

76  
2ej



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CONSTRUCCION DEL BORDO DE LA  
LAGUNA DE REGULACION "CIENEGA  
CHICA" EN LA DELEGACION XOCHIMILCO,  
D. F.

T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A:  
MARIA DEL ROCIO IGLESIAS ALONSO



DIRECTOR DE TESIS,  
Ing. Miguel Morayta M.

México, D. F.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1991



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

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

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

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

## INDICE

	PAGS.
<b>INTRODUCCION</b>	1
<b>CAPITULO I</b>	
<b>GENERALIDADES</b>	
1.1 EL DRENAJE EN LA CIUDAD DE MEXICO.	
1.1.1 Antecedentes de obras de drenaje en la ciudad.....	4
1.1.2 Descripción del sistema de drenaje en la ciudad de México.....	11
1.2 INFORMACION GENERAL DE LA ZONA.	
1.2.1 Drenaje en el sur del D.F.....	18
1.2.2 Ubicación geográfica.....	22
1.2.3 Características hidrometeorológicas.....	22
1.2.4 Características fisiográficas.....	24
1.2.5 Hidrografía.....	24
1.2.6 Características geológicas.....	26
<b>CAPITULO II</b>	
<b>DESARROLLO DE LA OBRA</b>	
2.1 ASPECTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE UNA LAGUNA DE REGULACION.....	28
2.1.1 Diseño de lagunas.....	30
2.1.2 Relaciones Descarga-Elevación.....	33
2.1.3 Procedimiento a seguir.....	35
2.1.4 Conclusión.....	35

<b>2.2</b>	<b>DESCRIPCION DEL PROYECTO EJECUTIVO DE LA "CIENEGA CHICA".</b>	
2.2.1	Recopilación y análisis de información.....	37
2.2.2	Estudios básicos.....	37
2.2.3	Proyecto de los bordos perimetrales.....	42
2.2.4	Estructuras complementarias.....	46
<b>2.3</b>	<b>DESCRIPCION DE LA EJECUCION DE LA OBRA.</b>	
2.3.1	Desmote y limpieza.....	49
2.3.2	Despalme y cimentación.....	50
2.3.3	Trazo y nivelación.....	54
2.3.4	Pantalla impermeable.....	55
2.3.5	Formación del bordo.....	63
2.3.6	Acarreos.....	76
2.3.7	Acabados.....	76

### CAPITULO III

#### PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRA

<b>3.1</b>	<b>PLANEACION.....</b>	<b>78</b>
<b>3.2</b>	<b>PROGRAMACION.....</b>	<b>80</b>
3.2.1	Programas de obra.....	81
3.2.2	Métodos de programación.....	85
<b>3.3</b>	<b>CONTROL DE OBRA.....</b>	<b>86</b>
A-	Reportes de maquinaria.....	88
B-	Reportes de eficiencia de maquinaria.....	94
C-	Reportes de mano de obra.....	97
D-	Reportes de acarreos.....	101
E-	Reportes de materiales.....	102
F-	Reportes de producción.....	102
G-	Control de gastos.....	105

<b>CAPITULO IV</b>	
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>110</b>

## • INTRODUCCION

Es por demás conocido el problema que existe en la ciudad de México respecto al desalojo de las aguas residuales y pluviales por estar en una cuenca rodeada de formaciones montañosas. Debido a esto y desde la fundación de la gran Tenochtitlán, se han hecho grandes esfuerzos para controlar las inundaciones que desde entonces han sido una amenaza para la cuenca del valle de México y sus habitantes.

Se construyeron obras de muy variadas magnitudes y según los recursos de cada época, pero el crecimiento acelerado y desordenado de la ciudad ha jugado una carrera desigual con respecto al de la infraestructura del drenaje y, por si no fuera suficiente, el destinar los escasos recursos monetarios disponibles al desarrollo de dicha infraestructura ha provocado el descuido del mantenimiento de las instalaciones.

## INTRODUCCION

Otro factor que ha contribuido a la generación de inundaciones es sin duda el asentamiento del suelo de la ciudad, ya que con ello se deformaron las conducciones provocando azolvamiento en sus partes bajas y ocasionando así la disminución de la capacidad hidráulica del sistema.

Por consiguiente, el aunar los factores antes mencionados a las interferencias del drenaje con otras instalaciones subterráneas, nos ha conducido al desarrollo de un sistema de drenaje que se ha adaptado a las condiciones particulares de cada zona del Distrito Federal, formándose así subsistemas que funcionan por bombeo, por gravedad o por regulación. Por ello, la operación del sistema de drenaje es una tarea técnicamente difícil en condiciones normales y que se complica aún más durante las emergencias que se producen año con año en la época de lluvias.

A través del tiempo, las áreas expuestas a inundaciones han ido cambiando de lugar ya que por ejemplo, la zona centro era un área que en años anteriores se inundaba continuamente, pero hoy en día y gracias a la construcción del Sistema de Drenaje Profundo ha dejado de ser una zona de encharcamientos a diferencia del sur que debido a la consolidación del suelo y a la insuficiencia de infraestructura primaria, es actualmente una de las zonas de la ciudad con mayores problemas de inundaciones. Es por esto que en la delegación Xochimilco se requirió de una estructura de regulación que almacenara las fuertes avenidas del río San Buenaventura: la laguna de regulación Ciénega Chica.

Este trabajo se basa en la construcción de dicha laguna. Primero se dará un panorama general de los distintos problemas que ha causado el desalojo del agua en el valle de México y las soluciones que se les dieron. Por otra parte, se describirá a grosso modo el sistema de drenaje del Distrito Federal así como las diversas características del lugar donde se llevó a cabo la obra.

Posteriormente, se darán las pautas para el diseño de lagunas de regulación dejando paso al desarrollo de la obra, a su proceso constructivo y a la descripción del equipo, los materiales y la mano de obra seleccionados.

Después, se tratarán los aspectos de planeación, programación y control de obra con todo lo que ello implica para, por último, sacar las debidas conclusiones de todo este trabajo.



## CAPITULO I GENERALIDADES

### 1.1. EL DRENAJE EN LA CIUDAD DE MEXICO.

#### 1.1.1. ANTECEDENTES DE OBRAS DE DRENAJE EN LA CIUDAD.

Los problemas de drenaje en la cuenca del valle de México se deben a que no se cuenta con una salida natural de las aguas. Estos se remontan a la época prehispánica en la que fue necesario responder con importantes obras a inundaciones, sequías, epidemias y hambrunas que se sucedían por abundancia o escasez de agua. El sistema hidráulico actual es resultado de acciones realizadas a partir de la fundación de México-Tenochtitlán por los Aztecas en el año 1325 hasta nuestros días. En ese entonces, las casas no contaban con drenaje pero utilizaban varias acequias que desembocaban al lago de Texcoco, y que al estar a un nivel inferior al de la ciudad facilitaba la conducción por gravedad.

En 1450, tras una gran inundación de graves consecuencias, Nezahualcóyotl, rey de Texcoco, por encargo del rey azteca Moctezuma, diseñó y dirigió la construcción de un dique hecho con madera y piedras de 16 km de longitud para proteger Tenochtitlán de las frecuentes inundaciones; éste es mejor conocido como el Albarradón de Nezahualcóyotl que dividió el lago en dos partes:

- El Lago Salado de Texcoco al oriente
- El Lago de México de agua dulce al poniente

También construyó el Acueducto de Chapultepec para conducir agua hasta la ciudad ya que el abastecimiento de ésta provenía de manantiales.

En 1499, se construyó un acueducto por orden del gobernador Ahuízotl, para llevar a la ciudad agua de Coyoacán. Desgraciadamente, un sismo causó que se rompiera provocando así una segunda gran inundación.

A mediados del siglo XVI, las autoridades coloniales construyeron el primer sistema de drenaje subterráneo en la ciudad integrado por tubos de barro recocido. Por otra parte, habiendo observado que durante las lluvias el caudal de los canales y acequias aumentaba peligrosamente, se planteó la idea de que las aguas no entraran a la ciudad.

Años más tarde en 1555, por mandato del virrey Velasco se construyó rápidamente el célebre Albarradón de San Lázaro ya que el valle se encontraba inundado y tan sólo era posible transitar en canoa. En los siguientes años las lluvias fueron escasas y no fue hasta 1579 que se volvió a presentar el problema de las inundaciones, por lo que el virrey Martín Enríquez de Almanza ordenó la búsqueda de posibles trazos para un desagüe general teniendo como resultado los molinos de Ontiveros y un trazo para salir por el pueblo de Huehuetoca, hasta Nochistongo y el río Tula.

En 1604 y 1607 ocurrieron inundaciones debidas principalmente a los escurrimientos del río Cuautitlán, que ocasionaron cuantiosas muertes y daños materiales. Como solución a éste problema Enrico Martínez cuya participación en la construcción del desagüe de la ciudad de México fue de gran relevancia durante el primer tercio del siglo XVII, propuso lo que sería la primera salida artificial de las aguas del valle de México. El Tajo de Nochistongo se terminó en menos de un año.

En 1629, el rey Felipe IV de España ordenó que se cambiara la ciudad hacia el poniente debido a graves daños en el Albarradón de San Lázaro, en la presa de Acolman, en calzadas y en otras pequeñas obras, causados por lluvias torrenciales que

azotaron la ciudad durante 36 horas continuas. Pero ésto no fue posible ya que el virrey de la ciudad informó que el valor de lo fincado alcanzaba 50 millones de pesos. Dicha inundación duró cinco años por lo que aprovechando el drenaje antiguo se continuó con el desagüe general del valle.

A principios del siglo XVIII, el drenaje cumplió su cometido tras dos importantes inundaciones en 1707 y en 1714, pero desgraciadamente éste sufrió daños a causa de un temblor y en 1747, después de fuertes lluvias, ocurrieron de nuevo desastres en la ciudad.

Hacia 1856, y al ser las inundaciones cada vez más graves, se decidió la construcción del Gran Canal de desagüe y del túnel de Tequisquiac, obras que representaban la segunda salida artificial del valle de México y que fueron inauguradas en el año de 1900. Esto propició nuevos asentamientos humanos y mayor concentración de la población lo que junto al desarrollo industrial de la época requirió de un mayor abastecimiento de agua, por lo que se perforaron pozos someros; en 1886 existían ya más de mil.

Es muy posible que a raíz de ésto, hayan empezado los primeros hundimientos de la ciudad de México que en aquel entonces eran según las nivelaciones realizadas, de 5 cm por año, y se mantuvieron constantes posiblemente gracias a que en 1913 se terminó el acueducto que captaba las aguas de los manantiales de Xochimilco. Pero entre 1938 y 1948 y tras haber perforado los 93 primeros pozos profundos para poder satisfacer la demanda de una población siempre creciente, los hundimientos se incrementaron hasta en 18 cm por año. En 1947, el Ing. Nabor Carrillo presentó un trabajo técnico en el que demostraba que el hundimiento de la ciudad se debía en gran medida al abastecimiento de las presiones en el acuífero localizado debajo de ella.

El grave deterioro del drenaje y la disminución de su capacidad para desalojar las aguas del valle de México, estaban relacionadas con el hundimiento de la ciudad, lo que condujo entre las múltiples soluciones, a la ampliación del Gran Canal prolongándolo al sur y a la construcción del segundo túnel de Tequisquiac.

En 1954, la Dirección General de Obras Hidráulicas del D.F., creada un año antes, formuló un plan para resolver los problemas de hundimiento, inundaciones y abastecimiento de agua potable en el que incluyó una serie de obras de ampliación y mejoras del drenaje para enfrentar los graves problemas de la ciudad.

Entre las principales obras destacaron el interceptor y emisor del poniente, que fueron la tercera salida para desalojar las aguas del valle, el colector y la planta de bombeo Aculco, el entubamiento del río Consulado, la prolongación sur del Gran Canal y un sistema de presas a fin de regular las aguas de los ríos del poniente del D.F.

Todas las obras de drenaje, incluyendo el Gran Canal de desagüe, se proyectaron para funcionar por gravedad y de esta manera trabajaron originalmente; sin embargo, la perforación de pozos para abastecer de agua potable a la ciudad aceleró el hundimiento del suelo debido a la consolidación de las arcillas; así, en las descargas al Gran Canal aparecieron columpios y contra-pendientes que produjeron en la época de lluvias serias inundaciones, lo que obligó a las autoridades de 1952 a 1956 a instalar 29 estaciones de bombeo en diversas zonas de la ciudad así como sobrelevar los bordos del Gran Canal para conservar su capacidad de conducción, construir tanques tormenta y ampliar la red de colectores y atarjeas.

Así, al entubar los ríos y canales como los de Churubusco, Magdalena, San Angel, La Piedad, Tacubaya, Consulado,

Miramontes y San Joaquín, que cruzaban la ciudad, se logró el saneamiento de amplias zonas urbanas ya que el desalojo de esas aguas mediante conductos cerrados mejoró el funcionamiento hidráulico; asimismo, se construyeron amplias avenidas en su exterior, las que formaron parte de un nuevo sistema vial del D.F.

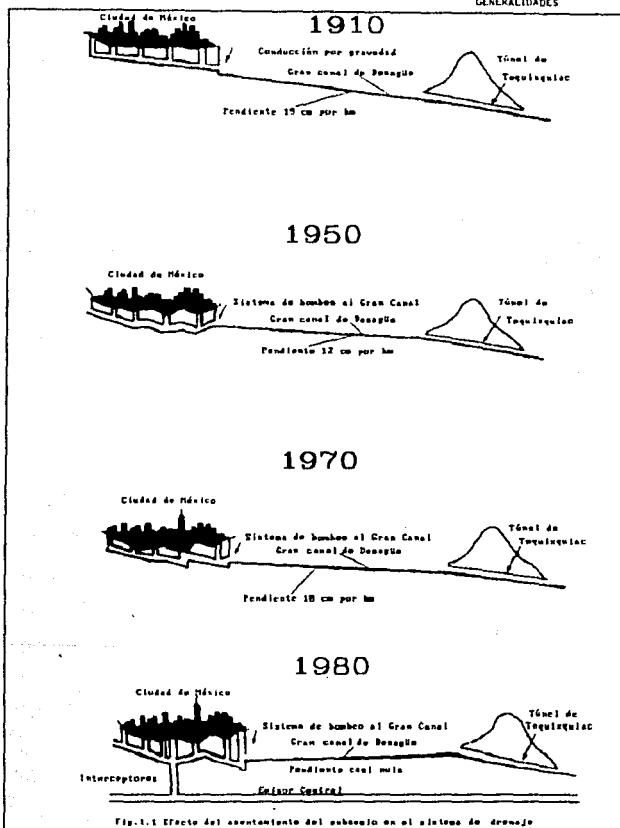
Pero el hundimiento de la ciudad aunado al incremento de los escurrimientos superficiales debido al desmedido crecimiento de la mancha urbana, ponían al D.F. en peligro de inundarse catastróficamente en caso de que el Gran Canal fallara en sus nueve primeros kilómetros (Figura 1.1).

Ante esa problemática, se elaboró el Plan del Sistema de Drenaje Profundo, que incluyó numerosos análisis y estudios sobre las características peculiares de los suelos del valle de México. Dicho plan se aprobó en 1967 y correspondió a la Dirección de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal la ejecución del mismo.

Su construcción requirió de varios estudios hidrológicos; con base en los resultados obtenidos, se elaboraron análisis particulares mediante modelos y exploraciones hasta llegar al trazo definitivo e iniciar la ejecución de las obras el 17 de marzo de 1967. En primer lugar se fijaron los sitios donde se construirían las lumbreras (accesos verticales) en puntos estratégicos, las que tuvieron profundidades variables de 25 a 225 m y de 1 a 4 km de distancia cada una.

La primera etapa de ese plan, terminada en 1975, está integrada por el interceptor central, el interceptor oriente y emisor central, con longitud total de 68 km, constituye la cuarta salida artificial de las aguas del valle de México y elimina el riesgo de una inundación catastrófica.

El incremento demográfico y el incesante aumento de la superficie urbana, han sido características en el D.F. Así, en 1975 había 8 millones de habitantes y las instalaciones de drenaje



se hicieron cada vez menos suficientes y más defectuosas, requiriendo de más kilómetros de colectores, atarjeas y plantas de bombeo.

La construcción de infraestructura para proporcionar otros servicios urbanos a la población, como es el caso del sistema de transporte colectivo, obligó a modificar el funcionamiento hidráulico en algunos tramos de colectores, ya que para evitar la interferencia con el cajón del recorrido del metro fue necesario construir sifones invertidos, lo cual se tradujo en una disminución de la capacidad hidráulica de conducción y en problemas de azolvamiento en las partes bajas.

Por otro lado, el crecimiento urbano que se ha extendido hacia las partes altas, ha provocado un cambio en el uso del suelo, incrementando los escurrimientos hacia las partes bajas.

La erosión de los suelos ha producido deterioro de los mismos por lo que se presenta el acarreo de material hacia las partes de menor nivel, penetrando así en los elementos del sistema de drenaje y provocando azolvamientos y por ende, una disminución en la capacidad de conducción hidráulica.

El momento actual se caracteriza por el inicio de transferencias de agua al valle de México desde cuencas lejanas, como la que se efectúa en el proyecto Cutzamala.

Por otra parte, las aguas pluviales aumentan en volumen ante la urbanización de grandes superficies, al no poder infiltrarse en el suelo por la presencia del pavimento y el concreto, lo que ocasiona que el escurrimiento sea más rápido. También, la eficiencia en la red de alcantarillado ha descendido a causa del hundimiento del terreno y por interferencias con obras viales, en especial las del metro.

Las grandes demandas de aguas se traducen en mayores volúmenes de aguas residuales cuyo desalojo se liga con el de las aguas de lluvia; esto crea problemas como insalubridad,

contaminación de ríos y acuíferos e inundaciones. Las obras para mejorar el sistema de drenaje de la ciudad son costosas y tardías y no obstante se han estado llevando a cabo.

### 1.1.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE EN LA CIUDAD DE MEXICO.

Los objetivos del sistema de drenaje son :

- El desalojo de las aguas residuales.
- La reducción de inundaciones y encharcamientos y su debido control.

