

29



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DEL SISTEMA PRIMARIO  
DE DRENAJE DEL  
DISTRITO FEDERAL**

**Tesis Profesional**

Que para obtener el Título de

**INGENIERO CIVIL**

Presenta:

**HECTOR BETANCOURT GARCIA**

**MEXICO, D. F.**

**1987**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

I.	INTRODUCCION	1
II.	METODOLOGIA DEL ANALISIS	7
	II.1 Hidrologia	7
	II.1.1 Ciclo Hidrológico	7
	II.1.2 El Modelo Hidrológico	7
	II.2 Hidrologia en Areas Urbanas	11
	II.2.1 Introduccion	11
	II.2.2 Determinación Cuantitativa Del Desagüe Pluvial Urbano	14
III.	APLICACION AL CASO DEL DRENAJE DEL DIS- TRITO FEDERAL	27
	III.1 Drenaje de la Ciudad de México	27
	III.1.1 Descripción del Sistema de Drenaje de la Ciudad de México	27
	III.2 Consideraciones Básicas	37
	III.3 Análisis por Zonas	40
	III.3.1 Zona Poniente	40
	III.3.2 Zona Sur	44

III.3.3	Zona Oriente-Sur	56
III.3.4	Zona Oriente-Norte	61
III.3.5	Zona Norte	72
III.3.6	Zona Centro	82
IV.	CONCLUSIONES	108
	REFERENCIAS	140
	BIBLIOGRAFIA	141
	TABLAS Y FIGURAS	

## RELACION DE TABLAS Y FIGURAS

### T A B L A S

- III.1 Análisis comparativo de diferentes alternativas para el Sistema de Drenaje Profundo.
- III.2 Volúmen que no ingresa al Sistema de Drenaje Profundo.
- III.3 Gastos Máximos Registrados en los interceptores en cada alternativa.
- III.4 Gastos máximos simulados.

### F I G U R A S

- II.1 Modelo Hidrológico Simple
- II.2 Modelo Hidrológico Generalizado
- II.3 Forma de Hidrograma adoptada para  $c > d$  caso II.
- II.4 Volúmen de control para el planteamiento de la ecuación de continuidad durante un intervalo de tiempo  $dt$ .
- II.5 Volúmen de control para plantear la ecuación dinámica.
- II.6 Volúmenes de control para aplicación del TUAVE.
- III.1 Esquema del Sistema general de desagüe de México.
- III.2. Esquema de presas del Poniente.

- III.3 Esquema de obras propuestas en la Zona Sur.
- III.4 Hidrograma de diseño en el Río San Buenaventura.
- III.5 Perfil del túnel Magdalena - San Buenaventura.
- III.6 Hidrogramas simplificados de diseño para la rectificación del Río San Buenaventura.
- III.7 Esquema de obras necesarias para la regulación
- III.8 Sistema de Drenaje de la Zona Norte y gastos de diseño.
- III.9 Infraestructura de drenaje existente.
- III.10 Posibles estructuras.
- III.11 Alternativa No. 0
- III.12 Alternativa No. 1
- III.13 Alternativa No. 2
- III.14 Alternativa No. 3
- III.15 Alternativa No. 4
- III.16 Alternativa No. 5

La Ciudad de México ha experimentado una demanda acelerada de servicios como consecuencia del excesivo crecimiento demográfico y urbano, por lo que la satisfacción de esos servicios requiere de soluciones cada vez más complejas y costosas.

Algunos de los problemas más apremiantes son los del Sistema Hidráulico del Distrito Federal, pues aunque se cuenta con infraestructura para satisfacer las necesidades de los servicios de agua potable y drenaje de la mayoría de los habitantes de la ciudad, en algunas zonas existe insuficiencia o carencia de los mismos.

Un componente del Sistema Hidráulico es el sistema de drenaje del Distrito Federal, cuya función es proporcionar servicio a los habitantes para desalojar las aguas generadas en la cuenca y fuera de ella.

Este sistema de drenaje se ha desarrollado venciendo un sin número de dificultades tanto técnicas como económicas. Un ejemplo típico de este esfuerzo es la construcción del Gran Canal de Desagüe y del primer túnel de Tequisquiác, los cuales, debido a estas dificultades, necesitaron de 44 años para ser construídos (1856-1900). En igual forma, a principios de este siglo se construyó el primer sistema general de desagüe de la Ciudad de México, el cual descarga sus aguas en el Gran Canal del Desagüe.

Estas obras, al poco tiempo de empezar a funcionar presentaron insuficiencias, existiendo desde entonces el rezago entre la demanda del servicio de drenaje y su suministro. Esto obligó a realizar trabajos continuos de desazolve en el Gran Canal del Desagüe, así como la rectificación de su cauce, con el fin de proporcionar la capacidad requerida.

En la década de los treinta se observó la conveniencia de contener los escurrimientos provenientes del poniente de la Ciudad, ocasionados por la pronunciada pendiente de esta zona. Entonces se decidió regular estos escurrimientos en diversas presas de almacenamiento. Es así como se construyeron las presas en los cauces de los ríos Tecamachalco y San Joaquín (1930), Becerra y Tacubaya (1938), Mixcoac (1941) y Capulín (1944).

Asimismo, en 1937 se inició la construcción del segundo túnel de Tequisquiatic, debido a la insuficiencia del primero para desalojar el creciente caudal colectado por el Gran Canal del Desagüe. Este segundo túnel entró en operación en 1954.

La Ciudad continuó su crecimiento a un ritmo cada vez más acelerado, ocasionando el consecuente aumento en la demanda de servicios, provocando, en las décadas de los años cuarenta y cincuenta, la realización de las obras de entubamiento de los ríos Consulado, de la Piedad; así como el inicio de las obras del río Churubusco.

Por otra parte, en 1951 aparecieron las primeras consecuencias directas del hundimiento del subsuelo del área metropolitana en el sistema de drenaje,

lo que hizo necesaria la construcción de plantas de bombeo en ambas márgenes del Gran Canal del Desagüe, con objeto de incrementar la capacidad de los colectores que descargaban en él.

Finalmente, en 1954 se desarrolló el "Plan General para Resolver los -- Problemas del Hundimiento, las Inundaciones y el Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de México". En el renglón de drenaje, este plan propuso la construcción de importantes obras, resaltando el Interceptor del Poniente y el Sistema de Drenaje Profundo, aún cuando esto último se concibió con base en interceptores profundos, descargando a un Emisor Central, hasta 1959.

Es importante destacar que para poner en funcionamiento la primera etapa de este sistema fué necesario que transcurrieran 16 años (1975), en tanto que se necesitaron 23 años para empezar a operar la segunda etapa (1982). - Ambas etapas consisten de 89 km de túnel, lo que representa el 60% de los -- 145 km que componen la longitud total de túnel del proyecto. Estos largos - períodos han sido ocasionados, principalmente, por la magnitud de la inver-- sión necesaria para construir esta obra, aunado al hecho de que las autorida-- des del Departamento del Distrito Federal, al contar con recursos financie-- ros limitados, se han visto obligadas a establecer prioridades en el desarro-- llo de servicios, siendo el de drenaje uno de los más afectados, ya que el - beneficio que proporciona no es tan evidente como el de los servicios de - - agua potable, vialidad, alumbrado y transporte.

Ante las múltiples necesidades de infraestructura, tanto para incremen-- tar la capacidad de conducción en zonas con insuficiencia, así como para pro

porcionar el servicio en zonas donde se carece por completo de él, y considerando las restricciones impuestas por el presupuesto disponible, se vió la conveniencia de realizar el Plan Maestro de Drenaje del Distrito Federal.

En dicho plan, se tendrían que establecer una serie de aspectos metodológicos que generaran un proceso acorde con el objetivo mencionado; estos aspectos deberían de comprender todas y cada una de las estructuras componentes del Sistema General de Drenaje de la ciudad, y no caer en el error de querer solucionar el problema mediante el estudio y mejoramiento de subsistemas y estructuras menores, ya que de esa manera solo se daría una solución temporal a los problemas, y no se establecerían los lineamientos de acción necesarios para mejorar en forma global el drenaje pluvial y sanitario de la ciudad de México.

Para lograr esto se decidió que lo más adecuado era iniciar el proceso con los drenes principales, tomando en cuenta que los sistemas primarios y secundarios deberían sujetarse a las restricciones impuestas por los drenes principales y no el caso inverso.

En el desarrollo del Plan, se hizo la zonificación de los sistemas de drenaje, según su posibilidad de analizarse por separado, ya que el sistema de la Ciudad de México es muy complejo y difícil de considerar dentro de un modelo único, sin que ello implique simplificaciones importantes en el mismo. Estas zonas se nombraron según su ubicación dentro del Distrito Federal y fueron las siguientes:

- . Zona Poniente
- . Zona Sur
- . Zona Oriente-Sur
- . Zona Oriente-Norte
- . Zona Norte
- . Zona Centro

En cada una de las zonas se definieron diferentes alternativas de solución para los drenes principales, se realizaron simulaciones del funcionamiento hidráulico para las alternativas estudiadas y se definió la factibilidad de cada una de ellas, así como las características principales de las obras requeridas para su construcción. Con estos resultados se integró un conjunto de proyectos factibles desde el punto de vista técnico.

La selección de la alternativa óptima, se hará después de comparar entre sí todas las alternativas existentes en cada zona, y ver cual es la que mejor cumple con los objetivos fundamentales siguientes: mayor beneficio logrado, en el presente y a futuro, y menores costos de construcción, operación y mantenimiento.

Ahora bien, desde el punto de vista de jerarquización de las obras, es necesario hacer un análisis de la distribución urbana dentro del Distrito Federal, así como de los diferentes usos del suelo por áreas, para que con esta información, sea posible desarrollar un estudio beneficio-costos aplicable a cada una de las alternativas de solución. De esta forma sería posible hacer una evaluación general de todos los proyectos seleccionados para el mejo

ramiento del sistema de drenaje, y establecer un programa básico, que indique el orden que se debe seguir en la realización de las obras.

En el presente estudio, se llega únicamente a hacer la descripción de las diferentes alternativas de solución para todas las zonas en que se dividió el Distrito Federal.

## II.

## M E T O D O L O G I A

## II.1 HIDROLOGIA

La Hidrología es una de las ciencias de la tierra, que abarca el estudio de la ocurrencia, distribución, movimiento y propiedades de las aguas, así como sus relaciones con el medio ambiente. Debido a su alcance, se encuentra estrechamente relacionada con campos varios como la Geología, la Climatología, la Meteorología, la Oceanografía, etc.

## II.1.1 CICLO HIDROLOGICO

El Ciclo hidrológico es un proceso continuo por el cual el agua es transportada de los océanos a la atmósfera, de ahí a la tierra, y de regreso al mar. Dentro de éste, existen muchos subciclos, por ejemplo, la evaporación del agua en la tierra y su subsecuente precipitación, antes de retornar al océano. La fuerza motriz del sistema es provista por el sol, el cual suministra la energía requerida para la evaporación. Un detalle importante que hay que notar es que también la calidad del agua se modifica durante los cambios a través del ciclo. Por ejemplo, el agua de mar es convertida en agua fresca después de la evaporación.

## II.1.2 EL MODELO HIDROLOGICO

La cantidad total de agua sobre la tierra es finita e indestructible, por lo que el sistema hidrológico global puede ser considerado como cerrado. Sin embargo, los subsistemas hidrológicos abiertos son abundantes, y éstos son usualmente los analizados por el ingeniero hidrólogo.

Como ilustración, veamos el simple y altamente restringido sistema de la figura II.1. En éste, se considera una superficie plana inclinada completamente impermeable, confinada en los cuatro lados, y con una salida en la esquina A. Ya que la superficie es supuestamente un plano perfecto, no hay depresiones en las que el agua pueda ser retenida. Cuando se presenta una precipitación sobre la superficie, se desarrolla una salida de flujo en la esquina A, denominada como desagüe. Este sistema o modelo hidrológico puede ser representado por la siguiente ecuación diferencial:

$$I - Q = \frac{ds}{dt} \quad (1)$$

en donde

$I$  = Entrada por unidad de tiempo

$Q$  = Salida por unidad de tiempo

$ds/dt$  = Cambio de almacenaje dentro del sistema por unidad de tiempo.

Hasta que un tirante mínimo no es alcanzado sobre la superficie, la salida del flujo o desagüe no puede ocurrir; pero, conforme la tormenta se intensifica, el tirante o profundidad del agua retenida se incrementa. En el momento en que cesan los ingresos, el agua retenida o almacenada en dicho momento viene a ser la que va a salir del sistema a partir de ese instante. En este caso se está despreciando la pequeña cantidad ligada eléctricamente a la superficie y la evaporación durante el período de ingreso.

Sin embargo, la simplicidad de la ecuación del modelo mencionada anteriormente es engañosa, ya que los términos no pueden ser siempre tan facil-

mente cuantificados.

Una versión más generalizada del modelo hidrológico explicará los varios componentes del ciclo, al mismo tiempo que proporcionará un conocimiento de las técnicas de solución de problemas para regiones hidrológicas.

Los estudios hidrológicos para el sistema abierto  $hp - Q$  son frecuentemente realizados mediante el uso de cuencas, las cuales son áreas definidas topográficamente, drenadas cada una por uno ó varios ríos interconectados en tal forma que las descargas de todos tienen una salida común.

Un modelo hidrológico generalizado, como el que se vé en la figura II.2, se puede describir de la manera siguiente:

La precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo, etc., constituye el ingreso primario. Cierta cantidad de este ingreso puede ser interceptada por árboles, pasto, algún otro tipo de vegetación, y elementos estructurales, y eventualmente parte de esta pequeña cantidad regresará a la atmósfera por -- evaporación.

La precipitación llegará a la tierra y parte podrá llenar las depresiones (almacenaje en depresiones), parte se infiltrará y recargará la humedad del suelo y las reservas de agua subterránea, y el resto será el desagüe superficial, que es el flujo sobre la superficie de la tierra por un canal definido como un arroyo.

El agua que entra a la tierra puede tomar diferentes rumbos. Alguna pue de evaporarse directamente, si la transferencia del suelo a la superficie -- así lo permite. La vegetación aprovechando la humedad del suelo o el agua -- subterránea directamente, puede también transmitir el agua infiltrada a la atmósfera por el proceso conocido como transpiración. El agua infiltrada pue de asimismo recargar las deficiencias de humedad del suelo y entrar al almacenaje de las reservas de agua subterránea, el cual en ciertas épocas del -- año mantiene los flujos base de ríos de temporada. El movimiento del agua -- subterránea está sujeto, por supuesto, a las condiciones físicas y geológi-- cas del suelo.

El agua almacenada en depresiones eventualmente se evaporará o infiltra rá la superficie de la tierra. El escurrimiento superficial después de lle-- gar a canales menores (arroyos, riachuelos, etc.), fluye a corrientes mayores y ríos, y alcanza por último el oceano. A lo largo del curso de una corrien-- te, también pueden existir los procesos de evaporación o infiltración.

Todo esto nos lleva a la conclusión de que, el ciclo hidrológico apa-- rentemente simple en concepto, es en realidad sumamente complejo.

El modelo hidrológico para una región puede ser escrito simplemente co-- mo:

P - R - G - E - T = S

en donde: P = Precipitación

R = Escurrimiento superficial

G = Esguurrimiento subterráneo

E = Evaporación

T = Transpiración

s = Incremento de almacenaje

Esta es la ecuación básica de la Hidrología.

## II.2 HIDROLOGIA EN AREAS URBANAS

II.2.1 Introducción.- En las últimas décadas, el número de complejos metropolitanos en el continente ha aumentado rápidamente. Estos complejos abarcan -- aproximadamente el 9% de la superficie geográfica de cada país, pero en -- ellos vive alrededor del 63% de la población de dicho país.

Esto es una muestra de la tendencia contemporánea a una urbanización -- más intensiva en las principales ciudades del continente. Como consecuencia los problemas urbanos asociados con los aspectos hidrológicos han llegado a ser intensamente más agudos. La Hidrología de áreas urbanas es generalmente bastante compleja.

A continuación se hará un esbozo de las principales fases sucesivas -- del proceso de la hidrología urbana:

1ª. Al caer la lluvia es interceptada parcialmente por la vegetación -- antes de llegar al suelo.

Cuantitativamente, esta intercepción de la lluvia es de escasa importancia en conexión con el drenaje pluvial urbano, y puede ser ignorada en el diseño.

22. Al llegar la lluvia al suelo se presentan dos fenómenos simultáneos: se infiltra en el terreno y comienza a mojar la superficie, llenando las depresiones.

En lo que respecta a la infiltración, la mayoría de las curvas de capacidad de infiltración de campo, indican que la proporción de la misma disminuye hasta un mínimo después de 1 ó 2 horas de haberse iniciado.

La gran influencia de la cobertura vegetal es evidente, ya que la capacidad de infiltración de un suelo llano puede ser aumentada de 3 a 7.5 veces con una buena cobertura de vegetación o césped.

Otro factor que influye en la capacidad de infiltración del suelo es la precipitación antecedente; por lo general, las lluvias de alta intensidad y corta duración, vienen después de un periodo de secas. Sin embargo, son muy pocos los datos cuantitativos disponibles para evaluar este factor.

De la precipitación que alcanza las azoteas, pavimentos y superficies impermeables, alguna cantidad es atrapada en las muchas depresiones poco profundas, de variados tamaños y profundidades, existentes en prácticamente todas las superficies. La magnitud específica del almacenaje en depresiones no ha sido medida en campo, debido a las dificultades obvias de obtener datos significantes.

El proceso continúa hasta que se forma un tirante suficiente para romper la tensión superficial y la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del terreno, en cuyo caso se inicia el escurrimiento por la superficie.

39. Al desarrollarse el escurrimiento ocurren otros procesos simultáneos:

- . El agua se infiltra con una velocidad que depende del grado de saturación del terreno, la intensidad de la lluvia y el volumen de agua almacenado sobre la superficie.

- . Las depresiones más grandes del terreno se siguen llenando.

- . Se produce un flujo en el que los tirantes y las velocidades varían continuamente, gobernado por las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento y alimentado con la lluvia efectiva.

40. El agua que llega a las cunetas va acumulándose en ellas y, una vez que forma un tirante suficiente, escurre hacia las coladeras.

59. El agua que llega a las coladeras ingresa al sistema de drenaje o bien, si éste no tiene capacidad suficiente, continúa escurriendo por la cuneta.

El flujo que entra al albañal en el extremo aguas arriba de éste, es mínimo, y se va incrementando progresivamente hacia aguas abajo. El flujo en el albañal es espacialmente variado, y el perfil longitudinal de la superficie del agua es muy complejo. El almacenaje en albañales generalmente tiene gran influencia en la reducción del pico de un hidrograma. Esta influencia puede ser mayor inclusive que la que tiene la detención superficial del flujo.

69. En los colectores de drenaje, el escurrimiento es gobernado por las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento. El flujo es primero a superficie libre para después, cuando la capacidad de los conductos no es suficiente, escurrir a presión llegando en ocasiones a derramarse.

## II.2.2 DETERMINACION CUANTITATIVA DEL DESAGÜE PLUVIAL URBANO

El Método Racional.- El método racional es comunmente usado, ya que requiere de poca información para su aplicación y un mínimo de cálculo numérico.

El método es usualmente expresado en términos de la siguiente ecuación:

$$Q = C I A$$

en donde Q es la descarga pico, C es el coeficiente de escurrimiento, I es la intensidad uniforme de lluvia, y A es el área de drenaje.

El gasto máximo se calcula para una duración de tormenta igual al tiempo de concentración.

Como puede verse, la fórmula racional es simplemente una expresión para convertir la intensidad de lluvia en escurrimiento sobre un área determinada.

Los conceptos fundamentales requeridos para su uso son los siguientes:

**Coefficiente de escurrimiento.**- Este coeficiente es una relación del volumen escurrido con respecto al volumen llovido, y depende fundamentalmente de la impermeabilidad del área donde ocurre la precipitación.

Este coeficiente tiene que considerar las varias condiciones climáticas y características fisiográficas de la cuenca. El criterio requerido en la -- estimación de C es por lo tanto considerable.

Existe gran cantidad de información en libros y manuales de hidrología en los cuales se sugieren diferentes valores de C en función del tipo de -- área a drenar.

**Tiempo de concentración.**- Es el tiempo que le tomaría al agua de lluvia recorrer desde la parte más alejada de la cuenca hasta el punto de interés.

Este tiempo variará, dependiendo generalmente del talud o inclinación y del tipo de las superficies.

Para el diseño de redes de alcantarillado, el tiempo de concentración se acostumbra calcular como:

$$T_c = T_e + T_f$$

en donde:

$T_e$  = Es el tiempo en que el agua escurre a superficie libre hasta su ingreso al sistema. Se denomina tiempo de entrada.

$T_f$  = es el tiempo que lleva al agua recorrer los conductos aceptando una velocidad a tubo lleno, desde las cabezas de atarjeas o colectores hasta el punto considerado. Se denomina tiempo de flujo.

Cuando el área de drenaje es completamente pavimentada, el tiempo de entrada puede ser considerado entre 5 y 10 min. aproximadamente, para una longitud de flujo hasta el ingreso de 30 a 150 m. Para áreas verdes el tiempo se considera que varíe de 10 min. para longitudes de flujo menores de 30 m, a aproximadamente 30 min. para longitudes de 120 a 150 m.

Intensidad media de lluvia.- Representa la rapidez media con que se precipita la lluvia para una duración de tormenta dada.

El uso de una intensidad de lluvia uniforme para la duración de la tormenta es una suposición simplificatoria ya que la lluvia no persiste realmente en una intensidad constante ni aún para un tiempo tan corto como 5 min.

#### Método del Hidrograma Sintético.-

En este método se utilizan los mismos datos que para la aplicación del método racional, como son área de la cuenca drenada, coeficiente de escurrimiento, tiempo de concentración, duración de la tormenta, e intensidad de la lluvia.

El método consiste en calcular el volumen de escurrimiento en la cuenca ocasionado por una tormenta, y ya que se tiene este valor, se distribuye dentro de un hidrograma adoptando los valores del tiempo de concentración y de duración de la tormenta; de esta manera el gasto pico se puede obtener fácilmente.

Existen dos tipos de hidrogramas sintéticos como se puede ver en la fig. II.3, dependiendo de si el tiempo de concentración es mayor o menor que la duración de la tormenta.

#### DRENAJE EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.

El problema de analizar el comportamiento de redes de alcantarillado estriba en definir las características del flujo en las mismas. Desde un punto de vista general, se trata de un flujo espacialmente variado no uniforme y no permanente con condiciones de frontera variables. Por lo anterior, las características hidráulicas del flujo, es decir tirantes y velocidades, varían con el tiempo y el espacio.

El problema se incrementa con el hecho de que los conductos pueden trabajar en un momento dado como canal o bajo condiciones de carga, y debe de considerarse además una regulación adicional que tiene lugar en cada tramo de los conductos que incluye el sistema secundario de la red, integrado por las atarjeas y pozos de visita existentes en esos tramos.

En lo que sigue se tratará el problema del paso de una onda de avenida por un sistema de alcantarillado urbano, que puede estudiarse como un flujo unidimensional a régimen no establecido, es decir que las variaciones en sentido transversal a la dirección del flujo son de menor importancia, y las variaciones en cualquier punto a lo largo del eje del escurrimiento sin función del tiempo.

Para el planteamiento del problema se utilizan dos principios básicos: el principio de conservación de la masa, que conduce al planteamiento de la ecuación de continuidad, y el de la conservación del momentum o segunda Ley de Newton que conduce a la ecuación dinámica.

a) Ecuación de continuidad: el principio de conservación de la masa establece que el ingreso neto (entrada menos salida) a un volumen de control es igual al cambio de almacenaje. Si se considera un volumen de control como el mostrado en la figura II.4, se tendrá:

$$\rho \left( V - \left( \frac{dV}{dx} \frac{dx}{2} \right) A - \left( \frac{dA}{dx} \frac{dx}{2} \right) dt - \rho \left( V + \left( \frac{dV}{dx} \frac{dx}{2} \right) A + \left( \frac{dA}{dx} \frac{dx}{2} \right) dt \right) = \rho \frac{dA}{dt} dx dt +$$

$$\rho q dx dt$$

Haciendo operaciones y despreciando derivadas de segundo orden:

$$-\rho \left( V \frac{dA}{dx} dx + A \frac{dV}{dx} dx \right) dt + \rho q dx dt - \rho \frac{dA}{dt} dx dt = 0$$

dividiendo entre  $-\rho dx dt$

$$V \frac{dA}{dx} + A \frac{dV}{dx} - q + \frac{dA}{dt} = 0$$

b) Ecuación dinámica: de acuerdo con la segunda Ley de Newton, el cambio de momentum por unidad de tiempo en un volumen de control es igual a la resultante de todas las fuerzas externas actuando sobre dicho volumen.

$$\Sigma F = \frac{d}{dt} (mv)$$

En la derivación para flujo unidireccional se hacen las siguientes hipótesis:

- 1) La velocidad es uniforme en toda la sección transversal
- 2) La distribución de presión es hidrostática.
- 2) La ecuación de Manning puede utilizarse para evaluar la fuerza de fricción debida a los esfuerzos cortantes en todo el perímetro mojado.
- 4) Las aportaciones laterales  $q$  introducen solamente gasto y no momentum de control.

