



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL  
DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Etapas 1,2 y 3 de 1993 a 1996  
Tramo del Km 2+739 al Km 9+500

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A N :

GILBERTO JESÚS MALDONADO SALDAÑA

JOSE PEREZ ROLDAN

JESÚS RAMÍREZ CUACENETL

CARLOS FELIPE ROBLES MARTINEZ

RICARDO SILVA GUZMÁN

Director de Tesis Ing. Narciso Talamantes Chávez





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL  
DEBAGUE DE LA CIUDAD DE MEXICO  
Ejercs 12 y 3 de 1989 a 1988  
Tramo del Km 24.739 al Km 24.800

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A N:  
GILBERTO JESUS MALDONADO SALCANA  
JOSE PEREZ ROLDAN  
JESUS RAMIREZ CUAUENETL  
CARLOS FELIPE ROBLES MARTINEZ  
RICARDO SILVA GUZMAN

Director de Tesis Ing. Narciso Telamantes Chaves





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/008/00

Señores  
GILBERTO JESUS MALDONADO SALDAÑA  
CARLOS FELIPE ROBLES MARTINEZ  
JESUS RAMIREZ CUACENETI  
RICARDO SILVA GUZMAN  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. NARCISO TALAMANTES CHAVEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO"**  
Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del Km. 2+739 al Km. 9+500

- INTRODUCCION
- I. OBJETIVO
- II. GENERALIDADES
- III. PLANEACION DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE
- IV. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE. DE PLANTA DE BOMBEO 5-a KM 2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500
- V. ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- ANEXOS
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 21 de febrero de 2000.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

---

**INDICE**

	Página
<b>INTRODUCCION</b>	Int-1
<b>CAPITULO I OBJETIVO</b>	I-1
<b>CAPITULO II GENERALIDADES</b>	
II.1 HISTORIA DEL DESAGÜE DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO	II-1
II.2 HISTORIA DE LA CONSTRUCCION DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE	II-21
<b>CAPITULO III PLANEACION DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE</b>	
III.1 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	III-1
III.1.1 NIVEL DE CONTAMINACION ACTUAL	III-1
III.1.2 NIVEL DE AGUA FREATICA Y DE HUNDIMIENTOS	III-18
III.1.3 RIESGO DE INUNDACIONES	III-22
III.1.4 APROVECHAMIENTO DE LA OBRA PARA MEJORAR LA INFRAESTRUCTURA VIAL	III-24
III.2 ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS	
III.2.1 CARACTERISTICAS DEL SUELO DE ACUERDO A LA ZONIFICACION GEOTECNICA DEL DISTRITO FEDERAL	III-25
III.2.1.1 PROCESO DE FORMACIÓN EN LOS SUELOS EN LA ZONA DEL LAGO	III-27
III.2.1.2 CARACTERISTICAS ESTRATIGRAFICAS DE LOS SUELOS EN LA ZONA DEL LAGO DEL VALLE DE MEXICO	III-32
III.2.1.3 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS SUELOS EN LA ZONA DEL VALLE DE MEXICO	III-34
III.2.2 EXPLORACION GEOTECNICA EN LA TRAYECTORIA DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE	III-36
III.2.3 INTEGRACION DE LA ZONIFICACION Y EXPLORACION GEOTECNICA	III-49
III.2.4 PLANTEAMIENTO Y ELECCION DE LA SOLUCION ESTRUCTURAL DE LA OBRA	III-51
III.3 ESTRUCTURAS QUE INTERVIENEN EN EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE	III-72
III.3.1 ESTRUCTURA DE ARRANQUE	III-73

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

	III.3.2	ESTRUCTURA DE CONDUCCION	III-73
	III.3.3	ESTRUCTURAS ESPECIALES	III-77
	III.3.4	ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN	III-77
		III.3.4.1 CON PLANTAS DE BOMBEO EXISTENTES	III-77
		III.3.4.2 CON INTERCEPTOR ORIENTE DEL DRENAJE PROFUNDO	III-79
	III.3.5	ESTRUCTURA DE DESCARGA	III-81
<b>CAPITULO IV</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM 2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500</b>		
	IV.1	TRABAJOS PRELIMINARES	IV-1
	IV.2	EXCAVACIONES	IV-2
	IV.3	MEJORAMIENTO DEL SUELO	IV-4
	IV.4	CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE	IV-14
	IV.5	VERIFICACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL	IV-20
<b>CAPITULO V</b>	<b>ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA</b>		
	V.1	CATALOGO DE CONCEPTOS	V-1
	V.2	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	V-9
	V.3	PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRA	V-36
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>			CON-1
<b>ANEXOS</b>	ANEXO I	GRAFICAS DE RESULTADOS DE ALGUNOS SONDEOS MIXTOS Y DE CONO ELECTRICO	Anexo I-1
	ANEXO-II	GRAFICAS DE RESULTADOS DE ALGUNOS SONDEOS DE PENETRACIÓN ESTANDAR	Anexo II-I
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	Bibliografía-1		

# **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCION

Desde los tiempos antiguos a la época prehispánica, nuestros antepasados se ubicaron en la gran Tenochtitlán, edificando su ciudad en medio del agua, lo que implicaba ventajas y desventajas. Lo hicieron asentándose en la orilla de los lagos, teniendo la necesidad imperiosa de acostumbrarse a vivir en una ciudad llena de calzadas, que en diversas épocas bien definidas se tendrían que transitar por medio de canoas, las calles eran entonces de tierra y agua.

Los mexicas conocían perfectamente las condiciones climatológicas que prevalecían, tanto así que desde los años de su fundación, la gran cantidad de agua que llegaba por los ríos y lagos, se tornaba en un peligro grave por la inundación de sus casas y pueblos. Desgraciadamente el problema se agrava cuando se tiene que los desniveles hacia el exterior, no les permiten dar salida al agua de la cuenca.

No solamente el problema de las inundaciones era el único, ya que en periodos de escasa lluvia sufrían graves problemas de sequías, tuvieron que resolver el problema de abastecimiento de agua potable y de riego, ya que el agua que los rodeaba no se podía utilizar por ser salada.

Durante mucho tiempo, en que las fuertes precipitaciones y humedad natural, así como las numerosas fuentes y manantiales hacían parecer que se aseguraría la existencia perenne del gran lago, sin embargo, se generaron alteraciones en la temperatura, cambiando el régimen pluviométrico haciendo que el caudal del subsuelo disminuyera, con lo que apareció la declinación del lago, apareciendo algunas porciones -islas y penínsulas- que habían estado cubiertas por el agua.

El azolvamiento contribuyó finalmente a fraccionarlo en seis lagos: los de Zumpango, Xaltocan y San Cristóbal al norte, el de Texcoco en el centro y los de Xochimilco y Chalco al sur. Estos dos últimos quedaron separados del central por la pequeña sierra volcánica de Santa Catarina y se comunicaban

por un estrecho entre Coyoacán y el cerro de La Estrella, en tanto los del norte quedaron aislados por la serranía de La Villa y la comunicación hacia el de Texcoco se producía a través de esteros profundos. De todos los lagos, el más bajo era el central y los más altos los del norte.

En este lugar, a la orilla de los lagos, entre pantanos y tulares, fue pues donde el hombre desarrolló la cultura que culminó con el esplendor mexica.

En los alrededores de los lagos se fueron formando pequeños poblados de gente agricultora, sedentaria y fabricante de cerámica en Zacatenco, El Arbolillo, Tlapacoya y Tlatilco.

Más tarde proliferaron las aldeas, se incrementó la población en otros sitios, como: Gualupita, Chimalhuacán, Ticomán y Cuicuilco.

A fines del llamado "Periodo Formativo" la Cuenca del Valle de México sufrió una transformación considerable a causa de un periodo de sequía prolongada. El nivel de los lagos descendió, la flora y la fauna disminuyeron y esto dificultó la supervivencia del hombre. Es posible que en ese tiempo el hombre haya iniciado la irrigación llevando hasta los lugares de cultivo por medio de pequeños canales, el agua de los ríos cercanos.

Todas estas situaciones obligaron a sus moradores a realizar diversas obras de tipo hidráulico, que les permitiera transitar y al mismo tiempo poder realizar sus cultivos de acuerdo a sus necesidades y costumbres, con esto se dio origen a la conducción de agua a ciertas zonas que serían ideales para el cultivo por medio de chinampas, realizaron una vasta red de canales de riego bien planeados para poder aprovechar los recursos naturales y las condiciones geográficas existentes.

Durante el reinado de Moctezuma Ilhuicamina en Tenochtitlán fue cuando los hombres comenzaron a entender con más claridad lo que entrañaba vivir en una isla. No había duda de que esa situación les daba amplio margen para la defensa, pues cualquier ataque que los amagara tendría que venir por agua y

así no se vieron en la necesidad urgente de fortificar la ciudad. Pero así como el lago brindaba a Tenochtitlán un abrigo casi seguro contra sus enemigos, a semejanza de lo que ocurría en Cuitláhuac, de la misma manera presentaba algunas desventajas graves.

Una de ellas fue la de las inundaciones, y éstas eran provocadas por el desnivel de los lagos. El lago de Texcoco era el más bajo de la cuenca y en consecuencia cuando caían fuertes lluvias crecía sobremanera por la precipitación misma, por el aumento de caudal de los ríos y por que los otros lagos –más altos- vaciaban su sobrante en ella. De la misma manera que el agua anegaba las chinampas y aún las casas en algunas ocasiones, así también en otras se tornaba escasa, se retiraba, era causa de sequías y de hambres.

La necesidad de tratar de controlar los problemas de inundaciones y de abastecimiento de agua potable como se puede ver, data desde hace más de 500 años, periodo durante el cual hasta la actualidad se han realizado obras importantes como las realizadas por Moctezuma Ilhuicamina quien por medio de Nezahualcóyotl propuso la construcción del albarradón de Nezahualcóyotl, construyeron canales, represas, diques. Los problemas fueron tratados de solucionar inclusive por los nuevos moradores de la gran ciudad dentro de los que se pueden mencionar a: el Virrey Luis de Velasco, Ruy González, Francisco Gudiel entre otros.

En la actualidad, el planteamiento de soluciones a los problemas antes mencionados se ha venido dando, un primer ejemplo es el que en el año de 1954, la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal elaboró un "Plan general para resolver los problemas del hundimiento, las inundaciones y el abastecimiento de agua potable de la Ciudad de México". Cinco años más tarde, en 1959 la misma Dirección General de Obras Hidráulicas, propuso el proyecto que hoy se conoce como Sistema de Drenaje Profundo, incluido dentro de él, el tema que incluimos en el presente trabajo.

# CAPITULO I

## OBJETIVO

## CAPITULO I

### OBJETIVO

Como se sabe, los problemas que tiene la gran Ciudad de México son derivados principalmente por la necesidad de brindar buenos servicios a sus habitantes, tal es el caso del sistema de transporte, el abastecimiento de agua potable, los servicios de luz, el drenaje, etc., siendo el del sistema de drenaje el objetivo principal del presente trabajo

El problema del desagüe de la Ciudad de México se ha venido presentando desde la época prehispánica, teniendo información de su existencia desde la fundación de la Gran Tenochtitlán hasta nuestros días. En ese entonces, la reacción de los habitantes de México respecto a la inundación, no era solo de terror, sino que debido a la destrucción de sus propiedades, generó severas críticas para el fundador Hernán Cortes, éstas aparecen en un documento del 16 de septiembre de 1555, que transcriben Cepeda y Carrillo, y que a continuación se reproduce:

"En toda esta Nueva España ha llovido éste año mucho más que los pasados, y ha hecho gran daño en algunas provincias, porque ha anegado las cementseras de trigo y maíz, y en ésta ciudad ha sido mayor que en otras partes, por estar en la ciudad en lo más bajo, y cercada la mayor parte de una laguna grande, donde acuden todas las aguas de ríos y fuentes de la comarca, que son muchos, hemos vistonos en gran trabajo, y si no se pusiera gran diligencia en desaguar un río que salió de madre, por la parte de Tlatilulco, se llama Santiago, gran parte de la ciudad se perdiera. Fue gran yerro a mi ver fundarla en éste sitio, porque habia otros mejores a dos y tres leguas de aquí. Además de esto se edificaron las casas más bajas que las plazas y calles, y así toda el agua llovediza se entra en las casas, y no tiene desaguaderos. Si

otro año las aguas acuden con la furia de éste, la ciudad corre riesgo, prevenirse ha de los remedios posibles, aunque el daño principal que fue, es el mal sitio en que se fundó y los malos cimientos y ruines edificios, no tiene reparo si la ciudad no se mudase, y esto ya no se puede hacer así, porque costaría dinero innumerable, como porque ni podrán ni querrian los indios entender una obra tan grande, y sin ellos no se puede hacer una casa, cuanto más lugar un tan grande ciudad, así que se ha de esperar a lo que Dios nuestro señor fuere servido, reparándonos lo mejor que sea posible, como se hará. México diez y seis de septiembre de 1555".

Durante todo este tiempo, se han planteado diversas soluciones sin que hasta la fecha se haya logrado la solución total del mismo.

El presente estudio denominado: "Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México. Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996" construido en el tramo comprendido entre el km 2+739 (Palacio Legislativo) y el km 9+500 (Río de los Remedios), tiene los siguientes objetivos particulares:

- Realizar la conducción y el desalajo de las aguas residuales y pluviales de la Ciudad de México a través del Gran Canal del Desagüe, mediante una estructura eficiente que mejore las características de funcionamiento de la conducción actual.
- Tratar de disminuir a un nivel aceptable el problema de las inundaciones en la Ciudad de México, evitando con esto el desbordamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, mediante la conducción de sus aguas en un conducto cerrado.
- Aprovechar los costados del entubamiento para la construcción de nuevas vialidades que ayuden a resolver en alguna medida el problema de tránsito vehicular.

- Posibilidad de cooperación a la resolución de los problemas de tipo ambiental que afectan el área de influencia del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México.

Asimismo se pretende lograr que en la Ciudad de México, el funcionamiento del sistema de drenaje y alcantarillado actual trabaje en forma eficiente, evitando con ésto los problemas derivados de las frecuentes inundaciones en la ciudad.

Se espera que el lector encuentre en este trabajo la información que contribuya a clarificar la problemática que se refiere a las inundaciones en la Ciudad de México y le dé una idea del planteamiento de solución al mismo.

## **CAPITULO II**

# **GENERALIDADES**

## CAPITULO II

### GENERALIDADES

#### II.1 HISTORIA DEL DESAGÜE DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO

La cuenca del mal llamado Valle de México se localiza en el extremo sur del altiplano, sobre el paralelo de 19° de latitud norte, que coincide con la situación del Eje Neovolcánico. Su forma es la de un rectángulo irregular inclinado en sentido noroeste-suroeste, con longitud mayor de 120 km y menor de 80 km, y una superficie de 9,600 km<sup>2</sup>. Del área total, el 40 por ciento es llano y el resto accidentado, a causa de los lomeríos y vertientes de las sierras que la delimitan. Bordeada por cadenas de montañas que no se interrumpen en ningún punto, no es propiamente un valle porque no tiene una línea de drenaje general que la modele. Su denominación sin embargo, es la de Valle de México. La elevación de la parte plana es en promedio de 2,250 metros sobre el nivel del mar.

El área en estudio, que por facilidad se denominará Valle de México, se formó después de haberse plegado los sedimentos marinos del cretácico y emergido gran parte del actual territorio mexicano. Hace aproximadamente 50 millones de años se inició el llamado período Terciario, de intenso vulcanismo, pues al levantarse la corteza, que acusa un espesor de 40 ó más kilómetros, ocurrieron fracturas por donde salió la roca líquida a la superficie. Ni las fuerzas erosivas superficiales alcanzaron a nivelar el paisaje, ni los ríos a desalojar las lavas, frente al mayor crecimiento y actividad de los volcanes. Este fenómeno fue especialmente notable en la Cuenca de México y en los valles próximos de Puebla y Toluca. El Nevado de Toluca, el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl y la Malinche, con sus rasgos juveniles y sus grandes alturas, son testimonios de ésta actividad ígnea. A la aparición de los volcanes siguió, ya en el Cuaternario, la extraordinaria efusión de lavas que formó la Sierra de Chichinautzin, represó los

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

ríos que antes iban al sur y produjo la cuenca cerrada de México. Este fenómeno ocurrió en el último millón de años y fue contemporáneo de las glaciaciones. Los volcanes de las sierras de Las Cruces y de Río Frío proceden de fracturamientos tensionales, vinculados al lento asentamiento de la cuenca, cuyo desnivel creciente entre la fosa y sus pilares, produjo a su vez abanicos aluviales. Tal es el caso de la formación Tarango, caracterizada por sus minas de arena.

Los materiales acarreados por las lluvias, la deyección de cenizas y los restos de la vegetación calcinada rellenaron la cuenca. En Xochimilco y Chalco esos sedimentos tienen un espesor de 800 metros y los depósitos superficiales de origen lacustre, consistentes en arcillas altamente hidratadas (jaboncillo), una profundidad de 50 a 60 metros en la zona central. Otros indicios de la gran potencia pulsante que anida bajo la superficie de la Cuenca de México, son los siguientes: la erupción del Xitle, apenas 200 años antes de Cristo, cuyas lavas destruyeron la población de Copilco y dieron origen al Pedregal de San Angel; la veneración de los antiguos mexicanos a Xiutécuitli, dios viejo del fuego; las aguas termales del Peñón de los Baños y del Peñón del Marqués, muy frecuentadas hasta bien entrado este siglo y luego en decadencia por haberse abatido los niveles freáticos y el alumbramiento de mantos hasta de 40°C de temperatura al sureste del Cerro de La Estrella y en muchos otros sitios.

Debido a las diferencias de relieve y altitud, la cuenca presenta grandes variaciones de clima: templado-húmedo en el sur, templado-seco en el centro y el norte, y nieves persistentes en las altas montañas. Estas condiciones no han sido las mismas a lo largo del tiempo: en ciertos periodos el clima ha sido bastante húmedo y tan seco en otros que ha favorecido la formación de capas calichosas. Los cambios estacionales de la temperatura son de poca consideración: en la parte baja, la media anual es de 16°C, con extremos de 33°C y 7°C; enero es el mes más frío y mayo el más caliente. En el norte los valores llegan a 38°C y 13°C, mientras en las sierras la media es de 11°C, con máxima de 26°C y mínima de

9°C. Las heladas se presentan de octubre a marzo en la parte baja, aún cuando suelen prolongarse hasta abril. Los vientos dominantes son los del nor-noroeste durante la estación seca de invierno y del noreste en la cálida húmeda. Su velocidad es por lo común de 10 kilómetros por hora. De junio a octubre se concentra el 75 por ciento de la precipitación anual, casi siempre por la tarde. La media es de 747 milímetros, lo que da un volumen llovido en la cuenca de 6,090 millones de metros cúbicos al año. La estación seca va de noviembre a mayo. El número de días despejados es de 105 en promedio; los días de lluvia, entre 139 y 179. Las mayores precipitaciones se registran en los macizos montañosos, aumentando gradualmente hasta los bosques de oyamel. La niebla y el rocío son mas frecuentes en las áreas boscosas, y las nevadas casi desconocidas en el valle, ocurren en las cimas de las montañas más altas. La humedad relativa en la parte baja varía de 45 por ciento en marzo a 76 en septiembre; la media anual es de 61 por ciento.

En la Ciudad de México el clima es suave y benigno. Técnicamente se le llama subtropical de altura. Tiene un verano bien definido y una continua primavera durante el resto del año, sólo ocasionalmente interrumpida por enfriamientos y lloviznas durante el invierno. Febrero y marzo son los meses más ariosos; abril, mayo y junio, los más calurosos; de mayo a septiembre, además de lluviosos; y de noviembre a abril, secos. La temperatura suele variar en 24 horas, de modo que a una mañana o a una tarde calurosa puede seguir una noche fría. La temperatura máxima a la sombra es de 31.6°C; la media anual, de 15°C; y las medias mensuales, las siguientes: 12°C en enero, 16°C en febrero, 21°C en marzo, 17°C en abril, 19°C en mayo, 18°C en junio, 16°C en julio y agosto, 15°C en septiembre, 14°C en octubre, 13°C en noviembre y 12°C en diciembre. A causa de la contaminación atmosférica, la temperatura media anual ha aumentado 2°C en los últimos 90 años y 1.1°C en los 50 años más recientes. Esto se debe al crecimiento de la población, al aumento de la superficie pavimentada y a la instalación de fábricas en la zona urbana. La temperatura máxima registrada en la

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Ciudad de México fue de 33.80°C el 10 de mayo de 1927; y la mínima, de -5°C el 11 de enero de 1967, cuando cayó la última nevada. La evaporación media anual alcanza 2,100 milímetros en las montañas del sur y 900 en la parte norte, pero en ambos casos es mayor que la precipitación pluvial. La humedad relativa del aire asciende en promedio de 45 por ciento en marzo a 75 por ciento en septiembre y después disminuye paulatinamente. En la parte oriental de la ciudad los chubascos tienen una intensidad promedio de 35 milímetros en 24 horas; y en la occidental, de 45 a 50. La máxima, de 100 milímetros, se ha registrado entre Tacubaya y la Colonia del Valle. En los 12 meses sólo caen sobre la capital de 4 a 6 granizadas. El número de días nublados varía de 40 en el este a 100 en el oeste; y el de días lluviosos, de 80 a 180. En el centro de la capital no ocurren heladas; sí, en cambio, unas 60 o 70 en el sur y poniente. El número de tormentas eléctricas es de 10 a 30 en el año, sobre todo al sur de la ciudad y al norte del aeropuerto. La dirección dominante de los vientos es del noreste y del noroeste; su velocidad promedio es de 10 kilómetros por hora, aunque en mayo de 1950 llegó a 94 kilómetros por hora. Las tolvaneras se generan en las áreas lacustres emergidas de Texcoco, Chalco y Xochimilco cuando al elevarse la temperatura de las superficies cubiertas de polvo surgen corrientes convectivas que elevan esas partículas a gran altura, que luego son lanzadas sobre la ciudad por los vientos alisios. En el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, ubicado al noreste de la ciudad, se registra un promedio de 81 fenómenos de esta índole al año. La mayor frecuencia ocurre de febrero a mayo, cuando es muy alta la posición del sol y faltan las nubes. Los depósitos lacustres tuvieron una extensión original estimada en 1,575 kilómetros cuadrados. Se alimentaban con el flujo de los manantiales y con el aporte de los ríos (400 millones de metros cúbicos al año), principalmente del Cuautitlán, originado en la Sierra de Las Cruces; el de las Avenidas de Pachuca; el Magdalena, procedente del Ajusco, y los de Tenango y Tlalmanalco, por el rumbo de los volcanes, el Iztaccíhuatl y el Popocatepetl localizados al oriente del Valle de México. Cada año se acumulaban las aguas

formando un enorme lago, del que se separaban otros menores: Zumpango, Xaltocan, San Cristóbal, Chalco y Xochimilco, hasta de 10 metros de profundidad en la época de los aztecas, pero cuyo volumen mermaba por la evaporación, la infiltración y la transpiración de las plantas. Mientras el depósito de Chalco recibía aguas constantes procedentes de los deshielos de los volcanes nevados y el de Xochimilco se nutría de manantiales, el de Texcoco captaba corrientes de carácter torrencial, luego salinizadas por la naturaleza de su lecho. En tiempos de sequía, el agua dulce, por su nivel más alto y la constancia de su abastecimiento, corría hacia la salitral, pero durante las lluvias ésta se extendía violentamente hacia la zona dulce. La superficie del sistema lacustre ha venido decreciendo rápidamente desde 1524. En 1861 sólo quedaban 230 kilómetros cuadrados; y en 1891, solamente 95 kilómetros cuadrados. En la actualidad, la superficie cubierta por el agua es de 13 kilómetros cuadrados, repartida entre los lagos de Texcoco y Zumpango, pues los de Chalco, Xaltocan y San Cristóbal permanecen secos prácticamente todo el año, mientras Xochimilco se mantiene artificialmente a base de canales. La desecación se debe a los cambios climáticos en el área y a las obras ejecutadas por el hombre (drenaje de los lagos, bombeo del subsuelo y deforestación de las sierras).

En cuanto a aspectos hidrográficos, el crecimiento de la ciudad, el hundimiento del terreno y el peligro de inundaciones obligó primero a bordear y luego a entubar los ríos que pasaban a cielo abierto por la zona urbanizada. Esto ocurrió con el Río Churubusco, que recoge los aportes del Río Eslava, el Río Magdalena y el Río Mixcoac; el Río de la Piedad, al que vierten las aguas del Río Becerra y el Río Tacubaya; el Río Consulado, que recibe los arroyos que van desde Dolores hasta el Tornillo; y el Río de los Remedios, cuyos tributarios son el Río Hondo y el Río San Javier. Para regularizar estas corrientes se ha ido instalando un sistema de presas en las montañas del oriente de la ciudad: las de Anzaldo, Tetelpa y Tarango, que regularizan las aguas de los Ríos Magdalena, Tequilasco y Barranca del Muerto, las cuales descargan el mayor caudal en el Interceptor del

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Poniente y los sobrantes en el Río Churubusco. Al norte del Río Mixcoac otras presas están interconectadas por túneles que conducen al canal del Tornillo, tributario del Río Hondo. A éste concurren, además, los excedentes de los vasos del Sordo, los Cuartos y Totolítica y las descargas del interceptor del poniente, cuyos caudales, ya unidos, desembocan en el Vaso de El Cristo. A éste confluye, además, el Río Chico de los Remedios, interceptado parcialmente en su cuenca alta por las presas de Las Julianas, Los Arcos, El Colorado y La Colorada. Estas aguas continúan por el Río de los Remedios hasta el Lago de Texcoco o por el Interceptor del Poniente hasta el Río Cuautitlán, desde el cual pueden llevarse a la Laguna de Zumpango o sacarse del valle por el Tajo de Nochistongo. Los Ríos Tlalnepantla y San Javier son embalsados en las presas: Madín, Las Ruinas y San Javier, cuyas demasías van a dar aguas abajo del Vaso de El Cristo. Completan el sistema las presas de Guadalupe y La Concepción, sobre los Ríos Cuautitlán y Tepetzotlán, que vierten al Tajo de Nochistongo.

Sobre el eje volcánico existen varias cuencas, todas éstas cuencas eran cerradas y en ellas se formaban lagos con las aguas que bajaban de sus montañas; algunas siguen existiendo de esta forma como son las cuencas lacustres de Michoacán, los llanos de Apan y los llanos de San Juan; otras cuencas han sido desagüadas a las aguas del Golfo de México principalmente (como Puebla y México), y al Océano Pacífico (en el caso de la cuenca de Toluca), desapareciendo así sus lagos.

Para evitar inundaciones en las partes más bajas de la Ciudad de México el agua ha sido drenada sacándola fuera de la cuenca; desecando los lagos que en ella se formaban: Texcoco, Zumpango, Xaltocan, San Cristóbal, Xochimilco y Chalco, de los cuales en la actualidad solo existen el de Xochimilco (muy reducido), parcialmente el de Zumpango que funciona como vaso regulador de las aguas del Gran Canal, y a partir de un estudio realizado en 1971 se inicia el rescate del Hidroecológico del Lago de Texcoco, el cual se ha considerado tradicionalmente

como el cuerpo de agua más importante del Valle de México. Este plan de rescate Hidroecológico se inicia en 1971 y la encargada de llevarlo a cabo es la entonces denominada Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Una evolución de los lagos de la cuenca de México se muestra en la figura II-1 "El retroceso de los lagos en el Valle de México", en la cual se observan los cambios que han sufrido al paso del tiempo.

La cuenca de México, como ya se ha dicho, cuenta con una superficie de 9 600 km<sup>2</sup> y se encuentra limitada al norte, de este a oeste por los cerros de Sincoque, San Sebastián, Xalpan, Hueipoxtla, sierra de Tezontlalpan, cerro de Acayucan y sierra de Pachuca. Por el sur, de este a oeste, por el Popocatepetl, la sierra de Chichinautzin, del Ajusco y el monte de las Cruces. Por el este, de norte a sur, la sierra de Pachuca, cerros Tecajete, San Gabriel Xihuinco, Tlalzalan, Tláloc, Telapón, Papayo y los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatépetl. Finalmente por el oeste, de norte a sur, el monte Bajo, monte Alto y monte de las Cruces. Durante la época prehispánica en la temporada pluvial la cuenca de México formaba un solo lago con una área aproximada a 2,000 km<sup>2</sup>; las laderas montañosas con gran cantidad de vegetación y animales ocupaban un área aproximada de 3,000 km<sup>2</sup> y en un área de aproximadamente 3,000 km<sup>2</sup> vivían los escasos pobladores.

Dos islotes al centro del lago, conocidos después como Tenochtitlán y Tlaltelolco sirvieron de asientos a los Mexicas en el año de 1325, véase figura II-2 "Esquema de México-Tenochtitlán 1325-1519", los cuales fueron ampliados construyendo chinampas y huertos flotantes que subían o bajaban según el nivel del agua del lago. Con el tiempo las construcciones las de los habitantes se realizaron de madera, adobe y piedra sustituyendo al carrizo y los juncos, adquiriendo así un carácter más definitivo.

Bajo el reinado de Chimalpopoca en 1418, se construyeron las primeras calzadas que unían el reino Mexica con tierra firme, la primera liga con tierra firme fué la

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

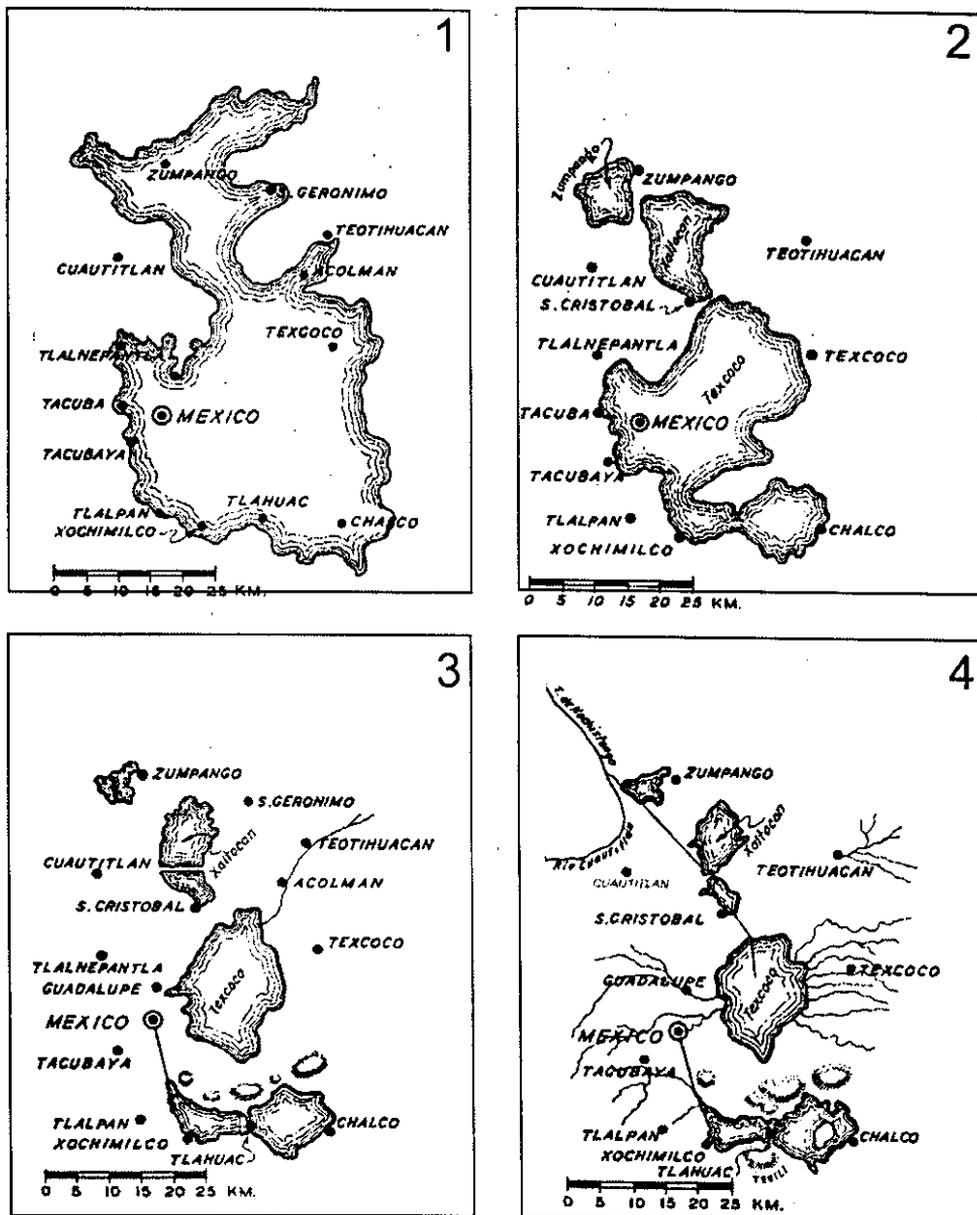
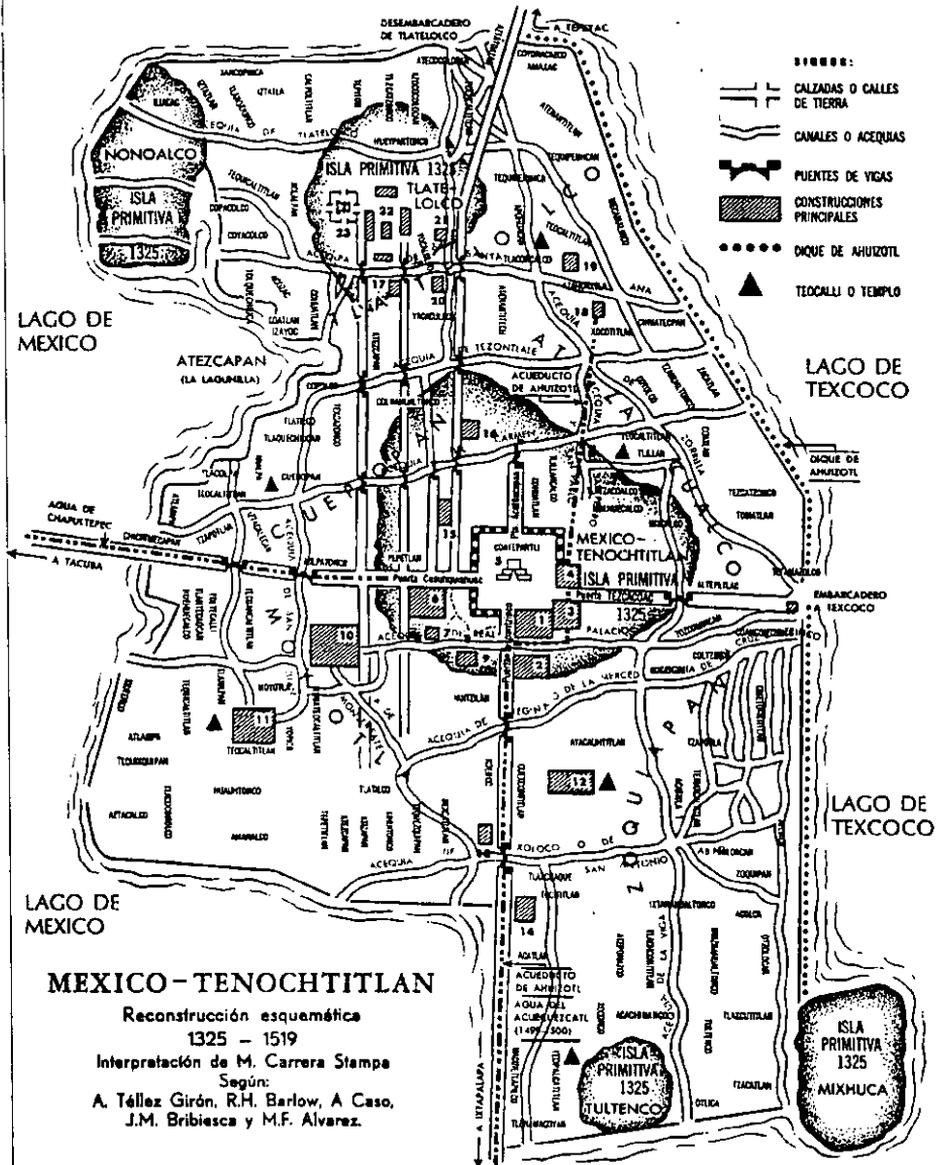


Figura II-1. EL RETROCESO DE LOS LAGOS EN EL VALLE DE MEXICO

- 1.- Los límites aproximados durante la época diluvial
- 2.- En los Inicios del siglo XVI
- 3.- En los inicios del siglo XIX
- 4.- En el año de 1889

Evolución de los lagos en la Ciudad de México  
 "Die schwimmenden Gärten von Xochimilco" Kiel, 1938



- Principales Construcciones y Plazas:
- |                              |                              |                                  |  |
|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|
| 1.- Palacio de Moctezuma II. | 6.- Palacio de Axayácatl.    | 12.- Huitznahúac.                | 18.- Tlacochcalco. (Teocalli)              |
| 2.- Plaza de El Volador.     | 7.- Cuicacalco.              | 13.- Xoloco. (Teocalli)          | 19.- Apahuaztlan o Azaguaztlan. (Teocalli) |
| 3.- Casa de las Aves.        | 8.- Plaza Principal.         | 14.- Templo de Toci. (Teocalli)  | 20.- Atenantithec o Tetenamitl. (Teocalli) |
| 4.- Tepochcalli.             | 9.- Palacio del Tilancanqui. | 15.- Palacio de Cuauhtémoc.      | 21.- Xocotitla o Chiuhtecpan.              |
| 5.- Templo Mayor.            | 10.- Casa de las Fieras.     | 16.- Tezontlemacoyan. (Teocalli) | 22.- Tianguis o mercado de Tlatelolco.     |
|                              | 11.- Tianguis de Moyotla.    | 17.- Palacio de Tacalulco.       | 23.- Templo mayor de Tlatelolco.           |

Figura II-2. ESQUEMA DE MÉXICO-TENOCHTITLAN 1325-1519

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

calzada de Tacuba, por la que también llegaba agua potable de Chapultepec por un primitivo caño de barro, así como también la calzada de Tlatelolco a Azcapotzalco; una segunda calzada ligó Tenochtitlán con las tierras vasallas del sur, fue la de Xochimilco y Coyoacán, ordenada por Itzacoatl, sucesor de Chimalpopoca, al vencer en sangrienta batalla al primero de éstos reinos. Con esta última calzada y las de Tacuba y Azcapotzalco se formó el primer reducto a las aguas dulces al sur-poniente y poniente del Valle de México, véase figura II-3 "Los lagos del Valle de México a fines del siglo XV y principios del siglo XVI.

En 1449, el vasallaje de los reinos cercanos, el comercio y las buenas cosechas, hacían a los Mexicas un reino poderoso, en ese año la temporada de lluvia se adelantó y resultó muy abundante, inundando la Gran Tenochtitlán, hoy llamada Ciudad de México, en 1 a 2 m de agua en las calles; varios meses estuvo inundada la ciudad, por lo que Moctezuma I pidió ayuda a su primo Netzahualcóyotl, quien después de un estudio reconoció que el problema se encontraba en las aguas que entraban al lago, siendo las más peligrosas las del Río Cuautitlán por el noreste, las del Río Papalotla por el oriente, y las del Río de las Avenidas de Pachuca por el norte y de menor peligro, las aguas que desembocaban en los lagos del sur. Netzahualcóyotl recomendó aislar la ciudad por medio de diques o muros de madera, piedra y arcilla, que impidieran la entrada del agua a la ciudad. Moctezuma Ilhuicamina puso en marcha un plan construyéndose el dique que se conoció como albarredón de Netzahualcóyotl, ó albarreda vieja de los indios, en dirección sur-norte de Ixtapalapa a Atzacolco con una longitud aproximada de 16 kilómetros. También se construyeron diques al sur, uno en Tiáhuac separando las aguas de Chalco y Xochimilco y otro en Mexicaltzingo, dividiendo las aguas de México y Xochimilco; con estas obras se separaron las aguas dulces de las saladas y se logró el control de las mismas, al mantener el nivel de las aguas de la Ciudad de México inferiores a las de el Lago de Texcoco y separadas las aguas dulces de las saladas, se mejoraron la

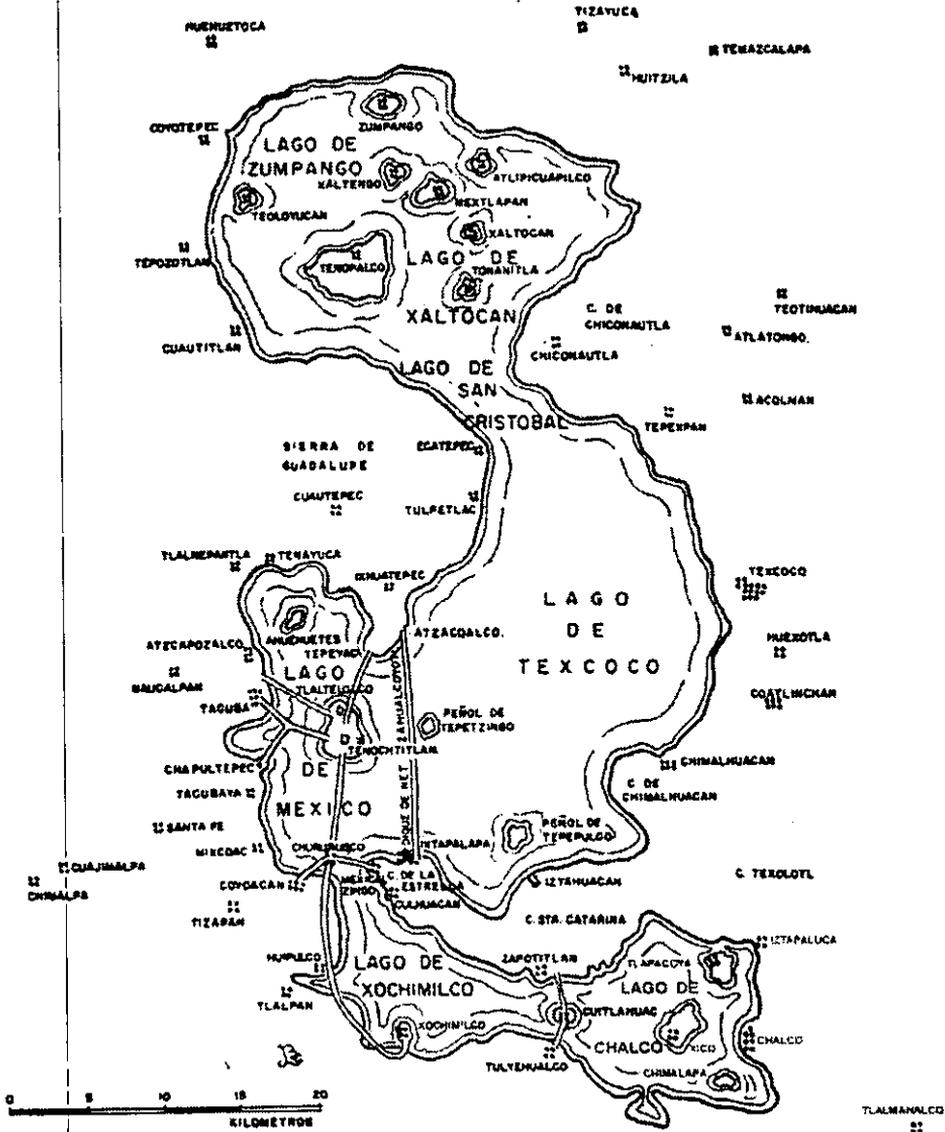


Figura II-3. LOS LAGOS DEL VALLE DE MEXICO A FINES DEL SIGLO XV PRINCIPIOS DEL SIGLO XVI

Basado en el publicado por A.P. Maudslay en la edición inglesa de la Historia de Bernal Diaz del Castillo

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

crianza de peces y aves acuáticas, en el lago de México se construyeron más chinampas y jardines flotantes. Durante ésta misma época se construyó la calzada de Tepeyac que sirvió para contener las aguas y para el tránsito, véase figura II-4 "Reconstrucción de Tenochtitlán antes de la conquista".

En el año de 1499 el emperador Ahuizotl, para aumentar la entrada de agua potable, construyó un acueducto desde Acuecuexacatl, en Coyoacán. Pocos días después de inaugurada la obra (año de 1500) comenzó a entrar una gran cantidad de agua, la cual inundó la Ciudad de México, Ahuizotl atribuyó la inundación a la maldición de Tzotzoma rey de Coyoacán a quien había matado para adquirir las aguas; por lo que destruyó el acueducto. Ya sin éste, la inundación crecía, por lo que construyó un dique que iba desde el Peñón del Marqués a la calzada de Xochimilco y lléndose por ésta, continuaba hasta Tenochtitlán envolviéndola por sus arrabales del oriente hasta llegar a Coyoacasco donde se unía con la calzada de Tepeyac. Véase figura II-4. "Reconstrucción de Tenochtitlán antes de la conquista". La explicación que se da de ésta inundación es que en las serranías del Ajusco cayó una tromba, cebada en aguas de tierra caliente, ésta agua entró por los ríos del sur siendo insuficientes los diques de Tláhuac y Mexicaltzingo.

Tenochtitlán se reconstruyó quedando en su mayor esplendor, murió Ahuizotl y le sucedió Moctezuma Xocoyotzin, véase figura II-4 "Reconstrucción de Tenochtitlán antes de la conquista".

En el tiempo de la conquista el nivel de las aguas del lago de México se encontraba superior al de Texcoco, los Mexicas al mando de Cuauhtémoc decidieron romper compuertas y parte del dique de Netzahualcóyotl para aniquilar a Hernán Cortés y los suyos que se encontraban acampados en aguas de Iztapalapa; casi consiguiéndolo; pero Hernán Cortés utilizó estos pasos para

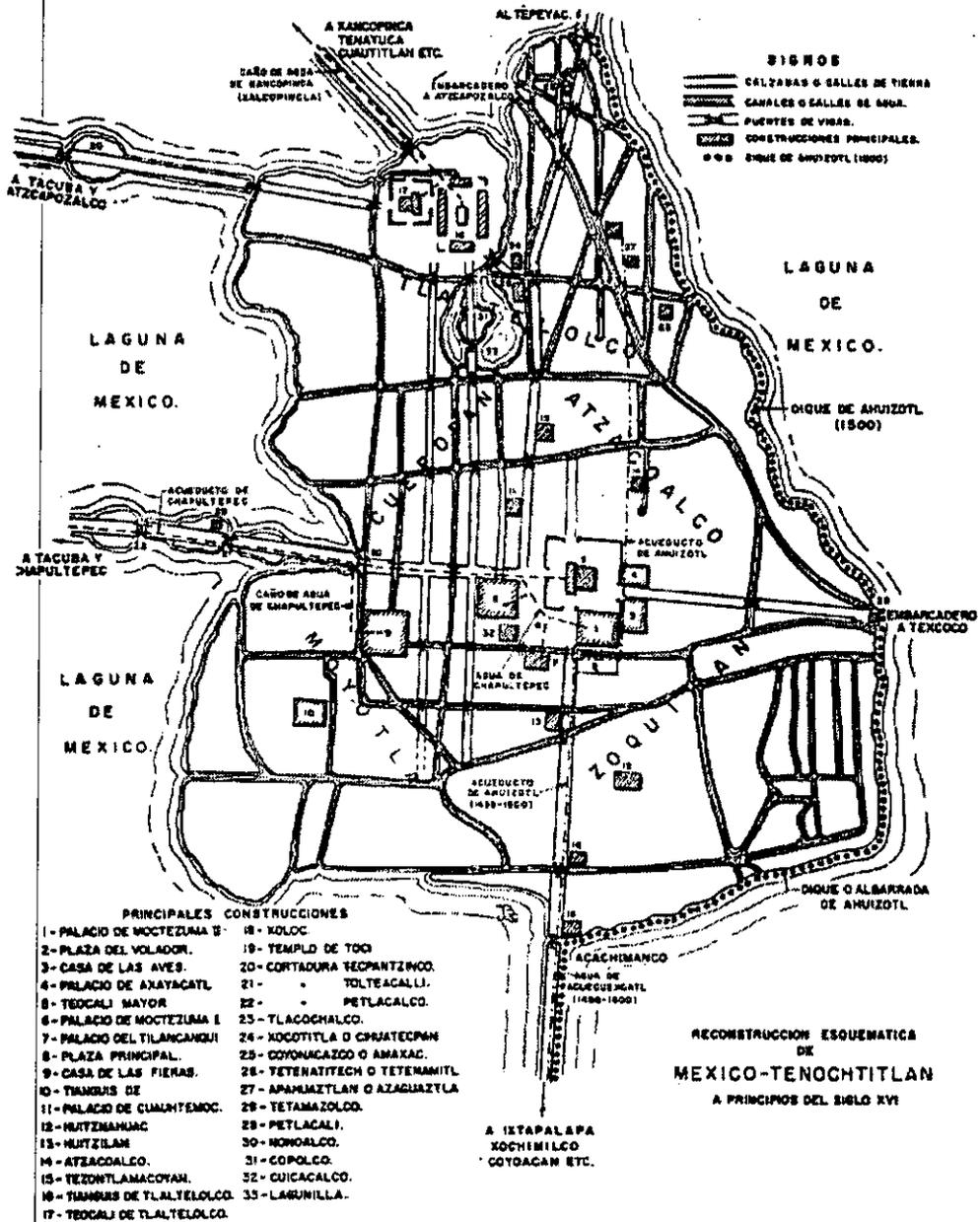


Figura II-4. RECONSTRUCCION DE TENOCHTITLAN ANTES DE LA CONQUISTA

ESQUEMAS DE: M. OROZCO Y BERRA, I. BATRES, IGNACIO ALCOCER Y M. TOUSSAINT

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

entrar con sus naves, iniciándose el asedio de Tenochtitlán y terminándose el 13 de agosto de 1521 con la captura de Cuauhtémoc (1502?-1525), último rey azteca.

