABILITACION DE LOS CAÑALES DE XOCHIMILCO, D.F.	PROYECTO: DR. MARTIN VASCONCELOS FIGUEROA	FECHA: JULIO/1961

PLANTA DE XOXIMILCO
1950

ZONA NORTE

CANAL	DESGLOSE
1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...
8	...
9	...
10	...
11	...
12	...
13	...
14	...
15	...
16	...
17	...
18	...
19	...
20	...

ZONA ORIENTE

CANAL	DESGLOSE
1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...
8	...
9	...
10	...
11	...
12	...
13	...
14	...
15	...
16	...
17	...
18	...
19	...
20	...

CANAL	DESGLOSE
1	...
2	...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...
8	...
9	...
10	...
11	...
12	...
13	...
14	...
15	...
16	...
17	...
18	...
19	...
20	...

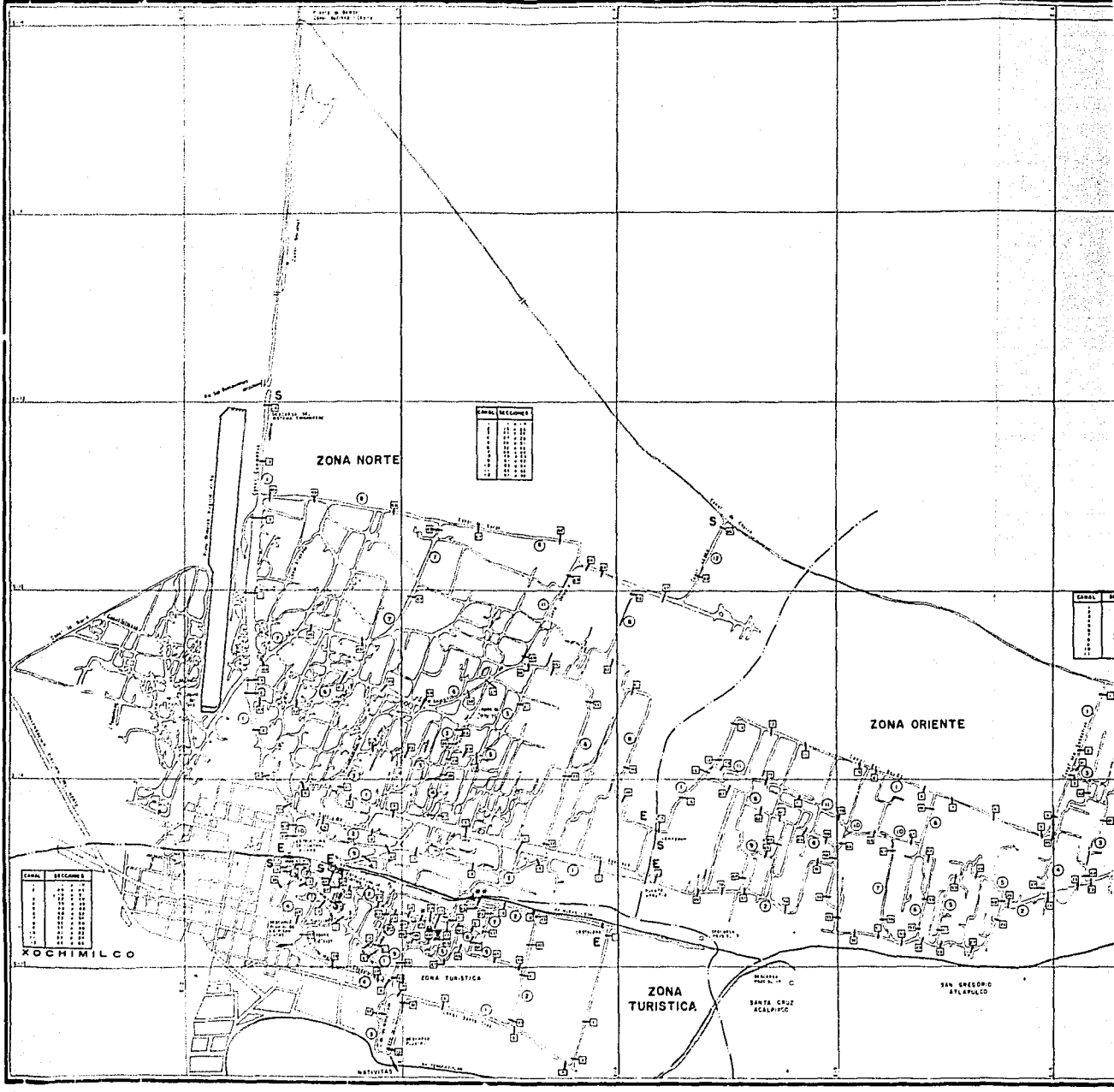
XOXIMILCO

