



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

“EL DRENAJE PROFUNDO DE LA CIUDAD DE
MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS
DE SOLUCIÓN”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

ROBERTO CARLOS BARRIOS

SANDOVAL

ASESOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

AGRADECIMIENTOS

A dios, por haberme brindado la vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Estudios Superiores Aragón).

Al M. en I. Patrocinio Arroyo Hernández, por su valiosa guía en la elaboración de esta tesis.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.

CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN

RESUMEN.

OBJETIVOS.

CAPITULO I. CONSIDERACIONES GENERALES

- 1.1 Breve aspecto histórico.
- 1.2 Descripción del Sistema de Drenaje Profundo.
- 1.3 Funcionamiento hidráulico.
- 1.4. El plan maestro de drenaje de la zona metropolitana de la ciudad de México 1994-2010.
- 1.5 Situación actual.

CAPITULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CAPITULO III. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

- 3.1 Suministro del servicio.
- 3.2 Tratamiento de aguas residuales y saneamiento de cuencas.
- 3.3 Aspectos legislativos, administrativos e institucionales.
- 3.4 Construcción del Emisor Oriente.
- 3.5 Inspección y rehabilitación del Emisor Central.
 - 3.5.1 Alcances del proyecto.
 - 3.5.2 Inspección de detalle del túnel del Emisor Central.
 - 3.5.3 Inspección de la cubeta del túnel del Emisor Central.
 - 3.5.4 Especificaciones.
 - 3.5.5 Recubrimiento del revestimiento del concreto.
- 3.6 Participación ciudadana.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCION

Desde que el hombre apareció sobre la faz de la tierra su instinto de conservación lo guió a la búsqueda de lugares y medios que lo protegieran de las inclemencias del tiempo, de enfermedades y depredadores.

Alrededor del año de 1325 se fundó la Gran Tenochtitlán, el suministro y desalojo de las aguas era uno de los problemas que más afectaba al México antiguo, por lo que los antiguos mexicanos realizaron complejas obras de ingeniería hidráulica para contener las aguas producto de las lluvias, desviar las corrientes de los ríos y escurrimientos, de esta manera disminuir las inundaciones, y al mismo tiempo impedir que las aguas saladas del lago de Texcoco se mezclaran con las dulces de Xochimilco y Chalco, originándose la laguna de México.

Entre 1930 y 1950 la mancha urbana de la Ciudad de México se duplicó de forma anárquica y sin planeación alguna, este crecimiento trajo consigo un incremento en la demanda de servicios, entre ellos el desalojo de las aguas residuales.

Actualmente la Ciudad de México cuenta con los beneficios del sistema del drenaje profundo, uno de los más grandes y complejos a nivel mundial, aunque es una obra oculta a los ojos de la población, los beneficios de esta infraestructura hidráulica son visibles, ya que es la más acertada alternativa para el desalojo de aguas pluviales, garantizando a la Capital Mexicana su seguridad contra las inundaciones.

En un principio el sistema de drenaje profundo, el Emisor Central principalmente, fue diseñado para desalojar aguas pluviales, en la actualidad se está utilizando como salida de las tres cuartas partes de las aguas residuales de la ciudad de México durante el estiaje, convirtiéndose en el conducto principal en el desalojo de las aguas combinadas, y por ello no ha sido posible su inspección integral, y no fue hasta finales de 2007 y principios de 2008 que se realizó en su primer etapa la inspección y rehabilitación del túnel del Emisor Central.

RESUMEN

En los últimos años el Gobierno Federal y el del Distrito Federal, se han dado a la tarea de investigar la situación del túnel Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, con la finalidad de darle solución a los perjuicios provocados por las inundaciones y a un posible colapso del mismo, es por ello que en esta tesis se da a conocer la problemática real del túnel y las alternativas de solución planteadas por especialistas, tanto del Colegio de Ingenieros Civiles de México, como del Instituto de Ingeniería de la UNAM, así como de las empresas encargadas de su rehabilitación.

Esta tesis cuenta con tres capítulos que se describen a continuación: En el capítulo uno se mencionan las soluciones que se le dan a la problemáticas de las inundaciones que durante varios años afectó a la Ciudad de México, desde la Gran Tenochtitlán hasta la época actual, así como la descripción del sistema de drenaje profundo de la ciudad de México, su funcionamiento, el Plan Maestro de Drenaje de la zona Metropolitana de la Ciudad de México 1994 – 2010 y la situación actual del túnel del Emisor Central; el capítulo dos, se plantea la problemática para realizar la inspección y la rehabilitación del túnel del Emisor Central y finalmente el capítulo tres, describe en forma general las alternativas de solución, que facilitaron la inspección y rehabilitación del túnel del Emisor Central, así como las obras alternas que ayudaran a disminuir las inundaciones, como es el caso de la construcción del Emisor Oriente.

OBJETIVOS

GENERAL

Exponer la problemática del túnel del Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, así como las soluciones, que permiten garantizar su correcto funcionamiento.

PARTICULARES

1. Dar a conocer los principales daños del Emisor Central, detectados durante la inspección física al túnel en el 2008.
2. Informar de las alternativas de solución para la rehabilitación del túnel del Emisor Central, de acuerdo con los daños detectados, derivadas de las diversas inspecciones realizadas por métodos indirectos y directos.
3. Exponer los trabajos llevados a cabo para la rehabilitación del túnel del Emisor Central.
4. Que con este trabajo la comunidad tenga bases sólidas para formarse un criterio acerca del funcionamiento y deterioro del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

1. CONSIDERACIONES GENERALES.

1.1. Breve aspecto histórico.

Tanto en la antigüedad como en la época actual, el territorio en donde se asientan los pueblos origina muchos de los retos que deben enfrentar sus habitantes para alcanzar el desarrollo; tal es el caso de la Ciudad de México, que por su ubicación, tuvo que hacer frente durante varios siglos, al problema de las inundaciones como a continuación se describe:

- En el siglo XIII los aztecas se asentaron en el Valle de México estableciéndose en el islote de la Gran Tenochtitlán, ubicado en un valle en el que las corrientes de los ríos y de pequeños manantiales procedentes de la sierra, ocasionaron desde entonces inundaciones constantes en las épocas de continuas precipitaciones.