Después de la conquista de Tenochtitlán, los españoles inician la construcción de sus palacios, iglesias y casas tomando las piedras de los Tecalis, palacios y de los albarradones de Ahuizotl y Netzahualcóyotl; la madera que necesitaban la obtuvieron de la tala despiadada de los montes cercanos, con las consecuencias inherentes a éste acto, las cuales se manifestarían en un futuro cercano, como se describe más adelante; varios canales se cerraron, dejando tan solo los principales por ser vías de comunicación, la ciudad quedaba desprotegida de las posteriores lluvias.

En el año de 1555 siendo Virrey de la Nueva España, Don Luis de Velasco, para mediados del mes de septiembre, encontrándose las tierras bien humedecidas y los cauces de los ríos a su máxima capacidad, el 17 de septiembre, cae sobre todo el Valle de México un fortísimo aguacero con 24 horas de duración, el cual provoca que se desborden los ríos de la zona sur y poniente, para el 25 de octubre la ciudad llega a anegarse, manteniéndose ésta condición hasta finales de diciembre.

El 6 de diciembre de ese año, el Virrey por propia cuenta inició las obras de protección de la ciudad, haciendo la reparación del dique de Ahuizotl iniciando en la calzada de San Pablo, y continuando por Chapultepec, la calzada de Tacuba en su parte cerca a Popotla, siguiendo con Tlatelolco, la garita de Peralvillo, las Atarazanas y nuevamente San Pablo, quedando la ciudad dentro de un cinturón protector terminándose ésta reparación los primeros días de febrero de 1556. También se protegió y mejoró los cauces de los ríos más peligrosos terminándose en junio del mismo año. En ésta época el Ingeniero Francisco Gudiel presentó a las autoridades un proyecto para resolver el problema, el cual consistía en el

"desagüe general" de la ciudad por Nochistongo así como el control de las aguas para conservarlas en las cuencas y conservar los canales necesarios para la navegación. Otras obras que se hicieron entonces fueron el encauzamiento del Río Cuautitlán, la construcción de diques en los lagos de Zumpango, Xaltocan y San Cristóbal.

A finales de 1579 y principios de 1580 las lluvias fueron grandes, el nivel de las aguas en los lagos rebasó sus diques inundando totalmente la ciudad, se ordenó taponear los manantiales de Tlalpan y Coyoacán. El Sr. Claudio Arciniega y el Lic. Manuel Obregón propusieron el desagüe de la Cuenca con un Tajo de bóveda entre el cerro de Sincoque y la loma de Nochistongo, pero como el peligro de inundación había pasado, éste proyecto no se tomó en cuenta. Otro proyecto archivado fue el que presentó el Sr. Simón Méndez, en el que proponía el desagüe por Tequixquiac.

A pesar de lo anterior, sucedió otra inundación en 1604, y nuevamente solo se dieron soluciones provisionales, tales como: el fortalecimiento del dique de San Lázaro, se pusieron compuertas en los canales o acequias, se levantaron las calzadas, se formó cauce a algunos ríos y se fortaleció el dique de San Cristóbal.

En 1607 siendo Virrey Don Luis Velasco, las lluvias fueron extraordinarias, el manto freático se saturó, apareciendo manantiales en casas y calles, los ríos con mayor caudal fueron los del sur, poniente y noroeste, para solucionar el problema se desviaron tres ríos de la zona de Chalco; el Río de Tenango se envía a un sumidero que lo sacó de la cuenca hacia regiones del sur. En éste tiempo varios proyectos para solucionar el problema de las inundaciones de la Ciudad se presentaron: el Virrey escogió el presentado por el Ingeniero y Cosmógrafo Enrico Martínez, ejecutándose éste en un plazo muy corto en el que el Lago de Zumpango y el Río de Cuautitlán fueron desagüados hacia el Norte por medio del Túnel de Nochistongo, el 17 de septiembre de 1608 la cuenca cerrada contaba con una salida. Erróneamente el Virrey para ver que tanto subía el agua, mandó

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

cerrar la boca del túnel, provocando derrumbes, quedando cerrado totalmente el canal para el año 1623.

El año de 1629 fue fuertemente lluvioso, todos los ríos salieron de sus cauces, un aguacero de 36 horas conocido como de San Mateo, inundó la ciudad, gran cantidad de habitantes abandonaron ésta y también hubo muchos que perecieron, se hicieron reparaciones comunes, el agua cubrió la ciudad por cinco años a los que le precedieron una época de secas, por lo que se hizo casi nada para solucionar los problemas.

En 1637 siendo gobernador el Marqués de Cadereyta, se decidió que en lugar de un túnel se hiciera un tajo abierto en Nochistongo, los trabajos empezaron con ímpetu, y en una maniobra política en 1675, se hizo creer haber terminado el Tajo de Nochistongo, habiendo de pasar más de 100 años para que ésto sucediera. La construcción del Tajo de Nochistongo avanzaba con lentitud, solo durante épocas fuertes de lluvias parecía que se daba importancia a la obra. Dos épocas de lluvias extraordinarias se dieron, en 1747 y en 1763 la segunda encontró mayor gravedad, y como siempre, se hicieron las obras de protección y refuerzo. Un impulso grande al proyecto de Nochistongo lo dió el Virrey Marqués de Croix adjudicando la obra al Real Tribunal del Consulado de México que ofreció la mejor postura en septiembre de 1768. El sucesor del Marqués de Croix fue el Virrey de Bucareli quien nombra historiógrafo de las obras a Don Joaquín Velázquez Cárdenas de León, el cual presenta un proyecto general de desagüe que concluía en un túnel por Tequixquiac, proyecto que quedó archivado. Fue hasta 1788 cuando el Real Tribunal del Consulado dio por concluido el Tajo de Nochistongo, poniéndolo en servicio.

A finales del siglo XVIII el Ing. Ignacio Costera construyó el canal que da curso directo al Río Cuautitlán desde Teoloyucan hasta el Tajo de Nochistongo, dejando el cauce original como desagüe.

En 1804 el Virrey Iturrigaray aprobó un proyecto de desagüe general que consistía en un canal que partía de Texcoco pasando por San Cristóbal y Zumpango y desagüando al Tajo de Nochistongo, la obra se inició, pero pronto las revueltas lo pararon.

El 27 de septiembre de 1821, México quedó desligado de la corona española con la entrada triunfal del Ejército Trigarante a la Ciudad de México. Durante los primeros años de México Independiente, nada se hizo en las obras de desagüe.

En 1846 durante la invasión norteamericana, y a fin de defender la Ciudad de México del invasor, se realizaron sangrías al Canal de la Viga y se rompieron las compuertas del dique de Mexicaltzingo inundando las tierras de oriente lo que resultó infructuoso y que posteriormente hubo que reparar. Para reparar lo destruido, las autoridades norteamericanas de ocupación, comisionaron al teniente, Ing. M. L. Smith, para estudiar el problema del Valle de México y presentar una solución del mismo, labor que se emprendió con gran intensidad, pero debido a la retirada de los invasores y del propio Ing. M. L. Smith, ya no fue posible hacer concretar estudio alguno.

En 1853 y 1856, las aguas de la Ciudad de México crecieron peligrosamente, ésta última vez, por las aguas del sur, que en forma temeraria dejaron las autoridades tuvieron acceso a la ciudad, al permitir a la compañía de navegación de vapor, romper algunas compuertas y parte de diques y bordos para el paso libre de sus embarcaciones. Al final, las embarcaciones no pudieron circular y las aguas subieron peligrosamente.

La probabilidad de un desastre que inundara la ciudad aumentaba con gravedad al no existir un sistema de desagüe general de la cuenca, por lo que en 1856 se convoca a especialistas en el ramo de la hidráulica, para dar solución a este problema, ofreciendo un premio al mejor proyecto. Resultó ganador -por ser el más completo- el proyecto del Ingeniero Francisco de Garay, proponiendo un

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

desagüe por medio de un canal principal (GRAN CANAL), que inicia en la garita de San Lázaro y desagua por un túnel y un Tajo en Tequixquiac. El proyecto se empezó a construir la primera semana de julio de 1866 bajo las órdenes del emperador Maximiliano y se termina oficialmente el 17 de marzo de 1900, cuando el presidente Gral. Porfirio Díaz inaugura el sistema de desagüe.

El descontento del pueblo mexicano con el gobierno de la época, encabezado por el Gral. Porfirio Díaz, desencadenó la Revolución Mexicana y durante éste período, las obras del desagüe no tuvieron ningún avance.

En 1911 el Lago de Texcoco inicia su desecación; en 1915 desapareció la Laguna de México, con la desecación de la simbólica laguneta existente en La Lagunilla; en 1925 se terminó el proyecto del Ing. Roberto Gayol de una red de alcantarillado en la Ciudad de México mediante colectores y atarjeas en la cual se combinaban las aguas negras con las pluviales; Este proyecto redujo notablemente los problemas de inundación, pero el crecimiento demográfico que en 1940 era de casi dos millones de habitantes, la expansión urbana y el hundimiento acelerado del suelo de la ciudad principalmente, volvieron ineficaz el sistema de drenaje existente, disminuyendo la capacidad para desalojar las aguas de la cuenca, lo que motivó a hacer mejoras al Gran Canal y en 1935 a construir el segundo túnel de Tequixquiac el cual se terminó en 1954.

El aumento de la demanda de agua para la creciente población provocó una sobre-explotación de los recursos acuíferos mediante la extracción del agua con la perforación de pozos profundos por lo que los hundimientos de la Ciudad de México que desde principios de siglo hasta 1936 habían sido del orden de cinco centímetros por año, entre 1938 y 1948 se incrementaron a 18 centímetros por año para llegar después a 30 y 50 centímetros anuales por lo que atendiendo a éste problema en el año de 1967 se inicia la construcción del sistema de drenaje profundo que es a largo plazo, la mejor solución para completar la infraestructura

de drenaje ya que éste se construye en el subsuelo a profundidades que van de 22 m hasta 217 m, no viéndose afectado por los hundimientos de la ciudad por lo que no requiera sistemas de bombeo siendo su funcionamiento sólo de gravedad y su estructura es suficiente para soportar los efectos de los sismos, véase figura II-5 "Localización de las obras de drenaje en el Valle de México".

Actualmente la estructura del drenaje en la Ciudad de México inicia en las redes primarias y secundarias, continúa en el sistema general del desagüe y el drenaje profundo; el agua residual sale de la cuenca desembocando en el Río el Salto a través del portal de salida, posteriormente el agua es conducida a la presa Requena, donde sigue su trayecto hasta el Río Tula y la presa Endó. El Río Tula es afluente del Río Moctezuma y éste a su vez del Río Pánuco que descarga en el Golfo de México.

La red secundaria de drenaje, tiene una longitud de más de 10,000 km, y la primaria 1,324 km, éstas redes cuentan en su desarrollo con 79 plantas de bombeo con capacidad conjunta para desplazar 630 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales. El sistema general del desagüe lo forman lagos, lagunas y presas de regulación; canales a cielo abierto: Gran Canal del Desagüe, Canal de Chalco, Río San Javier, Río de los Remedios, Río Tlalnepantla y Río Cuauhtepac con una longitud total de 112 km; así como los ríos entubados: Río San Buenaventura, Río Churubusco, Río de La Piedad y Río Consulado con una longitud total de 54 km y Canal Nacional de 7 km de longitud.

Las cuatro salidas artificiales del agua de la cuenca de México que operan en la actualidad son:

- Tajo de Nochistongo, que recibe las aportaciones del Interceptor Poniente.
- Primer túnel de Tequixquiac, recibe las aguas del Gran Canal del Desagüe.
- Segundo túnel de Tequixquiac, recibe también los caudales del Gran Canal del Desagüe.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

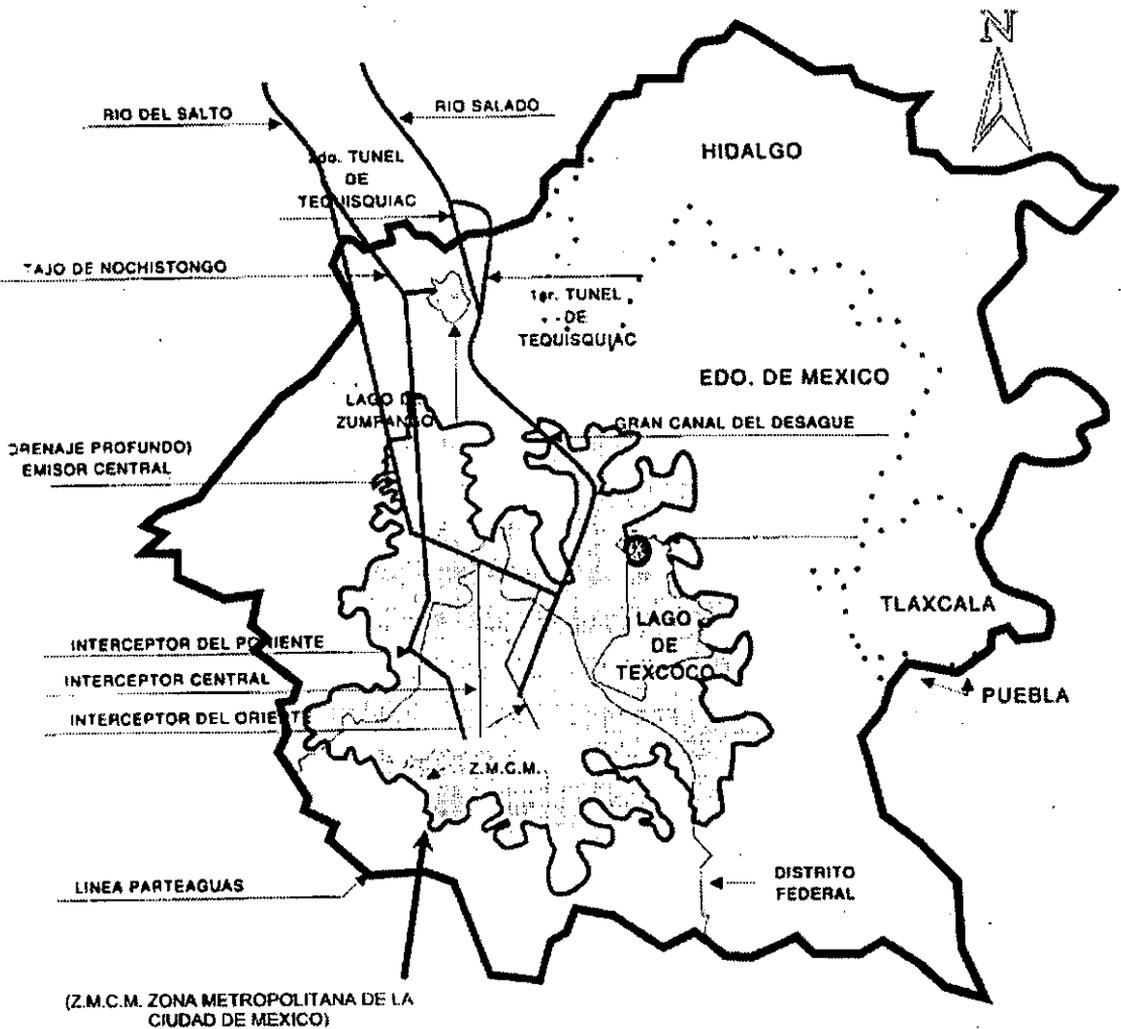


Figura II-5. LOCALIZACION DE LAS OBRAS DE DRENAJE EN EL VALLE DE MEXICO

IMAGEN TOMADA DEL "PROYECTO LAGO DE TEXCOCO" POR EL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL. 1994

- Emisor Central, que es parte del Drenaje Profundo, y recibe las descargas de los Interceptores Centro-Poniente, Central y Oriente.

## **II.2 HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE**

En el año de 1856 el gobierno de la Ciudad de México, después de la Revolución de Ayutla, se convoca a especialistas nacionales y extranjeros a presentar un proyecto que libere de riesgo de inundación a la capital y sus poblaciones vecinas; modernice el drenaje de la metrópoli; realice el mayor numero de canales para la navegación; y aproveche en riegos agricolas las aguas de la cuenca.

Para lograr el objetivo que arriba se describe, el gobierno de la Ciudad de México convocó a un concurso para la presentación de un proyecto que reuniese las características mencionadas, estableciendo un plazo de entrega de ocho meses, el ganador de dicho concurso, obtendría un premio de 12,000 pesos y, aunque este premio por cuestiones económicas no se pagó, el ganador fue el Ing. Francisco de Garay, presentando el proyecto más completo, el cual seguía lineamientos estudiados anteriormente por Simón Méndez (1580); Joaquin Velázquez Cárdenas de León (1774) y el Teniente Ing. M. L. Smith (1848).

La línea principal del proyecto consistía en la construcción del "Gran Canal del Desagüe" que dirigiera las aguas fuera de la cuenca de México para evitar inundaciones, éste canal de 50 kilómetros aproximadamente, sería a cielo abierto, de sección trapezoidal, y sus aguas correrían de sur a norte de la cuenca de México, desembocando por Tequixquiac mediante un túnel de 9 km aproximadamente y un canal terminal de alrededor de 1.5 km. El proyecto también comprendía un canal al sur para introducir las aguas de Chalco y Xochimilco a las atarjeas de la Ciudad de México; un canal de occidente que comunica el Lago de Xochimilco con el Tajo de Nochistongo; y un canal de Oriente para comunicar el Lago de Chalco con el Lago de Zumpango. El proyecto se aprobó pero el período

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

de sequía, la guerra civil y la intervención francesa impidieron su realización véase figura II-6. "Proyecto aprobado en 1856, del Ing. Francisco De Garay, para la ejecución de obras.

En 1665 se tuvo un año muy lluvioso, provocando inundación en la ciudad. Maximiliano nombró a al Ing. Francisco de Garay "Director General del Desagüe del Valle de México". Ordenó que se construyera el proyecto Tequixquiac y mandó comprar a Europa la maquinaria necesaria para la construcción.

La primera semana de julio de 1866 se iniciaba la construcción del proyecto "Tequixquiac" (con paternidad del Teniente Ing. M.L. Smith y el Ing. Francisco de Garay). La obra se divide en tres frentes de trabajo:

- 1) La construcción de 39.5 km, del Gran Canal que iniciaría en el Lago de Texcoco y terminaría en el extremo noreste del Lago de Zumpango para unirse con el túnel.
- 2) La construcción del Túnel de Tequixquiac que iniciara en el bordo norte del Lago de Zumpango siguiendo una dirección al noroeste y terminaría en la barranca de Tequixquiac, el túnel contaría con 24 lumbreras a cada 400 m, aproximadamente con sección transversal de 3 x 2 m, profundidades variables entre 30 y 98 m, las que sumaban en conjunto 1,260 m.
- 3) La construcción del Tajo de desembocadero, sobre el cauce de la barranca de Tequixquiac y que descarga sus aguas al Río de Tequixquiac el que se une con el Río Tula.

Teniéndose un avance de obra de 689 m de construcción de lumbreras y excavados 69,500 m<sup>3</sup> de tierra en el Tajo de Tequixquiac, a mediados de abril de 1867, el ejército del General Mariano Escobedo sitiaba a Maximiliano en

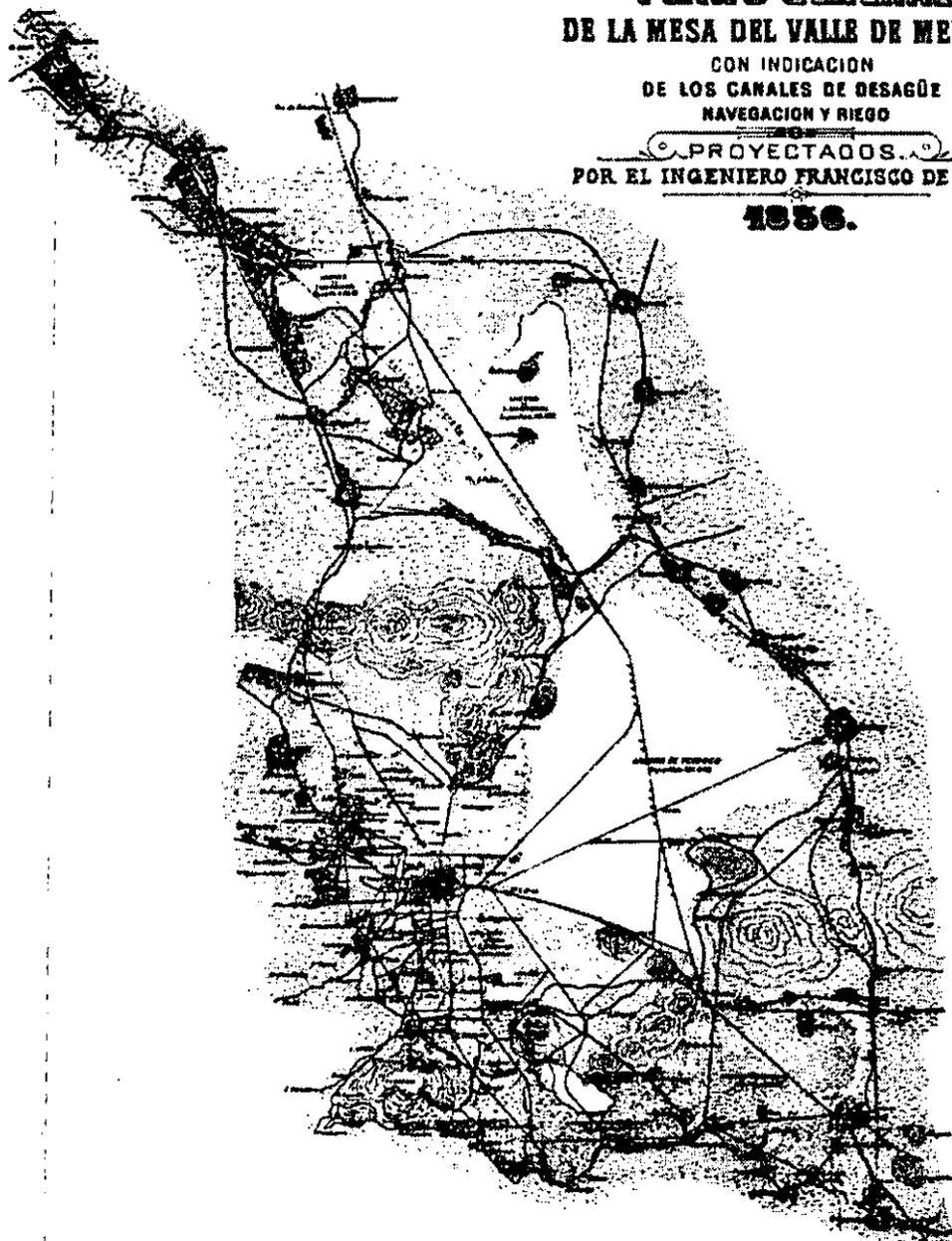
**PLANO GENERAL**  
**DE LA MESA DEL VALLE DE MEXICO**

CON INDICACION  
DE LOS CANALES DE DESAGÜE  
NAVEGACION Y RIEGO

PROYECTADOS.

POR EL INGENIERO FRANCISCO DE GARAY.

1856.



ESCALA DE 1:100 000.

Figura II-6. PROYECTO APROBADO EN 1856, DEL ING. FRANCISCO DE GARAY,  
PARA LA EJECUCION DE OBRAS

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Querétaro. Se marcaba el fin del imperialismo y el triunfo de la República. Las obras del desagüe que se construían con apoyo del gobierno imperial se paraban por falta de dinero. Existiendo el peligro que por falta de mantenimiento y vigilancia, fueran destruídas. Por ésta situación, los ingenieros encargados de las obras del desagüe (Ing. José Iglesias, Ing. Andrés Almazán e Ing. Jesús P. Manzano) se dirigieron al jefe del Ejército de Oriente (General Porfirio Díaz), pidiéndole protección a las obras y ayuda económica para su conservación. El General Porfirio Díaz, considerando que las obras eran de interés nacional, dió una respuesta positiva a los ingenieros.

Bajo el gobierno del presidente Lic. Benito Juárez se nombró al Ing. Jesús P. Manzano como "Director General del Desagüe del Valle de México", se recibía de Europa la maquinaria para construcción mandada a comprar por Maximiliano.

En abril de 1868 se reanudaban los trabajos del desagüe. (Un año después que los había dejado el imperio). Durante este período en el "Gran Canal" se excavaron 25,056 metros cúbicos de material; en el Tajo de Nochistongo se realizó todo el trabajo superficial de los 1,300 metros de longitud, incluyendo lo hecho por el imperio; quedando pendiente la profundidad total que no se había considerando, ya que se había calculado un declive menor al requerido.

En lo referente al túnel, los costos y los problemas técnicos aumentaban, el avance que se tuvo fué de 8 lumbreras construídas en su totalidad y 4 lumbreras parcialmente terminadas; 3 metros de un lado y 3 metros del otro lado de galería en la lumbrera 24, realizándose una ceremonia de apertura de los trabajadores del túnel el 11 de junio de 1869.

Los trabajos del desagüe fueron casi paralizados en 1871 durante la revuelta de la Noria; marcando el fin de los trabajos de construcción del desagüe durante la época juarista.

Al iniciar el período porfirista, el sistema de atarjeas de la capital era un caos siendo el Lago de Texcoco su único receptor. Los habitantes de la ciudad se sometían a condiciones insalubres de vida, la mortalidad aumentaba por falta de un desagüe de aguas negras de la ciudad, por lo que el gobierno daría prioridad a estos problemas. Así, en septiembre de 1879, siendo Director Intemo de las Obras de Desagüe el Ing. Luis Espinosa, presentaba los estudios que había hecho de las condiciones de la cuenca de México y basándose en el proyecto "Tequixquiac", iniciando en 1866 presentaba su proyecto de trabajo en las obras de desagüe véase figura II-7. "Plano del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México", que consistían en:

- 1) Construcción del Gran Canal del Desagüe: que iniciaba en la Ciudad de México en la garita de San Lázaro, se dirigía a los lagos de Texcoco, Lago San Cristóbal y Lago de Zumpango, terminando en su conexión con el Túnel de Tequixquiac, en su trayecto interceptaba de 4 a 5 ríos que bajaban de poniente a oriente, su longitud era de 50 km, con una caída de 9.25 m, pendiente de 185 milímetros por kilómetro; una profundidad en el origen de 3 metros y al final de 22 metros, sección transversal trapezoidal, con un ancho en el fondo de 8.60 metros y taludes de uno por uno.
- 2) Construcción del Túnel de Tequixquiac: con una longitud de 9,520 metros y con una diferencia de nivel en su conexión con el Gran Canal del Desagüe, de 0.43 metros.

Esperando que con el estudio de los detalles del proyecto éste se perfeccionara; fue aprobado por el Presidente de la República. Aunque el proyecto no fue ejecutado inmediatamente, se hicieron tareas de mantenimiento a lo antes ya realizado. Es hasta el período de la reelección indefinida (1884), cuando Don Porfirio Díaz afianzado en el poder, y conciente de la necesidad de su construcción, le da el empuje final a las obras de desagüe.



En 1882 las obras de desagüe se realizaron por administración, nombrando como Director General del Desagüe al Ing. Luis Espinosa. Durante sus primeros años como director, el Ing. Espinosa por falta de recursos no pudo hacer gran cosa, excepto obras de mantenimiento, el 16 de noviembre de 1885 en decreto instalado por el ayuntamiento de la metrópoli, se autorizaba una erogación anual de \$400,000 pesos para las obras del desagüe y el 2 de febrero de 1886 se creaba la "Junta Directiva del Desagüe del Valle de México", presidida por Pedro Rincón Gallardo. En ese momento el Ing. Luis Espinosa informaba que la construcción del Tajo de Nochistongo, con una longitud de 2500 m estaba terminada, habiendo sido excavada su mayor parte entre los años 1868 y 1870. El Túnel Tequixquiac y el Gran Canal del Desagüe requerían más esfuerzo, dinero y tiempo.

El Ing. Luis Espinosa reiniciaba los trabajos del desagüe en los que la falta de maquinaria adecuada, escasez de operarios e imprevistos en el terreno daban por resultado un lento avance de los trabajos por lo que, hacia 1888 se llegaba a la conclusión de contratar una compañía extranjera con tecnología más avanzada. Así el gobierno mexicano entregaba a la compañía inglesa "Mexican Prospecting and Finance Co. Ltd" un avance de lumbreras: de la 1 a la 24, encontrándose perdida la lumbrera 19, las que contaban con 956.11 metros de excavación y 922.73 metros de revestimiento, por lo que la compañía contratista debería ejecutar para terminar 281.55 metros de excavación y 328.07 metros de revestimiento. El túnel estaba construido en sección completa, 1,580.45 metros, quedando por construir 7,939.55 metros.

Durante el primer semestre, la compañía inglesa avanzaba lentamente construyendo un promedio mensual de 57.66 metros de túnel completo, después empezaron a recibir bombas, malacates, elevadores, batidores, herramientas y utensilios; también recibieron de Inglaterra mano de obra calificada (mecánicos, albañiles, mineros, etc.), con lo que se dió una etapa de gran actividad en la obra.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Pero la Mexican Prospecting que había cambiado su razón social por "Mexican Co. of London" había cometido dos errores; el primero fue un error de cálculo en sus estimaciones, sobre todo porque no consideraron bien el costo que causaría desaguar las lumbreras y galerías; error que podía arreglarse mediante un ajuste con el gobierno; el mayor error radicó en quitarle poco más de 6 km., al Gran Canal del Desagüe sustituyéndolo por un túnel; argumentando que un canal con profundidad de 20 metros se vuelve más caro que la construcción de un túnel; y aunque el Ing. Luis Espinosa objetó con cifras esta propuesta, se aprobó la construcción del túnel, el cual se llamaría "Túnel de Zumpango", subcontratándose posteriormente para ésta obra a la compañía inglesa "Read and Campbell".

A finales de 1890 la "Mexican Prospecting" con anuencia del gobierno transfería su contrato a "Read and Campbell" convencida que había hecho un negocio no rentable. En la construcción del Túnel de Zumpango, a principios de 1891, "Read and Campbell" había construido solo cinco lumbreras de las quince programadas, abierto un poco más de 240 metros de galería, y sus libros de contabilidad marcaban números rojos, por lo que solicitó rescindir su contrato, compensando al gobierno entregándole su maquinaria e instalaciones, argumentando en su retirada que el principal problema era el bombeo general incesante que tenía que realizar.

En marzo de 1891, el gobierno acuerda con "Read and Campbell" que solo construyera el Túnel de Tequixquiac; y salvo un tramo de galería que conectó el túnel de Tequixquiac con el Gran Canal del Desagüe, el Túnel de Zumpango se abandonó definitivamente. Otra vez el agua fue el principal obstáculo para el avance de la obra, ya que aumentaba en gran cantidad, no permitiendo hacer los trabajos programados, por lo que la compañía "Read and Campbell" decidía abandonar dichos trabajos. Para que no se viera interrumpida la obra del desagüe, el gobierno convenció a "Read and Campbell" que por un corto tiempo

continuara con los trabajos con el fin de transferir su experiencia a los técnicos mexicanos y hacer la entrega de la obra a la Junta Directiva (maquinaria, instalaciones, instrumental, etc.). Del 29 de octubre de 1891 al 28 de febrero de 1892 "Read and Campbell" el entregaba el Túnel de Tequixquiac a la Junta Directiva.

Faltando por construir el acabado y revestimiento de doce lumbreras y casi la mitad de la galería, el 1° de marzo de 1892, la Junta Directiva se hacía cargo del Túnel de Tequixquiac; la meritoria técnica mexicana combinada con la extranjera darían fin a ésta obra. Se contrató la obra por tramos a contratistas extranjeros procedentes de regiones mineras de Guanajuato e Hidalgo, a los que se les estimulaba mediante primas económicas; de igual forma se estimuló a los encargados de las bombas. Fué en agosto de 1894 entre las lumbreras 10 y 11 que, cayendo conglomerados de toba margosa, la luz comunicaba dos frentes de trabajo; los trabajadores llenos de alegría dejaban franco en toda su longitud (10,021.79 metros) el Túnel de Tequixquiac. Los detalles faltantes se hicieron el resto del año quedando oficialmente terminados los trabajos el mes de diciembre de 1894.

Volviendo al tema principal y, teniendo como antecedentes un panorama general del Tajo y del Túnel de Tequixquiac, se describe la parte medular de la obra del desagüe: el "Gran Canal", el cual contará con una longitud de 47,527 metros, iniciando en la garita de San Lázaro, teniendo una acotación en el fondo de 2.25 metros y una profundidad de 5.75 metros; el canal sigue por la margen occidental del Lago de Texcoco; al final del km 20, se dirige al noroeste, atravesando el Lago de San Cristóbal y parte del Lago de Xaltocan; en el km 43+500, al sur de la población de Zumpango, se dirige hacia el norte para unirse con el Túnel de Tequixquiac en el km 47+527 donde su acotación en el fondo es de 6+632 km con una profundidad de 21.38 metros. Su pendiente uniforme es de 0.000187; sus taludes en lo general son de 45°.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Los primeros 20 km del canal tienen un ancho en el fondo de 5 metros, considerados como emisarios del sistema de atarjeas de la Ciudad de México; y del km 20 a su final, su ancho en el fondo es de 6.5 metros y constituye propiamente el canal para el desagüe del Valle de México. El canal debe aportar un gasto hidráulico máximo de 17.5 m<sup>3</sup>/s al túnel.

Entre marzo de 1886 y diciembre de 1889, dominando la idea de dar prioridad al Túnel de Tequixquiac y Tajo de Nochistongo y queriendo aprovechar los recursos con que se contaba, sólo se realizaron trabajos preparatorios en el Gran Canal del Desagüe, los cuales fueron calificados algunas veces como deficientes y algunos como inútiles. Algunos de los trabajos que se realizaron en este tiempo fueron excavaciones que nunca llegaron al nivel del proyecto: se trabajó en el tramo que unía los lagos de Texcoco y San Cristóbal; entre la garita de San Lázaro y el Canal del Norte; en el lecho de San Cristóbal, entre los kilómetros 38 y 44, y en el kilómetro 22 (Trabajos ejecutados por la compañía "Bucyrus Construction Co."). Para algunas excavaciones se utilizaron cientos de soldados y peones que trabajaban por un salario miserable.

En diciembre de 1889 se contrató a la compañía "S. Pearson and Son" para la construcción del "Gran Canal". En el curso del año 1890 "S. Pearson and Son" empezó a recibir de Inglaterra maquinaria de alta calidad. Dividido por el dique de San Cristóbal, el Gran Canal del Desagüe se construía en dos frentes de trabajo. En febrero de 1891 abandonando el proyecto del Túnel de Zumpango se ajustaba el contrato con "S. Pearson and Son". Debiendo terminar en agosto de 1894 (incluyendo puentes para paso de agua, ferrocarriles y vehículos), dando tiempo extra a la excavación de roca y perfeccionamiento de taludes y fondo en todo el canal.

Pronto a vencerse el plazo del contrato, en los primeros 9 kilómetros que ligaban el canal con el túnel, se necesitaban trabajos especiales, resultando incosteable a

la compañía "S. Pearson and Son", por lo que a principios de 1894 se hacía un nuevo contrato con "S. Pearson and Son", debiendo terminar la obra el 1° de mayo de 1896, excepto la excavación que no pudieran realizar las dragas. La junta directiva se haría cargo de los primeros 9 kilómetros y último medio kilómetro del canal, comprometiéndose a concluir la obra un año antes que terminara "S. Pearson and Son".

Para ejecutar la excavación del último medio kilómetro así como la mampostería en la boca de entrada del túnel y en la boca de la presa construida en la conexión del canal con el túnel, se contrató a la compañía "Read and Campbell",

Faltando la excavación de los primeros 9 kilómetros y perfeccionamiento de taludes y fondo del Gran Canal y sin el revestimiento de la embocadura del túnel de Tequixquiac, el 22 de agosto de 1895, en presencia del presidente de la República Gral. Porfirio Díaz, en el pueblo de Zumpango en el kilómetro 46+500 del Gran Canal, se rompía una represa haciendo pasar las aguas del Gran Canal hacia el Túnel de Tequixquiac.

Los trabajos que tenía pendientes ó en proceso de ejecución "S. Pearson and Son", los ejecutó posteriormente, terminándolos el 25 de diciembre de 1897.

Durante los últimos años del siglo XIX, teniendo problemas de inestabilidad del terreno, hundimientos, azolves y una fuerte temporada de lluvias del año de 1898, se terminaron de construir los primeros 9+000 kilómetros del Gran Canal del Desagüe: realizándose la excavación faltante y las obras de infraestructura del tramo. Durante éste tiempo, se estrenaba alcantarillado en la Ciudad de México, por lo que los desechos sólidos llegaban con gran facilidad a la garita de San Lazaro, resultando de alto costo elevarlos por medio de bombas para depositarlos en el Lago de Texcoco, por lo que faltando por perfeccionar algunos taludes y a reserva de terminarlos después, se decide poner en operación el Gran Canal del

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Desagüe. El 17 de marzo de 1900, el presidente de México, Gral. Porfirio Díaz inaugura el "Sistema General del Desagüe de la Cuenca de México".

Originalmente el Gran Canal del Desagüe, fue diseñado para servir a una población de un millón de habitantes, cantidad que en aquel entonces se consideraba como impensable, sin embargo, la ciudad creció en forma acelerada, tanto por tasas de natalidad elevadas, como por una gran migración desde el campo hacia las grandes ciudades; en el año de 1930 contaba con un millón de habitantes, en 1940 pasaba de dos millones y en 1950 rebasaba los tres millones; el caudal del canal aumentaba considerablemente. A partir de 1930 es notable que la gran cantidad de pozos de bombeo para el abastecimiento de agua de los habitantes de la ciudad; éstas acciones, aceleraron el hundimiento regional del suelo, dislocando la red de alcantarillado por la formación de columpios y contrapendientes en los colectores. Muchos de los colectores habían descendido más de 50 cm, perdiendo su pendiente original. En 1930 se trabaja en la construcción de colectores que requerían, posteriormente, cárcamos y plantas de bombeo para el libre escurrimiento de sus aguas residuales. El Gran Canal del Desagüe representa la solución al drenaje de la Ciudad de México hasta la operación del Drenaje Profundo.

En 1950 el hundimiento regional —que, como se ha mencionado, es causado por la constante y cada vez mayor extracción de agua del subsuelo—, provocó que los escurrimientos del Gran Canal del Desagüe se realizaran por carga hidráulica, ya que su plantilla se encontraba en contrapendiente. De esta forma surge la necesidad de construir las plantas de bombeo para descargar los colectores al Gran Canal. La capacidad del Gran Canal del Desagüe pudo aumentarse hasta 175 m<sup>3</sup>/s, con dragados constantes y las obras de refuerzo y aumento de la elevación de sus bordos, véase figura II-8 "El hundimiento de la Ciudad de México", que muestra que en tan solo 80 años, la pendiente del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, pasa de 19 cm por km a una pendiente casi

nula, que prácticamente sólo drena las aguas que en él se vierten por diferencias en el tirante hidráulico.

Actualmente, las plantas de bombeo se ubican en sus primeros 8 kilómetros, que están dentro de zonas urbanas afectadas por el hundimiento regional.

Hoy en día, con el fin de sanear dichas zonas urbanas, por donde circulan las aguas negras, se lleva a cabo un ambicioso proyecto, que consiste en *EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO*, el cual se ha concluido parcialmente, desde la planta de bombeo 5-A, en el km 2+739, hasta el Río de los Remedios, en el km 9+500.

Actualmente, falta por construir el tramo del km 0+000 que es la obra de toma localizada en San Lázaro, hasta la conexión con la planta de bombeo 5-A localizada en el km 2+739. Este proyecto contempla la construcción de vialidades que contribuirán a agilizar el tránsito de vehículos en las zonas que atraviesa, por las delegaciones políticas de la Ciudad de México denominadas "Delegación Política Venustiano Carranza" y "Delegación Política Gustavo A. Madero"

En los siguientes capítulos, se realiza una reseña tanto del proyecto, como de los estudios de: impacto ambiental, contaminación actual, estudios geotécnicos; y estructuras que intervienen en su construcción (capítulo III); procedimientos constructivos (capítulo IV) y estudio financiero (capítulo V); todo esto en el tramo que se ha indicado (km 2+739 a km 9+500), que actualmente se encuentra concluido.

En la figura II-9 "Trazo del entubamiento del Gran Canal", se muestra el recorrido del entubamiento en estudio.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
 Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

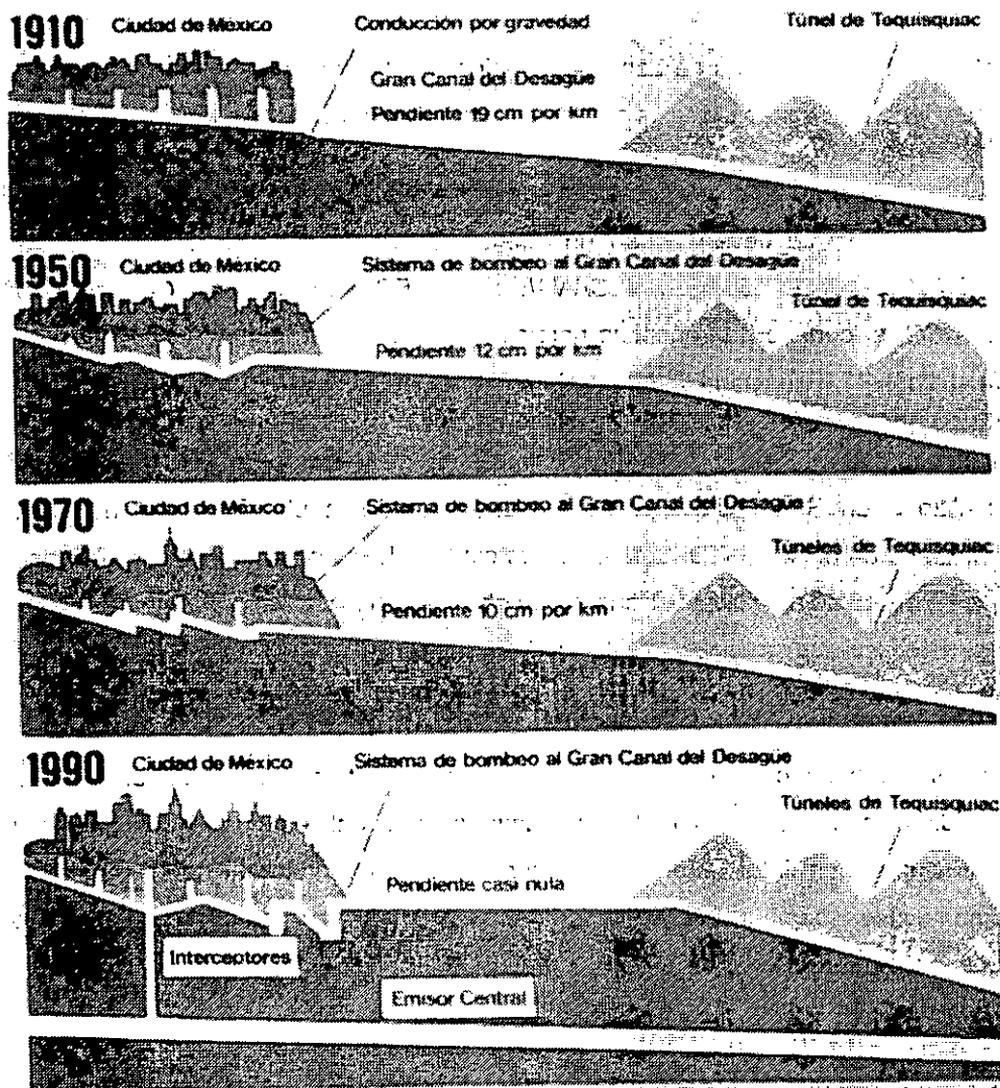


Figura II-8. EL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MEXICO

Tomado de boletín de la Dirección General de Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal. Segunda Edición, Noviembre de 1990

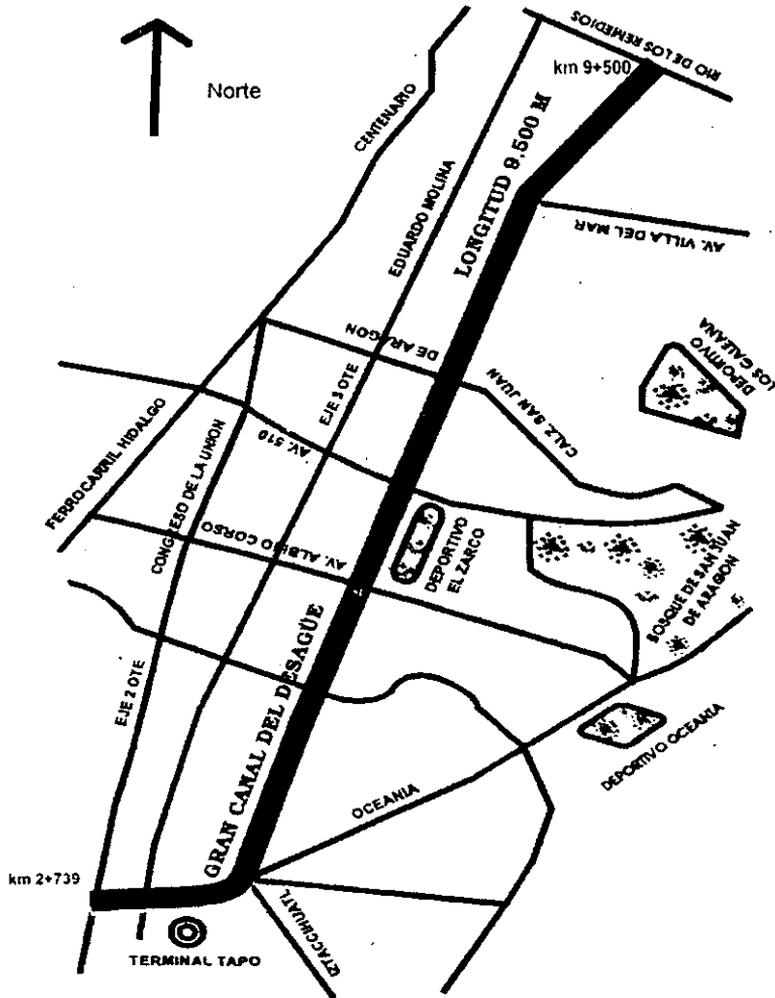


Figura II-9. TRAZO DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL

## **CAPITULO III**

# **PLANEACION DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE**

## **CAPITULO III**

### **PLANEACION DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE**

#### **III.1 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

La construcción de las obras de infraestructura afecta el medio ambiente que les rodea, modifica el entorno geográfico, en el presente caso, el entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, es una obra que indudablemente ocasionará beneficios desde el punto de vista de salud pública, ya que al ser desalojadas, por un ducto, las aguas negras dejan de ser una fuente de mal olor, foco de infecciones, depósito de basura; de esta manera por medio de una obra civil, se induce un impacto positivo en el medio ambiente, que provoca una elevación en la calidad de vida de la población asentada en el área adjunta a la obra. Desde el punto de vista de tránsito vehicular esta obra al poder ser aprovechada como una vialidad, que ayudará a agilizar el flujo del autotransporte en la zona de influencia de la citada obra.