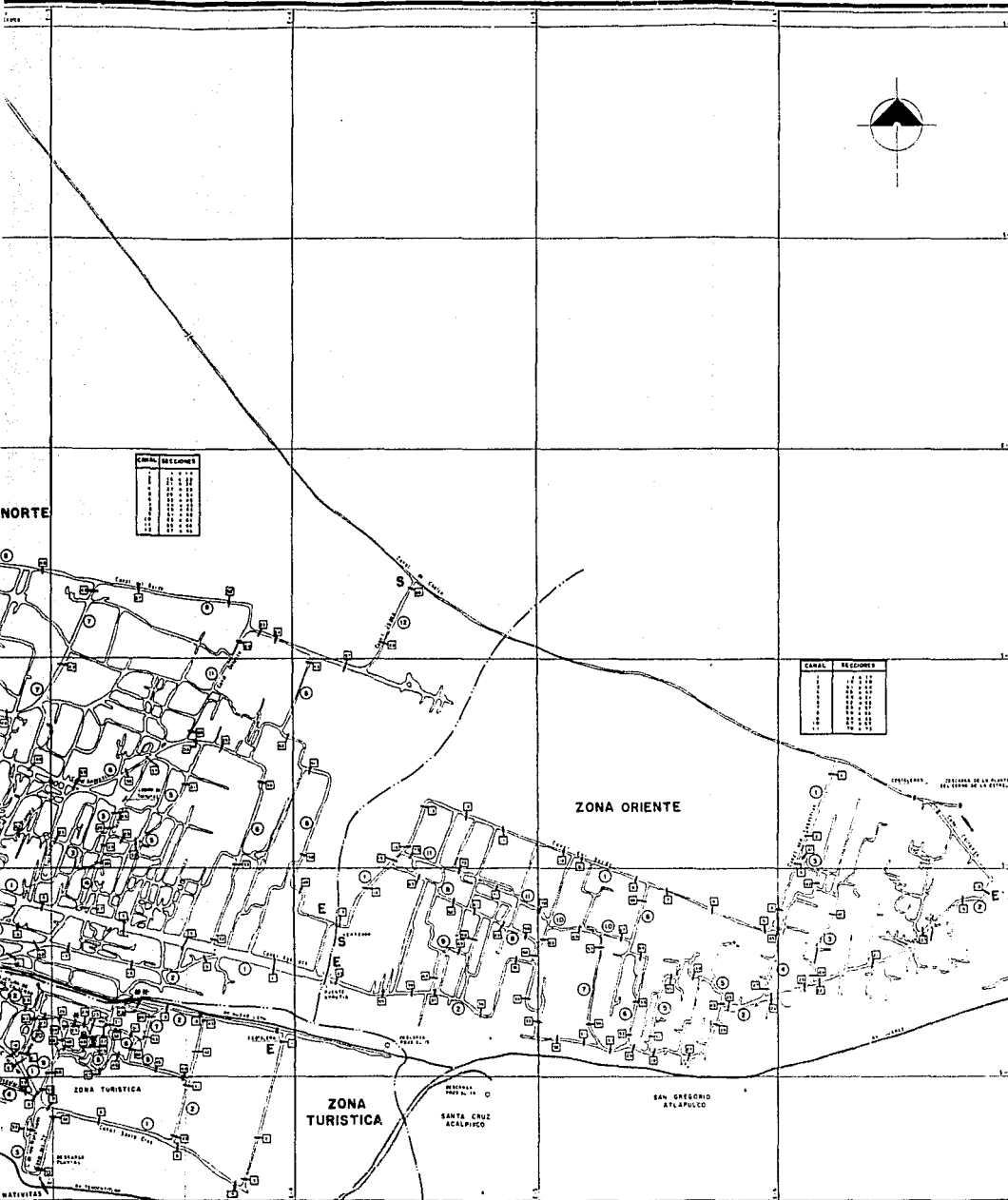
ZONA TURISTICA

ZONA TURISTICA

MELIPAN
SANTA CRUZ
ACALAPUCCO

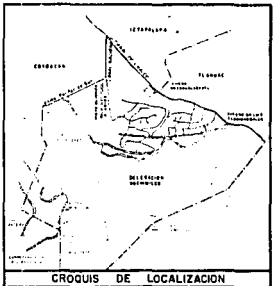
SAN GREGORIO
ATEPULCO





CANAL DE CAJONES	
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100

CANAL	SECCIONES
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100



SIMBOLOGIA

- CANAL
- CAJON DE PUENTE
- ESTRUCTURAS DE CONTROL
- MEDIDAS DE PUENTE
- DESVALDES
- NUMERO DE CANAL
- NUMERO DE SECCION
- ENTRADA
- SALIDA

NOTAS:
 • EL PLANO SE HIZO DEL CENSO HECHO POR EL INEGI

ESCALA GRAFICA 1:10,000

INGENIERIA.
 ESTUDIO HIDRAULICO PARA LA REHABILITACION DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO, D.F.
 P-3
 ANA MARTHA MASCORDELOS FLORES
 JUNIO DE 1967