En la fig. II.5 se puede ver el volúmen de control para plantear la ecuación dinámica.

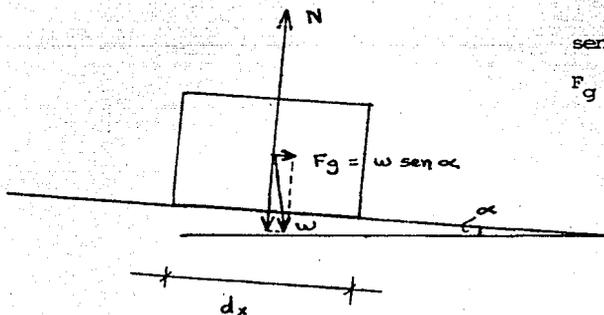
La fuerza hidrostática en las secciones 1 y 2 es:

$$F_1 = \gamma (Yc A - \frac{d}{dx} (YcA) \frac{dx}{2})$$

$$F_2 = \gamma (YcA + \frac{d}{dx} (YcA) \frac{dx}{2})$$

$$F_1 - F_2 = -\gamma \frac{d(YcA)}{dx} dx$$

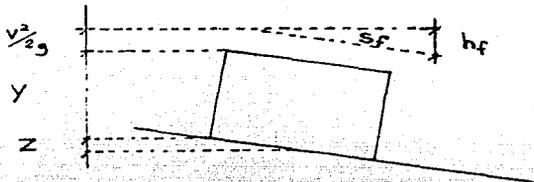
suponiendo una pendiente pequeña de canal.



$$\text{sen } \alpha = \tan \alpha = s$$

$$F_g = \gamma (A dx) s$$

El trabajo realizado por la fuerza de fricción es  $F_f dx$ ; este trabajo - debe ser igual a la pérdida de energía  $hf = S_f dx$



Como la carga  $h_f$  es energía por unidad de peso

$$\Delta E = S_f dx (\gamma A dx) = F_f dx$$

de donde

$$F_f = \gamma A S_f dx$$

El cambio de momentum dentro del volumen de control es

$$\frac{d}{dt} (mv) = m \frac{dv}{dt} + V \frac{dm}{dt}$$

$m$  es la masa contenida en el volumen de control,  $m = \rho A dx$

$dm/dt$  es el cambio de masa debido a la aportación lateral  $q$ ,  $\frac{dm}{dt} = \rho q dx$

como  $V$  es función de  $(x, t)$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt} + \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dt} + V \frac{dv}{dx}$$

entonces

$$\frac{d}{dt} (mv) = \rho A dx \left( \frac{dv}{dt} + V \frac{dv}{dx} \right) + \rho q V dx$$

igualando la suma de fuerzas al cambio de momentum se llega a:

$$F_1 - F_2 - F_f + F_g = \frac{d}{dt} (mv)$$

$$-\gamma \frac{d}{dx} (YcA) dx - \gamma A Sf dx + \gamma As dx = \rho A dx \left( \frac{dv}{dt} + V \frac{dv}{dx} \right) + \rho q V dx$$

dividiendo entre  $-\rho A dx$

$$\frac{g}{A} \frac{d}{dx} (YcA) + g (sf-s) + \frac{dv}{dt} + V \frac{dv}{dx} + q \frac{V}{A} = 0$$

Reagrupando términos

$$\frac{dv}{dt} + V \frac{dv}{dx} + \frac{g}{A} \frac{d}{dx} (YcA) + \frac{Vq}{A} + g (sf-s) = 0$$

Las ecuaciones A y B forman un sistema de ecuaciones diferenciales de tipo hiperbólico, para el cual no existe una solución general con la cual se pudiera llegar a soluciones de problemas particulares, aún cuando se conozcan las condiciones iniciales y las condiciones de frontera.

#### MODELO DINAMICO DE SIMULACION

El procedimiento de cálculo empleado para el funcionamiento hidráulico de colectores consiste esencialmente en la integración simultánea por diferencias finitas, de las ecuaciones dinámica y de continuidad. Con ello se consigue tener una idea razonablemente precisa del efecto de almacenaje en la red y, por ende, del funcionamiento completo de la misma.

Como se puede ver en el subcapítulo anterior, en la ecuación B solamente el primer término es lineal, ya que los demás no lo son, por lo que el procedimiento de linearización consiste en separar la variable no lineal en dos partes, considerando a la parte más importante del término como variable evaluada en el tiempo  $j + 1$  y a la otra parte como constante que toma el valor en el instante anterior  $j$ ; así la ecuación dinámica toma la forma

$$\frac{dv}{dt} + V_j \frac{dv}{dx} + c_j g \frac{\delta y}{\delta x} + \frac{V_{j+1}}{Y_j} q + g \left[ \left( \frac{V_{jn}^2}{R_j^{4/3}} \right) V_{j+1} - S_j \right] = 0$$

Si se tuviera una red formada por una serie de tuberías con un cierto acomodo, y con gastos de agua constantes hacia ellos, el cálculo hidráulico sería relativamente sencillo ya que, si se conocieran las características físicas de la descarga y el gasto de salida del sistema, se podría plantear una ecuación dinámica en cada tramo de la red y, mediante un procedimiento iterativo, conocer los parámetros hidráulicos.

Sin embargo, en un sistema real de drenaje se presentan las siguientes dificultades:

- Los gastos de ingreso no son constantes en el tiempo, por lo que los tirantes y velocidades cambian continuamente.

- Como el drenaje es por medio de tubos, en las ecuaciones de continuidad se deben considerar tres etapas de funcionamiento: en la primera se toma en cuenta el almacenaje que puede ocurrir en cada tramo, antes de que se entre en carga; en la segunda se considera la fase de llenado de los pozos de visita, cajas y sistemas secundarios; y en la tercera se toma en cuenta que

una vez llenos los pozos, es posible que existan salidas del sistema en sitios no previstos originalmente.

- No se puede considerar a priori el gasto total de salida, aún cuando la condición de frontera en el extremo terminal esté definida.

Por todas estas razones, el cálculo de un sistema de drenaje requiere de una metodología más elaborada. En efecto, una vez definidos los hidrogramas de ingreso, para analizar el funcionamiento hidráulico de una red se requiere:

- Definir las condiciones de frontera en los sitios de salida de la red con el fin de expresar los gastos descargados en términos de la velocidad y el tirante en la proximidad de la salida (régimen de extracción si se trata de plantas de bombeo, descarga libre o tirante constante).

- Subdividir la red en un cierto número de tramos, tomando en cuenta su geometría (pendientes, diámetros y confluencias).

- De acuerdo con la subdivisión en tramos, establecer un sistema de -- ecuaciones compuesto por una ecuación dinámica entre dos celdas y por una -- ecuación de continuidad en cada celda. En estas ecuaciones, las incógnitas son las velocidades que se registran al final de los tramos y los tirantes al centro de ellos, para cada intervalo de tiempo; los coeficientes están -- definidos por la geometría del sistema, por los gastos de ingreso y por los valores de las velocidades y tirantes en el intervalo inmediato anterior.

Obviamente, para resolver cada uno de los sistemas así planteados, se debe comenzar por el análisis de la red en condiciones de flujo permanente, mismas que simulan su funcionamiento para un gasto base o de "estiaje".

#### EL MODELO TUAVE

Con base en estas consideraciones, se utilizó un modelo dinámico de simulación que presenta un esquema implícito para el manejo de las ecuaciones dinámica y de continuidad en tuberías de sección circular. Dicho modelo recibe el nombre de TUAVE. Con el fin de mejorar la estabilidad se emplea el artificio de plantear las ecuaciones en volúmenes de control con medio tramo de desfaseamiento, como se ve en la figura II.6.

Aplicando las ideas anteriores, las ecuaciones de continuidad e impulso quedan

$$C_1 V_{i-1}^{j+1} + C_2 V_i^{j+1} + C_3 V_i^{j+1} = C_4$$

$$I_1 V_i^{j+1} + I_2 V_i^{j+1} + I_3 V_{i+1}^{j+1} = I_4$$

donde C e I son constantes.

Esa estructura de las ecuaciones forma un arreglo matricial en banda tridiagonal. Para matrices con esas características, el mejor método de solución es el conocido como doble barrido. En el primer barrido se transforma la matriz original en otra matriz, con ceros en la diagonal superior y unos en la diagonal principal; en el segundo barrido se transforma la ma-

triz anterior en la matriz identidad. El vector de términos independientes es entonces la solución del sistema.

Como condiciones de frontera el modelo considera: fronteras de gasto o hidrogramas conocidos, en los tramos aguas arriba de cada ramal, fronteras de tirante conocido, que son generalmente las confluencias con colectores - aguas abajo, o tirante crítico en las caídas, cuando éstas se presentan en el último tramo aguas abajo.

El modelo planteado hasta aquí para un solo cauce, se generaliza para redes o sistemas con varios afluentes, para lo cual se divide la red en dos conjuntos de cauces, tales que elementos del mismo conjunto no se crucen -- entre sí; de esa manera, un conjunto sirve de frontera al otro.

## III.

## A P L I C A C I O N E S

## III.1 DRENAJE DE LA CIUDAD DE MEXICO

La Ciudad de México cuenta con un sistema de desagüe urbano sumamente complejo, debido al alto crecimiento que ha experimentado la misma durante las últimas décadas.

Como consecuencia de su acelerado desarrollo, la dotación de servicios a la comunidad se ha tenido que hacer sin una planeación adecuada. Por el contrario, se han dado soluciones a problemas particulares específicos, que aquejan a determinadas zonas en un momento dado.

A continuación, haremos una descripción de los principales componentes del Sistema General de Drenaje de la Ciudad de México.

El desagüe de la ciudad y en general el de la cuenca del Valle de México, es un sistema que se caracteriza por contar con cauces de conducción superficial a través de canales o ríos, y conducción profunda a través de colectores e interceptores.

III 1.1 El drenaje primario es a base de colectores. Estos son tubos de 61 cm o mayores que colectan, mediante las aportaciones de tubos menores llamados atarjeas, las aguas procedentes de las descargas domiciliarias y sanitarias y las generadas durante una lluvia que se presenta dentro del área metropolitana.

En la ciudad de México existe un sistema troncal de colectores que abarca toda el área urbana. En la zona central de la ciudad, estos colectores siguen un orden de circulación principal en el sentido Poniente-Oriente, debido a que cuando se construyeron, se hicieron de manera tal que descargarán sus aguas al Gran Canal del desague. Esta zona está comprendida entre el Río de los Remedios al norte, el Río Churubusco al sur, el Interceptor del Poniente al oeste y el Gran Canal del desague y el Río Churubusco al este. Fuera de dicha zona, el sentido de circulación de los colectores ya no tiene un orden especial, sino que depende del lugar hacia donde vayan a descargar sus aguas.

Hay colectores de gran importancia, debido a su gran longitud y al gran tamaño de área que drenan. Por ejemplo, al norte de la ciudad se pueden mencionar el colector 15, que drena aproximadamente  $45 \text{ km}^2$ , y atraviesa la ciudad de poniente a oriente; el colector 11 drena alrededor de  $20 \text{ km}^2$  y tiene una longitud aproximada de 13.65 km; el colector Consulado alivia aproximadamente  $10 \text{ km}^2$ .

En el centro de la ciudad hay un grupo de colectores que forman el sistema central, el cual desagua la parte céntrica del Distrito Federal, que incluye el primer cuadro y las colonias Juárez, Cuauhtémoc, Roma, Doctores y San Rafael, entre otras. El total de área servida es de  $21.6 \text{ km}^2$ .

Hacia el suroriente de la ciudad hay colectores también muy importantes como son el Iztapalapa 2, que sirve a las colonias Iztapalapa, Vicente Guerrero, Santa Cruz Meyehualco y otras; y el Prolongación División del Nor

te, que sirve a un área aproximada de 23 km<sup>2</sup>.

Al sur de la ciudad, el colector Canal de Miramontes desagua a un área de 36 km<sup>2</sup>.

El total de colectores de la ciudad se puede agrupar en 39 subsistemas, que drenan así toda el área del Distrito Federal. Las aguas recolectadas por ellos son descargadas en estructuras conductoras de mayor tamaño, y éstas a su vez las hacen llegar hasta las estructuras de salida del sistema general de drenaje.

A continuación se describen las descargas recibidas y aportadas por -- los principales conductos del sistema:

a) Gran Canal del Desagüe. Recibe las descargas de los colectores que desaguan las zonas centro y oriente de la ciudad, y las conduce al Lago de Texcoco por los canales de la Draga y de Sales; también los desfuegos de las zonas industrial y urbana ubicadas a los lados del canal, y del canal de Cas<sup>te</sup>ra. Recibe también descargas controladas de la desviación combinada de los ríos del poniente a través del Río de los Remedios, y los excedentes de la Laguna de Zumpango.

Las descargas de los colectores al Gran Canal se efectúan por medio - de un sistema de plantas de bombeo distribuidas en los primeros 9 km del - mismo. El total de plantas que descargan al mismo son 12, bombeando las - aguas residuales de varios colectores como el Churubusco, Río Consulado, -

Canal del Norte, colectores 11 y 11A, y otros.

El Gran Canal descarga en el río Salado a través de los túneles de Tequixquiac.

b) Río Churubusco. Recibe escurrimientos provenientes del suroeste de la ciudad, los cuales en parte se originan por aportes de los ríos Eslava, Magdalena, San Jerónimo, Tequilazco, Barranca del Muerto y Mixcoac. En el Río descargan nueve plantas de bombeo las aguas residuales de los colectores Ejercito de Oriente, Plutarco Elías Calles, Apatlaco, Iztapalapa 2 y -- otros.

El Río Churubusco puede realizar descargas controladas al Gran Canal - del Desague, a través del colector Prolongación Sur del Gran Canal (también llamado colector Churubusco), a los canales de Xochimilco y mediante bombeo a la planta de tratamiento Cerro de la Estrella.

c) Interceptor del Poniente. Se inicia en la Delegación Alvaro Obregón y recibe los escurrimientos provenientes del oeste de la ciudad. Capta parte de las aportaciones de los ríos Magdalena, San Angel y Barranca del Muerto; y los escurrimientos generados aguas abajo del sistema interconectado de presas: Mixcoac, Becerra, Tacubaya, Dolores, Tecamachalco, San Joaquín y el Tornillo. El Interceptor del Poniente descarga sobre el río Hondo, el cual a través del canal del Tornillo, recibe las aportaciones generadas en el sistema interconectado de presas mencionado. El río Hondo descarga en el Vaso de Cristo, el cual actúa como regulador y descarga a su vez ha--

cia el río de los Remedios a través de su toma baja, y hacia la continuación del Interceptor del Poniente a través de su toma alta. El río de los Remedios se regula en los vasos Fresnos y Carretas, y pueden hacerse descargas controladas al Interceptor Central, o permitir el flujo hacia el Gran Canal después de recibir las aportaciones de los ríos Tlanepantla y San Javier. El Interceptor del Poniente puede realizar descargas controladas hacia la Laguna de Zumpango, o continuar hacia el Tajo de Nochistongo, en donde se descarga hacia afuera del Valle.

d) El Interceptor Central. Recibe las descargas de los colectores río Consulado, Humboldt, 11, 15, Central y otros, cuando las compuertas de las obras de captación se abren. Los colectores -- arriba mencionados captan los escurrimientos de la zona noroeste de la Ciudad. Actualmente se están comenzando los trabajos para realizar la captación del río de la Piedad, con lo cual se podrán captar los escurrimientos de otra gran área del poniente. También recibe descargas controladas provenientes de los ríos Los Remedios, Tlanepantla, San Javier y Cuauhtepac. Finalmente, se une con el Interceptor Oriente para entroncar juntos al Emisor Central en la Lumbrera cero de este último.

e) Interceptor Oriente. Recibe las descargas controladas provenientes de la obra de toma ubicada en el kilómetro 6 + 985 del Gran Canal. También está en construcción la obra de captación del colector Chalmita, con lo -- cual se dará alivio a un área importante de la zona norte de la ciudad.

f) El Emisor Central. Recibe las descargas de los interceptores Central, Oriente y Centro-Poniente, y las conduce hacia el Río El Salto a través del Portal de Salida.

En la Fig. III.1, se muestra esquemáticamente el Sistema General de Desagüe de la Cuenca del Valle de México.

### III.2

#### Sistemas de ríos y presas

Los ríos que forman parte del Sistema Hidráulico de la cuenca forman sistemas, dentro de los cuales se distinguen:

**Sistema Poniente.** Comprende la serie de ríos del poniente desde los ríos Eslava y Magdalena en el extremo sur, hasta el río Tepetzotlán en el norte.

**Sistema Sur.** Desde el río San Buenaventura hasta el río Ameca.

**Sistema Oriente.** Desde el río de la Compañía hasta el río de San Juan Teotihuacán.

**Sistema Norte y Noroeste.** La única corriente de consideración es el río de las Avenidas de Pachuca.

Al extenderse la Ciudad de México, y debido a los hundimientos que sufre por bombeos del acuífero subterráneo, se hizo necesario, primero, reforzar -- los bordos de los ríos que la cruzan, para entubarlos más tarde.

En estas condiciones se encuentran las corrientes principales; el río Eslava y Magdalena hasta el río Mixcoac; el río de la Piedad al que aportan sus aguas el río Becerra y el Tacubaya; el río Consulado que recibe agua de los arroyos que van desde Dolores hasta el Canal del Tornillo.

La zona baja de las cuencas de estos ríos, que está completamente urbanizada, se desagua mediante los colectores que descargan al Gran Canal, al sistema de Drenaje Profundo o a los cauces de estos ríos que a su vez llevan el agua al Lago de Texcoco, al Gran Canal o al Emisor Central.

Sin embargo, para proteger a la ciudad de las inundaciones que pudieran provocar las avenidas provenientes de la parte alta de las cuencas, se ha desarrollado un sistema de regulación e intercepción de la zona poniente -- (fig. III.2), el cual se describe en seguida:

En el sur, se derivan los arroyos Texcalatlaco, Coyotes y San Jerónimo hacia el río Magdalena; son regulados en la presa Anzaldo y después conducen las aguas al interceptor del poniente o hacia el río Churubusco, según las conveniencias de operación.

Los ríos Tequilazco y Barranca del Muerto son regulados por las presas Tetelpa y Tarango para descargarlos al Interceptor del Poniente o al río Churubusco.

Desde el río Mixcoac hacia el norte existe un sistema de presas interconectadas mediante túneles que permiten descargar las aguas del canal del Tornillo al río Hondo. Los escurrimientos aguas abajo de las presas son recogidos por el Interceptor del Poniente o llegan a los cauces que atraviesan la ciudad.

El río Hondo recibe, además de los aportes de su cuenca parcialmente regulados por las presas el Sordo, los Cuartos y Totolica, las descargas del canal del Tornillo y del Interceptor del Poniente y las conduce hacia el Vaso del Cristo; éste recibe además los aportes del río Chico de los Remedios, regulados en parte por las presas las Julianas, los Arcos, el Colorado y la Colorada. Después de ser regulados estos escurrimientos en el Vaso de Cristo, continúan por el río de los Remedios hasta el Gran Canal o siguen por el Interceptor del Poniente, que descarga en el río Cuautitlán y de aquí pasa a la laguna de Zumpango o sale del Valle por el Tajo de Nochistongo.

Aguas abajo del Vaso del Cristo, el Interceptor del Poniente recoge las descargas de los ríos Tlalnepantla y San Javier, después de haber sido regulados por las presas Madín, Las Ruinas y San Juan. La parte baja de los ríos Tlalnepantla y San Javier descargan al río de los Remedios que conduce las aguas al Gran Canal y al Sistema de Drenaje Profundo.

Finalmente, completan el sistema de presas del poniente, las de Guadalupe y la Concepción sobre los ríos Cuautitlán y Tepetzotlán que descargan por el Tajo de Nochistongo fuera del Valle.

Todo este sistema de intercepción y regulación ha sufrido los efectos de la urbanización acelerada que ha provocado azolvamientos de presas y cauces, invasiones en zonas de regulación, estrechamientos de los cauces por estructuras de cruce, lo que obliga a continuos trabajos de mantenimiento y obras adicionales de rehabilitación para aumentar las capacidades de los cauces y preservar las de regulación de los vasos.

### III.1.3

#### Lagos

En lo que fué un único lago original, aún subsisten los lagos de Texcoco, los canales de Xochimilco y la laguna de Zumpango que tienen las siguientes características:

Lago de Texcoco. Según los datos disponibles (1956), se estima que puede almacenar aproximadamente 255 millones de m<sup>3</sup>. Regula los caudales de los siguientes ríos: San Juan Teotihuacán, Papalotla, Xalapango, Coxcacoco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino, Santa Mónica Coatepec, San Francisco, de la Compañía, Churubusco y Amecameca. El Lago vierte sus aguas al Gran Canal del Desagüe y las conduce fuera de la cuenca.

Lago de Xochimilco, El área que ocupaba el Lago de Xochimilco se ha reducido a los canales que circundan las chinampas, además de los terrenos de cultivo y una superficie urbana, de acuerdo con la siguiente distribución:

Superficie con canales	10%
Chinampas	40%

Terrenos de cultivo	44%
Superficie urbana	<u>6%</u>
T o t a l	100%

La capacidad calculada para el almacenamiento útil en los canales del lago de Xochimilco es de 11 millones de m<sup>3</sup>. Lo alimentan los arroyos de San Gregorio, San Lucas, Santiago, San Buenaventura y la planta de tratamiento de aguas negras del Cerro de la Estrella.

Laguna de Zumpango. Los bordos construidos en 1951 redujeron la capacidad de almacenamiento de la laguna de Zumpango a 27 millones de m<sup>3</sup>. Las aguas que afluyen a la laguna son las del río de las Avenidas de Pachuca, parte de las del río Cuautitlán y de los ríos al poniente de la cuenca, encauzados por el Interceptor del Poniente y el canal de Santo Tomás.

Se tienen otras lagunas en Apan, Tochac y Tecumilco, las cuales regulan las avenidas de varias corrientes que descargan en el río de las Avenidas de Pachuca.

### III.2 CONSIDERACIONES BASICAS.

Para poder llevar a cabo un buen análisis del sistema de drenaje del Distrito Federal, fue necesario buscar la manera de simplificar su estudio, ya que, como hemos visto, dicho sistema es sumamente complejo debido a que su desarrollo ha sido sin una planeación adecuada.

Una manera de lograr esta simplificación fue dividir el drenaje general en un conjunto de subsistemas, los cuales pudieran ser considerados relativamente independientes unos de otros. Cada subsistema quedaría definido por una red, cuyo troncal principal sería un conducto o conductos de drenaje de gran tamaño, tales como el Sistema de Drenaje Profundo, el Gran Canal del Desagüe o el Río Churubusco.

Al hacer esta división, se procedió a realizar el análisis de cada uno de los subsistemas por separado, considerándolos como elementos aislados de drenaje. Sin embargo, no hay que olvidar que existe cierta influencia de cada uno de los subsistemas en uno o varios de los demás. Esta influencia se trató de considerar y reproducir en las simulaciones lo mejor posible. Cada subsistema corresponde a un área definida dentro de la zona metropolitana del Distrito Federal; así, por ejemplo, se maneja el drenaje de la zona Norte de la ciudad, el de la zona centro, etc. La razón de esto es que, precisamente, cada una de estas áreas cuenta con una red de drenaje perfectamente bien definida.

Por ejemplo, mientras en la zona Poniente del Distrito Federal el drenaje depende básicamente del Interceptor del Poniente y del conjunto de ríos y vasos de almacenamiento que descargan sus aguas en él, en el Sureste de la ciudad el buen funcionamiento del desagüe depende de los canales Nacional y Chalco, y de la conexión del primero con el Río Churubusco.

En cada una de las zonas se definieron diferentes alternativas de solución para los drenes principales, se realizaron simulaciones del funcionamiento hidráulico para estas alternativas y se definió la factibilidad de cada una de ellas, así como las características principales de las obras requeridas para su implantación. Con los resultados obtenidos se integró un conjunto de proyectos factibles desde el punto de vista técnico, y posteriormente se vio cuales de éstos podrían proporcionar mayores beneficios. Desde luego, la factibilidad técnica de los esquemas de drenaje propuestos tendrá que confirmarse con estudios de detalle. Integrando los resultados de cada zona, se propuso un orden lógico de realización de las obras, siempre tomando en cuenta la necesidad de servicios y el beneficio en área drenada.

Al hacer la zonificación mencionada, se tuvo una mayor flexibilidad en la elección del método de análisis hidrológico adecuado, ya que para cada zona se aplicó el más conveniente, según la información disponible.

Así por ejemplo, para el centro de la ciudad se aprovecharon los datos estadísticos de tormentas que han sido consideradas como muy desfavorables, para crear una hidrología de hidrogramas sintéticos; posteriormente se hizo

la simulación del ingreso de dichos hidrogramas al sistema de drenaje de la zona, y de esta manera se evaluó su funcionamiento.