##### **III.1.1 NIVEL DE CONTAMINACION ACTUAL**

En este punto se hace una exposición del estado actual de la calidad del agua residual que desaloja el Gran Canal del Desagüe, del monitoreo del grado de contaminación de esta agua. Considerando que la materia únicamente se transforma y todo lo manufacturado será eventualmente dispuesto al medio ambiente como residuo, es fácil de imaginar un ciclo en el cual dicha materia se extrae, se transforma y se devuelve al medio ambiente, en condiciones que la naturaleza no puede asimilar e integrar nuevamente a los elementos primarios.

Se concede relevancia a la contaminación del agua, porque aún cuando la atmosférica y la producida por residuos sólidos, presenta graves consecuencias,

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

ésta tiene alcances globales y de impacto directo en los recursos básicos de los que depende la vida de los seres que habitan el planeta.

La Ciudad de México tiene en la actualidad problemas de contaminación de agua que han producido graves daños y que de no atacarse adecuadamente, tal vez traigan consecuencias irreversibles o cuando menos, difíciles de controlar y abatir.

Se estima que la calidad promedio de las aguas residuales del Distrito Federal, no difiere en general de las calidades típicas de las aguas conducidas a través del Gran Canal del Desagüe y el Emisor Central.

A la fecha, se han identificado sustancias inorgánicas como metales pesados provenientes de las descargas industriales, detectadas generalmente, en mayor concentración, en las aguas que van del sur, al norte, del Distrito Federal, lo cual concuerda con la localización aleatoria pero concentrada de la industria. Sin embargo, poco se sabe de los efectos de estas sustancias sobre la salud y los ecosistemas, por lo cual no son sancionados en la mayoría de los reportes consultados hasta ahora. En relación con los agentes biológicos, se sancionan los contenidos de bacterias de tipo coliforme, los virus entéricos.

Uno de los problemas que se ha venido agravando con el incremento de la actividad económica y la explosión demográfica en la Ciudad de México, es la contaminación del agua, causando preocupación en las autoridades ya que el agua es vital para el desarrollo y el progreso.

Como es sabido, en la Ciudad de México las principales fuentes de abastecimiento de agua potable es la que proviene del subsuelo y de los Sistemas Lerma y Cutzamala. Su calidad se considera apta para los usos doméstico, industrial y agrícola.

Por otro lado, y como se menciona, la contaminación del agua es el efecto más dramático producido por la acción directa del hombre. El agua residual ante la

necesidad de ser evacuada, es vertida a cuerpos receptores como vehículos de conducción, los cuales por ser corrientes intermitentes y por la cantidad de contaminantes que reciben, han rebasado su capacidad de autopurificación.

Lo anterior se pone de manifiesto, al observarse modificaciones del medio ambiente natural de los cuerpos receptores, como la presencia de malezas acuáticas, insectos, malos olores y la ausencia de fauna habitual, principalmente acuática.

En el presente caso del entubamiento del Gran Canal del Desagüe, la construcción del mismo, provoca modificaciones, en el entorno geográfico, que ayudan para mejorar la calidad de vida de las personas asentadas en dicha área, ya principalmente se elimina un potencial foco de infección, que podría producir enfermedades infecto contagiosas.

#### ***ALGUNOS ELEMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL***

En este punto se identifican los tipos de impactos ambientales que se generarán en el proceso de construcción de la obra y las medidas propuestas para prevenirlas y mitigar sus efectos.

Identificación de los impactos que pueden causar un proyecto sobre el medio ambiente.

En el presente caso del entubamiento del Gran Canal del Desagüe, que transporta aguas residuales de la Ciudad de México, los impactos que provocará dicho entubamiento serán indudablemente benéficos, ya que como se mencionó anteriormente, se controlará una fuente de contaminación, en las zonas adyacentes donde se localiza el trazo del canal, se eliminan los malos olores provenientes del agua residual. En la figura III-1 "Tipos de Impactos Ambientales" Generados, se muestra esquemáticamente la modificación del medio ambiente actual, y la generación del tipo de impactos ambientales benéficos y adversos al ser afectado por causas externas.

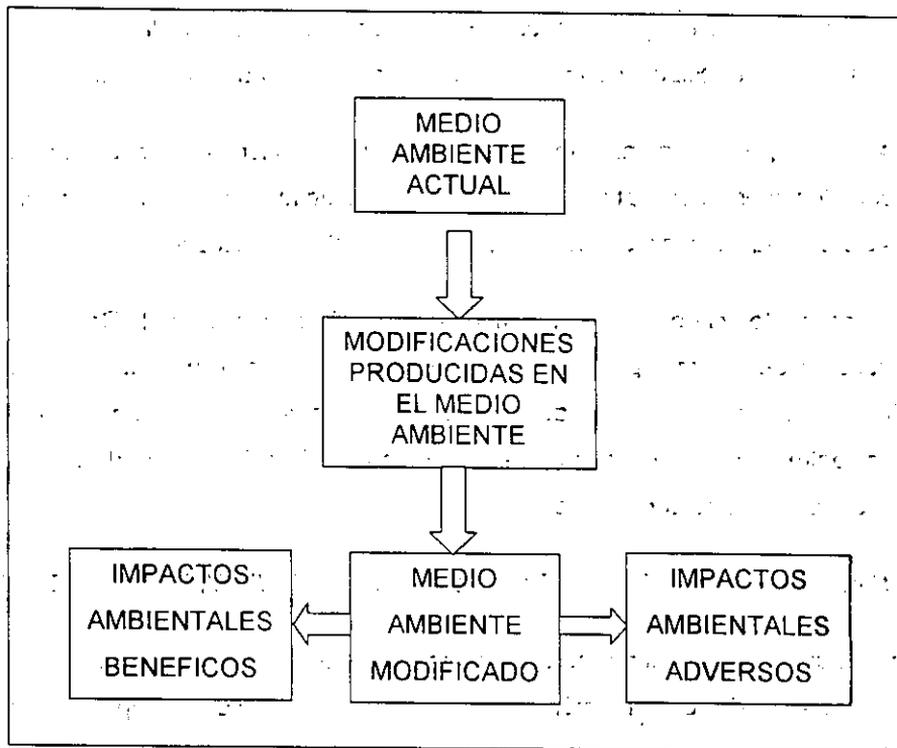


FIGURA III-1

### Tipos de Impactos Ambientales

III.1.1.2 Identificación y evaluación de los impactos al medio ambiente producidos por el entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México.

Con el objeto de poder identificar y evaluar los efectos que produce una obra en el medio ambiente que la rodea se procede a establecer que se entiende por impacto ambiental, medida de prevención y medida de mitigación. Se entenderá, por: impacto ambiental: la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o naturaleza esto es de acuerdo al Artículo 3o fracción XIX de Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Medidas de prevención y mitigación. Las medidas de prevención son el conjunto de acciones

que deberá ejecutar el promovente para evitar efectos previsibles de deterioro del ambiente. Las medidas de mitigación son el conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas; estas definiciones están dadas en el Artículo 3º, fracción XIII y XIV del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Para el caso del entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, se identificaron los impactos potenciales al medio y las medidas de prevención y mitigación; lo cual se hizo de acuerdo a las etapas de preparación, construcción, operación y mantenimiento de la obra.

Para hacer la identificación de los impactos, se procedió de la siguiente forma:

### ***IMPACTOS AMBIENTALES EN LAS ETAPAS DE PREPARACIÓN Y CONSTRUCCIÓN***

Durante el proceso constructivo de las obras de esta magnitud, por la cantidad de personal que labora en ellas, los desechos importantes son las aportaciones de descargas sanitarias, dicho problema es resuelto mediante la instalación de casetas sanitarias portátiles que se instalarán donde se ubican los pozos de visita de la red de drenaje sanitario, también los trabajadores generarán residuos sólidos, por lo que se instalarán contenedores en los frentes de trabajo, y serán transportados posteriormente al relleno sanitario que indique la autoridad correspondiente.

El drenaje de la zona de oficinas y almacén se conecta a los pozos de visita mediante una instalación provisional, evitando así contaminación y encharcamientos en la zona adyacente a la obra. Con respecto a los residuos que actualmente se encuentran en el cauce del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

de México, éstos serán recolectados y transportados hacia el tiro San Gregorio de Xochimilco para utilizarse como relleno.

Durante la preparación del sitio y construcción de la obra de entubamiento, también se generarán residuos de tipo municipal (papel, plásticos, envases, residuos de alimento, vidrio, metal), los cuáles serán colocados en tambos y transportados al relleno sanitario. Por el arribo de camiones pesados al tramo por entubar, la utilización de maquinaria y equipos que utilizan gasolinas o diesel, se producen emisiones contaminantes a la atmósfera, tales como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas.

La zona específica del proyecto corresponde a la franja de terrenos por la que está localizado el Gran Canal del Desagüe.

Por otro lado, existen además aspectos previos que se empezaron a realizar desde la etapa de planeación, como es el desarrollo de la ingeniería, la realización de estudios previos, y asimismo, la misma gestión que se realiza ante las autoridades, lo que representa generación de empleos directos e indirectos, con la consecuente derrama económica.

Se observa que en esta etapa es donde se presenta el mayor número de impactos negativos, por ser en la que se modifica el entorno, aunque en el presente caso ya se encuentra perturbado, no obstante se tienen impactos adversos. A continuación se detallan los impactos de acuerdo a los siguientes conceptos constructivos.

- a) Pruebas de terreno. Se presentarán levantamientos de polvos y generación de ruidos. El tipo de impacto es temporal y reversible.
- b) Trazo y nivelación. Se eliminará vegetación, habrá levantamiento de polvos y generación de ruidos. El impacto es temporal y reversible.

- c) Excavación, georedes, sobrecarga, cama de tezontle, piezómetros, plantilla y relleno. Se presentarán levantamiento de polvos, generación de ruidos. El impacto es temporal y reversible.
- d) Carpeta asfáltica. Se generarán levantamiento de polvos, generación de ruidos y olores. El impacto es temporal y reversible.
- e) Obras de protección. Con dichas obras se evitarán daños a las personas y los equipos, se evita la perdida de tiempo para corregir la alteración a la normalidad de las actividades cotidianas de la zona, donde se localiza la obra.
- f) Acarreos. Suspensión de partículas, malos olores. El impacto será temporal y reversible.

#### **ALTERACIONES QUE SE PRESENTAN EN EL ENTORNO FÍSICO**

Las acciones arriba mencionadas, provocarán impactos ambientales, al ser por sí mismas causas de modificaciones al entorno, en este sentido, se identifican las siguientes alteraciones:

- a) Impacto al medio acuático, agua superficial.

El Gran Canal del Desagüe es en la actualidad un canal a cielo abierto que descarga las aguas residuales de parte de la Ciudad de México, hacia fuera del Valle de México. Por otra parte, el consumo de agua esperado, durante esta etapa es mínimo, por lo cual se puede considerar que el impacto en cuanto al consumo de agua será irrelevante.

Cualquier tipo de actividad constructiva requiere de agua tanto para la misma obra de entubamiento, que como para los servicios. Es importante recalcar que la obra de entubamiento, no generará por si misma un gran volumen de aguas residuales. Por otra parte, se generarán aguas residuales por los trabajadores. No obstante, el manejo de dichas aguas se hará de forma controlada verificándose

que los trabajadores utilicen los sitios destinados para la realización de sus necesidades fisiológicas. Por lo anterior, no se prevé un efecto negativo en este sentido.

b) Impactos en el suelo.

Si se parte del hecho, de que el sitio en estudio, se encuentra fuertemente perturbado y totalmente modificado, se presume que el suelo y zona cercana del tramo, no tendrá un impacto adverso más allá del que se tiene actualmente. Sin embargo, durante esta fase existirán otros impactos adicionales al suelo, ya que las obras por realizarse, alterarán algunas características físicas del mismo, debido al necesario movimientos de tierras, y por lo tanto, se afectará al recurso suelo en capas más profundas, debido a los cortes, excavaciones y rellenos. En general el impacto al suelo, no es relevante ni significativo, por las condiciones actuales de perturbación.

Por otra parte, los residuos sólidos, escombros y material orgánico (restos de vegetación, animales muertos, etc.) extraídos del tramo en estudio, más los constituidos de residuos materiales de la construcción propia, impactan de manera adversa a los sitios de disposición final a donde serán depositados. Son impactos temporales no significativos.

c) Impactos a la biota.

La biota se define como el conjunto de fauna y flora de un lugar. Se considera que no hay afectación ninguna hacia la flora y fauna silvestres, por la carencia total dentro del tramo en estudio y zona cercana a lo largo del Gran Canal del Desagüe. Sin embargo, por las condiciones actuales del tramo, se identifica que existe fauna de tipo nociva, ya es un lugar propicio para el desarrollo, sobre todo, de roedores (ratas y ratones), moscas y mosquitos. Las actividades de preparación del sitio y construcción, propiciarán el desplazamiento de algunos

animales tales como los roedores, lo que implica un posible impacto, hacia las casa-habitación que se encuentren más cercanas al tramo por entubar.

En las etapas posteriores de acondicionamiento del tramo para sustentar alguna cubierta verde, especialmente la frontera hacia las colonias y vialidad a lo largo del tramo, se impactará de manera positiva al entorno.

d) Impactos a la atmósfera.

En las obras necesarias para el entubamiento, se realizarán excavaciones (profundización de la plantilla, ampliación de la sección transversal del canal, etc.), compactaciones, ello implica la generación de partículas hacia la atmósfera. Los polvos fugitivos serán producidos por la circulación de vehículos y el manejo de materiales terrígenos. Es un impacto adverso, de mediana magnitud.

Por la emisión de ruido con valores presumiblemente superiores a lo establecido en las normas vigentes, debido a que la maquinaria de construcción pesada que se utilizará emite normalmente valores superiores a los 80 decibeles. Cabe señalar que estos impactos son de baja magnitud y temporales. Asimismo, los gases y humos de combustión generados por la operación de vehículos, maquinaria y equipos de combustión interna, a gasolina y diesel, serán enviados a la atmósfera. Es un impacto no significativo, temporal y acumulativo.

e) Impactos en la vialidad.

Por el incremento en el número de camiones de volteo que tendrán que acudir al sitio a llevar material de construcción o retirar tierras o residuos.

Debido al flujo de estos camiones, que se efectuará sobre el área circundante, calles aledañas las cuales transportarán dichos materiales. Se considera que este impacto no es significativo y es temporal. Se cuidará que dichos vehículos cumplan estrictamente con las leyes de tránsito vehicular, principalmente que

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

cumplan con las verificaciones, que no tiren el azolve por donde circulan que el camión se cubra con una lona. El arribo y salida de camiones u otros vehículos automotores al sitio, representa flujo horario fuera de lo normal por las vialidades de acceso.

f) Impactos en el paisaje natural.

La preparación del sitio y construcción del entubamiento, así como su infraestructura presupone un impacto paisajístico adverso para esta etapa.

Al introducir maquinaria y equipos, tráfico vehicular, camiones pesados, y el propio personal de obra, contribuyen a la alteración de la fisonomía actual dentro de las inmediaciones al tramo por entubar. Es un impacto no significativo y temporal, ya que el paisaje predominante es urbano.

**IMPACTOS EN LAS ETAPAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Los impactos negativos al medio ambiente también se presentarán en la etapa de operación y mantenimiento, ya que al hacer el desazolve, limpieza de atarjeas y pozos se levantarán polvos, se generarán nuevamente olores, se emitirán ruidos, se extraerán lodos. Sin embargo el impacto es temporal y reversible.

Durante esta etapa, se considera un impacto global de tipo positivo, significativo y permanente, ya que el tramo entubado, corresponderá a una obra hidráulica dentro del Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Los impactos ambientales positivos incidirán en los factores ambientales de la siguiente forma.

a) Agua superficial

En este aspecto, existe un impacto benéfico, ya que se permitirá el libre flujo de las aguas por un tubo, por lo que no correrán las aguas residuales al aire libre provocando los efectos nocivos actuales. Es un impacto positivo y permanente.

b) Biota

No existe un impacto de ningún orden, ya que el sitio no será acondicionado para albergar comunidad biótica silvestre alguna. Sin embargo, se propiciará una zona verde arbolada (inducida) a lo largo del tramo.

c) Aire

Por el flujo de las aguas en un tubo, se propiciará que no haya más malos olores, por efecto del canal a cielo abierto. Es un impacto positivo y permanente.

d) Ruido

En caso de acondicionarse como vialidad se podrían generar ruidos por el tránsito de vehículos. Considerando que el sitio de la obra es urbano y que ya existe infraestructura vial, este impacto no se considera relevante ya que esta vialidad servirá para aliviar las vialidades ya existentes, por lo que no se generará mayor ruido del que ya existe.

e) Paisaje

Al proponer que se haga uso como vialidad el tramo entubado, se deberá dar mantenimiento a dicha vía, tanto en la superficie de rodamiento, señales de tránsito, alumbrado, como en las áreas verdes, con la finalidad de que el impacto sea positivo y permanente. Se considera que el paisaje que mejorará esta etapa sufre una modificación sustancial al que actualmente se percibe en el tramo por entubar. Es un impacto significativo. Se propiciará un paisaje que mejorará al actual. El impacto es positivo y permanente.

En resumen, se considera que en esta etapa de operación y mantenimiento, por definición, exista un fuerte impacto ambiental positivo y significativo, ya que la operación del tramo entubado del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de que

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

nos ocupa, deberá cumplir con las normas constructivas y de ingeniería. Además, el objetivo final del proyecto será el manejo integral de las aguas residuales, constituye en sí un impacto benéfico y permanente, para el adecuado desarrollo del drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Por otra parte, los impactos negativos inevitables se suceden durante la fase de preparación del sitio y construcción, sin embargo, muchos de ellos pueden ser mitigados y/o eliminados, con medidas adecuadas y a largo plazo se revertirán como impactos positivos. Como se menciona a continuación.

**MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

Las medidas de prevención y mitigación que se pretendan adoptar, las cuales deberán relacionarse con los impactos identificados. Deberán atenuar el efecto de los impactos potenciales antes mencionados. Para hacer una descripción de las medidas que se tomarán, se procedió de la siguiente forma:

**MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN EN ETAPAS DE PREPARACIÓN Y CONSTRUCCIÓN**

a) Trazo y nivelación. Para prevenir el levantamiento de polvos y la generación de ruidos, se requiere: regar agua tratada en el suelo para evitar el levantamiento de polvo y darle un mantenimiento adecuado al equipo de construcción. Para mitigar la eliminación de la vegetación, se requiere su sustitución, se plantarán especies locales, en las áreas verdes de la nueva avenida, como son sauces, pirules, acacias, álamos, especies vegetales que no estorben el funcionamiento del canal entubado.

b) Demolición de pavimentos, excavación, cama de tezontle, instalación de tubos, pozos de visita, relleno, carpeta asfáltica, acarreo. Para prevenir el levantamiento de polvos, se regará agua en el suelo, con respecto a la

generación de ruidos y con el propósito de mitigar el ruido, se dará el mantenimiento adecuado al equipo de construcción.

c) Las medidas de mitigación por aplicarse en la etapa de operación y mantenimiento para el desazolve y limpieza de atarjeas y pozos, será prevenir que el lodo se convierta en un foco de olores y de infección y que se regrese a las atarjeas y pozos del cual se extrajo, se requiere que los lodos desalojados se confinen de inmediato, es necesario eliminar la costumbre de abandonarlos en el área adjunta del sitio en que se extraen. Para evitar los malos olores, los lodos deben extraerse rápidamente y ser transferidos al lugar donde será su depósito final.

### ***FACTORES AMBIENTALES BENEFICIADOS POR LAS MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN***

Estas medidas de mitigación se propusieron con la finalidad de incidir, en los siguientes factores ambientales:

#### **a) Calidad del aire**

Para disminuir la emisión de partículas de origen terrígeno durante la realización de las obras constructivas, se deberá regar periódicamente (fase húmeda) con agua tratada, hacia las partes de mayor circulación o actividad, se procurará utilizar sistemas de aspersión. Los camiones transportistas de material fino deberán circular cubiertos con lonas sujetas. Se prohíbe la quema a cielo abierto de cualquier material en el sitio, la disposición final de los materiales resultantes se realizará en el sitio que las autoridad municipal haya destinado para tal fin.

Para minimizar las emisiones contaminantes a la atmósfera y la generación de ruido por el uso de maquinaria y equipo con motores de combustión interna, se procurará darles mantenimiento mecánico de manera periódica para mantenerlos en óptimas condiciones de funcionamiento, y utilizando silenciadores en los equipos que lo permitan.

b) Calidad del agua

En el riego de áreas constructivas se deberá utilizar solamente agua tratada. Evitar en lo posible, si la sección por entubar presenta aguas estancadas, verter hacia la zona habitacional colindante dichas aguas, para evitar problemas de salud a las personas afectadas.

c) Calidad del suelo

Las actividades de mantenimiento menor y carga de combustible a la maquinaria pesada que operará, deberán ser efectuadas en un sitio específicamente destinado para ello, con el equipo adecuado y cuidando que no se produzcan derrames de hidrocarburos sobre el suelo. En caso de derrame significativo, se deberá excavar el sitio hasta donde ya no haya hidrocarburo alguno, procediendo a confinarlo en recipiente para su posterior depósito. Los aceites gastados que son considerados como residuos y que se generen por la operación de la maquinaria deberán ser manejados de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos, y por ningún motivo podrán ser vertidos en el tramo mismo y terrenos aledaños.

Conociendo las malas prácticas de los conductores que manejan las "ollas de concreto", dado que acostumbran tirar los sobrantes en cualquier sitio, se deberá prohibir terminantemente que lleven a cabo estas prácticas nocivas, destinando para ello un sitio específico donde puedan ser depositadas las "lechadas" y sobrantes de concreto hidráulico. Se prohíbe que este tipo de desechos y otros similares sean vertidos a los terrenos cercanos o colindantes. Será responsabilidad de la empresa constructora el vigilar que se cumpla con esta disposición.

Se deberán utilizar letrinas sanitarias del tipo seco, a fin de evitar el fecalismo al aire libre, la contaminación del suelo por desechos orgánicos, proliferación de

fauna nociva y malos olores. Así mismo, se deberá prohibir el vertimiento de estos desechos fisiológicos en el tramo o cauce, y terrenos cercanos. La empresa encargada de la construcción programará el número necesario de sanitarios portátiles con respecto al número de trabajadores de la obra.

d) Paisaje

En el presente caso ya existe un muro en ambas márgenes y en el caso de no existir en algún tramo se procederá, a lo largo del tramo por entubar, a colocar una cortina con lámina pintora o similar, a fin de disminuir o evitar un impacto visual adverso.

e) Residuos sólidos

Se evitará la acumulación excesiva, cerca de las casas habitación colindantes, de residuos sólidos en la fase de extracción de materiales que se encuentran actualmente en el tramo por entubar. Se debe dar un manejo adecuado de los materiales sobrantes tanto de limpieza del tramo como de obra, disponiéndolos en los bancos de tiro autorizados o el cercano relleno sanitario autorizado.

Los residuos sólidos que se generen en las etapas de preparación del sitio y construcción, deben ser almacenados temporalmente en forma adecuada en lugares asignados para tal fin, dentro del tramo exclusivamente, sin interferir con los lugares de tránsito, para que periódicamente sean transportados al relleno sanitario. Algunos materiales como metales y plásticos pueden ser reciclables, por lo que se propiciará su reutilización.

f) Vialidad

Se deberá diseñar un programa de recepción de materiales de forma tal, que los camiones que acudan al sitio a llevar material o retirar residuos, no generen filas que puedan interferir con la vialidad. Además se colocarán señales viales de prevención y se asignará personal capacitado encargado de tránsito vial, durante todo el desarrollo de la obra.

g) Otros

Se deberá elaborar un estudio profundo de Riesgo Ambiental del tramo por entubar y su área de influencia, a fin de identificar, prevenir, eliminar y mitigar posibles situaciones emergentes que pudieran ocurrir.

Se deberán tomar las medidas adecuadas de seguridad del trabajo, para evitar accidentes y vigilar la seguridad con que deben realizarse los movimientos vehiculares dentro del área de obra e influencia. Para esto, el tramo deberá estar completamente aislado o cercado y el acceso controlado y restringido al personal autorizado. Se asignará personal de vigilancia las 24 horas del día, durante toda la obra.

Supervisar y señalizar los tramos de construcción en donde se encuentren tuberías propiedad de Petróleos Mexicanos (PEMEX), otros ductos, pasos vehiculares y peatonales. Se deberá trabajar de acuerdo a los procedimientos y normas establecidos para cruzar ductos de Petróleos Mexicanos.

Se considera a priori que obras hidráulicas como la presente son proyectos de saneamiento encaminados al manejo integral de las aguas residuales y pluviales para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, y que por sí mismas, adquieren relevancia benéfica, ya que el sitio actualmente es un lugar contaminado que puede representar, además, problemas de salud para la población cercana.

Como toda actividad constructiva, es indudable que se producirán impactos tanto positivos como negativos, directos e indirectos, significativos, temporales y permanentes.

En este sentido, los impactos ambientales identificados de carácter adverso, más relevantes, se producirán en las etapas de preparación del sitio y de construcción.

Sin embargo, todos los impactos pueden ser mitigados o disminuidos, si se aplican las medidas de prevención y mitigación de impactos propuestas.

La obra de entubamiento del Gran Canal del Desagüe implica un impacto altamente significativo de relevancia, ya que se eliminarán y mejorarán completamente las condiciones actuales del tramo, que permitirán un flujo hídrico adecuado. Es una obra permanente de alto valor ambiental y social para la región de influencia.

Así este proyecto es compatible y se enmarca dentro de los objetivos previstos en el Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El proyecto se inserta plenamente dentro de los planteamientos señalados en el Plan Nacional de Desarrollo (1995-2000), en lo referente a la elevar la eficiencia del sistema hidrológico, fortaleciendo los aspectos del manejo integral de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Por otra parte, se considera que la parte ejecutante de las obras de entubamiento, deberá cumplir adecuadamente con las recomendaciones y las indicaciones de la presente manifestación para asegurar los beneficios que el proyecto estima proporcionará, tanto a la región de influencia, habitantes cercanos a la zona, así como al ambiente. Para tal fin, la desarrolladora, contará con la experiencia necesaria para satisfacer las recomendaciones propuestas.

Finalmente, de la presente manifestación de impacto ambiental, se concluye que el proyecto es factible de realizar en el entorno ambiental existente, considerando las medidas de mitigación presentadas, más las que la autoridad en la materia establezca.

### III.1.2 NIVEL DE AGUA FREÁTICA Y DE HUNDIMIENTOS

La acumulación de sedimentos arcillosos durante el paso del tiempo en los antiguos lagos en el Valle de México, originó lo que actualmente es el suelo de la zona plana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Estos estratos, tienen un espesor medio de 40 a 60 m en la mayor parte del Valle, hasta 120 m en la zona de Chalco y Texcoco.

La explotación del acuífero ha provocado el abatimiento del nivel freático, modificando en algunas zonas de un acuífero semiconfinado a uno libre, por la disminución en la presión hidráulica que se ejercía sobre las arcillas.

El interés de las autoridades por conocer la distribución de los hundimientos con respecto al tiempo y buscar soluciones para el problema, motivó la instalación de bancos de nivel cuyas nivelaciones se han realizado periódicamente.

De esta forma, los hundimientos provocados por la consolidación de los estratos de arcilla, ocasionados principalmente por la extracción de agua del acuífero han provocado problemas a la infraestructura urbana. Dentro de los problemas en la infraestructura hidráulica están las modificaciones en las pendientes de los drenes de la ciudad, en especial el caso del Gran Canal del Desagüe y del Dren General del Valle que comprometen la capacidad de desahogo del agua residual y pluvial de la ciudad y de su zona conurbada.

No obstante, el desmesurado crecimiento de la ciudad volvió insuficiente las capacidades de drenaje del Gran Canal del Desagüe y del Emisor del Poniente en 1970; ya el hundimiento había sido tal que el nivel del lago de Texcoco, que en 1910 se hallaba 1.90 metros por debajo del centro de la ciudad, se encontraba 5.50 metros más arriba.

La predicción de hundimientos del terreno se realizó para el período 1994-2010. Desde principios de siglo hasta 1936 los hundimientos de la Ciudad de México se mantuvieron en el orden de cinco centímetros por año. Al aumentar la demanda de agua, se inició la perforación de pozos profundos, y entre 1938 y 1948, el hundimiento en el centro del Distrito Federal se incrementó a 18 centímetros por año, para llegar después a 30 y 50 centímetros anuales. Como consecuencia, el drenaje proyectado para trabajar por gravedad requirió de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal del Desagüe, con un gran incremento en los costos de operación y mantenimiento.

Los principales problemas de drenaje de esta zona se derivan del crecimiento de las áreas urbanizadas y, sobre todo, de los hundimientos del terreno que han alterado substancialmente la pendiente de plantilla del Gran Canal del Desagüe y del Dren General del Valle, cuya capacidad de conducción ha disminuido considerablemente. Si hasta el momento no se han producido problemas graves, es gracias al alivio que proporciona la obra de toma del Gran Canal del Desagüe, que permite derivar gran parte de los escurrimientos hacia el Interceptor Oriente del Drenaje Profundo.

Para el año 2000 se observó que se generarán hundimientos máximos de 175 cm en la zona de los límites del Distrito Federal y Ciudad Nezahualcóyotl; entre 125 y 150 cm en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México; entre 50 y 75 cm en el Centro de la Ciudad de México y alrededor de 100 cm en el área de Xochimilco. Es decir, los mayores hundimientos se encuentran concentrados en las partes oriente y sur, y la velocidad promedio por año disminuye, en valor, de oriente a poniente. Se observa que los hundimientos diferenciales podrían causar problemas en los principales drenes, como son: el Gran Canal del Desagüe, el Canal Nacional, el Canal de Chalco, el Río Churubusco y el Río de la Compañía.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

La tendencia de los hundimientos hace prever que los sitios de confluencia del Gran Canal del Desagüe con el Río de los Remedios y, sobre todo del antiguo cauce de dicho río con el Dren General del Valle, continuarán con un hundimiento mayor al de los demás tramos de los conductos del sistema oriente, por lo que el flujo tenderá hacia esos sitios en forma natural.

De acuerdo con la evolución esperada de los hundimientos y del crecimiento de la mancha urbana, enseguida se plantea una propuesta de desarrollo del sistema hasta alcanzar la solución planteada para el año 2010.

En la primera etapa, que podría desarrollarse en unos dos años, debe construirse una planta de bombeo con capacidad de 40 m<sup>3</sup>/s, el túnel de 6.7 km de longitud y 5 m de diámetro hasta la planta de tratamiento, con la misma capacidad, y la rectificación del Río de los Remedios, entre el Gran Canal del Desagüe y el Dren General del Valle. En paralelo sería necesario construir las lagunas de regulación denominadas: Casa Colorada y El Fusible.

Una vez construidas las lagunas de regulación, en una segunda etapa, que podría durar 3 o 4 años, la capacidad se incrementaría de bombeo en otros 60 m<sup>3</sup>/s, que se enviarían al lago de Casa Colorada y se construiría una conducción adicional de 20 m<sup>3</sup>/s al km 20 del Gran Canal del Desagüe para después de una avenida recuperar la capacidad de almacenamiento en la laguna. Al mismo tiempo se construirían los cajones del Río de los Remedios entre el Gran Canal y el Dren General del Valle.

Los principales problemas de drenaje de esta zona se derivan del crecimiento de las áreas urbanizadas y, sobre todo, de los hundimientos del terreno que dificultan el drenaje hacia los conductos principales y que han alterado substancialmente la pendiente de la plantilla del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México y del Dren General del Valle cuya capacidad de conducción ha venido disminuyendo al paso del tiempo. Los mayores hundimientos se presentan

en los primeros kilómetros del Gran Canal del Desagüe y, sobre todo, en el Dren General del Valle, a la altura de la antigua prolongación del Río de los Remedios. Los perfiles del agua en el Gran Canal del Desagüe para una tormenta de 50 años y contando con la ayuda de la obra de derivación al Sistema de Drenaje Profundo, presentan algún alivio solo para gastos derivados mayores de  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Con las condiciones de urbanización y los hundimientos previstos para el año 2010. Los principales resultados en cuanto a niveles en conductos **son los siguientes:**

- Debido a los hundimientos, el Dren General del Valle ha presentado desbordamientos a lo largo de 11 kilómetros, para el período de retorno de 3 años y a todo lo largo del conducto para el período de retorno de 50 años.
- En el Gran Canal del Desagüe, el agua rebasa la sección del cajón en el Distrito Federal y los bordos entre los tramos del km 9.6 y 13 para tormentas de 3 y 10 años de período de retorno; además, para 50 años también ocurrirían desbordamientos en los tramos del km 17 y 19.
- En el caso del Río de los Remedios, el efecto de los hundimientos se manifiesta en los tramos cercanos al Gran Canal del Desagüe en los que se presentan desbordamientos.

Dadas las condiciones previstas de hundimiento en los primeros kilómetros del Gran Canal del Desagüe y del Dren General del Valle, la solución en condiciones futuras requiere de la construcción de plantas de bombeo que colecten los escurrimientos en las zonas bajas y los descarguen más allá del km 20+000 del Gran Canal, donde la capacidad de conducción es mayor.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

El panorama que se prevé para el año 2010; en el tramo del Gran Canal del Desagüe entre el km 9+500 y el km 18+000, el flujo será conducido de norte a sur mediante la rectificación de dicho tramo; su descarga junto con las del cajón que se construye en el tramo del Distrito Federal, se conducirán en dirección poniente-orienté hasta una planta de bombeo o hasta el lago Casa Colorada, donde los picos de la avenida pueden regularse para después ser bombeados hacia el Gran Canal del Desagüe, aguas abajo del km 20+000 o hacia la planta de tratamiento Texcoco Norte. Por otra parte, las descargas de los ríos Churubusco y de La Compañía podrán ser reguladas en los lagos Churubusco y Regulación Horaria, que existen actualmente, y en el lago Fusible, que deberá construirse, para finalmente descargar a una planta de bombeo y de ahí al Gran Canal del Desagüe abajo del km 20+000.

Finalmente, el tramo del Gran Canal del Desagüe aguas abajo del km 20+000, captará su cuenca propia y las descargas de la planta de bombeo o de la planta de tratamiento.

### **III.1.3 RIESGO DE INUNDACIONES**

La Ciudad de México, desde sus orígenes en el año de 1325, cuando se fundó la Gran Tenochtitlán, ha enfrentado en diferentes circunstancias el suministro y el desalojo de sus aguas, con base en las necesidades sociales y los recursos de cada época.

Ahora, a finales de este siglo, estamos disfrutando de los beneficios del drenaje profundo, al igual que cuando, en su época, los antiguos mexicanos pusieron en operación el Albarradón de Netzhuacoyotl. Con éste se lograba, entonces, contener las aguas producto de las lluvias y los escurrimientos, quedando

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

separadas las aguas dulces y las saladas, originándose la laguna de México, de manera independiente del lago de Texcoco.

Cuando en 1900 se pusieron en operación el túnel de Tequixquiac y el Gran Canal del Desagüe, ya se había acumulado una experiencia hidráulica de más de cinco siglos. Así, desde la destrucción del Albarradón de Netzhuacoyotl por Hernán Cortés, se hizo necesaria la construcción del Albarradón de San Lázaro en el siglo XVI, y para el siglo XVII se construyeron el socavón de Enrico Martínez y el Tajo de Nochistongo, que sustituyó a este último un siglo y medio después.

En 1930 se terminó la primera red de drenaje por gravedad, consistente en un sistema de tuberías que descargaban al Gran Canal del Desagüe y en el Lago de Texcoco.

Pero como consecuencia del crecimiento demográfico y de la expansión urbana, este sistema se volvió insuficiente para una población que se había duplicado en diez años y que en 1940 era de casi dos millones de habitantes. En esa época hubo varias inundaciones graves en las partes bajas de la ciudad, ya que además otro problema se había añadido; el hundimiento cada vez más acelerado del suelo, ocasionado por la sobreexplotación de los mantos acuíferos, que deterioró el sistema y disminuyó su capacidad para desalojar las aguas del Valle, lo que motivó la ampliación del Gran Canal del Desagüe y construcción del segundo Túnel de Tequixquiac.

De acuerdo a los estudios realizados en el Plan Maestro de Drenaje de la Ciudad de México 1994-2010, se derivaron diversas obras para integrarse al sistema general de drenaje de esta ciudad. Entre ellas se encuentra el Programa Hidráulico del Valle de México, que tiene como objetivo tratar las aguas residuales producidas en la zona metropolitana de la Ciudad de México, además de definir

las estructuras de drenaje que mejoren la operación del sistema y que proporcionan la seguridad a la población, ante posibles inundaciones.

### **III.1.4 APROVECHAMIENTO DE LA OBRA PARA MEJORAR LA INFRAESTRUCTURA VIAL.**

Actualmente se encuentra en proceso constructivo el entubamiento del Gran Canal del Desagüe, en sus 9.5 km localizadas dentro del Distrito Federal, de los cuales 6.7 km se encuentran ya entubados y en operación.

A lo largo de la historia de la Ciudad de México, sus habitantes han habilitado los canales que han sido entubados, como vías de comunicación, para comunicar los diferentes lugares de la misma.

Así por ejemplo, el Circuito Interior esta localizado sobre los lugares donde originalmente fluían en canal a cielo abierto los Ríos: Churubusco y Consulado, El Viaducto Miguel Alemán se localiza junto al entubamiento del Rio de la Piedad, el Rio Becerra forma parte de la continuación del Viaducto Miguel Alemán.

En el presente caso el entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México permitirá dar un flujo del transito vehicular que facilitará el tránsito entre la parte norte del Distrito Federal, principalmente la Delegación Gustavo A. Madero y el Estado de México, en gran parte con el municipio de Ecatepec.

La vialidad ayudaría a principalmente a disminuir el tránsito que actualmente emplea la Avenida Central que comunica la Zona de Aragón con Ecatepec Estado de México.

## **III.2 ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

Con la finalidad de conocer las propiedades del suelo en el cauce del Gran Canal del Desagüe, se realizó el siguiente estudio de Mecánica de Suelos.

### **III.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE ACUERDO A LA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL DISTRITO FEDERAL**

Sabiendo que el entubamiento se construirá por el centro del cauce y sobre el azolve del Gran Canal del Desagüe es importante localizar a éste dentro de la zonificación geotécnica del Distrito Federal que se basa en las propiedades de los suelos y que servirá para:

- a) Establecer parámetros geotécnicos preliminares para hacer un análisis también preliminar del comportamiento y estabilidad de la estructura de entubamiento durante su construcción y vida útil, adelantándonos así a los problemas de diseño geotécnico.
- b) Realizar un detallado plan de exploración de suelos.
- c) Comparar los datos existentes de la zonificación con los datos de exploración obtenidos.

Considerando la zonificación geotécnica del Distrito Federal el Gran Canal del Desagüe, queda ubicado en la "Zona del Lago del Valle de México". En la cual el estrato superior se encuentra constituido por una costra endurecida de espesor variable que depende de la localización histórica de cargas. Subyaciendo a ésta costra se encuentran grandes espesores de arcilla blandas de alta comprensibilidad. En la figura III-2 "Sondeo de cono eléctrico en la zona del lago del Valle de México", se muestra un sondeo efectuado en ésta zona.

La zona del lago se divide en tres zonas: Lago Virgen, Lago Centro I y Lago Centro II; dependiendo del espesor y propiedades de la costra superficial y de la consolidación inducida.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

Lago Virgen: Que va de la avenida Héroes de Nacozari hasta su confluencia en el Río de los Remedios, el Gran Canal del Desagüe se ubica en la zona del Lago Virgen en la parte oriente del lago, donde los suelos prácticamente mantienen sus propiedades mecánicas desde su formación. Actualmente el desarrollo urbano en ésta zona ha provocado el inicio de una consolidación inducida debido al incrementó de cargas en la superficie y al bombeo profundo.

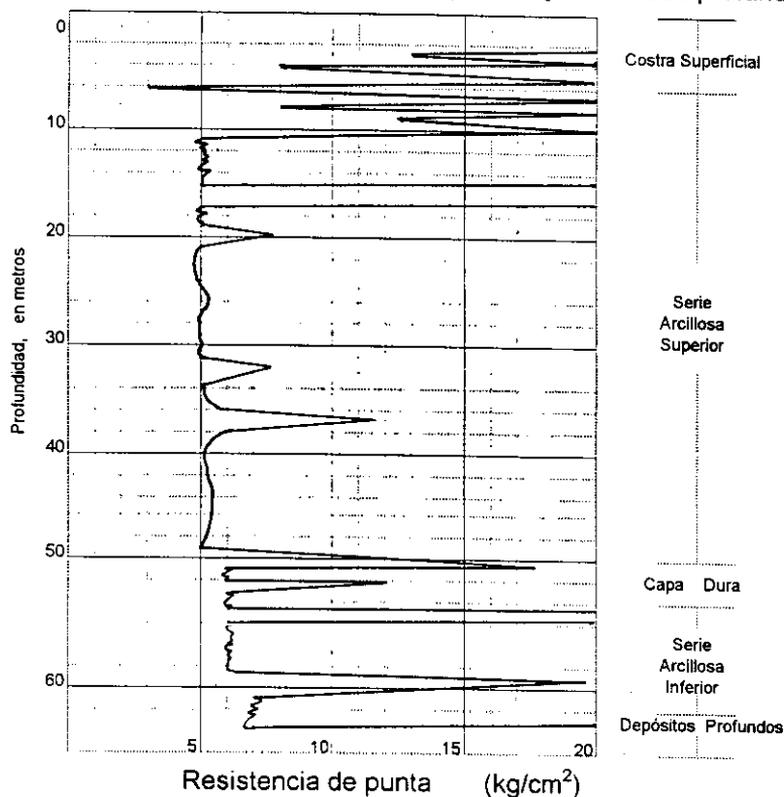


Figura III-2  
Sondeo de cono eléctrico en la zona del Lago

En la figura III-3 "Sondeo de cono eléctrico en la subzona del Lago Virgen" y la tabla III-1 "Estratigrafía y propiedades, Lago Virgen", se presenta una estratigrafía media de ésta zona.

Lago Centro 1: En sus primeros 700 metros, de San Lázaro hasta la avenida Héroes de Nacozari, el Gran Canal del Desagüe del Desagüe se ubica en la zona del Lago Centro I que es un sector no colonial de la ciudad, donde el inicio

del desarrollo urbano se dio al principio de éste siglo, quedando sujeto a las sobrecargas generadas por construcciones. Ver las propiedades de ésta zona en la figura III-4 "Sondeo de cono eléctrico en la subzona del Lago Centro I" y la tabla III-2 "Estratigrafía y propiedades, Lago Centro I".

### **III.2.1.1 Proceso de formación de los suelos en la zona del lago del Valle de México**

Hace dos millones de años durante la época geológica del Pleistoceno, sin que aún se sepan las causas, sucedieron climas cambiantes y extremos: climas fríos (glaciaciones) y clima moderado a caliente (interglaciaciones). Los cambios climáticos inundaron con ligeras oscilaciones de periodos calurosos a fríos, pronunciándose más hace aproximadamente un millón de años, tabla III-3 "Periodos glaciales e interglaciales". Por lo anterior se establece que la Cuenca de México desde que se cerró por el sur con los basaltos de la Sierra del Chichinautzin, figura III-5 "Esquema geológico general del Valle de México", pasó por dos periodos de glaciación: el Illinois y el Wisconsin y dos interglaciaciones: el Yarmouth y el Sangamon.

En época de calor el lago subsistía en la parte central de la cuenca, continuando aquí la depositación de arcillas lacustres mientras que en las partes marginales (zonas de transición) las arcillas lacustres se intercalaban con suelos de pradera, aquí cabe señalar, que a veces el lago llegaba a desaparecer.

Los suelos arcillosos blandos se formaron por el deposito de materiales eólicos, aluviales y cenizas volcánicas y su alteración fisicoquímica en el ambiente lacustre donde existían microorganismos y vegetación acuática. El proceso anterior se veía interrumpido en época de calor, el nivel del lago bajaba formándose una costra dura por el secado del sol. Durante las etapas de actividad volcánica ya sea con el nivel alto o bajo del lago, la cuenca se cubría por un manto de arenas basálticas o pumíticas. Lo anterior dio como consecuencia una estratigrafía que se muestra en la figura III-6 "Estratigrafía de

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

la planicie lacustre Ciudad de México", formada por estratos de arcilla blanda en los que se intercalan lentes duros de limos y arcillas arenosas.