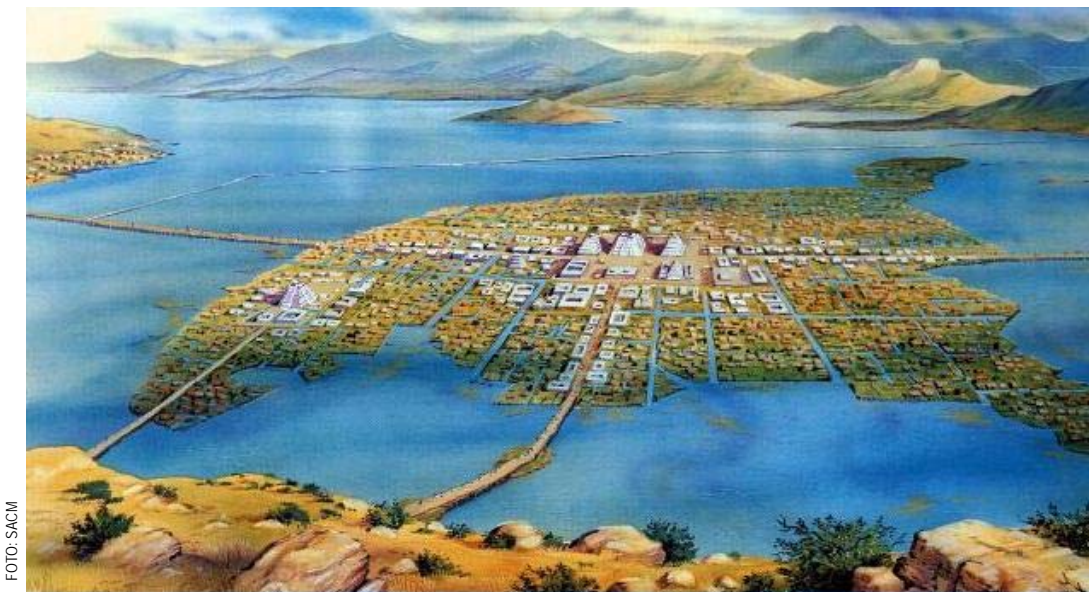


FOTO: SACM

Fig. 1.1 La Gran Tenochtitlan.

-
- Para proteger a la Gran Tenochtitlán de los perjuicios provocados por las inundaciones y al mismo tiempo impedir que las aguas saladas del lago de Texcoco se mezclaran con las dulces de Xochimilco y Chalco, en el año de 1450 el rey Netzahualcóyotl diseñó y dirigió la construcción de un muro de represamiento (albarradón) que tenía una longitud mayor a doce kilómetros y cuatro metros de ancho.



Fig. 1.2 Albarradón de Nezahualcóyotl.

- En 1555 después de la primera gran inundación del México colonial, el Virrey Don Luis de Velasco ordenó la construcción del albarradón de San Lázaro y surgió la idea de parte de Don Francisco Gudiel, de construir un desagüe artificial. Otra medida tomada, fue la de cambiar el albarradón de Netzahualcóyotl, ya inservible, por otro más cercano a la ciudad y de esa manera reparar las cuatro calzadas que unían a ésta con la tierra firme.
- En 1579 tras una nueva inundación, el Arquitecto Claudio de Arciniega, retomó la idea del desagüe general, por lo que propuso dar salida a las aguas por el pueblo de Huehuetoca, por Nochistongo hasta el río Tula, pero debido a la magnitud y costo de la obra, el Virrey Don Martín Enríquez de Almansa se limitó a reponer de nueva cuenta los diques y calzadas.

-
- En 1604 volvió a inundarse la ciudad, provocada principalmente por los escurrimientos del río Cuautitlán, que ocasiono numerosas muertes y cuantiosos daños materiales.
 - En 1607 ocurrió una magna inundación, del tal forma que solo se transitaba en canoas y fue hasta noviembre de ese mismo año que se comenzó la magna obra de desagüe en el noroeste del Valle de México, proyecto propuesto por Enrico Martínez en 1580, quien planteo la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo. Pero por falta de revestimiento ocurrieron derrumbes que inutilizaron el túnel, entonces se decidió sustituirlo por un tajo, finalmente empezó a operar en 1789.



FOTO: SACM

Fig. 1.3 Tajo de Nochistongo.

- Entre 1803 y 1804 Humboldt inspecciono las obras hidráulicas de Enrico Martínez, llego a la conclusión de que había que complementarlo para drenar el Valle con un gran canal de desagüe.
- De nueva cuenta en 1856 la ciudad sufrió otra gran inundación por lo que a principios de ese año el ministro de Fomento, el ingeniero Manuel Siliceo, congregó en una junta a 30 personalidades, entre técnicos, políticos, científicos, legisladores y eclesiásticos, con el fin de encontrar propuestas viables. Finalmente se lanzó una convocatoria para que especialistas nacionales y extranjeros presentaran un proyecto integral de las obras hidráulicas de la cuenca de México, ofreciéndose un premio de doce mil

pesos oro al vencedor. El plan más completo y mejor calificado fue del ingeniero Francisco de Garay, que comprendía el Gran Canal del Desagüe y el primer Túnel de Tequisquiac, además se harían tres canales secundarios, el del Sur, el de Oriente y el de Occidente. Finalmente las obras del Gran Canal y el primer Túnel de Tequisquiac se inauguraron en el año 1900.