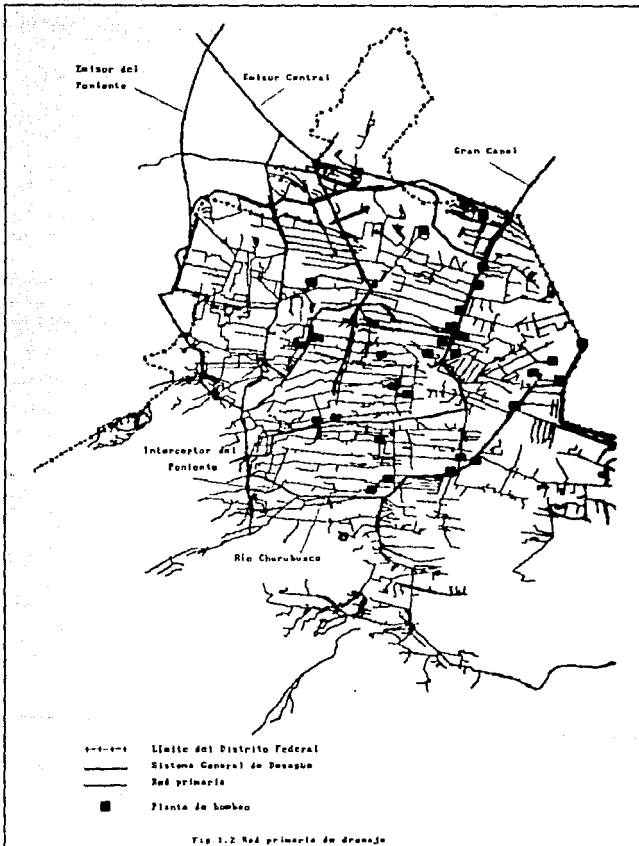
La red de drenaje es de tipo combinado o unitario, es decir, que recibe agua pluvial y negra y está integrada por los siguientes componentes:

1) LA RED SECUNDARIA de atarjeas tiene como función el recolectar las aguas residuales domiciliarias así como las pluviales, y conducir las a la red primaria; consta de tuberías de diámetros menores de 60 cm y tiene una longitud aproximada de 12,000 km. Este alcantarillado combinado es imposible de ampliar a lugares que no cuenten con colectores donde descargar sus aguas.

2) LA RED PRIMARIA constituye la liga entre la red secundaria y el sistema general de desagüe y está integrada por los colectores (Figura 1.2). Su función es recibir el agua de la red secundaria para encauzarla a los grandes conductos. Es muy extensa y



GENERALIDADES



compleja; tiene una longitud aproximada de 1,200 km de tuberías con diámetros que van de los 60 cm a los 3 m. Se caracteriza por tramos en contrapendiente, conexiones múltiples y estructuras tipo sifón invertido. Sobre el sistema original, se ha superpuesto en la parte central de la ciudad un segundo sistema que escurre de sur a norte y que descarga en varios puntos sobre los conductos instalados de poniente a oriente. Tanto las redes primarias como las secundarias están expuestas a dislocamientos y deformaciones provocadas por el asentamiento del subsuelo; ésto aunado a los azolves, ocasionan una reducción en la capacidad original de los conductos.

3) EL SISTEMA GENERAL DE DESAGÜE regula y desaloja fuera del valle de México las aguas residuales y pluviales a través del Tajo de Nochistongo, los túneles de Tequisquiac y del portal de salida del drenaje profundo (Figura 1.3). Está constituido por los siguientes elementos:

**a) CONDUCTOS ENTUBADOS:**

Incluyen túneles excavados en roca, como el interceptor y emisor del poniente, y varios ríos que, como el Churubusco y el de La Piedad ya se han entubado.

**b) CONDUCTOS A CIELO ABIERTO:**

El sistema general de desagüe incluye varios cauces naturales a cielo abierto que conducen principalmente aguas pluviales; sin embargo, en su mayoría están contaminadas por aguas



residuales y basura, lo que provoca problemas de insalubridad.

Al norte se encuentran los ríos Cuauhtepic, San Javier, Tlalnepantla y Remedios, y al sur el San Buenaventura, el Canal Nacional y el canal de Chalco. Estos cauces sufren frecuentemente fisuras, fugas de agua y fallas en los bordos, problemas que se agudizan día con día causados por las deformaciones que se presentan en el subsuelo; además, su funcionamiento hidráulico es obstaculizado por las alcantarillas y puentes que atraviesan la mayoría de dichos cauces. En el caso del río San Buenaventura, existen desbordamientos por falta de pendiente y capacidad del cauce.

La situación se agrava por la enorme cantidad de basura y azolve que invade los cauces y por el aumento de los caudales ocasionado por el crecimiento de la mancha urbana. Por estas razones las cuencas debían sanearse para evitar focos de infección; sin embargo, como en varios de los cauces es imposible lograr esto, será necesario entubarlos. Esta medida habrá que tomarla también en los casos en los que por los asentamientos diferenciales regionales, como en los canales de Chalco y Nacional, es necesario profundizar los cauces para que puedan efectivamente formar parte de la red de drenaje.

#### c) ESTRUCTURAS DE REGULACION:

Los escurrimientos producidos por lluvias intensas tienen picos grandes de corta duración, fenómeno que se acentúa al urbanizarse el terreno. Por ello, ha sido necesario construir estructuras que permitan almacenar el agua durante el tiempo crítico de una tormenta, para después desalojar caudales menores por la red de colectores. Por un lado se cuenta con varias presas en las laderas del poniente y por el otro, dentro de la misma

ciudad se han construido otras estructuras, los tanques de tormenta, que reducen la incidencia de encharcamientos e inundaciones. Se cuenta con 12 tanques cuya capacidad total es de 130,000 m<sup>3</sup>.

Las lagunas artificiales son otro elemento útil para regular los escurrimientos. La primera laguna de regulación del Distrito Federal se terminó en 1982 en Iztapalapa con una capacidad de 130,000 m<sup>3</sup>. Actualmente se encuentran en construcción dos lagunas en Xochimilco que son la Ciénega Chica y la Ciénega Grande con 500,000 m<sup>3</sup> y 3'000,000 m<sup>3</sup> respectivamente, que aliviarán las fuertes avenidas que se presentan en el sur poniente y el sur oriente del Distrito Federal.

#### d) PLANTAS DE BOMBEO:

Son elementos indispensables para el sistema de drenaje, que operan todo el año para desalojar las aguas residuales y durante la época de lluvias para desalojar las aguas pluviales de las zonas bajas. Existen 51 plantas de bombeo que alimentan al Gran Canal y a los ríos entubados Churubusco, Consulado y La Piedad; además se cuenta con otras plantas ubicadas entre los colectores sumando una capacidad de 469 m<sup>3</sup>/s.

También se han requerido pequeños equipos para desaguar 82 pasos a desnivel. El número tan grande de equipos y su dispersión hacen muy compleja su operación en la época de lluvias, empeorando el problema por el precario mantenimiento y el hundimiento de la ciudad.

## e) DRENAJE PROFUNDO:

A partir de 1975, año en que se concluyó su primera etapa, el drenaje profundo es el componente más importante del sistema general de desagüe. Prácticamente no es afectado por los asentamientos del terreno y opera por gravedad, sin necesidad de bombeo, razones por las cuales constituye una obra durable y económica a largo plazo, aun cuando requiere de cuantiosas inversiones.

El emisor central que descarga a través de su portal de salida al río El Salto, es un túnel de 6.5 m de diámetro, 50 km de longitud y 200 m<sup>3</sup>/s de capacidad. Los interceptores oriente y central con 10 y 8 km de longitud respectivamente, formaron junto al emisor central la primera etapa del drenaje profundo. Iniciada en 1977, la segunda etapa incluye la prolongación de 5.5 km del interceptor central y el nuevo interceptor centro poniente con 16.5 km que se terminaron en 1982, lo que implicó contar con una longitud total de 90 km.

Durante las dos primeras etapas se necesitó innovar las técnicas de construcción y los tramos que faltan por completar hasta llegar a unos 145 km, que serán excavados a profundidades que van desde 20 hasta más de 200 m y en suelos muy difíciles.

El drenaje profundo se opera por lo general solo en época de lluvias, pero en ocasiones durante el estiaje se utiliza el interceptor oriente para aliviar el Gran Canal de desagüe. El drenaje profundo dará una gran flexibilidad al desalojo de las aguas pluviales en el Distrito Federal, ya que da alivio a los principales conductos del sistema general de desagüe así como a la red primaria de colectores. Obviamente, su buen funcionamiento dependerá de su correcta operación ya que seguirá descargando por el emisor central de 200 m<sup>3</sup>/s. de capacidad.

## 1.2. INFORMACION GENERAL DE LA ZONA.

### 1.2.1. DRENAJE EN EL SUR DEL DISTRITO FEDERAL.

El principal escurrimiento pluvial de la zona se genera en la cuenca del río San Buenaventura, y las pendientes pronunciadas ocasionan que los caudales se concentren rápidamente en las partes bajas, las cuales son difíciles de drenar por falta de pendiente y porque en algunos lugares el hundimiento del suelo alcanza valores muy altos.

Se cuenta con dos conductos cerrados principales que son el río Churubusco y el Canal de Miramontes y con tres conductos a cielo abierto: el río San Buenaventura, el Canal Nacional y el Canal de Chalco (Figura 1.4).

El río Churubusco que es un elemento de suma importancia para el drenaje de la ciudad se empezó a entubar en 1962 y se concluyó en sus 18 km en 1980. Por otra parte, en 1982 se terminó la planta de bombeo que descarga al Lago de Texcoco y que permite vaciar el cajón antes de una tormenta y aprovechar así su capacidad de regulación de 400,000 m<sup>3</sup>.

El río San Buenaventura termina en su confluencia con el Canal Nacional y frecuentemente se desborda por falta de pendiente y capacidad del cauce; ya se está rectificando el Canal Nacional para que pueda absorber las avenidas de este río y los escurrimientos de algunas áreas aledañas al Canal Nacional. Para completar el esquema, es necesario instalar varios colectores y cuatro plantas de bombeo con el objeto de descargar las aguas al Canal Nacional. Posteriormente, se requirió excavar un túnel por debajo del Canal Nacional siguiendo su trazo actual hasta llegar a su confluencia con el río Churubusco, donde se encuentra la planta de bombeo Miramontes. El Canal de Chalco se sustituye por un túnel.

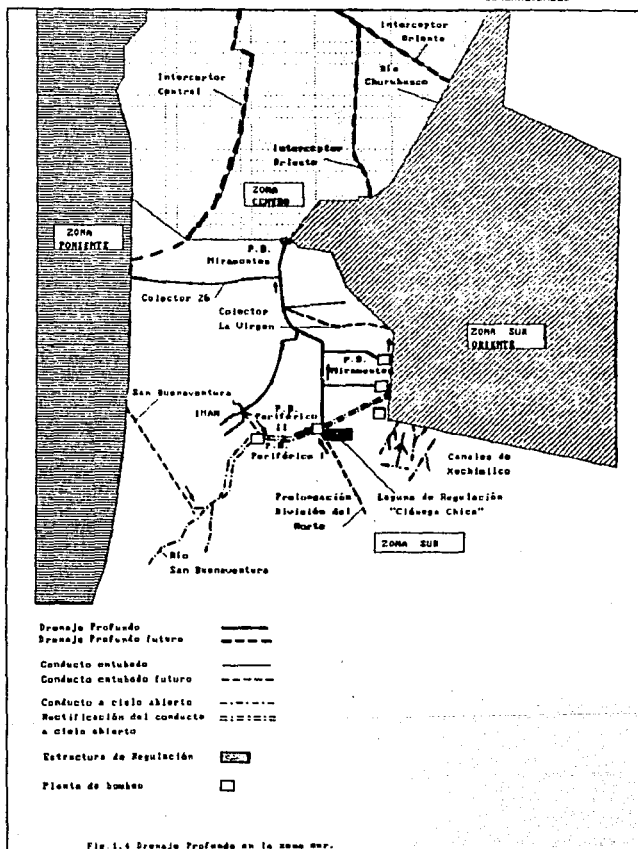


Fig. 1.4 Drenaje Profundo en la zona sur.



Se requirieron asimismo dos lagunas de regulación en Xochimilco:

- La Ciénega Chica en esta zona.
- La Ciénega Grande en la zona sur oriente.

La regulación obtenida mediante la Ciénega Chica que ocupa una superficie de 75 ha y tiene una capacidad de 500,000 m<sup>3</sup>, permite que el río San Buenaventura admita caudales mayores, y de esta manera se seccionan los colectores IMAN y Prolongación División del Norte. En este esquema es importante tomar en cuenta la interacción con la zona poniente al construir el túnel Magdalena San Buenaventura. Si llegara a ser insuficiente dicha regulación, sería entonces necesario dar mayor capacidad al río San Buenaventura, rectificándolo para recibir la aportación adicional de la zona poniente y los caudales que el túnel captase en su recorrido. La localización de la obra se muestra en la figura 1.5.

La Ciénega Grande tiene una superficie de 97 ha y almacena temporalmente las aguas pluviales y residuales que conducen los canales de Chalco y Nacional aumentando así sus cauces; cuenta con una capacidad de tres millones de metros cúbicos.

El esquema descrito presenta una ventaja adicional para la zona sur oriente porque las aguas de la Nopalera, Santiago Zapotitlán y Tláhuac podrán descargarse al túnel Canal Nacional a través del túnel Canal de Chalco.

A largo plazo, considerando la escasa pendiente del terreno y los problemas del hundimiento del suelo, la única solución permanente consiste en ampliar el drenaje profundo. El interceptor oriente capta las aguas del túnel Canal Nacional, que a su vez recibe aportaciones de una red de colectores construida en la zona. Además, la prolongación del interceptor centro poniente alivia los problemas de drenaje de una parte de la zona y ya no son tan



necesarias las plantas de bombeo sobre el río San Buenaventura; sin embargo, conviene conservar la planta de Miramontes para dar flexibilidad al sistema general de desagüe.

Debido a que no se ha construido la mayor parte de la infraestructura en la zona sur, varias colonias y pueblos descargan sus aguas residuales a barrancas, ríos y canales lo que provoca contaminación de los mantos acuíferos e insalubridad del medio ambiente. Existen zonas en las que ya se está llevando a cabo la instalación de drenaje como en los Pedregales del Sur pero la topografía accidentada y las características de los suelos con formaciones basálticas la hacen muy costosa y lenta.

#### 1.2.2. UBICACION GEOGRAFICA.

La Ciénega Chica está localizada al poniente de la delegación política de Xochimilco que se encuentra al sur oriente del Distrito Federal, entre las latitudes norte  $19^{\circ} 09' 01''$  y  $19^{\circ} 19' 08''$  y las longitudes  $99^{\circ} 09' 04''$  y  $99^{\circ} 01' 00''$  al oeste del meridiano de Greenwich; colinda con las siguientes delegaciones: al norte con Iztapalapa, al norponiente con Coyoacán, al sur con Milpa Alta, al oriente con Tláhuac, y al poniente con Tlalpan (Figura 1.6).

#### 1.2.3. CARACTERISTICAS HIDROMETEOROLOGICAS.

Se considera como zona húmeda la parte sur del Distrito Federal, esto se debe a que los vientos del noroeste conducen a las nubes del valle de México hacia el suroeste, sobre las sierras del Chichinautzin y del Ajusco donde descargan su humedad al elevarse y enfriarse. La precipitación media anual es



de 854 mm. El periodo de lluvias comprende de la primera decena del mes de mayo a la tercera decena del mes de octubre con 758 mm o sea, el 89 por ciento del total.

En general, las lluvias son muy irregulares observándose que la decena y el mes con mayor precipitación son la primera de julio con 57 mm y julio con 170 mm respectivamente. El periodo de sequía comprende de la primera decena de noviembre a la tercera decena de abril, con un total de 90 mm de precipitación (11 por ciento). El mes más seco es noviembre con tan sólo 6 mm.

#### **1.2.4. CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS.**

Las erupciones volcánicas relativamente recientes que formaron la sierra Chichinautzín, fueron cerrando el valle de México lo que produjo el nacimiento de los sistemas lagunarios de Xochimilco y Chalco.

En estos lagos solo quedan depósitos de material muy fino, derivado de las corrientes superficiales y del producto de erupciones volcánicas, tales como arcillas, limos y materia orgánica no estratificada, que llegan a alcanzar hasta 200 m de profundidad (Figura 1.7).

#### **1.2.5. HIDROGRAFIA.**

En la zona basáltica, la alta permeabilidad de origen secundario, permite que más del 50 por ciento de la lluvia precipitada se infiltre, se almacene y escurra bajo el suelo; es decir, el agua infiltrada primeramente satura las capas superiores hasta encontrarse con una capa impermeable que propicia que el agua fluya hacia las partes bajas y alcance la superficie en forma de manantiales que alimentan los lagos de la planicie; esta

GENERALIDADES

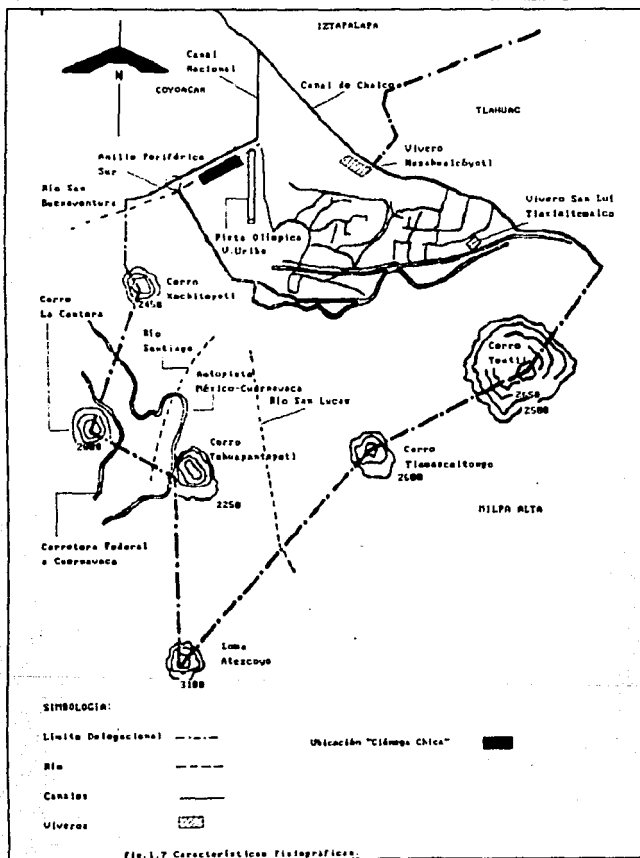


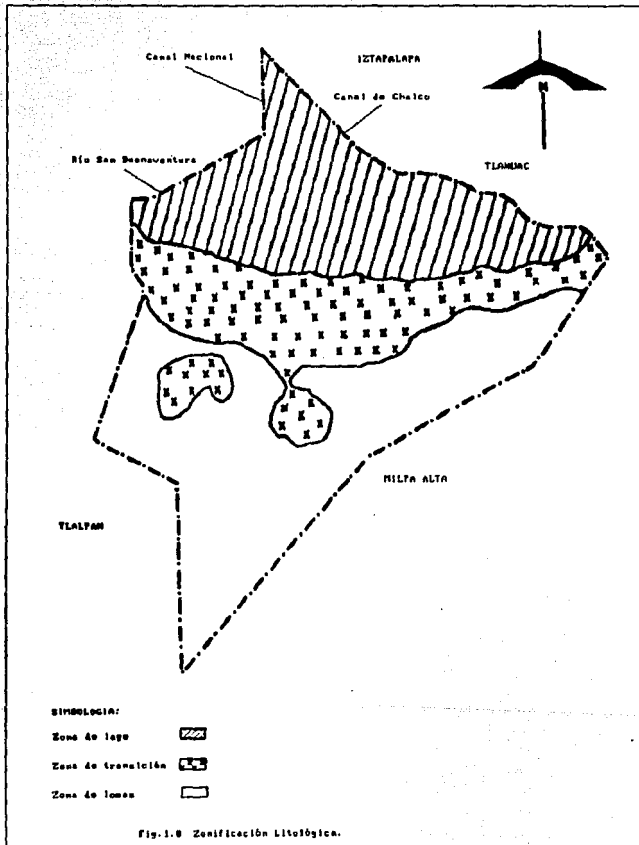
Fig. 1.7 Características Fisiográficas.

situación originó la zona lacustre. La hidrografía la constituyen ríos que van de las estribaciones de la sierra del Ajusco-Cuauhtzin hacia la zona lacustre, estos ríos son: Santiago, San Buenaventura, San Lucas y San Gregorio. El río San Buenaventura tiene una longitud de 17.2 km y una pendiente media de 0.03, escurre del oriente del Ajusco hasta llegar al paraje conocido como "Palo Huérfano", sobre Canal Nacional. El río Santiago por su parte, baja de las laderas occidentales del Cuauhtzin a la presa San Lucas Xochimanca y por último los ríos San Lucas y San Gregorio conducen bajos escurrimientos y captan las aguas residuales y pluviales de varios pueblos aledaños. El caudal medio de estos ríos es de 38 l/s; sin embargo, durante tormentas excepcionales se han llegado a presentar en el San Buenaventura caudales cercanos a los 100 m<sup>3</sup>/s.