En lo que respecta al Poniente de la ciudad, se utilizaron los resultados de un estudio desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, -- acerca del funcionamiento de las presas y vasos de almacenamiento de dicha zona. En ese estudio se aplicó un período de retorno de 25 años.

Para la zona Sur, igualmente se aplicó un período de retorno de 25 años. A los valores obtenidos de intensidad de lluvia puntual, se les aplicaron diversos factores de reducción (por área, por duración y por coeficiente de escurrimiento). De esta manera se obtuvieron los valores de intensidad definitivos, con los cuales se calcularon los hidrogramas para el estudio del sistema.

### 1.3 ANALISIS POR ZONAS.

#### III.3.1 ZONA PONIENTE

Desde tiempos remotos, la zona poniente del Valle de México ha tenido grandes problemas para el desalojo de sus aguas pluviales, debido básicamente a las fuertes pendientes del terreno en dirección del centro de la Ciudad que ocasionan que el agua tienda a concentrarse rápidamente en las zonas planas, cuando se presenta una lluvia de cierta importancia, provocando encharcamientos e inundaciones.

Para contrarrestar tales problemas, se han dado una serie de soluciones como son la construcción de presas de regulación y almacenamiento en los principales ríos que bajan a la ciudad, y la construcción del Interceptor del Poniente, conducto que capta las descargas pluviales generadas en el área. Sin embargo, dichas soluciones han sido insuficientes debido al continuo crecimiento de la urbanización y su consecuente incremento en los volúmenes de escurrimiento pluviales.

A continuación se enuncian algunas alternativas de solución que se consideró podrían dar buenos resultados para aliviar el drenaje del poniente de la ciudad.

Como primera opción, se estudió qué pasaría si se diera alivio al Interceptor del Poniente en su tramo sur, mediante el traslado de las aguas generadas en las cuencas de los ríos Magdalena, San Jerónimo y Texcalatlaco hacia el cauce del Río San Buenaventura; esto se lograría con la construcción de un colector semiprofundo que uniera ambos puntos. Este alivio po-

dría ser sumamente benéfico para el Interceptor del Poniente, si se toma en cuenta que el área de la que se le está liberando es aproximadamente un tercio del área total de aportación al Interceptor.

En segunda instancia, se consideró el alivio del Interceptor mediante una unión del mismo con el Interceptor Centro-Poniente del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad. Esta conexión de ambos conductos ya ha sido puesta en operación; se encuentra aproximadamente a la mitad del Interceptor del Poniente, y constituye el inicio del Interceptor Centro-Poniente. Sin embargo, aunque ya está en funcionamiento, su reciente inauguración es causa de - que aún no se tenga información que pueda ser aprovechada en el presente estudio. Por otro lado, no hay que olvidar que dicha conexión funcionará libremente solo mientras no se terminen de construir los Interceptores Centro y Oriente del mismo Sistema de Drenaje Profundo, ya que una vez que estén -- listos para entrar en operación, se les dará preferencia, pues aliviarán zonas más conflictivas dentro del drenaje de la ciudad.

Para analizar el funcionamiento del Interceptor con estas dos opciones, se estudiaron las siguientes alternativas de operación:

Alternativa 1 A. Se consideró que estuviera en funcionamiento el alivio hacia el sur, mediante el colector semiprofundo Magdalena-San Buenaventura, y que no estuviera operando el alivio hacia el Drenaje Profundo.

Alternativa 2 A. Se analiza el caso de que ninguno de ambos alivios - esté funcionando, y se considera que el coeficiente de escurrimiento para la cuenca del Río Magdalena sea de 0.02, es decir, con una mínima urbanización, tal y como se encuentra a la fecha.

Alternativa 3 A. El mismo caso que la alternativa anterior, pero considerando la cuenca densamente urbanizada (a futuro), es decir, con un coeficiente de escurrimiento de 0.10.

Alternativa 1 B. Se considera que estén en operación ambos alivios.

Alternativa 2 B. Solamente alivio por el Drenaje Profundo, y un coeficiente de escurrimiento en la cuenca del Magdalena de 0.02.

Alternativa 3 B. Alivio por el Drenaje Profundo, y coeficiente de escurrimiento en la cuenca de 0.10.

Una vez efectuadas las simulaciones en la computadora, el parámetro que sirvió para hacer comparativos los resultados de las diferentes alternativas fue el volumen de agua derramado a lo largo del Interceptor, es decir, la cantidad de agua que no pudo ser recibida por el mismo y por lo tanto continuó su curso hacia el drenaje del centro de la ciudad.

Se estudiaran primero las alternativas que consideran que no existe alivio hacia el Sistema de Drenaje Profundo. Posteriormente, se vieron las que si consideran este alivio.

Los resultados fueron los siguientes:

Sin considerar ningún alivio, se vió que para el funcionamiento del Interceptor del Poniente con las condiciones actuales de urbanismo en la cuenca del Río Magdalena, se llegan a producir derrames hasta por 162,000 m<sup>3</sup>, mientras que si se considera esa cuenca urbanizada densamente (condición a futuro), los derrames pueden llegar a ser hasta de 356,000 m<sup>3</sup>.

Lo anterior da una idea de la magnitud de los problemas que se pueden llegar a presenta en un futuro, si no se toman las medidas necesarias.

Una solución podría ser el evitar que las aguas generadas en la cuenca del Río Magdalena ingresaran al Interceptor del Poniente, mediante la construcción del colector semiprofundo Magdalena-San Buenaventura. Al suponer realizada esta acción, la magnitud de los derrames se reduce notablemente, pues éstos serían de aproximadamente 98,000 m<sup>3</sup>.

Ahora bien, si se considera alivio del Interceptor por el Sistema de Drenaje Profundo, su funcionamiento mejora considerablemente.

Para el caso en que la cuenca del Río Magdalena está sin urbanizar, se obtuvieron derrames de aproximadamente 49,000 m<sup>3</sup>, mientras que cuando se consideró dicha cuenca urbanizada, el volumen de derrames ascendió a 85,000 m<sup>3</sup>.

Como se puede ver, estos derrames son del orden del 30% de los que resultaron cuando no hay alivio por el Drenaje Profundo.

Si aunado al beneficio de aliviar al Interceptor de esta manera, se libera además del volumen de aguas generado en las cuencas del sur, la cantidad estimada de derrames sería de 32,000 m<sup>3</sup>. Esta resultaría ser una buena condición de funcionamiento del conducto.

De todos estos resultados, se concluye que con el alivio al Drenaje Profundo, se mejora notablemente el funcionamiento hidráulico del Interceptor Poniente. Sin embargo, se ha considerado que este alivio solo es temporal, para darle prioridad de evacuación a las zonas sur y suroeste de la ciudad.

A pesar de lo anterior, el alivio hacia el Drenaje Profundo será efectivo por un plazo de aproximadamente 10 años, tiempo durante el cual se prolongará dicho sistema. Por otra parte, se observó que a largo plazo la solución del túnel Magdalena-San Buenaventura es equivalente, en cuanto a derrames totales, a la solución del alivio al Drenaje Profundo, de tal manera que si hubiera necesidad de cancelarlo, se tendría suficiente tiempo para construir el túnel Magdalena-San Buenaventura.

Otras alternativas de solución que existen y que no fueron estudiadas dentro del presente análisis, son la construcción de nuevas presas de regulación en las partes altas de las cuencas, y la construcción de un interceptor paralelo al actual.

### III.3.2 ZONA SUR.

Otra zona con problemas serios de drenaje es la del sur y suroriente - del Distrito Federal, la cual tiene pocas posibilidades de evacuación debido al fuerte hundimiento del terreno en los límites de la Ciudad.

Dentro de esta zona destaca la cuenca del Río San Buenaventura con 87 km<sup>2</sup> de área. Toda el agua que se colecta en esta cuenca llega a la intersección del Río San Buenaventura con el Canal Nacional, donde finalmente se deriva hacia los canales de Xochimilco.

El problema principal del río San Buenaventura es que no tiene una salida natural y, en la parte baja, además tiene muy poca pendiente, lo que - hace que en época de avenidas el agua se remanse hacia aguas arriba, provocando el rebosamiento de los bordes de protección.

Con el fin de resolver en parte el problema planteado anteriormente -- y ayudar a resolver el problema de la falta de capacidad del Interceptor -- del Poniente, visto en el subcapítulo anterior, se propone construir un túnel semiprofundo que comunique a las cuencas de los ríos Magdalena y San -- Buenaventura y regular el agua proveniente de las dos cuencas en la Ciénega Chica, en la Ciénega Grande, o en ambas.

Con esta solución se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

Evitar el ingreso del agua proveniente de las cuencas de los ríos Magda

lena, San Jerónimo y Texcalatlaco, hacia el Interceptor del Poniente y hacia el río Churubusco, con lo cual se le dará más capacidad a este último.

- Captar las aguas de la cuenca comprendida entre el Río Magdalena y el Río San Buenaventura, la cual no tiene un cauce definido. Aunque esta cuenca no es de gran extensión (30 km<sup>2</sup>), su captación permitiría el alivio del canal de Miramontes y sus estructuras colectoras.
- Resolver el problema del Río San Buenaventura, tanto en lo que se refiere a su cauce como a la descarga del mismo.
- Regular el agua de las cuencas mencionadas con el fin de desalojarlas hacia el río Churubusco, cuando esta estructura lo permita.
- Utilizar el esquema propuesto como una solución viable al drenaje de la zona suroriente, que por su hundimiento continuo, solamente tiene como opción el Drenaje Profundo; sin embargo, la infraestructura propuesta podría ayudar a esta zona.

Como puede apreciarse en los objetivos anteriores, el esquema propuesto no incluye solamente la construcción de un túnel semiprofundo para comunicar a las cuencas de los ríos Magdalena y San Buenaventura, sino que además se requerirá: la rectificación y, posiblemente, entubación del río San Buenaventura; la estructura de control para derivar el agua hacia las ciénegas; la construcción del almacenamiento artificial en la ciénega mediante -

bordos; equipo de bombeo para desalojar el agua de la Ciénega hacia el canal Nacional y la rectificación de este último para descargar hacia el Río Churubusco. Posteriormente se podría tratar de descargar sobre este sistema parte de la zona suroriente, principalmente la formada por Santiago Zapotitlán y la Nopalera.

En la figura III.3 se puede ver el esquema en planta de las obras propuestas y su zona de influencia. El esquema planteado se inicia en la zona poniente del Valle de México, en donde se aprovecharía la interconexión -- existente entre las presas Texcalatlaco, Coyotes, San Jerónimo y Anzaldo. En esta última se concentra el escurrimiento de las otras tres presas.

Una vez concentrados los escurrimientos de las cuatro cuencas mencionadas en la presa Anzaldo, se derivarían hacia el túnel de interconexión Magdalena-San Buenaventura.

En el desarrollo del túnel se tendrían cuando menos dos lumbreras de ingreso de agua, para coleccionar el drenaje de la zona de San Nicolás Totolapan y Colonia Patria, con lo cual se captaría el 70% de la cuenca localizada entre el río Magdalena y el río San Buenaventura.

La salida del túnel podría ubicarse inmediatamente aguas arriba del -- cruce del río San Buenaventura con la avenida Insurgentes Sur. Este cruce se encuentra aproximadamente a 500 m al norte de la salida hacia el nuevo -- Colegio Militar.

Siguiendo sobre el río San Buenaventura, sería necesario revisar la capacidad del cauce hasta su descarga en el Canal Nacional, ya que se impondrían nuevas condiciones de escurrimiento.

El tramo del Río San Buenaventura que resulta crítico para el esquema propuesto es el comprendido entre el Canal Nacional y 4 kms. aguas arriba, ya que, aún cuando se tiene una pendiente general de 0.0013, existen tramos con pendiente nula y aún en contrapendiente, por lo que se necesitarían tuberías grandes para desalojar el gasto de diseño.

Finalmente, el esquema desemboca en la regulación en las ciénegas. Para ello, sería necesario construir bordos en la periferia de las ciénegas para conformar el vaso de almacenamiento, ya que el terreno es prácticamente horizontal.

Aprovechando la infraestructura propuesta, existen algunos proyectos que podrían ser incluidos dentro del esquema. Se podría dar alivio al Canal de Miramontes, seccionándolo en dos puntos; por una parte, se tiene el colector del subsistema IMAN, el cual descargaría sobre el Río San Buenaventura ya rectificado; por otra parte, se propone construir el colector de calzada de La Virgen para descargar sobre el Canal Nacional.

Finalmente, parte del sistema suroriente de drenaje, la zona de la Nopalera y Santiago Zapotitlán, podría descargar por bombeo, rectificando el Canal de Chalco y aprovechando la regulación de la Ciénega Grande.

## H I D R O L O G I A

Para estudiar la respuesta hidráulica del sistema propuesto se consideró un período de retorno de 25 años para el diseño, debido a la importancia de la obra.

Para determinar el hidrograma de entrada a Anzaldo, sería necesario transitar cada uno de los hidrogramas parciales de las cuencas mencionadas anteriormente, a través de las presas correspondientes y de los túneles de intercomunicación. Debido a la falta de información para hacer esto último, solamente se realizó una suma directa de los hidrogramas, considerando que los túneles tienen suficiente capacidad para admitir los gastos de diseño y que la longitud es relativamente corta como para modificar notablemente la forma.

De acuerdo con lo anterior, se consideraron tres hidrogramas alternativos de entrada a la presa Anzaldo:

- a) Suponiendo un coeficiente de escurrimiento de 0.02 en el río Magdalena y que no hay regulación en Texcalatlaco.
- b) Suponiendo un coeficiente de escurrimiento de 0.02 en el Río Magdalena y que existe regulación en Texcalatlaco. Se supuso que la regulación en Texcalatlaco es de  $40,000 \text{ m}^3$  (por interpolación lineal). Este volumen se restó de la base del hidrograma original.

- c) Con un coeficiente de escurrimiento de 0.1 en el Rfo Magdalena y con la regulación en Texcalatlaco semejante a la considerada en el caso (b).

Con los hidrogramas anteriores se llevó a cabo el tránsito de las avenidas por el vaso de Anzaldo, considerando que el vaso está vacío cuando se presenta la avenida, ya que según información del operador esa es la tendencia normal. Como pudo observarse en los resultados, el gasto máximo de salida por la obra de toma y por el vertedor es de 13.2, 13.1 y 48.3 m<sup>3</sup>/s para las alternativas (a), (b), y (c) respectivamente.

#### CUENCA DEL RIO SAN BUENAVENTURA.

Para el caso del río San Buenaventura se consideró también que se trata de una tormenta aislada y no generalizada en la cuenca. En esta cuenca se consideraron los resultados de un estudio anterior (Ref. 1), ya que en esencia se utiliza la misma información y criterio proporcionados por el Instituto de Ingeniería (Ref. 2).

De acuerdo con el estudio mencionado, se consideró que el hidrograma tipo II, según la referencia, es el más representativo para las condiciones que se pretenden simular, ya que se considera que se rectificaría el río, cuando menos desde el Campo de Golf México hasta el Canal Nacional. Este hidrograma se muestra en la figura III.4.

## FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO SIMPLIFICADO

Con los hidrogramas descritos anteriormente se concluyó que la capacidad del túnel de comunicación entre la cuenca del río Magdalena y el río San Buenaventura, debería ser para un gasto máximo de  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  en condiciones actuales de infiltración de la cuenca del río Magdalena, y de  $48 \text{ m}^3/\text{s}$  si se urbaniza la cuenca y aumenta el coeficiente de escurrimiento a 0.1. Estos valores, desde luego, serían menores al transitar la avenida que sale del vaso de Anzaldo por el túnel; sin embargo, se pretende que una obra de tal magnitud contemple cualquier circunstancia extraordinaria de escurrimiento y de urbanización y, por otra parte, existen restricciones de tamaño mínimo de túnel.

Dado lo anterior, se revisaron diferentes secciones para la condición de flujo establecido, considerando una pendiente del túnel de 0.0005 (figura III.5).

De esta revisión se concluyó que para un túnel de 5.05 m de diámetro y relación de llenado de 91%, se tiene un gasto establecido de  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor que se puede considerar aceptable aún para la alternativa más desfavorable de hidrograma. Debido a la aproximación del cálculo y el nivel de estudio de esta zona, se puede considerar que el diámetro del túnel es de 5 m y además se supuso que es revestido con concreto.

Si se considera una velocidad de traslado del agua de 2 m/s, se tiene que para una longitud de túnel de 9,000 m, la onda proveniente del Magdale-

na tardaría 1.2 horas en descargar hacia el río San Buenaventura, figura — III.4; se puede notar que difícilmente se tendrá coincidencia en los gastos máximos.

Si se supone, en forma conservadora, que el hidrograma resultante en el río San Buenaventura es la suma de el hidrograma de salida en Anzaldo, sin modificación en la forma pero retrasado 1.2 horas, más el hidrograma propio del río San Buenaventura, los resultados serían como se muestran en la figura III.6. En esta figura se han dibujado los hidrogramas de las salidas de la presa Anzaldo para las alternativas (a), (b) y (c), señaladas en el subcapítulo anterior, y el hidrograma del río San Buenaventura, así como la suma de éstos. Se debe observar que solamente se sumaron los hidrogramas del río San Buenaventura con los de las alternativas (a) y (c), ya que el hidrograma de la alternativa (b) resulta muy parecido al de la alternativa (a). Por otra parte, el hidrograma de la alternativa (c) se recortó al gasto máximo supuesto en el túnel, es decir,  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alternativa (c).

De los resultados mostrados en la figura III.6 se comprueba que prácticamente no existe superposición de los gastos máximos, ya que en el caso — más desfavorable se tiene un gasto máximo del hidrograma de  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alternativa (c).

En el esquema propuesto, habría que añadir el gasto que descargaría el colector del subsistema IMAN hacia el río San Buenaventura. Según un estudio anterior (Ref. 3 ), este gasto podría ser en el punto de conexión de -

hasta  $17 \text{ m}^3/\text{s}$  para un período de retorno de 25 años; sin embargo, este colector no podría descargar por gravedad, ya que el estudio topográfico realizado demuestra que la plantilla del tubo llegaría por debajo del río San Buenaventura, lo cual quiere decir que se necesitaría una planta de bombeo.

Dado que el caudal de agua proveniente del subsistema IMAN ingresaría por bombeo, no se requiere incrementar mayormente la capacidad del río San Buenaventura, ya que el bombeo se haría cuando existiera capacidad; por otra parte, el subsistema podría seguir descargando hacia el canal de Miramontes. Esto permite pensar que es razonable estimar el gasto de diseño — del río San Buenaventura en  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El gasto de diseño es particularmente importante en el último tramo — del río, desde la salida del campo de golf hasta el Canal Nacional, ya que no se tiene pendiente en esa zona. Aún cuando la pendiente promedio del río en esa zona es de 0.0013, existen tramos en contrapendiente (Ref. 1), — por lo cual se tendría que establecer un nivel mínimo de referencia (por ejemplo la cota 2333.6, que queda 0.5 m por debajo del punto mas bajo del perfil) y considerar un canal horizontal hasta el sitio donde se tenga más pendiente (el Club de Golf).

Para el caso de un canal horizontal, revestido de concreto, es necesaria una tubería circular de 5.15 m para el gasto de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , es decir, un área hidráulica de  $20.8 \text{ m}^2$ . Si se considera un cajón rectangular, entonces se tiene que con 4 m de altura por 5.5 m de ancho se cumple con esta condición.

Se ha considerado que el cajón tenga 4 m de altura, ya que esta altura es la máxima de los bordos, aunque podría ser menor. Sin embargo, no se recomienda que sea menor de 3 m por la forma en que se planea el control de entrada y salida del agua.

El siguiente elemento del esquema propuesto en la zona sur es la regulación en las ciénegas. Tomando en cuenta que la sección propuesta del río tiene una altura de 4 m, se puede considerar que en algún punto se tenga un vertedor lateral mediante una ventana abierta en la pared del conducto.

Para definir la dimensión del vertedor se consideró que todo el volumen de escurrimiento directo de las cuencas del poniente y del río San Buenaventura se tuviera que regular en la Ciénega, lo cual implica un volumen de  $850,000 \text{ m}^3$  1/; si este volumen se desalojara hacia la Ciénega Chica en 6 hr, se necesitaría un vertedor con capacidad de  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual implicaría una longitud de vertedor de aproximadamente 11 m, considerando una carga de 1.5 m y un coeficiente de escurrimiento de 2. Como el vertedor es lateral y el nivel del agua se abate hacia aguas abajo, es posible que la longitud del vertedor sea de 20 a 25 m, además de las pilas intermedias.

Por otra parte, sería necesario otra obra de control para retornar el agua de la Ciénega Chica hacia el río, lo cual se podría lograr a través de una compuerta y bombeo en la cabecera del río para abatir el nivel del cajón. Si esta operación fuera diseñada para vaciar la ciénega en 18 hr, el gasto

1/ En el caso más desfavorable de la cuenca del río Magdalena.

de bombeo y de diseño de la compuerta de retorno sería de  $13 \text{ m}^3/\text{s}$ ; desde luego esto sería necesario solo en caso de pretender controlar dos avenidas de la misma magnitud (25 años) en dos días consecutivos, lo cual es altamente improbable.

En la figura III.7 se muestra un esquema conceptual de las obras necesarias, aún cuando el diseño definitivo dependerá de la necesidad de ajustar las dimensiones del cajón para usos viales.

Del levantamiento topográfico del río San Buenaventura (Ref, 1), se observa que el nivel de la Ciénega Chica es aproximadamente igual al de la plantilla del río, aún cuando no se pudo comprobar debido a la oposición de los ejidatarios a que se trabajara en dicha Ciénega; esto significa que la solución propuesta es factible. Si se considera que el bordo para delimitar el vaso artificial tiene 2 m de altura y que el terreno es plano, se necesitarían 42.5 hectareas para regular completamente al río San Buenaventura y al río Magdalena.

Desde el punto de vista de regulación sería igual considerar a la Ciénega Chica o a la Ciénega Grande para ese fin; sin embargo, desde el punto de vista operativo, es conveniente tener regulación en las dos zonas por los siguientes aspectos:

Si se utiliza la Ciénega Chica y la estructura de control se localiza en la parte extrema del lado aguas arriba del río en la Ciénega, se po

dría reducir la sección del cajón en la zona crítica de baja pendiente, ya que el gasto de diseño para ese tramo sería el de retorno (por ejemplo  $13 \text{ m}^3/\text{s}$  según las consideraciones hechas); inclusive se podría comunicar a las secciones del río, aguas arriba y aguas abajo del vertedor.

. Si se utiliza la Ciénega Grande, se tiene la ventaja adicional de incorporar a la zona suroriente en el esquema de regulación.

De acuerdo con lo anterior, es todavía una mejor solución el disponer de la regulación en las dos ciénegas.

Aún cuando la zona suroriente se trata en otro capítulo, se puede afirmar que con un área máxima de 100 hectáreas en las dos ciénegas se tiene suficiente regulación para la zona surponiente, sur y suroriente del Valle de México; desde luego, esto es válido si se considera que la altura de los bordos sea de 2 m.

### III.3.3 ZONA ORIENTE - SUR

La zona Oriente Sur, dentro del presente análisis, está limitada por las siguientes fronteras: al norte por Ciudad Netzahualcoyotl; al sur, se encuentra el canal de Chalco; por el poniente, la delimita el Río Churubusco y el Canal Nacional; y al oriente, llega hasta el límite entre el Distrito Federal y el Estado de México.

Esta zona es de las más conflictivas en lo referente a su drenaje, ya que el crecimiento de la misma se ha llevado a cabo sin control; por tal motivo, no ha sido posible dotarla de una infraestructura básica suficiente para el desalojo de las aguas residuales y pluviales generadas dentro de sus límites. Además, existen varios pozos de extracción de agua potable dentro de la zona, lo que ocasiona el asentamiento continuo del terreno y el consecuente deterioro en el sistema de drenaje.

En el norte de la zona se tienen colectores importantes; sin embargo, algunos de éstos trabajan en contrapendiente por el problema mencionado anteriormente. Por otro lado, en la zona sur se carece por completo de redes primarias y secundarias de drenaje.

En este informe se describen los proyectos existentes para resolver el problema de la zona y se presenta una solución conceptual a nivel de redes principales.

## PROYECTOS EXISTENTES

En la parte norte de la zona se ha iniciado recientemente la construcción de un colector semiprofundo que tendrá como principal función dar alivio a los Sistemas Iztapalapa 2 e Indeco. Para lograr lo anterior, se construirá la laguna de regulación de Iztapalapa con una capacidad de 131,000 m<sup>3</sup>. En esta laguna se regularán las descargas de los dos sistemas mencionados conectándose después al colector semiprofundo a través de un colector llamado Nuevo Indeco. Para esto, será necesario ampliar la infraestructura primaria de esas áreas.

El colector semiprofundo descargará por bombeo hacia el río Churubusco.

Además, se dejará lista una conexión hacia el Interceptor Oriente Sur del Sistema de Drenaje Profundo, con la cual, una vez que esté en funcionamiento, se logrará una mejora sustancial en el drenaje de la zona.

Por lo que se refiere a la parte sur de la zona, se distinguen dos subsistemas: el del oriente, formado principalmente por Tláhuac y Tulyehualco, y el del poniente que comprende a los pueblos de la Nopalera y Santiago Zapotitlán.