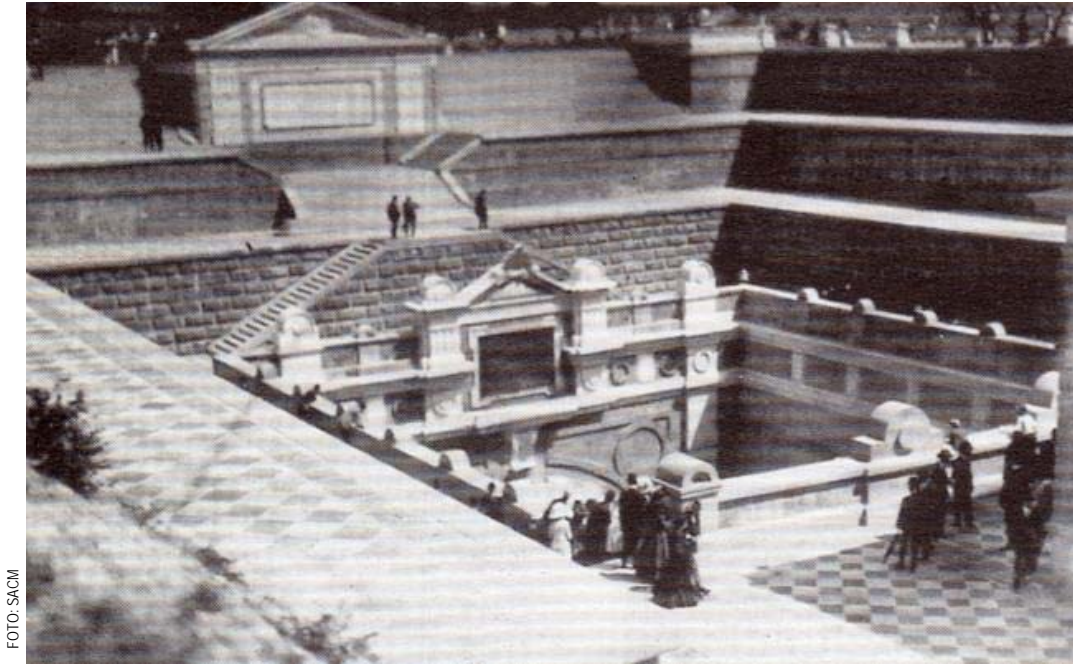


FOTO: SACM

Fig. 1.4 Primer túnel de Tequisquiac.

- En 1930 se terminó la primera red de drenaje que trabaja por gravedad, consistente en un sistema de tuberías que descargaban en el Lago de Texcoco y el Gran Canal.
- Entre los años de 1930 a 1940 se había duplicado a casi dos millones de habitantes del Valle de México, como consecuencia del crecimiento demográfico y de la expansión urbana, el sistema de drenaje recién creados se volvió insuficiente, provocando varias inundaciones graves en las partes bajas de la ciudad, aunado a esto el hundimiento cada vez más acelerado del suelo, como consecuencia de la sobreexplotación de los mantos acuíferos, afectando al sistema de drenaje y por ende la disminución de su capacidad para desalojar las aguas del Valle, lo que motivó la ampliación del Gran Canal y la construcción del segundo túnel de Tequisquiac.

-
- En 1951 la ciudad vuelve a sufrir grandes inundaciones y para atender la problemática en el año de 1952 se creó la Comisión Hidrológica del Valle de México, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.
 - Con el propósito de hacer frente al problema de las inundaciones, al hundimiento de la ciudad y al abastecimiento de agua potable en 1953 el Departamento del Distrito Federal creó la Dirección General de Obras Hidráulicas; esta última dio a conocer un plan general, pero no fue hasta 1959, cuando se pensó que la solución del problema sería la realización de un sistema de drenaje profundo.
 - Para poder llevar a cabo la construcción del drenaje profundo se llevaron a cabo estudios hidrológicos e hidráulicos, análisis geológicos de estratigrafía y de sismicidad y estudios complementarios realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, con el objetivo de garantizar y comprobar todos los cálculos teóricos se solicitó a la institución un modelo de Emisor, para verificar el funcionamiento hidráulico y el de las descargas de los colectores a los interceptores profundos, y se atendieron también los aspectos económicos y financieros. Finalmente, en 1967 se aprueba el proyecto del Drenaje Profundo, importante obra de la ingeniería mexicana del siglo XX.
 - Los trabajos comenzaron en las lumbreras y posteriormente se atacaron los frentes del túnel. En 1971 se creó el consorcio Túnel, S. A., conocido como TUSA; éste agrupó a los contratistas de la obra bajo un solo mando. Sobre la marcha tuvieron que enfrentar diversas dificultades, lo que produjo el desarrollo de distintas técnicas para lograr el éxito final. Particularmente, en la Ciudad de México, el túnel tenía que atravesar suelos de muy poca resistencia, pero también el avance fue difícil cuando se hicieron perforaciones en zonas de roca sólida. Los túneles que forman parte del Sistema de Drenaje Profundo alcanzaron 68 km de longitud y se revistieron de concreto armado y concreto simple. Las obras concluyeron en el año de 1975, iniciando operaciones ese mismo año.