#### 1.2.6. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS.

Las características geológicas más importantes están representadas por tres zonas: plana o lacustre, de lomas y de transición (Figura 1.8). En la zona lacustre donde se localiza la Ciénega Chica, predominan sedimentos de tipo arcilloso intercalados con arenas de grano fino presentándose además, basaltos fracturados de gran permeabilidad. La zona de transición se compone de gravas y arenas gruesas combinadas con arcillas y pequeñas coladas de basalto. Por último, en la zona de lomas existen intercalaciones de basalto, tobas y cenizas permeables. La orografía de la zona se caracteriza por una cadena de cerros que son parte de la sierra volcánica; en general, estas formaciones son de roca basáltica o andesítica y presentan una gran permeabilidad, de ahí su importancia para la recarga del acuífero.

GENERALIDADES





## CAPITULO II

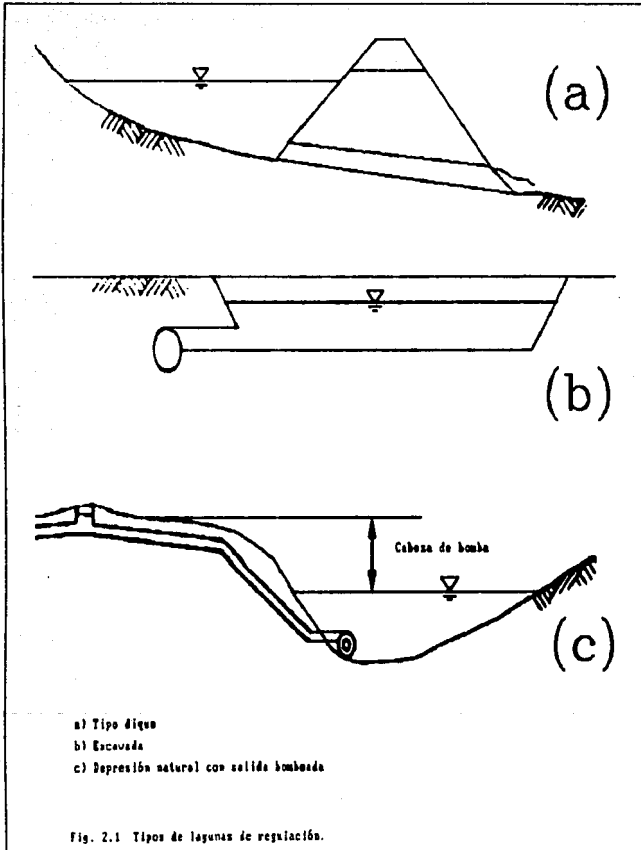
### DESARROLLO DE LA OBRA

#### 2.1. ASPECTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE UNA LAGUNA DE REGULACION.

Las lagunas de regulación que proporcionan un almacenamiento temporal del sobreflujo de una gran avenida, son cada vez más utilizadas en el mundo entero para obtener una reducción en la capacidad requerida del cauce aguas abajo, evitando así una inundación. Es usual que estas lagunas tengan una salida sin regulación de bajo nivel para ahogar la descarga, y un vertedor o rampa de inundación que opera si la capacidad de almacenamiento de la laguna es excedida.

La formación de dichas lagunas puede ser la de un dique cerrando un valle o por excavación, siendo ésta última característica de las áreas relativamente planas; otro caso es el de las depresiones naturales que proveen también un lugar apropiado. La figura 2.1 nos muestra estos tres tipos de lagunas. También es común usar una combinación de los tres en la construcción de alguna laguna en particular.

La salida de bajo nivel puede operar por gravedad o por bombeo. Usualmente, el conducto de salida para una laguna tipo dique, es relativamente corto, de pendiente y sección transversal constantes. Sin embargo, en el caso de lagunas excavadas el conducto de salida suele ser parte de un sistema de drenaje consistente en largas series de tuberías de diversos diámetros y pendientes y que conforme los drenes laterales entran, se incrementa la descarga de diseño. Además, en este tipo de laguna no es necesario tener los puntos de entrada y salida separados; puede ser regulado en la línea de drenaje como en la figura



2.1(b). En áreas bajas y a pesar de su costo de operación y baja confiabilidad, la salida por bombeo puede ser una alternativa económica en lugar de por gravedad, con ahorros en la excavación y en una tubería de menor diámetro.

### 2.1.1. DISEÑO DE LAGUNAS.

#### a) Criterios de diseño.

Se pueden considerar dos gastos totalmente diferentes. El primero, llamado gasto de diseño de la laguna, es el llenado de ésta sin que haya escurrimiento alguno por los vertedores y es la máxima inundación para la cual la laguna será totalmente efectiva. Mayores inundaciones causarían un desbordamiento por el vertedor en caso de haberlo, y una inundación sin control en caso contrario; en ambas situaciones la laguna no estaría cumpliendo del todo con su pretendida función de restringir la descarga de salida durante un almacenamiento temporal o una avenida. Si un vertedor está previsto para protección del dique, su capacidad tendrá que ser determinada y este aspecto de diseño usa el segundo gasto, llamado "gasto de diseño de vertedor".

Para los gastos de diseño de la laguna y del vertedor, se deberán adoptar intervalos de recurrencia (período medio entre las excedencias de la descarga de diseño). El diseño hidráulico de la laguna está dirigido para satisfacer uno o ambos de los siguientes criterios:

i) La máxima descarga de salida de la laguna no deberá exceder el valor especificado; o

ii) El nivel máximo de agua alcanzado en la laguna no deberá exceder el valor especificado. Cuando se especifique un vertedor, este criterio debe ser aplicado a cada uno, a la laguna o al gasto de diseño del vertedor; de otra manera se aplica al gasto de diseño de la laguna.

El criterio i) evita la inundación de la zona de aguas abajo al limitar la descarga de salida a la capacidad del canal de salida.

El criterio ii) evita la inundación de la zona colindante y de aguas arribas a la laguna. En general cualquiera de los dos controlará el diseño pero para ambos, los dos límites pueden llegar a su efecto simultáneamente.

La elevación límite especificada en el criterio ii) permitirá en general cierto bordo libre entre el nivel de agua de diseño calculado y el nivel de agua que causaría serios efectos de inundación. Cada bordo libre reconoce la existencia de incertidumbres en el diseño y la construcción. Su selección es arbitraria y constituye otro criterio de diseño.

#### b) Niveles de agua.

La elevación del nivel de aguas en la salida de la tubería aguas abajo afecta la relación elevación-descarga por lo que tendrá que adoptarse una condición de diseño de nivel de agua. En realidad, la elevación del nivel de aguas es una variable transitoria, pero los cálculos de diseño hidráulico se simplifican frecuentemente con la adopción de un valor constante.

Cuando la laguna forma parte de un sistema local de drenaje que descarga en un río teniendo una gran toma aguas arriba de la desembocadura del drenaje, es probable que el nivel del río sea independiente de la tormenta de diseño en el área local. Si ocurre una intensa y vasta tormenta general, la descarga máxima del área local precederá al gasto máximo del río ya que las diferentes áreas de toma y los tiempos de concentración además de la existencia de la laguna en sí, puede retrasar substancialmente el gasto máximo local. Una tormenta local intensa tiende a ser asociada con un bajo nivel de aguas (nivel del río) por su naturaleza delimitada. Bajo estas circunstancias, la condición

hidráulica crítica para las lagunas de regulación podría resultar una intensa tormenta general o local que ocurra con un nivel bajo de aguas o una tormenta local moderada que ocurra con un nivel alto de aguas. Los diferentes niveles de agua pueden causar diferentes relaciones de elevación-descarga para la salida de la laguna y ambos deben ser investigados.

#### **c) Variables de diseño.**

Para lagunas excavadas las principales variables de diseño a determinar son la elevación del suelo de la laguna y el área horizontal de la misma. El máximo nivel de agua admisible será gobernado por el nivel de suelo existente y el bordo libre adoptado. El diámetro del tubo de salida será también una variable de diseño en un nuevo esquema de drenaje pero tendrá que ser fijado si la laguna se adapta a un sistema de drenaje ya existente; la pendiente, la longitud y la elevación transpuesta de la tubería son fijados por factores topográficos y de ingeniería. El nivel del suelo de la laguna tendrá que estar en o por debajo del nivel máximo de salida para prevenir la inundación de la laguna desde aguas abajo; normalmente, deberá ser de la mitad del diámetro de la tubería por arriba del dren en su entrada para restringir la frecuencia de inundación de la laguna. Esta podrá o no tener un vertedor en su diseño.

#### **d) Procedimiento de diseño general.**

El diseño hidráulico de lagunas envuelve una variedad de hidrogramas de entrada de diseño a través de la laguna y, para cada hidrograma, un ajuste de prueba y error de las variables de diseño antes de que los criterios de diseño sean encontrados por todas las inundaciones de diseño de entrada. Los hidrogramas de

diseño de entrada son calculados de supuestos diseños de tormenta y pérdidas de diseño.

Para especificar las tormentas de diseño, se deben adoptar periodos de retorno de diseño para el gasto de diseño de la laguna y el gasto de diseño del vertedor si es que hay uno. El criterio comunmente usado de que las lagunas deben reducir las descargas de inundación en el área urbana a lo de la preurbanización, requiere de un amplio rango de periodo de retorno para el gasto de diseño de la laguna.

La descarga máxima de salida dependerá de las características de almacenamiento-descarga de la laguna y de la forma del hidrograma de entrada. Este último depende de las características de toma, de la presencia de otras lagunas, de las pérdidas y del hidrograma de diseño. Para un periodo de retorno de diseño dado, no es posible predecir explícitamente que duración de tormenta de diseño nos conducirá a la descarga máxima de salida. Consecuentemente, es necesario sacar los cálculos de hidrogramas de inundación para una variedad de duraciones de tormenta para determinar cual de ellos es el crítico.

Dado un periodo de retorno y duración, la principal intensidad de un diseño de tormenta es frecuentemente determinada a partir de los resultados de análisis estadísticos de informes de lluvias. Un patrón temporal de intensidad consistente con el valor medio debe ser entonces adoptado. Esto puede depender de análisis estadísticos o de una decisión arbitraria.

### 2.1.2. Relaciones Descarga-Elevación.

Para lagunas excavadas, la salida típica consiste en una serie de tuberías de diversos diámetros, longitudes y pendientes. Un análisis completo para determinar la relación entre  $Q_0$  y  $H_p$  requerirá, para cada valor de  $Q_0$ , el conocimiento de las descargas

aguas abajo de las tuberías y la suposición de proporciones fijas entre  $Q_0$  y el resto de las descargas. Será entonces posible calcular la pérdida de carga en cada tubería, agregar una reducción por las pérdidas de orificios y sumar estas pérdidas para la serie de tubos y orificios. Sumando el total al nivel de descarga asumido tendremos el nivel de agua de la laguna  $H_p$  correspondiente al supuesto valor de  $Q_0$ . Así, podrá elaborarse una tabla de los valores de  $Q_0$  y  $H_p$ .

Sin embargo, un análisis tan detallado no se justifica por las aproximaciones comprendidas en otros aspectos de diseño, incluyendo suposiciones como los períodos de retorno de diseño, las pérdidas por infiltración, los niveles de descarga y errores en los procedimientos hidrológicos. Es recomendable que una aproximación razonable en la relación descarga-elevación para la laguna pueda lograrse ignorando la actual serie de tuberías con sus respectivas características y reemplazándola por una sola tubería con diámetro y descarga iguales a las del primer tubo aguas abajo de la laguna, con una longitud igual a la de la serie de tubos de salida y con una pendiente constante igual al gradiente de energía media de la laguna hasta la recepción de las aguas.

Esta simplificación del sistema de tubería de salida propuesta se justifica para un trabajo si las pendientes de energía en diferentes tubos son estrictamente paralelas a la superficie del suelo, mientras que el supuesto gradiente de energía del nivel de agua de la laguna al nivel de agua de descarga en grandes longitudes, será un poco diferente a la pendiente de suelo media. Con el gradiente de energía de la supuesta salida aproximadamente igual a la de la salida real, el uso del actual diámetro y la rugosidad del primer tubo de salida producirá una buena estimación de la actual descarga en la tubería.

### 2.1.3. Procedimiento a seguir.

Con la relación almacenamiento-elevación determinada al considerar cálculos geométricos y/o topográficos, y la relación descarga-elevación determinada como se describió anteriormente, se puede seguir un procedimiento no lineal para trazar los hidrogramas de entrada de la laguna. Para cada incremento de tiempo de tormenta, el procedimiento resuelve la ecuación de continuidad:

$$I-Q = dS/dt$$

usando la función no lineal de almacenamiento:

$$S = f(Q)$$

determinada anteriormente. Al no ser  $f(Q)$  lineal se necesita una solución iterativa; algoritmos como el de Newton Raphson y el de Regula Falsi acelerarán la convergencia. Como guía práctica, se puede suponer que la convergencia ha ocurrido cuando las descargas sucesivas estimadas de salida varían en menos del 1% de la descarga máxima de entrada.

A causa de la complejidad de la función  $f(Q)$  y la naturaleza iterativa de los cálculos, éstos se pueden facilitar computando una tabla con los valores de  $S-Q$  e interpolando linealmente en ella mejor que calcular  $S$  cada vez con las relaciones de descarga-elevación y de almacenamiento-elevación.

### 2.1.4. Conclusión.

Es claro que el diseño hidráulico de una laguna de regulación envuelve un enorme número de cálculos. Los hidrogramas de entrada para ser determinados por técnicas hidrológicas deben cubrir un rango de intervalos de recurrencia y otro de duraciones de tormenta. Para cada hidrograma de entrada, el rango de dimensiones de la tubería de salida y/o las dimensiones del



vertedor y/o las áreas de la laguna deberán ser investigadas. Finalmente, la no linealidad de la relación almacenamiento-descarga requiere una solución iterativa para cada incremento de tiempo de la tormenta. A veces es necesario un paso de diseño adicional para checar el efecto de la laguna o sistemas de lagunas en un punto aguas abajo, no simplemente en la salida de la laguna. Estos cálculos pueden solo ser hechos razonablemente con ayuda de una computadora y un programa.

Una alternativa (con aplicación limitada) para los cálculos de diseño descritos anteriormente es la de usar fórmulas empíricas que den la relación entre el gasto máximo de entrada, el gasto máximo de salida y la capacidad de almacenamiento de la laguna. Estas fórmulas se basan en supuestas relaciones entre los hidrogramas de entrada y de salida más que en los hidrogramas actuales y el desempeño de la secuencia de almacenamiento. Pueden ser útiles para dar estimaciones preliminares del almacenamiento requerido para lagunas aisladas pero no son suficientemente exactas para el diseño final. Tampoco proveen información para el diseño hidráulico de las descargas; éstos deberán diseñarse independientemente y ser consistentes con la descarga máxima de salida y el almacenamiento máximo.

A pesar de la complejidad del procedimiento completo de diseño, un programa general de escurrimientos al proveer flexibilidad a las especificaciones de las características de salida de la laguna puede dar por resultado un diseño conveniente y económico. Una característica conveniente de este acercamiento es el cuidado en los cálculos de los hidrogramas de entrada, del diseño interactivo de la laguna y de la subsecuente evaluación de los efectos aguas abajo, todo en el mismo proceso. Así, estos puntos de vista integran el diseño hidrológico e hidráulico de lagunas de regulación.

## 2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO DE LA CIENEGA CHICA.

Debido a que en algunas zonas adyacentes al cauce del río San Buenaventura se presentaban problemas de inundación causados por los azolves que acarrea el río y a aportaciones que se incorporaron posteriormente al mismo, es que se decidió realizar el proyecto ejecutivo de las obras de la laguna de regulación Ciénega Chica; por ejemplo, en el tramo adyacente al lindero norte de la laguna el bordo derecho del cauce del río era hasta 1.50 m menor que el bordo izquierdo lo que provocaba un desbordamiento del río. Aprovechando estas condiciones, la Ciénega Chica será la laguna de regulación del río San Buenaventura durante la temporada de lluvias.

### 2.2.1. Recopilación y análisis de información.

Con la finalidad de establecer un diagnóstico inicial de la situación actual del sistema hidráulico del río San Buenaventura, se recopiló toda la información, estudios y proyectos existentes relacionados con el mismo, los que se sometieron a un análisis y evaluación general; se contemplaron también recorridos de campo y reuniones efectuadas con especialistas en las áreas de interés y que de acuerdo con los requerimientos del proyecto aportaron lineamientos y estrategias de mejoramiento del mismo.