En la zona de Tláhuac y Tulyehualco, se tiene el proyecto de establecer la red primaria de drenaje para descargar el agua hacia la laguna de regulación de Tláhuac, la cual tiene una área de 225 ha, y de allí hacia el Dren General del Valle. Debido a la capacidad del Dren General del Valle, el gas-

to de descarga de la laguna sería muy bajo, del orden de 600 l/s, de ahí que se requiera un volúmen muy grande de regulación en la laguna.

Para la zona de La Nopalera y Santiago Zapotitlán se requerirá también de la construcción de la red primaria de drenaje, la cual se tendría que des cargar hacia el canal de Chalco. Este último a su vez descargaría el agua - en el Canal Nacional, y la regularía en las ciénegas de Xochimilco para posteriormente ingresarla al río Churubusco. Debido a la topografía de la zona, sería necesario bombear el agua para que el sistema pueda operar en el - sentido mencionado y además, requerirá de la rehabilitación o entubamiento de los canales de Chalco y Nacional.

Respecto a las soluciones propuestas para estas dos zonas, se puede señalar lo siguiente:

- . El esquema de la parte oriente de la zona, tiene el inconveniente de re querir una laguna de regulación muy grande para los gastos que se manejan y la poca confiabilidad del sistema por la restricción del gasto -- que se descargaría hacia el Dren General del Valle.
  
- . En la parte poniente del área se puede apreciar que el esquema es muy - caro, ya que las obras de incorporación a los drenes principales, en es te caso el río Churubusco, podrían tener un costo mayor que la misma -- red primaria. A pesar de ello, es la única solución posible.

De acuerdo con lo anterior, y tomando en cuenta el esquema de drenaje para la zona sur (Subcap. III.3.2 del presente informe), se consideró conveniente establecer una solución alternativa, que fuera compatible con el desarrollo de esta última zona. Esta alternativa consiste en derivar el agua de las áreas de Tláhuac y Tulyehualco hacia el poniente y no hacia el oriente, de tal modo que se podría regular en el parque metropolitano propuesto por el Plan de Desarrollo Urbano del D.F., el cual se localiza al sur de Santiago Zapotitlán. De la Laguna de regulación, el agua de las áreas mencionadas se incorporaría en el Canal de Chalco para sumarse a las descargas de La Nopalera y Santiago Zapotitlán. El Canal de Chalco, rectificado, podría descargar en la Ciénega Grande y de allí incorporarse al esquema descrito para la zona sur.

Una vez captado el escurrimiento de las redes primarias, se tendrían -- dos posibilidades para el Canal de Chalco; por una parte, se podría mantener una sección superficial de este último, para lo cual se requeriría de una -- planta de bombeo al inicio del mismo, ya que la red primaria no podría descargarse por gravedad. Por otra parte, se puede rectificar el Canal de Chalco a través de un colector semiprofundo, de tal manera que las descargas hacia él serían por gravedad, pero se requeriría la planta de bombeo para descargar el agua hacia la Ciénega Grande. La ventaja de esta última solución es que podría mejorar el diseño de la red primaria de la Nopalera y Santiago Zapotitlán.

Una ventaja adicional del esquema propuesto, es que la regulación se -- haría dentro del Distrito Federal, en comparación con la laguna de Tláhuac, que se localiza en el Estado de México.

La factibilidad de este esquema dependerá en gran parte de que se desarrolle el esquema propuesto para la zona sur.

#### CONCLUSIONES .

La zona Oriente-Sur se destaca por el bajo nivel de infraestructura básica de drenaje y las pocas posibilidades de incorporación a los drenes principales.

En la parte norte de la zona se tendrá un alivio inmediato en cuanto se concluya el colector semiprofundo Iztapalapa y el alivio será definitivo cuando se prolongue el Sistema de Drenaje Profundo. Por el contrario, la parte sur de la zona tendrá más problemas de alivio, debido a la inversión requerida para desarrollar la infraestructura hidráulica.

Con relación a esto último, se propuso una alternativa de solución, diferente a la de los estudios existentes, que podrá ser más ventajosa si se desarrolla en conjunto con el esquema de solución propuesto para la zona Sur en el subcapítulo correspondiente de este informe; sin embargo, esta alternativa está sujeta a una evaluación más precisa, que permita definir los beneficios reales.

#### III.3.4 ZONA ORIENTE-NORTE

La primera parte del estudio del Gran Canal corresponde al tramo ubicado en la zona urbana, el cual tiene una longitud aproximada de 9 Km. Desde hace varios años se ha propuesto el entubamiento del Canal en este tramo, con objeto de eliminar las condiciones de insalubridad y para mejorar su funcionamiento hidráulico. El análisis que se presenta en este informe consiste precisamente en evaluar diferentes alternativas para dicho entubamiento.

En el Plan Maestro se propone que el entubamiento del Gran Canal se haga mediante un túnel semiprofundo, ya que la topografía del terreno impide la rectificación a nivel de la superficie, y con esta solución se tendría la ventaja de captar el escurrimiento de los colectores primarios por gravedad, concentrando el bombeo únicamente en la zona de descarga, es decir, -- en el punto de confluencia con el Río de los Remedios.

De acuerdo con la solución propuesta, sería necesario construir una -- nueva planta de bombeo para permitir el traspaleo del agua al final del túnel hacia la parte del Gran Canal que permanecerá a cielo abierto.

Todo estudio del Gran Canal debería estar estrechamente ligado con los proyectos de prolongación de los diversos interceptores que componen el Sistema de Drenaje Profundo, principalmente los interceptores Oriente y Oriente-Sur, así como con la obra de toma del Gran Canal. El presente estudio re

conoce este hecho y se toman como punto de partida, las condiciones de funcionamiento del Sistema de Drenaje Profundo que existen desde fines de 1982.

**HIDROLOGIA.**- Para la evaluación de alternativas, se utilizarán los datos estadísticos de la tormenta del 14 de septiembre de 1968, la cual sirvió, en principio, para el análisis de las diferentes alternativas de prolongación del sistema de Drenaje Profundo. Cabe mencionar que el foco de esta tormenta fué movido hacia el sur de la ciudad, con objeto de poder evaluar los efectos de una tormenta desfavorable ocurrida en esta zona.

La tormenta de 1968 produjo una altura de precipitación promedio de 30 mm, para una duración de lluvia de 2.5 Hs., en el área drenada por el Gran Canal (126 Km<sup>2</sup>). Tomando en cuenta esta información, se estimó el período de retorno que le correspondería a la tormenta, de acuerdo con el criterio del Instituto de Ingeniería (Ref. 4 ). El resultado fué de un período de retorno de aproximadamente 10 años.

Este período de retorno es menor que el utilizado en el estudio de otros drenes principales (25 años). Sin embargo, se utilizó la tormenta de 1968 debido a que como se menciona más adelante, el diseño del entubamiento se regirá principalmente por el equipo de excavación adecuado a las condiciones geológicas de la zona, más que a la capacidad hidráulica del mismo.

PLANTA DE BOMBEO GRAN CANAL.- Considerando que en el extremo del Gran Canal entubado se construirá la planta de bombeo, se hizo el análisis del funcionamiento del túnel semiprofundo, dándole diferentes alturas al tirante de agua en la descarga a la Planta; esto dependería de la capacidad de bombeo en dicha planta. En este caso se está considerando que el alivio hacia el Drenaje Profundo por la Lumbreira 8-C del Interceptor Oriente, no ha ya sido construido a un nivel bajo que pudiera ser aprovechado para descargar el túnel semiprofundo.

De acuerdo a lo anterior, se determinarán tres variantes básicas para el diseño de la planta de bombeo:

- \* Ubicar las bombas en la parte baja del cárcamo. Al hacer esto, la descarga en el cárcamo de bombeo se realizará a tirante crítico, y la potencia necesaria de las bombas para elevar el agua más de 24 m, resultaría en un diseño antieconómico.
- \* Ubicar las bombas en la parte alta del cárcamo. Las consecuencias de colocarlas de esta forma son: La descarga del túnel semiprofundo en el cárcamo estaría ahogada en forma permanente, lo que repercutiría en la eficiencia hidráulica del túnel, y el agua en el cárcamo estaría siempre al nivel de las bombas, lo cual impediría su mantenimiento.
- \* La tercera opción corresponde a una solución combinada. Se propone colocar en la parte baja del cárcamo una serie de bombas para-

desalojar 10 M<sup>3</sup>/S, equivalentes al gasto base, y colocar el resto de las bombas en la parte superior. Mediante esta opción se podrá mantener abatido el tirante en el túnel con lo que se tendría, en el momento de ocurrir una tormenta, gran parte de la capacidad de regulación del túnel disponible para recibirla: además, se evitaría el diseño de todas las bombas para vencer una carga de 24 m y se facilitaría el mantenimiento del cárcamo de bombeo.

#### ALTERNATIVAS PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL.

La identificación de alternativas se realizó tomando en cuenta los diversos proyectos existentes para la prolongación del Sistema de Drenaje Profundo, y el diámetro de los escudos disponibles, tanto en la actualidad como a futuro, para perforar túneles en suelos blandos.

Como se indicó con anterioridad, el análisis partió de considerar las condiciones en las cuales está funcionando el Sistema de Drenaje Profundo a partir de 1982.

ALTERNATIVA 1.- Esta consiste en considerar que se entubará el Gran Canal antes de realizar la prolongación del Sistema de Drenaje Profundo, y que el alivio por la obra de toma esté cerrado. El área considerada en esta alternativa es de 126 Km<sup>2</sup>.

Se realizó la simulación, considerando un diámetro interior de túnel de 5.0 m, así como la descarga en el cárcamo de bombeo correspondiente

te al tirante crítico. Bajo estas condiciones se registró un gasto máximo en la descarga de  $91 \text{ M}^3/\text{S}$ , sin que se presentaran problemas para evacuarlo. Se pudo apreciar que el nivel piezométrico en el Gran Canal es muy inferior al nivel del terreno y también es inferior al nivel de descarga de los principales colectores, por lo que no se tendrían problemas de ingreso al dren principal.

ALTERNATIVA 2.- Esta alternativa varía con respecto a la anterior en que se consideró como condición de frontera la descarga a tubo lleno, es decir, el tirante de agua en el cárcamo de bombeo coincide con el nivel de la clave del túnel.

Los resultados obtenidos de esta simulación indican que, bajo estas condiciones, el túnel trabaja con una carga ligeramente mayor que en la alternativa anterior, ocasionando que los colectores que descargan en los primeros tres kilómetros del Gran Canal, lo realicen en forma parcialmente ahogada. Sin embargo, se considera que este hecho no representa mayores problemas en el funcionamiento del túnel semiprofundo.

El gasto máximo transitado en esta alternativa resultó ser igual al de la alternativa 1, o sea,  $91 \text{ M}^3/\text{S}$ .

ALTERNATIVA 3.- Con base en las opciones existentes para la colocación de las bombas en el cárcamo, se analizó una alternativa que considera la ubicación de dichas bombas 5 m por abajo del nivel de terreno natural, a diferencia de los 24 m considerados en las dos alternativas pre-

vias. Esta opción se representó en el modelo mediante una condición de frontera que ubica el nivel del agua en el cárcamo de bombeo de 19 m - de la plantilla del túnel.

En los resultados de simulación, se observa una gran cantidad de derrames ocasionados por la condición de frontera utilizada. Se pudo apreciar que la ubicación de las bombas ocasiona que aún con gasto base el túnel trabaja en carga. Bajo estas condiciones el túnel semiprofundo es incapaz de recibir el escurrimiento pluvial en su totalidad, principalmente el drenado por los subsistemas que descargan en los primeros 5 Km del conducto.

Como consecuencia de la incapacidad del túnel para recibir el total del volumen generado en la cuenca, el gasto máximo transitado en el conducto fué de  $73 \text{ m}^3/\text{s}$ , en el punto de descarga.

ALTERNATIVA 4.- Debido a que en la actualidad se dispone de un escudo adecuado para perforar túneles en suelos blandos, del tipo existente en los terrenos del Lago de Texcoco, y cuyas características permiten un diámetro interior de túnel de 3.20 m, se decidió realizar una simulación utilizando este diámetro en el entubamiento. En esta simulación se consideró la descarga en el cárcamo de bombeo como tirante crítico (opción 1).

De los resultados obtenidos, se puede apreciar que la tormenta utilizada en este estudio no puede ser evacuada con una sección de 3.20 m de diámetro, presentándose problemas en los primeros 6.5 kilómetros de este dren.

El gasto máximo desalojado por el Gran Canal bajo las condiciones señaladas fué de  $49 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la descarga al cárcamo de bombeo.

ALTERNATIVA 5.- De los resultados de las cuatro alternativas previas, se desprende que únicamente las dos primeras tienen capacidad para drenar la totalidad del escurrimiento pluvial generado. Sin embargo, para implementar esos esquemas sería necesaria la construcción de una planta de bombeo con capacidad de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo cual resulta poco recomendable. A lo anterior se añade el hecho de que una vez prolongados los Interceptores Oriente y Oriente Sur, drenarán gran parte del área captada actualmente por el Gran Canal, por lo que, en el futuro, la capacidad de la planta de bombeo sería prácticamente inutilizada.

De acuerdo con esto, se pensó que de realizarse el entubamiento del Gran Canal, antes de la prolongación de los interceptores Oriente y Oriente-Sur, será necesario construir una nueva obra de toma para derivar parte del gasto que transitará por el túnel, hacia la lumbrera 8C del Interceptor Oriente, reduciendo así el gasto por bombear en la descarga del túnel. Esta nueva obra de toma obedece a que la existente quedaría inutilizada, debido a la profundidad propuesta para el túnel.

Con objeto de poder controlar el gasto por derivar hacia -

el Interceptor Oriente, el diseño de esta obra de toma inclu  
ría las compuertas necesarias para ello.

Se realizó la simulación del funcionamiento hidráulico -  
tomando como base a la alternativa 1, con la adición de un a-  
livio al túnel a la altura del kilómetro 7, lugar aproximado-  
en el que se encuentra la obra de toma.

Los resultados de la simulación muestran que si no exis-  
tiera ningún tipo de control en la obra de toma, se derivaría  
un gasto máximo de  $63 \text{ m}^3/\text{s}$  (71%) a través de este alivio, en-  
tanto que  $26 \text{ m}^3/\text{s}$  continuarían por el Gran Canal, llegando al  
cárcamo de bombeo  $33 \text{ m}^3/\text{s}$ .

El gasto de  $33 \text{ m}^3/\text{s}$  es aceptable para el diseño de una -  
planta de bombeo; sin embargo, existen diversas políticas de-  
operación que será necesario considerar en el diseño definit  
ivo. En las conclusiones se explica con más detalle este aspec  
to.

## CONCLUSIONES.

De las cinco alternativas analizadas para el entubamiento de la primera parte del Gran Canal, se concluye la necesidad de construir una nueva obra de toma en el mismo lugar donde se localiza la actual, dado que esta quedaría inutilizada por la profundidad a la que se propone construir el entubamiento. Esta obra de toma tiene por objeto el evitar bombear gastos del orden de  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ . Asimismo, se observa que el diámetro necesario para el entubamiento es de 5.0 m.

Con respecto a la colocación de las bombas, se propone -- que tanto la prolongación del Interceptor Oriente no se realice, las bombas se ubiquen a una profundidad de 10 m, misma que corresponde a la plantilla del colector más profundo que descarga en la actualidad al Gran Canal.

En principio se considera conveniente tener únicamente la capacidad de bombeo necesaria para desalojar el gasto de aguas negras, es decir,  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . En caso de lluvia se abrirían totalmente las compuertas de la obra de toma, permitiendo así el desalojo del gasto no evacuado por la planta de bombeo.

Esto último es posible debido a que las condiciones de funcionamiento hidráulico, aguas abajo de la obra de toma, obliga

rían al agua a fluír en sentido inverso, es decir, el flujo de agua sería de la planta de bombeo hacia la obra de toma, cuando el gasto fuera mayor que la capacidad de la planta.

Lo anterior indica que el gasto máximo bombeado hacia el tramo no entubado del Gran Canal sería el correspondiente al gasto de aguas negras ( $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ), descargando el resto al sistema de drenaje profundo, a través de la obra de toma.

Una vez prolongado el Interceptor Oriente, y con objeto de dar flexibilidad al sistema, se podría pensar en desalojar agua pluvial por el entubamiento del Gran Canal, lo cual ocasionaría un incremento en la capacidad de bombeo. Para decidir la capacidad de la planta de bombeo, así como la profundidad de las bombas, con objeto de no causar un remanso que ocasione problemas en las descargas de los diversos colectores, se requiere de un estudio más detallado del funcionamiento de esa estructura de bombeo; sin embargo, se puede decir que no es conveniente construir una planta cuya capacidad instalada sea mayor de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Bajo esta última condición, el túnel semiprofundo podría servir como colector madrina, para derivar el agua hacia el Interceptor Oriente, de tal forma que se evitaría la construcción de lumbreras de alivio en el mismo.

Por otra parte, con el esquema propuesto se sustituirían las bombas que actualmente ya cumplieron con su vida útil, además de que se concentrarían en una sola planta de bombeo.

### III.3.5 ZONA NORTE.

La zona norte, para el presente estudio, está comprendida por el río de los Remedios, desde el Vaso de Cristo hasta el Gran Canal, y sus principales tributarios como son los ríos Tlalnepantla y San Javier. Una parte importante de la zona la constituyen los ríos Cuauhtepac y Temoloco, afluentes del río San Javier, que si bien no tienen un área tributaria importante en el contexto de la zona, constituyen cuencas con escurrimientos de consideración por cuanto a gastos máximos, ya que tienen fuertes pendientes y están muy urbanizadas.

El río de los Remedios tiene una fuerte interacción con el resto del sistema de drenaje de la Ciudad de México, ya que la tendencia de escurrimiento del mismo es hacia el norte y el oriente, y el río de los Remedios es el último cauce al norte del Valle de México que corre de poniente a oriente.

Originalmente el río de los Remedios servía para derivar el agua captada por el Interceptor del Poniente hacia el Lago de Texcoco; sin embargo, con el tiempo fue incapaz de conducir el agua del poniente, además del agua generada en su cuenca propia, por lo que se hizo necesaria la construcción del Emisor del Poniente.

En esas condiciones, el río de los Remedios se constituyó en un elemento hidráulico clave para el manejo de las aguas del poniente y norte de la Ciudad de México, ya que con la infraestructura actual y futura se presen-

tan diferentes posibilidades de operación. De esta manera, tanto las aguas pluviales como sanitarias del poniente y norte del Valle de México tienen - las siguientes opciones de manejo:

El agua del poniente llega al Vaso de Cristo, ya sea por el Interceptor del Poniente o por el Canal del Tornillo. En este vaso se puede regular el agua y por lo tanto se tiene un primer elemento de decisión.

El agua regulada en el Vaso de Cristo se puede enviar hacia el Emisor del Poniente o hacia el río de Los Remedios, dependiendo de las condiciones hidrológicas. A su vez, el Emisor del Poniente puede aceptar o rechazar el agua de las cuencas altas de los ríos Tlalnepantla y San Javier.

El agua derivada hacia el río de los Remedios puede ser incorporada al Drenaje Profundo a través de la lumbrera existente en el Interceptor Central, o en la futura captación hacia el Interceptor Centro-Poniente.

El volumen de agua que no se derive hacia el Drenaje Profundo seguiría por el río de los Remedios hacia el Gran Canal del Desagüe.

Las posibilidades de operación descritas anteriormente, estarán condicionadas al funcionamiento de todas las estructuras de alivio mencionadas. Por lo anterior se observa que el problema de la zona norte es básicamente de operación, la cual está supeditada a las soluciones de las demás zonas.

Debido a que el río de los Remedios en la zona mencionada se encuentra en una zona urbanizada, la única solución posible es la rectificación y entubación del cauce, lo cual servirá además para llevar a cabo el proyecto de prolongación del anillo periférico norte.

Por lo que se refiere a los ríos Tlalneplantla y San Javier, se tiene regulado el escurrimiento desde su nacimiento hasta el cruce con el Emisor del Poniente, por las presas existentes y por las captaciones en este último. De esta manera, el Emisor del Poniente es prácticamente un parteaguas, por lo que el problema se reduce a la zona entre este último y la confluencia de los ríos con el río de los Remedios.

Como se mencionó anteriormente, las cuencas de los ríos Cuauhtepac y Tempulco tienen fuertes pendientes y se encuentran urbanizadas en buena parte (60% aproximadamente), por lo que se generan hidrogramas de gastos grandes, aunque el volumen no es importante. En la actualidad se producen inundaciones frecuentes en la parte baja de la zona, por lo que su solución es cada vez más apremiante.

En este informe se describen los proyectos existentes y se hace una breve discusión sobre los efectos de éstos con el Plan Maestro de Drenaje en las zonas que tienen relación.

## PROYECTOS EXISTENTES

En la figura III.8 se muestran en forma esquemática los ríos y obras de infraestructura en la zona, así como los gastos considerados para el diseño de las entubaciones.

En principio, se propuso que el río de los Remedios debería ser rectificado para un gasto máximo de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , en el tramo comprendido entre el Vaso de Cristo y el Interceptor Central. Este valor se obtuvo de considerar que parte del caudal proveniente del Poniente de la ciudad puede ser derivado hacia el Emisor del Poniente, sin reducir la capacidad de este último para recibir a los ríos Tlalnepantla y San Javier, ya que esta entrada está condicionada a la capacidad de las obras de toma, que son  $q_5$  y  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente.

A partir de este punto hasta el Lago de Texcoco, debería conducir un gasto máximo de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ , ya que se podrían derivar  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  hacia el Interceptor Central, pero esta operación comprometería al drenaje de la zona sur y sureste del Valle de México, por lo cual se considera más conveniente incrementar la capacidad del río de los Remedios desde la confluencia con los ríos Tlalnepantla y San Javier, para permitir el ingreso del agua de estos ríos. De esta manera se dejará la toma del Interceptor Central para casos de emergencia o para una política de operación combinada.

Por lo que se refiere al río Tlalnepantla, se distinguen tres zonas con características definidas. La primera zona comprende desde el naci-

miento del río hasta la presa Madín ( 105 Km<sup>2</sup> ), donde se regulan por completo las avenidas de períodos de retorno mayores de 25 años, ya que tiene una capacidad útil de 14 millones de m<sup>3</sup>. La segunda zona va de la presa Madín al Emisor del Poniente, la cual se encuentra casi totalmente urbanizada. Finalmente, la tercera zona queda comprendida entre el Emisor del Poniente y la confluencia con el río de los Remedios.

Tomando en cuenta la capacidad de la captación del río Tlalnepantla hacia el Emisor del Poniente, se determinó que el gasto máximo del río Tlalnepantla en la última zona es de 41 m<sup>3</sup>/s; sin embargo, se propuso un gasto de diseño de 25 m<sup>3</sup>/s ya que existe el proyecto de una toma hacia el Interceptor Centro-Poniente, además de la que existe en el Interceptor Central.

En el río San Javier también existen tres zonas hidrológicas definidas en forma similar al río Tlalnepantla, sólo que en este caso la primera zona se limita hasta las presas San Juan y Las Ruinas, donde existe suficiente capacidad de regulación (320,000 m<sup>3</sup>) para avenidas de período de retorno de 50 años o menores.

En la segunda zona se tiene gastos máximos de 75 m<sup>3</sup>/s de los cuales se podrían derivar hasta 35 m<sup>3</sup>/s hacia el Emisor del Poniente, por lo que para la tercera zona se tendría un gasto acumulado de 40 m<sup>3</sup>/s. Como se muestra en la figura III.10, el gasto acumulado en el río San Javier hasta su confluencia con el río de los Remedios sería hasta de 78 m<sup>3</sup>/s; sin embargo, las observaciones de campo (Ref. 1 ) permitieron definir que la zanja Madre no es capaz de conducir el gasto señalado y que el río San Javier tie-

ne una capacidad de 20 m<sup>3</sup>/s, con la cual no se han producido inundaciones de consideración.

En este caso se consideraron dos posibilidades de entubación; en el primero se consideró un gasto de diseño de 25 m<sup>3</sup>/s para todo el río y en otro caso se supuso el mismo gasto en el tramo comprendido entre el Emisor del Poniente y la confluencia con la Zanja Madre y a partir de ese punto darle una capacidad de 50 m<sup>3</sup>/s. En este diseño se consideró que el río Cuauhtepac estaba completamente regulado.

A partir de la confluencia de los ríos Tlalnepantla y San Javier con el río de los Remedios, se consideró un gasto de diseño de 70 m<sup>3</sup>/s con base a la regulación existente en los cajones propuestos, así como en las posibilidades de operación combinada del río de los Remedios con el Drenaje Profundo.

#### Ríos Cuauhtepac y Temoluco.

Los problemas de los ríos Cuauhtepac y Temoluco se originan por las fuertes pendientes de las cuencas, la escasa vegetación, la alta densidad urbana y la falta de infraestructura hidráulica.