Fig. 1.5. Construcción del Emisor Central.

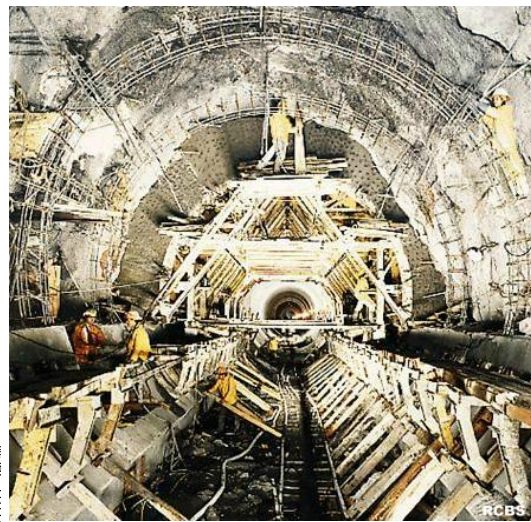


Fig. 1.6. Construcción del Emisor Central.



Fig. 1.7 Emisor Central.

- Es indudable que, a lo largo de los años, se fueron acumulando experiencias de trabajo fundamentales para el proyecto final. En el Sistema de Drenaje Profundo se pusieron en juego avanzados conocimientos y novedosas técnicas, frutos del desarrollo de la ingeniería mexicana contribuyendo a la construcción de México y dejando un legado de conocimientos para las futuras generaciones.

1.2. Descripción del Sistema de Drenaje Profundo.

El objetivo principal del Sistema de Drenaje Profundo es captar, conducir y desalojar oportuna y eficazmente las aguas pluviales y residuales a través de un conjunto de grandes conductos, con más de 165 km de túneles en operación, a profundidades que varían entre 15 y 220 m. Sin este tipo de obras no sería posible evitar las inundaciones en las zonas centro y sur-oriente del Distrito Federal, convirtiéndose en una de las obras más importante de la historia hidráulica de la Ciudad de México.

Este tipo de infraestructura hidráulica por sus características y profundidad su operación no requiere de bombeos ya que opera por gravedad y no es afectada por los hundimientos del subsuelo; su estructura es resistente a los efectos de los sismos, además, de que aprovecha la infraestructura existente, por lo que resulta muy económico a largo plazo.

El Sistema de Drenaje Profundo esta integrado por un conjunto de interceptores que captan las descargas de los conductos superficiales o colectores (estos últimos, con tránsito de poniente a oriente); y posteriormente, los del Emisor Central que desaloja los escurrimientos fuera de la Ciudad de México.

Actualmente, el drenaje profundo esta compuesto por las estructuras que se describen a continuación:

Interceptor Oriente

En su tramo norte, comienza en las calles de Agiabampo y Troncoso; por esta calle se va hacia el norte hasta la calzada I. Zaragoza. A partir de aquí el túnel se deflexiona para continuar en forma paralela al Gran Canal hasta la calzada San Juan de Aragón; donde el túnel se dirige hacia el oriente para alcanzar la Av. Eduardo Molina y así llegar hasta la lumbrera 8 "C", que se localiza en el cruce de la avenida Oriente 157 y la calle 72 de la colonia Salvador Díaz Mirón, hasta confluir en la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtémoc.

Las aportaciones recibidas directamente provienen de una área de 13,226 km², de la cuenca del Río Cuauhtémoc más una zona pequeña en su inicio, y descarga en él parcialmente el Gran Canal del Desagüe a través de la obra de toma del cual depende para su drenaje gran parte del centro y norte del Distrito

Federal, aunque también cuenta con una captación en la lumbrera 13 ubicada en la colonia La pastora, para el desfogue de la laguna de regulación El Arbolillo en Cuatepec, con la que se beneficia una parte de la delegación Gustavo A. Madero.

La longitud total de este Interceptor es de 28 kilómetros con diámetro de 5 metros con una pendiente media de 5 milésimas y una capacidad de conducción de 85 m³/s.



FOTO: RCBS

Fig. 1.8. Colado de las dovelas.



FOTO: RCBS

Fig. 1.9. Dovelas.



FOTO: SACM

Fig. 1.10. Escudo excavador.



FOTO: RCBS

Fig. 1.11. Colocación de dovelas.

Interceptor Oriente-Oriente

Este interceptor inicia en la parte norte de la laguna de regulación "El Salado", ubicada en el cruce de las Avenidas Texcoco y Kennedy, para concluir en la lumbrera 6 del Interceptor Oriente-Sur, en la esquina de Canal de San Juan e Ignacio Zaragoza.

Por medio de lumbreras de captación alivia a los colectores que drenan la zona nororiente de la delegación Iztapalapa, la laguna de regulación "El Salado", que a su vez recibe la aportación de los colectores Kennedy, Zaragoza Norte y San Miguel Teotongo y los colectores Las Torres, Santa Martha-Ejército de Oriente, entre otros.

Tiene una longitud de 7.2 kilómetros, diámetros de 3.10 y 5 metros y una capacidad de 90 m³/s.



Fig. 1.12. Interceptor Oriente-Oriente, túnel con revestimiento primario a base de dovelas de concreto.



Fig. 1.13. Interceptor Oriente-Oriente, armado de túnel con varilla de acero.



Fig. 1.14. Cimbra telescópica, vista interior.



Fig. 1.15. Cimbra telescópica, vista exterior.

Interceptor Central

Este conducto se encuentra construido desde la lumbrera 4A, en el cruce de las avenidas Dr. Vértiz y Obrero Mundial hasta la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtémoc.