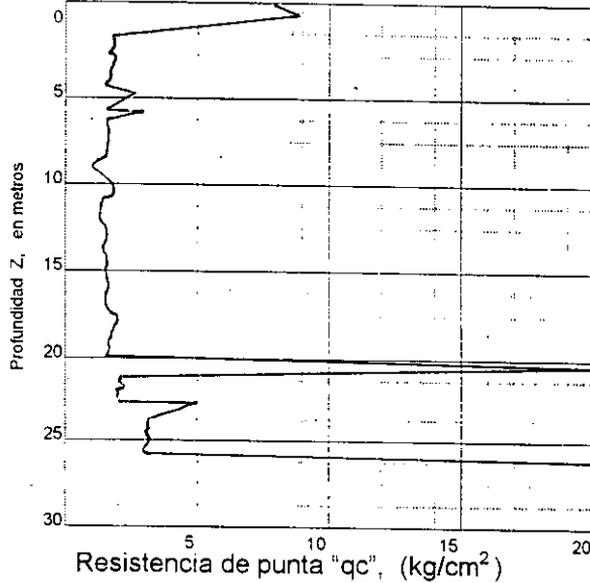


Figura III-3  
 Sondeo de cono eléctrico en la subzona del Lago Virgen

Tabla III-1  
 Estratigrafía y cohesiones, del Lago Virgen

Estrato *	Espesor, en: metros	Peso volumétrico en ton/m <sup>3</sup>	Cohesión, en ton/m <sup>3</sup>	Ángulo de fricción en grados
Costra superficial	1.0 a 2.5	1.4	1.0	25
Serie arcillosa superior	38 a 40	1.15	0.5 a 1.0	-
Capa dura **	1 a 2	-	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	15 a 30	1.25	3 a 4	-

\* En orden de aparición a partir de la superficie

\*\* La información disponible es limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales C

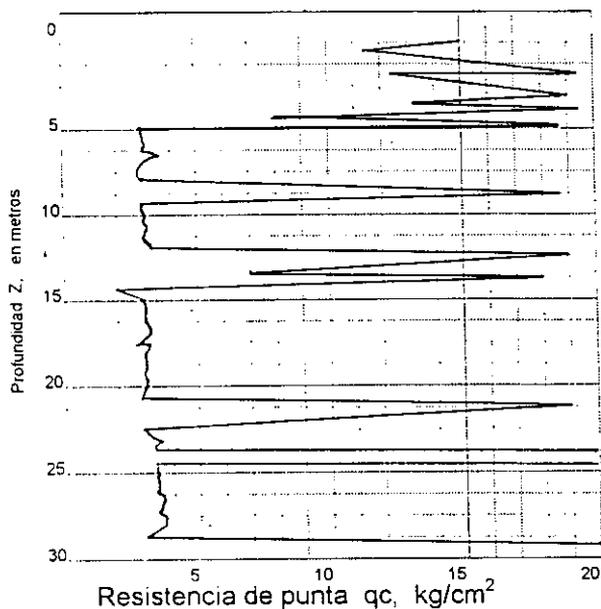


Figura III-4

Sondeo de cono eléctrico en la subzona del Lago Centro I

Tabla III-2  
Estratigrafía y propiedades, Lago Centro I

Estrato *	Espesor metros	Peso volumétrico ton/m <sup>3</sup>	Cohesión, ton/m <sup>3</sup>	Ángulo de fricción grados
Costra superficial	4.0 a 6.0	1.6	4.0	25
Serie arcillosa superior	20 a 30	1.2	1.0 a 2.0	-
Capa dura **	3 a 5	-	0 a 10	25 a 36
Serie arcillosa inferior	8 a 10	1.3 a 1.35	5 a 8	-

\* En orden de aparición a partir de la superficie

\*\* La información disponible es limitada; los parámetros presentados corresponden a pruebas triaxiales C

Tabla III-3

Periodos glaciales e interglaciales

Años antes de hoy	Glaciaciones
10,000	Holoceno - Reciente
10,000 – 80,000	4ª Glaciación Wisconsin
80,000 – 100,000	3 <sup>er</sup> Interglacial – Sangamon
100,000 – 300,000	3ª Glaciación Illinois
400,000 – 600,000	2º Gran Interglacial Yarmouth
No se conoce dato	2ª Glaciación Kansas
No se conoce dato	1 <sup>er</sup> Interglacial
Más de 900,000	1ª Glaciación Nebraska

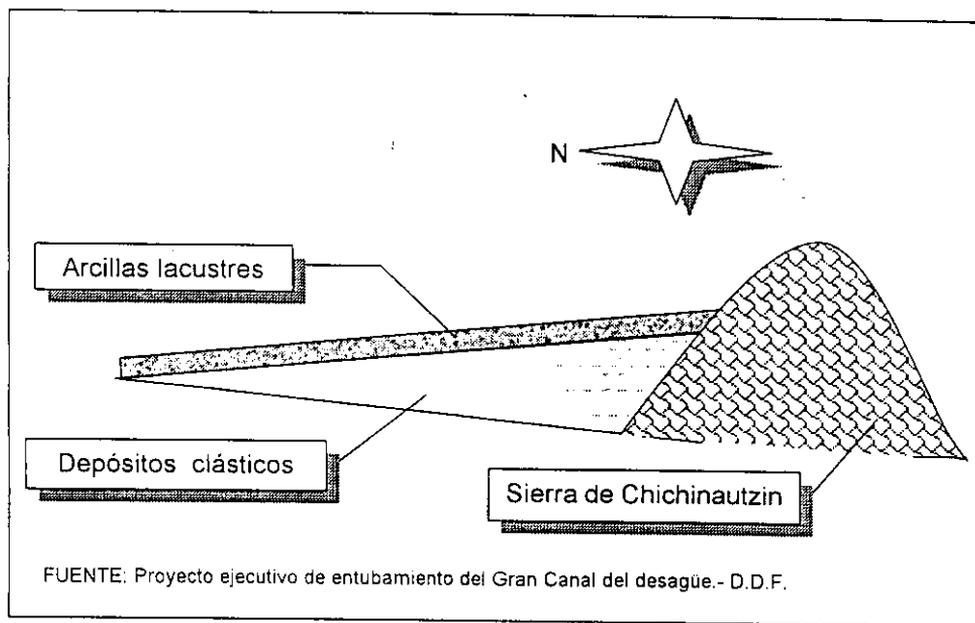


Figura III-5  
 Esquema geológico general del Valle de México

**CAPITULO III**  
**PLANEACIÓN DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE**

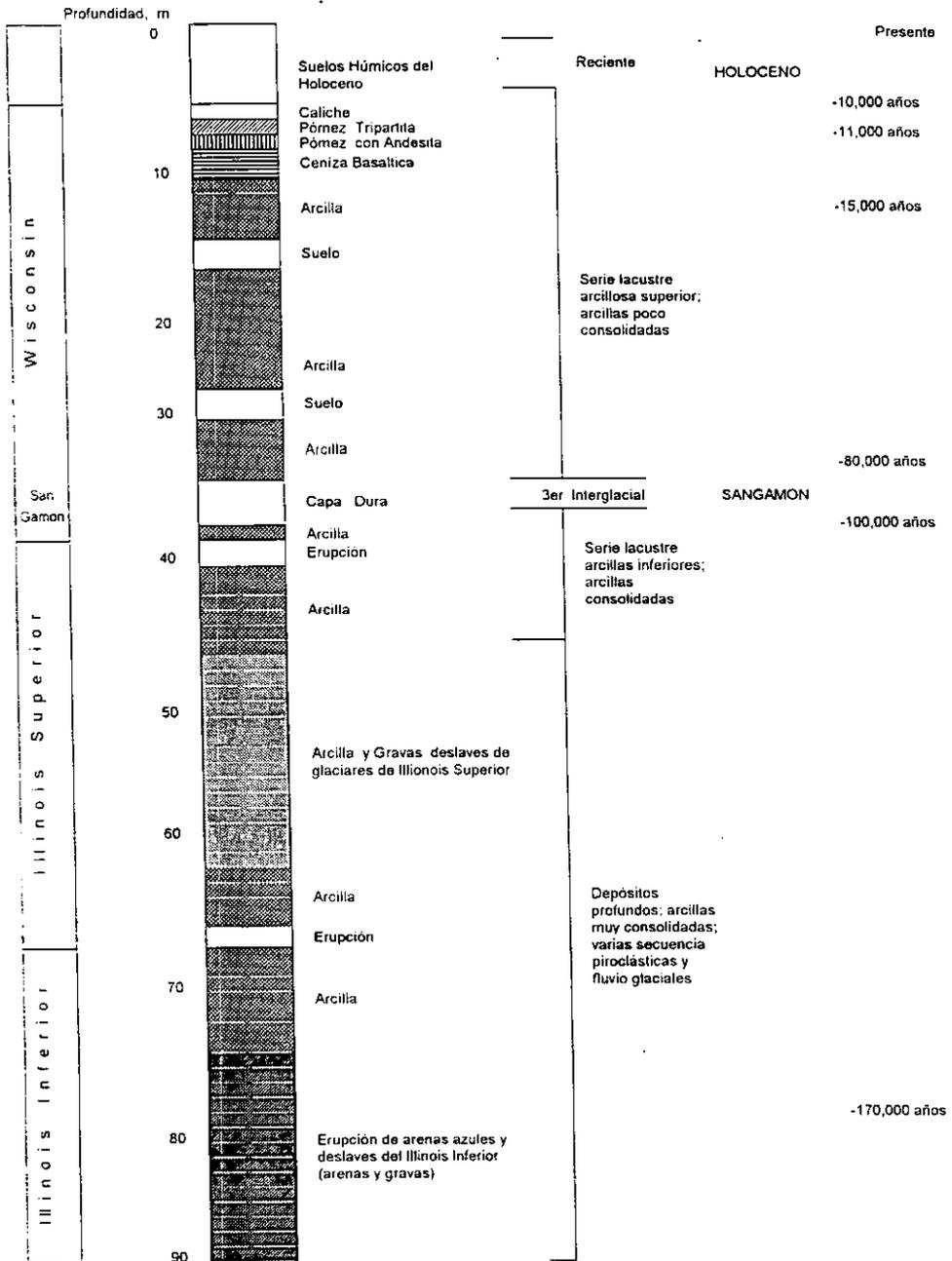


Figura III-6  
Estratigrafía de la planicie lacustre de la Ciudad de México

### III.2.1.2 Características estratigráficas de los suelos en la zona del lago del Valle de México

B) Serie arcillosa lacustre superior. En ésta serie se identifican cuatro estratos principales acordes con su origen geológico y con los efectos de la consolidación inducida por sobrecargas superficiales y bombeo profundo, entre estos estratos se encuentran intercalados lentes duros considerados como estratos secundarios. El espesor de ésta serie varía entre 25 y 50 metros aproximadamente.

Estratos principales:

a.1 Costra Superficial (CS): formada hasta por tres estratos, materiales naturales cubiertos por un relleno artificial heterogéneo.

a.1.1 Relleno Artificial (RA): Constituido por restos arqueológicos y de construcciones.

a.1.2 Suelo Blando (SB): Constituido por materiales aluviales blandos con lentes de materiales eólicos intercalados.

a.1.3 Costra Seca (CS): Arcillas lacustres expuestas al secado solar.

a.2 Arcilla Preconsolidada Superficial (PCS).

Este estrato se encuentra bajo la costra superficial, y se ve afectado por las sobrecargas superficiales y rellenos provocando un proceso de consolidación, transformándolo de un suelo normalmente consolidado en arcillas preconsolidadas.

a.3 Arcilla Normalmente Consolidada (NC):

Son arcillas que han sufrido un proceso de consolidación desde su condición inicial. Este estrato se encuentra bajo las arcillas preconsolidadas superficiales y rellenos; se encuentran por

arriba de los suelos preconsolidados por el bombeo profundo.

a.4 Arcilla Preconsolidada Profunda (PCP):

Son arcillas que se encuentran a niveles profundos y que se han consolidado por la extracción de agua de pozos para abastecimiento de la ciudad, siendo más significativo en las arcillas profundas que en las superficiales.

Estratos secundarios.

- a.5 Son Lentes Duros (LD) constituidos por costras de secado solar, arena o vidrio (pómez) volcánicos, y se encuentran intercalados en los estratos primarios, estos lentes se utilizan como marcadores de la estratigrafía.

A) Capa dura:

Se trata de un estrato heterogéneo, donde predomina un suelo limo-arenoso con lentes de arcilla y algunas veces de grava; su cementación es variable, su espesor varía de cero en la zona central hasta cinco metros en las orillas de lo que fue el lago. Este estrato se formó en el periodo interglacial (sequía y calor) Sangamon.

C) Serie arcillosa lacustre inferior:

Constituida por estratos de arcilla separados por lentes duros con una distribución semejante a la serie arcillosa lacustre superior, el espesor de este estrato varía de 15 metros al centro del Lago de Texcoco y prácticamente desaparece en las orillas.

D) Depósitos profundos:

Formados por estratos de arenas y gravas productos del deslave del glaciar Illinoise; también cuenta con estratos de arcilla y de material producto de

erupciones los cuales se encuentran intercalados.

### **III.2.1.3 Propiedades mecánicas de los suelos en la zona del lago del Valle de México**

#### **A) Consolidación natural:**

El proceso de formación de los suelos implicó que se consolidaran bajo su propio peso, excepto en las costras duras que se preconsolidaron por secado solar o deshidratación y que en su parte inferior formaron una zona ligeramente preconsolidada. Considerando que la masa de suelo predominante era muy blanda y normalmente consolidada, la variación de su resistencia al corte con la profundidad debió ser lineal y seguramente muy similar en cualquier punto del lago del Valle de México.

#### **B) Consolidación inducida:**

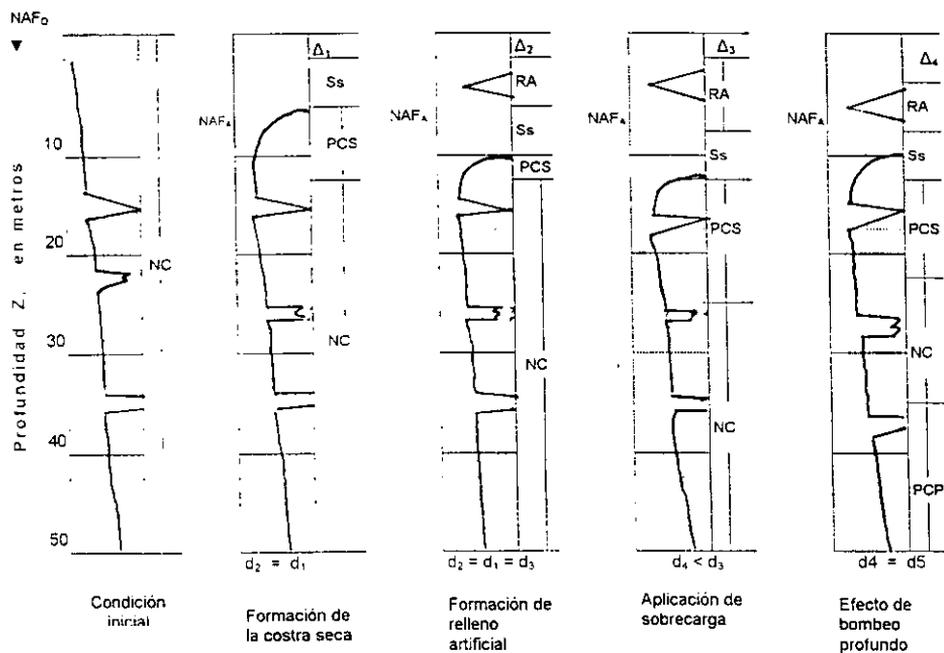
La urbanización en la zona lacustre ha originado la consolidación interviniendo los siguientes factores:

- Rellenos en la época prehispánica hechos durante la construcción de viviendas, pirámides, así como para el desarrollo de zonas agrícolas.
- Abatimiento del nivel freático provocado por la apertura de tajos y túneles necesarios para el desagüe de aguas pluviales y negras, lo que a su vez incremento el espesor de la costra superficial y consolido la parte superior de la masa de arcilla.
- Consolidación progresiva de las arcillas, desde los estratos profundos a los superficiales, provocada por la extracción de agua del subsuelo.
- Incremento de cargas debido a la construcción de estructuras.

#### **C) Resistencia al corte:**

De la misma manera que la consolidación a evolucionado también ha

sucedido con la resistencia al corte de los suelos, véase figura III-7 "Evolución de la resistencia al corte".



NAF<sub>0</sub> = Nivel freático inicial

NAF<sub>A</sub> = Nivel freático abatido

q<sub>c</sub> = Resistencia de punta de cono

NC = Suelo normalmente consolidado

LD = Lentes duros

Ss = Costra dura

d<sub>1</sub> = Espesor de un estrato de arcilla

RA = Relleno artificial

Q = Sobrecargas artificiales

△ = Diferencias por niveles de asentamientos y rellenos

PCS = Suelo Preconsolidado superficial

PCP = Suelo Preconsolidado profundo

Ss = Costra seca por exposición al sol

Figura III-7  
 Evolución de la resistencia al corte

### III.2.2 EXPLORACION GEOTÉCNICA EN LA TRAYECTORIA DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE

El Gran Canal del Desagüe al transportar aguas residuales lleva con éstas gran cantidad de desechos sólidos, haciendo que las características y distribución del material existente en la superficie del cauce tengan grandes diferencias, el material que le subyace de acuerdo a la zonificación geotécnica son arcillas, las cuales han sido expuestas a diferentes remoldeos por los dragados que se han ejecutado durante los dezasolves del Gran Canal del Desagüe, por lo se deberá realizar una detallada exploración geotécnica que permita determinar los parámetros adecuados de las propiedades índice y mecánicas del suelo de cimentación que intervendrán durante la construcción y vida útil del entubamiento.

La exploración geotécnica se realizó en dos etapas:

#### 1ª ETAPA.

Se efectuó con el Gran Canal del Desagüe operando en su totalidad (con agua) realizándose los sondeos desde los puentes peatonales y vehiculares que cruzan el cauce

Esta primera etapa se llevó a cabo del km 0+000 al km 9+350 y tuvo como objetivo obtener muestras alteradas e inalteradas para conocer de forma general la distribución y las propiedades índice y mecánicas del azolve y del suelo que le subyace; las profundidades de los sondeos varían entre 11 y 16 metros medidos a partir del fondo del cauce.

Usando herramientas de penetración estándar (penetrómetro estándar, columna de barras, martinete golpeador, etc.) y el muestreador de pared delgada tipo Shelby se realizaron 11 sondeos mixtos, véase Tabla III-4 "Primera etapa de exploración, (Sondeo mixto)".

Así mismo para estimar la resistencia al corte de lo suelos mediante correlaciones empíricas, se realizaron 11 sondeos de cono eléctrico

indicados en la Tabla III-5 "Primera etapa de exploración (Sondeo de cono estático eléctrico)"

**TABLA III-4**  
**PRIMERA ETAPA DE EXPLORACIÓN**  
**(SONDEO MIXTO)**

<b>SONDEO</b>	<b>CADENAMIENTO (km)</b>	<b>PROFUNDIDAD (metros)</b>	<b>COTA DE BROCAL (metros)</b>
SM - 1	8+377	15.75	32.912
SM - 2	4+836	15.00	32.850
SM - 3	0+270	17.25	32.775
SM - 4	1+650	16.50	31.900
SM - 5	6+407	10.00	33.140
SM - 6	7+038	17.00	34.052
SM - 7	3+212	11.00	33.400
SM - 8	4+114	12.00	33.710
SM - 9	2+320	10.50	33.253
SM - 10	3+675	11.50	34.060
SM - 11	9+004	14.00	35.312

TABLA III-5  
PRIMERA ETAPA DE EXPLORACIÓN  
(SONDEO DE CONO ESTÁTICO ELÉCTRICO)

SONDEO	CADENAMIENTO (km)	PROFUNDIDAD (metros)	COTA DE BROCAL (metros)
SK - 1	8+377	20.50	32.912
SK - 2	5+953	16.30	33.100
SK - 3	4+836	16.30	32.850
SK - 4	3+864	19.50	33.750
SK - 5	2+487	17.50	32.450
SK - 6	2+781	16.50	32.750
SK - 7	0+985	17.50	33.100
SK - 8	0+270	16.10	32.775
SK - 9	1+650	18.00	31.908
SK - 10	1+307	17.50	32.400
SK - 11	2+069	17.50	33.800

Sondeos mixtos.

a. Mediante pruebas de penetración estándar (que se recomiendan solo para la etapa de exploración del subsuelo ya que permiten estimar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo mediante el número de golpes (N) necesarios para hincar el penetrómetro estándar), se obtuvieron muestras alteradas que permitieron identificar las condiciones estratigráficas del sitio y en ensayos de laboratorio se obtuvieron las propiedades índice del suelo; para suelos cohesivos con el número de golpes se obtuvo el valor de la resistencia a la

compresión simple ( $qu$ ) y el correspondiente a la resistencia al corte ( $c = qu/2$ ) con ayuda de la tabla III-6 "Valor de la resistencia a la compresión simple en suelos cohesivos", así mismo en suelos granulares el número de golpes, servirá para definir valores del ángulo de fricción interno ( $\Phi$ ) de acuerdo a la tabla III-7 "Valor del ángulo de fricción en suelos granulares".

En la Zona del Lago del Valle de México, el penetrómetro se utilizó únicamente para rescatar muestras alteradas de lentes y estratos duros, para suelos blandos se utilizó la técnica del cono eléctrico

TABLA III-6  
Valor de la resistencia a la compresión simple en suelos cohesivos

CONSISTENCIA	Muy blanda	Blanda	Media	Dura	Muy dura	Durísima
Número de golpes	<2	3-4	5-8	9-15	16-30	>30
Resistencia a la compresión	<2.5	3.0-5.0	6.0-10.0	11.0-20.0	21.0 - 40.0	>40

TABLA III-7  
Valor del ángulo de fricción interno en suelos granulares

Número de golpes (N)	Compacidad relativa	Angulo de Fricción
0-4	Muy suelta	28°
5-10	Suelta	30°
11-30	Media	31° a 34°
31-50	Densa	35° a 37°
>50	Muy densa	>37°

En la tabla 8 "Resultados obtenidos a partir del número de golpes en el Sondeo Mixto -2".

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**TABLA III-8**

Resultados obtenidos a partir del número de golpes en sondeo mixto 2

PROFUNDIDAD (metros)	GOLPES (número)	ANGULO DE FRICCIÓN (grados)
AZOLVE		
6.40	0.00	28
6.75	0.00	28
7.25	0.00	28
7.75	0.00	28
8.25	0.00	28
8.75	0.00	28
9.25	0.00	28
9.75	0.00	28
10.25	0.00	28
ARCILLAS		
10.88	0.00	0.00
11.63	0.00	0.00
11.88	0.00	0.00
12.63	0.00	0.00
12.88	0.00	0.00
13.88	0.00	0.00
14.38	0.00	0.00
14.88	0.00	0.00

- b. Con el muestreador de pared delgada tipo Shelby se obtuvieron muestras inalteradas del suelo que se utilizarán para determinar sus propiedades índice y mecánicas en los ensayos de laboratorio.

Sondeos con el cono eléctrico.

Estos sondeos permitirán observar la variación de la resistencia de punta con la profundidad, detectando con precisión, los cambios estratigráficos.

Los resultados gráficos de algunos sondeos mixtos y de cono eléctrico se muestran en el anexo I " Gráficas de resultados de algunos sondeos mixtos y de cono eléctrico"

#### 2a ETAPA.

Esta etapa se realizó cuando el Gran Canal del Desagüe se encontraba seccionado (sin agua) del km 6+912 al km 9+350, teniendo como objetivo conocer en forma más detallada el espesor longitudinal del azolve en el cauce del canal y obtener muestras alteradas para conocer sus propiedades índice.

Se realizaron 50 sondeos de penetración estándar en la Tabla III-9 " Sondeos de penetración estándar" se muestran los datos de algunos de ellos y sus resultados gráficos se muestran en el anexo II "Gráficas de resultados de algunos sondeos de penetración estándar".

Adicionalmente a los sondeos realizados, en ésta etapa se realizó un levantamiento topográfico para obtener el nivel de terreno natural del cauce del canal así como el nivel de aguas freáticas del Gran Canal del Desagüe que es semejante con su nivel de tirante de aguas que conduce. Ver tabla III-10 "Topografía del nivel de terreno natural" y tabla III-11 "Topografía del nivel de aguas freáticas respectivamente".

ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO  
 Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

TABLA III-9  
 Sondeos de penetración estándar

SONDEO	CADENAMIENTO km	ELEVACION EN EL CAUCE (METROS SOBRE EL NIVEL MEDIO DEL MAR)
SE-1	6+970	2226.200
SE-1'	7+000	2226.200
SE-6	7+250	2226.154
SE-16	7+500	2226.143
SE-21	7+700	2225.812
SE-22	7+750	2226.052
SE-26	7+900	2226.030
SE-29	8+000	2226.480
SE-35	8+250	2226.109
SE-41	8+500	2225.850
SE-46	8+700	2226.038
SE-49	8+800	2226.500
SE-51	8+900	2224.920
SE-54	9+000	2224.860
SE-56	9+100	2224.800
SE-59	9+200	2225.730
SE-59'	9+225	2225.730
SE-60	9+250	2225.985
SE-61	9+300	2226.240
SE-62	9+350	2226.240

TABLA III-10  
Topografía del nivel  
de terreno natural

CADENAMIENTO km	NIVEL TERRENO NATURAL (metros sobre nivel medio del mar)
7+000	2226.200
7+800	2226.291
7+900	2226.030
8+300	2226.000
8+400	2226.238
9+000	2224.860
9+100	2224.800

TABLA III-11  
Topografía del nivel  
de aguas freáticas

CADENAMIENTO km	NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS (metros sobre el nivel medio del mar)
7+007	2228.300
7+038	2228.402
7+785	2228.293
8+342	2229.367
8+377	2228.562
9+004	2227.812
9+046	2228.784

Datos complementarios de las características de la zona del Gran Canal del Desagüe.

Dado que hasta ahora solo se contó con sondeos sobre el cauce del Gran Canal del Desagüe y que la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal (hoy Gobierno del Distrito Federal) con anterioridad ha realizado estudios de las características del suelo, en la margen derecha se utilizará esta información para realizar el análisis de estabilidad de taludes.

De los estudios elaborados por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Gobierno del Distrito Federal, se concluye que en el bordo de la margen derecha la superficie tiene un estrato que varía entre 1.60 y 8.00 metros, formado por rellenos producto de demoliciones, limos arcillosos con grumos quebradizos, gravas y algunas lentes de arena volcánica negra.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Subyaciendo a éste estrato se encuentra la formación arcillosa superior característica de la zona del lago formadas por arcillas café grisáceo y gris verdoso intercalada con lentes de arena volcánica negra y algo de vidrio volcánico con fósiles y grumos quebradizos.

La costra superficial que se excavará para construir los taludes cuenta con un peso volumétrico que varía entre 1.14 y 1.77 ton/m<sup>3</sup>, una cohesión que varía entre 1.53 y 4.45 ton/m<sup>2</sup>, un ángulo de fricción promedio de 22° y un contenido de humedad que varía entre 5% y 100%.

#### ENSAYES DE LABORATORIO.

Las muestras de suelos obtenidos de los sondeos se llevaron al laboratorio y para que por medio de ensayos sean identificadas en función de sus pruebas índices y granulométricas así como para hacer su clasificación según el suelo.

#### PROPIEDADES INDICE DE LOS SUELOS DE LA ZONA DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE

Contenido de agua (w).

Es una de las propiedades índice más importantes de los suelos finos, e indicará las posibilidades de deformación del suelo ya que entre más alto sea el contenido de agua más posibilidades existen de que el suelo se deforme. El contenido de agua natural (W) se obtiene mediante la ecuación:

$$W \% = 100W_w / W_s$$

Donde:  $W_w$  = Peso de agua (kg).

$W_s$  = Peso de la materia sólida secada en horno (kg).

Densidad de sólido (Ss):

La densidad de sólido se obtendrá de comparar el peso específico de la materia sólida con el peso específico del agua.

$$S_s = y_s / y_o \quad (\text{Ecuación})$$

Donde:  $y_s$  = peso específico de la fase sólida (ton/m<sup>3</sup>)

$y_o$  = peso específico del agua ( $y_o = 1 \text{ ton/m}^3$ )

Relación de vacíos (e).

Los valores pequeños de "e" indicarán que habrá asentamientos pequeños y que el volumen de vacíos comparado con el de los sólidos es pequeño. Sabiendo que el suelo de la cimentación de este estudio se encuentra totalmente saturado se deja a "e" como una función de "W" y de "S<sub>s</sub>" obteniendo la siguiente ecuación:

$$e = W * S_s \quad (\text{Ecuación})$$

En la Ciudad de México las arcillas toman valores de "e" entre 3 y 8 existiendo deformaciones entre 4 y 20 centímetros por año.

Peso volumétrico (PV)

El peso volumétrico del suelo en estado natural es una importante propiedad física ya que con ella se calculan los esfuerzos producidos por el suelo y se obtiene con la ecuación:

$$\gamma \left( \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) = \frac{W_m}{V_m}$$

Donde:  $W_m$  = Peso del suelo (toneladas)

$V_m$  = Volumen del suelo (metros cúbicos)

Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP).

El Límite Líquido y el Límite Plástico son dos límites de consistencia, donde por medio de ensayos de laboratorio se obtienen contenidos de agua en % a partir de los cuales se obtiene el índice plástico (Ip) mediante la ecuación:

$$I_p = LL - LP$$

El Índice plástico y el Límite Líquido servirán para clasificar los suelos finos de acuerdo al Sistema Único de Clasificación de Suelos (SUCS).

Los suelos que tengan valores de Límite Líquido e Índice plástico grandes, indicaran que son muy plásticos.

La compresibilidad del suelo será grande cuando se tengan valores grandes de Límite Líquido.

Porcentajes de finos: (F %)

El porcentaje de finos en los suelos lo determinaremos mediante la siguiente ecuación:

$$F(\%) = W_m / W_{\text{finos}}$$

Donde:  $W_m$  = Peso de la muestra (gr)

$W_{\text{finos}}$  = Peso de finos que pasaron la malla 200 (gr)

De manera ilustrativa ya que no es motivo del presente trabajo, en la tabla III-12 "Resumen general del sondeo mixto 1", se muestran los resultados de Contenido de agua, Densidad de sólidos, Relación de vacíos, Peso volumétrico, Límite Líquido, Límite plástico, Porcentaje de finos y clasificación según el Sistema Único de Clasificación de Suelos, del sondeo mixto 1.

TABLA III-12  
Resumen general del sondeo mixto 1

Profundidad	Contenido de agua	Límite Líquido	Límite Plástico	Porcentaje de finos	S	Relación de vacíos	Densidad de sólidos	Peso Volumétrico	Clasificación
metros	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(adimen)	(adimen)	( ton/m <sup>3</sup> )	SUCS
A Z O L V E									
7,85	72.99			63.90	36,10				AZOLVE
8,60	69.36					1,56	2,25		AZOLVE
9,35	67.05			59.73	40,27				AZOLVE
10,10	87.90					2,06	2,34		AZOLVE
10,85	107.77					2,49	2,31		AZOLVE
A R C I L L A									
11,63	281.49	324,50	72,40					1,14	CH
11,88	188.63								CH
12,13	204.98					4,65	2,27	1,13	CH
12,38	189.94			66.35	33,65				CH
12,59	191.13								CH
12,68	247.45								CH
13,13	239.55	330,00	57,10					1,20	CH
13,38	214.49								CH
13,63	168.22					3,78	2,25	1,23	CH
13,88	217.73								CH
14,13	186.74								CH
14,38	186.60							1,23	CH
14,63	213.67	246,00	59,30						CH
14,88	251.47								CH
15,38	175.39							1,19	CH

SUCS: Sistema Único de Clasificación de Suelos

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

Granulometría.

Considerando que el azolve se asemeja a un suelo arenoso, se realizarán las curvas granulométricas de varias muestras para determinar su uniformidad, considerando que un suelo uniforme tendrá una curva granulométrica casi vertical y un suelo no uniforme tendrá una curva muy tendida.

Propiedades mecánicas.

De las muestras inalteradas obtenidas en la exploración de suelos se realizaron ensayos de laboratorio obteniendo de la prueba de compresión simple, la resistencia a la compresión última ( $q_u$ ) y de la prueba triaxial cíclica, la cohesión (C) y el ángulo de fricción. Los resultados obtenidos en sondeo SM-1 se muestran de la tabla III-13 "Resistencia a la compresión última del sondeo mixto 1".

**TABLA III-13**  
**Resistencia a la compresión última del sondeo mixto 1**

Profundidad	Compresión última/2	Prueba Triaxial Cíclica Cohesión	Ángulo de fricción
(metros)	(ton/m <sup>2</sup> )	(ton/m <sup>2</sup> )	grados
AZOLVE			
7.85			
8.60			
9.35			
10.10			
10.85			
ARCILLAS			
11.88	2.05	1.88	9.50
12.38	2.35		
13.38	1.85	1.71	0.00
14.63	2.05		
14.88	1.65	2.20	0.00
15.68			

### III.2.3 INTEGRACION DE LA ZONIFICACIÓN Y EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

De los resultados de la exploración geotécnica y de los ensayos de laboratorio se llega a las siguientes conclusiones sobre las características del suelo que servirán de parámetros para realizar el estudio geotécnico de la cimentación de este trabajo.

#### **AZOLVE**

- Realizar una conclusión de las características del azolve es complicado ya que es un material heterogéneo y carente de estructura, no pudiéndose obtener muestras inalteradas para determinar sus propiedades, la basura existente causa una estructura inconsistente a las muestras obtenidas con el muestreador tipo Shelby además su escasa adherencia provoca que la muestra se mueva dentro del tubo, por lo que los ensayos de laboratorio se realizaron en probetas labradas reproduciendo su forma de sedimentación observada en campo.
- El estrato de azolve se encuentra integrado principalmente por arena fina a media con altos contenidos de limos, arcillas, materia orgánica, gravas, productos petroquímicos, latas, etc.
- Los espesores del estrato varían entre 2 y 9 metros.
- Su resistencia a la penetración estándar varia entre 0 y 4 número de golpes mostrando con ello una compacidad relativa de muy suelta a suelta, arrojando que su ángulo de fricción solo puede alcanzar valores de hasta 30 grados.
- Su resistencia de punta "qc" en el sondeo de cono eléctrico mostró variaciones drásticas de 3 a 5 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente.
- Presenta contenidos de humedad "w" que van de 50 a 110 %.

- La relación de vacíos "e" promedio se obtuvo de 1.48 mostrando que los asentamientos producidos en este estrato serán pequeños.
- De las curvas granulométricas se observa que el azolve presenta las características de una arena fina a media no uniforme.

### **ARCILLAS**

- Bajo el estrato de azolve se encuentra un suelo arcilloso característico de la zona del lago, con predominio de color café claro y gris verdoso, en estas arcillas se encuentran intercalados algunos lentes de arena fina.
- Su resistencia de punta "qc", en el sondeo de cono eléctrico va de 3 a 5 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Sus cantidades de agua "w" varían entre 130 y 550 %, indicando que las deformaciones en este estrato serán grandes.
- Su Límite Líquido "LL" se encuentra en un rango de 250 y 450 % aproximadamente.
- Su Límite Plástico "LP" promedio es de 55 %.
- La relación de vacíos "e" varía de 2 a 10 aproximadamente indicándonos que los asentamientos serán considerables.
- El peso volumétrico promedio obtenido es de 1.18 ton /m<sup>3</sup>.
- La resistencia a la compresión última (qu) en la prueba de compresión simple obtenida fue de 3.10 a 7.20 ton/m<sup>2</sup>.
- De la prueba triaxial cíclica "Cuu" se obtuvo una cohesión "C" de 1.71 a 3.80 ton/m<sup>2</sup>.

### III.2.4 PLANTEAMIENTO Y ELECCION DE LA SOLUCION ESTRUCTURAL DE LA OBRA

De acuerdo al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1993, en el artículo 174 fracción I, las estructuras se clasifican de acuerdo a su uso en dos grandes grupos, las estructuras del grupo "A", que son las que corresponden a estructuras importantes, tales como: edificios públicos, estaciones de servicio, auditorios, escuelas, teatros, estadios, lugares donde se reúna un gran número de personas, estructuras importantes a raíz de un sismo y que en caso de falla provocaría graves problemas a la atmósfera, así también como instalaciones que resguarden equipo sumamente costoso, y estructuras del grupo "B", que serían las no incluidas en la clasificación antes mencionada. Tomando en cuenta el artículo 174 del Reglamento de Construcciones para el D.F. de 1993 en vigor, la estructura de entubamiento del Gran Canal del Desagüe queda clasificada dentro del grupo "A", ya que su funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana como puede ser en época de lluvias o sismos, porque de ocurrirle cualquier tipo de falla estructural, provocaría serios problemas de inundación y contaminación a una gran parte de la Ciudad de México, generando problemas ambientales, sociales y económicos.

El gasto hidráulico del entubamiento del Gran Canal del Desagüe depende de políticas de operación que la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica dependiente del Gobierno del Distrito Federal tiene contempladas a corto plazo y de su interacción con múltiples sistemas de drenaje como:

- Las plantas de bombeo que se encuentran en ambas márgenes del Río de los Remedios.
- Su derivación en la obra de descarga hacia el Sistema de Drenaje Profundo.
- La integración de los Interceptores Oriente y Oriente-Sur.

- De acuerdo con los datos estadísticos que se tienen en los sistemas de drenaje antes mencionados, se consideró un gasto hidráulico promedio de diseño de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , un gasto medido de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  y un gasto mínimo de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Las acciones a las que estará expuesta la estructura del entubamiento del Gran Canal de Desagüe serán las siguientes:

- a) Acciones permanentes. Causadas por el peso de cada uno de los elementos estructurales, por los rellenos y todas aquellas cargas que ocupen una posición permanente.
- b) Acciones variables. Causadas por las cargas que actúan en la estructura con carácter no permanente, como es el caso de un cruce con alguna vialidad, en donde se deben considerar las cargas móviles respectivas. Otra carga de este tipo es la provocada por el agua, la cual variará de acuerdo a las condiciones del funcionamiento hidráulico. El entubamiento también estará expuesto a las acciones variables de los vehículos que circulan en cada una de sus márgenes del Gran Canal de Desagüe.
- c) Acciones accidentales. Son las provocadas por los efectos sísmicos, las cuales hacen que el cajón se mueva simultáneamente transversal y longitudinalmente, debido al movimiento del suelo que lo rodea. Por la gran relación que existe entre la longitud del cajón respecto a su sección transversal, la rigidez de la estructura se vuelve menor que la del suelo, con lo que la deformación del suelo debida al sismo se impone a la estructura por lo tanto para evitar agrietamientos importantes, se realizarán juntas constructivas en los cambios de rigidez bruscos como son: en la unión del cajón tipo con los cajones de control de las plantas de bombeo y en cruces vehiculares; también se tendrán juntas constructivas a lo largo del entubamiento a cada 20 metros para que durante un sismo, no se presenten golpes por exceso de deformación longitudinal. Cabe señalar que en cada junta constructiva se colocará una banda elástica e impermeable de cloruro de polivinilo (PVC) con bulbo

deformable al centro, la cual dará flexibilidad a la junta absorbiendo los giros entre ambas estructuras, no permitiendo filtraciones de las aguas freáticas.

La estructura del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, fue diseñada estructuralmente considerando las diversas condiciones de carga que establece el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1993, así como también se realizaron las combinaciones posibles de carga que se pudieran generar entre estas condiciones.

La propuesta geométrica de la sección del cajón, obedeció a diversas consideraciones, tales como: el gasto hidráulico necesario de conducción; la capacidad de carga del suelo en el nivel de desplante; la deformación o asentamientos a corto, mediano y largo plazo en el suelo al nivel de desplante del entubamiento; las condiciones de rugosidad dentro del entubamiento - ya que esto junto con la pendiente definieron la velocidad del flujo, que comparada con la mínima tendría que adecuarse a través de la sección hidráulica del cajón del entubamiento -, los desniveles y profundidades de desplante del entubamiento, así como las cargas tanto verticales como horizontales (empujes del terreno) a las que estaría sometida la estructura.

Para el análisis de la estructura se consideró inicialmente una sección tipo de longitud unitaria, con las dimensiones necesarias para generar una estructura de cimentación de tipo compensada (tal y como se menciona en el subtema siguiente), a la cual se le aplicaron las condiciones y combinaciones de carga establecidas, obteniendo con esto los elementos mecánicos de diseño para los elementos estructurales que la componen, con esto fueron diseñadas las losas de fondo y tapa del entubamiento, así como también se diseñaron los muros que lo componen, considerando para tal efecto las recomendaciones especificadas por las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

El diseño estructural de cada elemento se realizó plásticamente, considerando los factores de carga y de reducción de resistencia especificados en reglamento. Para los materiales empleados, se consideró en el diseño lo siguiente: resistencia en el concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , esfuerzo de fluencia en el acero de  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  excepto para el acero de diámetro número 2, cuyo esfuerzo de fluencia es  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$ .

Se revisó la rigidez de la sección del cajón, estableciendo los valores mínimos aceptables para deformación tanto vertical como horizontal, con esto se aseguró que la sección no tendría deformaciones importantes que en un momento dado pudieran provocar agrietamiento que indujera filtraciones hacia el terreno. Se revisó por tramos la sección longitudinal del entubamiento con el objeto de asegurar que a lo largo del trayecto del entubamiento las deformaciones longitudinales no fueran severas, ya que por su relación rigidez transversal-longitudinal, la estructura se vuelve muy deformable tornándose en una estructura demasiado flexible, para lo cual se debieron de considerar juntas de construcción a lo largo del entubamiento. Es importante mencionar que las juntas de construcción deben de diseñarse de tal manera que se garantice plenamente el buen funcionamiento de la estructura a todo lo largo del entubamiento del Gran Canal del Desagüe, ya que una falla en estas juntas podría provocar que se presentaran problemas de filtraciones hacia el exterior y con esto la estructura sería ineficaz.

A continuación se plantean las consideraciones geotécnicas realizadas para poder determinar las condiciones que llevaron a tomar la mejor decisión en el tipo de estructura de cimentación a emplear.

Obtenidas las condiciones mecánicas del suelo del lugar en que se construirá el entubamiento del Gran Canal del Desagüe y sabiendo la forma en que deberá funcionar, surge la cuestión de cuál será la mejor alternativa de cimentación. El gran espesor, la heterogeneidad y la baja resistencia al corte de suelo en el desplante de la estructura de entubamiento, hacen que la solución de cimentación

no sea sencilla. Al no considerar óptimo el suelo en el que se desplantará el cimientto del entubamiento, se tienen tres alternativas para dar solución al problema:

- a) Dejar el suelo tal y como se encuentra considerando sus características en el diseño del cimientto.
- b) Retiro del material existente sustituyéndolo por uno que mejore las propiedades en el desplante del cimientto.
- c) Mejoramiento de las propiedades del suelo existente.

A continuación se explica en que consiste cada una de las tres alternativas de solución, con la finalidad de que el lector tenga una idea clara de lo que se propone.

#### 1ª Alternativa.

Diseñar la cimentación con pilotes de fricción hincados en el azolve y la arcilla que permitirán contrarrestar con mayor seguridad los hundimientos a largo plazo. Dentro de esta misma alternativa, se podrá considerar una cimentación sobre la base de un cajón de compensación, el problema aquí sería la estabilización de la excavación debido a la baja resistencia de los materiales, ya que tienen un coeficiente de fricción interno bajo lo que hace muy inestables las paredes de la excavación. Funcionalmente el cajón deberá ser estanco para garantizar la compensación con el peso producido por el agua.

#### 2ª Alternativa.

Una alternativa de solución para mejorar el desplante de la estructura del entubamiento del Gran Canal del Desagüe sería sustituir el azolve existente por un material estable de mayor capacidad que las arcillas naturales que se encuentran bajo el mismo. En esta alternativa, la excavación que se realizaría en los azolves provocaría inestabilidad en la excavación y al pie de los bordos que quedarían

descubiertos, ya que estos bordos existen hace poco más de un siglo, que es cuando se excavó el canal, éste tenía taludes 1:1 y por los desplazamientos y flujo a largo plazo, quedó de 2 ó 3 veces mayor la dimensión horizontal con la vertical, y aunque la estabilización durante la excavación puede hacerse mediante la colocación de tablaestacas, esta solución trae consigo una aplicación complicada del tablestacado y la ejecución de excavar y suministrar grandes volúmenes de material, por lo que resulta de un elevado costo.

### 3ª Alternativa.

Mejoramiento del suelo mediante columnas de grava-arena, este método de mejoramiento, se realiza en suelos de baja capacidad de carga, drenándolos con rapidez permitiendo su consolidación al mismo tiempo que se le aplica una carga, logrando así aumentar la resistencia del suelo. Este proceso se obtiene construyendo columnas de grava-arena dentro de la masa del suelo de aproximadamente 0.60 metros de diámetro distribuidas formando cuadros o triángulos separados de 3 a 5 metros. En la superficie del suelo se construye una capa de material permeable y sobre ella se construye el terraplén, el cual nos proporcionará una carga haciendo que el agua del suelo fluya a las columnas construidas y de ahí suba a la capa permeable donde será captada a través de drenes previamente establecidos.

Las características del suelo donde se construirá el cauce del Gran Canal del Desagüe hacen tomar la decisión de excavar el máximo azolve permitido tanto técnicamente como económicamente y construir una capa compensada y resistente que mejore el desplante de la estructura de entubamiento y que garantice posteriormente el buen funcionamiento de la misma a corto y largo plazo.

Debido a lo excepcional del caso, por todo lo anterior descrito, se propone que para definir la capa de mejoramiento de desplante se realicen 4 tramos de prueba a partir de una idea original que es un mejoramiento, basándose en geosintéticos

en combinación con materiales granulares aplicándole precarga mediante terraplenes de tepetate sin compactar con una altura de 3.70 m.

Estos tramos de prueba tendrían los siguientes objetivos:

- 1) Complementar los valores de las propiedades índice y mecánicas para el diseño geotécnico mediante una exploración e instrumentación de suelos en cada tramo de prueba.
- 2) Definir la mejor alternativa del mejoramiento del desplante de la estructura del entubamiento con el objeto de poder asegurar el buen comportamiento.
- 3) Definir el proceso constructivo de la obra que estará en función del tipo de mejoramiento a aplicar para el desplante de la estructura.
- 4) Definir el comportamiento del suelo utilizando geosintéticos y su efecto en los asentamientos diferenciales y en la estabilidad general que proporcionaría, lo que contribuirá a aumentar el factor de seguridad de la estabilidad de la cimentación así como uniformizar los asentamientos que se producirán durante la vida útil del entubamiento.

Al mejoramiento se le aplicará una precarga mediante terraplenes de tepetate sin compactar, la cual aumentará la resistencia del suelo y provocará que los asentamientos bruscos se tengan antes de realizar la construcción del entubamiento de tal manera que las deformaciones que se presenten después de construida la obra sean las menores posibles.

Los tramos de prueba se presentan en las figuras III-8, III-9, III-10 y III-11 y son los siguientes:

- Tramo 1. - Mejoramiento con drenes verticales, figura III-8
- Tramo 2. - Mejoramiento con tezontle a volteo, figura III-9
- Tramo 3. - Mejoramiento con geotextiles sin bombeo, figura III-10

Tramo 4. - Mejoramiento con geotextiles con bombeo, figura III-11

Para la construcción de los tramos de prueba se realizaron las siguientes actividades:

- a) Los tramos 1, 2, 3 y 4 se excavaron con un avance máximo por etapa de 4 m mediante el uso de una draga de 3 m<sup>3</sup> de capacidad, colocada sobre el bordo del Gran Canal del Desagüe, dejando un ancho del cauce de 12.50 m y taludes con inclinación de 3:1 (horizontal-vertical) . El nivel de excavación fue igual al nivel de desplante de la estructura menos 0.60 m. El espesor total del azolve y el que quedó bajo el mejoramiento se muestran en la Tabla III-14, Espesores de azolve en los tramos de prueba en el Entubamiento del Gran Canal del Desagüe.