Actualmente el río Temoluco se conecta al Drenaje Profundo a través del colector del mismo nombre que descarga hacia el Interceptor Central, y la zona central de la cuenca del río Cuauhtepac se drena mediante los colectores López Mateos, Tecnológico, Cinco de Mayo, Rosa de Lima y Venustiano Carranza, los cuales vierten sus aguas hacia el mismo río. También se encuentran

en la última etapa de construcción el colector Chalmita, el Emiliano Zapata y la descarga en la lumbrera 13 del Interceptor Oriente. El colector Chalmita está diseñado para un gasto máximo de  $9.3 \text{ m}^3/\text{s}$  y el colector Emiliano Zapata para  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ; la lumbrera 13 está diseñada para  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A pesar de la infraestructura actual y en construcción, se ha determinado que es insuficiente para los gastos esperados para períodos de retención de 5 años o mayores, ya que éstos son de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  en el río Temoluco y  $37 \text{ m}^3/\text{s}$  en el río Cuatepec.

Por lo anterior se propusieron dos alternativas básicas de solución que consisten en: (1) construir el colector Ignacio Zaragoza-Lumbrera 13 y el colector Chalmita II, paralelo al actual, para incrementar la capacidad del sistema, así como una nueva lumbrera hacia el Interceptor Oriente; (2) construir el colector Ignacio Zaragoza-Laguna y una laguna de regulación. En la figura III.10 se muestran las estructuras propuestas.

Se concluyó que la solución más conveniente era la última mencionada (2), ya que la lumbrera se encuentra construida y será difícil arreglarla y con los gastos descargados se comprometería el funcionamiento del Interceptor Oriente.

Para la solución propuesta, el colector Zaragoza-Laguna tendría un diámetro de 1.52 m, para conducir un gasto máximo de  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , y la laguna de regulación requerirá de una capacidad de  $174,000 \text{ m}^3$  para controlar avenidas con período de retorno de 20 años o menores. Para estas condiciones de

diseño, el río Cuautepec descargaría  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  hacia el río San Javier y  $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$  hacia el Interceptor Oriente, a través del colector Chalmita.

Adicionalmente se propone construir un canal con capacidad de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  para conectar la cuenca del río Temoluco con la del río Cuautepec, de manera que también se regule el escurrimiento de aquella cuenca.

## CONCLUSIONES

El río de los Remedios es una estructura clave en el drenaje de la Ciudad de México, no sólo porque drena su cuenca natural, sino también por las interconexiones existentes en las cuencas del poniente. Por otra parte, su posición con relación al Sistema de Drenaje Profundo y al Gran Canal, lo hacen jugar un papel importante.

En efecto, si no se limita el crecimiento urbano de las cuencas del poniente, se tendrá que construir un interceptor paralelo al Interceptor del Poniente, en cuyo caso el agua llegará al Vaso de Cristo, y el Emisor del Poniente no será capaz de desalojar más de  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  de gasto total, por lo que necesariamente se requerirá la salida por el río de los Remedios. Por otra parte, si el agua que circula por el río de los Remedios se trata de extraer por el Drenaje Profundo, se podrá comprometer el funcionamiento hidráulico de la parte central y sur de la Ciudad de México.

En forma adicional a las condiciones anteriores, se tiene el hecho de que la zona urbana al oriente del Gran Canal, del Estado de México, tendrá que drenar en un futuro no muy lejano hacia esta estructura, por lo que se requerirá una rectificación de su cauce. Bajo esta condición, sería conveniente dar una sección lo suficientemente grande para prever las descargas crecientes del río de los Remedios y de la entubación, propuesta en este informe, del Gran Canal en su etapa inicial.

De acuerdo con todo lo anterior, se considera conveniente rectificar el río de los Remedios para una capacidad de 80 m<sup>3</sup>/s, desde el Vaso de Cristo hasta el Gran Canal, sobre todo si se considera que la rectificación se haga en conductos cerrados para fines de vialidad.

Esta recomendación se deriva de los estudios anteriores, pero tomando en cuenta además las condiciones de funcionamiento de todo el sistema de drenaje descrito en este estudio.

Aún cuando no es inmediata esta necesidad, es conveniente tomarlo en cuenta si se realiza la entubación del río de los Remedios. Por lo que se refiere a los ríos Tlalnepantla y San Javier, parece suficiente el gasto de diseño de 25 m<sup>3</sup>/s para una posible entubación. Desde luego, su importancia es secundaria comparada con el río de los Remedios, ya que es una obra cara y solamente resuelve problemas locales, debido a la regulación existente en las presas Madín, San Juan y las Ruinas.

La mejor solución en el río Cuauhtepac es la que consiste en regular por completo el escurrimiento generado por avenidas con períodos de retorno de hasta 20 años en una laguna de regulación, ya que el volumen de 174,000 m<sup>3</sup> es pequeño y la obra será más económica que la alternativa de construir colectores de gran capacidad; sin embargo, en caso de que existieran problemas para contar con el terreno necesario para la laguna de regulación, se puede pensar en construir un colector de gran capacidad (35 m<sup>3</sup>/s) hasta el río San Javier y éste a su vez con una capacidad de 50 m<sup>3</sup>/s hasta su confluencia con el río de los Remedios. Esto sería congruente con el gasto de diseño propuesto para el río de los Remedios.

### III.3.6 ZONA CENTRO

#### ANTECEDENTES

La zona centro del Distrito Federal, para los fines que se persiguen en el presente estudio, está limitada por los siguientes drenes principales: al Norte, por el río de los Remedios; al Poniente, por el Interceptor del Poniente; al Sur, por el río Churubusco; y al Oriente, por el Gran Canal del Desagüe.

El drenaje de esta zona se realiza a través de colectores que cruzan a la ciudad en dirección poniente-oriente, drenando la mayoría de ellos grandes áreas a lo largo de su recorrido, lo que ocasiona un funcionamiento ineficiente por la magnitud del volumen por drenar.

El Sistema de Drenaje Profundo fué concebido como un conjunto de interceptores dispuestos en la dirección sur-norte con el fin de seccionar la red de colectores y así mejorar su funcionamiento, al reducir el área de captación de los mismos. Por tal motivo, se puede afirmar que el funcionamiento adecuado del drenaje en la zona centro de la Ciudad dependerá, principalmente, de la prolongación futura del

mencionado sistema.

Desde 1982 el Sistema de Drenaje Profundo quedó terminado en su segunda etapa, quedando como sigue: El Interceptor Centro-Poniente está construido en toda su longitud, permitiéndole con ello el alivio al Interceptor del Poniente.

Asimismo, el Interceptor Central está funcionando a partir de la lumbrera 6, en tanto que el Interceptor Oriente sigue funcionando a partir de la Obra de Toma del Gran Canal.

La necesidad de completar el Sistema de Drenaje Profundo es inminente; sin embargo, las limitaciones de tipo financiero y constructivo harán que la prolongación de los diferentes interceptores que lo componen se realice en forma progresiva, no simultánea. De aquí la importancia de analizar las diferentes alternativas existentes para la prolongación de cada interceptor y jerarquizarlas con base en los beneficios esperados de cada una de ellas.

Como punto de partida de esta evaluación se consideró conveniente reproducir las condiciones del Sistema de Drenaje Profundo en 1980 (alternativa 0), o sea, considerar al Interceptor Central a partir de la lumbrera 9 y al Interceptor Oriente a partir de la Obra de Toma del Gran Canal (Fi

gura III.11). Posteriormente se analizaron las condiciones que existen desde 1982 (alternativa 1), las cuales se describieron anteriormente y se muestran en la figura III.12. De esta alternativa se derivan diversas opciones para el desarrollo futuro del Sistema de Drenaje Profundo.

La alternativa 2 consiste en prolongar el Interceptor Central hasta la lumbrera 5, para de allí continuar por el Interceptor Centro-Centro y posteriormente por el Interceptor Oriente, hasta su inicio en la avenida Mexicaltzingo (Figura III.13). La alternativa 3 consiste en prolongar el Interceptor Central desde la lumbrera 6 hasta el Anillo Periférico, en las inmediaciones del Estadio Azteca, pasando por las avenidas Vértiz, Universidad, División del Norte y Tlalpan (Figura III.14).

La alternativa 4 consiste en el análisis de las alternativas 2 y 3 juntas, es decir, la prolongación de los Interceptores Central, Centro-Centro y Oriente, a partir de la lumbrera 6 del Interceptor Central (Figura III.15). Esta alternativa obedece al hecho de que la construcción del Interceptor Oriente, en el tramo comprendido entre la lumbrera 8-C y el Interceptor Centro-Centro, no es factible en un futuro cercano, dada la carencia de equipo adecuado pa-

ra excavar en los suelos arcillosos de la zona del Lago.

Finalmente, la alternativa 5 comprende el análisis del Sistema de Drenaje Profundo en su totalidad, incluyendo los interceptores Oriente, Oriente-Sur y Oriente-Oriente (Figura III.16).

## HIDROLOGIA

El análisis de las diferentes alternativas para la prolongación del Sistema de Drenaje Profundo se realizó reproduciendo los datos de dos tormentas.

Tormenta del 7 de Agosto de 1980. Esta se seleccionó devido a que obligó a realizar una de las descargas más desfavorables en el Sistema de Drenaje Profundo, a través de las diversas captaciones, en el año de 1980.

Tormenta del 14 de Septiembre de 1968. Se seleccionó esta tormenta por la forma desfavorable en la cual están -- distribuidas sus isoyetas; sin embargo, se hizo necesario mover el foco de la misma hacia el sur de la Ciudad, con objeto de observar los efectos que causaría una fuerte -- lluvia, sobre esta zona, en el Sistema de Drenaje Profundo.

Una vez seleccionadas las tormentas, se procedió a reca--bar la información pluviométrica y pluviográfica disponible para las fechas correspondientes en 38 estaciones (18 operadas por la DGCOH y 20 por la SARH).

Posteriormente, se determinó la distribución de la tormenta mediante el trazo de isoyetas y polígonos de Thiessen, diseñando los hidrogramas sintéticos con base a estos últimos.

Por otra parte, se obtuvieron los gastos aforados en las principales captaciones del Sistema de Drenaje Profundo para la tormenta del 7 de Agosto de 1980.

Por lo que respecta al diseño de la forma de los hidrogramas de ingreso a los interceptores, se realizó a partir del hidrograma aforado en la captación del colector 15 al Interceptor Central, ya que las características de la frecuencia de este colector permitieron la calibración adecuada de los parámetros que influyen en el diseño del hidrograma.

Esta calibración parte de comparar el volumen aforado con el volumen calculado, mediante la siguiente expresión:

$$V_e = C \cdot h_p \cdot A \cdot f_d \cdot 1000$$

Donde:

$V_e$  = volumen en  $m^3$

$h_p$  = altura de precipitación en mm

$A$  = área de la cuenca en  $km^2$

$C$  = coeficiente de escurrimiento

$f_d$  = factor de reducción por duración de lluvia

De los resultados obtenidos se observó que el volumen calculado era mayor que el aforado, por lo que se procedió a igualarlos, reduciendo el valor del coeficiente de escurrimiento de 0.5 a 0.4. Con base en este resultado, se redujeron los coeficientes de escurrimiento de todas las cuencas en la misma proporción. El volumen de escurrimiento obtenido en esta forma se distribuyó en un hidrograma similar al aforado, resultando los hidrogramas del tipo aproximado al que se muestra en la figura III.3.

También se usó el hidrograma del tipo mostrado en la misma figura cuando el tiempo de concentración de los colectores resultó menor que la duración de la lluvia considerada.

La simulación del funcionamiento hidráulico del Sistema de Drenaje Profundo se hizo con las dos tormentas; sin em

bargo, en este informe solamente se presentan los resultados correspondientes a la tormenta más desfavorable. De esta manera, en las alternativas 0 y 1 se presentan los resultados obtenidos con la tormenta del 7 de Agosto de 1980 y para las alternativas 2, 3, 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos con la tormenta del 14 de septiembre de 1968.

En todos los casos, el hidrograma de ingreso al Interceptor Centro-Poniente, proveniente del Interceptor del Poniente, fué el utilizado en el estudio de la referencia.

## ANALISIS DE ALTERNATIVAS

### Alternativa o (Condiciones en 1980).

Para el análisis de esta alternativa se realizaron dos simulaciones; la primera, utilizando los hidrogramas aforados en las captaciones ubicadas a lo largo del Interceptor Central, así como en la Obra de Toma del Gran Canal; la segunda, utilizando los hidrogramas sintéticos obtenidos con la hidrología descrita anteriormente. Esto se hizo con el objeto de observar el grado de confiabilidad de los hidrogramas sintéticos.

Como se pudo apreciar, el Sistema de Drenaje Profundo, en condiciones actuales, es capaz de conducir el escurrimiento generado por tormentas semejantes a la de 1980 sin problemas de derrame. Bajo las condiciones impuestas, el gasto máximo de conducción en el Emisor Central fué de 158 m<sup>3</sup>/s, en el Interceptor Oriente 114 m<sup>3</sup>/s y en el Interceptor Central 48 m<sup>3</sup>/s.

Los resultados obtenidos con hidrogramas sintéticos y aforados no difieren considerablemente entre sí, lo cual proporciona un alto grado de confiabilidad con respecto a la

hidrología utilizada.

Al final del subcapítulo se puede ver una tabla en la que se muestran los gastos máximos alcanzados en los puntos más importantes, tanto para ésta como para las siguientes alternativas. (Tabla III.4).

Alternativa 1 (Condiciones en 1982)

La principal finalidad de esta alternativa fué la de conseguir el máximo alivio posible del Interceptor del Poniente, sin causar problemas al Sistema de Drenaje Profundo.

Como se pudo observar, a pesar de incrementar el área aliviada por el Interceptor Centro-Poniente y por la prolongación del Interceptor Central, el sistema no presentó derrames, por lo que, se puede concluir que las obras puestas en funcionamiento desde 1982 no afectan al funcionamiento hidráulico del Sistema.

En comparación con la alternativa 0, se puede apreciar -- (tabla III. 3) que el gasto máximo en la confluencia del Emisor Central con los Interceptores Central y Oriente, es menor en esta alternativa, lo cual se debe al alivio --

de áreas de drenaje por el Interceptor Centro-Poniente, - así como al incremento en la capacidad de regulación dentro del Sistema. Esto implica que el Interceptor Centro-Poniente no solamente alivia a la zona de poniente, sino\_ que también mejora sustancialmente a la zona central de - la Ciudad.

Alternativa 2 (Desarrollo por los Interceptores Centro-Centro y Oriente).

Como se comentó anteriormente, la finalidad de las alternativas 2 a 5 es la de revisar las posibles alternativas\_ de desarrollo futuro del Drenaje Profundo por etapas. En este caso se consideró el desarrollo por el Interceptor - Centro-Centro hacia el suroriente de la Ciudad.

Con el fin de tomar en cuenta la influencia de otros proyectos de drenaje, identificados en las zonas que más -- afectan al funcionamiento del Drenaje Profundo, se consideraron tres opciones al respecto.

#### . Opción 1

La infraestructura de drenaje primario, que descarga

al Sistema de Drenaje Profundo, se mantiene en las -  
condiciones actuales.

Como se muestra en la tabla III.1, se tuvieron derrames (o volúmenes de agua que no entraron al sistema) que corresponden al 0.5% con relación al volumen total manejado dentro del Sistema. Debe observarse que el área drenada en esta alternativa es aproximadamente tres veces - el área drenada para las condiciones de funcionamiento - en 1982, por lo que se puede considerar que los proble-- mas son mínimos.

Los derrames principales (tabla III. 3) se presentaron - en la cabeza del Sistema prolongado, es decir, en las -- celdas 70 a 72 del Interceptor Oriente, por lo que se -- puede apreciar la necesidad de regulación en la zona sur oriente.

Por lo que se refiere al manejo total de agua, en esta - alternativa se incrementó el gasto manejado en el Emisor Central a 182 m<sup>3</sup>/s en la confluencia de este último con - el Interceptor Centro-Poniente. A pesar de ello, no se - presentaron problemas de operación del mismo.

. Opción 2

- > Existe la planta de bombeo Miramontes con una capacidad de  $24 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Esta opción resulta favorable para el funcionamiento del Sistema de Drenaje Profundo dado que los escurrimientos captados por el colector Miramontes se descargarían al río Churubusco a través de la planta de bombeo Miramontes. Cabe señalar que en las opciones 1 y 2 el área drenada es exactamente la misma; la diferencia radica en -- que el volumen de escurrimiento de los sistemas Miramontes y Apatlaco entra al Interceptor Oriente por diferentes puntos. Esto se ha considerado como un caso extremo, debido a la posibilidad de aliviar solamente en forma -- parcial al río Churubusco, en lugar de descargarlo al -- Drenaje Profundo en su totalidad, como se efectuó en este análisis.

Como consecuencia de lo anterior se puede concluir que -- con una descarga menor del río Churubusco al Sistema de Drenaje Profundo, los derrames se reducen a la tercera -- parte (tabla III.1).

Las condiciones generales de funcionamiento son semejantes en este caso a las de la opción 1.

. Opción 3

Existe la infraestructura propuesta en el Plan Maestro para la Zona Sur, es decir, el entubamiento de los canales Nacional y Chalco, el colector Calzada La Virgen y la Planta de bombeo Miramontes.

Se puede observar (tablas III.1 y III.2) que el incremento de infraestructura de drenaje, y consecuentemente el área drenada, ocasionará serios problemas al Sistema de Drenaje Profundo, si la mayor parte del caudal colectado se desaloja a través de este sistema.

Como el volumen adicional drenado se descargaría hacia el Interceptor Oriente, es precisamente en esta estructura donde se presentan los problemas de derrame, ya que el funcionamiento general del sistema no varía significativamente con relación a las opciones anteriores (tabla III. 3).

De acuerdo con lo expuesto para la zona sur, existe la posibilidad de regular el volumen captado por Canal de Chalco, y por los sistemas Colector Prolongación División del Norte

e IMAN en las ciénegas Chica y Grande de Xochimilco, lo cual reduciría considerablemente el volumen descargado al Interceptor Oriente durante una tormenta, ya que se regularía durante el tiempo crítico de ésta. Este esquema reduciría, a un mínimo, el volumen derramado en el Interceptor Oriente.

#### Alternativa 3 (Desarrollo por el Interceptor Central)

Los resultados obtenidos del estudio de esta alternativa muestran que de prolongar el Interceptor Central en la forma indicada en la figura III.14, el funcionamiento será satisfactorio, dado que no se presentaron derrames. Sin embargo, los gastos de ingreso a este interceptor estuvieron condicionados por la capacidad de conducción de los diferentes colectores de descarga; los volúmenes que excedían esta capacidad se supusieron regulados en las vialidades y conforme los colectores recuperaban capacidad fueron introducidos al sistema.

Esta observación es válida para todas las alternativas y es de suma importancia, dado que permite concluir que una tormenta causará problemas en el funcionamiento del Sistema de Drenaje Profundo en el grado en que exista la infra-

estructura de drenaje primario, necesaria para descargar - los escurrimientos provocados por esa tormenta en los dife-  
rentes interceptores.

Si bien es cierto que el desarrollo del Drenaje Profundo - por el Interceptor Central (alternativa 3) presenta menos\_ problemas que el desarrollo por el Interceptor Oriente (al-  
ternativa 2), ya que no se observaron derrames, esto se de-  
be también a que se maneja un área menor de drenaje (tabla III.1). y con menos problemas en la actualidad.

Alternativa 4 (Desarrollo de los Interceptores Central, -  
Centro-Centro y Oriente).

Como esta alternativa contempló el análisis combinado de - las alternativas 2 y 3 (figura III.15), se manejaron tam--  
bién las tres opciones de existencia de infraestructura --  
primaria de drenaje en la zona suroriente de la Ciudad.

#### . Opción 1

Se consideró al Sistema de Drenaje Profundo trabajando  
únicamente con la infraestructura existente.

En el análisis de esta opción no se presentaron derrames, \_

debido a que se tenía mayor capacidad de regulación en el sistema (tabla III.1). Sin embargo, cabe mencionar que en algunos puntos de los Interceptores Centro-Centro, Central y Oriente, la carga piezométrica alcanzó valores bastante elevados. Esto significa que los colectores aliviados por el Sistema en esos puntos no podrán tener una descarga libre.

Como pudo apreciarse, el gasto máximo detectado en el Emisor Central fué de 182 m<sup>3</sup>/s, el cual es muy semejante al gasto observado en la alternativa 2, con lo cual se confirma que se alcanza un rendimiento mayor del drenaje por el oriente que por el centro.

#### Opción 2

Para esta opción se consideró que existe la planta de bombeo Miramontes.

En este caso tampoco se presentaron derrames y se mejoró notablemente el funcionamiento hidráulico con relación a la opción 1, ya que los volúmenes generados en la zona sur (Sistema Canal de Miramontes) ingresarían al Drenaje Profundo a través de dos descargas, de la misma manera como se mencionó en la alternativa 2.

### Opción 3

Se consideró el funcionamiento de toda la infraestructura de la zona sur, es decir, la planta de bombeo Miramontes, el Colector Calzada de la Virgen y el entubamiento de los Canales Chalco y Nacional.

Al simular el sistema se tuvieron derrames debido a que el área drenada fué mayor que en las dos opciones anteriores. Sin embargo, estos derrames fueron ligeros, pues únicamente correspondieron al 0.4% del volumen total manejado (tabla III.1).

En este caso, el Interceptor Centro-Centro tendría un gasto de conducción mayor que en las opciones anteriores, con lo cual trabajaría en forma más eficiente. (tabla III.3).

Al comparar las alternativas 2 y 4 (tablas III.1 a III.3), se puede apreciar que el hecho de prolongar el Interceptor Central mejora el funcionamiento del Interceptor Oriente, pero ello implicaría la construcción de 15 km más de túnel para reducir, casi por completo, el derrame de 303,000 m<sup>3</sup> en el caso más desfavorable (opción 3). Lo anterior parece ser poco eficiente si se encuentra la posibilidad de regular el agua antes de permitir su ingreso al Sistema de -

## Drenaje Profundo.

### Alternativa 5 (Condición de Desarrollo Total)

En esta alternativa se consideró que el Sistema de Drenaje Profundo estuviera construido en su totalidad. Se estudiaron dos opciones: en la primera se drenó toda la Ciudad, - incluyendo la zona Poniente a través del Interceptor Centro-Poniente; en tanto que en la segunda se eliminó el alivio a dicha zona.

#### . Opción 1

Los resultados obtenidos del análisis de esta opción son de especial interés para obtener conclusiones acerca del funcionamiento conjunto del sistema de drenaje del Distrito Federal, debido a que el Drenaje Profundo fué concebido para aliviar a los principales drenes que desalojan las aguas negras y pluviales de la Ciudad, como son: Interceptor del Poniente, río Churubusco, Canal Nacional, Gran Canal del Desagüe y río de los Remedios. Esto convertirá al Sistema de Drenaje Profundo en el principal dren de la Ciudad dada la flexibilidad de operación que proporcionará a la red general de drenaje.

Del resultado de las simulaciones se observó que los interceptores Centro-Poniente, Central y Centro-Centro no presentaron problemas en su funcionamiento, en tanto que los interceptores Oriente, Oriente-Sur y Oriente-Oriente, presentaron derrames en algunos puntos y, además, otros tramos se encontraban funcionando al límite de su capacidad.

El Interceptor Centro-Poniente recibe los escurrimientos del Interceptor del Poniente, así como los de la parte norponiente de la Ciudad (Fig. III.16). En esta alternativa se realizó el alivio a los ríos de los Remedios y Tlalnepantla en el Interceptor Central, sin embargo, dado lo favorable que resultó el funcionamiento del Interceptor Centro-Poniente, se prevé que la incorporación del caudal de estos ríos en dicho interceptor, no causará problemas, con lo que se verá favorecido el drenaje de las zonas Sur y -- Oriente-Sur, que como se ha mencionado anteriormente, son las más conflictivas.

En el Interceptor Central se presentaron las cargas piezométricas más desfavorables en el Tramo lumbrera 5-lumbrera 7, deduciéndose de aquí, que de llegar a presentarse problemas en el funcionamiento de este interceptor, se producirían en este tramo.

En el Interceptor Centro-Centro, se observó que la capacidad adicional para conducir caudales mayores a los presentados, es mínima. Sin embargo, debido a las características de la tormenta con que se analizó esta alternativa, se tenían descargas importantes en los primeros kilómetros de los interceptores Central y Oriente, lo que se traduce en condiciones desfavorables para el funcionamiento del Interceptor Centro-Centro, deduciéndose de aquí que este interceptor trabajará en forma adecuada.

El interceptor Oriente, a diferencia de las alternativas 2 y 4, no presenta problemas en sus primeros kilómetros; -- sin embargo, a partir de su confluencia con el Interceptor Oriente-Sur y hasta la lumbrera 6, su funcionamiento fué crítico, ya que si bien tan sólo aparecen derrames en la celda 108, las alturas piezométricas alcanzaron en este tramo un nivel muy cercano al del terreno natural.

En los Interceptores Oriente-Sur y Oriente-Oriente se presentan derrames en algunos puntos, pero, con excepción de las primeras dos celdas de cada interceptor, el resto trabaja al límite de su capacidad.