Alivia al Río de La Piedad por medio del Interceptor Obrero Mundial, y capta los colectores Tabasco, 5 de Mayo, Héroes, Río Consulado, Cuitláhuac, Fortuna y Moyobamba. También cuenta con obras de toma de los ríos de Los Remedios y Tlalnepantla. Beneficia a las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y parte de la Benito Juárez. Tiene un diámetro de 5 metros, longitud de 16.10 kilómetros, pendiente de 5 milésimas y una capacidad de 90 m³/s.

Capta las aportaciones de la zona centro de la ciudad, y el área de aportación comprendida entre el Interceptor Centro-Poniente y el Interceptor Central, sumando un total de 69.71 km².

Interceptor Centro Poniente

Se inicia en la lumbrera 14 del Interceptor del Poniente, a un costado del Museo Tecnológico de la Comisión Federal de Electricidad, en la segunda sección del Bosque de Chapultepec, y termina en la lumbrera 1 del Emisor Central, en el Cerro del Tenayo.

Posee estructuras de captación en cinco lumbreras, que captan a los colectores Rubén Darío, Río San Joaquín, Refinería Trujillo, Salomón Lerdo de Tejada y al Colector 15; con lo que benefician a gran parte de las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco. Además alivia al Interceptor del Poniente en la lumbrera 14 de éste último.

Tiene una longitud total de 16.00 kilómetros que corre en dirección norte; el área de aportación de este sistema es de 39.19 km², y está urbanizada al 100%.

El interceptor tiene un diámetro de 4 metros, una pendiente media de 13 milésimas y una capacidad de 40 m³/s. Drena las aguas generadas al oriente del Interceptor del Poniente desde el Río Consulado hasta el Emisor Central, y apoya a éste cuando es necesario.

Interceptor Centro-Centro

Este Interceptor une los Interceptores Central y Oriente. Se inicia en la lumbrera 1, ubicada en la esquina de las calles Dr. Duran y Dr. José María Vértiz y termina en la lumbrera 4, en Agiabampo y Francisco del Paso y Troncoso.

Beneficia a algunas colonias de la zona centro del Distrito Federal. Para esto se construyó una estructura para el Colector 10 en la lumbrera 2, la cual conducirá las aguas del Interceptor Oriente, que a su vez alivia al río Churubusco y al Interceptor Canal Nacional-Canal de Chalco.

El interceptor tiene una longitud de 3.7 kilómetros, un diámetro de 5 metros, una pendiente media de 3 milésimas y una capacidad de 90 m³/s.

Interceptor Obrero Mundial

Este se encuentra en la delegación Benito Juárez, su trazo es paralelo al Río de la Piedad, capta a este último en la lumbrera 2 por medio del Colector Xochicalco, y los escurrimientos de la zona poniente de la delegación Benito Juárez a través del Colector Pestalozzi, en la lumbrera 1 para descargarlos posteriormente en la lumbrera 4 en los inicios del Interceptor Central.

Tiene una longitud de 0.80 kilómetros, diámetro de 3.20 metros y una capacidad de 20 m³/s.

Interceptor Iztapalapa

Este interceptor beneficia a la delegación Iztapalapa, en la zona oriente de la Ciudad de México. Recibe los desfuegos de las lagunas Mayor y Menor de Iztapalapa y de los colectores Indeco Sur y Norte conduciendo las aguas residuales a la Planta de Bombeo Central de Abasto II de 20 m³/s de capacidad, que a su vez las incorpora hacia el río Churubusco. En su trayecto recibe la descarga de los colectores Rojo Gómez, Manuel M. Rojas y Paraje San Juan. Tiene un área de aportación urbanizada de 11.6 km² y 0.516 km² de área no urbana, sumando un total de 12.15 km².

Tiene una longitud de 5.5 kilómetros y diámetro de 3.10 metros, capacidad de 20 m³/s con una pendiente media de 7 milésimas.

Interceptor Oriente Sur

Este interceptor inicia en la lumbrera 1, ubicada entre las calles Iztaccíhuatl y Anillo Periférico, en Iztapalapa, para concluir en la lumbrera 5 del Interceptor Oriente, en Francisco del Paso y Troncoso, esquina calzada Ignacio Zaragoza.

Este interceptor descarga hacia el entubamiento del Río Churubusco por medio de la planta de bombeo Zaragoza de 20 m³/s, además de invertir su funcionamiento en caso necesario, se benefician las delegaciones Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza.

Tiene una longitud de 13.8 kilómetros, 5 metros de diámetro, una capacidad de 80 m³/s y una pendiente media de 5 milésimas.

Interceptor Canal Nacional-Canal de Chalco

El trazo de este interceptor inicia en la lumbrera 0, en avenida Río Churubusco y Canal Nacional. Su trazo continúa en forma paralela al Canal Nacional hasta el Eje 3 Oriente, para continuar por éste hasta la Calzada de la Virgen, por la que corre en dirección oriente hasta la confluencia de los canales Nacional y de Chalco. Continúa en forma paralela a éste para terminar en la laguna de regulación San Lorenzo en la delegación Tláhuac.

En el conducto se descarga las aguas de la Ciénega Grande para incorporarlas al río Churubusco por medio de la Planta de Bombeo Miramontes con capacidad de 20 m³/s, beneficiando a las delegaciones Coyoacán, Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac.

El Túnel tiene una longitud de 11.64 kilómetros, una pendiente media de 4 milésimas, diámetros de 3.10 y 3.20 metros y una capacidad de 20 m³/s.