### 2.2.2. Estudios básicos.

#### a) Topografía:

Se llevó a cabo un reconocimiento del sitio con el objeto de visualizar ciertos detalles no precisados en la

información existente. Se realizaron también los levantamientos topográficos necesarios que incluyen las siguientes actividades:

- **Trazo:** Se llevó una poligonal envolvente de tal manera que delimitó el predio de 75 ha, así como trazos auxiliares de relleno que sirvieron de apoyo para la nivelación y el seccionamiento; dichas poligonales serán ligadas a la del canal y estacadas a cada 20 m.

- **Nivelación:** Se nivelaron todas las estaciones de 20 m de las poligonales, dejando bancos de nivel en el área sobre puntos inamovibles, utilizando nivel automático y estatal; el método fue el de ida y vuelta con una tolerancia de 1 cm por kilómetro nivelado.

- **Seccionamiento:** Se levantaron secciones a cada 40m o a juicio del topógrafo, cuidando de levantar los detalles que juzgó convenientes para obtener una mejor representación del terreno con ayuda de nivel y estatal.

- **Referencias:** Se referenciaron los puntos de inflexión sobre puntos inamovibles como árboles, guarniciones, etc.

- **Configuración, cálculo y dibujo:** Se calcularon todos los elementos de campo, procediendo a la configuración y dibujo definitivo de los planos resultantes, los cuales fueron dibujados a escala y presentación indicada.

#### b) Geotecnia:

- **Exploración geotécnica:** Con la finalidad de

conocer las condiciones estratigráficas y el mecanismo de filtración más probable de la zona donde se pretende construir el almacenamiento de agua y el bordo así como las estructuras de toma y de control para la laguna, fue necesario llevar a cabo la ejecución de sondeos mixtos y pozos a cielo abierto, de 6 a 15 m y de 3 m de profundidad respectivamente.

En los sondeos mixtos se alternó la obtención de muestras alteradas con tubo liso y muestras inalteradas mediante el hincado a presión de muestreadores Shelby de 10 cm de diámetro; asimismo, en las muestras alteradas se determinó la resistencia del suelo mediante la prueba de penetración estándar; ésta consiste en hincar el penetrómetro mediante golpes dados por un martinete de 63.5 kg que cae desde 76 cm, contando el número de golpes necesario para lograr una penetración de 30 cm, lo que constituye el índice de resistencia a la penetración estándar del material atravesado. En cada prueba se hince el penetrómetro 60 cm, correspondiendo el índice de resistencia a la penetración de los 30 cm intermedios, se extrae y se remueve el suelo de su interior, el cual constituye la muestra. De los pozos a cielo abierto se extrajeron muestras alteradas de los estratos atravesados y dos muestras cúbicas de los estratos representativos en cada uno.

- **Pruebas de campo:** Se llevaron a cabo pruebas Lefranc en los materiales profundos y en la parte superficial donde existen materiales no saturados, se determinó el gasto de infiltración a base de pozos de absorción o prueba Nasberg, todo esto con el propósito de medir el coeficiente de permeabilidad en la zona de la laguna.

- **Pruebas de laboratorio:** En las muestras obtenidas en campo se realizaron los ensayos de laboratorio requeridos para identificar apropiadamente los suelos y definir

sus propiedades índice, de resistencia, deformabilidad y de permeabilidad de los materiales en los que quedarán desplantados los bordos y el almacenamiento.

En las muestras representativas alteradas obtenidas en la prueba de penetración estándar, se hicieron las siguientes pruebas de laboratorio para determinar las propiedades índice:

- Clasificación visual y al tacto, en húmedo y en seco, de acuerdo a los procedimientos del SUCS.
- Contenido natural de agua.
- Análisis granulométrico por mallas.
- Densidad de sólidos.
- Límites de consistencia (líquido y plástico).

En las muestras inalteradas además de las anteriores se hicieron también para definir los parámetros de resistencia, deformabilidad y permeabilidad las siguientes pruebas:

- Compresión axial no confinada.
- Compresión triaxial no consolidada - no drenada.
- Consolidación unidimensional estándar.
- Resistencia al corte con veleta de laboratorio (torcómetro).
- Determinación del peso volúmetrico.

- **Características estratigráficas y físicas del subsuelo:** Considerando la cuenca del valle de México dividida en subcuencas, la que corresponde a la zona sur es la subcuenca de Xochimilco ubicándose en ella el área de interés. Geológicamente la formación que ahí se encuentra corresponde a sedimentos lacustres depositados durante el Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno), principalmente arcilla bentonítica con

contenido variable de sales e intercalación de abundantes horizontes piroclásticos. Debido a la cercanía de la zona con las actividades volcánicas más recientes de la cuenca, el contenido de agua de estos depósitos lacustres es ligeramente menor que el obtenido en la parte central del área urbana, favoreciendo también la presencia de agua dulce a la formación de depósitos de turba. En general, la estratigrafía del subsuelo en el área de interés de acuerdo con la información disponible es la siguiente:

Superficialmente y hasta profundidades de 4 a 8 m se encuentra un depósito de limo orgánico poco areno-arcilloso, negro, de alta plasticidad, con contenido de agua variable entre 50 y 150 %, con índice de resistencia a la penetración estándar de un golpe, interestratificado con capas de arena limosa gris algunas veces pumítica y con contenidos de agua variable de 15 a 50 % en estado suelto. Subyaciendo a estos materiales se encuentra un depósito de arcillas bentónicas de alta compresibilidad, normalmente consolidadas, de 40 a 70 m de profundidad, con contenido de agua variable entre 200 y 350 % hasta profundidades del orden de 45 m y entre 100 y 150 % a profundidades mayores, de consistencia blanda, interestratificado con sedimentos volcánicos principalmente limos y arenas con espesor de 1 m, con una capa compacta de 5 m de espesor a 50 m de profundidad. Finalmente, bajo estos materiales se han identificado suelos limo-arenosos y arcillo-arenosos de alta compacidad, con contenido de agua del orden de 20 % . El nivel de aguas freáticas se encuentra a 1 m con respecto al nivel medio del terreno.

- **Servicios de Ingeniería:** Utilizando la información del subsuelo y las pruebas de campo y de laboratorio, se analizó la estabilidad del bordo, la falla por deslizamiento de la cimentación del mismo y el asentamiento, evaluándose la necesidad de impermeabilización de la laguna e identificando los

mecanismos más probables de filtración. Asimismo, se seleccionaron los materiales de banco de préstamo disponibles que sean lo menos susceptibles a erosión interna para construir el bordo y definir el proceso constructivo del embalse y el bordo.

También se estableció el tipo de cimentación conveniente, la profundidad de desplante, la capacidad de carga y la magnitud probable de los hundimientos para las estructuras de toma y control de la laguna.

Finalmente, se elaboró un informe técnico que contiene todos los resultados del estudio, los criterios empleados para el diseño del embalse, del bordo y de las estructuras auxiliares, las conclusiones y recomendaciones así como las especificaciones de construcción del bordo.

### **2.2.3. Proyecto de los bordos perimetrales.**

El embalse de la laguna de regulación quedará constituido por el área delimitada por los bordos de tierra de sección transversal trapezoidal, con ancho de corona de 3 m, inclinación del talud mojado 3:1 (horizontal:vertical), 2:1 del talud seco y cota de proyecto de la corona y de funcionamiento hidráulico a la elevación 2,236 m respecto al nivel del mar. El hecho de existir una diferencia en el espesor de los depósitos arcillosos dentro de la misma área de interés, siendo además de mayor compresibilidad los que poseen un contenido de agua más elevado, y al tenerse abatimientos piezométricos importantes debido a la extracción del agua del subsuelo mediante el bombeo a que están sometidos en la zona los acuíferos del subsuelo, provoca un mayor hundimiento regional en ciertas zonas. Para alcanzar la cota de proyecto de la corona de los bordos que tendrán una altura variable entre 2.5 y 4 m respecto a la superficie del terreno, se debe considerar el peso de los materiales que constituirán los

bordos y que transmitirán incrementos de esfuerzos al subsuelo provocando la consolidación local de los depósitos arcillosos lo que provoca a su vez el hundimiento de los bordos y la consiguiente disminución de la cota de su corona.

**a) Hundimiento regional:**

Los hundimientos regionales en el área de interés se obtuvieron de la medición directa de los hundimientos, mediante bancos de nivel superficiales referidos a bancos de nivel profundos en diferentes periodos de mediciones. El hundimiento diferencial entre los extremos del área que ocupará la laguna aumentó de 15 cm por año entre noviembre de 1976 y octubre de 1980, a 19 cm por año en el periodo comprendido entre julio de 1987 y abril de 1988. Se considerará entonces un hundimiento regional diferencial medio de 15 cm por año entre dichos extremos que para compensarlo se aumentarán a la cota de proyecto de la corona de los bordos 30 cm.

**b) Hundimientos por consolidación local:**

Se calcularon los hundimientos por consolidación local de los depósitos arcillosos del subsuelo debidos al peso de los bordos y se determinó la distribución de esfuerzos con la profundidad aplicando la teoría de Boussinesq; en base a los resultados obtenidos y considerando la geometría de los bordos, se calcularon los asentamientos aplicando la teoría de Terzaghi, tomándose en cuenta la distribución de presiones efectivas actuales del subsuelo que considera los abatimientos piezométricos existentes, las características de sondeo y las curvas de compresibilidad de los estratos arcillosos afectados por los incrementos de esfuerzo producidos por las sobrecargas aplicadas por los bordos. De acuerdo a los esfuerzos efectivos actuales del



subsuelo y a los esfuerzos de preconsolidación de los depósitos arcillosos siendo éstos normalmente consolidados, se obtuvieron asentamientos de 1.0, 1.3 y 2 m para bordos de 2.5 , 3 y 4 m de altura respectivamente. Se estima que el 50 % de la consolidación local se alcanzará entre 1.5 y 2 años y para compensar el hundimiento de los bordos que ésta provoca, se considerará una sobre elevación en su corona de 70 cm.

En base a los resultados obtenidos tanto en hundimientos locales como regionales por el peso de los bordos y para mantener a mediano plazo, del orden de dos años como mínimo, la cota de proyecto hidráulico de 2,236 m de la corona de los bordos, será necesario agregarle las compensaciones antes vistas de 30 y 70 cm, quedando una cota de construcción de 2,237 m.

Una vez terminada la construcción de los bordos se deberán instalar sobre el eje de la corona bancos de nivel superficiales a cada 150 m, nivelándose cada tres meses respecto a un banco profundo para programar la sobre elevación de los bordos en función de su resultado y así mantener la cota del proyecto hidráulico. Para sobre elevar los bordos se retirará el recubrimiento de pasto del talud seco y de la corona, aumentando la sección del bordo al prolongar el talud mojado y colocar del lado del talud seco capas de 0.3 m de espesor de arcilla arenosa compactada al 90 % de su peso volumétrico seco máximo, dejando un talud 2:1 hasta alcanzar la cota correspondiente a la sobre elevación elegida de la corona, reinstalando posteriormente el pasto y los bancos de nivel.

#### c) Análisis de estabilidad de los bordos.

Se aplicó un método de análisis límite considerando mecanismos de falla compatibles con las características estratigráficas y físicas de los materiales involucrados, incluyendo el bordo y los materiales en que éste se

apoya. Siendo que la resistencia de los materiales a través de los que se tendrá la superficie potencial de falla no tienen diferencias importantes, el mecanismo de falla más probable es a lo largo de una superficie de falla cilíndrica. Para la determinación del factor de seguridad contra falla por rotación de los bordos en sus diferentes condiciones de trabajo, incluyendo una sobrecarga en la corona de  $1.5 \text{ ton/m}^2$  y la acción de un sismo actuando sobre la masa potencialmente deslizante, con un coeficiente sísmico de 0.1, se empleó un programa de computadora que aplica el método de análisis de Bishop simplificado. En los análisis realizados se considera que los materiales que constituyen el bordo tienen una cohesión de  $4.7 \text{ ton/m}^2$ , un ángulo de fricción interna de  $14^\circ$  y un peso volumétrico de  $1.5 \text{ ton/m}^3$ ; los materiales en que se apoya el bordo entre el nivel de la superficie del terreno y 7 m de profundidad tienen una cohesión de  $3.4 \text{ ton/m}^2$ , un ángulo de  $17^\circ$  y un peso volumétrico de  $1.4 \text{ ton/m}^3$  y subyaciendo a estos materiales se encuentran los depósitos arcillosos con cohesión de  $2.7 \text{ ton/m}^2$ , ángulo de  $8^\circ$  y peso volumétrico de  $1.2 \text{ ton/m}^3$ , todos estos valores obtenidos de las pruebas de compresión triaxial no consolidadas - no drenadas realizadas.

La estabilidad de los taludes se verá afectada desfavorablemente por las fuerzas de filtración existentes en el área de flujo, de tal manera que en la zona comprendida por arriba de la superficie potencial de falla considerada estará sujeta a fuerzas de filtración, que para efectos de cuantificación se traza la red de flujo correspondiente a las condiciones de trabajo del bordo, y la magnitud de la fuerza de filtración que obra en cada uno de los cuadrados de la red, con la dirección de la línea de flujo, se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$J = W Ah L$$

donde:

J: Fuerza de filtración en el cuadrado considerado.

W: Peso volumétrico del agua.

Ah: Caída de potencial o pérdida de carga.

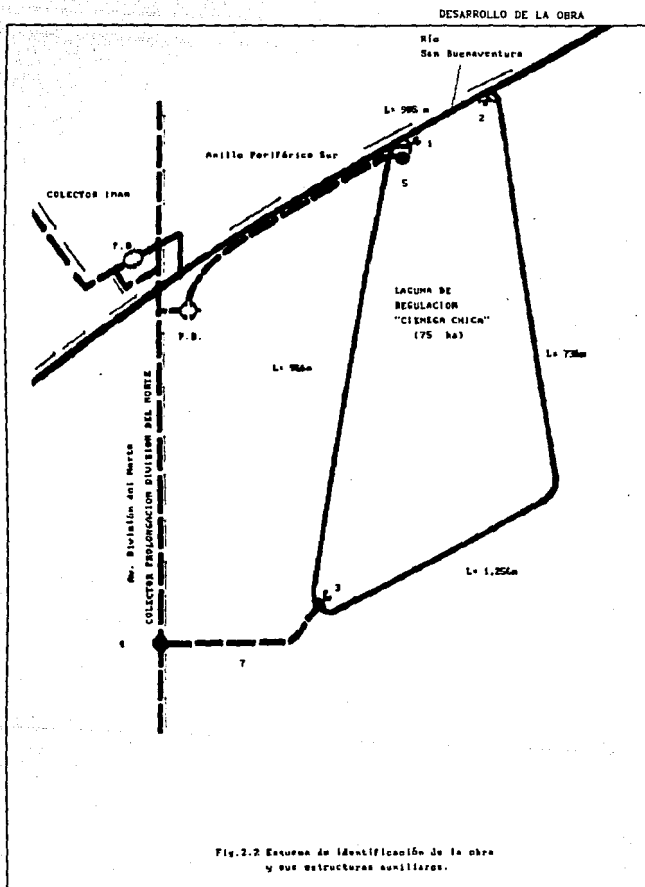
L: Lado medio del cuadrado considerado.

El momento de las fuerzas de filtración deberá sumarse al momento del peso del suelo calculado con el peso volumétrico sumergido bajo la línea de corriente superior y en condición saturada bajo ella. Se analizaron bordos de 3 y 4 m de altura determinando el factor de seguridad contra falla por deslizamiento a lo largo de una superficie cilíndrica, obteniéndose factores de seguridad de 2.8 y 2.3 respectivamente para el talud mojado en condiciones de vaciado rápido, y factores de seguridad de 2.6 y 2.5 para el talud seco en condiciones de laguna llena para taludes de 4 y 3 m de altura del bordo respectivamente.

#### 2.2.4. Estructuras complementarias.

Como estructuras complementarias (Figura 2.2) necesarias para la descarga y control de las aguas almacenadas en la laguna, se contemplan las siguientes haciendo tan solo mención de ellas ya que su análisis no es tema principal de esta tesis:

- 1- Estructura de entrada de agua del río San Buenaventura a la laguna de regulación.
- 2- Estructura de descarga de agua de la laguna de regulación al río San Buenaventura.



- 3- Estructura de descarga de agua de la laguna de regulación al colector de la Av.Prolongación División del Norte.
- 4- Estructura de conexión al colector de la Av.Prolongación División del Norte.
- 5- Estructura de descarga en la laguna de la línea de conducción de la planta de bombeo de alivio del colector en la Av.Prolongación División del Norte.
- 6- Línea de conducción de la planta de bombeo a la laguna de regulación.
- 7- Línea de conducción de la laguna de regulación al colector Av.Prolongación División del Norte.

### 2.3. DESCRIPCIÓN DE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA.

El problema de la construcción de lagunas de regulación está íntimamente ligado al problema de su diseño. En efecto, entre mejor elaborado esté un diseño, entre más grande haya sido la consideración que se dé al estudio de las condiciones del terreno donde se va a construir la laguna, menores serán los problemas que se presenten a la hora de ejecutar la obra.

En la construcción de la laguna de regulación se consideraron los siguientes aspectos a realizar:

- a) Desmante y limpieza
- b) Despalle y cimentación
- c) Trazo y nivelación
- d) Construcción de la pantalla impermeable
- e) Formación del bordo
- f) Acarreos
- g) Acabados

A continuación se describirá cada una de estas actividades:

#### 2.3.1. Desmante y limpieza.

##### a) Trabajos realizados:

Este es el primer paso a dar en un terreno donde se vayan a efectuar nivelaciones, excavaciones o rellenos. Puede hacerse a mano o con maquinaria según las condiciones del terreno. De esta manera se arrancó la poca vegetación existente como arbustos, maleza y cañas que había en la zona. Todos los desechos obtenidos del desmante y de la limpieza se pueden eliminar sacándolos del lugar, depositándolos en un lugar especificado para ello dentro del terreno o incinerándolos. En este caso el trabajo

en cuestión fue poco debido a la escasa vegetación existente en la zona, se hizo a mano y se desechó en el tiro oficial de la obra.

### 2.3.2. Despalle y cimentación.

#### a) Trabajos realizados:

##### ● BOMBEO.

Debido a que la zona de trabajo presentaba una sobresaturación, se utilizó un bombeo intenso durante todo el día; los estratos poco profundos de suelo se desecaron mediante la excavación de un agujero profundo dentro del área para mantener en él el bombeo. Se mejoró la efectividad y rapidez de la desecación mediante la elaboración de sangrías o sistema de zanjas para drenar el agua hacia el agujero las cuales fueron excavadas a mano. Se utilizaron bombas sumergibles eléctricas que no ocupan mucho espacio, son muy manejables y pueden además succionar el agua inclusive con tirantes de 10 cm, requiriéndose además una planta eléctrica para el funcionamiento de las mismas. De esta manera se pudo dar parte a las excavaciones.