Finalmente, al igual que en las alternativas anteriores, -

el Emisor Central conduce los escurrimientos captados por los interceptores antes mencionados, sin problemas. Los gastos máximos presentados en cada interceptor así como en el Emisor Central aparecen en la tabla III.3.

#### Opción 2

En esta opción se eliminó el alivio al Interceptor del Poniente a través del Interceptor Centro-Poniente, lo cual implica una posible condición de operación del Sistema de Drenaje Profundo, una vez terminado.

Para el caso de la tormenta generalizada que se consideró en la simulación, no se tuvieron derrames, presentándose una ligera mejoría en el funcionamiento de todos los interceptores y, desde luego, un beneficio sustancial del Interceptor Centro-Poniente. Aún cuando el efecto no parece muy importante, con relación a la opción 1, dada la magnitud del sistema, habría que revisar el funcionamiento hidráulico en condiciones climatológicas mas severas para las zonas Poniente y Oriente-Sur.

## CONCLUSIONES

Las condiciones de funcionamiento del Sistema de Drenaje Profundo, una vez concluida la segunda etapa en 1982, fueron satisfactorias, sobre todo si se toma en cuenta que las descargas máximas provenientes tanto del Interceptor del Poniente ( $34.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) como del Gran Canal ( $113.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), representan una condición muy desfavorable en conjunto.

Resulta conveniente que, en los lugares donde exista alguna opción de descarga adicional al Sistema de Drenaje Profundo, se estudie con detalle el volumen del caudal de descarga en cada dren principal, con objeto de evitar concentraciones excesivas en los interceptores que ocasionen un funcionamiento deficiente.

La infraestructura de drenaje primario existente en cada captación al Sistema de Drenaje Profundo representa un factor condicionante de los volúmenes descargados a los diferentes interceptores, por lo que, en colectores con capacidad insuficiente para drenar el volumen de escurrimiento generado de una determinada tormenta, el volumen excedente se regulará en las vialidades antes de ingresar al Drenaje Profundo.

Durante el desarrollo de este estudio se observó que, en las alternativas que se consideran más factibles para el siguiente paso en la prolongación del Sistema (alternativas 2 y 3), el funcionamiento de los Interceptores Oriente (en el tramo Obra de Toma-Lumbrera 0) y Centro-Poniente, es independiente de la alternativa de prolongación que se seleccione, resultando solamente afectado el Interceptor Central.

Del análisis de las alternativas 2 y 3 se observó que una vez prolongados los Interceptores Central y Oriente, se podrían tener deficiencias en el funcionamiento hidráulico en los primeros kilómetros, lo cual se traducirá en encharcamientos en el área drenada por esos tramos de los interceptores.

Del análisis de la alternativa 4, se puede observar que el funcionamiento simultáneo de los Interceptores Central y Oriente, mejorará considerablemente el drenaje de la Ciudad. Se comprobó que la confluencia del Interceptor Centro-Centro con el Interceptor Central no presenta problemas en su funcionamiento hidráulico. Adicionalmente, al existir la infraestructura completa en las zonas Sur y Oriente-Sur, aumentará el área beneficiada notablemente;

sin embargo, los Interceptores Centro-Centro y Oriente podrían tener problemas de insuficiencia.

Con base en el funcionamiento hidráulico, así como en los beneficios esperados de cada una de las alternativas analizadas, se recomienda construir en primera instancia, el trazo indicado por la alternativa 2, es decir, prolongar el Interceptor Central hasta la lumbrera 5, para de allí continuar por el Interceptor Centro-Centro y posteriormente por el Interceptor Oriente, hasta su inicio. Como paso siguiente, se recomienda la construcción del Interceptor Oriente, en su tramo lumbrera 5-lumbrera 8C, así como de los interceptores Oriente-Sur y Oriente-Oriente en su totalidad. De no existir el equipo adecuado para la excavación de los túneles de estos interceptores, se recomienda construir la prolongación del Interceptor Central.

El análisis de la alternativa 5 mostró que el Sistema de Drenaje Profundo presenta problemas para drenar una tormenta generalizada en el área metropolitana de la Ciudad, específicamente en los interceptores Oriente (tramo lumbrera 5-lumbrera 7), Oriente-Sur y Oriente-Oriente. Asimismo, se observó que al eliminar el alivio al Interceptor del Poniente, el funcionamiento general del sistema presenta una

ligera mejoría, que permite la eliminación de derrames.

Es conveniente señalar que en esta alternativa, el Drenaje - Profundo prácticamente captó todo el volumen conducido por los drenes principales, haciendo caso omiso de la flexibilidad que este Sistema puede proporcionar. De aquí se confirma que el correcto funcionamiento de la red general de drenaje, dependerá de políticas de operación adecuadas.

Por último, con objeto de poder sensibilizarse a los efectos de diversas tormentas sobre la red general de drenaje, se recomienda efectuar análisis adicionales de esta alternativa, utilizando otras tormentas con foco localizado en diferentes zonas de la Ciudad.

## IV CONCLUSIONES

En el presente estudio se han expuesto los principales problemas del drenaje de la Ciudad de México, los cuales impiden el desalojo eficiente de las aguas negras y pluviales que se generan dentro de la cuenca del Valle de México, provocando -- inundaciones frecuentes.

Es bien conocido que parte del problema se debe a las condiciones naturales de la cuenca del Valle de México, ya que por ser una cuenca cerrada no tiene salidas naturales y este problema se ha agravado con el asentamiento continuo del suelo -- en la zona central de la Ciudad de México. Asimismo, se tienen pendientes pronunciadas en el poniente del Valle, lo que -- provoca que el agua se concentre rápidamente en la zona central de la Ciudad, con baja o nula pendiente.

Existen zonas urbanas, como la del sur y suroriente de la Ciudad, que por las condiciones topográficas tienen pocas posibilidades de incorporarse a los sistemas actuales, sin tener que recurrir a plantas de bombeo.

Si bien es cierto que las condiciones topográficas, naturales o inducidas, son desfavorables a soluciones convencionales de

drenaje, también es cierto que la infraestructura hidráulica existente es deficiente en algunas zonas. Esta deficiencia se ha producido principalmente por el crecimiento desordenado de la urbanización, lo cual motiva que las soluciones sean cada vez más costosas y difíciles desde el punto de vista técnico. En un país donde los recursos financieros no son abundantes, sucede que cuando se realizan las obras ya no son suficientes para la finalidad del proyecto original, lo cual hace necesario contar con programas que aprovechen al máximo los recursos financieros existentes.

El sistema de presas del poniente constituye un ejemplo de lo anterior, ya que fueron concebidas entre 1930 y 1940 para regular los escurrimientos pluviales generados en las cuencas de esa zona y evitar que llegaran a la zona central de la Ciudad; no obstante, al poco tiempo se urbanizó la parte controlada y hubo necesidad de construir el Interceptor del Poniente. En la actualidad se sigue urbanizando aguas arriba de las presas con lo cual se elimina la posibilidad de sobreelevarlas o incrementar su capacidad de regulación.

Con el ejemplo anterior se pone de manifiesto el hecho de que mientras no se detenga el crecimiento urbano de la Ciudad de México y sus áreas conurbadas, más grave y difícil de resol-

ver resulta el problema, ya que cuando se resuelve un problema local, se genera la urbanización en ese sitio por la seguridad que se le da a la población al disminuir las inundaciones.

Por otra parte, hay zonas que dependen de un sólo dren principal, como es el caso del río Churubusco, donde se desalojan las aguas provenientes de un área de 300 km<sup>2</sup>, lo cual hace -- que se sature fácilmente su capacidad, impidiendo el acceso -- del agua en las zonas terminales, es decir, las más críticas -- por cuanto a la inundación provocada. Esto genera a su vez -- el crecimiento desordenado y deficiente de subsistemas de colectores, que con frecuencia tienen que desarrollarse en grandes extensiones antes de ingresar al dren principal; tal es -- el caso de los subsistemas Iztapalapa II y Miramontes.

En la parte central de la Ciudad de México existe suficiente -- infraestructura; sin embargo, los grandes recorridos que tienen que realizar los colectores antes de conectarse a un dren principal, el exceso de conexiones entre ellos y las modificaciones que surgen por la construcción de otras obras subterráneas como el METRO, provocan que exista una operación deficiente. Un caso típico de esta situación es el Colector 15, -- el cual recorría 20 km del río Hondo al Gran Canal antes de --

que se aliviara hacia los interceptores Central y Centro-Poniente.

Ante el panorama descrito anteriormente, se deduce que la Ciudad de México seguirá creciendo en forma explosiva en tanto no se tome una medida radical para evitarlo; esto genera nuevas demandas de drenaje sanitario e incrementará el escurrimiento superficial por la reducción de áreas de infiltración. Todo lo anterior motivó la necesidad de establecer un Plan Maestro de Drenaje del Distrito Federal, el cual está dirigido a determinar el crecimiento armónico del Sistema de Drenaje considerando, por un lado, el estado actual del Sistema y su problemática, y por otro lado, las necesidades futuras de drenaje que demanda el inminente crecimiento de la población.

En el presente estudio se definieron diferentes soluciones técnicas del sistema de drenaje a nivel de drenes principales calificando las alternativas posibles, cuando existían, por el grado de eficiencia hidráulica en el contexto general del sistema y por el servicio que pudiera brindar a la mayor área posible. Sin embargo, no se hizo una evaluación económica de las obras propuestas debido principalmente a la necesidad de establecer una zonificación de los sistemas para su

análisis y también el hecho de que existían estudios anteriores con diferentes grados de calidad en la información y criterios de análisis utilizados. Por otra parte, se consideró más importante hacer una primera selección de los proyectos que -- son factibles desde el punto de vista técnico (y social en algunos casos) antes de confirmar los resultados con una evaluación económica.

Para llevar a cabo una evaluación económica real del sistema de drenaje del Distrito Federal, contemplado como Plan Maestro, es necesario elaborar un modelo que simule en conjunto a toda la red de drenes principales, analizando las alternativas seleccionadas en esta etapa. De esta manera se podrán determinar los beneficios de la obra y su repercusión a nivel global. Este modelo, si bien simplificado en cuanto a la operación de los subsistemas, deberá contemplar las interacciones entre -- los diferentes drenes principales. A este respecto, el Instituto de Ingeniería, elaboró un modelo que pretende tomar en -- cuenta lo anterior.

A pesar de no contar con una evaluación económica de los proyectos incluidos en el Plan Maestro, se considera que los resultados obtenidos en esta etapa son importantes debido a que -- no existen muchas alternativas de solución a nivel de drenes--

Principales, por lo que la evaluación económica solamente probaría la factibilidad de cada proyecto y permitiría jerarquizar la entrada de los mismos en el tiempo. Sin embargo, al final de este capítulo se propone una jerarquización con base en el efecto hidráulico que tiene cada proyecto en condiciones actuales y futuras. En efecto, existen algunos casos, como el -- Gran Canal, donde la solución se limita a la entubación y cambio de cotas de descarga del dren para eliminar los problemas sanitarios, sustituir las plantas de bombeo actuales, incrementar su capacidad de desalajo y permitir que las zonas que descargan actualmente, y las que lo hagan en el futuro, puedan ingresar al sistema por gravedad. Otros casos como el de la -- cuenca del río Cuauhtepac tienen diferentes alternativas de solución, pero en el ámbito del sistema principal de drenaje su repercusión no es importante, por ser volúmenes pequeños, por lo que la evaluación económica se puede restringir al subsistema exclusivamente. Finalmente, se tienen situaciones como la del Poniente del Valle de México, donde existen diferentes alternativas de solución y cada una de ellas afecta en forma diferente a otros drenes principales, en este caso al río de los Remedios, al Interceptor del Poniente, al río Churubusco etc.; por lo tanto la evaluación económica deberá ser integral.

De acuerdo con las herramientas de análisis disponibles, se di

vidió al Distrito Federal en seis zonas, de acuerdo con la ubicación de los principales drenes existentes. Esto permitió hacer manejable el problema, dada la complejidad del sistema de drenaje; sin embargo, se prestó especial atención a las interconexiones de las diferentes zonas. Con base en lo anterior, el Distrito Federal quedó dividido en las zonas siguientes:

- . Poniente
- . Sur
- . Oriente-Sur
- . Oriente-Norte
- . Norte
- . Centro

De acuerdo con la zonificación expuesta, se pueden resumir los aspectos más importantes de cada zona como sigue:

## ZONA PONIENTE

Los problemas del poniente se aliviaron en parte al entrar en funcionamiento, en el transcurso de 1984, el alivio al Interceptor -- del Poniente a través del Interceptor Centro-Poniente; sin embargo, éste solamente será temporal debido al hecho de que se le dará -- prioridad de conexión a las zonas del sur, cuando se prolonguen los Interceptores Centro y Oriente. No obstante esta situación, lo anterior permite contar con suficiente tiempo para realizar las obras necesarias en esta zona.

Básicamente existen dos tipos de solución al problema del poniente, que aunque en principio pueden ser alternativas, a mediano y largo plazo podrán ser complementarias. Por una parte, se tiene la posibilidad de construir presas de regulación adicionales a las que -- existen, principalmente en la zona surponiente, donde existe suficiente área posible de urbanizar; por otra parte, se tiene la solución del desalojo del agua de la zona mediante túneles subterráneos, bien a través de un interceptor paralelo al Interceptor del Poniente, con lo cual se conduciría el agua hacia el norte, o bien a través del túnel semiprofundo Magdalena-San Buenaventura, para conducir el agua de los ríos Texcalatlaco, San Jerónimo y Magdalena hacia el sistema de regulación en el río San Buenaventura.

Desde el punto de vista técnico, y probablemente económico, la solución de nuevas presas en el poniente parece más atractiva; sin embargo, las posibilidades de boquillas naturales parecen restringidas a las zonas altas, donde se captan volúmenes pequeños de agua, por lo que sería necesario establecer lagunas artificiales con diques de retención y, posiblemente, sistemas de bombeo, lo cual probablemente las haga anticónicas. Además existen los problemas que se han generado en las presas existentes, como son: la necesidad de efectuar oportunamente trabajos de desazolve para mantener la capacidad de regulación de los vasos, la invasión de los vasos de almacenamiento por el crecimiento urbano y la falta de políticas de operación adecuadas por deficiencias en la coordinación institucional y por la falta de un plan integral de operación.

La regulación en presas tiene la ventaja adicional de retener el agua dentro del Valle de México para favorecer la recarga de acuíferos. Esto no se presenta en la solución del desalojo inmediato del agua a través de túneles.

Dentro de la solución de túneles, el Interceptor paralelo al Interceptor del Poniente sería más efectivo que el túnel Magdalena-San Buenaventura, ya que captaría un área mayor que este último y mejoraría la conducción de un número mayor de drenes principales como

el Churubusco, Piedad y Consulado; sin embargo, su costo sería mayor y estaría supeditado a la rectificación del río de los Remedios y del Gran Canal, a partir de la confluencia con este último. Esto quiere decir que es una obra indispensable a largo plazo.

El túnel Magdalena-San Buenaventura tiene un área de regulación -- del poniente menos importante y con poca urbanización en la actualidad, por lo que se generan escurrimientos superficiales relativamente pequeños; sin embargo, su capacidad potencial es importante y podría generar problemas serios a mediano plazo. Por otra parte, la cuenca del Magdalena constituye la aportación de agua en el tramo inicial del Interceptor del Poniente, de tal forma que si se reduce esta aportación, se tendría una eficiencia hidráulica mayor - hacia la parte norte del Interceptor.

Con las consideraciones anteriores, a reserva de confirmar con una evaluación económica, se aprecia un desarrollo lógico de actividades para la infraestructura hidráulica de drenaje en esta zona:

- a) Estudiar y construir en el corto plazo las alternativas más económicas de regulación dentro del Poniente.
- b) Definir con mayor detalle la factibilidad del túnel Magdalena -San Buenaventura, el cual constituiría la última etapa del -

esquema propuesto en la zona sur, por lo que su realización sería a mediano plazo.

- c) Detallar y evaluar el Interceptor paralelo al Interceptor del Poniente (Poniente II), en conjunto con la rectificación del río de los Remedios, para proponer su realización a largo plazo.

La única duda aparente en este esquema de desarrollo podría ser entre la ejecución de los puntos (b) y (c), ya que si el Interceptor del Poniente II fuera mucho más atractivo que el túnel Magdalena-San Buenaventura, se podría prescindir de este último. Por el contrario, podría resultar que el tiempo de construcción y puesta en marcha del Interceptor del Poniente II hiciera necesaria y complementaria la construcción del túnel Magdalena-San Buenaventura. -- Desde luego, la construcción del túnel Magdalena-San Buenaventura solamente se podría realizar si se desarrolla el esquema completo de regulación de la zona sur, ya que sin ello solamente se trasladaría el problema al río San Buenaventura, al Canal Nacional y al mismo río Churubusco.

**ZONA SUR**

El principal escurrimiento pluvial en la zona sur se genera en la cuenca del río San Buenaventura y en pequeñas cuencas, localizadas a ambos lados de ésta, que se forman por diferentes corrientes superficiales. En esta zona, en forma semejante a la del poniente, se generan escurrimientos que se concentran rápidamente en las zonas bajas del límite del sur de la Ciudad de México, las cuales son difíciles de drenar por falta de pendiente. Asimismo, el río San Buenaventura termina en la confluencia con el Canal Nacional y a partir de ésta no tiene una salida natural; a pesar que se regula en los Canales de Xochimilco, con frecuencia se desborda el río por la falta de pendiente y de capacidad de regulación.

Debido a la falta de posibilidad de regulación en presas, se propuso el esquema de regulación en las ciénegas Grande y Chica de Xochimilco. Con este esquema se puede aliviar también al Canal de Miramontes, mediante tres seccionamientos en el cruce con los colectores IMAN, Prolongación División del Norte y Calzada de la Virgen; los dos primeros descargarían sobre el río San Buenaventura y la Ciénega Chica y el último sobre el Canal Nacional rectificado.

Debido a la posibilidad de regular un volumen considerable de agua en las ciénegas, se concibió el túnel de interconexión de las cuen

cas de los ríos Magdalena y San Buenaventura. Con el túnel propuesto se captaría en su recorrido el agua proveniente de la cuenca comprendida entre el río Magdalena y el río San Buenaventura.

Con el túnel Magdalena-San Buenaventura se hará necesaria la rectificación del río San Buenaventura en el tramo comprendido entre el Club de Golf México y el Canal Nacional, para admitir un gasto mayor; sin embargo, la regulación en la Ciénega Chica podría hacer que no se necesitara una capacidad mayor que la que se tiene actualmente.

La regulación del agua en las ciénegas permitirá hacer diseños más económicos de la rectificación del río San Buenaventura y del Canal Nacional, le dará al sistema una salida hacia el Lago de Texcoco, a través del río Churubusco, y favorecerá la recarga de acuíferos; sin embargo, se debe estudiar cuidadosamente el problema social que se podría generar al expropiar los terrenos ejidales para su utilización como vaso de regulación.

Otra ventaja adicional del esquema propuesto, es la incorporación de la zona de la Nopalera, Santiago Zapotitlán y Tláhuac a la regulación y descarga hacia el Canal Nacional a través del Canal de Chalco.

Otra solución al drenaje de la zona sur es a través del Drenaje -- Profundo; sin embargo, la distancia de recorrido y el tiempo de -- construcción podrían repercutir en contra de esa solución en el corto plazo, además del costo de las obras. En este aspecto será necesaria la evaluación económica y la simulación del sistema de drenaje en conjunto.

Con base en lo anterior, para la zona sur se pueden apreciar las siguientes acciones y prioridades de desarrollo de la infraestructura de drenaje:

- a) Determinar la factibilidad de expropiación de las áreas requeridas para regulación en las ciénegas, ya que son elementos determinantes en el esquema de solución.
- b) Detallar las obras necesarias para la regulación y la rectificación del río San Buenaventura en el tramo mencionado, ya que serían las primeras obras del esquema.
- c) Compatible con lo anterior, diseñar la rectificación de los canales Nacional y Chalco y los seccionamientos señalados para el Canal de Miramontes.
- d) Diseñar y evaluar, en función de la zona poniente, el túnel --

de conexión Magdalena-San Buenaventura.

Desde luego, las obras de construcción deberán seguir el mismo --orden señalado anteriormente. En forma paralela a los puntos (a), (b) y (c), se tendrá que evaluar la alternativa del Drenaje Pro--fundo que alivia a esta zona, es decir, la prolongación de los interceptores Centro-Centro y Oriente.

#### ZONA ORIENTE-SUR

La zona Oriente-Sur presenta serias dificultades para su drenaje, debido principalmente a la insuficiencia de infraestructura y a --la topografía plana de la zona.

Parte de los problemas del área norte de esta zona se resolverán\_ cuando entre en operación el túnel semiprofundo Iztapalapa, el --cual aliviara el subsistema Iztapalapa 2, a través de los colectores Ejército de Oriente y Canal de San Juan. A través de este conducto semiprofundo se propone drenar también al subsistema INDECO, el cual regulará previamente sus aguas en la laguna de regulación Iztapalapa. El túnel Iztapalapa descargará hacia el río Churubus co mediante una planta de bombeo con capacidad para 20 m<sup>3</sup>/s.

Por otra parte, las áreas central y norte de la zona se beneficia

rán con la prolongación de los Interceptores Oriente-Sur y Oriente-Oriente, siendo hasta entonces que el drenaje de la zona se podría considerar satisfactorio; mientras tanto, seguirán existiendo problemas de tipo local. Los subsistemas Iztapalapa I y Año de Juárez también serán aliviados por el Interceptor Oriente.

En la parte sur de la zona existe una carencia absoluta de infraestructura de drenaje, por lo que se ha propuesto, en principio, la reestructuración del cauce del Canal Nacional, con el fin de desalojar las aguas de la Nopalera, Santiago Zapotitlán y Tláhuac, hacia el río Churubusco. Desde luego, esta solución requiere de construir las redes primaria y secundaria de estas áreas.

Los estudios antecedentes de drenaje para la zona de Tláhuac consideran que debe descargar hacia una laguna de regulación (Tláhuac) para posteriormente descargar un gasto pequeño (600 l/s) hacia el Dren General del Valle. En este estudio se incorporó, como una alternativa, la descarga de Tláhuac hacia Chalco, ya que la laguna de regulación se localiza en el Estado de México y no se ha probado su factibilidad; sin embargo, sería conveniente revisar el costo de las dos alternativas.

Las aportaciones de Tláhuac hacia Chalco no serían directas, sino que se propone regularlas previamente en una laguna que se podría

localizar en el trayecto del sistema hasta el Canal de Chalco.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de la zona Sur serán convenientes las siguientes acciones para la zona Oriente-Sur:

- a) Rectificar el Canal Nacional para admitir las descargas de las zonas Sur y Oriente-Sur.
- b) Establecer el esquema de regulación de la Ciénega Grande.
- c) Diseñar la reestructuración del Canal de Chalco.
- d) Incorporar el sistema Oriente-Sur al esquema propuesto, a través de la construcción de las redes primarias y secundarias de las zonas mencionadas.

Como se mencionará más adelante, estas acciones están condicionadas a la solución alternativa que se tome para el drenaje de las zonas Sur y Oriente-Sur, ya que si se opta por el Drenaje Profundo, la regulación en la Ciénega Grande podría no ser necesaria en una primera etapa.

## ZONA ORIENTE-NORTE

El drenaje de esta zona se realiza en su totalidad a través del Gran Canal del Desagüe y, por la forma en que opera la red, no se puede hablar de alternativas para mejorar su funcionamiento, ya que la única opción existente es el entubamiento del Gran Canal en sus primeros nueve kilómetros.

Al entubar el Gran Canal, bajando el nivel de la plantilla del cauce, se tendría la ventaja de eliminar las plantas de bombeo existentes, algunas de las cuales ya han cumplido su vida útil, y permitiría la descarga de todos los colectores actuales y futuros por gravedad. Desde luego, se requerirá de una nueva planta de bombeo única al final del conducto semiprofundo, pero en esta planta se podrían aprovechar las bombas que aún están en buenas condiciones de operación. Otra ventaja del entubamiento es el hecho de eliminar la contaminación existente en la zona por la conducción de aguas negras a cielo abierto.

De acuerdo con el proyecto de entubación propuesto, se tendría un alivio hacia el Interceptor Oriente, a través de la Obra de Toma, la cual tendría un carácter definitivo y no temporal como se tiene actualmente. Esta solución se propuso para evitar una capacidad de bombeo excesiva. La obra de toma tendría que reconstruirse, ya que como se encuentra actualmente quedaría por arriba de -

la clave del túnel proyectado.

Con la solución propuesta, incluyendo el alivio hacia el Interceptor Oriente, el Gran Canal podría funcionar como colector madrina, de tal forma que eliminaría, en el tramo paralelo al Gran Canal, -- las estructuras de captación hacia el Interceptor Oriente.