Interceptor del Poniente

El interceptor del Poniente entra en operación en el año de 1960, con una inversión total de 125 millones de pesos, se ubica al Poniente de la ciudad de México, entre las coordenadas geográficas 19°20'15", 19°28'25" latitud norte y 99°11'28", 99°13'40" longitud oeste, su sentido de escurrimiento es de sur a norte, comienza en Av. Revolución en San Ángel, donde recibe las aguas del Río Magdalena y en su curso capta a los ríos: San Ángel, Tequilasco, Río de los Muertos, Mixcoac, Becerra, Tacubaya, Dolores, Barrilaco, Tecamachalco y San Joaquín, con los colectores tributarios, desde Villa de Obregón hasta Naucalpan de Juárez; a una elevación aproximada de 25 m sobre el nivel general del Valle de México, descarga sus gastos como etapa inicial en el Río Hondo y éste a su vez, los conduce al Vaso de Cristo que finalmente desaloja por el Río Cuautitlán y el Tajo de Nochistongo. Es un conducto de concreto armado y tiene un desarrollo de 16.20 km, los cuales están construidos en túnel circular de 4.0 m de diámetro con capacidad de conducción de 25 m³/s; cuenta con una pendiente media de 5 milésimas.

En su trayectoria recibe las descargas de 16 colectores en el D.F. y 3 en el Estado de México. En la lumbrera 14 se cuenta con una estructura de descarga al Interceptor Centro Poniente del Sistema de Drenaje Profundo a la altura del Bosque de Chapultepec.

La función principal del Interceptor del Poniente, es la de aliviar en época de lluvias, a los principales colectores y cauces; evitando su saturación en las partes bajas de la zona poniente, ya que conduce las aguas residuales y pluviales que se generan en esta área.



FOTO: RCBS

Fig. 1.16. Revestimiento definitivo.

Emisor Central

El Emisor Central es la cuarta salida y el conducto principal del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México. Su construcción se inició en 1967, entró en operación el año de 1975, recibe las descargas de los interceptores Centro-Poniente, Central y Oriente, su trazo inicia en Cuauhtepac, en la delegación Gustavo A. Madero, atraviesa la autopista México-Querétaro a la altura de Cuautitlán y continúa paralelamente a esta hasta el puente de Jorobas, donde la vuelve a atravesar. Ahí se dividen las cuencas del Valle de México y de río El Salto. Descarga en este último a través del portal de salida y las aguas se conducen hasta la presa Requena o al canal El Salto-Tlamaco y posteriormente al río Tula y a la presa Endó. El río Tula es influente del Moctezuma y este, a su vez, del Pánuco, que finalmente descarga en el Golfo de México.

El Emisor Central es un túnel formado por una sección circular de 6.5 metros, con una pendiente geométrica de 2 milésimas, 50 kilómetros de longitud y revestido en su totalidad con concreto hidráulico de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con cemento tipo V, para desalojar un gasto de $220 \text{ m}^3/\text{s}$ a una velocidad de 6 m/s las aguas del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

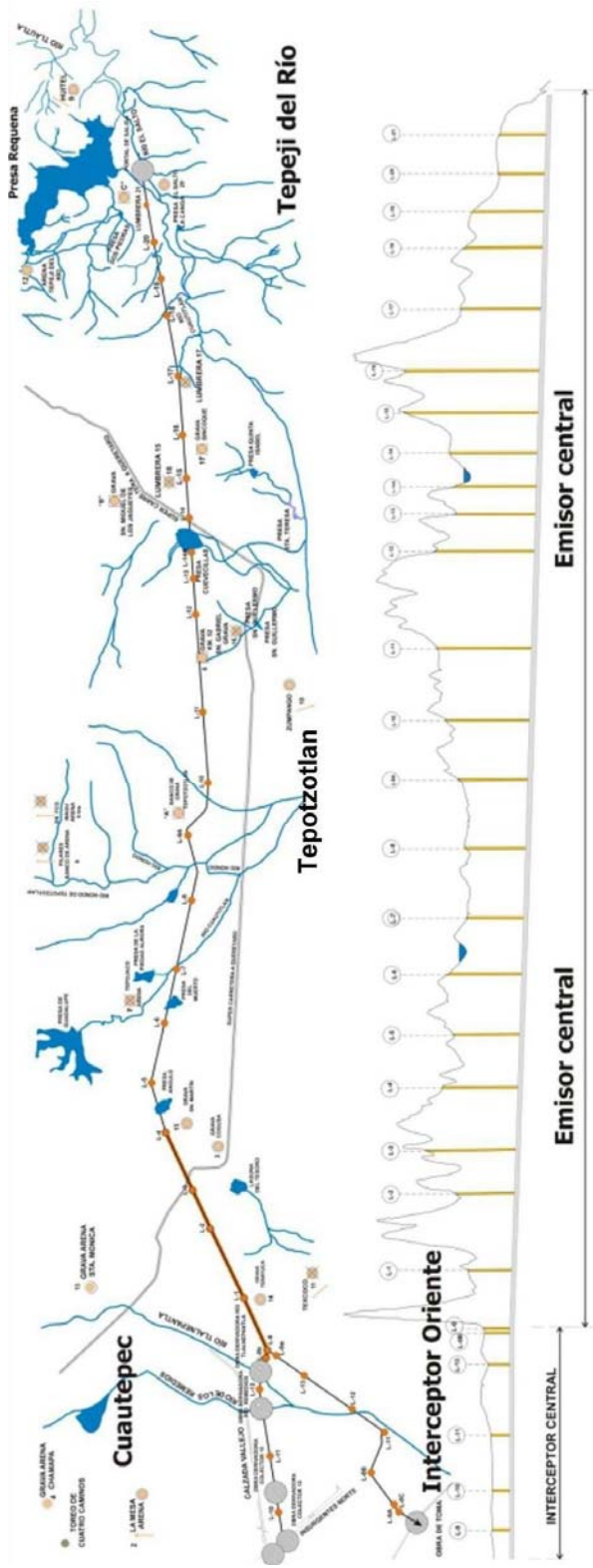


Fig. 1.17. Trazo del Emisor Central.