##### ● EXCAVACIONES.

El despalle es la acción de quitar la parte superficial del terreno que contiene material orgánico, vegetal o desechable dejando preparada para las excavaciones el área especificada por los planos para posteriormente perfilar con la pendiente de los niveles de proyecto. En este caso, por tratarse de un área pantanosa y por lo mismo llena de lodo, se dificultaron un poco los trabajos ya que hubo que hacer un peine de acceso a la zona. Primero, se resanó el camino ya existente debido a su mal estado, agregándole tezontle con un traxcavo hasta emparejarlo de

manera que la maquinaria pudiera transitar sin problema alguno. Después, se empezó a crear el peine de entrada con una draga de la siguiente manera: paleo al frente, giro de  $90^\circ$  a la izquierda para depositar el lodo, regreso a la posición inicial, giro de  $90^\circ$  a la derecha para tomar material seco (arcilla), regreso a la posición inicial para descargar el material al frente y de esta manera ir formando el camino (Figura 2.3). Los materiales producto del despalme se eliminaron sacándolos del lugar en camión volteo para depositarlos en el tiro estipulado por la D.G.C.O.H. llamado "La Piraña" en la delegación Tláhuac.

Lo que llamamos la cimentación o plantilla para desplante del bordo consta de un cajón excavado en el terreno de 23 m de ancho por la longitud del tramo (130 m) y por 80 cm de profundidad, considerando excavación al corte, carga, acarreo y distribución de los materiales que se encuentran abajo de la rasante o arriba de la subrasante y que son inadecuados para la obra. Se decidió entonces hacer el despalme y la excavación de la cimentación conjuntamente, modificándose tan solo dicha profundidad que de 80 cm pasó a ser de aproximadamente 95 cm al considerar unos 15 cm de despalme. Con el objeto de lograr una liga íntima entre el terreno natural y el material de la plantilla, se procedió a escarificar el área con una profundidad del orden de 10 cm. En las zonas donde todavía se presentó humedad, se incorporó cal en una proporción de 45 kg por  $m^3$  de tepetate, formando con esta mezcla lo que será la base del desplante. Posteriormente, se procedió al relleno con tepetate y a su compactación cuya descripción y características serán dadas más adelante.

#### b) Materiales que intervienen:

- Lodo.
- Contenido de agua:



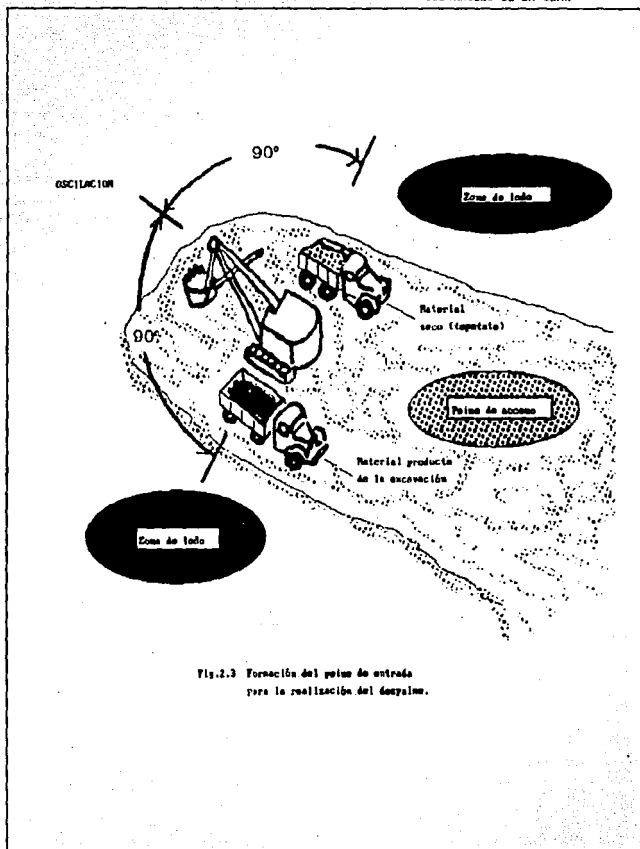


Fig.2.3 Formación del punto de entrada para la realización del desvalme.

El lodo es una tierra saturada con agua que llega a perder su estructura hasta el grado de adquirir algunas propiedades de los líquidos. Aún las tierras más secas contienen en películas muy delgadas, algo de agua que en cantidades moderadas adicionales pueden dar mayor firmeza actuando como agente de unión. Cuando la cantidad de agua contenida es suficiente para formar películas de agua alrededor de los granos, tan gruesas que lubriquen de modo que puedan moverse libremente entre sí, la tierra se ha convertido en lodo.

• Tamaño de las partículas:

La cantidad de agua necesaria para volver lodo las tierras minerales, varía según el tamaño, la forma y la colocación de las partículas. Los granos pequeños tienen mucho menos volumen que los grandes en proporción con el espesor de la película de agua que contienen por lo que forman lodos fluidos.

Los granos de ángulos afilados tienen proyecciones que penetran la película entrelazándose, y los granos grandes desarrollan presiones de contacto lo suficientemente altas como para cortar a través de la película. Si en una tierra mezclada existen suficientes partículas finas para evitar que las gruesas se toquen, el lodo tendrá las cualidades de los finos.

Una tierra de textura fina como la arcilla, permanecerá saturada más tiempo que una de textura gruesa ya que los espacios entre los granos son tan pequeños que el agua se mueve muy lentamente a través de ellos.

• La turba o mantillo:

La turba, material orgánico de descomposición, absorbe el agua en grandes cantidades de manera similar a una esponja, reteniéndola obstinadamente pese a la evaporación y al drenaje. Cuando la turba está saturada se asemeja a una gelatina de textura fibrosa o tersa de color café o negra, siendo ésta el más resbaladizo de los lodos. Se seca muy lentamente con una

contracción del 50 % o más, hasta convertirse en una tierra ligera y esponjosa.

- cal
- tezontle

**c) Equipo:**

- Bombas de 4" diam. eléctricas (4)
- Planta eléctrica (1)
- Draga Link-Belt LS-108, 3/4 yd<sup>3</sup> (1)
- Camión volteo (rentados)
- Traxcavo Komatsu D-57S (1)
- Camioneta estacas (1)

**d) Mano de obra.**

- Peón (3)
- Cabo (2)
- Operador de maquinaria (1)

**2.3.3. Trazo y nivelación.**

**a) Trabajos realizados:**

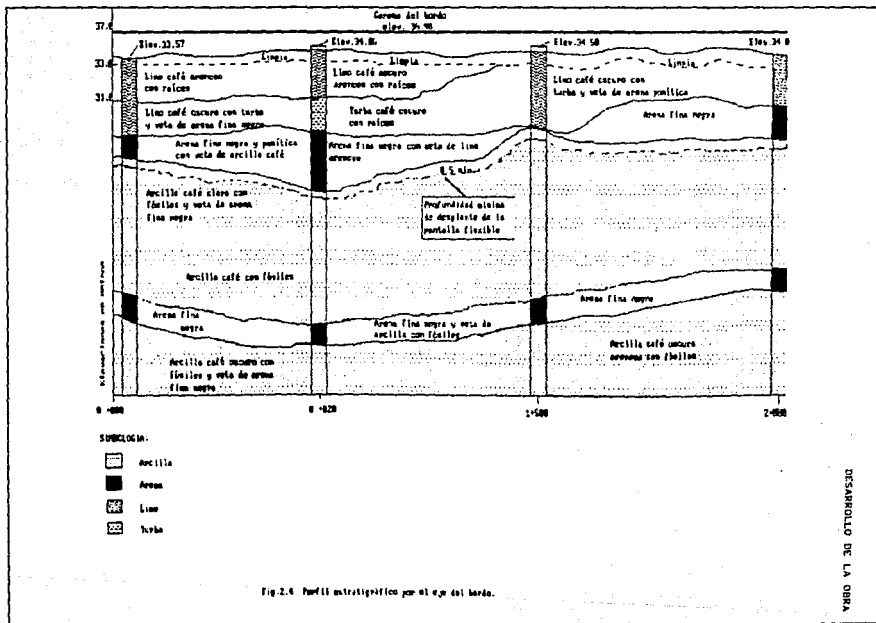
Estos consisten en trasladar las líneas y los niveles especificados en los planos al terreno por medio de bancos de nivel para las posiciones verticales y mojoneras para los trazos horizontales protegiendo y conservando fijos el banco de nivel y la línea base establecidos ya que de ésta se trasladarán al terreno todos los ejes y localización de niveles, incluyendo el eje del bordo.

**b) Equipo:**

Estas actividades se realizaron con el equipo topográfico preciso como es el teodolito o el nivel y sus respectivos accesorios: estadales, cintas, balizas, etc.

**2.3.4. Pantalla impermeable.****a) Trabajos realizados:****• PANTALLA.**

Si el terreno donde se está construyendo la laguna es permeable, se correría el riesgo de tener infiltraciones que contaminasen las agua subterráneas, por lo que sería necesario sellar el fondo de la misma. Este sellado se puede hacer con una capa de arcilla bien homogénea de no menos 40 cm de espesor bien compactada. También se han efectuado trabajos de sellado con telas impermeables plásticas y con revestimientos asfálticos siendo éstos, sistemas muy costosos por lo que su uso puede resultar antieconómico. En el caso de Ciénega Chica no se dará tratamiento alguno a su fondo manteniéndose las condiciones actuales de éste, por lo que con el fin de evitar que el agua almacenada en la laguna fluya bajo los bordos a través de los materiales limosos y areno-limosos que se encuentran superficialmente con espesor variable entre 4 y 8 m, se construyó una pantalla impermeable que quedó constituida por una zanja ubicada al centro de la corona del bordo de 0.6 m de ancho, con una profundidad tal que atravesó los materiales permeables superficiales (Figura 2.4), y se relleno conforme fue excavada con una mezcla de bentonita, cemento y agua bombeándola desde una pileta. Esta se comenzó a construir a partir de que se tuvo una altura de 0.80 m en la plantilla del bordo.



### • EXCAVACIONES.

Inicialmente se excavó una zanja de 90 cm de ancho y 50 cm de profundidad y se construyeron los brocales en los bordes de la trinchera (Figura 2.5); éstos se podían omitir si la zanja estaba limpia y en buenas condiciones, decisión que estaba a cargo de la supervisora. Posteriormente se excavó la zanja que alojó la pantalla con una retroexcavadora para que pudiera alcanzar la profundidad de proyecto de 5.73 m, teniendo que penetrar hasta 50 cm en los materiales arcillosos de baja permeabilidad. La excavación de zanjas con retroexcavadora es fácil y limpia sobre todo si la zanja es del mismo ancho que el corte del cucharón, permitiendo que la máquina se sitúe sobre la línea central con las orugas paralelas a ésta (Figura 2.6) y excavar una zanja de lados rectos, extrayendo el material excavado en capas. Lograda ya la profundidad deseada a lo largo del espacio que la máquina puede alcanzar, se traslada alejándose de la zanja unos tres metros y excavando una sección de esa longitud. Cuando ésta es profunda, se efectúan movimientos pequeños para cortar el fondo a un nivel exacto. El material excavado procedente de la zanja se amontonó a un lado de manera que no estorbaba en ninguna de las maniobras que se hacen con la retroexcavadora. Los cucharones con que se extrajo el material contaban con perforaciones afín de evitar el sacar la mezcla impermeable; la introducción y extracción de la herramienta de excavación debe ser lenta para no provocar ningún tipo de turbulencia que tenga como consecuencia la caída de las paredes de la zanja. Conforme se profundizó la excavación, se restituyó el material excavado con la mezcla impermeable a manera de ademe con el fin de mantener la estabilidad de la zanja hasta llenarla totalmente, colocándose posteriormente una lámina de agua para evitar agrietamientos. Por otra parte, cuando la pantalla presentó una reducción de volumen por decantación o por filtración, se

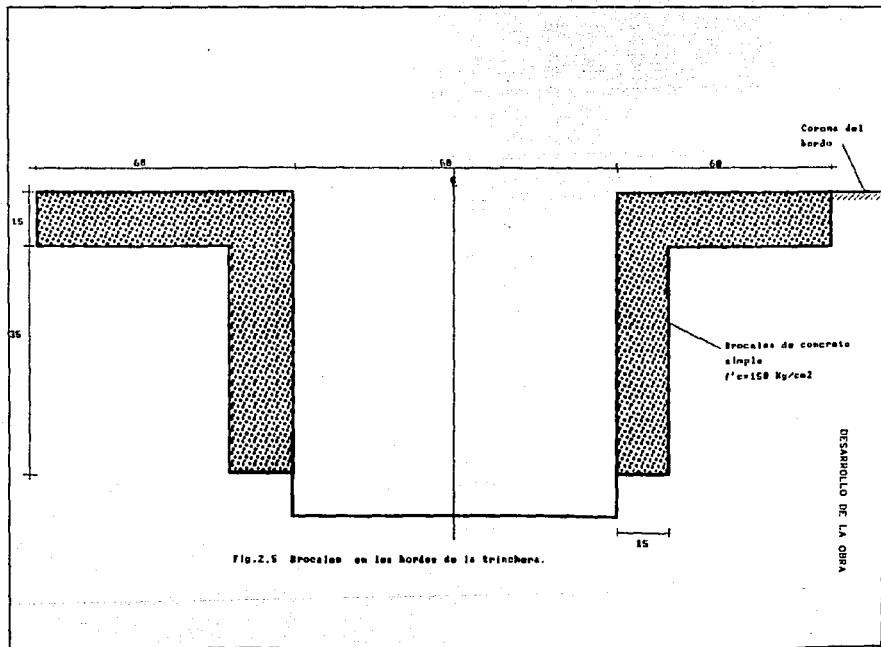


Fig.2.5 Brocales en los bordes de la trinchera.

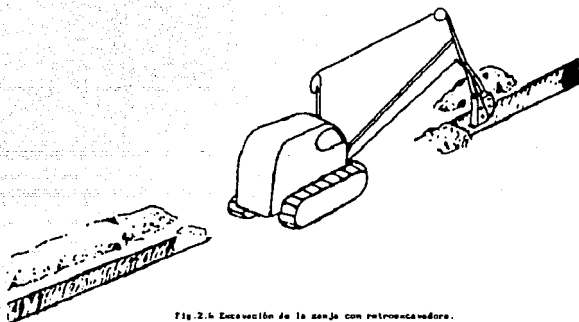


Fig.2.6 Excavación de la zanja con retrocavadora.

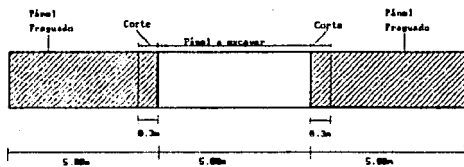


Fig.2.7 Cortes hechos en la pantalla.



rellenó lo faltante con mezcla hasta el nivel del brocal. La excavación de la zanja se efectuó en paneles alternados de 5 m de longitud, dejando pasar como mínimo tres días para que la mezcla tuviera la resistencia suficiente para autosoportarse y así poder atacar los paneles intermedios cortando del orden de 0.3 m la mezcla fraguada (Figura 2.7). Era obligatorio que el procedimiento constructivo de cada uno de los paneles fuese continuo para no alterar la calidad de la mezcla que estuvo sujeta a pruebas y cuyas especificaciones se enunciarán más adelante.

#### • MEZCLA DEL LODO FRAGUANTE.

La mezcla que conforma la pantalla se constituye de bentonita, cemento y agua en proporción de 10%, 10% y 80% respectivamente, y su elaboración se realiza en tanques abiertos construidos exprofeso en obra, de la siguiente forma: se tiene una primera pileta de 15 x 3 m y 2 m de altura, donde se almacena el agua. En la segunda pileta de dimensiones 2 x 3 x 2 m, se mezcla el agua con la bentonita dejándola reposar de manera que ésta se vaya hidratando con 24 horas de anticipación y 4 horas como mínimo con el fin de obtener una viscosidad suficiente que mantenga en suspensión el cemento, el que se incorporará a la mezcla media hora antes de ser vaciada en el panel excavado. Una vez que la mezcla bentonita-agua esté hidratada, reciclada y homogeneizada, se le agrega el cemento en la tercera pileta de 3 x 3 x 2 m de manera a completar la mezcla que tiene que ser reciclada como mínimo treinta minutos, respetando en todo momento la dosificación estipulada.

Las propiedades de este lodo fraguante deberán mantenerse dentro de los límites de las especificaciones de proyecto que a continuación se enuncian:

a) Viscosidad plástica	entre 20 y 25 centipoises
b) Límites de fluencia	entre 10 y 35 lb/100 ft <sup>2</sup>
c) Viscosidad Marsh	entre 100 y 110 s
d) Contenido de arena	máximo de 5%
e) Densidad	entre 1.20 y 1.30 g/cm <sup>3</sup>
f) P.H.	entre 10 y 15
g) Resistencia	entre 5 y 8 ton/m <sup>2</sup> (a los 28 días)

Cabe mencionar que la viscosidad de Marsh se utilizó para determinar en el momento, la calidad de la mezcla y su aceptación.

#### **b) Materiales que intervienen:**

##### **- Bentonita:**

Es una arcilla del grupo montmorilonítico originada por la descomposición química de las cenizas volcánicas presentando la expansividad típica del grupo en forma muy aguda, lo que la hace crítica en su comportamiento mecánico. Así pues, aumenta de volumen al absorber gran cantidad de agua, rellenando los huecos en suelos de granos sueltos y convirtiéndose en una gelatina que realmente impermeabiliza la tierra contra la filtración del agua. Puede usarse en forma de capa de 1 a 2 pulgadas (2.54 a 5.08 cm), de pantalla como es el caso en la Ciénega, o bien, mezclarse con otros suelos en proporción de 5 a 10 %, dependiendo de las características de esos suelos. Si son muy sueltos, se reducen los efectos de la bentonita al tener que esparcirse. Si la hay localmente, puede significar una solución económica pero si no es el caso, ésta se vuelve costosa aunque eficiente y segura. Para su uso en esta obra, la bentonita se trajo del estado de Durango.

- Agua:

El agua utilizada en la mezcla del lodo fraguante es agua tratada traída en pipa de una garza que se encuentra próxima a la obra y fue suministrada por la D.G.C.O.H. por medio de vales. A pesar de que el laboratorio recomendó como óptimo el utilizar agua potable por ser más pura, ya que con ella la mezcla en la zanja presentó una decantación de tan solo 10 cm a diferencia de los 60 cm que se decantaron con el agua tratada, no fue posible por no haber acceso a ésta.

- Cemento.

- Tabique rojo recocido de 7x14x28 cm.

- Acero de refuerzo

- Madera P.T.