#### ZONA NORTE

La zona Norte, dentro del Distrito Federal, prácticamente no tiene cuencas de aportación, excepto la de los ríos Cuauhtepc y Temoluc; sin embargo, el dren principal considerado, el río de los Remedios, recibe la aportación de agua de los ríos Tlalnepantla y San Javier, cuyas cuencas se desarrollan principalmente en el Estado de México. Por otra parte, el río de los Remedios recibe los escurrimientos -- generados en las cuencas del poniente, desde el río Magdalena hasta el río Hondo, a través del Interceptor del Poniente y del Canal El Tornillo. Por lo tanto, el río de los Remedios constituye una estructura muy importante en el sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Con el alivio del río de los Remedios Hacia el Drenaje Profundo, mediante las captaciones actuales en el Interceptor -- Central y en el Interceptor Centro-Poniente, se ha disminuido el pro

blema de inundaciones en la zona: no obstante, el crecimiento urbano en el poniente podría incrementar el problema a mediano y -- largo plazo y los alivios hacia el Drenaje Profundo compromete-- rían al funcionamiento hidráulico de la zona Central y Sur de la Ciudad, al sobrecargar el sistema en su parte terminal.

Por lo anterior, se propuso la rectificación del río de los Remedios para que sea capaz de admitir mayores volúmenes de los que maneja actualmente, para desalojarlos del Valle a través del Gran Canal. Debido a que se piensa que en el curso del río podría trazarse la ampliación del anillo periférico Norte, la rectificación tendría que ser en conducto cerrado.

Tomando en cuenta las posibles ampliaciones futuras del drenaje de la zona poniente y el hecho de que la rectificación se haría en conducto cerrado, se concluyó que era conveniente incrementar la capacidad propuesta en los estudios antecedentes, es decir, a 80 m<sup>3</sup>/seg en toda su extensión, con lo cual se pretende dejar los alivios hacia el Drenaje Profundo para casos de emergencia.

Es necesario establecer una política de operación adecuada para el río de los Remedios, ya que está influenciado por las condiciones climatológicas que se pueden presentar en un momento dado en el resto del Valle y porque una mala operación afectaría de la --

misma manera a otras zonas.

La entubación de los ríos Tlalnepantla y San Javier es menos importante que la del río de los Remedios, ya que su efecto es más local y está condicionado a los alivios hacia el Drenaje Profundo. Esta decisión puede posponerse de acuerdo con las posibilidades financieras.

En los ríos Cuauhtepac y Temoluco las obras son de carácter urgente y requieren de una infraestructura más económica que las anteriores; por ello se recomienda que se realicen a corto plazo.

De los estudios realizados para la solución de los problemas de los ríos Cuauhtepac y Temoluco, parece ser más adecuado la que contempla una laguna de regulación, ya que se trata de volúmenes relativamente pequeños. Aún cuando se podría establecer una alternativa de rectificación hasta el río San Javier y Remedios, el período de maduración de ambos proyectos es diferente y podría generar problemas en el río de los Remedios en tanto no se contara con la rectificación de este último, por lo cual se recomienda analizar los problemas en forma independiente y tomar la decisión de acuerdo con la evaluación local.

De los resultados anteriores se concluye que el orden para las

acciones en la zona Norte sería:

- a) Desarrollar la infraestructura necesaria para la cuenca de los ríos Cuauhtépec y Temolucó.
- b) Determinar, en conjunto con el Interceptor del Poniente II, la factibilidad de que el río de los Remedios pueda captar los incrementos de escurrimiento en el Poniente y diseñar las obras bajo esta condición.
- c) Evaluar la entubación de los ríos Tlalnepantla y San Javier.
- d) Estudiar la posible rectificación del Gran Canal, aguas abajo de la confluencia con el río de los Remedios, con el esquema propuesto en este informe para las zonas Norte y Oriente-Norte.

Aún cuando esta zona solamente se compone por el río de los Remedios, la necesidad de un estudio en un modelo integral de drenaje, es determinante para poder precisar con mayor detalle los gastos de diseño de las estructuras.

## ZONA CENTRO

Los principales problemas de drenaje en la zona centro se deben a la gran longitud de los principales colectores que drenan, los cuales inician en la parte poniente y terminan en la parte oriente de la Ciudad, descargando al Gran Canal o bien al río Churubusco. El hecho de que descarguen por bombeo, ocasiona que se incremente aún más la ineficiencia en su funcionamiento.

El Sistema de Drenaje Profundo se proyectó precisamente con la idea de disminuir las grandes longitudes, seccionando a los colectores mediante una serie de Interceptores construidos en dirección sur-norte. Adicionalmente, estos interceptores aliviarían a los drenes principales de la ciudad como son los ríos Tlalnepantla y de los Remedios, el Interceptor del Poniente, el río Churubusco, el Canal Nacional y el Gran Canal del Desagüe.

Por esta razón, el estudio de la zona se concentró en el análisis de diversas alternativas para la prolongación de los interceptores que continuarán seccionando al sistema.

Del análisis de las cinco alternativas presentadas en el ca-

pítulo, se concluyó la conveniencia de prolongar, primeramente, el Interceptor Central hasta la lumbrera 5, para de allí continuar por el Interceptor Oriente hasta su inicio en la avenida Mexicaltzingo.

Los beneficios obtenidos de esta alternativa, radican básicamente en la flexibilidad que se proporciona al sistema general con el seccionamiento de los colectores que en la actualidad drenan al Gran Canal del Desagüe o bien al río Churubusco, con lo que se proporciona también un alivio a estos drenes. Asimismo a través del Interceptor Oriente se podrá descargar el agua captada por el Canal Nacional.

Para la siguiente etapa existen dos opciones, la primera de ellas consiste en la prolongación del Sistema de Drenaje Profundo por el Oriente para aliviar a la zona suroriente. Sin embargo, existen dos aspectos que condicionan su prolongación; uno es la carencia de equipo adecuado para perforar túneles en el subsuelo de la zona del Lago de Texcoco, lugar en donde se alojarán los Interceptores Oriente, Oriente-Sur y Oriente-Oriente; otro aspecto es la gran longitud del túnel que es necesario construir (28 Km) para poder proporcionar un alivio eficiente y definitivo a esta zona.

La segunda opción consiste en la prolongación del Interceptor Central hacia el Sur, el cual proporcionaría, mediante la construcción de 6.5 Km de túnel, un alivio importante a los colectores ubicados entre el río de la Piedad y el río Churubusco. Una prolongación adicional de este Interceptor permitiría mejorar el funcionamiento de los subsistemas Miramontes e IMAN; sin embargo, el alivio a estos subsistemas a través del Interceptor Central dependerá de la solución adoptada para drenar los escurrimientos provenientes del Poniente y Sur de la Ciudad.

Se considera que la decisión sobre la prioridad de construcción de las dos opciones señaladas, dependerá de la disponibilidad de equipo para excavar en suelos blandos, ya que desde el punto de vista de solución al drenaje de la Ciudad, se recomienda construir los Interceptores Oriente y Oriente-Sur, antes de prolongar el Interceptor Central, ya que se tendrán mayores beneficios de área drenada.

Una vez terminado el Drenaje Profundo se alcanzará la máxima flexibilidad del sistema, debido a que se aliviarían los principales drenes del Distrito Federal. Es por esto que, aún cuando se avance lentamente en la prolongación de los di

versos interceptores que componen el Sistema de Drenaje Profundo, es imprescindible continuar con su construcción.

En resumen, se considera que el orden de construcción de los interceptores que favorecerá al funcionamiento de la red general de drenaje, es el siguiente:

- a) Prolongar el Interceptor Central hasta la lumbrera 5 para de allí continuar por el Interceptor Centro-Centro y posteriormente por el Interceptor Oriente hasta su inicio.
- b) Construir el Interceptor Oriente en el tramo comprendido entre la lumbrera 8-C y la lumbrera 5, para de este punto construir los interceptores Oriente-Sur y Oriente-Oriente en su totalidad.
- c) Prolongar el Interceptor Central de la lumbrera 5 hasta el río Churubusco, o bien hasta las cercanías del Anillo Periférico, dependiendo esta decisión de la solución adoptada para drenar las zonas Poniente y Sur.

Como se mencionó previamente, esta jerarquización está condicionada a la existencia de equipo adecuado. De no existir

este equipo el orden de construcción se alterará teniendo --  
que empezar, probablemente, con el trazo indicado en el in-  
ciso (c).

## DIAGNOSTICO FINAL

Del diagnóstico y esquemas de solución presentados para cada zona, se desprende que las áreas que demandan mayor prioridad de atención en el sistema de drenaje son la sur y sur-oriental, ya que tienen el menor grado de desarrollo de infraestructura hidráulica y sus posibilidades de solución son escasas, debido a la falta de pendiente del terreno hacia la zona de alivio.

En este sentido, existen dos acciones posibles que podrían contribuir a mejorar la situación en estas áreas:

- a) La primera solución consiste principalmente en obras a cielo abierto, ya que se propone llevar a cabo en forma parcial el esquema propuesto para la zona sur, el cual estaría compuesto por las acciones siguientes:  
construir los vasos de almacenamiento en las ciénegas;  
rectificar el río San Buenaventura en el tramo comprendido entre el Club de Golf México y el Canal Nacional;  
construir los colectores y plantas de bombeo para aliviar el subsistema IMAN y el de Calzada de la Virgen, hacia el río San Buenaventura y Canal Nacional, respectivamente; incorporar el colector Prolongación División del

Norte al vaso de almacenamiento de la Ciénega Chica; regular el Canal de Chalco, posiblemente mediante un colector semiprofundo, e instalar el equipo de bombeo para descargar el agua de los sistemas La Nopalera y Santiago Zapotitlán hacia la Ciénega Grande y habilitar la estructura de descarga hacia el río Churubusco.

- b) La segunda alternativa consiste en las obras subterráneas del Sistema de Drenaje Profundo, construyendo: el tramo del Interceptor Central comprendido entre las lumbreras 5 y 6, el Interceptor Centro-Centro en toda su longitud y el Interceptor Oriente desde su origen (calle de Mexicaltzingo) hasta su conexión con el Interceptor Centro-Centro. Desde luego adicionalmente a esta obra del Drenaje Profundo se requerirá construir las captaciones de los colectores propuestas para este sistema, es decir, Colector 10, Viaducto río de la Piedad, Apatlaco, río Churubusco, Iztapalapa I, Año de Juárez y Canal Nacional.

Para hacer la selección de una de las alternativas propuestas se requiere tomar en cuenta diferentes factores, además de la evaluación económica. Dentro de estos factores se encuentran los siguientes:

La primera alternativa (a) tiene la ventaja de que la mayoría de las obras son a cielo abierto, con lo cual se reducen los problemas de la mala calidad del suelo. Esta solución se puede desarrollar por etapas, con la cual se tendrían resultados a corto plazo; así por ejemplo, se puede realizar la construcción del vaso de almacenamiento en la Ciénega Chica y la habilitación de la estructura de descarga del Canal Nacional hacia el río Churubusco, con lo cual estaría en posibilidad de aliviar de inmediato a los colectores Prolongación División del Norte, el del subsistema IMAN y el de Calzada de la Virgen, quedando pendiente la construcción del vaso de almacenamiento en la Ciénega Grande, las obras de la zona Oriente-Sur y el Canal de Chalco, así como la entubación o rectificación definitiva del río San Buenaventura y del Canal Nacional. Esto tiene como desventaja que posteriormente se complicaría la rectificación definitiva de los ríos.

Por otra parte, en la alternativa (a) se podría eliminar, o cuando menos disminuir en capacidad, la planta de bombeo Miramontes, ya que los sistemas serían seccionados, regulando la aportación de áreas importantes, y se podría incorporar el sistema suroriente hasta el momento en que se tuviera lista la red primaria.

Por lo que se refiere a la alternativa del Drenaje Profundo, tiene la ventaja de disminuir los requerimientos de bombeo - al captar a los diversos subsistemas de colectores por gravedad; además, se aliviaría el río Churubusco en una de sus -- partes más conflictivas, dándole capacidad para recibir las descargas de las plantas de bombeo Aculco y Central de Abastos que prácticamente coinciden en un mismo punto.

La principal desventaja de esta última alternativa es el -- tiempo de realización de las obras, debido a la mala calidad del terreno en la zona; sin embargo, esto tendrá que definirse con estudios más detallados, por lo que para tomar la decisión final se propone realizar el estudio de detalle de estas dos alternativas, así como la evaluación económica correspondiente.

Aún cuando se puede pensar que la zona poniente también revisa condiciones de urgencia en el desarrollo de infraestructura de drenaje, con el alivio del Interceptor del Poniente hacia el Interceptor Centro-Poniente se logró una notable mejoría; a pesar de que la solución es temporal, se puede pensar que demorará aproximadamente de cinco a diez -- años, con lo cual se podrán realizar las obras de las zonas sur y suroriente de la Ciudad.

Por otra parte, es importante señalar que independientemente de las decisiones que se tomen a corto plazo, es necesario continuar con el Drenaje Profundo, ya que a largo plazo es la única solución confiable y radical al problema.



## BIBLIOGRAFIA

1. Warren Viessman, Jro.  
John W. Knapp,  
Gary L. Lewis. Introduction to Hidrology. Harper and Row  
Publisher, Inc. 1972.
2. C. H. Wisner Hidrometeorology. Chapman and Hall, London,  
1962.
3. Chow, V.T. Handbook of Apliced Hidrology, Mc. Graw Hill.  
1964.
4. DIRAC Funcionamiento Hidráulico del Interceptor  
el Poniente. DIRAC Para la DGOCH, DDF.  
1979.
5. ICATEC Conservación de Agua en el Area del D.F. y  
en Zonas Aledañas Dentro de la Cuenca del  
Valle de México y Conservación, Control y  
Manejo de Cuencas. ICATEC para la DGOCH,  
DDF, 1980.
6. DIRAC Diseño Geométrico del Colector Semiprofundo  
Iztapalapa. DIRAC para la DGOCH, DDF. 1981.
7. CONSULTORES Proyecto Ejecutivo Para Mejoramiento de la  
Zona "Pueblos del Sur".
8. Instituto de Ingenierfa Estudio del Desagüe del Valle de México. Se-  
gunda Etapa. Anexo 2, Análisis de Tormentas.  
Instituto de Ingenierfa, UNAM Para la Comi-  
sión de Aguas del Valle de México. 1977



**TABLAS Y FIGURAS**

TABLA III.1 ANALISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE  
 DRENAJE PROFUNDO.  
 ( Tormenta: 14-Septiembre-1968 )

ALTERNATIVAS	OPCIONES	AREA ALIVIADA (Km <sup>2</sup> )	VOLUMEN EN EXCESO MANEJADO ( MILES P. <sup>3</sup> )	VOLUMEN DERRAMADO (MILES m <sup>3</sup> )	PORCENTAJE DE DERRAME CON RESPECTO AL VOL. MANEJADO	LONGITUD DE TUNEL ( Km <sup>2</sup> )
* ALT. 0	HIDROGRAMAS AFORADOS	46	3,800	0	0.00	68
	HIDROGRAMAS SINTETICOS	46	3,800	0	0.00	68
ALT. 1		96	5,058	0	0.00	89
ALT. 2	CONDICIONES ACTUALES	271	7,648	41	0.54	100
	EXISTE LA P.B. MIRAMONTES.	270	7,501	15	0.20	100
	EXISTE LA P.B. MIRAMONTES Y PROVEC. ZONA SUR	306	8,003	303	3.80	100
ALT. 3		216	6,608	0	0.00	105
ALT. 4	CONDICIONES ACTUALES	273	7,465	0	0.00	115
	EXISTE LA P.B. MIRAMONTES.	272	7,419	0	0.00	115
	EXISTE LA P.B. MIRAMONTES Y PROVEC. ZONA SUR	309	7,787	33	0.42	115
ALT. 5	ALIVIO TOTAL	458	8,378	44	0.52	145
	SIN ALIVIO AL PONIENTE	458	7,539	0	0.00	145

Para todas las Alternativas, los valores de área aliviada no incluyen las zonas del Poniente, Gran Canal, los ríos Los Remedios y Tlalnepantla.

\* En esta alternativa los resultados expuestos en esta Tabla corresponden a la tormenta del 7 de Agosto de 1980 que resultó más desfavorable para el Sistema.

TABLA III.2 VOLUMEN QUE NO INGRESA AL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO (MILES DE METROS CUBICOS)  
 ( Tormenta del 14-Septiembre-1968 )

INTERCEPTOR	ALTERNATIVA 2						ALTERNATIVA 4		ALTERNATIVA 5	
	OPCION 1		OPCION 2		OPCION 3		OPCION 3		OPCION 1	
	CELDA	DERRAME	CELDA	DERRAME	CELDA	DERRAME	CELDA	DERRAME	CELDA	DERRAME
CENTRO - CENTRO							93	5.8		
ORIENTE	70	14.0	70	11.0	70	170.0	84	9.8	108	1.4
	71	1.0	71	0.3	71	67.0	89	1.2		
	72	13.0	72	0.1	72	55.0				
					73	7.5				
ORIENTE-SUR									102	5.0
									103	0.8
									122	0.4

NOTA:

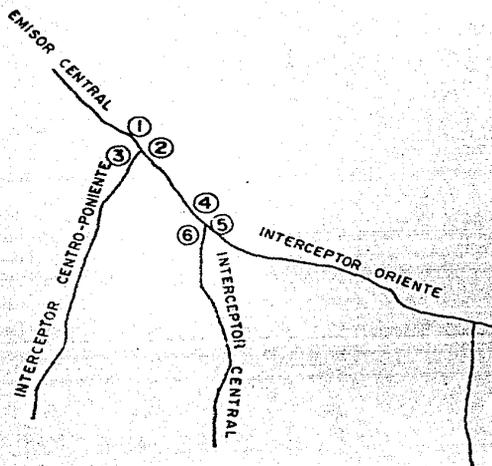
- En las Alternativas 2 y 4 las condiciones de cada opción son:  
 Opción 1: Condiciones Actuales  
 Opción 2: Existe la P.B. Miramontes  
 Opción 3: Existe la P.B. Miramontes y los Proyectos de la Zona Sur.
- La Alternativa 5  
 Opción 1: Alivio total.

TABLA III-3 GASTOS MAXIMOS REGISTRADOS EN LOS INTERCEPTORES EN CADA ALTERNATIVA  
( TORMENTA 14-SEPTIEMBRE 1968 )

INTERCEPTORES	ALTERNATIVA 0				ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2						ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4						ALTERNATIVA 5					
	HIDROGRAMAS AFORADOS		HIDROGRAMAS SINTETICOS		CELDA	GASTO	OPCION 1		OPCION 2		OPCION 3		CELDA	GASTO	OPCION 1		OPCION 2		OPCION 4		OPCION 1		OPCION 2			
	CELDA	GASTO	CELDA	GASTO			CELDA	GASTO	CELDA	GASTO	CELDA	GASTO			CELDA	GASTO	CELDA	GASTO	CELDA	GASTO	CELDA	GASTO	CELDA	GASTO	CELDA	GASTO
CENTRO-PONIENTE					64	46	64	45	64	46	64	45	64	45	64	45	64	45	64	45	64	44	64	32		
EMISON CENTRAL	1	158		157	1	131	3	192	3	192	3	192	3	171	3	192	3	182	1	186	3	189	3	183		
CENTRAL	40	48	40	54	40	52	40	99	40	97	40	102	40	95	40	102	40	105	40	108	39	85	40	89		
CENTRO-CENTRO							77	61	76	61	77	69			93	31	91	38	91	51	90	37	90	37		
ORIENTE	41	114	41	114	41	114	75	62	75	62	75	69	41	110	87	31	87	40	87	54	87	56	87	56		
							41	105	41	105					41	105	41	105	41	105	114	78	49	81		
ORIENTE-SUR																					106	38	106	38		
ORIENTE-ORIENTE																					94	19	94	19		

NOTAS:

- \* - EN LAS ALTERNATIVAS 2 Y 4 LAS CONDICIONES DE CADA OPCION SON:  
 OPCION 1.- CONDICIONES ACTUALES  
 OPCION 2.- EXISTE LA P.B. MIRAMONTES  
 OPCION 3.- EXISTE LA P.B. MIRAMONTES Y LOS PROYECTOS DE LA ZONA SUR
- \*\* - EN LA ALTERNATIVA 5 LAS CONDICIONES DE CADA OPCION SON:  
 OPCION 1.- ALIVIO TOTAL  
 OPCION 2.- SIN ALIVIO AL PONIENTE  
 - LOS GASTOS SE ENCUENTRAN EN METROS CUBICOS POR SEGUNDO  
 - LA TORMENTA ANALIZADA EN LA ALTERNATIVA CERO ES LA DEL 7 DE AGOSTO DE 1960  
 YA QUE PARA ESTA ALTERNATIVA RESULTO SER LA MAS DESFAVORABLE.



**TABLA(III.4) GASTOS MAXIMOS SIMULADOS**

OPIN- TOS	ALT	ALT	ALTERNATIVA 2			ALT	ALTERNATIVA 4			ALT. 5	
	0	1	OPCION	OPCION	OPCION	3	OPCION	OPCION	OPCION	OPCION	OPCION
			1	2	3		1	2	3	1	2
1		192	182	182	182	171	182	184	182	189	183
2		152	178	179	177	163	181	186	182	161	169
3		44	44	44	44	44	44	44	44	39	25
4	157	153	178	179	177	163	181	186	182	161	169
5	109	97	102	102	102	109	101	101	102	12	12
6	48	67	99	102	97	95	102	108	105	85	89

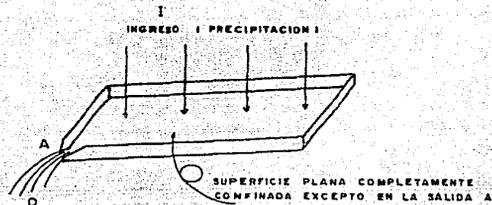
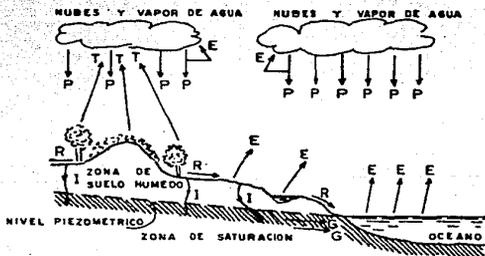
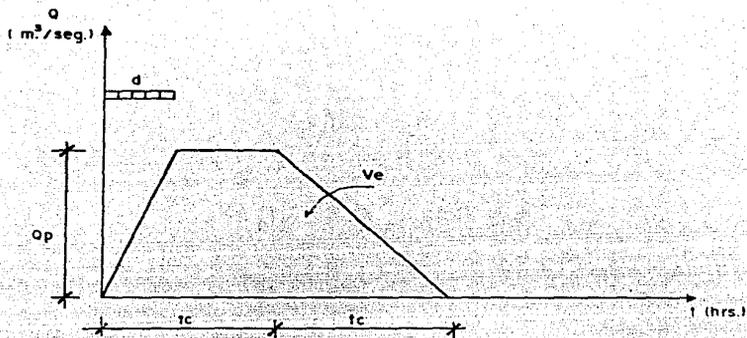


FIG. II.1 MODELO HIDROLOGICO SIMPLE

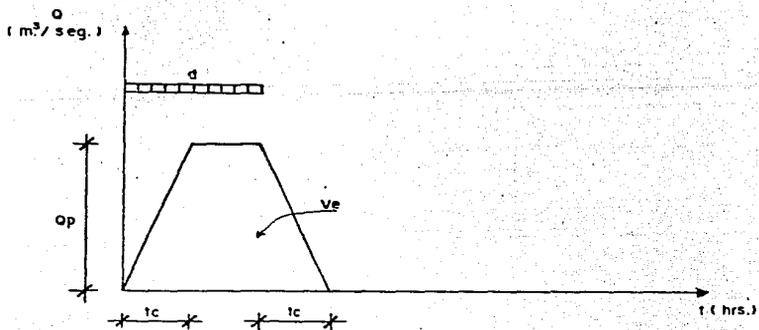


- T - TRANSPIRACION
- E - EVAPORACION
- P - PRECIPITACION
- R - ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL
- G - FLUJO SUBTERRANEO
- I - INFILTRACION

FIG. II.2 MODELO HIDROLOGICO GENERALIZADO



FORMA DE HIDROGRAMA ADOPTADA PARA  $t_c > d$  caso I



FORMA DE HIDROGRAMA ADOPTADA PARA  $t_c < d$  caso II.