**TABLA III-14**

**Espesores de azolve en los tramos de prueba en el Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México**

<b>Num</b>	<b>TRAMO DE PRUEBA</b>	<b>ESPESOR TOTAL DEL AZOLVE EN EL CENTRO DEL CAUCE (m)</b>	<b>ESPESOR DE AZOLVE BAJO EL MEJORAMIENTO (m)</b>
1	Drenes verticales	4.50	3.50
2	Tezontle a volteo	4.50	3.60
3	Geotextiles sin bombeo	5.14	3.54
4	Geotextiles con bombeo	4.00	2.75

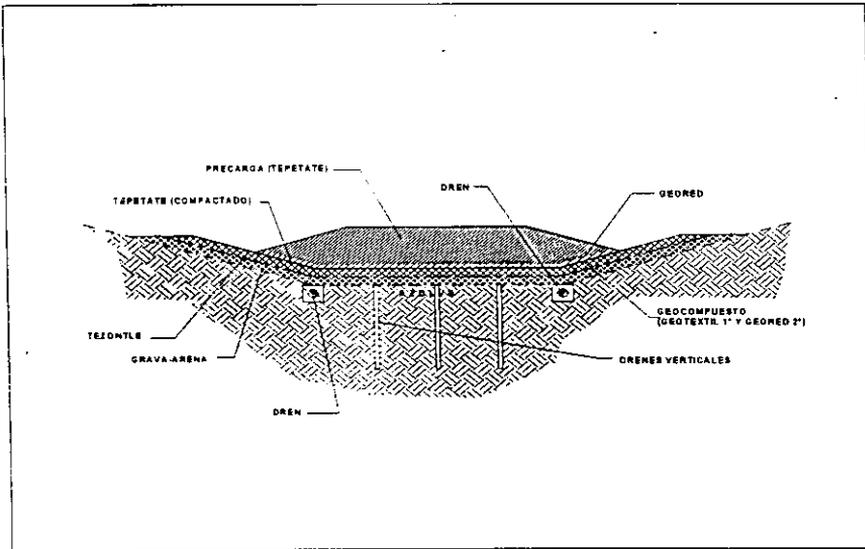


Figura III-8 TRAMO 1  
MEJORAMIENTO CON DRENES VERTICALES

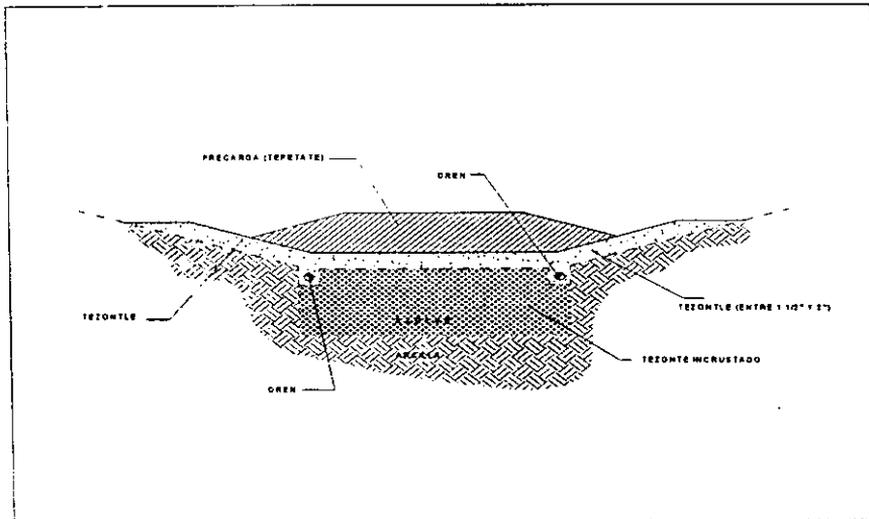
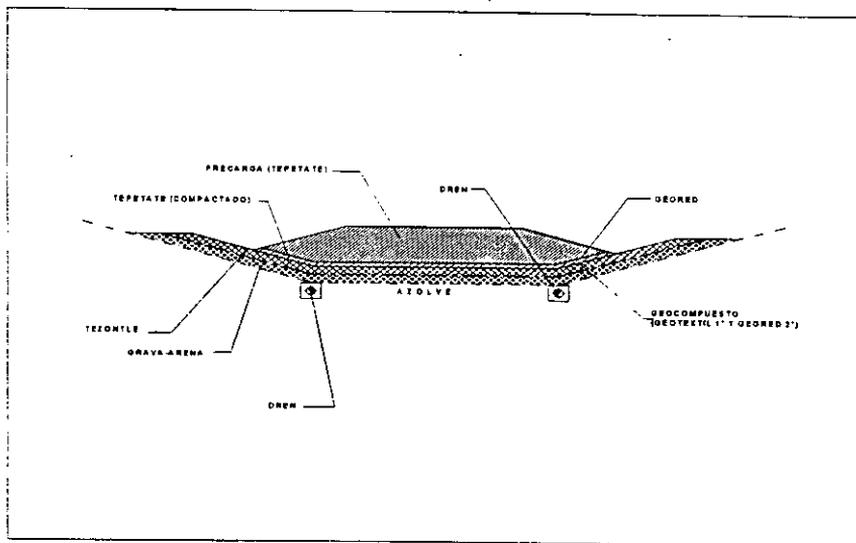
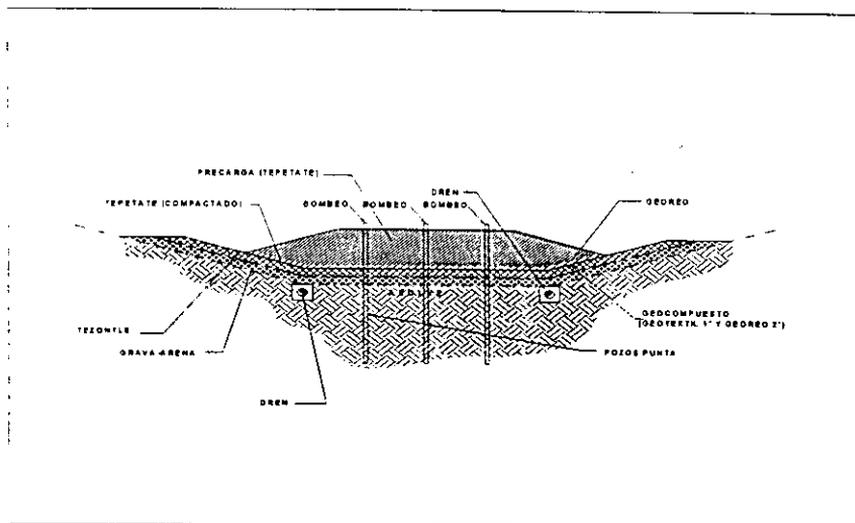


Figura III-9 TRAMO 2  
MEJORAMIENTO CON TEZONTLE A VOLTEO



**Figura III-10 TRAMO 3**

**MEJORAMIENTO CON GEOTEXILES SIN BOMBEO**



**Figura III-11 TRAMO 4**

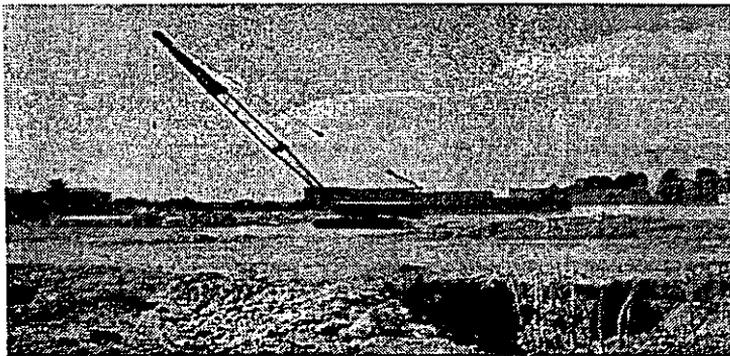
**MEJORAMIENTO CON GEOTEXILES CON BOMBEO**

- b) Al tramo 2 se vació tezontle a fondo perdido (en el azolve), con tamaños que varían entre 5 y 10 cm posteriormente se colocó una cama de tezontle con tamaño entre 3.8 y 5 cm.
- c) A los tramos 1, 3 y 4 se colocó, al avanzar con la excavación un geotextil termofijado tipo Typar 3401, adherido a una geored biaxial de polipropileno de alta densidad, tipo BX-1100, sobre la geored se colocó una capa de grava-arena de 30 cm de espesor.
  - c1) Se construyó un dren horizontal en ambas márgenes del cauce (a pie de talud) desde el tramo 1 pasando por los tramos 2, 3 y 4 para desaguar a un cárcamo de bombeo, donde el agua acumulada se enviará a la red de drenaje. El dren se construye excavando una zanja de 50x50 cm, la que se revestirá de un geotextil y se le colocará tubería de albañal perforada rodeada con tezontle.
- d) Encontrándose estables los 4 tramos de prueba, se instalaron equipos de instrumentación como sigue:
  - d1) Instalación de una estación piezométrica en cada tramo de prueba constituida por dos piezómetros hincados a presión abiertos, colocadas al centro del estrato del azolve y en el contacto azolve-arcilla que determinarán la presión de poro en estos puntos, midiendo el nivel del agua que se establece en la punta permeable del tubo; los elementos que forman el piezómetro son: un tubo de cobre de 16 mm de diámetro y 30 cm de longitud con perforaciones de 5 mm, forrado con filtro permeable, un tubo galvanizado de 19 mm de diámetro en tramos de 1 m de longitud con coples y una punta cónica de acero de 2.7 cm de diámetro con sello temporal de silicón al tubo galvanizado.
  - d2) Se instalaron bancos de nivel superficial, que permitirán determinar movimientos verticales producidos por expansiones y hundimientos

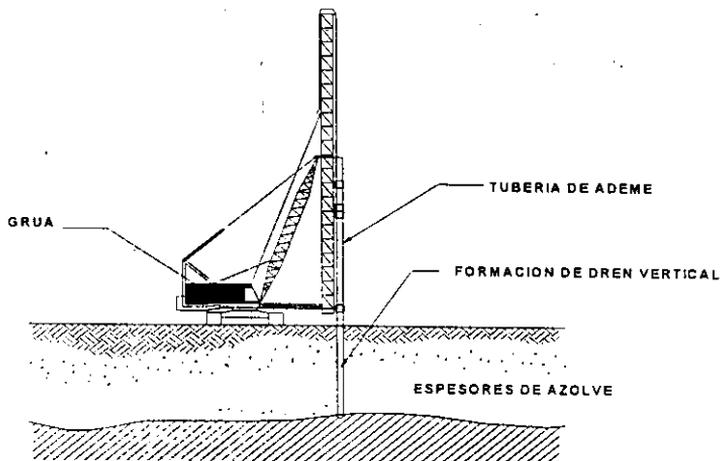
- generados en la superficie libre del terreno. Este banco se construye con una varilla de 16 mm de diámetro y 50 cm de largo el cual tendrá una base de concreto de 10 cm de diámetro y 50 cm de altura.
- d3) Instalación de banco de nivel semiprofundo colocado a una profundidad de 1.20 m abajo de nivel máximo de excavación con el que se observarán los hundimientos y expansiones del suelo referidos a un banco de nivel. Este banco se construirá con tubo galvanizado de 2.54 cm de diámetro con una base de concreto  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$  de 10 cm de diámetro y 30 cm de altura, en la parte superior del tubo para realizar las nivelaciones se le pondrá un tapón, el tubo deberá protegerse con tubo flexible de cloruro de polivinilo (PVC) de 5 cm de diámetro.
- d4) Instalación de placa de nivelación para registrar las expansiones y hundimientos en el fondo de la excavación, formada por una placa de 50x50 cm y 1.27 cm de espesor y un tubo soldado a la placa de fierro galvanizado de 2.54 cm de diámetro protegido con tubería de cloruro de polivinilo (PVC) de 5 cm de diámetro.
- d5) Instalación de bancos de nivel superficial de "referencia" constituido como en el punto (d2), en los hombros del canal colocados antes de construir los tramos de prueba.
- e) Construcción de drenes y del tramo 1: Se sujeta mediante una grúa el tubo perforado con diámetro nominal de 20 cm cédula 80. La parte superior del tubo cuenta con un tapón y la parte inferior es dentada. La perforación del dren se logra mediante el desplazamiento del suelo, inyectándole agua con dos bombas, una de inyección de alta presión de un solo paso con motor de 100 HP y otra neumática (air-lift) de 5.7 cm de diámetro interior y 0.60 cm de espesor, al mismo tiempo se le inyecta aire a presión con un compresor neumático a  $7 \text{ kg/cm}^2$  de tal manera que el suelo se desplaza. En la forma que va el lodo a la superficie, este es retirado mediante una bomba

sumergible de 5 l/s, y 3500 r.p.m. con tubería de descarga de 5 cm de diámetro. Véase la figura III-12 "Equipo de perforación". Al mismo tiempo que se forma la perforación del dren, el tubo baja sirviendo de ademe hasta una profundidad de 7 m, terminada la perforación, ésta se reviste con un geosintético y se rellena con arena mediante una tolva, el dren vertical queda construido una vez retirado el tubo perforado. Véase la figura III-13 "Colocación de drenes con ademe".

- f) Sobre la capa de grava-arena de los tramos 1, 3 y 4 se coloca una capa de 30 cm de espesor de tezontle a volteo, a continuación se coloca un geotextil tejido, tipo Pavitex 300 AT, sobre el que se coloca una geored uniaxial de polietileno de alta densidad tipo UX-1400, colocando las costillas principales de refuerzo transversalmente al eje del canal.
- g) Instalación del sistema de bombeo del tramo 4: Se construyen pozos punta por donde se lleva a cabo la extracción del agua, realizando una excavación a una profundidad de 4.50 m y 20 cm de diámetro, e introduciendo un tubo de cloruro de polivinilo (PVC) de 15 cm de diámetro con ranuras horizontales de 1 mm de ancho rodeado por gravilla que servirá como filtro con tamaños entre 6 y 10 mm, se deja una preparación continuando el tubo de cloruro de polivinilo (PVC) ya sin ranurar hasta 20 cm aproximadamente arriba de la corona de la precarga.



**Figura III-12 EQUIPO DE PERFORACION**



**Figura III-13 COLOCACION DE DRENES CON ADEME**

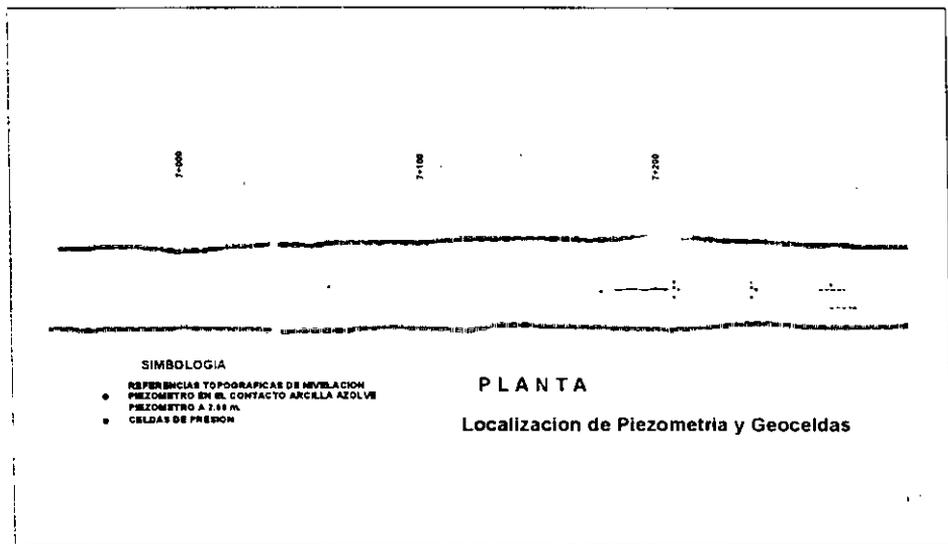
- h) Colocación de una capa de tepetate en los tramos 1, 3 y 4 compactada al 95 % de la prueba Proctor estándar sobre la que se coloca una geored uniaxial de polietileno de alta densidad tipo UX-1 400.
- i) Colocación de precarga, con tepetate a una altura de 3.70 m taludes 1:2 y una corona de 8 m, el tepetate se compacta con el traxcavo en capas de 0.40 m, la precarga es colocada en dos etapas de 1.85 m de alto dejando pasar por lo menos 24 hrs. entre cada una de ellas.
- j) Después de colocada la precarga en el tramo I, el agua fluye a los drenes verticales donde sube hacia el mejoramiento (grava-arena y tezontle), de ahí el agua se capta por medio de los drenes horizontales (paso c1) donde se dirige a los cárcamos donde es constantemente abatida.
- k) El abatimiento de agua en los pozos punta del tramo 4 se inicia después de colocada la precarga.

l) La precarga es retirada después de 4 semanas.

m) Una vez retirada la precarga el bombeo se para en los tramos de prueba.

En la figura III-14 "Ubicación de la instrumentación", se muestra la ubicación de la instrumentación realizada en los tramos de prueba.

En el lugar donde se construyeron los cuatro tramos de prueba se ejecutaron cinco sondeos continuos con muestreador tipo Shelby denominados: GC-1, GC-2, GC-3, SC-1 y SC-2; hasta una profundidad de 15 m, obteniendo muestras inalteradas, para complementar los parámetros de las propiedades índice y mecánicas que se obtuvieron en el Capítulo II Generalidades, de este estudio.



**Figura III-14**

**UBICACIÓN DE LA INSTRUMENTACION**

De los resultados y las gráficas de los sondeos realizados en los tramos de prueba en el entubamiento del Gran Canal del Desagüe, se obtienen ciertas características geotécnicas encontradas en el azolve existente debajo del trazo de la obra y que son las que a continuación se mencionan:

#### Azolve

- El espesor observado en el estrato de azolve varía de 3.70 a 5.60 m, el cual depende de la topografía a lo largo del trazo.
- El azolve esta conformado por material areno-limoso y algunos grumos de arcilla mezclados con material orgánico, así como también con basura incluyendo desechos de metales, plásticos y textiles.
- Su contenido de agua es muy variable, encontrándose en un rango que va de 50 % a 300 %.
- Se obtuvo un peso volumétrico promedio de  $1.31 \text{ t/m}^3$
- En la prueba triaxial UU (Unconsolidated Undrained nombre en inglés), se obtuvo una cohesión de  $1 \text{ t/m}^2$  y un ángulo de fricción de  $0^\circ$ .
- En la prueba triaxial CD (Consolidated Drained nombre en inglés), se obtuvo una cohesión de 1.2 a  $1.6 \text{ t/m}^2$  y un ángulo de fricción de  $27^\circ$ .
- En la prueba triaxial CU (Consolidated Undrained), se obtuvo una cohesión de  $2.4 \text{ t/m}^2$  y un ángulo de fricción de  $28^\circ$ .

#### Arcilla

- Se trata de una arcilla de alta plasticidad de color café claro y gris verdoso, que es típica de encontrar en el suelo de la Ciudad de México.
- Su contenido de agua va de 200.% a 400 %
- Su índice plástico se encuentra en un rango de 50 % a 400 %
- El peso volumétrico promedio es de  $1.15 \text{ ton/m}^3$

- En la prueba de compresión simple se obtuvo una resistencia a la compresión última de 4 a 6 ton/m<sup>2</sup>.
- 
- En la prueba triaxial UU (Unconsolidated Undrained) se obtuvo una resistencia al corte entre 1 y 3 ton/m<sup>2</sup> y un ángulo de fricción de 0°.

A continuación se muestran los resultados de la instrumentación en cada uno de los tramos de prueba de acuerdo con el comportamiento observado.

#### Movimientos verticales:

Durante la construcción de los tramos de prueba realizados en campo, se observaron movimientos verticales producidos en tres etapas, teniendo lo siguiente:

##### 1ª etapa:

Después de retirado el azolve se observaron expansiones de que van de 0.03 a 0.20 cm producidos por el alivio de esfuerzos debidos al peso del mismo, ya que debemos de recordar que se trata de un material muy compresible.

##### 2ª etapa:

En forma rápida se presentaron asentamientos diferenciales después de colocada la precarga, tendiendo pronto a estabilizarse, estos asentamientos fueron tomados en un periodo de 4 semanas a partir de colocada la precarga.

##### 3ª etapa:

Con el retiro de la precarga se presentaron expansiones inmediatas con valores máximos de 0.12 m.

#### Presión de poro.

De los resultados de los piezómetros realizados en cada uno de los tramos de prueba, se concluye que en el estrato del azolve se tuvo una rápida disipación de

presiones en exceso a la hidrostática producida por la sobrecarga, existiendo un desalojo de agua en las oquedades del estrato de azolve durante la aplicación de la precarga.

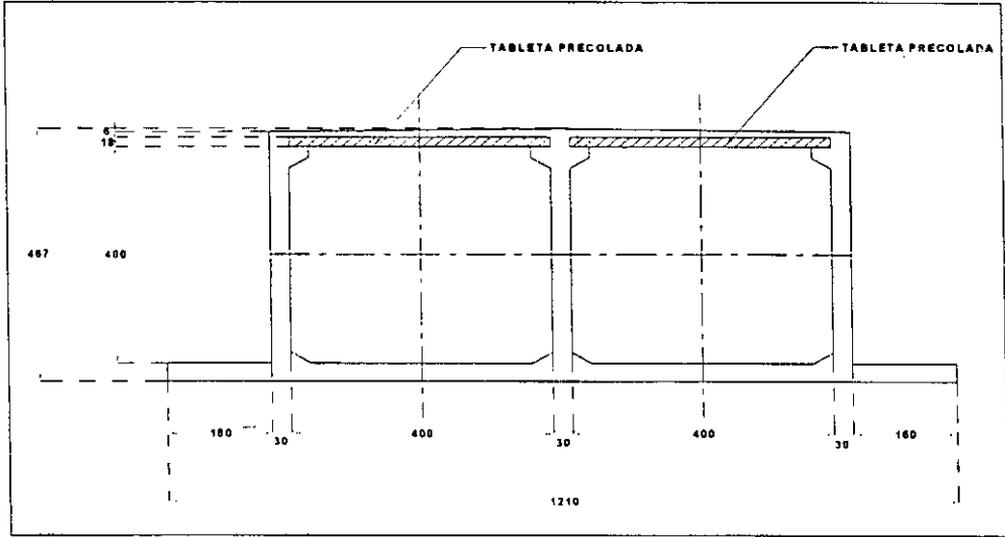
De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas, se puede decidir la mejor alternativa de solución para la cimentación que tendrá el entubamiento del Gran Canal de Desagüe de la Ciudad de México, considerando que se cuenta con los elementos suficientes para hacerlo y que han sido expuestos en los subcapítulos anteriores.

Debido a que la cimentación con pilotes hace costosa la obra, se toma la decisión de que la estructura se desplante en una losa de cimentación, la cual es una solución mucho más económica y que además brinda los beneficios necesarios en cuanto a funcionamiento y a seguridad estructural.

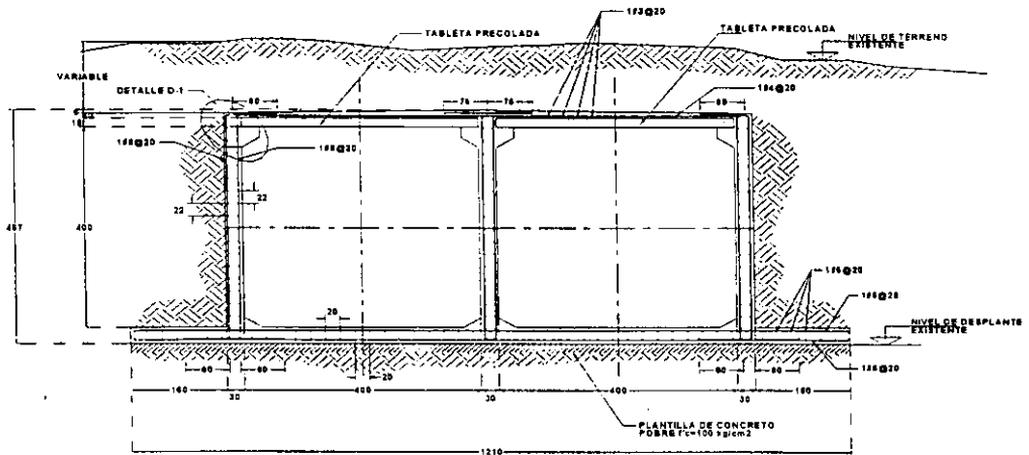
Considerando el estudio hidráulico, estructural y de proceso constructivo se definieron las dimensiones del cajón de entubamiento, teniendo de ellas la primera condicionante de la losa de cimentación, ya que su ancho mínimo debe ser de 8.90 m, teniendo que cumplir con el ancho de cada cajón, la siguiente condicionante es proporcionar al suelo de desplante los esfuerzos suficientes producidos por la estructura evitando su flotación, por lo que el ancho de losa de cimentación se ampliará, convirtiéndose esta ampliación en una especie de aleros a los costados del entubamiento de 1.60 m de largo proporcionando un peso a la estructura con el relleno que se colocará sobre estos aleros.

Los pilotes de fricción se considerarán a largo plazo debido a lo heterogéneo del suelo de desplante, existiendo las posibilidades de que se produzcan asentamientos diferenciales, por lo que se dejarán preparaciones en los aleros de la cimentación para poder integrar a futuro pilotes de fricción para regular los asentamientos diferenciales y darle mayor estabilidad a la estructura. Las preparaciones consistirán en huecos en los aleros de 0.40 X 0.40 m a cada 6 m, rellenos de mortero.

En la figura III-15 "Sección tipo de cajón de Entubamiento del Gran Canal del Desagüe" se muestran las dimensiones de la estructura de entubamiento, y en la figura III-15A "Propuesta Teórica Estructural Sección Cajón".



**Figura III-15 SECCION TIPO DE CAJON DE ENTUBAMIENTO**



**Figura III-15 A PROPUESTA TEORICA ESTRUCTURAL SECCION CAJON**

A continuación se describirán los trabajos básicos que se aplican para la realización de las excavaciones, ya que por tratarse de una estructura especial en un tipo de terreno con características particulares, se hace necesario plantear.

La excavación y capa mejorada que se realizará se describen a continuación:

- **EXCAVACION**

Deberá realizarse una excavación en el canal rectificando el cauce y los taludes, el nivel máximo de excavación deberá considerar el nivel de la obra de inicio (en San Lázaro), el nivel de la obra de descarga (en el Río de los Remedios) y la estabilidad de los taludes, tratando de retirar el máximo azolve sin hacer costosa la obra. Se propone que la excavación se ejecute de acuerdo a lo siguiente:

Nivel máximo de excavación es igual al nivel de desplante de la estructura menos 0.60 m, dejando taludes con una inclinación de 3:1 (horizontal-vertical)

- **CAPA MEJORADA EN EL SUELO DE DESPLANTE DEL ENTUBAMIENTO**

Por razones de estabilidad se considera la necesidad de realizar un mejoramiento en el suelo de desplante del entubamiento del Gran Canal de Desagüe, que mejore su resistencia, por lo que se colocarán geosintéticos (geotextil y geored) que aumentan el factor de seguridad ante la falla general del terraplén o estructura de entubamiento, en general el terraplén uniformizará la distribución de esfuerzos y por ende los desplazamientos teniendo una distribución más uniforme, el mejoramiento incluye la colocación de una capa de grava-arena de 30 cm de espesor que permita una rápida disipación del exceso de presión de poro, encima de la grava-arena, se colocará una capa de tezontle de 30 cm de espesor que servirá como colchón de alivio conteniendo el agua que se filtre de la grava-arena. El orden de arreglo de esta capa de mejoramiento sería en el contacto con el azolve, un geotextil con una geored por encima, después se colocará la capa de grava-arena, y encima la capa de tezontle y por último se colocará una geored.

- **PRECARGA COLOCADA AL SUELO DE DESPLANTE .**

La colocación de la precarga al suelo de desplante se ve necesaria para mejorar la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, como para lograr que las deformaciones se presenten previamente a la construcción del cajón pudiendo hacer las nivelaciones necesarias con el mismo tepetate de la precarga, además un adecuado confinamiento en el azolve producido por la precarga evitará que se presente el fenómeno de licuación debido a que el azolve se comporta como arena fina bajo el nivel freático.

Por último se puede decir que el aplicar la precarga al suelo, es la de evitar que éste no falle debido a la sobrecarga a la que estará sujeto durante su operación.

Durante las diferentes etapas de construcción del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe, y sobretodo durante la etapa de excavación, es importante considerar que la excavación se estará constantemente inundando de agua debido al nivel de aguas freáticas de la zona, por lo tanto es necesario que se esté abatiendo los niveles de agua para poder realizar en forma correcta las excavaciones. Es importante mencionar que para lograr que los trabajos de excavación y construcción del entubamiento del Gran Canal del Desagüe sean lo más fáciles de realizar, será necesario que se implementen una serie de pasos a seguir para el desarrollo de estos trabajos. A continuación se propone lo siguiente:

A) En la preconsolidación de la arcilla por precarga, los estratos intercalados de arena funcionan como drenes del agua contenida en el suelo, generando un problema, ya que pueden producirse en ellos altas presiones de poro, disminuyendo la resistencia al esfuerzo cortante y generando una falla en dicho estrato.

Este problema se ve resuelto abatiendo la alta presión de poro mediante pozos de alivio en los que el agua será bombeada hacia el drenaje más cercano. El azolve en la superficie beneficiará el abatimiento del agua ya que este funciona como drenante.

B) Debido a que el nivel de aguas freáticas se encuentra a un nivel superior del fondo de la excavación y que este tiende a recuperarse después de haberse desaguado el canal, los pozos de alivio mencionados en el inciso "A", servirán de igual manera para abatir el nivel de aguas freáticas con el fin de construir con facilidad (en seco) la capa de mejoramiento de desplante.

Deberá de tenerse cuidado de no sobrepasar el bombeo ya que esto provocaría daños a las construcciones vecinas debido a los asentamientos producidos por la reducción del nivel de aguas freáticas.

Deberá considerarse que durante el funcionamiento de la estructura de entubamiento, los esfuerzos netos transmitidos al suelo produzcan desplazamiento (hundimientos y/o expansiones) tolerables. El proyecto permite la recuperación del nivel de aguas freáticas estableciendo así el efecto de subpresión en el que se reducen los esfuerzos efectivos en la masa de suelo, lo cual debe tomarse en cuenta en el diseño geotécnico.

### **III.3 ESTRUCTURAS QUE INTERVIENEN EN EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE**

Debido a la magnitud que representa el proyecto de Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México y también a las diferentes etapas constructivas que lo conforman, se hace necesaria la construcción de diversas estructuras auxiliares para garantizar el buen funcionamiento del canal, dando lugar a estructuras adicionales al túnel, las cuales aquí describimos en forma breve, pensando siempre en que aunque se trata de estructuras auxiliares o menores, son tan importantes como la misma estructura del Gran Canal del Desagüe, tales estructuras son:

La estructura de arranque, la estructura de conducción, las estructuras especiales, las estructuras de conexión y la estructura de descarga.

A continuación se describen cada una de ellas.

### **III.3.1 ESTRUCTURA DE ARRANQUE**

La estructura de arranque forma parte de la cuarta etapa de construcción, la cual se encuentra aún en período de aprobación presupuestal, motivo por el cual está pendiente la ejecución de la obra, sin embargo, es necesario mencionarla para comprender de manera más clara el proyecto que aquí se describe.

La estructura de arranque está localizada en el km 0+000 del entubamiento y se interconecta con el proyecto de reconexión de las plantas de bombeo denominadas PB-1 y PB-1A (km 0+000 y km 0+000), por medio de 4 múltiples de tubería de acero de diversos diámetros los que llegan a una lumbrera de captación de forma cilíndrica de 8.30 m de diámetro interior, coincidente con los muros laterales del cajón de conducción a manera de prolongación de estos últimos uniéndose en una estructura en forma de arco.

El nivel de la plantilla de la lumbrera de captación será el mismo de la plantilla del entubamiento, estas estructuras se construirán monolíticamente interconectándose directamente, la lumbrera sobresaldrá una altura de 3 metros a partir de la losa de cubierta del cajón sumando una altura total de 7.34 m. La lumbrera tendrá los mismos espesores de muros y losa fondo del entubamiento.

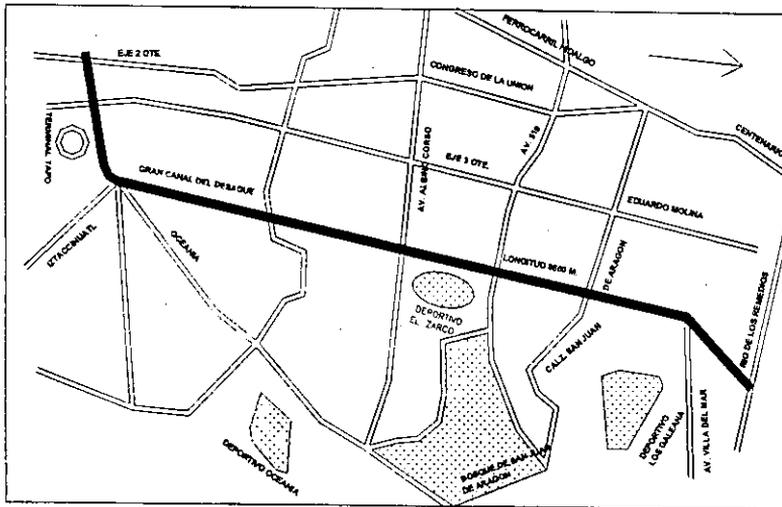
### **III.3.2 ESTRUCTURA DE CONDUCCION**

Esta estructura corresponde al entubamiento propiamente dicho de sección rectangular de doble cajón por el cual se conducirá el agua del Gran Canal del Desagüe desde el km 0+000 (Palacio Legislativo en San Lázaro) hasta el km 9+500 (Río de los Remedios) figura III-16 "Trayectoria del Entubamiento del Gran

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO  
Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Canal del Desagüe”, el cual tendrá la geometría mostrada en la figura III-15 “Sección tipo de Cajón de entubamiento “ y las dimensiones mostradas en la Tabla III-15 “Geometría del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe”.



**Figura III-16 TRAYECTORIA DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN  
CANAL DEL DESAGÜE**

El trazo y la nivelación del entubamiento se condiciona a la existencia de las diversas obras auxiliares como: las plantas de bombeo existentes, interferencia de la línea 5 del Sistema de Transporte Colectivo (Metro) la cual es una obra importante que se debe de tener en cuenta, interferencia con vía férrea e instalaciones municipales como estructuras de infraestructura que son de vital importancia para los habitantes de la Ciudad de México.

También se consideran las estructuras que interceptan con el Gran Canal del Desagüe como son las obras de arranque, la obra de toma y la obra de descarga

de las que se tendrán que adaptar de acuerdo a los niveles actuales que presenten.

**TABLA III-15**  
**GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN**  
**DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE**

<b>SECCION</b>	<b>BASE (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>PENDIENTE</b>	<b>AREA ( m<sup>2</sup>)</b>
<b>TIPO</b>	4.0	4.0	.00015	16
<b>TRANSICION I</b>	6.7	2.4	.00015	16
<b>TRANSICION II</b>	5.35	3.0	.00015	16

La sección transversal se conserva constante a lo largo de la longitud del conducto de sección Tipo excepto en las zonas de interferencia con los puentes vehiculares, para librar los niveles de rasante de los mismos, se tienen las secciones de transición: La transición tipo I se tendrá en los cruces con las siguientes vialidades:

<b>Interferencia con la avenida</b>	<b>Longitud ( m )</b>
Héroes de Nacozari	42
Puente Vía Férrea	10
Del Peñón	33
Eje 2 Norte	18

La transición tipo II, se tendrá en los cruces con las siguientes vialidades:

<b>Interferencia con la avenida</b>	<b>Longitud ( m )</b>
Ing. Eduardo Molina	42 m
Eje 1 Norte	10 m
Río Consulado	51 m

Vialidades que no requieren estructura de transición:

<b>Interferencia con la avenida</b>	<b>Longitud ( m )</b>
Eje 3 Norte	27
Talismán	29
San Juan de Aragón	30
Puente Ejido	21

Existe un espacio libre entre el nivel de cubierta del cajón y el nivel mínimo inferior del puente. La sección tipo del cajón y las estructuras de cruce estarán estructuralmente aisladas y unidas mediante juntas constructivas con bandas de cloruro de polivinilo con un bulbo central deformable, que absorberá movimientos o giros entre ambas estructuras y mantendrá sellada la junta.

### **III.3.3 ESTRUCTURAS ESPECIALES**

Dentro de lo que se consideran como estructuras especiales, se tienen a las estructuras que por su origen son necesarias en la planeación original del proyecto, son de mucha importancia para el buen desarrollo de la obra y el buen funcionamiento final del proyecto, ya que sin éstas las obras realizadas junto con las obras existentes no tendrían un funcionamiento satisfactorio del sistema implantado. Aquí se tiene el inconveniente de que por ser estructuras existentes, el proyecto necesariamente se ve obligado a adaptarse a las condiciones que presenten, haciendo que el proyecto y la obra se complique más de lo esperado.

Estas estructuras son producto de las obras generadas por las condiciones que se presentan en campo, tal es el caso de las obras auxiliares derivadas de la existencia de instalaciones u obras que se tienen dentro de lo que es el trazo del entubamiento.

### **III.3.4 ESTRUCTURAS DE CONEXIÓN**

Las estructuras de conexión son generadas al igual que las estructuras especiales, como resultado de adecuar las nuevas instalaciones del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe a las estructuras existentes, con el objeto de incorporarlas al nuevo sistema planteado, estas conexiones son básicamente en : Las plantas de Bombeo existentes y con la obra del Interceptor Oriente del Sistema de Drenaje Profundo.

#### **III.3.4.1 CON PLANTAS DE BOMBEO EXISTENTES**

Estas estructuras son las que reciben las aguas negras de los colectores afluentes existentes y que se interceptan con el Entubamiento del Gran Canal del Desagüe, estas intersecciones se realizan básicamente a través de las plantas de bombeo, las cuales se tienen plenamente detectadas y que componen actualmente los

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

sistemas de drenaje de las zonas comprendidas dentro de la zona de influencia del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe.

A continuación se indica la ubicación de los puntos de intersección de estas obras con la obra del entubamiento, indicando su ubicación con respecto al cause y el kilometraje de su cadenamamiento .

Las plantas de bombeo se ubican sobre ambas márgenes localizadas como sigue:

<b>PLANTAS</b>	<b>MARGEN</b>	<b>CADENAMIENTO</b>
PB-1	Derecha	0+000
PB-1A	Izquierda	0+000
PB-2	Derecha	1+116
PB-3	Izquierda	1+245
PB-4A	Derecha	2+518
PB-5A	Izquierda	2+739
PB-5	Izquierda	2+893
PB-6	Derecha	3+928
PB-6A	Derecha	4+916
PB-7	Izquierda	5+991
PB- Pozo Indio	Derecha	6+993
PB-8	Izquierda	8+783

Estas estructuras están integradas al entubamiento, aquí el cajón de conducción, es abierto y sus muros laterales se prolongan en todo el perímetro verticalmente con un reborde o pretil de 1.50 m de altura y 15 cm de espesor con el fin de contener el tirante de agua aportada por la planta de bombeo.

Los cajones del entubamiento están interconectados por el muro intermedio con 2 o 3 aberturas (según el número de tuberías de descarga) de 1 y 2 metros de longitud horizontal; cada cajón cuenta con 2 compuertas para controlar el flujo del agua y estarán formadas por tabletas de concreto de 4.20 metros de largo, 0.45 ó 0.50 m de alto y 0.25 m de espesor con material deformable en los extremos para sellar las juntas.

Esta zona estará cubierta por rejillas tipo Irving facilitando la operación de las compuertas, al no contar con losa de cubierta en esta zona, los muros laterales estarán sometidos a mayores esfuerzos por lo que con objeto de rigidizar y apoyar la rejilla, se colocarán 4 vigas de acero IR al nivel de la cubierta, además se aumentará el espesor de dichos muros a 35 cm y se reforzarán los huecos del muro central y uno de los laterales para recibir las tuberías de alimentación. Esta zona de captación estará aislada estructuralmente del cajón tipo, mediante el empleo de juntas constructivas con una banda de cloruro de polivinilo (PVC) a 22 cm de ancho con bulbo deformable al centro.

#### **III.3.4.2 CON INTERCEPTOR ORIENTE DEL DRENAJE PROFUNDO**

En la interconexión del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe con la obra de toma localizada en el Km 6+900 y que sirve de alivio al Gran Canal del Desagüe es indispensable crear una estructura de derivación tomando en cuenta la interrelación con el sistema de Drenaje Profundo.

De gran importancia se vuelve el funcionamiento de la obra de toma durante la época de lluvias ya que en ésta es cuando se deriva un volumen importante de

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

agua residual y pluvial hacia la lumbrera 8C del Interceptor Oriente, agua que proviene del Gran Canal del Desagüe y el Río de los Remedios.

La estructura de conexión con la obra de toma tendrá una sección transversal similar al cajón con ancho de 17 m y un largo de 18.54 m, contará para el control del flujo de agua con una serie de compuertas, se unirá por medio de 2 muros laterales de acoplamiento con los muros de las instalaciones existentes, ver figura III-17 "Estructura de conexión con Obra de Toma". La estructura de conexión se entierra gradualmente para tener el mismo nivel de plantilla de la compuerta radial de la obra existente, por lo que los muros del cajón de enlace varían de 4 a 5.71 m de altura. Adicionalmente habrá dos muros intermedios proporcionalmente ubicados para distribuir el flujo uniformemente.

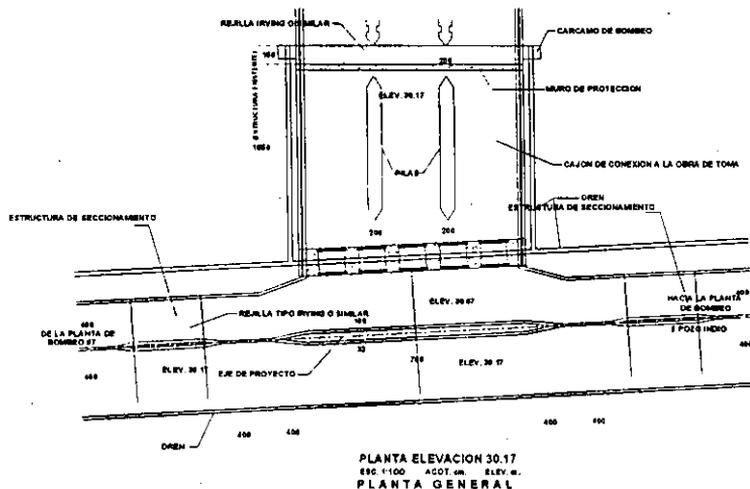


Figura III-17

**ESTRUCTURA DE CONEXIÓN CON OBRA DE TOMA**

Esta estructura de conexión estará separada de la sección tipo de entubamiento por medio de una junta con banda de cloruro de polivinilo, en el inicio y en el final de la estructura, con objeto de absorber los giros y desplazamientos entre ambas secciones y sellar la junta.

### **III.3.5 ESTRUCTURA DE DESCARGA**

Se ubicará al final del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe en la sección de confluencia con el Río de los Remedios y por las características topográficas y de flujo de ambos cauces, esta estructura deberá recibir las aportaciones que ellos conducen. La estructura de descarga es un canal a cielo abierto de transición hidráulica, formada por dos muros tipo alerón.

Además de estas estructuras especiales, se tienen algunas otras que también son consideradas importantes, Dentro de lo que se consideran como estructuras especiales, tenemos a las estructuras que por su origen y duración no son contempladas dentro de la planeación original del proyecto, sin embargo son de mucha importancia para el buen desarrollo de la obra, es decir son estructuras que por las condiciones en campo son necesarias de realizar, tal es el caso de las obras de tipo auxiliar derivadas de la existencia de instalaciones u obras que no se tienen registradas dentro de lo que es el trazo del entubamiento. Estas estructuras quedarían contempladas dentro de las obras inducidas, como ejemplo: cimentaciones de construcciones no registradas ante la Dirección de Obras del Gobierno del Distrito Federal, cimentaciones de construcciones que por alguna razón están invadiendo los límites establecidos por las dependencias de gobierno, instalaciones existentes que también no se tienen detectadas originalmente en la planeación.

El otro tipo de obras que por su duración no se contemplaron dentro de la planeación del entubamiento, son las que corresponden a las obras o estructuras inducidas por las condiciones reales que se van presentando durante el desarrollo de la construcción del entubamiento, y que son necesarias también para el mejor

desarrollo de la obra, tales obras pueden ser: Obras para corrección o desviación temporal del cause del Gran Canal, obras auxiliares como las generadas durante la etapa de excavación con el objeto de facilitar las tareas de desazolve y excavación a lo largo del Entubamiento del Canal del Desagüe.

Hay que tener en cuenta que estas obras en su gran mayoría, son obras que como se indicó anteriormente, son importantes para el buen desarrollo de los trabajos de construcción del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe.

## **CAPITULO IV**

# **PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE**

**CAPITULO IV**  
**PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN PARA EL**  
**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE.**  
**DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM 2+739 A RIO DE LOS**  
**REMEDIOS KM 9+500**

**IV.1 TRABAJOS PRELIMINARES**

Previo a la construcción propia del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, deben ejecutarse los siguientes trabajos:

- 1) Construir accesos para maquinaria de construcción, materiales y personal de la obra, en lugares óptimos, para ello se deben demoler tramos de muros de protección existentes y colocar en su lugar puertas de malla ciclón que sirvan para el control de acceso a la obra.
- 2) Antes de realizar cualquier trabajo sobre los hombros del cauce debe observarse que no exista ninguna tubería o instalación, en caso de que éstas existan deben tomarse las medidas preventivas para que no sean dañadas.
- 3) Previo al retiro de la hierba existente, los hombros del canal deben ser nivelados de forma tal que éstos permitan los escurrimientos pluviales, así mismo se debe colocar una capa de tezontle de 20 cm de espesor que facilite el rodamiento vehicular.
- 4) Para acortar las rutas de acceso vehicular deben construirse terraplenes sobre el cauce del canal, los cuales faciliten el cruce de una a otra margen a los vehículos, la maquinaria y el personal de la obra, cuidando que éstos se ubiquen en puntos estratégicos a lo largo del canal dando fluidez a la

obra, posteriormente dichos terraplenes deben retirarse durante la excavación del azolve.

## **IV.2 EXCAVACIONES**

Una vez que se han ejecutado los trabajos preliminares, se continua con los trabajos de excavación de azolve, sobre el cauce del Gran Canal del Desagüe, para lo cual el nivel de excavación, debe ser igual al nivel del desplante de la estructura, menos 60 cm.

Simultáneo a la excavación del azolve del cauce, se realiza la excavación de los taludes de los bordos laterales con una relación horizontal-vertical de 3:1.

La excavación se puede realizar con draga de peso máximo de 30 ton, la cual se sitúa sobre los bordos laterales a una distancia mínima de 1.50 m del hombro del talud a la parte delantera de la oruga. La excavación debe realizarse transversalmente, evitando dejar pendiente el tendido de los taludes. El cucharón de la draga debe ser ligero para evitar el golpeteo y la vibración del azolve. El azolve excavado se debe retirar descargándolo directamente del cucharón de la draga a la caja del camión de volteo.

La excavación debe realizarse en tramos de 10 m y no es permisible que un tramo de excavación permanezca 48 horas sin colocación de mejoramiento, veáse figura IV-1 "Excavacion del Gran Canal del Desagüe".

De manera simultánea a la excavación se construye un dren longitudinal al pie de cada talud del canal, el cual se realiza excavando manualmente una zanja de 50 X 50 cm, a la cual se le coloca un geotextil no tejido, termofijado tipo Typar 3401 ó similar en toda su superficie, posteriormente, en la cavidad formada por la zanja, se instala tubería de concreto de 6" de diámetro perforada, por último se rellena con tezontle de granulometría mostrada en la figura IV-2 "Rango de la

**CAPITULO IV**

**PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL  
DESAGÜE. DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM 2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500**

granulometria del tezontle". Cada uno de estos drenes deben servir para recolectar el agua que se recupere del Gran Canal del Desagüe, posteriormente el agua debe descargarse a un cárcamo de bombeo, dicho cárcamo debe construirse mediante una excavación cuyas dimensiones son de 1.20 m de ancho, 1.20 m de largo y 1.50 m de profundidad, en el interior de la excavación se instala un tambo perforado en todas sus caras, de 200 litros de capacidad y se arroja con tezontle de granulometría mostrada en la figura IV-2 "Rango de la granulometria del tezontle", el agua que llegue al cárcamo debe bombearse al drenaje más cercano, dicho bombeo debe realizarse desde el proceso de excavación de azolve hasta el proceso de retiro de la precarga. Los cárcamos deben ubicarse a una distancia de 40 m entre sí.

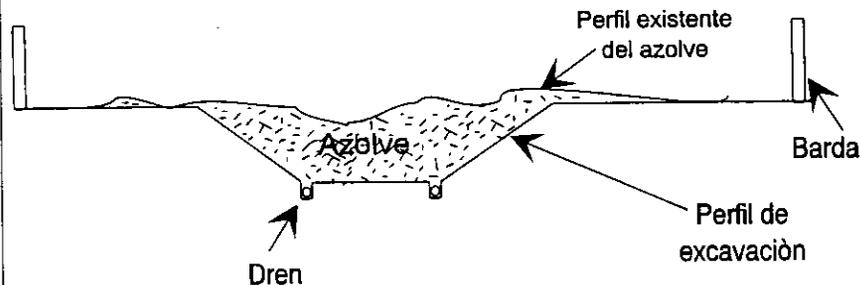


FIGURA IV-1  
EXCAVACIÓN DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE

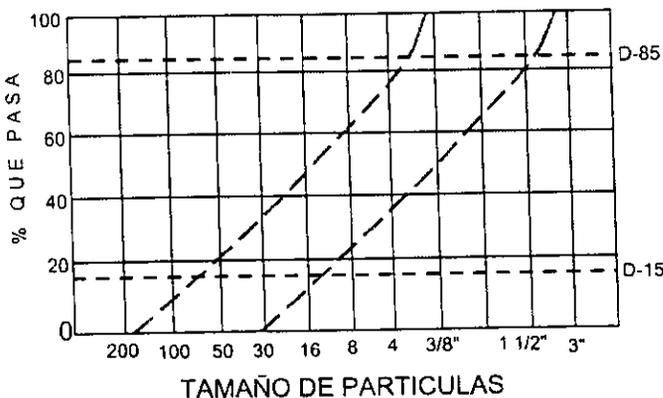


FIGURA IV-2  
RANGO DE LA GRANULOMETRIA DEL TEZONTLE

### **IV.3 MEJORAMIENTO DEL SUELO**

El terreno de desplante de la estructura del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe, se compone de sedimentos a los que en conjunto llamaremos azolve, el cual tiene un considerable espesor, que en condiciones normales es recomendable su retiro, pero en virtud de que se busca una solución económicamente viable, se opta por retirar solamente una parte de dicho azolve, debiendo estabilizar el resto para garantizar un adecuado soporte a la estructura del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe.

De los estudios de comportamiento de suelos, se ha determinado que es posible retirar una parte del espesor del azolve existente, sometiendo el resto a un tratamiento que, por medio de aplicación de cargas logren una compactación tal que la resistencia del terreno se vea incrementada, así mismo se colocaran filtros para el control de la humedad con la que se obtendrá una presión de poro adecuada, también se colocarán mallas conocidas como georedes y geotextiles, debiendo lograrse con ello una superficie con la resistencia suficiente para soportar la estructura del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe.

#### **COLOCACION DE GEOCOMPUESTO, CONSTITUIDO POR UN GEOTEXTIL Y UNA GEORED**

Una vez que se realiza el primer tramo de 10 m de excavación, se coloca sobre él azolve un geotextil no tejido, termofijado tipo Typar 3401 o similar, y sobre el geotextil, se coloca una geored biaxial de polipropileno de alta densidad, tipo Tensar BX-1200, o similar, al conjunto formado por el geotextil y la geored lo llamaremos geocompuesto y su colocación se ejecuta como se indica a continuación:

- 1) Sobre la superficie excavada se coloca el geocompuesto, de tal forma que en el contacto con el azolve queda el geotextil y sobre éste la geored.