- Concreto  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

- Alambre recocido

- Clavo

c) Equipo:

- Pipa (1)

- Retroexcavadora (1)

- Camión volteo (rentados)

- Bombas (2)

d) Mano de obra:

- Cabo (1)

- Oficial (2)

- Peón (8)

- Chofer (1)

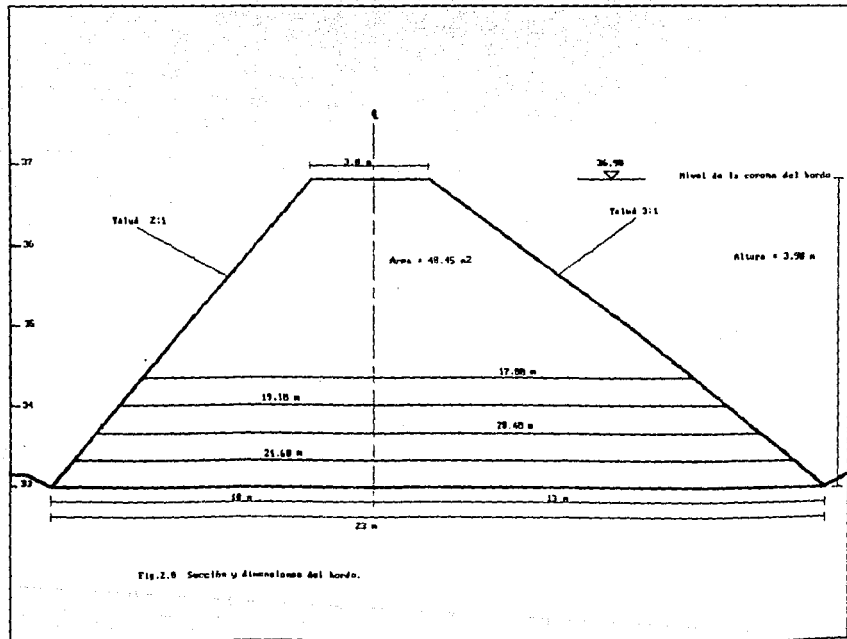
- Operador de maquinaria (1)

### 2.3.5. Formación del bordo.

#### a) Trabajos realizados:

Para efectuar la construcción del bordo se tuvo que desecar parte del área ya que ésta se encontraba inundada; ésto se hizo levantando un bordo auxiliar con costales en una línea paralela al bordo a 10 m de distancia. El agua que quedó al sur del bordo se bombeó al norte del mismo.

El material con que se formaron los bordos, se disgregó de manera a no presentar grumos o terrones mezclándolo con la hoja del pata de cabra hasta obtener una revoltura homogénea en su constitución y granulometría; éste debe ser impermeable (tepate arcilloso) y tiene que satisfacer ciertas especificaciones. Se colocó en capas de 0.3 m en estado suelto, como máximo, compactadas del lado húmedo con un contenido de agua de +2% del óptimo al 90% de su peso volumétrico seco máximo, según la prueba proctor estándar, empleando rodillo pata de cabra. Con objeto de evitar que los materiales en los taludes tuviéser una compactación inadecuada, se construyeron originalmente los bordos con un sobreecho de 30 cm en cada lado, para posteriormente afinar los taludes y así alcanzar la sección de proyecto o bien, una vez construido el bordo se compactó pasando un equipo sobre el mismo. A veces es conveniente hacer un retoque manualmente, agregando material faltante y retirando el excedente, con el propósito de obtener el perfil y las secciones proyectadas (Figura 2.8). En el control de la compactación de los diferentes materiales se recomendó que desde las primeras capas tendidas se desarrollára un terraplén de prueba con el fin de definir el número de pasadas óptimo necesarias para alcanzar el grado de compactación recomendado considerando el equipo elegido. Se efectuaron por otra parte, pruebas de compactación en las capas para verificar el porcentaje de compactación alcanzado en la construcción; se recomendó hacer



una prueba consistente en una cala volumétrica por cada 50 m<sup>3</sup> de material compactado.

Los taludes húmedos de los bordos se protegieron con una capa de tezontle y un filtro de grava-arena que se compactaron con un rodillo liso vibratorio ligero (2 a 4 ton) hasta alcanzar pesos volumétricos secos del orden de 1500 kg/m<sup>3</sup> (Figura 2.9).

#### • COMPACTACION.

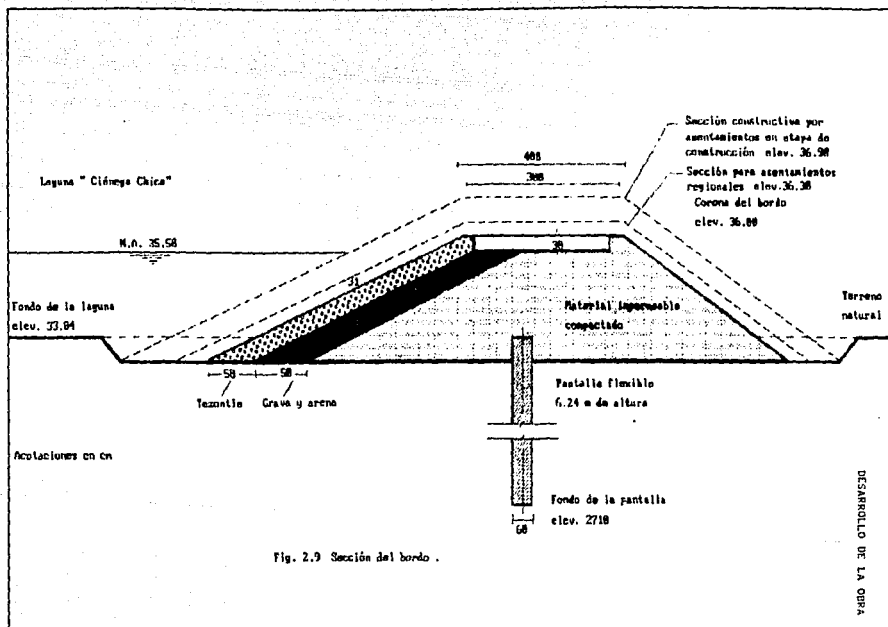
El término compactación se refiere al acto de aumentar artificialmente la densidad del terreno interviniendo la presión recíproca entre las partículas del suelo y la expulsión de aire o agua de los espacios intermedios.

Cuando el mismo proceso ocurre en la naturaleza como resultado de mojadura, resequedad, heladas, deshielos, movimientos subterráneos de agua y el peso de las capas superiores del terreno se llama asentamiento.

La densidad del suelo se mide en términos de peso-volumen o como porosidad en porcentaje del volumen total; una gran porosidad indica una baja densidad.

El propósito de la compactación es reducir la deformabilidad, disminuir la permeabilidad y susceptibilidad de los suelos a la erosión por el agua y estabilizar el suelo, especialmente en rellenos artificiales, terraplenes y presas de modo que muestren un cambio mínimo en volumen o forma, bajo las influencias del tiempo y las condiciones climatológicas o también bajo el peso de estructuras, pavimento y tráfico.

La tierra se puede compactar por presión, amasado, vibración, impacto o por combinaciones. Las aplanadoras de rueda de acero y de pata de cabra suministran presión, las aplanadoras de llantas neumáticas hacen presión con algo de amasado, las de ruedas oscilantes amasan y presionan y las vibratorias producen tanto



presión como vibración; existen también placas vibradoras que suministran una presión insignificante.

Las aplanadoras con ruedas de acero dan buenos resultados en casi todos los tipos de terrenos salvo en arenas limpias, en capas de 10 a 30 cm de profundidad dependiendo del tipo de suelo y peso de la aplanadora. En el caso de suelos de arcilla las capas deben limitarse de 10 a 20 cm para evitar la posible compactación de la parte superior de la capa solamente.

Las aplanadoras con llantas de hule son adecuadas para cualquier tipo de suelo pero el peso y la presión de las llantas deben ser correctas para el tipo de este; unidades muy pesadas son eficientes para comprimir rellenos de roca.

La vibración es lo más eficiente en suelos de arena o grava, pero puede aumentar la eficiencia de una aplanadora en cualquier suelo, y es especialmente eficiente para sacar el exceso de humedad a la superficie.

La compactación por impacto con martillos neumáticos o de motor de gasolina, por apisonadoras de salto o por vibradores se recomienda para rellenos de superficies pequeñas.

Por último, las aplanadoras de pata de cabra compactan especialmente con las bases de las patas desde el fondo hacia arriba. A medida que el suelo se compacta la aplanadora se levanta y sale del terreno, dando mejores resultados en suelo de grano fino del grupo de los plásticos como las arcillas que en los tipos arenosos o de grava. Por lo mismo, se seleccionó este compactador para la formación de los bordos de la Ciénega ya que se trabaja con puro tepetate.

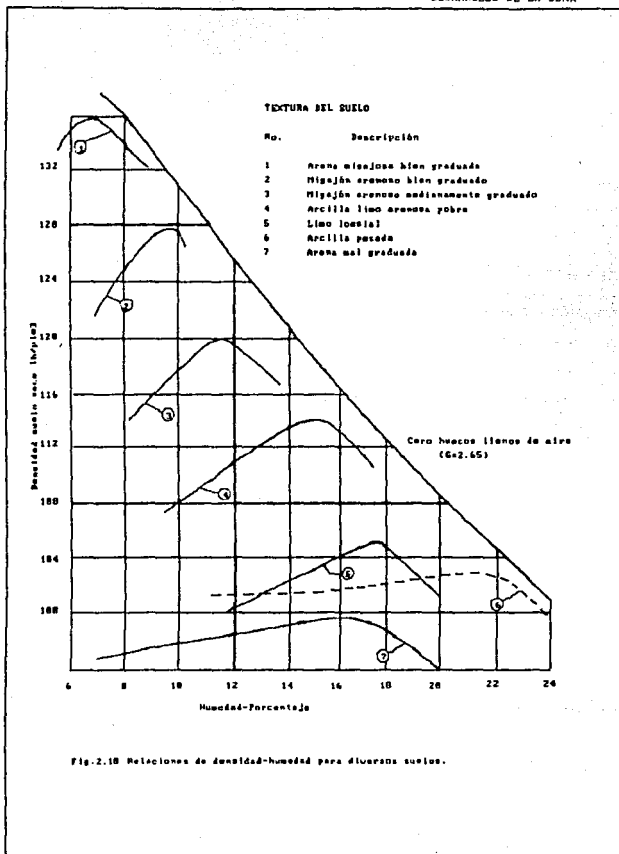
La compactación de suelos finos como es el caso en este bordo, debe hacerse tendiendo a lograr condiciones óptimas para el conjunto de las siguientes propiedades:



- Homogeneidad, entendida sobre todo como la ausencia de zonas potenciales de flujo concentrado.
- Impermeabilidad
- Baja compresibilidad, para evitar presiones de poro excesivas o distorsiones inaceptables.
- Permanencia de propiedades ( compresibilidad, resistencia al corte y resistencia a la erosión interna) en condiciones de saturación.
- Ductilidad suficiente para soportar asentamientos diferenciales sin agrietamiento.

#### ■ HUMEDAD.

El agua contenida en el suelo determina en gran parte su comportamiento. El factor más crítico en la compactación de una tierra es su humedad ya que sólo puede ser completa y adecuadamente compactada si contiene la cantidad de agua correcta; dicha cantidad es llamada humedad óptima. El agua debe ser suficiente para producir una lubricación que permita a los granos del suelo deslizarse entre sí a medida que son empujados para juntarse, pero no tanta que forme un cojín incompresible entre cualquiera de ellos. La figura 2.10 nos muestra la relación entre la humedad y la compactación para varias clases de suelo siendo la número 6 la que nos interesa. Es muy probable que un suelo demasiado húmedo adquiera bajo la compactadora un comportamiento elástico formando ondas adelante y a los lados y volviendo a su estado original tras el paso de la misma. En el caso de los suelos elásticos el secado se puede acelerar cuando el agua es expulsada hacia arriba por el calor generado al paso de la máquina. Por el contrario, el suelo muy seco bajo presión se puede volver suelto o polvoso o no llegar a compactarse al grado requerido. La práctica común que se realizó fue la de añadir a cada capa el agua



necesaria por medio de una pipa hasta que cumpliera con la humedad pedida. Es de suma importancia que los bordos se compacten con apego a las especificaciones para evitar hinchazón a causa del agua, desmoronamientos, infiltraciones o cualquier otro daño, y para ésto la compañía supervisora realizó periódicamente diversas pruebas de laboratorio que serán descritas a continuación.

#### • PRUEBAS DE LABORATORIO.

La función de las pruebas de compactación de laboratorio es permitir la especificación racional y el control de los trabajos de campo, mediante el estudio de las propiedades mecánicas de los suelos compactados y de sus relaciones con ciertas propiedades índices de fácil determinación; ésto se cumple en la medida en que los procedimientos de compactación en laboratorio permiten reproducir las condiciones de campo en especial el mecanismo y la energía de compactación exigiendo cierto conocimiento de las relaciones entre los factores que intervienen en el proceso y las propiedades mecánicas de los suelos compactados.

Se requieren diversas pruebas para determinar la humedad óptima de un suelo, el grado a que se puede compactar y si está compactando suficientemente en la obra; una de las más usadas es la Proctor Normal que se realiza de la siguiente manera:

Se humedece una muestra de suelo y luego se compacta en un molde normal de 4 plg de diámetro con un volumen de 1/30 de pie cúbico. El material se coloca en tres capas de aproximadamente el mismo espesor y cada capa se somete a 25 golpes de un pisón con una cara golpeadora de 2 plg de diámetro y un peso de 5 1/2 lb, cayendo libremente a una distancia de 12 plg. Esto produce 12,400 pies libras de energía por pie cúbico de suelo.

La muestra que contiene un volumen determinado, se pesa secándola a 105° C durante 20 minutos. Después de ésto, se pesa nuevamente.

La humedad se computa por la diferencia entre el peso del material seco y el del húmedo. El peso seco se registra al igual que la humedad; ésta última se registra en porcentaje de peso de la muestra completamente seca.

#### **b) Materiales que intervienen:**

Se realizó un estudio de los bancos de materiales que se requirieron para la formación de los bordos cuya finalidad consistió en la investigación y muestreo de éstos, así como en la caracterización de los materiales que pudiesen ser obtenidos de ellos, mediante apropiados ensayos de laboratorio. Se trabajó en tres bancos cuyas principales características se resumieron en una tabla (Figura 2.11) considerando su denominación, ubicación (Figura 2.12), tipo de material, volumen aprovechable, distancia de acarreo, tratamiento requerido, utilización en la obra y régimen de propiedad. Conforme a los resultados del estudio, se hicieron las siguientes recomendaciones tomando en cuenta la calidad de los materiales y la óptima ubicación de las fuentes de abastecimiento:

##### **- Tepetate:**

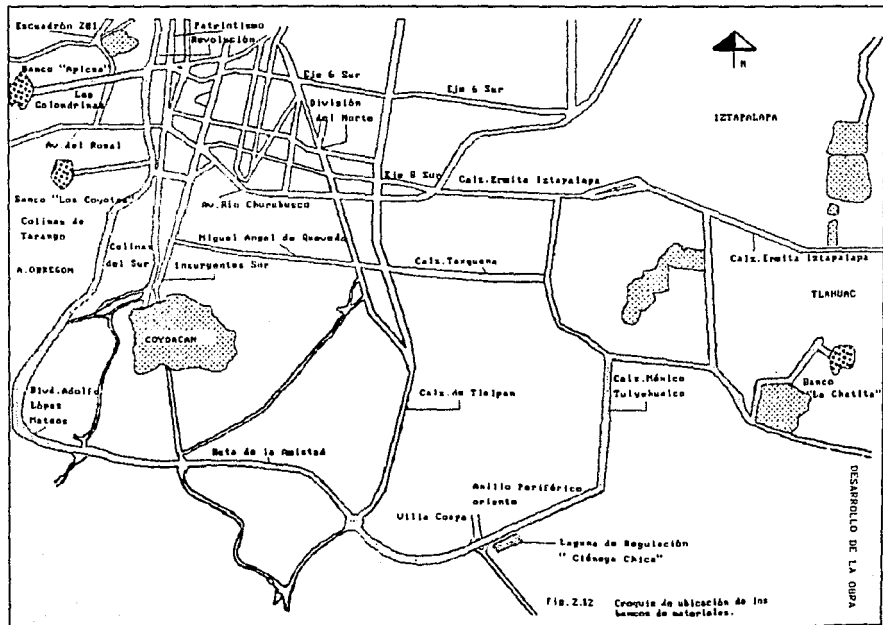
Como materiales impermeables se emplearon las arcillas (tepetate) de mediana plasticidad (CL) o similares procedentes del banco "APICSA", cuidando que su contenido de arena (material que pasa la malla # 4 pero se retiene en la # 200) sea inferior a 30 % y que su límite líquido (LL) y su índice plástico (IP) no sean mayores de 45 % y 20 % respectivamente.

##### **• Minerales constitutivos de las arcillas:**

La forma y el tamaño de las partículas de arcilla así como su composición y estructura molecular, ocasionan que entre ellas y el

No. de Banco	Denominación	Régimen de propiedad	Localización	Clasificación	Volumen Aprovechable	Clasificación propuesta	Distancia de Acarreo	Tratamiento	Utilización
1	"La Chatita"	Privada	Calle Moras s/n eq. Av. Cuatro San Lorenzo Texanco	Gravas de tezontle	Suficiente	90 10 00	12.1 Mm	Cribado	Revestimiento
				Minas de tezontle	Suficiente	50 10 00		Cribado	Material Filtrante
2	APICSA	Privada	La Villa Lobos s/n Col. Colondras	Arcilla de mediana plasticidad con poca arena	Suficiente	70 30 00	24.6 Mm	Ninguno	Corazón Impermeable
3	"Los Coyotes"	Privada	Av. Centenario No. 888 Col. Colinas de Tarango	Arena pura con arcilla	---	---	22.6 Mm	Mesclado	Material de transición
				Arena con arcilla poco limosa	Suficiente	90 10 00		Ninguno	Material de transición

Fig. 2.11 Resumen de las características de los bancos.



agua que las rodea haya una gran interacción. El mecanismo de esta interacción no es del todo conocido, pero es un hecho que alrededor de cada partícula arcillosa hay una capa de agua fuertemente absorbida con propiedades mecánicas que difieren a la del agua normal, en particular con mayor viscosidad y cierta rigidez que aumentan con la proximidad de las partículas de la superficie. La arcilla es el producto final al que llegan los agentes de descomposición química partiendo de los numerosos minerales que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas. Su comportamiento mecánico se ve fuertemente influido por su estructura general y constitución mineralógica en particular, a diferencia de los suelos gruesos. Las arcillas están básicamente constituidas por silicatos de aluminio hidratados presentando a veces silicatos de magnesio, hierro u otros metales también hidratados; éstos tienen en general, una estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas ya sea sílicas o aluminicas. La primera variedad está constituida por un átomo de silicio rodeado de cuatro de oxígeno formando un tetraedro, que a su vez se agrupa en unidades hexagonales, sirviendo de nexo un átomo de oxígeno para cada dos tetraedros. La segunda variedad está formada por retículas de octaedros con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor. Los minerales de arcilla se clasifican en tres grandes grupos de acuerdo con su estructura reticular: caolinitas, montmorilonitas e illitas. El primer grupo está formado por una lámina silícica y otra aluminica superpuestas indefinidamente. Las arcillas caolínicas serán relativamente estables en presencia del agua ya que las moléculas de ésta no pueden entrar entre las retículas debido a su firme unión. Las montmorilonitas se forman con una lámina aluminica entre dos silícicas superpuestas también indefinidamente, siendo en este caso una unión entre retículas débil, por lo que el agua se introduce con facilidad en la estructura tendiendo a la

inestabilidad y macrofísicamente traduciéndose en una expansión. Por último, las lilitas se estructuran análogamente a las anteriores, pero su constitución interna tiene tendencia a formar grumos de materia que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; ésto provoca que su expansividad sea menor.