FIG. II. 3

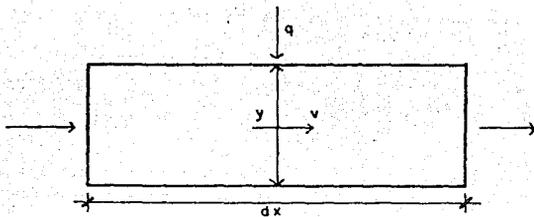


FIG. II. 4 VOLUMEN DE CONTROL PARA EL PLANTEAMIENTO DE LA ECUACION DE CONTINUIDAD DURANTE UN INTERVALO DE TIEMPO  $dt$

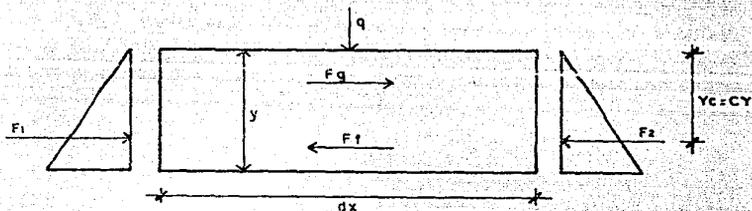


FIG. II. 5 VOLUMEN DE CONTROL PARA PLANTEAR LA ECUACION DINAMICA

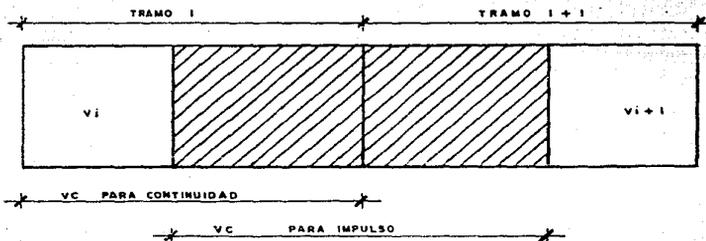


FIG. II. 6 VOLUMENES DE CONTROL PARA APLICACION DEL TUAVE

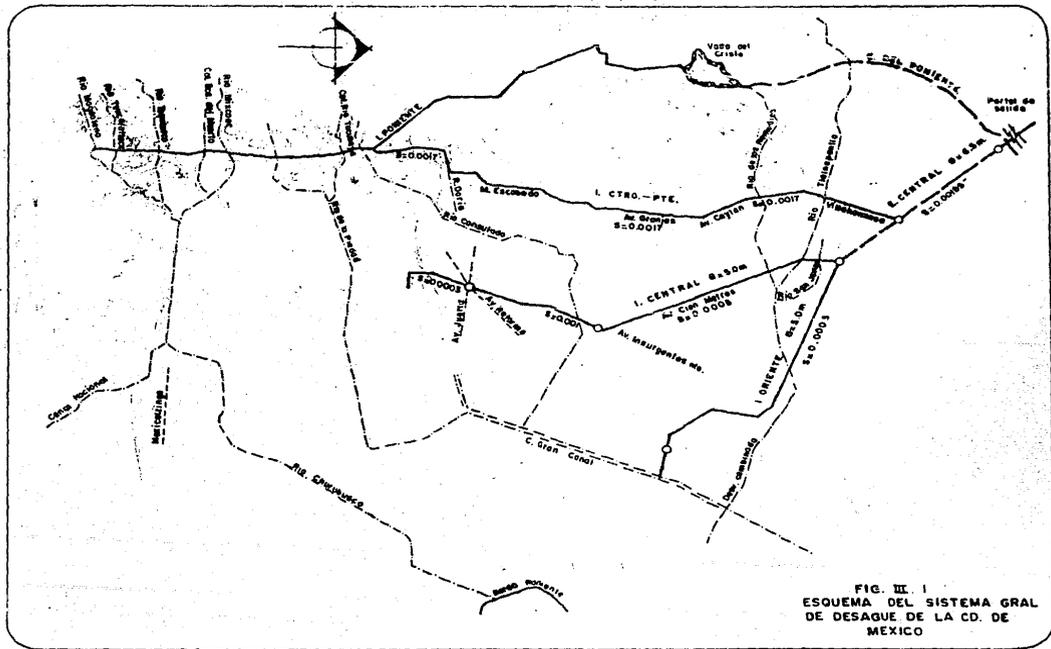


FIG. III. I  
 ESQUEMA DEL SISTEMA GRAL  
 DE DESAGUE DE LA CD. DE  
 MEXICO





FIG. III.6 HIDROGRAMAS SIMPLIFICADOS DE DISEÑO  
 PARA LA RECTIFICACION DEL RIO SANBUENAVENTURA

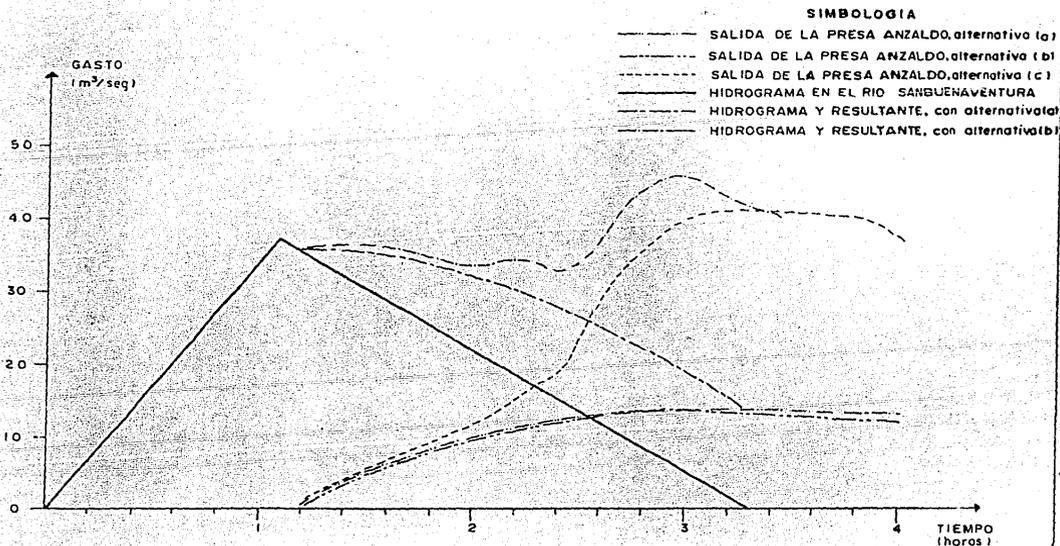
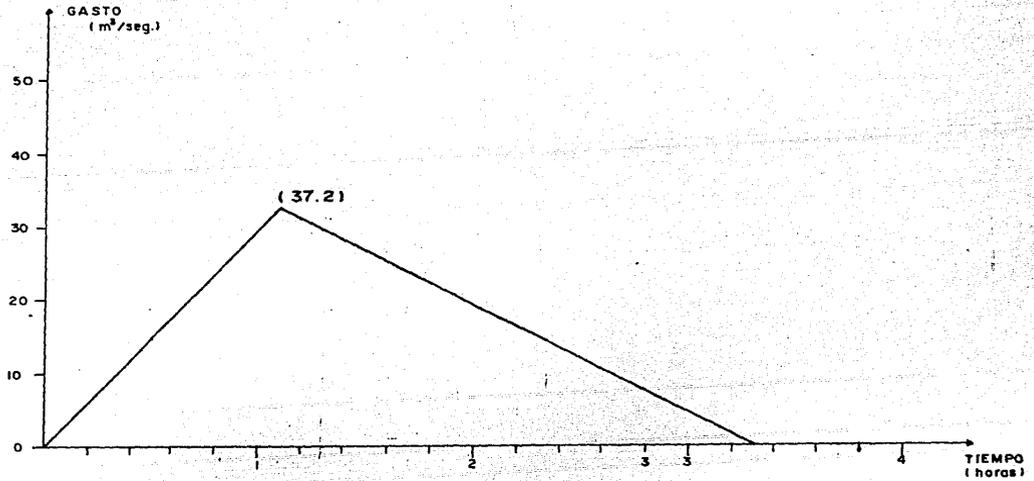


FIG. III.4 HIDROGRAMA DE DISEÑO EN EL RIO  
SAN BUENAVENTURA



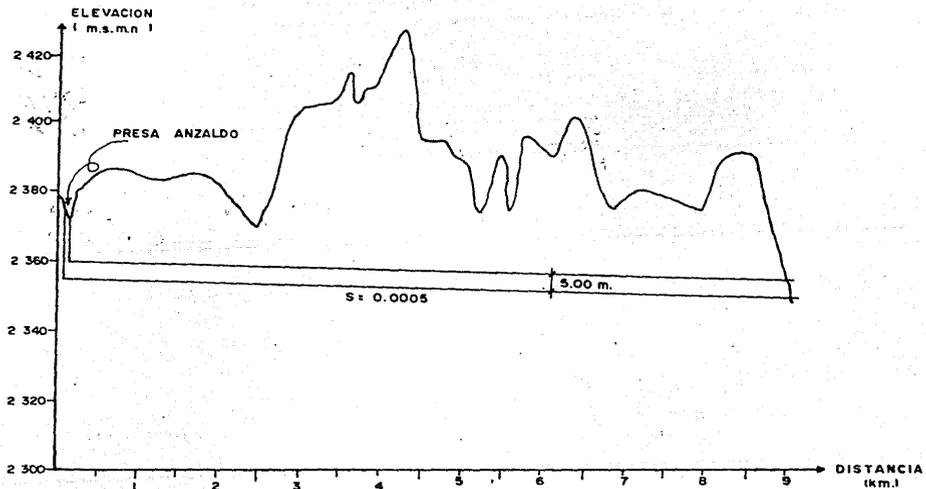
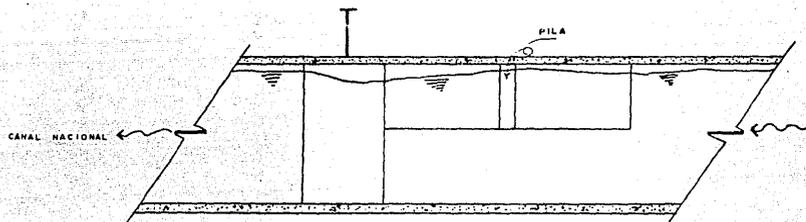
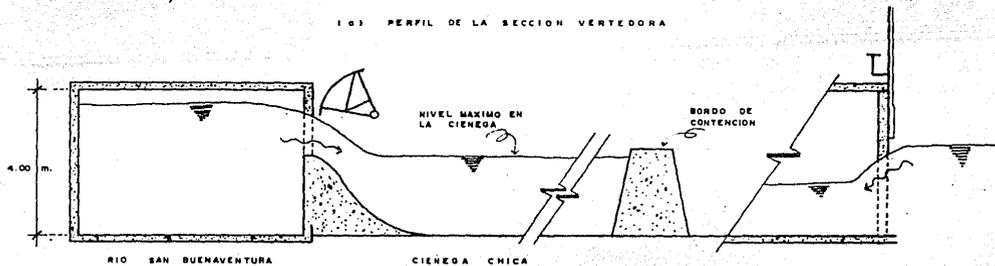


FIG.III.5 PERFIL DEL TUNEL MAGDALENA-SAN BUENAVENTURA



103 PERFIL DE LA SECCION VERTEDEDORA



101 SECCION VERTEDEDORA

101 RETORNO AL RIO

FIG III 7 ESQUEMA DE OBRAS NECESARIAS PARA LA REGULACION



FIG. III. 9 INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE EXISTENTE

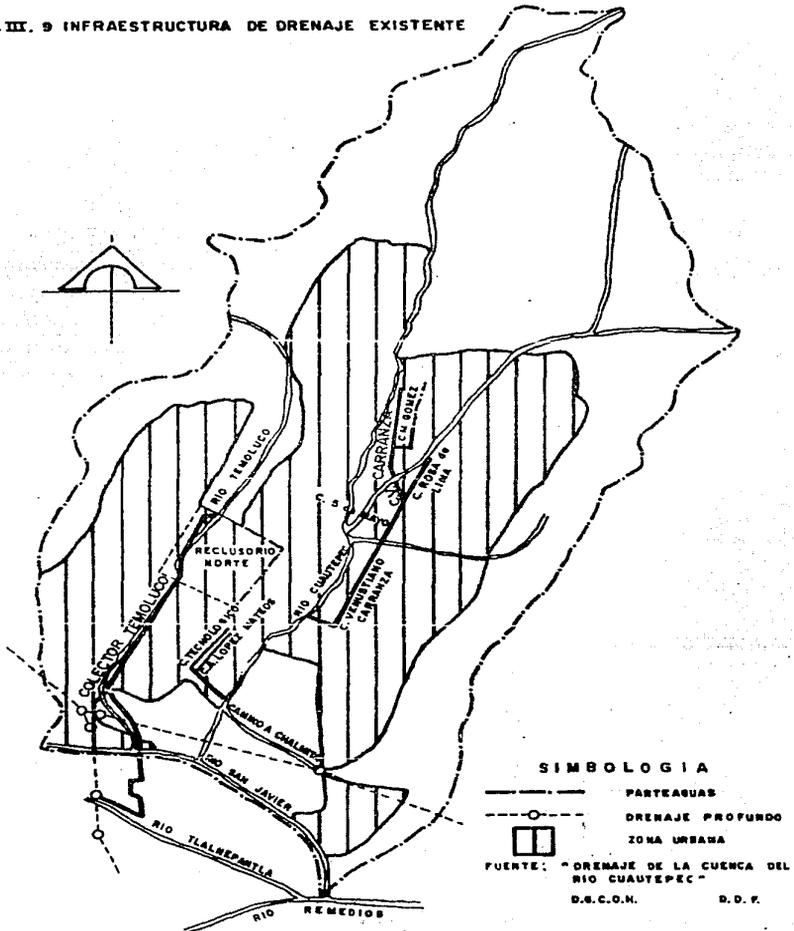
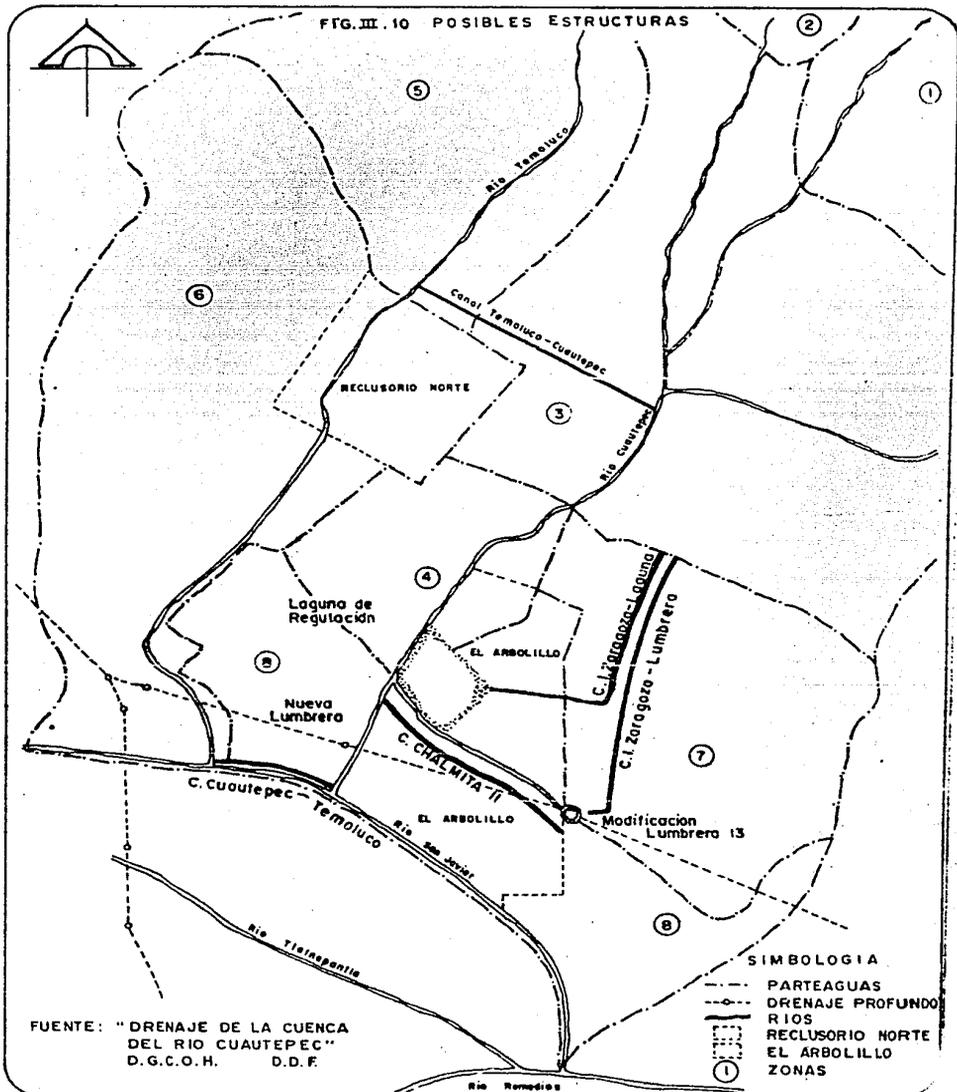


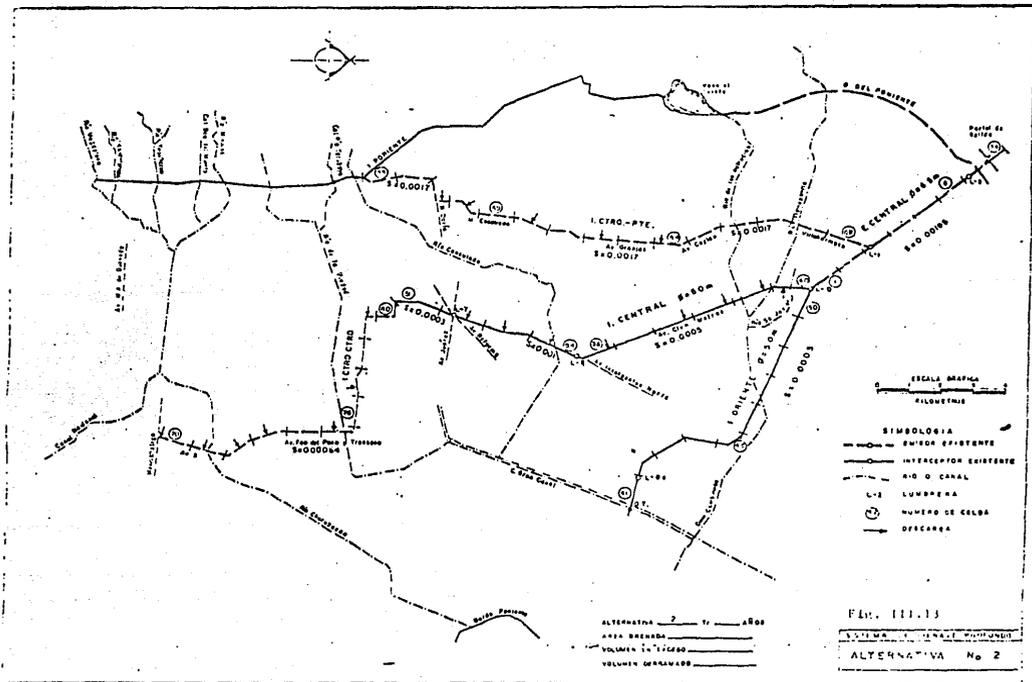
FIG. III. 10 POSIBLES ESTRUCTURAS

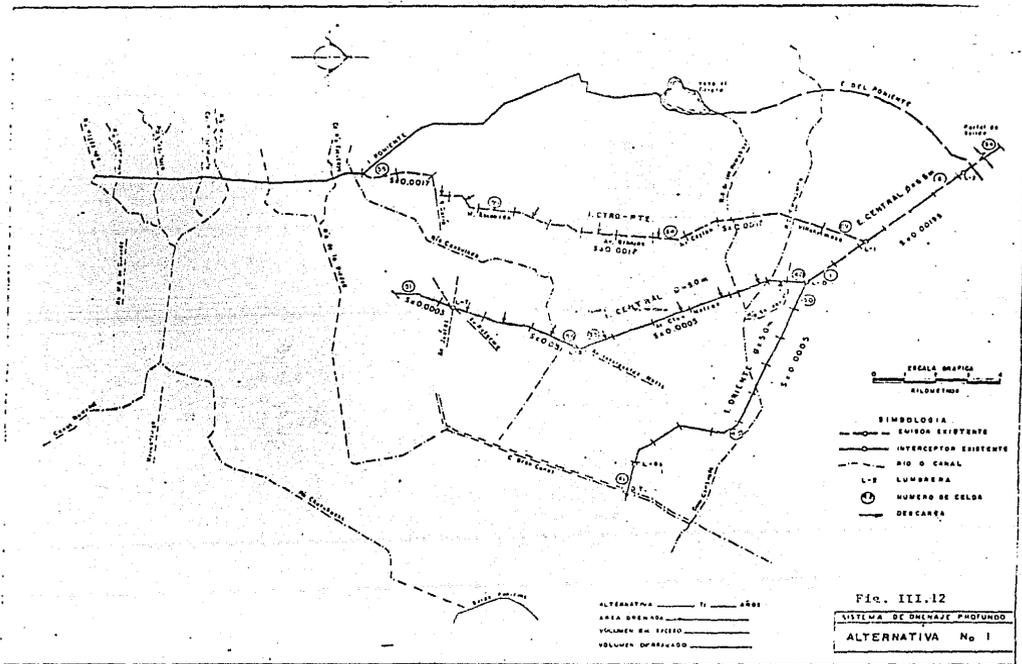


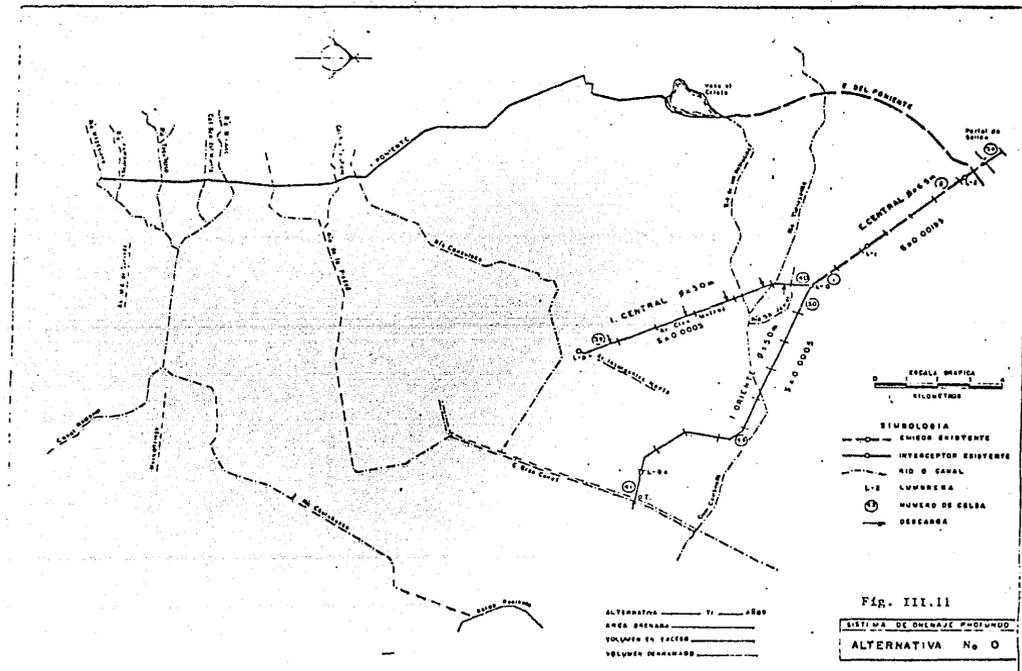
FUENTE: "DRENAJE DE LA CUENCA DEL RIO CUAUHTPEC"  
D.G.C.O.H. D.D.F.

SIMBOLOGIA

- PARTEAGUAS
- - - DRENAJE PROFUNDO
- RIOS
- ▭ RECLUSORIO NORTE
- ▭ EL ARBOLILLO
- ① ZONAS











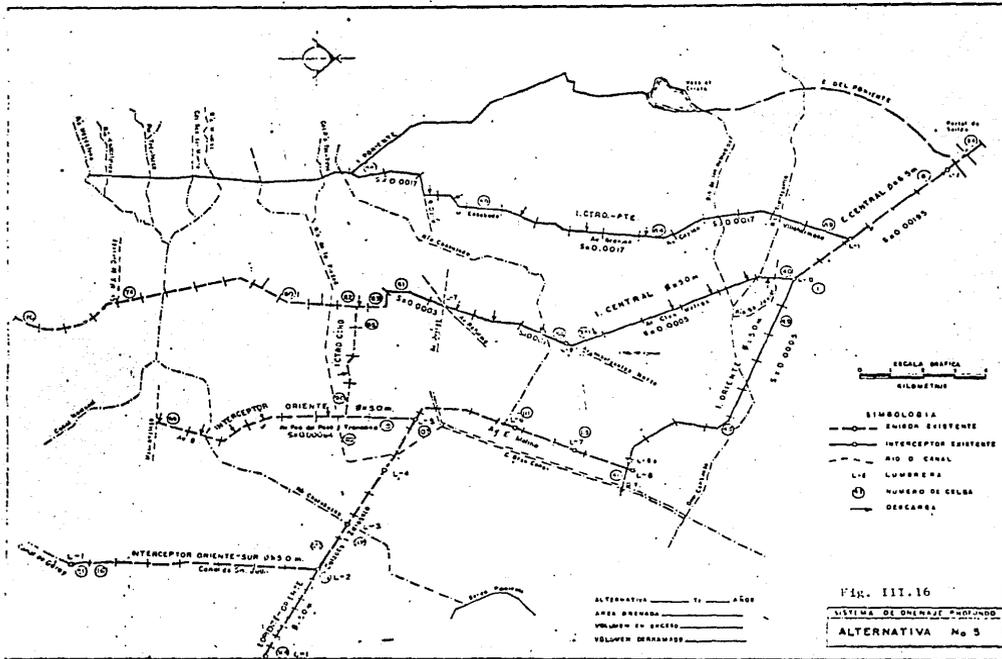


Fig. III.16