- 2) Los rollos de geocompuesto se colocan extendiéndolos en forma longitudinal de acuerdo a la figura IV-3 "Colocación de geocompuesto", dejando un traslape de 1 m entre uno y otro rollo, como se muestra en la figura IV-4 "Traslape de geocompuesto", para obtener una transmisión efectiva de esfuerzos. en ésta zona de traslape es necesario hacer un amarre para asegurar el trabajo en conjunto del geocompuesto, dicho amarre se realiza con abrazaderas de plástico distribuidas al tresbolillo con separación de 30 cm en sentido transversal y 70 cm en el sentido longitudinal al canal.
- 3) En la unión del final de un rollo y el principio de otro se ejecuta un traslape de sentido transversal de 1 m de longitud, quedando el final del rollo sobre el inicio del otro. este traslape asegura que el geocompuesto trabaje en conjunto, para lo cual en dicha área de traslape, se amarran abrazaderas distribuidas al tresbolillo con una separación de 30 cm en el sentido longitudinal y 70 cm en el sentido transversal al cauce del canal.
- 4) Debe cuidarse que el geocompuesto quede perfectamente extendido.
- 5) El geocompuesto se coloca por lo menos 2 m fuera de la cubeta de azolve en ambas márgenes, ver figura IV-5 "Detalle del mejoramiento del suelo".
- 6) Las características del geotextil, son las que se muestran en la tabla IV-1 "Características del geotextil Typar 3401".
- 7) Las características mecánicas de la geored BX-1200 biaxial deben cumplir con ser una estructura formada por un entramado biaxial en un plano, hechas de polipropileno de alta densidad y una geometría de aberturas suficientes para permitir una trabazón mecánica entre materiales, véase tabla IV-2 "Características de la geored BX-1200".

- 8) No se permite un desfaseamiento mayor de 10 m entre el proceso de excavación y el del mejoramiento del suelo.

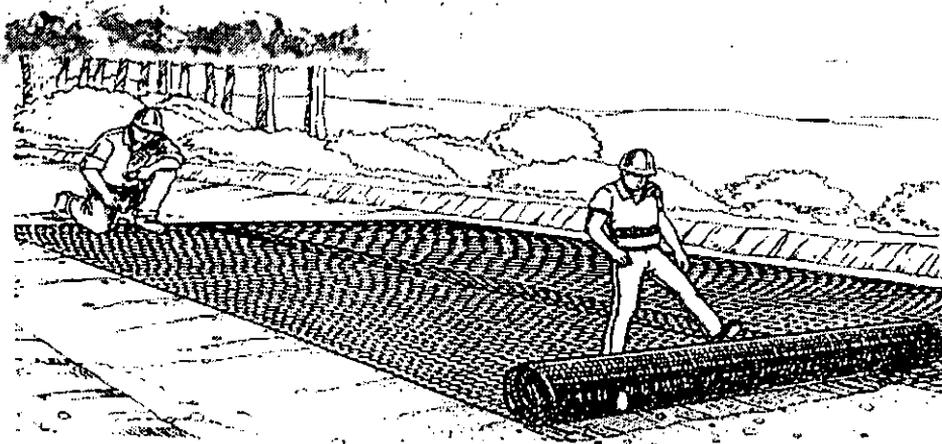


FIGURA IV-3  
COLOCACIÓN DE GEOCOMPUESTO

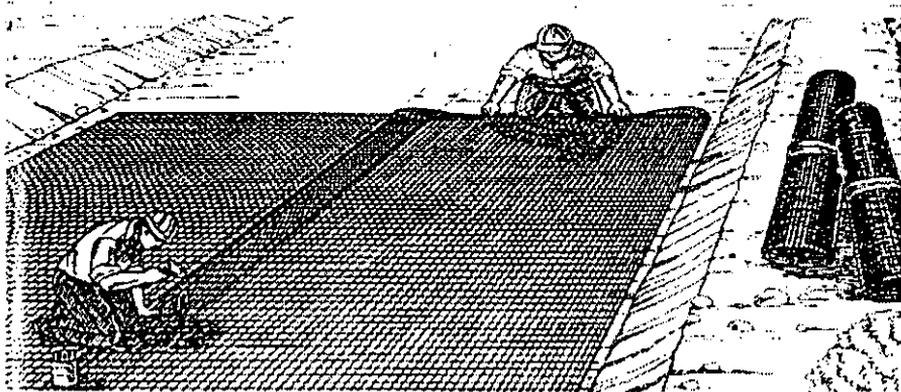


FIGURA IV-4  
TRASLAPE DE GEOCOMPUESTO

CAPITULO IV  
PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL  
DESAGÜE. DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM 2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500

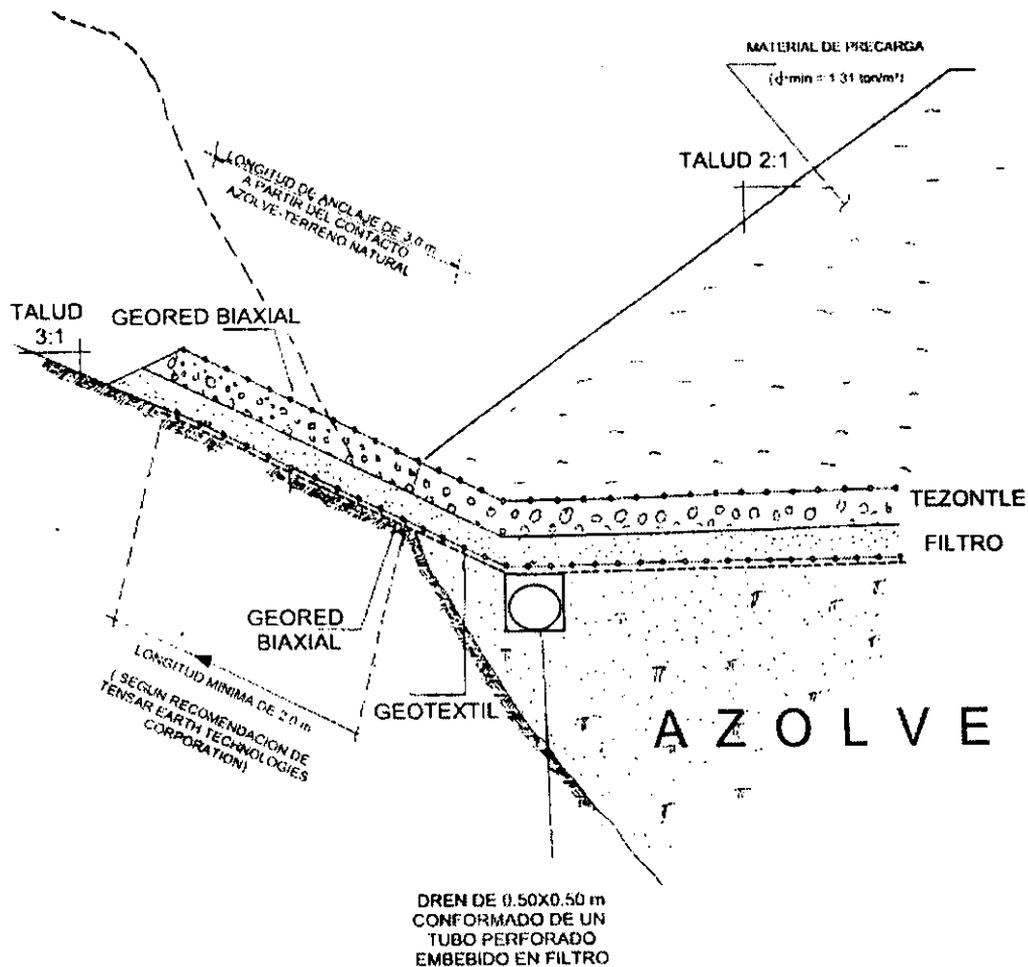


FIGURA IV-5  
DETALLE DEL MEJORAMIENTO DEL SUELO

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**TABLA IV-1**  
**CARACTERÍSTICAS DEL GEOTEXTIL TYPAR 3401**

PROPIEDAD	VALOR MÍNIMO PROMEDIO DEL ROLLO	MÉTODO
RESISTENCIA A LA TENSIÓN / ELONGACIÓN - SENTIDO LONGITUDINAL - SENTIDO TRANSVERSAL	625 (kg/m) / 50% 715 (kg/m) / 50%	ASTM D - 4595
MODULO DE TENSIÓN (secante, a 10% de elongación) - SENTIDO LONGITUDINAL - SENTIDO TRANSVERSAL	86.3 (kg) 86.3 (kg)	ASTM D - 4595
CARGA DE RUPTURA / ELONGACIÓN APARENTE (promedio)	59 (Kg) / 60 %	ASTM D - 4632
CARGA AL 10% DE ELONGACION	29.5 (Kg)	ASTM D - 4632
RASGADO TRAPEZOIDAL	27.2 (kg)	ASTM D - 4533
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO	18.2 (kg)	ASTM D - 4833
TAMAÑO DE ABERTURA APARENTE	MALLA 70 US STD / 0.21 MM	ASTM D - 4751
FLUJO	2433 l / m <sup>2</sup> - min	ASTM D - 4491
PERMEABILIDAD	( 0.70 seg ) / 1	ASTM D - 4491

**CAPITULO IV**

**PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL  
DESAGÜE. DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM 2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500**

TABLA IV-2  
CARACTERÍSTICAS DE LA GEORED BX-1200

PROPIEDAD	TIPO DE PRUEBA	UNIDAD	VALOR
RESISTENCIA ÚLTIMA CMD	-----	Kg / m	3,200
MODULO TENSIÓN MD CMD	GRI GGI-87	Kg / m	27,528 mínimo 44,648 mínimo
JUNTAS: ESFUERZO: MD CMD EFICIENCIA: CMD	GRI GG2-87  GRI GG2-87	kg / m  %	1,562 mínimo 2,812 mínimo 90 mínimo
DURABILIDAD MÍNIMA:	-----	Años	50
DIMENSIONES:  LONGITUD DEL ROLLO ANCHO DEL ROLLO PESO DEL ROLLO	----- ----- -----	m m kg	50 2.8 a 4 46 a 61

MD: dimensión longitudinal al rollo

CMD: dimensión transversal al rollo

**COLOCACION DE FILTRO, CONSTITUIDO POR UNA CAPA CON MEZCLA DE GRAVA Y ARENA Y OTRA CAPA DE TEZONTLE**

Sobre el geocompuesto se coloca una capa de filtro granulado constituido por una mezcla de grava y de arena, de 30 cm de espesor, a dicha mezcla se le llama grava-arena, la cual debe contar con las siguientes características:

- 1) La granulometría se indica en la figura IV-2 "Rango de la granulometría del tezontle".
- 2) Las partículas deben ser de subangulosas a sobredondeadas para evitar el rompimiento del geotextil.
- 3) Debe ser limpio, resistente al ataque de agentes orgánicos, carente de partículas finas y materia orgánica.
- 4) Las partículas deben estar comprendidas entre  $1 \frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{8}$  de pulgadas y no deben exceder el 8 % en la prueba de intemperismo de acuerdo a la norma ASTM.C88 (American Society for Testing Materials, C88, Sulfato de Sodio en 5 ciclos.
- 5) El desgaste del filtro no debe rebasar el 15 % en la prueba de desgaste de los Ángeles.
- 6) El peso volumétrico debe ser de  $1.60 \text{ ton/m}^3$ .

Una vez colocada la capa de grava-arena, sobre ésta se coloca una capa de tezontle de 30 m de espesor con las siguientes características:

- 1) Peso volumétrico igual a  $1.25 \text{ ton/m}^3$ .
- 2) Tamaño máximo igual a  $1 \frac{1}{2}$  pulgadas. (38 mm)
- 3) Porcentaje de finos menor que 10 %.
- 4) Limpio y libre de impurezas y materia orgánica.

**CAPITULO IV**

**PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL  
DESAGÜE. DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM 2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500**

---

La colocación de las dos capas de filtro mencionadas anteriormente, podrán colocarse con el cucharón de una draga, y posteriormente debe extenderse manualmente con palas y rastrillos.

Ambas capas deben colocarse por lo menos 2 m fuera de la cubeta del azolve, en ambas márgenes, ver figura IV-5 "Detalle del mejoramiento del suelo".

### **COLOCACION DE GEORED**

Una vez que se termina de colocar el filtro, sobre este, se coloca una geored biaxial de polipropileno de alta densidad, tipo Tensar BX-1200 o similar de acuerdo a lo siguiente:

- 1) El rollo de la geored se coloca extendiéndolo longitudinalmente, como se muestra en la figura IV-3 "Colocación de geocompuesto", dejando un traslape de 1m de longitud entre uno y otro rollo, de acuerdo a la figura IV-4 "Traslape de geocompuesto", esto para obtener una transmisión efectiva de esfuerzos, para lo que en ésta zona de traslape será necesario hacer un amarre para asegurar el trabajo en conjunto de la geored con abrazaderas de plástico distribuidas al tresbolillo con separación de 30 cm en el sentido transversal y 70 cm en el sentido longitudinal al cauce del canal.
- 2) En la unión del final de un rollo y el principio de otro debe hacerse un traslape de 1 m, quedando el final del rollo sobre el inicio del otro, éste traslape asegura que las georedes trabajen en conjunto, por lo que este traslape debe amarrarse con abrazaderas distribuidas al tresbolillo con una separación de 30 cm en sentido longitudinal y 70 cm en sentido transversal al canal.

- 3) Sobre el anterior mejoramiento sólo se debe permitir circulación de equipo con peso menor a 14 toneladas y protegiendo la geored con una capa de tepetate de 10 cm de espesor mínimo.
- 4) La geored debe cumplir con las características enunciadas en la tabla IV-2 "Características de la Geored BX-1200".

### **COLOCACIÓN DE PRECARGA**

Después de realizar los primeros 40 m de las etapas constructivas anteriores, se procede a colocar un terrapién a base de tepetate el cual debe servir como precarga. En esta etapa se colocan 36 m de longitud de dicha precarga, la cual debe contar con 4 m de altura y una corona de 10 m de ancho, los taludes laterales deben contar con una relación horizontal-vertical de 2:1.

La precarga debe cubrir la cubeta ocupada por el azolve. Las siguientes etapas de colocación de precarga se realizan de acuerdo a la figura IV-6 "Etapas de colocación de precarga".

El peso máximo del equipo para colocar la precarga debe ser de 14 toneladas, y su compactación se logra con el paso del equipo en capas de 40 cm.

La precarga debe durar colocada por lo menos 10 días o el tiempo suficiente para lograr un asentamiento al centro de la precarga de por lo menos el 20 % del espesor del azolve existente.

Durante la terminación de la colocación de la geored y el inicio de la colocación de la precarga, no deben exceder 48 horas.

El tepetate utilizado en la precarga debe cumplir con las siguientes características:

- 1) Límite líquido menor que 50%.

- 2) Peso volumétrico igual a  $1.30 \text{ ton/m}^3$ . Las pruebas de verificación del peso volumétrico se deben realizar a cada  $50 \text{ m}^3$  del material colocado.

Una vez terminado el período de colocación de precarga, ésta debe ser retirada para su reutilización en los diferentes frentes de trabajo, ya sea como precarga o como relleno lateral del entubamiento, para dicho retiro debe utilizarse equipo de 14 toneladas de peso máximo. Una vez que se ha retirado la precarga, el bombeo de los cárcamos debe dejar de operar.



FIGURA IV.6  
ETAPAS DE COLOCACIÓN DE PRECARGA

## IV.4 CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA DE ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE

A continuación, se describe el proceso constructivo para la construcción de la estructura del Entubamiento del Gran Canal del Desague, dicho proceso unicamente se refiere al cajón que conducira el agua, véase figura IV.7 "Estructura del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe". El proceso constructivo de las estructuras que forman parte del proyecto del "Entubamiento del Gran Canal del Desagüe" y que se mencionan en el capitulo III.3, no se consideran en este trabajo, debido a que requieren un espacio amplio para desarrollarlas.

- 1) Una vez que se retira la precarga, se ejecuta una nivelación de piso para el desplante de la estructura, dicha nivelación se realiza con tepetate de la misma precarga el cual, se compacta en capas de 10 cm, con rodillo neumático de 1 ton.
- 2) A continuación se coloca una plantilla de concreto de 7.5 cm de espesor y una resistencia nominal de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ .
- 3) Después de fraguado el concreto de la plantilla, se inicia el armado del acero de refuerzo, tanto de la losa de cimentación, como de los muros laterales y el central, es importante que en esta etapa se dejen los traslapes y anclajes necesarios para dar continuidad al acero de refuerzo.
- 4) A continuación debe iniciarse el cimbrado de la losa de cimentación así como el de los muros laterales y central.
- 5) Una vez que se asegura que el acero y la cimbra, se han ejecutado correctamente, se procede a colar la losa y los muros hasta una altura de 60 cm. El colado de la losa de cimentación como el de los muros debe realizarse de manera monolítica. Debe utilizarse concreto con una resistencia a la compresión de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ .

**CAPITULO IV**

**PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL  
DESAGÜE. DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM-2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500**

---

- 6) A continuación se termina de armar el acero de refuerzo, se coloca la cimbra y por ultimo se ejecuta el colado de los tres muros, hasta su altura total.
- 7) Una vez que los muros hayan alcanzado su resistencia, se procederá a la colocación de la losa tapa del entubamiento, la cual se realizará con elementos prefabricados de concreto armado, el concreto de estos elementos deben contar con una resistencia a la compresión de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ . A los elementos prefabricados se les llamarán tabletas. Para no dañar dichas tabletas durante el proceso de su colocación e izaje, deben tomarse las medidas precautorias necesarias.
- 8) Después de colocar las tabletas, sobre estas se realiza un firme de compresión con concreto de resistencia a la compresión de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , el cual sirve para unir y sellar las aberturas que quedan entre ellas.
- 9) Las etapas longitudinales de colado del cajón son de 20 m dejando las preparaciones de anclaje en los armados y las juntas de colado entre las etapas de construcción.
- 10) Entre el retiro de la precarga y la preparación del desplante de estructura no deben exceder 48 horas.
- 11) Para realizar las etapas 5, 6 y 7, debe alcanzar por lo menos el 85 % de su resistencia el colado de la etapa anterior.
- 12) Después de que la losa de compresión obtenga una resistencia del 40 %, se procede a realizar la primera capa de relleno lateral del entubamiento con tezontle, la cual debe tener 2 m de altura, medida a partir del desplante de la estructura, este relleno de tezontle, debe ejecutarse en tramos longitudinales de 20 m, dejando al final de éste, taludes de relación horizontal-vertical de 1.5:1. Esta capa se conformará mediante el bandeo del tezontle, agregando el agua necesaria para dar un mejor acomodo de las partículas, el equipo a utilizar deberá pesar menos de 10 ton para las primeras capas y 20 ton para las subsecuentes. En esta capa, el tezontle

no se compactara, solo se garantizara su acomodo mediante el paso del equipo de construcción. En la cuña mostrada en la figura IV-8 "Zonas de relleno", no se permitirá el paso del equipo de construcción. El tezontle debe cumplir con las siguientes características:

- a) Peso volumétrico suelto igual a  $0.80 \text{ ton/m}^3$ .
  - b) Partículas subángulosas.
  - c) Tamaño máximo igual a  $3/4$  pulgadas (19mm).
  - d) Limpio.
  - e) Libre de finos.
  - f) Resistente y durable al ataque de agentes químicos y orgánicos.
  - g) No debe exceder del 15 % en la prueba de interperismo ASTM C88 (American Society for Testing Materials C88, Sulfato de Sodio en 5 ciclos).
  - h) La abrasión no debe ser mayor al 18 % en la prueba de desgaste de los Ángeles.
  - i) La granulometría debe comprender el rango de la figura IV-2 "Rango de la granulometría del tezontle".
  - j) Deben realizarse pruebas de control de calidad para la granulometría y el peso volumétrico a cada  $40 \text{ m}^3$  del material colocado, y de sanidad y abrasión a cada  $10 \text{ m}^3$  del material colocado.
- 13) Sobre la capa de tezontle, se coloca una capa de tepetate de 1.20 m de altura, en tramos longitudinales de 20 m, dejando al final del tramo taludes de relación horizontal-vertical de 1.5:1, éste relleno se forma con capas de 25 cm de espesor, compactadas al 95 % de la prueba Porter. Para la compactación se utiliza maquinaria con rodillo liso de 6 ton y en la cuña de la zona 2 se utiliza bailarina, ver figura IV-8 "Zonas de relleno". El tepetate debe cumplir con las siguientes características:

- Peso volumétrico natural igual a  $1.30 \text{ ton/m}^3$ .

**CAPITULO IV**

**PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION PARA EL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE. DE PLANTA DE BOMBEO 5-A KM 2+739 A RIO DE LOS REMEDIOS KM 9+500**

---

- El peso volumétrico máximo seco al 95 % de la prueba Porter será de 1.6 a 1.7 ton/m<sup>3</sup>.
  - Debe cumplir con la granulometría mostrada en la figura IV-9 "Granulometría del tepetate".
  - Límite líquido de la fracción fina menor a 30 %.
  - Contracción lineal de la fracción fina máxima del 4 %.
  - Las pruebas de verificación de compactación deben realizarse a cada 200 m<sup>2</sup> de capa colocada.
- 14) Es importante señalar que los rellenos laterales deben realizarse simultáneamente en ambos márgenes del cajón, existiendo como máximo una capa de diferencia entre ambos lados, evitando así los asentamientos diferenciales transversales y la tendencia al volteo de la estructura de entubamiento.

**ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION, DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE**

La construcción del entubamiento del Gran Canal del Desagüe debe cumplir con las siguientes especificaciones generales:

- 1) Deben tomarse en cuenta, todos los planos arquitectónicos, estructurales, hidráulicos, topográficos, geotécnicos, etc, así como todas las especificaciones adjuntas al proyecto ejecutivo del "Entubamiento del Gran Canal del Desagüe. Para la elaboración de esta tesis, no se consideran dichos planos y especificaciones, ya que requieren de un espacio amplio para desarrollarlos, sin embargo, estos pueden consultarse en la biblioteca de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, del Gobierno del Distrito Federal.
- 2) Durante todo el proceso constructivo, se debe contar con una empresa supervisora, que se encargue de revisar la correcta ejecución de los

trabajos realizados por las constructoras que intervengan, así como de revisar los volúmenes reales de obra.

- 3) Deben realizarse levantamientos topográficos, de nivelaciones, durante toda la construcción de la obra, con periodos diarios durante las dos primeras semanas y posteriormente de dos veces por semana hasta que se concluya la obra. Con dichos levantamientos la dirección de obra, debe realizar gráficas de tiempo-deformación para su estudio, con los cuales se tomaran las acciones pertinentes.
- 4) El concreto debe ser Tipo I. Por cada metro cubico de concreto se debe agregar 1000 gramos de fibras de polímeros de monofilamentos de nylon de 5 cm de longitud. Para la elaboración del concreto debe utilizarse cemento Pórtland, resistente a los sulfatos, tipo V. La grava que constituya el agregado grueso, no debe ser mayor de 3/4 " (19 mm), ni mayor de 1/5 de la menor dimensión entre las paredes de la cimbra, ni mayor de 3/4 del mínimo espacio libre entre las varillas de refuerzo. La arena que constituya el agregado fino y que pase por la malla número 200 debe comprenderse entre el 3 y el 5 % del peso total del material. Los agregados, fino y grueso.
- 5) Deben ser de primera y carentes de arcilla y materia orgánica. El agua debe ser potable.
- 6) El acero de refuerzo debe tener un límite elástico de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, durante su colocación dentro de la estructura debe garantizarse la firmeza de su posición.
- 7) En general, se deberá revisar que los materiales y procesos constructivos de la obra, cumplan con las normas de construcción, del Gobierno del Distrito Federal.

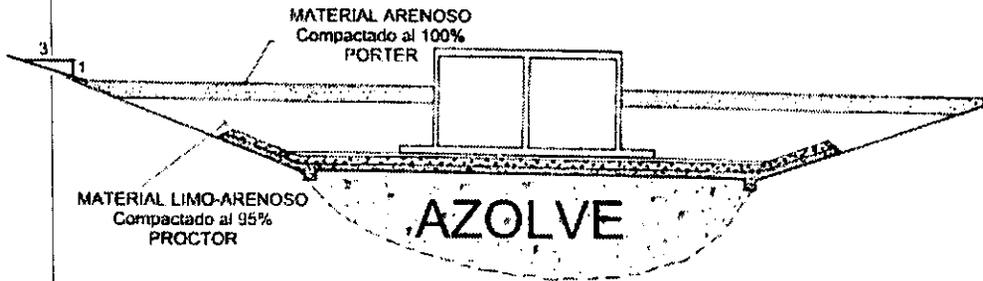


FIGURA IV.7  
ESTRUCTURA DE ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE

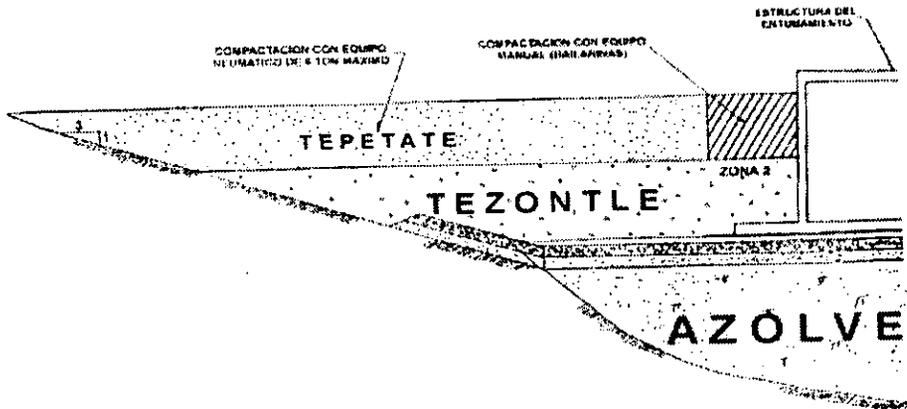


FIGURA IV.8  
ZONAS DE RELLENO

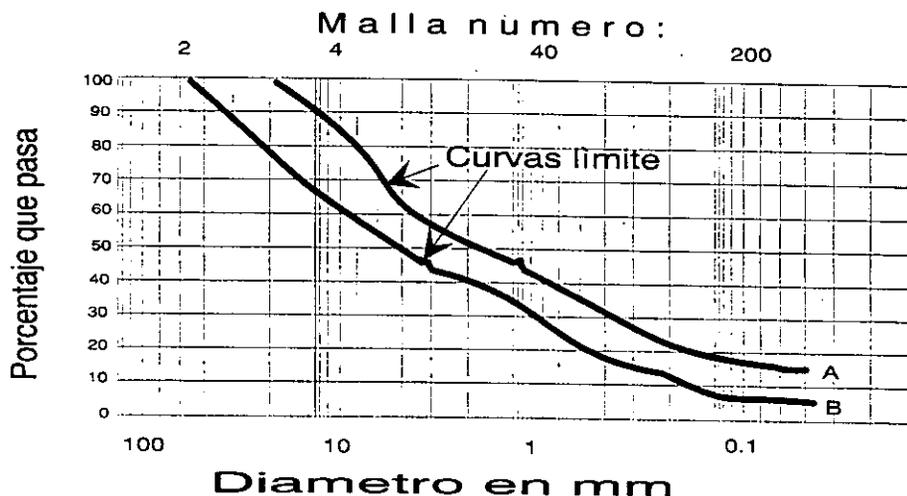


FIGURA IV.9  
GRANULOMETRIA DEL TEPETATE

#### IV.5 FUNCIONAMIENTO DEL ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE

Una vez que se encuentre cumplido el objetivo de construir el Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, se pasa a la etapa operativa de éste, en la que la Dirección de Operación en presencia con la Dirección de Construcción, ambas dependientes de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, deben iniciar la operación del proyecto, se informa que al término de éste trabajo, sobre el Entubamiento del Gran Canal del Desagüe, únicamente se han terminado de construir las Etapas 1, 2 y 3, del Kilometro 2+739, ubicado en la planta de bombeo 5-A, al kilometro 9 + 500, ubicado en el Río de Los Remedios y que dichas etapas se encuentran satisfactorio estado de operación. Así mismo, la Dirección General de Obras dependiente del Departamento del Distrito Federal (Hoy Gobierno del Distrito Federal), ha concluido la construcción de la vialidad adyacente al Entubamiento del Gran Canal del Desagüe.

**CAPITULO V**

**ESTUDIO FINANCIERO**

**DE LA OBRA**

## CAPITULO V

### ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA

#### V.1 CATALOGO DE CONCEPTOS

Para poder determinar la factibilidad de construcción de cualquier proyecto, es necesario conocer previamente el importe o costo del mismo y para ello se cuenta con elementos que facilitan éste objetivo, de tal suerte, se procede de la siguiente manera:

El método más común en la práctica, es formular un presupuesto base, que se obtiene a partir de un instrumento conocido como "CATALOGO DE CONCEPTOS", generalmente compuesto de seis columnas que son: número de partida, descripción del concepto, unidad de medición, cantidad, precio unitario e importe. Este presupuesto base, como su nombre lo dice, es una serie de análisis y mediciones en planos de proyecto, así como en el lugar de la ejecución de los trabajos y pretende contener la mayor y más precisa información de los muy diversos elementos que intervendrán en la construcción de cualquier proyecto, dicho de otra forma, se "presupone" toda ésta serie de factores. Por lo anterior, se infiere que es prácticamente imposible que nuestro presupuesto inicial sea exactamente igual al presupuesto final. Sin embargo, un catálogo de conceptos elaborado profesionalmente, no debe tener una variación mayor a 10%, siempre y cuando se haya elaborado un proyecto muy completo.

Para poder integrar dicho catálogo de conceptos, es necesario tener además de conocimiento del proyecto, experiencia en los procedimientos constructivos, para así poder describir e integrar los diferentes trabajos que intervendrán en la construcción del proyecto. Seguido a esto, se procederá a determinar la unidad de medición adecuada y posteriormente se medirán en planos las cantidades o volúmenes de obra a ejecutar.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

A continuación, se presenta un ejemplo de catálogo de conceptos, con cantidades y precios unitarios, que son suficientes para ilustrar los diferentes trabajos que se involucran en ésta obra.

Las cantidades de obra se obtienen únicamente a partir del tramo en estudio, que comprende desde el km 2+739 al km 9+500.

El tramo pendiente de ejecutar (del km 0+000 al km 2+739), está señalado como una de las obras con más alta prioridad, sin embargo no se ha establecido de manera formal cuando se iniciarán los trabajos correspondientes. Todo esto debido a que no se cuenta con los recursos económicos suficientes, ya que el aspecto técnico se ha resuelto con anterioridad y en todo caso, requerirán de algún tipo de actualización en el momento en que se dé inicio a la ejecución de dichos trabajos.

Los análisis de precios unitarios se estudiarán en el siguiente subcapítulo, dada la importancia del tema. Dichos precios son los que se emplean en el catálogo de conceptos.

Es importante aclarar que en éste estudio no se considera ningún trabajo inducido, es decir, aquellas obras no consideradas inicialmente, que resulta necesario ejecutar para que el proyecto principal cumpla con su objetivo. Ejemplo de trabajos inducidos son: obra de conexión, caminos, puentes, desvío de vialidades, señalamientos, modificación a instalaciones como pueden ser de abastecimiento de agua potable ó de ductos de gas, etc.

De tal suerte, se eligieron los conceptos más representativos en el Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México.

Se han dividido éstos trabajos en cuatro categorías que son: 1) Preliminares; 2) Excavación del azolve; 3) Mejoramiento del suelo y 4) Construcción de la estructura de conducción.

En la siguiente imagen, la figura V-1 "Panorama General de la obra", se pueden apreciar casi todos los elementos que componen la obra. Se observan los muros laterales, camino de acceso, área de azolve, la draga ejecutando la excavación, la losa base de concreto armado, muros laterales y losa tapa también de concreto armado; también se puede ver parte de la geored que se menciona en los procedimientos constructivos descritos en el capítulo anterior. Al fondo de la imagen se alcanza a apreciar una bomba de concreto telescópica

Dadas las dimensiones del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, como se observa en la siguiente imagen, es comprensible que se optara por excavar solamente una parte del azolve, solución que después de estudiar varias alternativas, resultó ser la más económica.

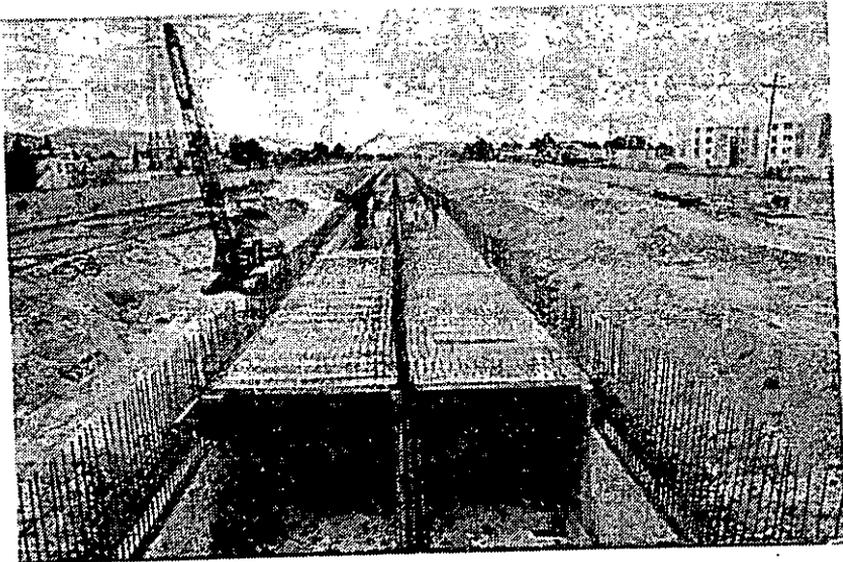


Figura V-1. PANORAMA GENERAL DE LA OBRA

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**Catálogo de conceptos relativo a la construcción del**  
**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO,**  
**Etapas 1,2 y 3. Tramo del Km 2+739 al Km 9+500 \***

\* El análisis de mercado se efectuó en marzo de 1999

No.	CONCEPTO	UND	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1.01	Trazo y nivelación para obras hidráulicas, con equipo topográfico. Incluye: materiales para señalamiento.	m <sup>2</sup>	67,610	1.66	112,232.60
1.02	Demolición de muro limitrofe de concreto armado con equipo neumático, en cualquier nivel, incluye acarreo libre de 20.00 m de distancia	m <sup>3</sup>	10	167.33	1,673.30
1.03	Puerta de malla ciclón para control de acceso a zona de la obra. Puerta tipo industrial de dos hojas, con ancho total de 4.00 m, y altura de 2.00 m.	pza	12	1,720.67	20,648.04
1.04	Despalme con máquina en material I, incluye: la topografía, equipo y herramienta para la remoción, extracción y acarreo libre hasta una distancia de 20.00 m. Capa de espesor promedio de 40 cm, de material	m <sup>3</sup>	122,000	9.21	1,123,620
1.05	Tala de árboles, incluye: derribe, desrame, troceado, carga, acarreo libre a 20 m, dentro de la obra, madera a disposición del Gobierno del Distrito Federal. Árboles con perímetro de 76 a 150 cm.	pza	275	160.64	44,176.00
1.06	Corte de terreno a máquina, para alcanzar nivel de proyecto. Incluye acamellonado del material con acarreo libre de 20.00 m, en seco, volumen medido en banco, en material II.	m <sup>3</sup>	65,000	14.78	960,700.00
1.07	Capa de tezontle a volteo, para mejoramiento de camino de acceso vehicular, incluye: acarreos.	m <sup>3</sup>	1,800	78.84	141,912.00

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

No. CONCEPTO	UND	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
1.08 Terraplén a base de material producto de excavaciones. para establecer comunicación en ambas márgenes del canal. Incluye: acarreos y compactación en capas de 20 cm de espesor, así como la incorporación de	m <sup>3</sup>	1,500	17.79	26,685.00
<b>Subtotal PRELIMINARES \$</b>				<b>2,431,646.94</b>
<b>2 EXCAVACION EN EL AZOLVE</b>				
2.01 Excavación por medios mecanicos de material de azolve. Clasificación material I. Medido en banco.	m <sup>3</sup>	110,000	9.61	1,057,100.00
2.02 Carga y retiro de material producto de excavaciones:				
a) Acarreo en camión con carga mecánica de tierra. Incluye primer kilómetro.	m <sup>3</sup>	110,000	12.80	1,408,000.00
b) Kilómetros subsecuentes de acarreo en zona urbana con distancia de tiro de 20 km	m <sup>3</sup> /km	2,200,000	3.80	8,360,000.00
2.03 Excavación a mano en material I, para formación de zanja de drenaje de 50 x 50 cm. Incluye: Afine, traspaleos y extracción a borde de zanja.	m <sup>3</sup>	3,400	20.68	70,312.00
2.04 Suministro y colocación de Geotextil no tejido termofijado en zanja de 50x50 cm, tipo Typer 3401 ó similar.	m	3,400	28.46	96,764.00
2.05 Suministro y colocación de Ademe de tubería ranurada de PVC de 152 mm de diámetro.	m	13,600	107.97	1,468,392.00
2.06 Relleno de zanja con tezontle. La granulometría deberá confirmar la ausencia de limos.	m <sup>3</sup>	1,500	81.30	121,950.00
2.07 Excavación a mano en material I, para formación de zanja de cárcamo de bombeo, con medidas de 120X120X150 cm, incluye: Afine, traspaleos y extracción a borde de zanja.	m <sup>3</sup>	730	20.27	14,797.10

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

No.	CONCEPTO	UND	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
2.08	Suministro, acarreo y colocación en cárcamo de bombeo de tambo metálico de 200 lt de capacidad.	pza	336	179.42	60,285.12
2.09	Relleno de zanja de cárcamo de bombeo con tezontle, para arropar	m <sup>3</sup>	460	81.30	37,398.00
<b>Subtotal EXCAVACION EN EL AZOLVE \$</b>					<b>15,153,330.16</b>
<b>3 MEJORAMIENTO DEL SUELO</b>					
3.01	Suministro, tendido y fijación de geocompuesto.				
	a) Geotextil tipo Typer clave 3401	m <sup>2</sup>	81,200	24.16	1,961,792.00
	b) Geored biaxial de polipropileno de alta densidad, tipo Tensar BX-1200	m <sup>2</sup>	81,200	28.26	2,294,712.00
3.02	Capa de material graduado compuesto, de 30 cm de espesor, tendido por medios mecánicos. Incluye suministro de material, acarreo y tendido.	m <sup>3</sup>	24,400	73.59	1,795,596.00
3.03	Suministro y colocación de capa de tezontle a volteo, con espesor de 30 cm. Incluye acarreo.	m <sup>3</sup>	24,400	78.84	1,923,696.00
3.04	Suministro y colocación de segunda capa de Geored tipo Tensar BX-1200	m <sup>2</sup>	81,200	28.26	2,294,712.00
3.05	Suministro, acarreo, tendido y semicompactado de tepetate, logrando un peso volumétrico de 1.30 ton/m <sup>3</sup> para formar terraplen de precarga.	m <sup>3</sup>	325,000	96.76	31,447,000.00
3.06	Corte de material de precarga, tepetate semicompactado, para alcanzar niveles de proyecto.	m <sup>3</sup>	243,600	20.1	4,896,360.00
3.07	Acarreo de materiales de corte en distancias hasta de 40 m.	m <sup>3</sup>	243,600	9.97	2,428,692.00
3.08	Relleno con material producto de excavación y/o cortes, incluyendo tendido y semicompactado, logrando un peso volumétrico de 1.30 ton/m <sup>3</sup> para formar terraplen de precarga.	m <sup>3</sup>	81,200	17.79	1,444,548.00
<b>Subtotal MEJORAMIENTO DEL SUELO \$</b>					<b>45,698,278,274.10</b>

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

No.	CONCEPTO	UND	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
<b>4 CONSTRUCCION DE ESTRUCTURA DE CONDUCCION</b>					
4.01	Plantilla de concreto pobre $f'c=100$ $kg/cm^2$ de 7.5 cm de espesor, con tamaño máximo de agregado de 38	m <sup>2</sup>	67,600	60.73	4,105,348.00
4.02	Acero de refuerzo $F_y=4200$ $kg/cm^2$ Incluye: acarreo, habilitado, colocación, amarres, ganchos, traslapes y desperdicios. Acero en losa de piso y muros				
	a) Acero de refuerzo de 9.5 mm (3/8") de diámetro	ton	280	6,246.92	1,749,137.60
	b) Acero de refuerzo de 12.7 mm (1/2") de diámetro ó mayores.	ton	1,100	6,163.09	6,779,399.00
4.03	Cimbra acabado aparente y descimbrado de muros de estructura, para colar monolíticamente losa de piso con chaflán y muro hasta 60 cm de altura.	m <sup>3</sup>	16,300	104.34	1,700,742.00
4.04	Banda de PVC de 60 cm de ancho, como sello transversal en junta de colado del cuerpo inferior y superior de la estructura de conducción, de concreto armado.	m	13,600	94.94	1,291,184.00
4.05	Suministro, acarreo, muestreo, bombeo, vibrado, curado, de concreto $f'c=200kg/cm^2$ en losa piso y 60 cm de muro de estructura. Incluye desperdicio y equipo.	m <sup>3</sup>	14,000	1,432.32	20,052,480.00
4.06	Acero de refuerzo $F_y=4200$ $kg/cm^2$ Incluye: acarreo, habilitado, colocación, amarres, ganchos, traslapes y desperdicios. Acero muros desde 0.60 a 4.00 m.				
	a) Acero de refuerzo de 9.5 mm (3/8") de diámetro	ton	290	6,246.92	1,811,606.80
	b) Acero de refuerzo de 12.7 mm (1/2") de diámetro ó mayores.	ton	1,200	6,163.09	7,395,708.00
4.07	Cimbra acabado aparente y descimbrado de muros y capitel de muros de estructura, para ser colados monolíticamente éstos elementos.	m <sup>3</sup>	138,000	104.34	14,398,920.00

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

No.	CONCEPTO	UND	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
4.08	Suministro, acarreo, muestreo, bombeo, vibrado, curado, de concreto f'c=200kg/cm <sup>2</sup> en muros, de 0.60 m a 4.00 m. Incluye desperdicio y equipo.	m <sup>3</sup>	13,800	1,432.32	19,766,016.00
4.09	Suministro y colocación de losa prefabricada, como tapa de la estructura de conducción. Incluye acarreos, elevación, fijación y equipo.	m <sup>2</sup>	54,100	439.50	23,776,950.00
4.10	Capa de compresión, a base de concreto premezclado f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> y tamaño máximo de agregado de 19 mm, capa de 10 cm de espesor, reforzada con malla electrosoldada 6/6-10x10, acabado escobillado.	m <sup>2</sup>	55,000	159.10	8,750,500.00
<b>Subtotal CONSTRUCCION DE ESTRUCTURA DE CONDUCCION \$</b>					<b>107,472,643.40</b>

**RESUMEN POR PARTIDAS**

1) PRELIMINARES	\$2,431,646.94
2) EXCAVACION EN EL AZOLVE	\$15,153,330.16
3) MEJORAMIENTO DEL SUELO	\$65,752,918.38
4) CONSTRUCCION DE ESTRUCTURA DE CONDUCCION	\$107,472,643.40
<b>IMPORTE TOTAL</b>	<b>\$ 190,810,538.88</b>

Todas las cantidades de precios unitarios y de importe. están dadas en pesos mexicanos, y no incluyen el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

## V.2 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

En el subcapítulo anterior se describió uno de los instrumentos administrativos para la ejecución de una obra el cual se denominó "Catálogo de Conceptos". En dicho documento, la columna de "Precios unitarios" determinará en gran medida el valor de una obra, ya que para su determinación, intervienen diversas variables como son: costo de materiales, de mano de obra, equipo de construcción, etc.

Además, de un sitio a otro, el mismo material tiene comúnmente diferente precio de adquisición, a éste lo determinará el precio de fábrica, flete, disponibilidad, y otros factores muy diversos.

De la misma manera, varían los salarios de los trabajadores que intervienen en una obra, además de que el rendimiento de los mismos es distinto de un lugar a otro.

Por las razones anteriores, es conveniente efectuar un estudio de mercado de todos los elementos que intervendrán en los análisis de precios unitarios y son: materiales y mano de obra, así como de maquinaria a emplearse.

### Lista de materiales

Clave	Descripción	Unidad	Precio
M9063	Abrazadera de plástico para geotextil	pza	0.31
M0203	Acero refuerzo $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de 1/2"	ton	3,360.00
M0202	Acero refuerzo $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de 3/8"	ton	3,360.00
M0030	Agua toma municipal	m <sup>3</sup>	sin costo
M0210	Alambre recocido calibre número16	kg	7.63
M0101	Arena	m <sup>3</sup>	85.51
M0033	Banda PVC de 60 cm. para sello de junta	m	56.50
M0761	Bombeo con pluma hasta sexto nivel	m <sup>3</sup>	100.00
M0003	Calhidra	ton	665.00
M9028	Carrete de hilo de plástico de 100 m	pza	14.00
M0001	Cemento gris normal tipo I	ton	1,173.91
M0612	Clavo de 2 1/2"	kg	3.00
M0711	Concreto premezclado $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ clase A	m <sup>3</sup>	935.00

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

...continúa lista de materiales			
Clave	Descripción	Unidad	Precio
M7603	Diesel	lt	4.17
M9062	Geored biaxial polipropileno AD tensor BX-1200	m <sup>2</sup>	11.05
M9061	Geotextil no tejido tipo Typer 3401	m <sup>2</sup>	7.98
M0102	Grava de 3/4"	m <sup>3</sup>	85.51
M8511	Losa prefabricado HEBEL 65x400x12cm	m <sup>3</sup>	2,145.00
M0801	Madera de tercera clase	pt	4.32
M2265	Malla ciclónica 5.5 cm calibre 12.5, galvanizada	m <sup>2</sup>	22.20
M0214	Malla electrosoldada 6/6-10x10	m <sup>2</sup>	5.26
M0106	Material para relleno con granulometría específica	m <sup>3</sup>	34.78
M9990	Materiales menores	lote	50.00
M2281	Poste para malla ciclón de 2" de diámetro (ø)	pza	100.75
M9020	Tambo metálico de 200 lt	pza	140.00
M0103	Tepetate	m <sup>3</sup>	47.83
M0104	Tezontle	m <sup>3</sup>	43.48
M0851	Triplay pino 16mm 1 cara 122x244 cm	pza	220.00
M0565	Tubo ranurado para ademe de PVC 152 mm ø	m	62.48

Investigación de mercado correspondiente a la anterior lista efectuado en marzo de 1999. No incluye IVA

Por otra parte, se listan las categorías de trabajadores que se ocupan en la obra, en éste caso, se deben considerar algunos factores que afectan directamente el costo de la mano de obra y son:

- Salarios mínimos profesionales
- Salarios de mercado
- Epoca del año
- Días trabajados contra días pagados
- Impuestos locales y federales

Todo lo anterior se puede combinar de forma que con un valor numérico que se pueda aplicar a los salarios base, con el fin obtener el costo real de la mano de obra, a éste valor numérico se le denomina "Factor de salario real", mismo que a continuación se obtiene:

Determinación días pagados	
Días por año	365
Cuota diaria	365
Prima vacacional (25% por 6 días de vacaciones)	1.5
Aguinaldo	15
Días pagados	381.5

Determinación días no laborados	
Séptimo día	52
Días festivos (*)	7.17
Vacaciones	6
Fiestas costumbre	3
Enfermedad	2
Mal tiempo	4
Días no laborados	74.17

(\*) Son días de descanso obligatorio: 1° de enero; 5 de febrero; 21 de marzo; 1° de mayo; 16 de septiembre; 20 de Noviembre; 1° de diciembre de cada seis años, correspondiente a la transmisión del Poder Ejecutivo Federal y 25 de diciembre.

De lo anterior se obtiene el factor inicial antes de aplicar las cuotas del Instituto Mexicano del Seguro Social.

Días por año - Días no laborados = Días laborados, ó sea:

$$365.00 - 74.17 = 290.83$$

entonces el factor será:

$$F = 381.5 \text{ días pagados} - 290.83 \text{ días laborados} = 1.311763$$

Ahora bien, tomando en cuenta las cuotas del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS):

Descripción	Para salario mínimo	Para salario superior al mínimo
Riesgos del trabajo	6.5625	6.5625
Enfermedad y maternidad	11.4000	8.4000
Invalidez, vejez, cesantía, etc.	6.8400	5.0400
Suma	24.8025	20.0025

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

A partir de éstos valores se obtienen dos factores, uno para salario mínimo (FSM) y otro para salarios superiores al salario mínimo (FSSM).

$$\text{FSM} = (0.248025 \times 381.50 \text{ días pagados}) \div 290.83 \text{ días laborados} = 0.32535 \quad \text{y}$$

$$\text{FSSM} = (0.200025 \times 381.50 \text{ días pagados}) \div 290.83 \text{ días laborados} = 0.262385$$

Se están mostrando los factores para la integración de salarios que se empleaban hasta el año de 1997, ya que a partir de entonces, el Instituto Mexicano del Seguro Social retabuló las categorías salariales, asignando diferentes factores para cada categoría de salario.