**- Tezontle:**

Se utilizaron arenas y gravas de tezontle como material filtrante y rezaga o revestimiento procedentes del banco "La Chatita", cribados de tal manera que tengan una secuencia granulométrica específica. El recubrimiento del bordo se conformó de gravas de tezontle con tamaños máximos de 3 cm.

- costales
- alambre recocido

**c) Equipo:**

- Compactador pata de cabra Caterpillar 815 (1)
- Rodillo liso (1)
- Pipa (1)

**d) Mano de Obra:**

- Peón (3)
- Cabo (1)
- Ayudantes (2)
- Mecánico (1)
- Chofer (1)
- Operador de maquinaria (1)



### 2.3.6. Acarreos.

Los acarrees se llevaron a cabo por la Coalición Nacional de Transportistas Particulares A.C. utilizando camiones volteo de 7 m<sup>3</sup> de capacidad. Se acarrearón cerca de 8.5 ton de tepetate siendo éste el material de mayor importancia en esta obra, y en menores volúmenes tezontle, grava y arena.

### 2.3.7. Acabados.

#### a) Trabajos realizados:

Tras haber terminado la conformación del talud con todo y su filtro de grava y arena, se procedió a extender con ayuda de un traxcavo, la tierra vegetal tomada del lugar, emparejándola y aflojándola, con el fin de iniciar la siembra del pasto. Este se compró en rollos, se cortó y se colocó a mano hasta cubrir toda el área del talud, apisonándolo para hacer un contacto firme con la tierra.

Es esencial que el césped recién colocado se riegue cuidadosamente y según sea necesario, hasta que se vea que se puede valer por sí mismo realizándose esto con una pipa. De esta manera no sólo se mejoró el aspecto del lugar sino que también es una buena forma de proteger el talud inclinado del bordo.

Por otra parte se rodeó el terreno con una cerca de malla de alambre, quedando debidamente estirada y contando con postes cada tres metros.

El mantenimiento que requiere la laguna es mínimo: limpieza de taludes, desazolve, reposición de postes y malla de alambre, etc. evitando así entre otros los siguientes problemas:

- La acumulación excesiva de lodos en el lecho de la laguna, restándole capacidad de almacenamiento.

- La presencia de vegetación en los taludes pudiendo llegar a dañarlos.
- El mal funcionamiento de la compuerta de entrada y de las obras auxiliares.
- El deterioro o destrucción de la cerca protectora que propicia la entrada de personas ajenas a la obra y de animales principalmente ganado, con el peligro de ahogarse.

**b) Materiales que intervienen:**

- Tierra vegetal
- Pasto en rollo
- Agua
- Malla de alambre y postes

**c) Equipo:**

- Camión volteo (1)
- Pipa (1)
- Traxcavo (1)

**d) Mano de Obra:**

- Peón (3)
- Cabo (1)
- Oficial (1)
- Chofer (1)

### CAPITULO III

#### PLANEACION, PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRA

##### 3.1. PLANEACION.

Es la organización, la preparación técnica del trabajo, la previsión y el establecimiento del programa de avance de los trabajos por fragmentos definidos cuantitativamente y jalonados en el tiempo: es un empleo del tiempo previsto del desarrollo de las actividades. El planificar es dirigir y coordinar a la vez.

Es necesario hacer una planeación antes de empezar con la construcción de un proyecto ya que toda obra implica instrumental, material y hombres; necesita capitales y debe producir en un plazo de tiempo fijo una construcción definida por unos planos, unos presupuestos y diversas condiciones. Son estos recursos y estas limitaciones los criterios determinantes de la planeación que afectarán por lo tanto todas las actividades que concurren en la construcción. Para facilitar la planeación se debe coordinar a la vez, en el tiempo y en el espacio varias cosas como:

- Las múltiples tareas de la obra.
- El suministro y empleo de los materiales.
- El tipo, las cantidades, los tiempos de empleo y la rotación de los equipos.
- La mano de obra necesaria, su clasificación y los períodos de tiempo durante los cuales se necesitarán.
- La circulación de los planos y otros documentos de ejecución.

- El tiempo requerido para completar la obra.
- La cantidad de financiamiento necesario, en caso de haberlo.

Por otra parte, la planeación tiene influencia sobre las cantidades que se muestran en el proyecto ya que con frecuencia se revela la existencia de factores que afectan el costo de la obra por lo que es recomendable para la contratista el hacer parte de ésta antes de realizar el presupuesto del proyecto. Este último se suele dividir en varias etapas de construcción independientes o en conjunto, sobre todo si se trata de una obra grande, pudiendo inclusive construirse bajo diferentes contratos. En el caso de la Ciénega Chica por ser una obra pequeña, se dividió en operaciones de construcción entendiendo por éstas las porciones de la obra que pueden llevarse a cabo con un mismo tipo de maquinaria o con la misma mano de obra y siendo las que a continuación se mencionan:

- a) Excavación
- b) Relleno o formación del bordo
- c) Formación de la pantalla
- d) Acarreos

Para poder estimar el adelanto al construir la obra, se debe determinar la cantidad de trabajo que engloba cada operación expresándola con la unidad apropiada, para después estimar la velocidad con que se hará el trabajo deduciendo los tiempos perdidos debido a lluvias o a otras causas. De esta manera, será posible estimar el tiempo total de cada operación tomando en cuenta la secuencia de las operaciones y considerando la economía de la construcción. Se debe seleccionar el número de obreros y las unidades de equipo que resulten en la construcción más económica

consistentes con la operación en particular y con toda la obra en general. Puede ser posible dilatar el comienzo de una operación con el fin de transferir el equipo y mano de obra de otra, reduciendo así el número de obreros y de unidades y eliminando la necesidad de comprar o rentar maquinaria adicional. Para todo lo anterior, se dispondrá de documentos de visualización de las decisiones: gráficas, diagramas, cuadros, curvas o programas que ponen en evidencia:

- Las tareas a desarrollar.
- Sus duraciones respectivas.
- Su encadenamiento o solapamiento.

### **3.2. PROGRAMACION.**

La programación consiste en fraccionar el problema a resolver, en este caso la ejecución de los trabajos, la obra, en instrucciones codificadas, en una serie de operaciones precisas, determinadas, que constituyen el programa de ejecución, el desarrollo de las operaciones necesarias, teniendo en cuenta las distintas limitaciones y los recursos asignados a la obra. Es en otras palabras la conclusión de una coordinación estudiada metódicamente cuya herramienta son los programas. Estos tienen un doble fin:

- 1- Su función esencial que es la de prever, coordinar y controlar el avance de las actividades correspondientes.
- 2- La visualización de manera sencilla y exacta de los diversos aspectos de las tareas a desarrollar

como son la duración, los elementos y los costos, explicando las relaciones entre estas actividades.

En otras palabras un programa bien concebido debe ser un instrumento de trabajo permanente que permite la regulación y el control constante de la obra.

### 3.2.1. Programas de obra.

Existen diversas categorías de programas en una obra de las que se mencionarán los principales. El programa general de obra prevé para las instalaciones a que se refiera y en el interior del plazo contractual, el jalonamiento de las etapas de ejecución, el ordenamiento de las fases de los trabajos y la coordinación de las intervenciones. Este programa que usualmente se representa por un diagrama de barras, muestra para una obra dada, las operaciones, la unidad, la cantidad y la rapidez de construcción de cada operación incluyendo su fecha estimada de comienzo y terminación. Es recomendable al final de cada semana o cada mes, incluir en el programa la cantidad real de trabajo terminado en cada operación y en una fecha dada, para poder así determinar rápidamente el avance de obra.

En general, los programas se dividen en meses a menos que la obra sea muy pequeña y se divida en semanas, mostrando con claridad las fechas. Todo programa deberá identificarse con el nombre del proyecto y de la contratista a cargo y la localización de la obra (Figura 3.1).

De este programa se deriva la necesidad de una segunda categoría de programas de los que se enunciarán algunos a continuación:

- Programa de maquinaria.

Este programa asegura la eficiente utilización del

PROGRAMA DE OBRA

Obras: Laguna de regulación "Ciénega Chica".

Tramo: II (R-130 al R-266 Km).

Fecha de ejecución: 22 Nov. 1989 al 22 Ene. 1990.

Diagrama de Barras (Meses y semanas)

CONCEPTO	M E S 1	M E S 2	M E S 3	M E S 4
Instalación y Nivelación	■			
Trabajos preliminares	■			
Excavación	■	■		
Acercos	■	■	■	
Balises	■	■	■	
Formación de la Pastilla	■	■	■	
Trabajos complementarios		■	■	
Limpieza y Botargas			■	

Fig. 3.1. Programa de obra o construcción.

equipo así como su adecuado mantenimiento con el fin de obtener el óptimo rendimiento práctico posible.

- Programa de mano de obra.

Este programa concierne a la optimización de los ritmos y de los elementos, la distribución y el movimiento de personal de ejecución. El número de trabajadores necesario durante la construcción de la obra puede determinarse estimando el número que se requiere para cada operación (Figura 3.2).

- Programa de pedidos.

Este regulará el ritmo de los aprovisionamientos, las fechas límites de entrega en función de los plazos de tiempo exigidos por los proveedores y la fecha de utilización prevista en el programa general de obra, evitando así la saturación de las zonas de almacenaje.

- Programa de financiamiento.

- Programa de realización de planes de ejecución.

La forma material del programa varía según:

- La obra correspondiente.
- El objeto de la síntesis a visualizar: personal, materiales, actividades, costos.
- La función especial que va a cumplir: simple calendario provisional, diagrama de ordenamiento, gráfica de lanzamiento, curva de avance, etc.



PROGRAMA DE MANO OBRA

Obra: Laguna de regulación "Ciénega Chica".

Tramo: II (0+130 al 0+260 Km).

Fecha de ejecución: 22 Nov. 1989 al 22 Ene. 1990.

Diagrama de Barras ( meses )

CONCEPTO	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Residente de Obra	■	■				
Subcontratos	■	■				
Ingenieros	■	■				
Operadores	■	■				
Oficiales y peones	■	■				

Fig. 3.2. Programa de mano de obra.

- La persona que va a utilizarlo: del ingeniero al jefe de obra.

### 3.2.2. Métodos de programación.

Existen además diversos métodos, entre ellos los más usuales son:

#### a) Diagrama de barras o de Gantt.

Consiste en un gráfico en el que cada actividad es representada por una barra cuya longitud es proporcional a su duración. Para su elaboración se siguen los siguientes pasos:

- 1- Se determinan las actividades en que se desea descomponer el proceso y se define la duración de cada una de ellas.
- 2- Se eligen las restricciones a observar.
- 3- Se ordenan las actividades y se produce el dibujo.

#### b) Método de la ruta crítica.

Es un proceso administrativo de planeación, programación, ejecución y control de todas y cada una de las actividades componentes de un proyecto que debe desarrollarse dentro de un tiempo crítico y a un costo óptimo. Es aplicable en cualquier situación que se tenga que llevar a cabo una serie de actividades relacionadas entre sí, para alcanzar un objetivo determinado. Tiene como elementos básicos un diagrama formado por elementos y actividades, y una ruta crítica.

### 3.3. CONTROL DE OBRA.

A lo largo de la ejecución se debe controlar que el esfuerzo nos lleve a la obra terminada tal y como se concibió. Para revisar si ésta coincide con la diseñada y si se cumplió la planeación, conviene no esperar al fin de la obra; es decir, si las cantidades y calidades calculadas para usar de los recursos disponibles realmente fueron las utilizadas. Si algo fallara no correspondería la planeación con la ejecución. Así pues, este control se debe llevar a cabo para saber como se va desarrollando la obra tratando de optimizar rendimientos y minimizar los gastos, ya que toda previsión y decisión puestas en práctica implican un control de las acciones desarrolladas. Los responsables en obra a quienes están confiados los recursos a emplear -personal, material e instrumental- deben rendir cuentas de su gestión, midiendo la eficacia en función de los resultados, a través de un control constante. Este debe ser dinámico ya que no solo debe constatar pérdidas o ganancias sino también permitir:

- Comparar constantemente la realidad a las previsiones.
- Corregir las acciones que pueden resultar erróneas aplicando inmediatamente medidas correctivas adecuadas.
- Explotar los resultados obtenidos a fin de hacer progresar los estudios referentes a la rentabilidad de los medios utilizados, a los métodos de ejecución y precios de costo.

El control pretende también conseguir otros objetivos tales como:

- El respeto al pliego de condiciones: plazos de tiempo, calidad de la obra, etc.

- El respeto de las leyes y reglamentos en vigor relativos a la construcción, al trabajo, a la seguridad, a la higiene, etc.

De estos objetivos se desprenden los siguientes puntos:

1- Todos los elementos que actúan sobre el precio de costo de la obra y en particular los que fueron objeto de previsiones numéricas, a saber:

- la mano de obra,
- los materiales,
- los gastos de instalación,
- los métodos y procesos de ejecución,
- el desarrollo de la obra,
- la ejecución de las órdenes dadas,
- la seguridad de las instalaciones, etc.

2- El control del presupuesto por medio de la realización de una contabilidad analítica.

3- Los controles externos relativos a:

- las obras: calidades, dimensiones, respeto de las normas,
- la salud de los obreros: control médico, higiene de los locales,
- la higiene, la seguridad general de las instalaciones y de las máquinas,
- aplicación de las leyes sociales,
- respeto de los reglamentos de construcción y urbanismo,
- respeto a los reglamentos de policía de las instalaciones.

El control debe ejercerse permanentemente y se traduce en muy diversas formas: elementos numéricos, cuadros, gráficas redactadas en documentos generalmente preestablecidos.

A continuación se presentan los reportes para control que se utilizaron en la obra "Ciénega Chica":

**A.- Reportes de maquinaria.**

Este control consta de varias partes:

● **A.1. Reporte diario de trabajo.**

Por la tarde se investiga con el sobrestante cuantas horas trabajó cada máquina que tenga a su cargo, debiendo reportar las horas trabajadas y las ociosas, especificando las causas de estas últimas.

Para este reporte se utilizan dos tipos de formas:

- Reporte de trabajo (Forma A.1.1)
- Reporte de maquinaria (Forma A.1.2)

● **A.2. Reporte semanal de trabajo.**

Al cerrar la semana se suman las horas teóricas que debió trabajar cada una de las máquinas, se desglosan las horas trabajadas y las horas ociosas (reporte semanal de horómetros), haciendo observaciones de lo que realizó la máquina en sus horas efectivas. Se hace este reporte con original y copia para oficina central y obra respectivamente, acumulando semanalmente las horas teóricas, trabajadas y ociosas de cada máquina.

Para este reporte se utilizan dos tipos de formas:

- Reporte de horas trabajadas (Forma A.2.1)
- Reporte semanal de horómetros (Forma A.2.2)

**REPORTE DE  
TRABAJO**

MAQUINA No. \_\_\_\_\_ OBRA: \_\_\_\_\_  
 PRIMER TURNO \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 SEGUNDO TURNO \_\_\_\_\_ OPERADOR \_\_\_\_\_  
 RELACION DE HORAS: \_\_\_\_\_  
 TIEMPO EFECTIVO \_\_\_\_\_ HS. SEGUN HOROGRAFO  
 REPARACIONES \_\_\_\_\_ HS. APRECIATIVO  
 TIEMPO MUERTO \_\_\_\_\_ HS. "  
 LLUVIAS \_\_\_\_\_ HS. "

RELACION DE TRABAJOS EFECTUADOS \_\_\_\_\_

RELACION DE TIEMPOS PERDIDOS, FALLAS.

RECOMENDACIONES: \_\_\_\_\_

REPORTO

FORMA A.1.1. Reporte de trabajo.

**R E P O R T E D E M A N U T E N I M I E N T O**

FECHA: \_\_\_\_\_

OBRA	No. ECO.	H O R A S				OBSERVACIONES
		EJECUTION	ARMON	REPARACION	EXTRAS	

**FORMA A.1.2. Reporte de mantenimiento.**

R.H. \_\_\_\_\_

**REPORTE DE HORAS TRABAJADAS**

OPERADOR \_\_\_\_\_ SEMANA \_\_\_\_\_

DIA	HRS.EFEC.	REP.	TM.	LLUVIA
U. _____	_____	_____	_____	_____
S. _____	_____	_____	_____	_____
L. _____	_____	_____	_____	_____
M. _____	_____	_____	_____	_____
M. _____	_____	_____	_____	_____
J. _____	_____	_____	_____	_____

TOTAL DE HORAS EFECTIVAS: \_\_\_\_\_

MAD. \_\_\_\_\_ \$ \_\_\_\_\_

Observaciones:

FORMA N.2.1. Reporte de horas trabajadas.



Horas Nominales a la Semana

Un turno:

Dos turnos:

Obra: \_\_\_\_\_

Semana: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

CLAVE	TURNO	HORAS TRABAJADAS	HORAS OCIOSAS		OBSERVACIONES
			AJENOS A LA MAQUINA		
			LIVIAS	ADMON.	

FORMA A.2.2. Reporte semanal de horómetros.

• A.3. Reporte semanal de horómetros.

A.3.1. Rendimientos mínimos.

Se obtienen partiendo del precio unitario al que se le resta el costo indirecto (CI) resultando el costo directo (CD). Al dividir posteriormente el costo horario de la máquina (CH) entre el CD nos da el rendimiento mínimo que servirá para vigilar y mejorar los rendimientos, cambiar el equipo o detectar una mala operación del mismo. Una vez que se obtuvieron estos datos se elabora una tabla que será entregada al sobrestante afín de que vigile la operación del equipo ya que rendimientos menores a éstos, causarían un sobrecosto.