FOTO: SACM



Fig. 1.18. Emisor Central.



Fig. 1.19. Portal de Salida del Emisor Central.

Infraestructura

El 94% de la población cuenta con el servicio de drenaje correspondiente a 12,344 km de longitud, este sistema está integrado de la siguiente manera: 2,107 km de red primaria formada por tuberías con diámetros mayores de 60 cm. hasta 4.00 m y 10,237 km de red secundaria formada por los sistemas de atarjeas que recolectan las aguas residuales y pluviales provenientes de las descargas domiciliarias y de las coladeras pluviales existentes en las calles integrada por conductos con diámetro máximo de 45 cm que a su vez descargan a la red de colectores; 144 km de colectores marginales, 181 plantas de bombeo; 78 estaciones para la medición en tiempo real.

El sistema general de desagüe está formado por 17 presas, 10 lagos y lagunas de regulación con capacidad conjunta de 15.7 millones de m³.

Los cauces a cielo abierto son el Gran Canal del Desagüe, Río de los Remedios, Río Tlalnepantla, San Buenaventura, Río San Javier, Río Cuauhtepac, Canal Nacional, y Canal de Chalco sumando un total de 133 km.

Los ríos Churubusco, La Piedad, Consulado y Gran Canal en parte son ríos entubados que suman 49 kilómetros. El sistema de presas tiene una capacidad total de 3.4 m³.



FOTO: SACM

Fig. 1.20. Gran Canal de Desagüe KM 18 + 500.



FOTO: SACM

Fig. 1.21. Gran Canal.

En resumen la infraestructura del sistema de drenaje profundo se compone de la siguiente manera.

Redes de drenaje	12,344 km
Colectores marginales	145 km
Plantas de bombeo	181
Presas	17
Lagunas y lagos de regulación	10
Drenaje profundo	166 km en operación
Cauces a cielo abierto	133 km
Cauces entubado	49 km

Cuadro 1.1 Infraestructura del sistema de drenaje profundo

Actualmente el drenaje profundo está compuesto por una red de túneles que se describen en el cuadro 1.2.

Túnel	Longitud (km)	Diámetro (m)	Capacidad (m ³ /s)
Interceptor Iztapalapa	5.50	3.10	20
Interceptor Obrero Mundial	0.80	3.20	20
Interceptor Canal Nacional-Canal de Chalco	11.64	3.10 y 3.20	20
Interceptor Centra Poniente	16.00	4.00	40
Interceptor Central	16.10	5.00	90
Interceptor Oriente	28.00	5.00	85
Interceptor Oriente-Sur	13.80	5.00	80
Emisor Central	50.00	6.50	220
Interceptor Centro-Centro	3.70	5.00	90
Interceptor Poniente	16.20	4.00	25
Interceptor Oriente-Oriente	3.40	5.00	90
Interceptor Gran Canal	1.00	3.10	90
Interceptor Río de los Remedios (en proceso de construcción).	10.70	5.00	80

Cuadro 1.2. Red de túneles del sistema de Drenaje Profundo.