Posteriormente, se deben aplicar diversos impuestos para lograr obtener los factores finales y son:

Por guarderías:	1.00%
Por INFONAVIT	5.00%
Por ISR	varía según tabulador de la SHCP
Por SAR	2.00%

ABREVIATURAS: INFONAVIT: Instituto Nacional del Fondo de Vivienda para los Trabajadores; ISR: Impuesto Sobre la Renta; SHCP: Secretaría de Hacienda y Crédito Público; SAR: Sistema de Ahorro para el Retiro)

Finalmente se obtiene un factor de salario real que generalmente oscilará de 1.50 a 1.75, es decir, que el salario base se deberá de incrementar de 50% a 75%.

Para nuestro ejemplo se utilizan factores que se encuentran en dicho rango.

Contando con los datos anteriores, es posible integrar la siguiente:

Lista de salarios

Clave	Categoría	Unidad	Salario Base	FSR	Salario Integrado
00101	Peón	jor	34.45	1.64030	56.51
00102	Ayudante	jor	50.00	1.64030	82.02
00103	Ayudante calificado	jor	60.00	1.61110	96.67
00105	Oficial albañil	jor	80.71	1.58590	128.00
00106	Oficial especializado	jor	92.86	1.58950	147.60
00107	Carpintero obra negra	jor	88.71	1.58590	140.69
00109	Fierrero	jor	80.71	1.58590	128.00
00121	Operador de Maquinaria	jor	128.57	1.70362	219.03
00134	Cadenero	jor	50.00	1.64031	82.02
00135	Auxiliar de Topógrafo	jor	57.14	1.61520	92.29
00145	Rastrillero	jor	64.29	1.70362	109.53
H0003	Cabo de oficios	%	porcentaje de mano de obra		

Con éstos elementos, se procede a efectuar el análisis de cada uno de los trabajos que intervienen en la obra. Solo falta hacer mención de cómo se determina la cifra a emplearse en la columna "Cantidad" de los análisis, y esto depende de la experiencia profesional y estudio de las características de los trabajos involucrados en dicha obra, que deberá efectuar el analista. En dicha columna lo que generalmente se está considerando es el rendimiento que se obtiene de manera sencilla. Un ejemplo simple es: si una pareja de albañil-peón construye 10 m<sup>2</sup> de muro de tabique por día ¿qué cantidad se debe anotar en la columna cantidad?, realizando la división 10 m<sup>2</sup>/jor, sabiendo que una jornada diurna consta de 8 horas, se tiene que (10 m<sup>2</sup>/jor) ÷ (8 hr/jor)=0.125 m<sup>2</sup>/hr.

Por lo anterior, se reitera que el analista debe tener habilidad y conocimientos para conocer los rendimientos reales bajo distintas circunstancias y efectuar los ajustes pertinentes.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

Habiendo realizado todo tipo de consideraciones, se comienza el análisis de los conceptos más representativos del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México.

Dichos análisis se dividen en materiales, mano de obra, mando intermedio (que se debe entender tal como aquellos trabajadores que no intervienen directamente en la ejecución de los trabajos, pero que desempeñan una importante labor de supervisión y que finalmente impactan el costo de la obra), herramienta y equipo. A la suma de todo lo anterior se le impacta con un porcentaje que involucra gastos administrativos y utilidad, el cual se describe páginas adelante con más detalle.

<b>Obra:</b>	<b>Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México</b>	<b>Fecha:</b> Marzo 1999
--------------	---	--------------------------

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.01 Descripción: Trazo y nivelación para obras hidráulicas, con equipo topográfico. Incluye: materiales para señalamiento. Unidad: m<sup>2</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0003	Calhidra	ton	0.0001	665.00	0.07
M0801	Madera de 3ra	pt	0.0110	4.32	0.05
M9028	Carrete de hilo de plástico de 100m	pza	0.0020	14.00	0.03
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>0.14</b>
O0101	Peón	jor	0.0026	56.51	0.15
O0105	Albañil	jor	0.0013	259.89	0.34
O0134	Cadenero	jor	0.0013	82.02	0.11
O0135	Auxiliar de Topógrafo	jor	0.0020	92.29	0.18
				<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>0.78</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	0.78	0.02
				<b>Subtotal herramienta</b>	<b>0.02</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	0.78	0.08
				<b>Subtotal mando intermedio</b>	<b>0.08</b>
Q0014	Nivel marca NATIONAL Dumpy	hr	0.0025	56.80	0.14
Q0015	Tránsito NATIONAL K&E	hr	0.0025	57.07	0.14
				<b>Subtotal equipo</b>	<b>0.28</b>
				Costo	1.30
				Indirectos ( 27% )	0.35
				<b>Precio/m<sup>2</sup> \$</b>	<b>1.66</b>

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.02 Descripción: Demolición de muro límite de concreto armado, con equipo neumático, en cualquier nivel, incluye acarreo libre de 20.00 m de distancia (medido en banco). Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
O0101	Peón	jor	0.2000	56.51	11.30
O0102	Ayudante	jor	0.2000	82.02	16.40
O0121	Operador	jor	0.2000	219.03	43.81
			<b>Subtotal mano de obra</b>		<b>71.51</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	71.51	2.15
			<b>Subtotal herramienta</b>		<b>2.15</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	71.51	7.15
			<b>Subtotal mando intermedio</b>		<b>7.15</b>
Q0001	Compresor GARDNER DENVER modelo SP 600	hr	0.2000	254.72	50.94
			<b>Subtotal equipo</b>		<b>50.94</b>
			Costo		131.75
			Indirectos ( 27% )		35.57
			<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>		<b>167.33</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.03 Descripción: Puerta de malla ciclón para control de acceso a zona de la obra. Puerta tipo industrial de dos hojas, con ancho total de 4.00 m, y altura de 2.00 m. Unidad: pza

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M2265	Malla ciclón 5.5x5.5 cm calibre 12.5	m <sup>2</sup>	8.4211	22.20	186.95
M2281	Poste intermedio galvanizado 2" ø	pza	10.0000	100.75	1,007.50
M9990	Herrajes, abrazaderas, etc.	lote	1.0000	50.00	50.00
			<b>Subtotal materiales</b>		<b>1,244.45</b>
O0103	Ayudante calificado	jor	0.4000	96.67	38.67
O0106	Oficial especializado	jor	0.4000	147.6	59.04
			<b>Subtotal mano de obra</b>		<b>97.71</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	97.71	2.93
			<b>Subtotal herramienta</b>		<b>2.93</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	97.71	9.77
			<b>Subtotal mando intermedio</b>		<b>9.77</b>
			Costo		1,354.86
			Indirectos ( 27% )		365.81
			<b>Precio/pza \$</b>		<b>1,720.67</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.04 Descripción: Despalme con máquina en material I, incluye: la topografía, equipo y herramienta para la remoción, extracción y acarreo libre hasta una distancia de 20.00 m. Capa de espesor promedio de 40 cm, de material saturado. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0003	Calhida	tn	0.0001	665.00	0.07
M9028	Carrete de hilo de plástico de 100m	pza	0.0020	14.00	0.03
<b>Subtotal materiales</b>					<b>0.09</b>
O0101	Peón	jor	0.0050	56.51	0.28
O0105	Albañil	jor	0.0025	259.89	0.65
O0134	Cadenero	jor	0.0025	82.02	0.21
O0135	Auxiliar de Topografo	jor	0.0020	92.29	0.18
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>1.32</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	1.32	0.04
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.04</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	1.32	0.13
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.13</b>
Q0005	Tractor orugas KOMATSU D9N de 400HP	hr	0.0068	791.49	5.38
Q0014	Nivel marca NATIONAL Dumpy	hr	0.0025	56.80	0.14
Q0015	Transito NATIONAL K&E	hr	0.0025	57.07	0.14
<b>Subtotal equipo</b>					<b>5.67</b>
Costo					7.26
Indirectos ( 27% )					1.96
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>9.21</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.05 Descripción: Tala de árboles, incluye: derribe, desrame, troceado, carga, acarreo libre a 20 m, dentro de la obra, madera a disposición del Gobierno del Distrito Federal. Arboles con perímetro de 76 a 150 cm. Unidad: pza

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
O0101	Peón	jor	0.1430	56.51	8.08
O0102	Ayudante	jor	0.6670	82.02	54.71
O0106	Oficial especializado	jor	0.3330	147.60	49.15
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>111.94</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	111.94	3.36
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>3.36</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	111.94	11.19
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>11.19</b>
Costo					126.49
Indirectos ( 27% )					34.15
<b>Precio/pza \$</b>					<b>160.64</b>

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.06 Descripción: Corte de terreno a máquina, para alcanzar nivel de proyecto. Incluye acamellonado del material con acarreo libre de 20.00 m, en seco, volúmen medido en banco, en material II. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
Q0005	Tractor orugas KOMATSU D9N de 400HP	hr	0.0147	791.49	11.63
<b>Subtotal equipo</b>					<b>11.63</b>
Costo Indirectos ( 27% )					3.14
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>14.78</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.07 Descripción: Capa de tezontle a volteó, para mejoramiento de camino de acceso vehicular, incluye: acarreos. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0104	Tezontle	m3	1.2371	43.48	53.79
<b>Subtotal materiales</b>					<b>53.79</b>
O0145	Rastrillero	jor	0.0670	109.53	7.34
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>7.34</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	7.34	0.22
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.22</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	7.34	0.73
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.73</b>
Costo Indirectos ( 27% )					62.08 16.76
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>78.84</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

1.08 Descripción: Terraplén a base de material producto de excavaciones, para establecer comunicación en ambas márgenes del canal. Incluye: acarreo y compactación en capas de 20 cm de espesor, así como la incorporación de agua necesaria. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
Q0006	Camión pipa marca DINA diesel tanque de 8000 lts de capacidad	hr	0.0433	194.76	8.43
Q0007	Motoniveladora Caterpillar modelo 120B de 125 H.P.	hr	0.0048	469.91	2.26
Q0008	Compactador vibratorio marca Dynapac modelo CA-15	hr	0.0076	217.08	1.65
Q0009	Duo-Pactor de 30 ton y 105 H.P.	hr	0.0076	220.05	1.67
<b>Subtotal equipo</b>					<b>14.01</b>
Costo					14.01
Indirectos ( 27% )					3.78
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>17.79</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.01 Descripción: Excavación por medios mecanicos de material de azolve. Clasificación material I. Medido en banco. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
Q0028	Grua Draga P&H D851 de 76 H.P. 14.8 ton, bote 0.57 m <sup>3</sup>	hr	0.0167	453.31	7.57
<b>Subtotal equipo</b>					<b>7.57</b>
Costo					7.57
Indirectos ( 27% )					2.04
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>9.61</b>



**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996: Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.03 Descripción: Excavación a mano en material I, para formación de zanja de drenaje de 50 x 50 cm. Incluye: Afine, traspaleos y extracción a borde de zanja. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
O0101	Peón	jor	0.2550	56.51	14.41
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>14.41</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	14.41	0.43
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.43</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	14.41	1.44
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>1.44</b>
Costo					16.28
Indirectos ( 27% )					4.40
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>20.68</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.04 Descripción: Suministro y colocación de Geotextil no tejido termofijado en zanja de 50x50 cm. tipo Typer 3401 ó similar. Unidad: m

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M9061	Geotextil no tejido tipo Typer 3401	m <sup>2</sup>	1.6667	7.98	13.30
<b>Subtotal materiales</b>					<b>13.30</b>
O0103	Ayudante calificado	jor	0.0330	96.67	3.19
O0106	Oficial especializado	jor	0.0330	147.6	4.87
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>8.06</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	8.06	0.24
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.24</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	8.06	0.81
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.81</b>
Costo					22.41
Indirectos ( 27% )					6.05
<b>Precio/m \$</b>					<b>28.46</b>

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.05 Descripción: Suministro y colocación de Ademe de tubería ranurada de PVC de 152 mm de diámetro. Unidad: m

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0565	Tubo ranurado para ademe de PVC de 152 mm	pza	1.0825	62.48	67.63
<b>Subtotal materiales</b>					<b>67.63</b>
O0103	Ayudante	jor	0.0670	82.02	5.50
O0106	Oficial especializado	jor	0.0670	147.60	9.89
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>15.38</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	15.38	0.46
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.46</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	15.38	1.54
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>1.54</b>
				Costo	85.02
				Indirectos ( 27% )	22.95
				<b>Precio/m \$</b>	<b>107.97</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.06 Descripción: Relleno de zanja con tezontle. La granulometría deberá confirmar la ausencia de limos. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0104	Tezontle	m3	1.0526	43.48	45.77
<b>Subtotal materiales</b>					<b>45.77</b>
O0101	Peón	jor	0.2857	56.51	16.14
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>16.14</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	16.14	0.48
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.48</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	16.14	1.61
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>1.61</b>
				Costo	64.01
				Indirectos ( 27% )	17.28
				<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>	<b>81.30</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.07 Descripción: Excavación a mano en material I, para formación de zanja de cárcamo de bombeo, con medidas de 120X120X150 cm, incluye: Afine, tras-paleos y extracción a borde de zanja. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
O0101	Peón	jor	0.2500	56.51	14.13
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>14.13</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	14.13	0.42
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.42</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	14.13	1.41
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>1.41</b>
Costo					15.96
Indirectos ( 27% )					4.31
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>20.27</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.08 Descripción: Suministro, acarreo y colocación en cárcamo de bombeo de tambo metálico de 200 lt de capacidad. Unidad: pza

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M9020	Tambo metálico de 200 litros de capacidad	pza	1.0000	140	140.00
<b>Subtotal materiales</b>					<b>140.00</b>
O0101	Peón	jor	0.0200	56.51	1.13
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>1.13</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	1.13	0.03
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.03</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	1.13	0.11
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.11</b>
Costo					141.28
Indirectos ( 27% )					38.14
<b>Precio/pza \$</b>					<b>179.42</b>

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

2.09 Descripción: Relleno de zanja de cárcamo de bombeo con tezontle, para arropar tambo de 200 lt. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0104	Tezontle	m <sup>3</sup>	1.0526	43.48	45.77
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>45.77</b>
O0101	Peón	jor	0.2857	56.51	16.14
				<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>16.14</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	16.14	0.48
				<b>Subtotal herramienta</b>	<b>0.48</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	16.14	1.61
				<b>Subtotal mando intermedio</b>	<b>1.61</b>
				Costo	64.01
				Indirectos ( 27% )	17.28
				<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>	<b>81.30</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.01A Descripción: Suministro, tendido y fijación de geocompuesto a) Geotextil tipo Typer clave 3401 Unidad: m<sup>2</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M9061	Geotextil no tejido tipo Typer clave 3401	m <sup>2</sup>	1.0526	7.98	8.40
M9063	Abrazadera de plástico	pza	12.0000	0.31	3.72
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>12.12</b>
O0103	Ayudante calificado	jor	0.0250	96.67	2.42
O0106	Oficial especializado	jor	0.0250	147.60	3.69
				<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>6.11</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	6.11	0.18
				<b>Subtotal herramienta</b>	<b>0.18</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	6.11	0.61
				<b>Subtotal mando intermedio</b>	<b>0.61</b>
				Costo	19.02
				Indirectos ( 27% )	5.14
				<b>Precio/m<sup>2</sup> \$</b>	<b>24.16</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.01B Descripción: Suministro, tendido y fijación de geocompuesto  
 b) Geored biaxial de polipropileno de alta densidad, tipo Tensar BX-1200 Unidad: m<sup>2</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M9062	Geored biaxial de polipropileno de alta densidad Tensar BX-1200	m <sup>2</sup>	1.0526	11.05	11.63
M9063	Abrazadera de plástico	pza	12.0000	0.31	3.72
<b>Subtotal materiales</b>					<b>15.35</b>
O0103	Ayudante calificado	jor	0.0250	96.67	2.42
O0106	Oficial especializado	jor	0.0250	147.60	3.69
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>6.11</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	6.11	0.18
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.18</b>
H0003	Cábo de oficios	%mo	0.1000	6.11	0.61
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.61</b>
Costo					22.25
Indirectos ( 27% )					6.01
<b>Precio/m<sup>2</sup> \$</b>					<b>28.26</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.02 Descripción: Capa de material graduado compuesto, de 30 cm de espesor, tendido por medios mecánicos. Incluye suministro de material, acarreo y tendido. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0106	Material para relleno con granulometría específica	m <sup>3</sup>	1.2632	34.78	43.93
<b>Subtotal materiales</b>					<b>43.93</b>
Q0006	Camión pipa marca DINA diesel tanque de 8000 lts de capacidad	hr	0.0433	194.76	8.43
Q0007	Motoniveladora Caterpillar modelo 120B de 125 H.P.	hr	0.0048	469.91	2.26
Q0008	Compactador vibratorio marca Dynapac modelo CA-15	hr	0.0076	217.08	1.65
Q0009	Duo-Pactor de 30 ton y 105 H.P.	hr	0.0076	220.05	1.67
<b>Subtotal equipo</b>					<b>14.01</b>
Costo					57.94
Indirectos ( 27% )					15.64
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>73.59</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.03 Descripción: Suministro y colocación de capa de tezontle a a volteo, con espesor de 30 cm. Incluye acarreos. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0104	Tezontle	m <sup>3</sup>	1.2371	43.48	53.79
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>53.79</b>
O0145	Rastrillero	jor	0.0670	109.53	7.34
				<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>7.34</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	7.34	0.22
				<b>Subtotal herramienta</b>	<b>0.22</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	7.34	0.73
				<b>Subtotal mando intermedio</b>	<b>0.73</b>
				Costo	62.08
				Indirectos ( 27% )	16.76
				<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>	<b>78.84</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.04 Descripción: Suministro y colocación de segunda capa de Geored tipo Tensar BX-1200 Unidad: m<sup>2</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M9062	Geored biaxial de polipropileno de alta densidad Tensar BX-1200	m <sup>2</sup>	1.0526	11.05	11.63
M9063	Abrazadera de plástico	pza	12.0000	0.31	3.72
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>15.35</b>
O0103	Ayudante calificado	jor	0.0250	96.67	2.42
O0106	Oficial especializado	jor	0.0250	147.60	3.69
				<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>6.11</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	6.11	0.18
				<b>Subtotal herramienta</b>	<b>0.18</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	6.11	0.61
				<b>Subtotal mando intermedio</b>	<b>0.61</b>
				Costo	22.25
				Indirectos ( 27% )	6.01
				<b>Precio/m<sup>2</sup> \$</b>	<b>28.26</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.05 Descripción: Suministro, acarreo, tendido y semi-compactado de tepetate, logrando un peso volumétrico de 1.30 ton/m<sup>3</sup>, para formar terraplen de precarga. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0103	Tepetate	m <sup>3</sup>	1.3000	47.83	62.18
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>62.18</b>
Q0006	Camión pipa marca DINA diesel tanque de 8000 lts de capacidad	hr	0.0433	194.76	8.43
Q0007	Motoniveladora Caterpillar modelo 120B de 125 H.P.	hr	0.0048	469.91	2.26
Q0008	Compactador vibratorio marca Dynapac modelo CA-15	hr	0.0076	217.08	1.65
Q0009	Duo-Pactor de 30 ton y 105 H.P.	hr	0.0076	220.05	1.67
				<b>Subtotal equipo</b>	<b>14.01</b>
				Costo Indirectos ( 27% )	76.19
				<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>	<b>20.57</b>
					<b>96.76</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.06 Descripción: Corte de material de precarga, tepetate semi-compactado, para alcanzar niveles de proyecto. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
Q0005	Tractor orugas KOMATSU D9N de 400HP	hr	0.0200	791.49	15.83
				<b>Subtotal equipo</b>	<b>15.83</b>
				Costo Indirectos ( 27% )	15.83
				<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>	<b>4.27</b>
					<b>20.10</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.07 Descripción: Acarreo de materiales de corte en distancias hasta de 40 m. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
Q0007	Motoniveladora Caterpillar modelo 120B de 125 H.P.	hr	0.0167	469.91	7.85
<b>Subtotal equipo</b>					<b>7.85</b>
Costo					7.85
Indirectos ( 27% )					2.12
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>9.97</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

3.08 Descripción: Relleno con material producto de excavación y/o cortes, incluyendo tendido y semicompactado, logrando un peso volumétrico de 1.30 ton/m<sup>3</sup>, para formar terraplen de precarga. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
Q0006	Camión pipa marca DINA diesel tanque de 8000 lts de capacidad	hr	0.0433	194.76	8.43
Q0007	Motoniveladora Caterpillar modelo 120B de 125 H.P.	hr	0.0048	469.91	2.26
Q0008	Compactador vibratorio marca Dynapac modelo CA-15	hr	0.0076	217.08	1.65
Q0009	Duo-Pactor de 30 ton y 105 H.P.	hr	0.0076	220.05	1.67
<b>Subtotal equipo</b>					<b>14.01</b>
Costo					14.01
Indirectos ( 27% )					3.78
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>17.79</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.01 Descripción: Plantilla de concreto pobre  $f_c=100 \text{ kg/cm}^2$  de 7.5 cm de espesor, tamaño máximo de agregado de 38 mm. Unidad:  $\text{m}^2$

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
B0010	Concreto $f_c=100 \text{ kg/cm}^2$	m3	0.0833	461.24	38.44
<b>Subtotal materiales</b>					<b>38.44</b>
O0101	Peón	jor	0.0450	56.51	2.54
O0105	Oficial albañil	jor	0.0450	128.00	5.76
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>8.30</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	8.30	0.25
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.25</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	8.30	0.83
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.83</b>
				Costo	47.82
				Indirectos ( 27% )	12.91
				<b>Precio/<math>\text{m}^2</math> \$</b>	<b>60.73</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.02A Descripción: Acero de refuerzo  $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ . Incluye: acarreo, habilitado, colocación, amarres, ganchos, traslapes y desperdicios. Acero en losa de piso y muros. Unidad: ton

a) Acero de refuerzo de 9.5 mm (3/8") de diámetro

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0202	Acero de refuerzo $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de 3/8"	ton	1.0417	3360.00	3,500.00
M0210	Alambre recocido calibre 16	kg	4.3000	7.63	32.81
<b>Subtotal materiales</b>					<b>3,532.81</b>
O0102	Ayudante	jor	4.2000	82.02	344.48
O0102	Ayudante	jor	4.2000	82.02	344.48
O0109	Ferrero	jor	4.2000	128.00	537.60
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>1,226.57</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	1,226.57	36.80
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>36.80</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	1,226.57	122.66
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>122.66</b>
				Costo	4,918.83
				Indirectos ( 27% )	1,328.08
				<b>Precio/ton \$</b>	<b>6,246.92</b>

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.02B Descripción: Acero de refuerzo  $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ . Incluye: acarreo, habilitado, colocación, amarres, ganchos, traslapes y desperdicios. Acero en losa de piso y muros.  
Unidad: ton  
a) Acero de refuerzo de 12.7 mm (1/2") de diámetro y mayores.

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0203	Acero de refuerzo $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de 1/2"	ton	1.0417	3360.00	3,500.00
M0210	Alambre recócido calibre 16	kg	4.3000	7.63	32.81
<b>Subtotal materiales</b>					<b>3,532.81</b>
O0102	Ayudante	jor	8.0000	82.02	656.16
O0109	Fierrero	jor	4.0000	128.00	512.00
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>1,168.16</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	1,168.16	35.04
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>35.04</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	1,168.16	116.82
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>116.82</b>
				Costo	4,852.83
				Indirectos ( 27% )	1,310.26
				<b>Precio/ton \$</b>	<b>6,163.09</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.03 Descripción: Cimbra acabado aparente y descimbrado de muros de estructura, para colar monolíticamente losa de piso con chaflán y muro hasta 60 cm de altura.  
Unidad:  $\text{m}^2$

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0612	Clavo 2 1/2"	kg	0.4624	3.00	1.39
M0801	Madera de tercera clase	pt	3.9111	4.32	16.90
M0851	Triplay pino 16 mm de 122x244 cm	pza	0.0680	220.00	14.96
M7603	Diesel	lt	1.0000	4.17	4.17
<b>Subtotal materiales</b>					<b>37.41</b>
O0101	Peón	jor	0.1000	56.51	5.65
O0103	Ayudante calificado	jor	0.1430	96.67	13.82
O0107	Carpintero obra negra	jor	0.1430	140.69	20.12
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>39.59</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	39.59	1.19
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>1.19</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	39.59	3.96
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>3.96</b>
				Costo	82.15
				Indirectos ( 27% )	22.18
				<b>Precio/<math>\text{m}^2</math> \$</b>	<b>104.34</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.04 Descripción: Banda de PVC de 60 cm de ancho, como sello transversal en junta de colado del cuerpo inferior y superior de la estructura de conducción, de concreto armado. Unidad: m

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0033	Banda PVC 60 cm, para sello junta	m	1.1111	56.60	62.89
<b>Subtotal materiales</b>					<b>62.89</b>
O0103	Ayudante	jor	0.0500	82.02	4.10
O0107	Oficial albañil	jor	0.0500	128.00	6.40
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>10.50</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	10.50	0.32
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.32</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	10.50	1.05
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>1.05</b>
Costo					74.76
Indirectos ( 27% )					20.18
<b>Precio/m \$</b>					<b>94.94</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.05 Descripción: Suministro, acarreo, muestreo, bombeo, vibrado, curado, de concreto f'c=200 kg/cm<sup>2</sup> en losa piso y 60 cm de muro de estructura. Incluye desperdicio y equipo. Unidad: m<sup>3</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0711	Concreto f'c=200kg/cm <sup>2</sup> premezclado clase A	m <sup>3</sup>	1.0309	935.00	963.89
M0761	Bombeo con pluma hasta sexto nivel	m <sup>3</sup>	1.0309	100.00	103.09
<b>Subtotal materiales</b>					<b>1,066.98</b>
O0101	Peón	jor	0.6216	56.51	35.13
O0101	Peón	jor	0.0333	56.51	1.88
O0107	Oficial albañil	jor	0.0667	128.00	8.54
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>45.55</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	45.55	1.37
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>1.37</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	45.55	4.55
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>4.55</b>
Q0012	Vibrador de concreto motor 4 HP y chicote 14 ft de longitud.	hr	0.5333	17.55	9.36
<b>Subtotal equipo</b>					<b>9.36</b>
Costo					1,127.81
Indirectos ( 27% )					304.51
<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>					<b>1,432.32</b>

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.06A Descripción: Acero de refuerzo  $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ . Incluye: acarreo, habilitado, colocación, amarres, ganchos, traslapes y desperdicios. Acero muros desde 0.60 a 4.00 m. Unidad: ton  
a) Acero de refuerzo de 9.5 mm (3/8") de diámetro

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0202	Acero de refuerzo $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de 3/8"	ton	1.0417	3360.00	3,500.00
M0210	Alambre recocido calibre 16	kg	4.3000	7.63	32.81
<b>Subtotal materiales</b>					<b>3,532.81</b>
O0102	Ayudante	jor	4.2000	82.02	344.48
O0102	Ayudante	jor	4.2000	82.02	344.48
O0109	Fierrero	jor	4.2000	128.00	537.60
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>1,226.57</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	1,226.57	36.80
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>36.80</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	1,226.57	122.66
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>122.66</b>
				Costo	4,918.83
				Indirectos ( 27% )	1,328.08
				<b>Precio/ton \$</b>	<b>6,246.92</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.06B Descripción: Acero de refuerzo  $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ . Incluye: acarreo, habilitado, colocación, amarres, ganchos, traslapes y desperdicios. Acero muros desde 0.60 a 4.00 m. Unidad: ton  
b) Acero de refuerzo de 12.7 mm (1/2") de diámetro ó mayores.

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0203	Acero de refuerzo $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de 1/2"	ton	1.0417	3360.00	3,500.00
M0210	Alambre recocido calibre 16	kg	4.3000	7.63	32.81
<b>Subtotal materiales</b>					<b>3,532.81</b>
O0102	Ayudante	jor	8.0000	82.02	656.16
O0109	Fierrero	jor	4.0000	128.00	512.00
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>1,168.16</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	1,168.16	35.04
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>35.04</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	1,168.16	116.82
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>116.82</b>
				Costo	4,852.83
				Indirectos ( 27% )	1,310.26
				<b>Precio/ton \$</b>	<b>6,163.09</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MEXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
4.07	Descripción: Cimbra acabado aparente y descimbrado de muros y capitel de muros de estructura, para ser colados monolíticamente éstos elementos.				Unidad: m <sup>2</sup>
M0612	Clavo 2 1/2"	kg	0.4624	3.00	1.39
M0801	Madera de tercera clase	pt	3.9111	4.32	16.90
M0851	Triplay pino 16 mm de .122x244 cm <sup>2</sup>	pza	0.0680	220.00	14.96
M7603	Diesel	lt	1.0000	4.17	4.17
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>37.41</b>
O0101	Peón	jor	0.1000	56.51	5.65
O0103	Ayudante calificado	jor	0.1430	96.67	13.82
O0107	Carpintero obra negra	jor	0.1430	140.69	20.12
				<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>39.59</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	39.59	1.19
				<b>Subtotal herramienta</b>	<b>1.19</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	39.59	3.96
				<b>Subtotal mando intermedio</b>	<b>3.96</b>
				Costo	82.15
				Indirectos ( 27% )	22.18
				<b>Precio/m<sup>2</sup> \$</b>	<b>104.34</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
4.08	Descripción: Suministro, acarreo, muestreo, bombeo, vibrado, curado, de concreto f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> en muros, de 0.60 m a 4.00 m. Incluye desperdicio y equipo.				Unidad: m <sup>3</sup>
M0711	Concreto f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> premezclado clase A	m <sup>3</sup>	1.0309	935.00	963.89
M0761	Bombeo con pluma hasta sexto nivel	m <sup>3</sup>	1.0309	100.00	103.09
				<b>Subtotal materiales</b>	<b>1,066.98</b>
O0101	Peón	jor	0.6216	56.51	35.13
O0101	Peón	jor	0.0333	56.51	1.88
O0107	Oficial albañil	jor	0.0667	128.00	8.54
				<b>Subtotal mano de obra</b>	<b>45.55</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	45.55	1.37
				<b>Subtotal herramienta</b>	<b>1.37</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	45.55	4.55
				<b>Subtotal mando intermedio</b>	<b>4.55</b>
Q0012	Vibrador de concreto motor 4 HP y chicote 14 ft de longitud.	hr	0.5333	17.55	9.36
				<b>Subtotal equipo</b>	<b>9.36</b>
				Costo	1,127.81
				Indirectos ( 27% )	304.51
				<b>Precio/m<sup>3</sup> \$</b>	<b>1,432.32</b>

**CAPITULO V  
ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.09 Descripción: Suministro y colocación de losa prefabricada como tapa de la estructura de conducción. Incluye acarrees, elevación, fijación y equipo. Unidad: m<sup>2</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M8511	Losa prefabricada HEBEL de concreto celular, incluye accesorios.	m <sup>3</sup>	0.1289	2145.00	276.42
<b>Subtotal materiales</b>					<b>276.42</b>
O0101	Peón	jor	0.0250	56.51	1.41
O0107	Oficial albañil	jor	0.0250	128.00	3.20
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>4.61</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	4.61	0.14
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.14</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	4.61	0.46
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.46</b>
Q0029	Grúa hidráulica PETIBONE 160MK	hr	0.2500	257.74	64.44
<b>Subtotal equipo</b>					<b>64.44</b>
Costo					346.06
Indirectos ( 27% )					93.44
<b>Precio/m<sup>2</sup> \$</b>					<b>439.50</b>

**ANALISIS DE CONCEPTOS**

4.10 Descripción: Capa de compresión, a base de concreto premezclado f'c=200 kg/cm<sup>2</sup> y TMA de 19 mm, de 10 cm de espesor, reforzada con malla electrosoldada 6/6-10x10, acabado escobillado. Colada en piedras de 2.00 x4.00 m. Unidad: m<sup>2</sup>

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Importe
M0214	Malla electrosoldada 6/6-10x10	m <sup>2</sup>	1.1158	5.26	5.87
M0711	Concreto f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> premezclado clase A	m <sup>3</sup>	0.1042	935.00	97.40
M0761	Bombeo con pluma hasta sexto nivel	m <sup>3</sup>	0.1042	100.00	10.42
<b>Subtotal materiales</b>					<b>113.68</b>
O0101	Peón	jor	0.0435	56.51	2.46
O0101	Peón	jor	0.0378	56.51	2.14
O0107	Oficial albañil	jor	0.0378	128.00	4.84
<b>Subtotal mano de obra</b>					<b>9.43</b>
H0001	Herramienta	%mo	0.0300	9.43	0.28
<b>Subtotal herramienta</b>					<b>0.28</b>
H0003	Cabo de oficios	%mo	0.1000	9.43	0.94
<b>Subtotal mando intermedio</b>					<b>0.94</b>
Q0012	Vibrador de concreto motor 4 HP y chicote 14 ft de longitud.	hr	0.0533	17.55	0.94
<b>Subtotal equipo</b>					<b>0.94</b>
Costo					125.28
Indirectos ( 27% )					33.82
<b>Precio/m<sup>2</sup> \$</b>					<b>159.10</b>

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

Otro factor que determina el precio unitario final, es el porcentaje de sobrecosto que se aplica al análisis, el cual, previo a la incorporación de dicho porcentaje, se conoce como "Costo Directo", y después de la aplicación de ese factor, se denomina como "Precio Unitario"

Después que se han analizado los diferentes conceptos, es más fácil describirlos componentes que integran a un precio unitario y son: el Costo Directo, que involucra materiales, mano de obra, herramienta y equipo; el Costo Indirecto, que involucra todos aquellos costos que son acreditables a la obra sin que intervengan directamente en ella.

Por la variación que puede tener éste costo, dependiendo de tamaño de la obra, complejidad de su ejecución, cantidad de trámites administrativos, etc., se ilustra el tema con un ejemplo genérico para lograr su mejor descripción.

**ANALISIS PARA LA DETERMINACION DEL CARGO INDIRECTO**

En la construcción del  
**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

*(Cantidades en miles de pesos)*

DESCRIPCION	Administración	
	Central (1)	Obra (2)
<b>1.- Honorarios, sueldos y prestaciones.</b>		
1.1 Personal directivo.	3,000.00	
1.2 Personal técnico y sobrestante.	2,500.00	8,500.00
1.3 Personal Administrativo.	2,300.00	3,000.00
1.4 Prestaciones al personal.	4,971.03	7,329.08
<b>2.- Depreciación, mantenimiento y rentas.</b>		
2.1 Oficinas.	200.00	550.00
2.2 Muebles y enseres.	150.00	50.00
2.3 Caseta provisional.		100.00
<b>3.- Servicios</b>		
3.1 Depreciación o renta y operación de vehículos	800.00	1,800.00

**CAPITULO V**  
**ESTUDIO FINANCIERO DE LA OBRA**

4.- Fletes y acarreos.					
4.1	De mobiliario.				30.00
4.2	De materiales.				900.00
5.- Gastos de Oficina.					
5.1	Papelería y artículos de Oficina.	20.00			50.00
5.2	Copias y duplicados.	35.00			65.00
5.3	Gastos de Concursos.	100.00			
6.- Fianzas.					
6.1.	Primas por Fianzas.	125.00			
6.2.	Financiamiento 0.2%	300.49			
	<b>SUMAS</b>	<b>\$14,501.51</b>	<b>(1)</b>	<b>(2)</b>	<b>\$22,374.08</b>

**TOTAL SUMA (1) + (2) \$ 36,875.59**

Obtenidos los gastos indirectos que son:

a) \$ 36,875.59 Suma de gastos indirectos

b) \$ 150,244.00 Costo de la obra antes de la aplicación de cargos indirectos

Se procede a la determinación del Cargo Indirecto

$$C.I. = a/b = 36,875.59 / 150,244.00 = 0.2454$$

Cargo por indirectos = 0.2454 = 24.54%

Cargo indirecto (24.54%)+ utilidad (10 %)  
24.54% X 10% = 27.00%

Como se ve, intervienen una gran variedad de gastos que son originados por las distintas actividades necesarias para la ejecución de cualquier obra. Finalmente, el último cargo que se indica, que es el cargo por utilidad, es determinado exclusivamente por las condiciones del mercado, principalmente por la ley de la oferta y la demanda, pero que busca satisfacer las necesidades de capitalización y obtención de utilidades de las empresas ó profesionales dedicados a la actividad de construcción.

Todo lo expuesto en éste capítulo, ha formado parte de la serie de estudios previos a la ejecución de la obra, pero igual importancia tiene controlar y mantener dentro de los parámetros que se han establecido en éste estudio, el proceso de construcción de la misma, lo cual se puede vigilar mediante un sencillo método que se expone a continuación.

### **V.3 PROGRAMACION Y CONTROL DE OBRA**

El factor tiempo es fundamental para lograr un mejor beneficio de la inversión que se lleva a cabo, y en toda obra es factible prever la duración que tendrá la misma siempre y cuando se haya fijado un programa de trabajo congruente. Existen varios procedimientos para determinar el período de ejecución de los trabajos que integran una obra. Este procedimiento gráfico consiste en llevar sobre un sistema de coordenadas cartesianas, las cantidades de obra y los tiempos de obra en los que se realizan dichas cantidades.

Al realizar el presupuesto de costo, se obtuvieron las cantidades de obra de cada una de las partidas de que consta. En éstas circunstancias, y poniendo el ejemplo de la excavación, se conoce la cantidad de metros cúbicos a excavar, también se sabe que un operario realiza un determinado número de metros cúbicos en una jornada de trabajo.

Si se relaciona la cantidad de metros cúbicos por excavar con los metros cúbicos que excava en una jornada un operario, se obtiene el tiempo que tardará en ejecutar, él mismo, toda la excavación. Si se desea que dicha excavación se termine en determinado tiempo, con los datos anteriores se puede saber el número de cuadrillas que se necesitarán para realizar el trabajos de excavación en el tiempo fijado.

Por lo anterior, suponiendo que el total de la excavación se tarda en ejecutarse dos meses y medio, en el eje de las "x" se pueden marcar dos divisiones y media.

cada una de éstas representa un mes; y en el eje de las "y" se indicarán las cantidades de obra.

El rectángulo se denominará "excavaciones". Después de un mes, en el cual se ha ejecutado un volumen determinado de excavaciones, se puede continuar con la siguiente partida.

Para poder representar ésta y las subsecuentes partidas, gráficamente, se tomarán en cuenta las mismas consideraciones sobre cantidades de obra y rendimientos, marcando sobre las abscisas el tiempo y sobre las ordenadas las cantidades de obra.

En éstas circunstancias, si se supone que ésta cantidad de obra tardará unos tres meses y medio, estará representada por su rectángulo respectivo.

Hay partidas que no pueden ser ejecutadas hasta que se haya concluido determinado trabajo, como puede ser la losa tapa de la sección tipo del Entubamiento del Gran Canal del Desagüe, sin que se haya construido la losa de cimentación y muros. Sin embargo se intuye que no es necesario que toda la actividad de losa de cimentación y muros se encuentre acabada, por lo que se podrá ir colocando las tabletas de losa prefabricada que conforman la losa tapa en la medida en que se cuente con tramos disponibles.

El iniciar una actividad sin que se haya concluido totalmente otra, pero que ya cuente con cierto avance, se conoce como "Empalme ó Traslape de Actividades", misma que permitirá comprimir el tiempo de ejecución en el programa de trabajo.

Esta gráfica permite ir regulando cada una de las partidas. Por medio de ella se lleva un control del tiempos necesario para la terminación de las mismas. Asimismo, se pueden utilizar las anotaciones sobre cantidades de obra, para conocer previamente la cantidad de material que se necesitará para atacar cada una de las partidas, y de esta manera, surtirse con anticipación del mismo.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

Por facilidad se ha elegido éste tipo de programa de obra, que es el que por muchos años se ha utilizado en el medio, es decir, los profesionales de la construcción han hecho uso de él durante mucho tiempo y por ése motivo es el que se presenta en la siguiente página.

Vale la pena mencionar que actualmente se emplean una variedad sin fin de programas y gráficas, con la generalización del uso de los equipos de cómputo (que por cierto, cada vez son más accesibles a todos los estratos socio-económicos, aún más para profesionales del ramo y empresas), además de las aplicaciones especializadas, se obtienen fácilmente reportes variados, como se tiene el denominado "Explosión de Insumos", que muestra toda las cantidades de materiales y mano de obra que se utilizarán en la obra en cuestión, también indica el porcentaje que representa cada material ó trabajador respecto al costo total de la obra; puede ejecutar gráficas tipo "sectores circulares o pastel" o de cualquier otra geometría donde señala el porcentaje de: mano de obra, herramienta, equipo y maquinaria.

En las últimas versiones de la ley que regula los concursos de obra con el sector público (el gobierno), se solicitan programas que, en un principio, se derivan del que se presenta en la siguiente página. Dichos programas —entre otros— son: Programa de utilización de equipo; Programa de utilización de mano de obra; Programa de utilización de maquinaria; Determinación del porcentaje de financiamiento, etc.

Todo lo anterior se ha originado debido a los problemas a los que se han enfrentado las instituciones ó personas que han contratado diversas obras y que, como resultado de una mala planeación de la obra, en la mayor de las veces, no se han terminado en los plazos previstos.

# PROGRAMA DE OBRA

## ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

Partida	Descripción abreviada de concepto *	M E S E S																																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
1.01	Trazo y nivelación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
1.02	Demolición muro limítrofe	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
1.03	Puerta mala ciclón	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
1.04	Despalle con máquina	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
1.05	Tala de árboles	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
1.06	Corte de terreno a máquina	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
1.07	Capa de tezontle a volteo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
1.08	Terraplén para camino comunicación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2.01	Excavación en el azolve	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2.02A	Carga y acarreo en camión	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2.02B	Kilómetros subsiguientes de acarreo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2.03	Excavación para zanja de drenaje	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.04	Geotextil Typer 3401 en zanja	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.05	Ademe de tubería ranurada PVC de 152mm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.06	Relleno de zanja con tezontle	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.07	Excavación para cárcamo de bombeo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.08	Tambo metálico de 200 fts de capacidad	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.09	Relleno de zanja de cárcamo con tezontle	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.01A	Geotextil Typer 3401 en excavación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.01B	Geored Tensor BX-1200 en excavación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.02	Capa de material graduado de 30 cm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.03	Capa de tezontle a volteo de 30 cm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.04	Segunda capa Geored Tensor BX-1200	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.05	Relleno de tepetate para precarga	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.06	Corte de material de precarga	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.07	Acarreo de materiales de corte	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3.08	Relleno para precarga con material de corte	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.01	Plantilla de concreto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.02A	Acero de refuerzo de 3/8" en losa piso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.02B	Acero de refuerzo de 1/2" en losa piso	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.03	Cimbra y descimbra aparente losa piso y muros	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.04	Banda PVC de 60 cm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.05	Concreto en losa piso y muros	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.06A	Acero de refuerzo de 3/8" en muros	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.06B	Acero de refuerzo de 1/2" en muros	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.07	Cimbra y descimbra aparente en muros	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.08	Concreto en muros	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.09	Losa tapa prefabricada	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4.10	Capa de compresión	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Derivado del análisis anterior se concluye que de acuerdo con la normatividad actual relacionada con el medio ambiente, el Entubamiento del Gran Canal del Desagüe de la Ciudad de México, es una obra necesaria, ya que se lleva a cabo la restauración del medio ambiente, además de que es un beneficio colectivo para la comunidad que habita en dicha zona, ya que coadyuvara a resolver en gran parte los problemas de contaminación de los mantos freáticos debido a la filtración de las aguas negras producto de los drenajes de las zonas aledañas al mismo, además de que garantizará en gran medida que no se presenten inundaciones en la ciudad, así mismo con la construcción de una vialidad a lo largo del cauce, se agilizará el tránsito vehicular que proviene del Estado de México y viceversa, lo que ayudará a reducir la contaminación ambiental producto de los gases emitidos por los motores de combustión interna.

### Recomendaciones

El proyecto se deberá concluir en su totalidad para que su funcionamiento sea de acuerdo a lo previsto.

Diseñar e implementar programas para el desazolve de la estructura de conducción, sugiriendo que este sea por secciones y de forma periódica.

Elaborar programa de prevención de desastres, en caso de presentarse inundaciones extraordinarias, dicho programa debe corresponder a las condiciones del Gran Canal.

Tomado en consideración el incremento de la población, evaluar el tiempo de vida útil de este proyecto, y proponer soluciones alternas.