A.3.2. Horas nominales.

Son las horas de las que se puede disponer. Estas pueden variar según ciertas condiciones como serían la distancia a la obra, la cantidad de maquinaria, las condiciones climatológicas, etc.

A.3.3. Horas efectivas o trabajadas.

Son las horas que se trabajan realmente y se determinan por medio de un reloj o de un checador.

A.3.4. Horas ociosas por lluvia.

Es el tiempo durante el que se paralizan las labores a causa de la lluvia y el lapso en que el material no se puede trabajar por exceso de humedad que queda tras de la misma.

A.3.5. Horas ociosas por administración.

Es el tiempo en que el equipo no trabaja por ausencia o enfermedad del operador, por falta de datos de construcción, por exceso o falta de algún equipo o por el no suministro de material o combustible.

#### A.3.6. Horas en reparación.

Es el tiempo empleado en reparaciones menores, servicios y revisiones. Para el caso de reparaciones mayores como serían por ejemplo un ajuste de motor o composuras en tránsito o en transmisiones, el equipo quedaría consignado en tiempo de almacén y se cargaría la reparación completa y tiempo de la máquina a intendencia.

#### ● A.4. Reporte mensual de utilización.

Se debe determinar el porcentaje de utilización acumulado de la maquinaria con base en las horas acumuladas de cada máquina que constan en el reporte semanal de horómetros. Si las horas teóricas acumuladas representan el 100%, se obtiene el porcentaje de horas trabajadas y el de horas ociosas debiendo sumar en conjunto el 100 %.

- Reporte de utilización de maquinaria (Forma A.4.1).

#### ● A.5. Reporte de eficiencia.

Este reporte es un indicador de la utilización del equipo, reparaciones, lluvias y administración así como del estado del equipo. Se lleva por semana y en forma acumulada.

- Reporte de eficiencia de maquinaria (Forma A.5.1)

#### B.- Reportes de eficiencia de maquinaria.

##### ● B.1. Reporte diario de trabajos efectuados en el taller.

Para elaborar este reporte se investiga en las tardes con el jefe de mecánicos los trabajos efectuados en el día y los que están por efectuarse en el equipo que se encuentra en reparación. Una vez que se tienen los datos, se vacían en la forma

REPORTE DE UTILIZACION DE MAQUINARIA

Obra: \_\_\_\_\_

Seana: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

MAQUINA	PORCENTAJE ACUMULADO DE UTILIZACION				PORCENTAJE DE UTILIZACION DE LA SEMANA
	HORAS TRABAJADAS	LLUVIA	ADMIN.	REPARACION	
PROMEDIO					

MAQUINAS	HORAS ACUMULADAS			HORAS ESTA SEMANA		
	TEORICAS	TRABAJADAS	UTILIZA. %	TEORICAS	TRABAJADAS	UTILIZA. %
Dragas						
Compactadores						
Retroexcavadoras						
Traxcauos						

FORMA A.4.1. Reporte de utilización de maquinaria.

**REPORTE DE EFICIENCIA DE MAQUINARIA**

ESTA SEMANA

MAQ.	No. Eco.	H. NOM.	H. EFECT.	X	H. REP.	X	H. ADPOM.	X	H. LLAVIA	X
------	----------	---------	-----------	---	---------	---	-----------	---	-----------	---

ACUMULADO

MAQ.	No. Eco.	H. NOM.	H. EFECT.	X	H. REP.	X	H. ADPOM.	X	H. LLAVIA	X
------	----------	---------	-----------	---	---------	---	-----------	---	-----------	---

FORMA A.S.1. Reporte de eficiencia de maquinaria.

de control y se archivan en la bitácora de taller.

- Reporte diario de taller (Forma B.1.1)

■ B.2. Control de servicios de maquinaria.

Para llevar este control se debe abrir un expediente para cada máquina donde se haga constar el servicio que corresponda con la ayuda de las formas de utilización de maquinaria y del número de horas que trabaje cada una de ellas.

- Control de servicios (Forma B.2.1.)

C.- Reportes de mano de obra.

El objeto y fin de este control es el de obtener los tiempos empleados en la ejecución propiamente dicha, en los diversos suministros, en la colocación de las instalaciones, en su evacuación. El conocimiento de las horas de mano de obra empleadas en la obra permite alcanzar un doble objetivo:

- la determinación de los tiempos elementales reales de ejecución de cada obra gracias a la determinación racional de los tiempos empleados.
- la evaluación de los gastos reales de mano de obra utilizada para llevar la obra a buen término gracias al cálculo de los salarios pagados.

■ C.1. Reporte de destajo.

Para la cuantificación de los trabajos del destajista se requieren los siguientes datos:

REPORTE DIARIO DE TALLER

FECHA: \_\_\_\_\_

No. ECP.	DESCRIPCION	TRABAJOS REALIZADOS	HORAS	TRABAJOS POR EFECTUAR	OBSERVACIONES

FORMA B.1.1. Reporte diario de taller.

REVISIONES PERIÓDICAS PARA 1964 Y 1965.

SERVICIO DE CADA 10 HORAS.

- 1.- Inspeccionar las correas, cables, uniones, y puntos de contacto en general.
- 2.- Chequear y limpiar el nivel de aceite de motor en el Pool Controlador.
- 3.- Nivel del compresor de aire 100 PSI

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

SERVICIO DE CADA 25 HORAS.

- 1.- Inspeccionar la Junta Unimount de la Bomba Hidráulica.

<input type="checkbox"/>
--------------------------

SERVICIO DE CADA 100 HORAS.

- 1.- Chequear los niveles y ajustar el filtro de aceite.
- 2.- Chequear el sistema de filtro del combustible, limpieza y reemplazarlo.
- 3.- Inspeccionar los niveles del agua y la bomba de agua.
- 4.- Limpieza del aceite de los cojinetes de la bomba de agua.
- 5.- Limpieza de la bomba de agua, cojinetes, agua, etc., en las líneas del motor, y del sistema hidráulico.
- 6.- Limpieza del filtro del combustible.
- 7.- Limpieza del aceite del sistema de aire comprimido y sustituirlo.
- 8.- Chequear Presión de bomba del aceite.
- 9.- Limpieza nivel de aceite en las Reservas de Transmisión.
- 10.- Limpieza nivel de aceite y ajustar las dimensiones, el eje del motor y el generador 100 PSI.
- 11.- Comprobar niveles en los sistemas del Planador.
- 12.- Ajustar las ligaduras, suspensiones.

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

REVISIONES PERIÓDICAS PARA 1964 Y 1965.

SERVICIO A CADA 100 HORAS.

- 1.- Revisión sobre los puntos lubricados a las 100 horas.
- 2.- Limpieza del aceite del sistema de filtro del aceite hidráulico.
- 3.- Limpieza del filtro de aceite del aceite hidráulico.
- 4.- Cambio al filtro del Compresor de Aire.

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

SERVICIO A CADA 500 HORAS.

- 1.- Cambio de aceite y ajuste del filtro de aceite.
- 2.- Cambio del sistema de filtro del combustible (limpieza y reemplazarlo).
- 3.- Comprobar el aceite de los cojinetes de la bomba de agua.
- 4.- Revisión de los niveles del agua y la bomba de agua.
- 5.- Limpieza de la bomba de agua, cojinetes, agua, etc., en las líneas del motor y del sistema hidráulico.
- 6.- Limpieza del sistema de filtro de aire, limpieza y reemplazarlo.
- 7.- Chequear la presión de la bomba del agua.
- 8.- Comprobar el nivel de aceite en las reservas de transmisión.
- 9.- Comprobar nivel de aceite y ajustar las dimensiones, el eje del motor y el generador (100 PSI).
- 10.- Comprobar niveles en los sistemas del Planador.
- 11.- Ajustar las ligaduras del motor/generador de gas, de las bombas y suspensiones.
- 12.- Limpieza del aceite del sistema hidráulico.
- 13.- Comprobar y ajustar presión en el sistema hidráulico (presión y temperatura).
- 14.- Cambio aceite al motor de agua.

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>



- Avance de la obra ejecutada, pudiendo ser el reporte indicando volúmenes del supervisor o del residente de obra.
- Revisión del folder del destajista y chequeo de volúmenes pagados con anterioridad afín de evitar sobrepagos.
- Efectuar un balance de materiales y equipo resguardado descontando los faltantes, si el destajista va a dejar la obra.
- Verificación del cumplimiento de las condiciones de calidad exigidas por la dependencia en la obra ejecutada.
- Revisión del consumo de materiales.
- Modificación de volúmenes debiendo notificarlo al supervisor para efectos de reporte y estimación.

Para facilitar las actividades del destajista es necesario considerar varios aspectos:

- Utilizar el equipo en la mayor parte del volumen de las excavaciones.
- Proporcionarle planos y especificaciones por escrito que se le explicarán detalladamente.
- Proporcionarle el equipo, la herramienta y

los materiales necesarios, controlando el suministro de estos por medio de las tarjetas de abastecimiento y el reporte de consumos.

● C.2. Reporte de mano de obra por administración.

Este se llevará en la bitácora de la obra indicando las actividades y el número de personas ocupadas en ella y especificando también el tiempo empleado en cuantificar los volúmenes. Se analizará el importe producido (valor x P.U. de destajo) contra el gasto (salarios x factor de sobresueldo), si es mayor el gasto conviene trabajar a destajo.

**D.- Reportes de acarreos.**

● D.1. Reporte de acarreo de materiales.

Con esta forma se lleva el control de tepetate, tezontle, arena y grava auxiliándose con las notas de remisión que entrega el chofer del camión. De esta forma se puede checar la cantidad que sale del banco y la que entra en la obra. Se deben tener cubcados los camiones a utilizar y controlarlos de tal modo que siempre lleguen con dicha cubicación.

Por otra parte es conveniente checar periódicamente el abundamiento con la siguiente relación:

$$\text{Abundamiento} = \frac{\text{Volumen pagado a fletero}}{\text{Volumen estimado}}$$

● D.2. Reporte de acarreos de materiales producto de

la excavación.

Este control se realiza de la misma manera que el de los materiales. El abudamiento se obtendrá igual que en el punto anterior. La única diferencia es que para este caso es importante tener bien definida la distancia al tiro para poder estimar lo correcto; esta distancia la dará el residente en coordinación con el supervisor de la dependencia.

- Reporte de acarreo (Forma D.2.1.)

#### **E.- Reportes de materiales.**

Hay generalmente ciertos materiales que por el gran volumen que se maneja requieren de un control especial como serían en este caso el tepetate y el tezontle por lo que se llevó en una forma aparte.

##### **• E.1. Reporte de materiales varios.**

Para este control se debe especificar la cantidad, el estado actual, la ubicación y nombre de la persona que lo resguarda, utilizándose también en el caso de herramientas.

- Resguardos (Forma E.1.1.)

#### **F.- Reporte de producción.**

##### **• F.1. Reporte diario de trabajo.**

Este reporte consta de los siguientes puntos:

- Equipo: es elaborado en la obra con las actividades que realiza cada máquina, incluyendo las de trabajo efectivo, las horas de reparación y su causa, las horas que permanece el equipo ocioso y el tramo donde se realiza dicho trabajo.

- Mano de obra: se especificarán en el reporte los

REPORTE DE ACARRIOS

PECIM	CANTON PLEGADO	UNIDAD	VOLUMENES	
			ESTA	ACERUADO

FORMA D.2.1. Reporte de acarreos.

**RESGUARDO**

NUMERO: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

DIVISION \_\_\_\_\_

Con esta fecha entregué al Sr. \_\_\_\_\_  
Los artículos que a continuación se detallan en el concepto bajo su absoluta responsabilidad

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL

ENTREGUE:

RECIBI DE CONFORMIDAD

Uo.Bo.

FORMA E.1.1. Resguardos.

trabajos de la gente, el número de éstas y los consumos de materiales.

- Acarreos: se indica el número de viajes acarreados por camiones, el lugar de tiro, el horario y las fallas.

• F.2. Reporte semanal de trabajo.

Se realiza recopilando los reportes diarios que se tienen, acumulándolos y archivándolos por semana de trabajo.

En este resumen semanal se obtiene el volumen de avance por semana.

G.- Control de gastos.

El gasto de la obra se divide en tres partes:

1. Gasto de caja chica (gastos menores).
2. Gasto de proveedores (incluye materiales y acarreos).
3. Listas de raya (incluye gente por administración y destajos).

El único gasto que no se controla de esta manera es la maquinaria de la empresa. Ese control se lleva con el reporte semanal de horómetros y la tarifa que intendencia aplique por hora, según las políticas de la empresa. En lo que respecta al equipo rentado sí entra en este control ya que se considera como proveedores; para este último inciso se considera todo lo que se adquiere por medio de la oficina central, incluyendo refacciones y lubricantes. Por último, el gasto de mano de obra (operadores, destajistas, peones, etc.) se controla en una forma diferente a la anterior.

- Control de gasto (Forma G.1.1.)

**C O N T R O L   D E   G A S T O S**

RES: \_\_\_\_\_  
HOJA N.º. \_\_\_\_\_

FECHA	CAJA CHICA	PROVEEDORES		LISTA DE PREYO	MONTADO TOTAL
		CONCEPTO	CANTIDAD		

FORMA C.1.1. Control de gastos.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES

La ciudad de México cuenta con uno de los mayores índices de crecimiento demográfico y urbano del mundo, lo que provoca grandes asentamientos humanos irregulares en zonas donde no existe ningún tipo de servicio público; aunado ésto a la escasez de recursos financieros, se ha provocado la existencia de un desequilibrio entre el suministro de los servicios hidráulicos y la demanda de los mismos por parte de los usuarios.

Debido a ésto, se llevaron a cabo acciones que permitieron el desarrollo de la infraestructura tratando de resolver dicho problema; se organizó el Sistema Hidráulico Instaurando planes hidráulicos delegacionales, e instrumentándose en especial el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco. La obra que fue tema de esta tesis es parte precisamente de dicho plan y de la estrategia para el mejoramiento de los servicios hidráulicos de la delegación Xochimilco. Su objetivo principal es el de mejorar las condiciones del drenaje, a fin de evitar las inundaciones provocadas por las fuertes avenidas procedentes del sur-poniente y sur-oriente del Distrito Federal, al retardar el tiempo de ingreso al ya saturado sistema principal de drenaje.

La "Ciénega Chica" es parte de la solución a diversas problemáticas que a continuación se mencionan:

#### • Problemas técnicos:

La falta de recarga del manto acuífero provoca una insuficiente aportación de agua para mantener los niveles o tirantes hidráulicos en los canales, además de causar hundimientos



diferenciales del subsuelo. Desde el punto de vista hidráulico, éstos últimos causan la variación de la pendiente del terreno en el tramo canal Cuemanco - canal Nacional, viéndose restringida la capacidad hidráulica de este último para desalojar las aguas residuales del canal de Chalco y del Río San Buenaventura que ahora son reguladas por la Ciénega Chica evitando así la inundación de dicho río.

■ Problemática política y social:

Periféricos a los núcleos urbanos se encontraban una serie de asentamientos irregulares de tipo semiurbano, sin ninguna infraestructura de saneamiento, que colindaban e invadían áreas de la zona chinampera y aledaños. El problema más grave lo representaba precisamente el sitio denominado Ciénega Chica, donde incluso los asentamientos humanos no permitían la construcción de la laguna de regulación, retrasando y complicando la solución de los problemas de drenaje y circulación de las aguas que se originan en ese lugar. De esta manera, la construcción de la laguna vino a sanear dicha zona, al evitar los asentamientos irregulares que representaban un gran foco de contaminación orgánica y química.

■ Problemática ecológica:

Entre las principales fuentes detectadas y que causan más daños al sistema ecológico, se pueden nombrar:

- Las descargas de aguas residuales vertidas directamente por los habitantes a los canales.

- La basura que se acumula por la deficiente recolección.
- Los desechos orgánicos producidos por los asentamientos irregulares.
- Exceso en la cantidad del contenido de sustancias químicas en el agua y en los suelos.
- Frecuentes inundaciones que crean focos de infección incrementando así la contaminación del acuífero.

La construcción de la laguna es entre otros, uno de los aspectos que conlleva el ya mencionado Plan de Rescate Ecológico y que ha contribuido favorablemente para combatir los puntos antes citados y así preservar el medio ambiente.

Es así como la construcción de la laguna de regulación "Ciénega Chica" constituye una obra de corta duración y bajo grado de dificultad creando no obstante importantes beneficios en diversos ámbitos como el técnico, político, social y ecológico además de ayudar a rescatar la gran riqueza histórica existente, los vestigios prehistóricos, paleontológicos y prehispánicos asociados al territorio de las chinampas, eso sin contar el gran potencial turístico que hay en dicha zona.

## BIBLIOGRAFIA

- "Cronología de las obras hidráulicas en la ciudad de México".  
D.D.F./ D.G.C.O.H.
- "El sistema hidráulico del Distrito Federal".  
D.D.F./ D.G.C.O.H., México 1982.
- "Plan hidráulico de Xochimilco".  
D.D.F./ D.G.C.O.H., México 1990.
- "Plan Maestro de drenaje" ,Vol.1.  
D.D.F. (Aspectos generales de infraestructura y diagramas del sistema) Septiembre 1982.
- "Apuntes de lagunas de estabilización".  
Centro de ingeniería sanitaria, 1966.UNAM.
- "Lagunas de estabilización para países en desarrollo".  
Centro Regional de Ayuda Técnica.
- Programa Nacional de promoción y asesoría para la construcción de lagunas de estabilización en comunidades rurales y semiurbanas.
- "Alternativas de funcionamiento hidráulico del río San Buenaventura localizado en las delegaciones Tlalpan y Xochimilco". D.F./ D.G.C.O.H.
- "Proyecto ejecutivo de las obras de la laguna de regulación Ciénega Chica en Xochimilco", D.F./ D.G.C.O.H.

- "Estudio de bancos de materiales para los bordos de la Ciénega Chica en Xochimilco", D.F./ D.G.C.O.H.
- "Hydraulic aspects of floods and flood control".  
The Fluid engineering Center. London, England.
- "Presas de tierra y enrocamiento".  
Raúl J. Marsal, Daniel Reséndiz n./ Editorial LIMUSA.
- "Movimiento de tierras".  
H.L.Nichols Jr./ Ed. CECSA.
- "Apuntes de movimientos de tierras", Tomo I.  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
- "Mecánica de suelos", Tomo I.  
Juárez Badillo, Rico Rodríguez/ Editorial LIMUSA.
- "Construction, Planning, Equipment and Methods".  
R.L.Peurifoy/ Ed.McGraw Hill, 1979.
- "Organisation pratique des Chantiers".  
Entreprise Moderne d'édition, Paris.