**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

---

# **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Lemoine Villicaña, Ernesto: El desagüe del Valle de México durante la época independiente; Instituto de Investigaciones de la UNAM; 1978; México
- 2) Palacio Nacional: Memoria histórica, técnica y administrativa de las obras del desagüe del Valle de México 1449-1990; Publicada por orden de la junta directiva del mismo desagüe; 1902; México; Vol. II; 462 pp.
- 3) Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos; Diseño geotécnico de cimentaciones; 1992; México. 141 pp.
- 4) Juárez Badillo E. Y Rico Rodríguez A.; Mecánica de suelos; 1969; México; Vol. 1 y 2.
- 5) Departamento del Distrito Federal: Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones; 1993; México.
- 6) Peck Ralph, Hanson Walter y Thornburn Thomas; Ingeniería de cimentaciones; Editorial Limusa; 1982; México; 557 pp.
- 7) Cruickshank García Gerardo: Proyecto Lago de Texcoco; Grupo Impresor Mansua; 1994; México.
- 8) Departamento del Distrito Federal: Imágenes de la gran ciudad; 1986; México.
- 9) Departamento del Distrito Federal. Secretaría General de Obras, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica; Proyecto ejecutivo de entubamiento del Gran Canal del Desagüe por el centro del cauce en el tramo comprendido entre Palacio Legislativo y el Río de Los Remedios; 1993; México.
- 10) Plazola Cisneros Alfredo: Normas y Costos de Construcción; Libreros Mexicanos Unidos; 1960; México

# **ANEXOS**

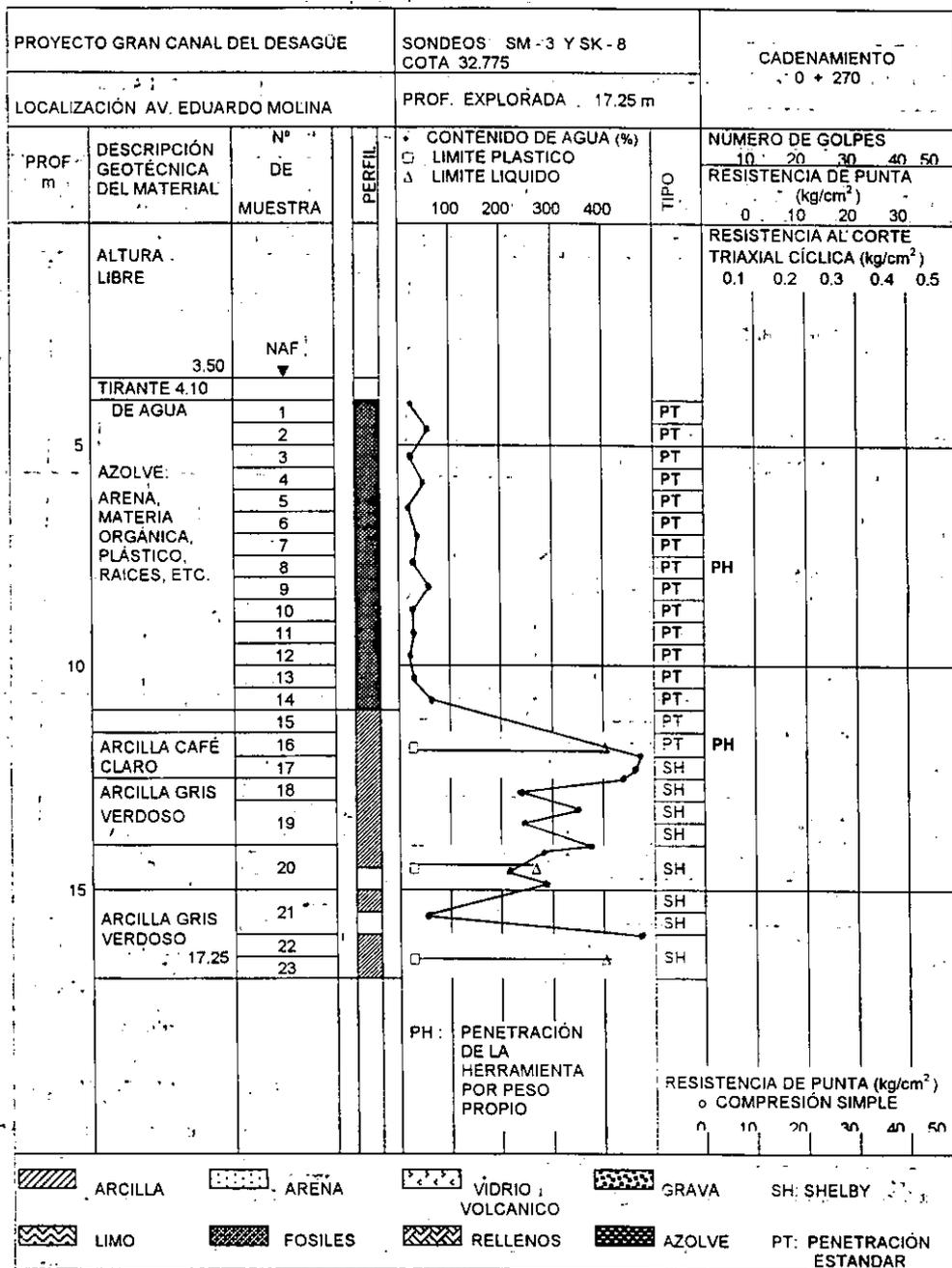
**ANEXO I**

**GRAFICAS DE  
RESULTADOS DE  
ALGUNOS SONDEOS  
MIXTOS Y DE CONO  
ELECTRICO**



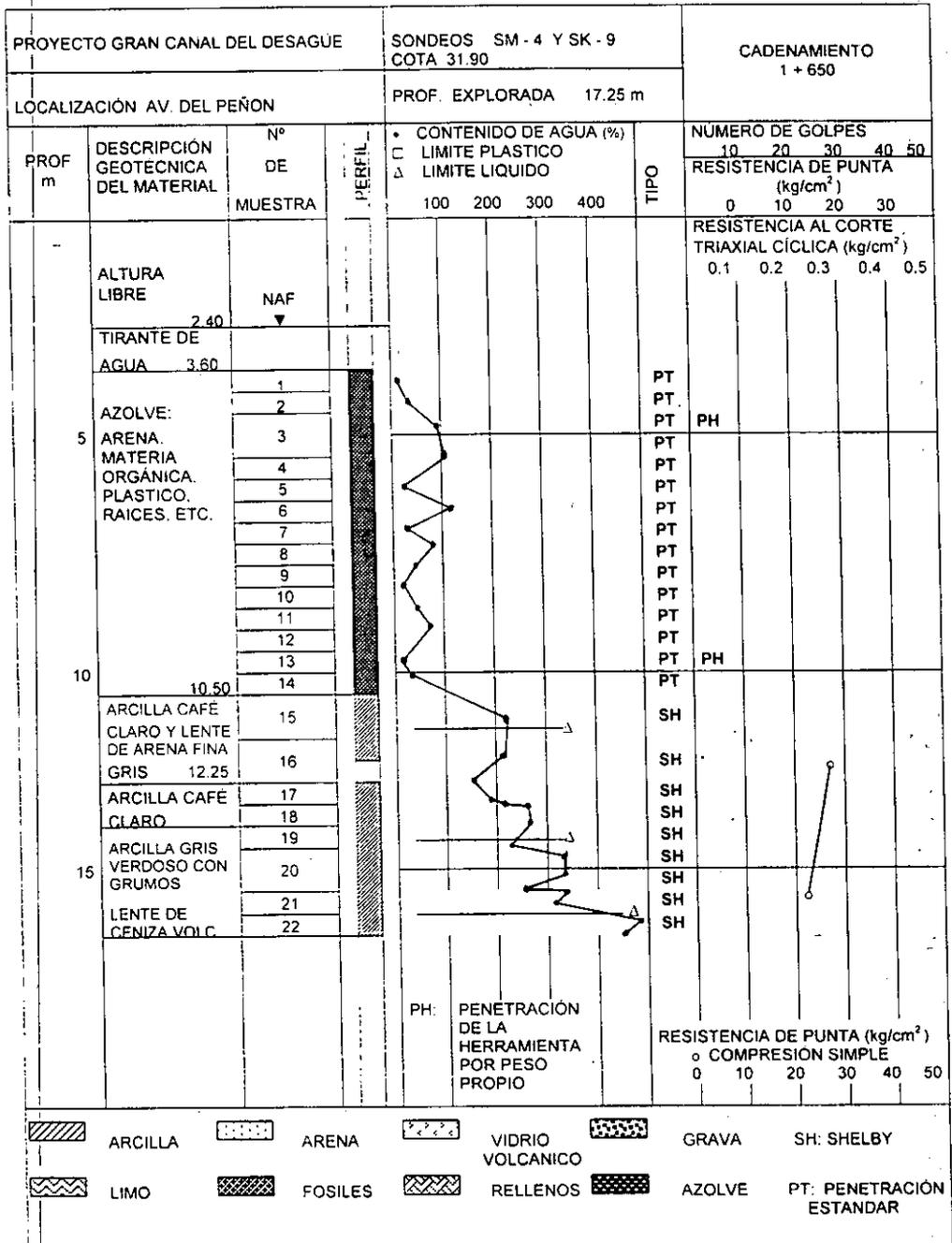
**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

Gráfica del resultado del Sondeo mixto SM-3



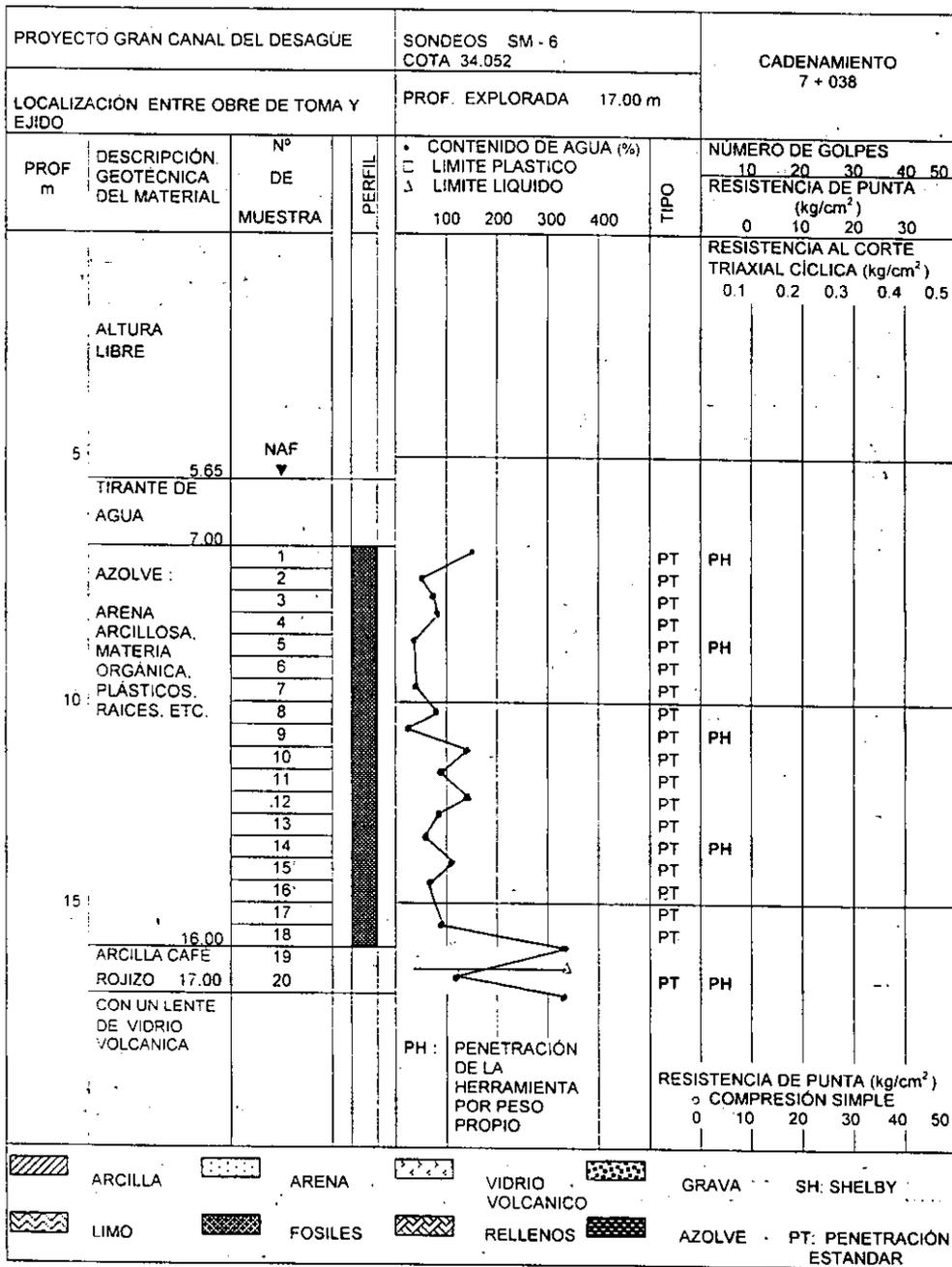
**ANEXO I**  
**GRAFICAS DE RESULTADOS DE ALGUNOS SONDEOS**

Gráfica del resultado del sondeo mixto SM-4



**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

**Gráfica del resultado del sondeo mixto SM-6**









**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
 Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

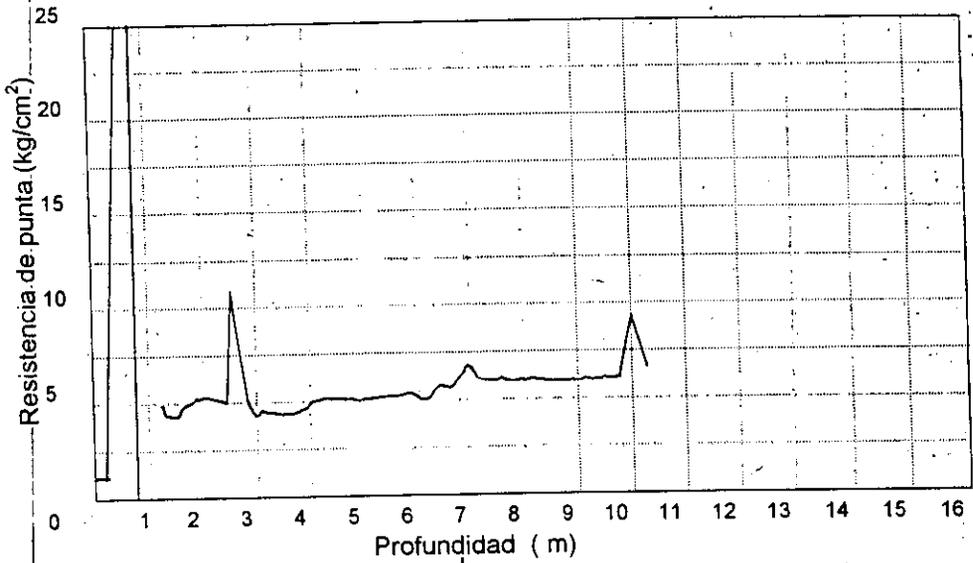
Gráfica del resultado del sondeo mixto SM-10

PROYECTO GRAN CANAL DEL DESAGÜE				SONDEOS SM - 10 COTA 34.0802				CADENAMIENTO 3 + 875						
LOCALIZACIÓN CALLE ORIENTE 95				PROF. EXPLORADA 11.50 m										
PROF m	DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL MATERIAL	N° DE MUESTRA	PERFIL	CONTENIDO DE AGUA (%)				TIPO	NÚMERO DE GOLPES					
				◻ LIMITE PLASTICO Δ LIMITE LIQUIDO					10 20 30 40 50					
								RESISTENCIA DE PUNTA (kg/cm <sup>2</sup> )						
								0 10 20 30						
								RESISTENCIA AL CORTE TRIAXIAL CICLICA (kg/cm <sup>2</sup> )						
								0.1 0.2 0.3 0.4 0.5						
5	ALTURA LIBRE													
	5.10													
	TIRANTE DE AGUA													
	6.00													
10	AZOLVE : ARCILLOSA CON MATERIA ORGÁNICA, PLÁSTICOS, RAICES, ETC.		[Perfil con azolve]											
	10.50													
	ARCILLA CAFÉ CLARO													
	11.50													
15														
								PENETRACIÓN DE LA HERRAMIENTA POR PESO PROPIO						
								P.H.						
								RESISTENCIA DE PUNTA (kg/cm <sup>2</sup> ) o COMPRESIÓN SIMPLE						
								0 10 20 30 40 50						

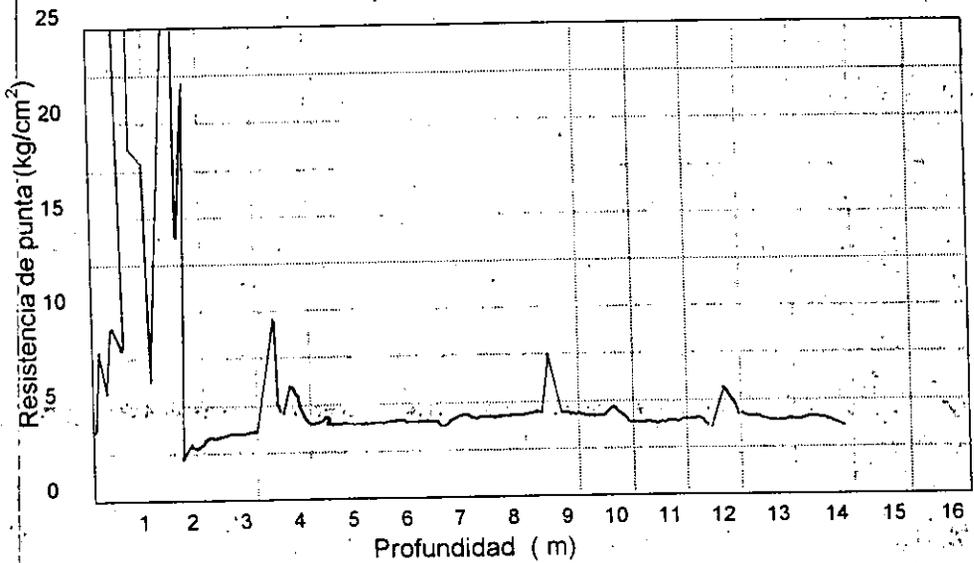
  

ARCILLA	ARENA	VIDRIO VOLCANICO	GRAVA	SH: SHELBY
LIMO	FOSILES	RELLENOS	AZOLVE	PT: PENETRACIÓN ESTANDAR

Sondeo de cono SK-3

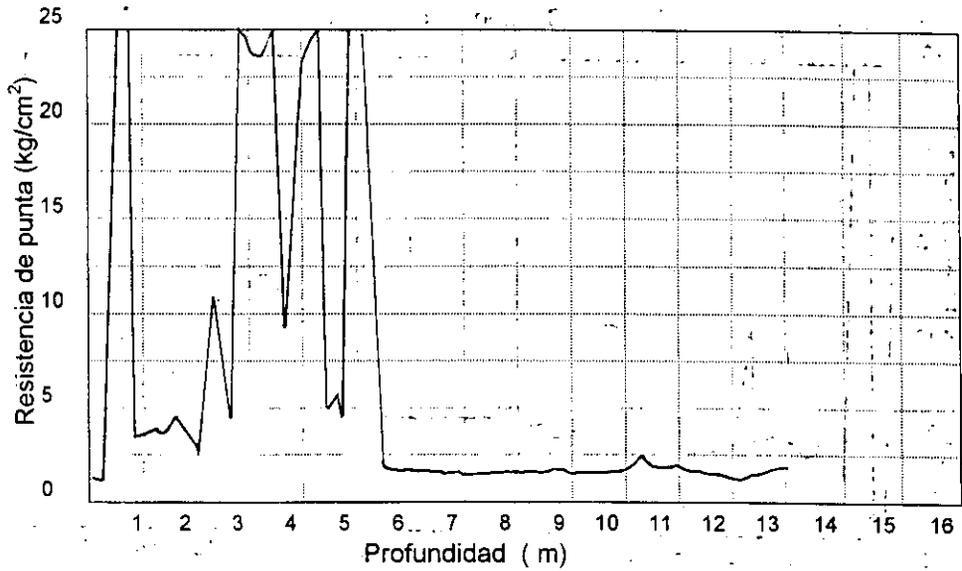


Sondeo de cono SK-4

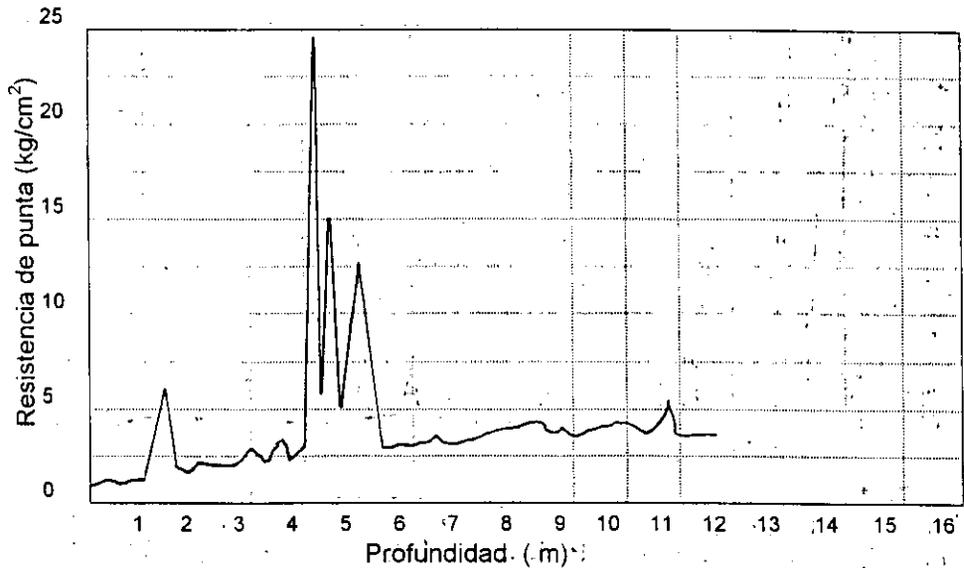


**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

Sondeo de cono SK-5

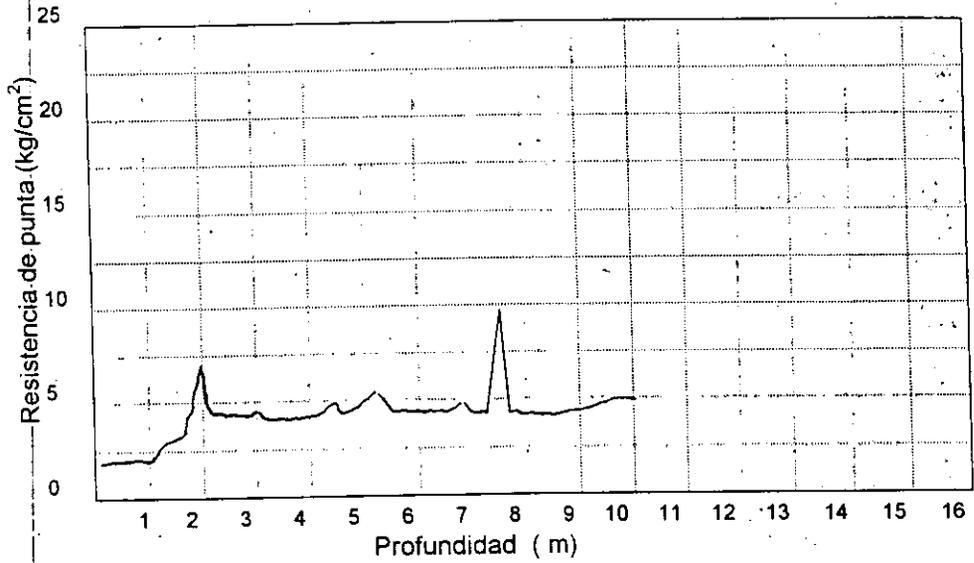


Sondeo de cono SK-6

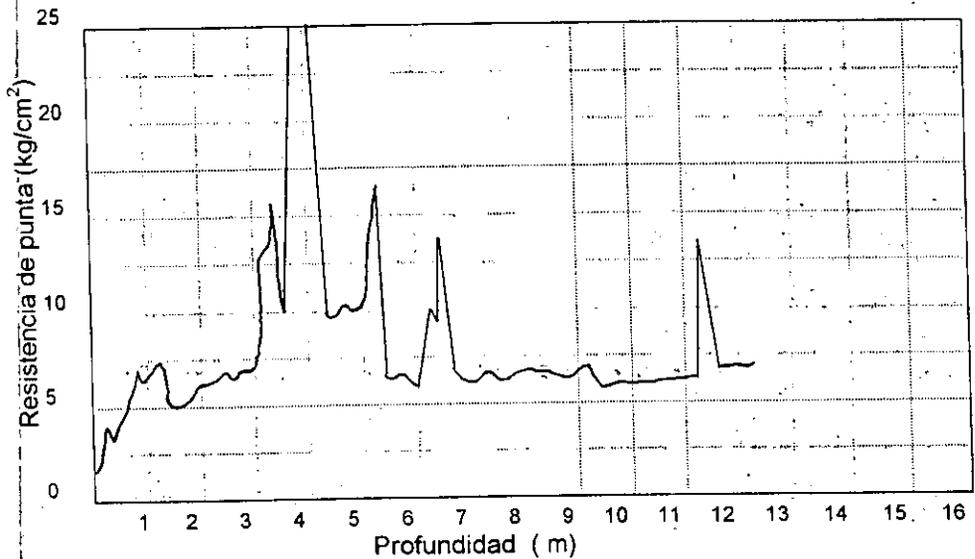


ANEXO I  
GRAFICAS DE RESULTADOS DE ALGUNOS SONDEOS

Sondeo de cono SK-7

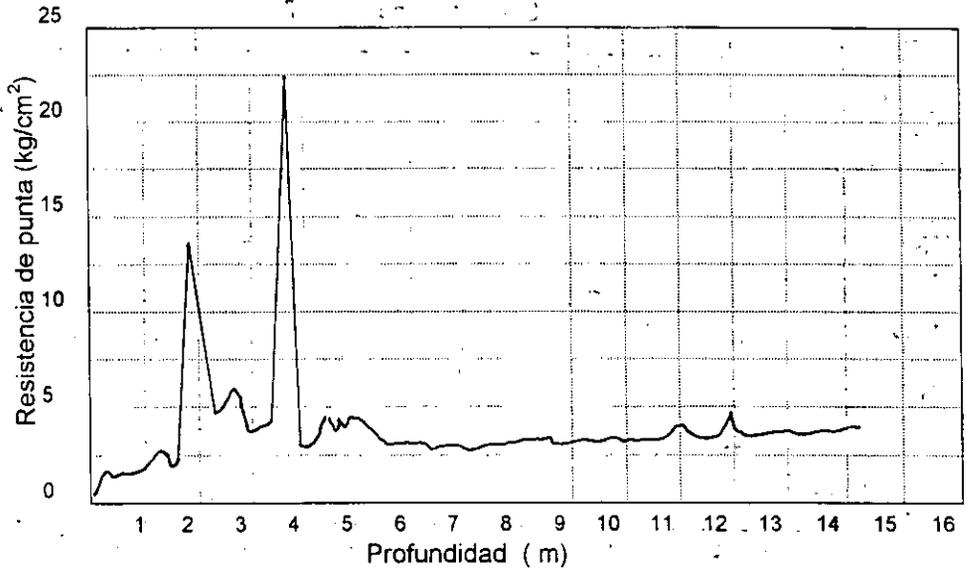


Sondeo de cono SK-8

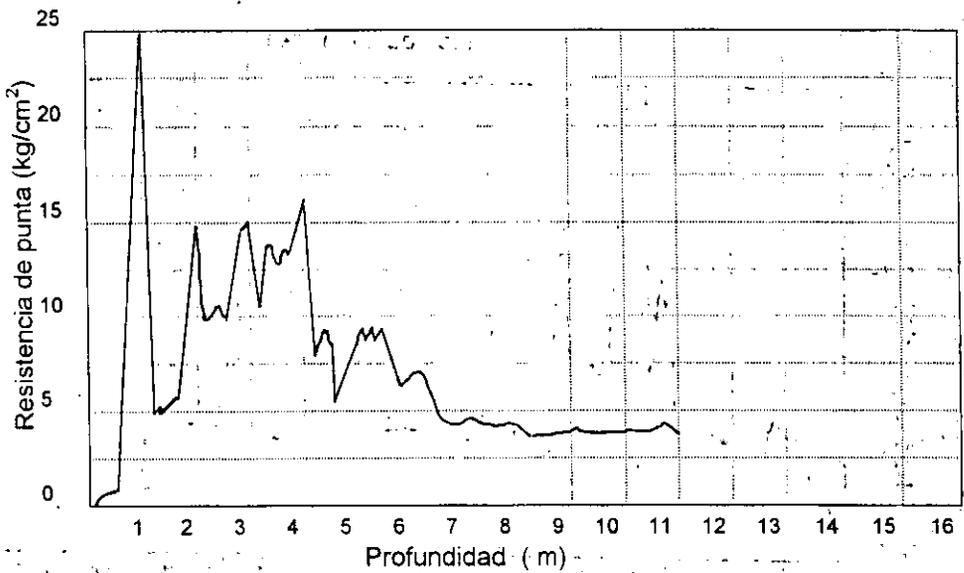


**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

Sondeo de cono SK-9



Sondeo de cono SK-10

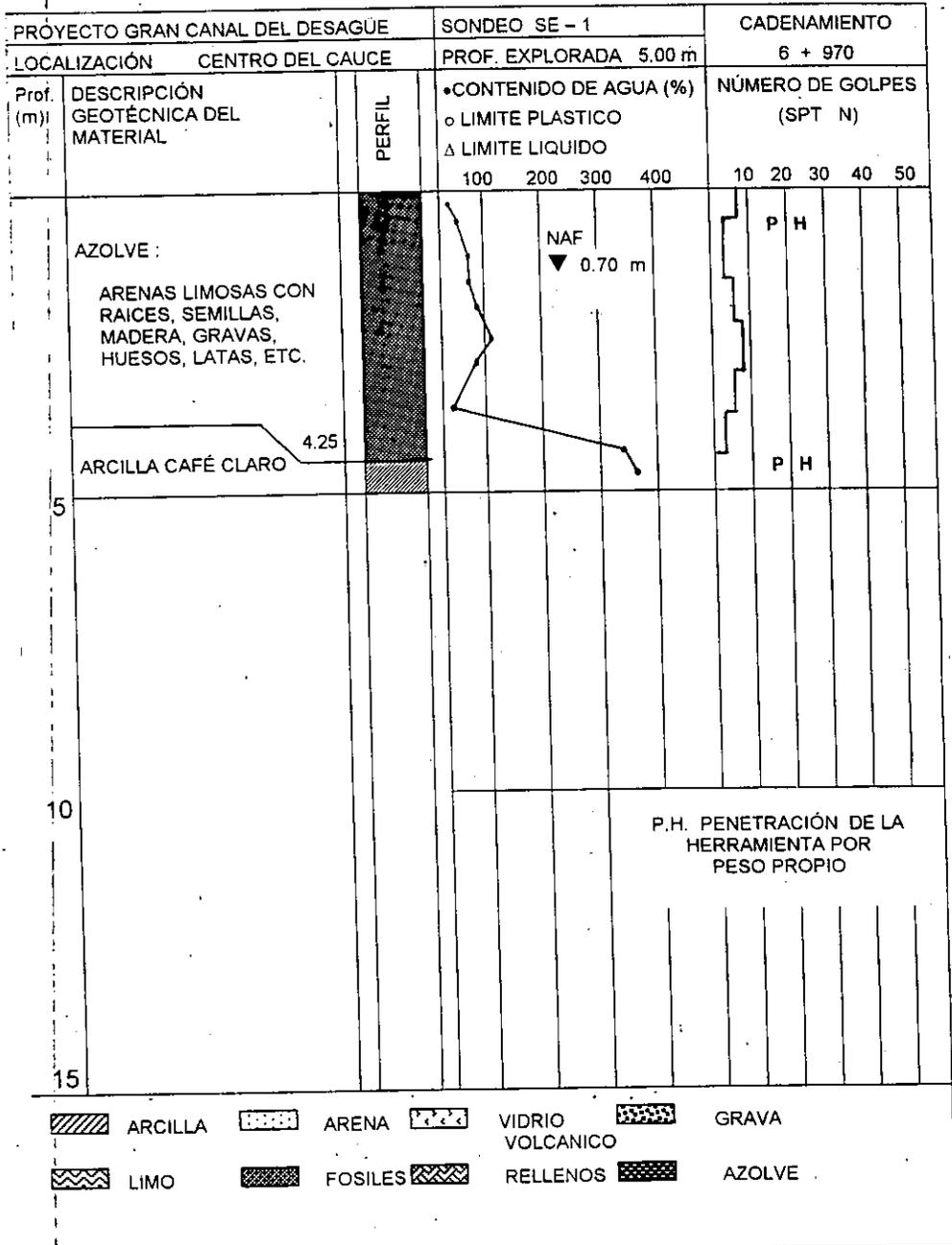


**ANEXO II**

**GRAFICAS DE  
RESULTADOS DE  
ALGUNOS SONDEOS DE  
PENETRACIÓN  
ESTÁNDAR**

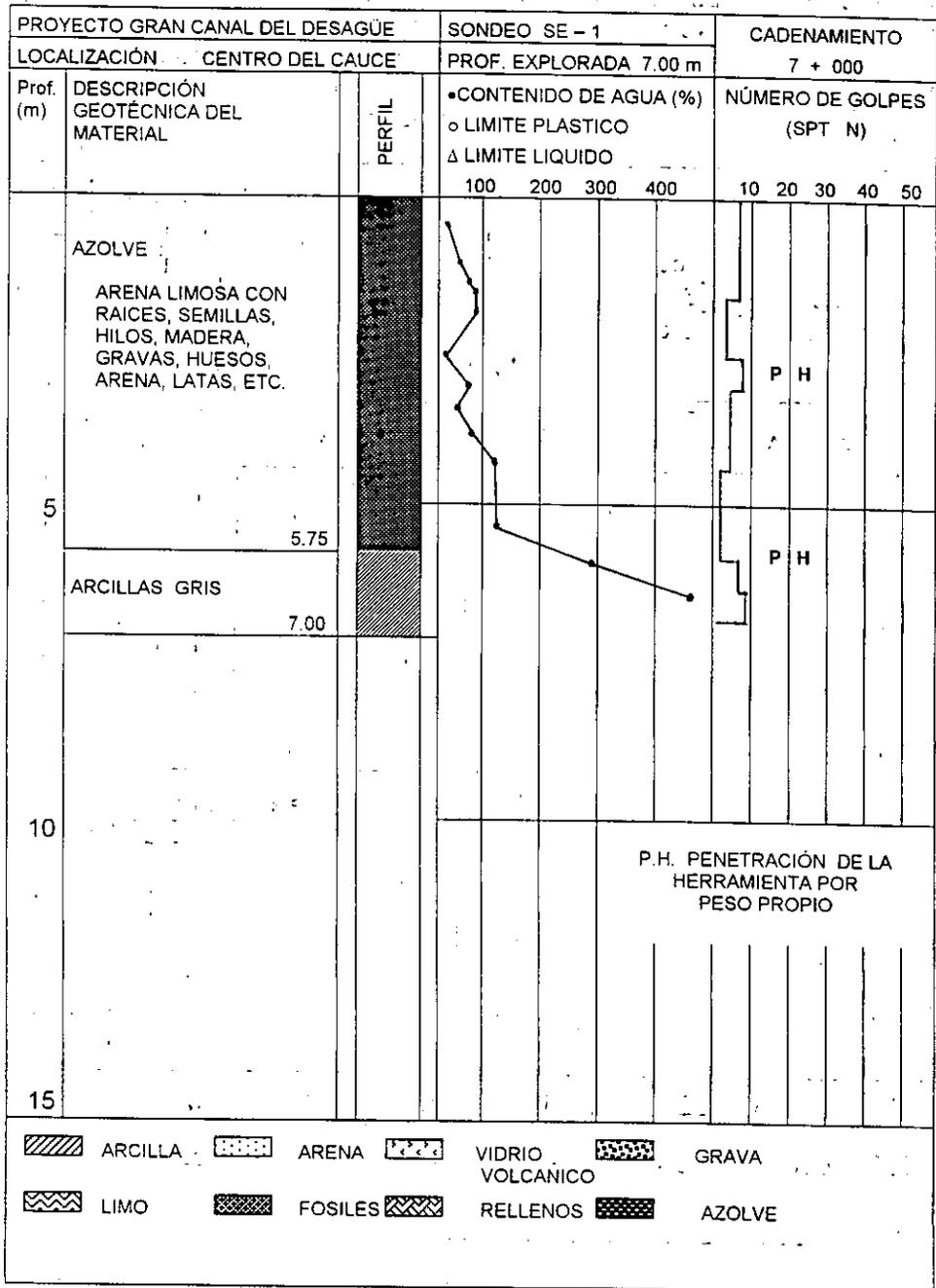
**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
 Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

Gráfica del resultado del sondeo de penetración estándar SE-1



**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
 Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

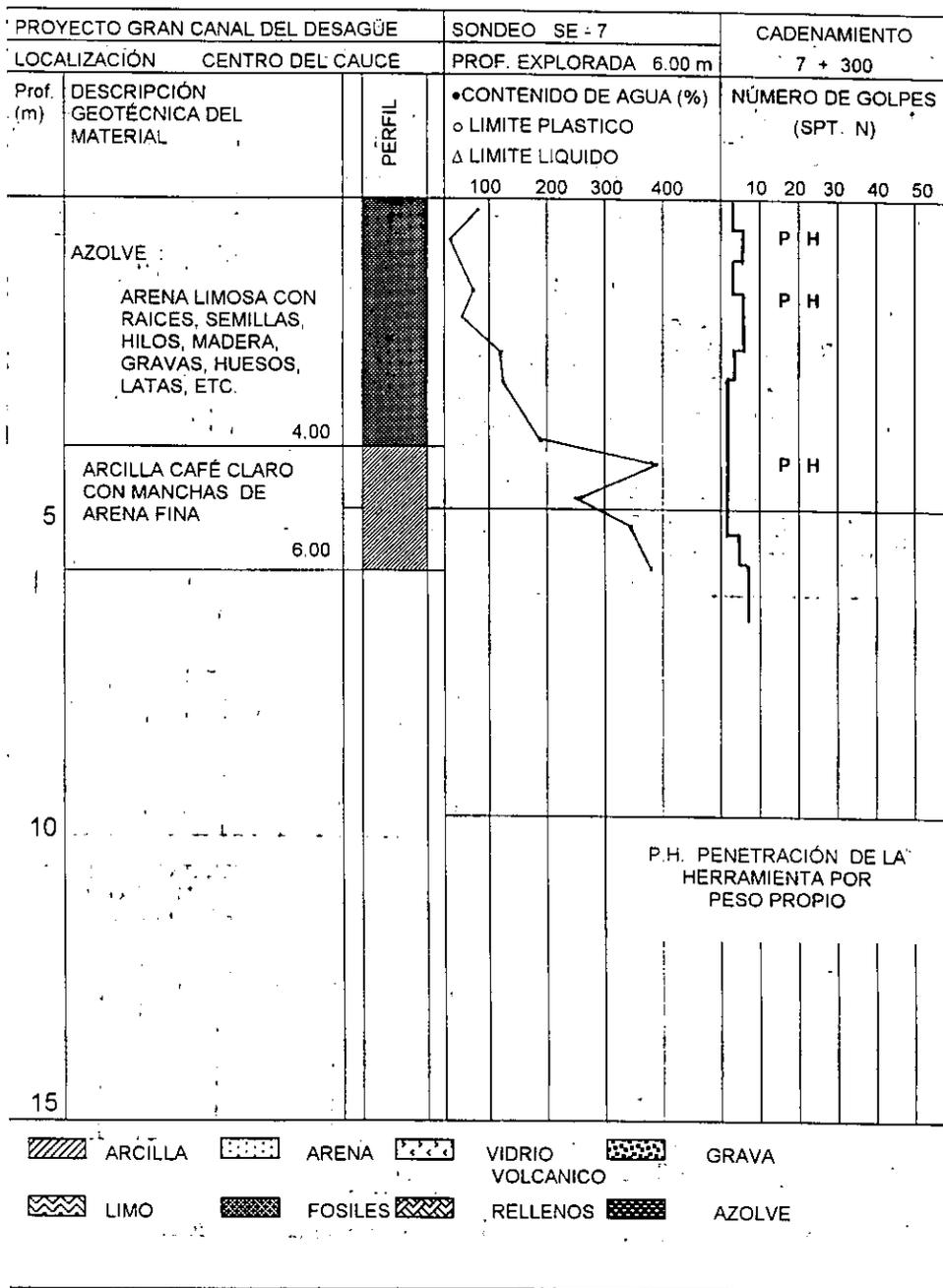
Gráfica del resultado del sondeo de penetración estándar SE-1





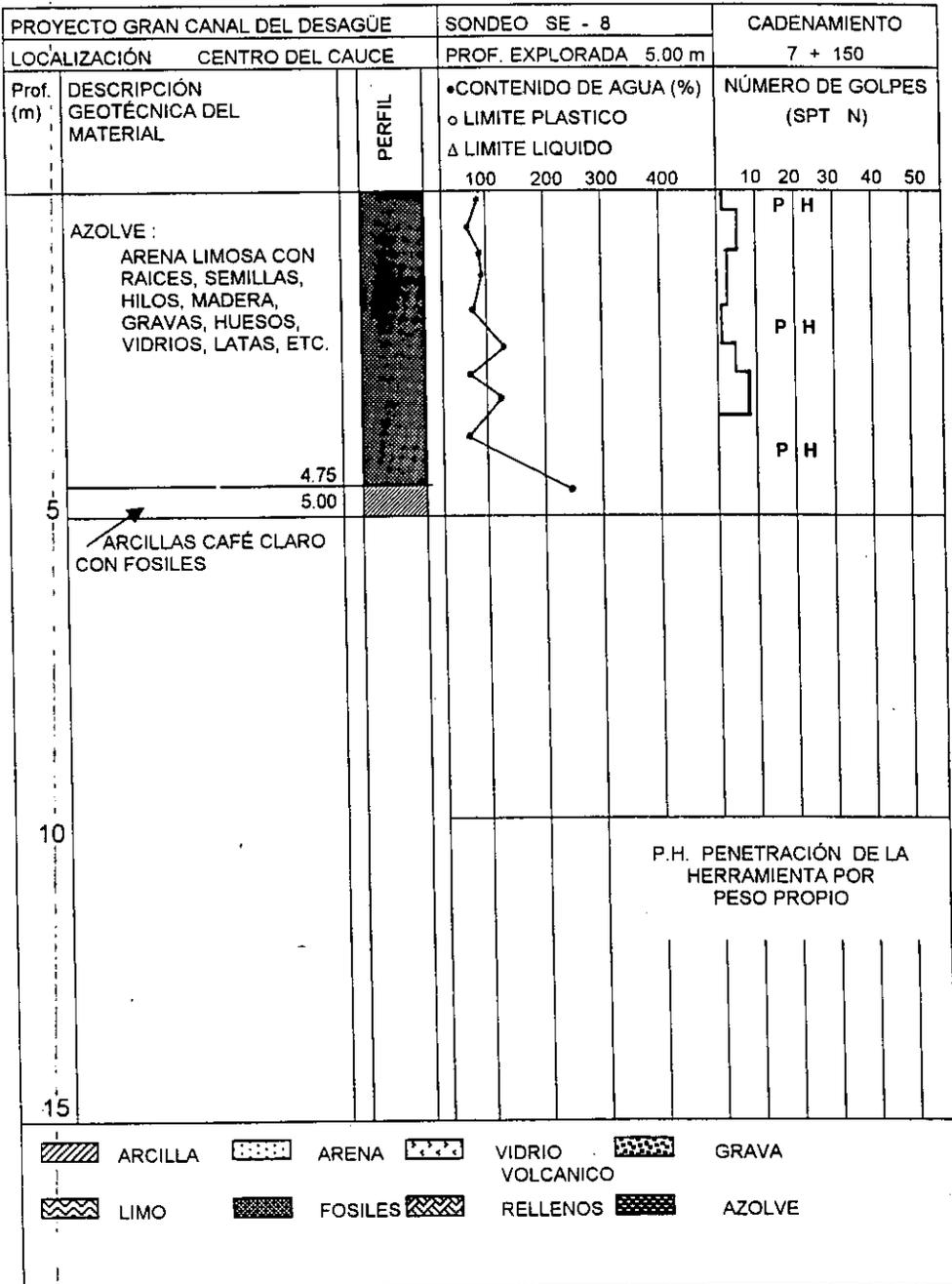
**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGÜE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
 Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500

Gráfica del resultado del sondeo de penetración estándar SE-7



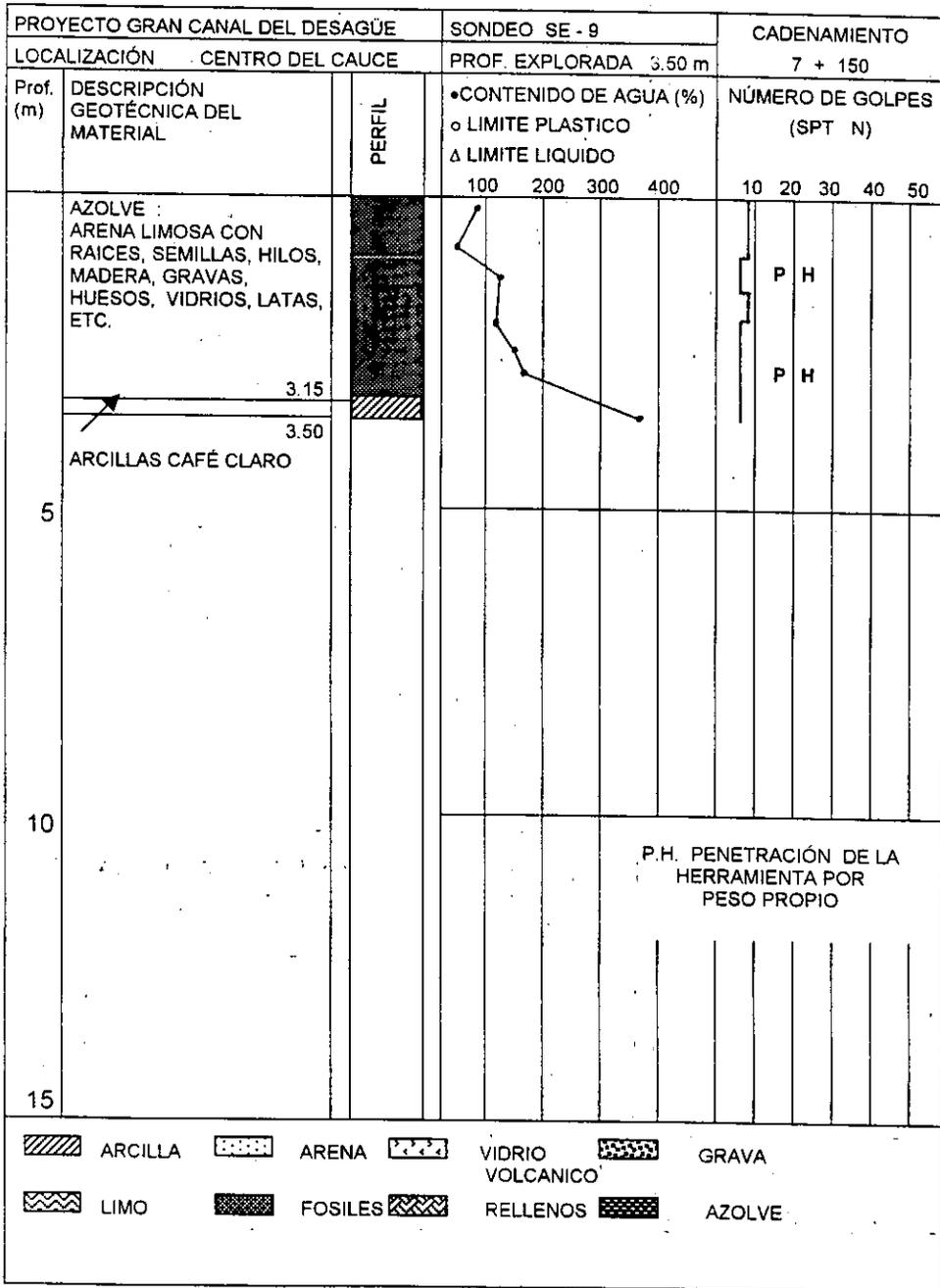
**ANEXO II**  
**GRAFICAS DE RESULTADOS DE ALGUNOS SONDEOS DE PENETRACIÓN ESTANDAR**

Gráfica del resultado del sondeo de penetración estándar SE-8



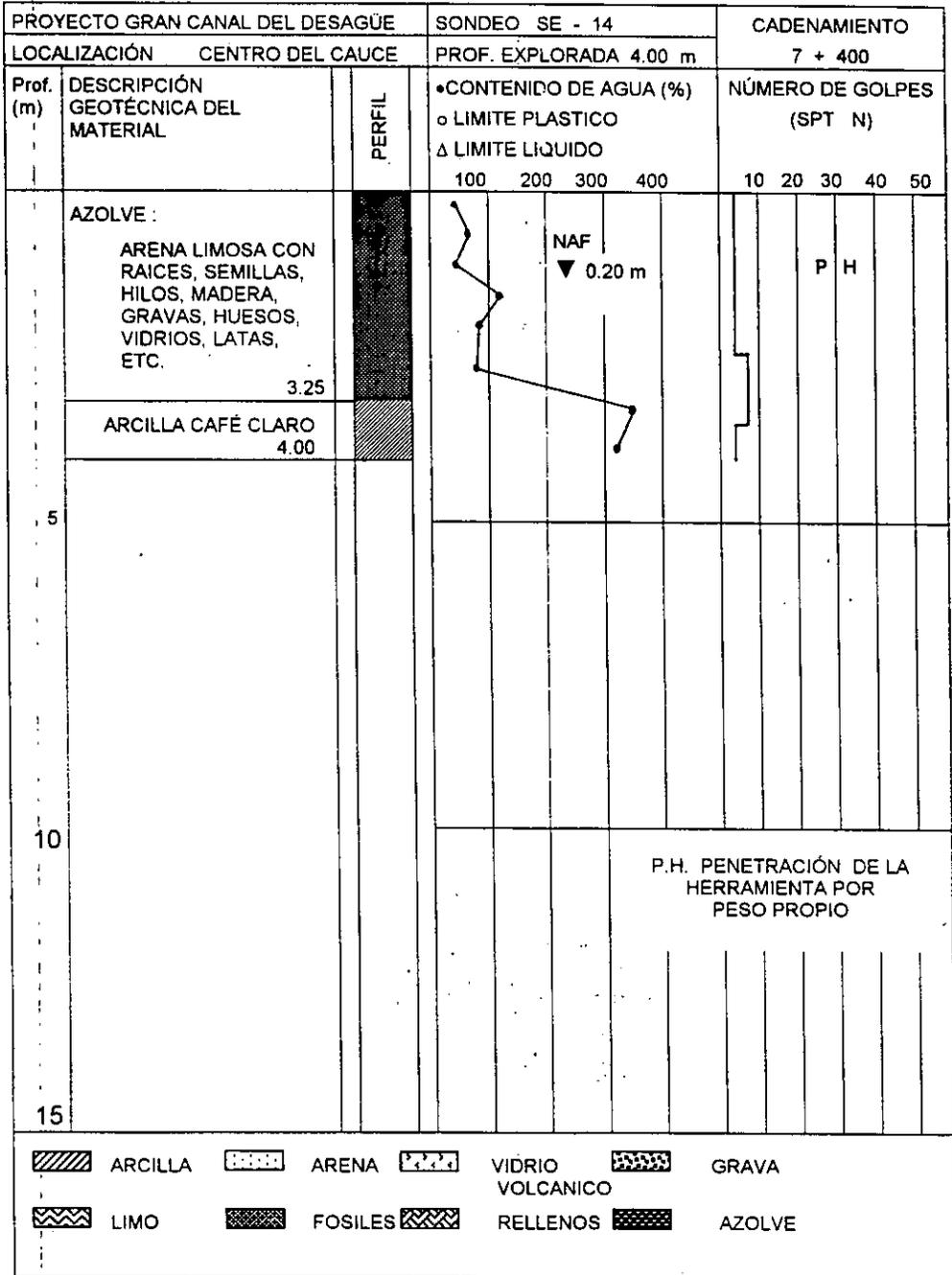
**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

Gráfica del resultado del sondeo de penetración estándar SE-9



**ANEXO II**  
**GRAFICAS DE RESULTADOS DE ALGUNOS SONDEOS DE PENETRACIÓN ESTANDAR**

Gráfica del resultado del sondeo de penetración estándar SE-14



**ENTUBAMIENTO DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**  
**Etapas 1, 2 y 3 de 1993 a 1996. Tramo del km 2+739 al km 9+500**

Gráfica del resultado del sondeo de penetración estándar SE-20