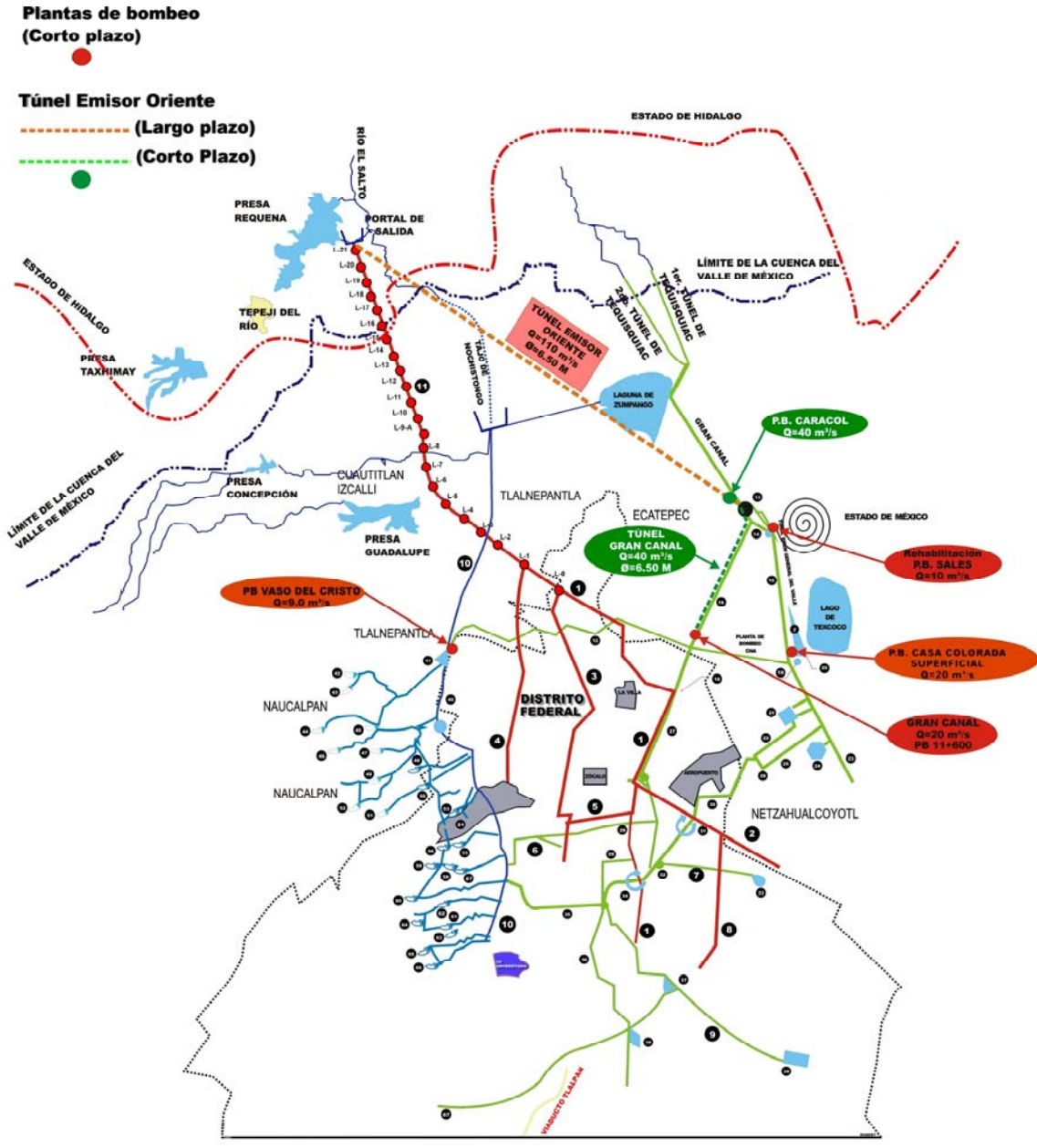


Fig. 1.22. Esquema actual de operación del sistema de drenaje profundo.

SHAD/2020

Referencias del esquema de la página anterior.

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1 Interceptor Oriente | 35 Río Churubusco |
| 2 Interceptor Oriente-Oriente | 36 Colector Miramontes |
| 3 Interceptor Central | 37 Laguna Cienega Grande |
| 4 Interceptor Centro Poniente | 38 Laguna Cienega Chica |
| 5 Interceptor Centro-Centro | 39 Laguna San Lorenzo Tezonco |
| 6 Interceptor Obrero Mundial | 40 Planta de Bombeo Río Hondo |
| 7 Interceptor Iztapalapa | 41 Vaso del Cristo |
| 8 Interceptor Oriente Sur | 42 La Colorada |
| 9 Interceptor Canal Nacional-Canal de Chalco | 43 El Colorado |
| 10 Interceptor Poniente | 44 Las Julianas |
| 11 Emisor Central | 45 Los Arcos |
| 12 Río de los Remedios | 46 Totolica |
| 13 Planta de Bombeo km 18 + 500 | 47 Los Cuartos |
| 14 Planta de Bombeo CNA | 48 Periodista |
| 15 Túnel Dren General del Valle | 49 El Sordo |
| 16 Gran Canal Estado de México | 50 San Joaquín |
| 17 Laguna Casa Colorada | 51 El Capulín |
| 18 Obra de toma Gran Canal | 52 Hondo |
| 19 Planta de Bombeo Texcoco | 53 Dolores |
| 20 Planta de Tratamiento Texcoco Norte | 54 Chapultepec |
| 21 Laguna de Regulación Horaria | 55 Ruiz Cortinez |
| 22 Brazo Izquierdo | 56 Tacubaya |
| 23 Río de la Compañía | 57 Becerra A |
| 24 Lago Churubusco | 58 Becerra B |
| 25 Brazo Derecho | 59 Becerra C |
| 26 Planta de Bombeo Lago | 60 Mixcoac |
| 27 Gran Canal Distrito Federal | 61 La Mina |
| 28 Río de la Piedad | 62 Tarango |
| 29 Colector Apatlaco | 63 Las Flores |
| 30 P.B. Zaragoza | 64 Tequilasco |
| 31 Colector Churubusco | 65 Texcalatlaco |
| 32 P.B. Central de Abastos | 66 Anzaldo |
| 33 Laguna Iztapalapa | 67 Río San Buenaventura |
| 34 P.B. de Miramontes | |

1.3. Funcionamiento hidráulico.

La cuenca del Valle de México es un área cerrada y rodeada por montañas, carente de salidas naturales para los escurrimientos superficiales generados en la misma, se localiza en la parte sur de la Mesa Central, la extensión de la cuenca es de 9,600 km²; sus longitudes máximas se localizan de noreste a sureste con 110 km, y de este a oeste con 80 km, aproximadamente. Su superficie esta constituida por Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Distrito Federal y el Estado de México.

El Distrito Federal está situado en la parte suroeste de la cuenca, aproximadamente entre las latitudes norte 19° 03' 53" y 19° 35' 33" y las longitudes 98° 57' 09" y 99° 22' 15" al oeste del meridiano de Greenwich, el D.F. ocupa aproximadamente 1,344 km² de los 9,600 km² de la extensión total de la Cuenca del Valle de México.



Fig. 1.23. Cuenca del Valle de México.

Para el desalojo de las aguas residuales y pluviales el sistema de drenaje de la Ciudad de México por su funcionamiento se puede dividir en cuatro grandes zonas: Poniente, delimitada por el Interceptor del Poniente; Oriente, asociada al Gran Canal del Desagüe; Sur, drenada por el río Churubusco; y Centro, drenada por el Sistema de Drenaje Profundo.

En nivel macro la trayectoria, que siguen los escurrimientos generados en el Distrito Federal es la siguiente: se inicia en las redes secundarias y primarias, continúa por el sistema principal de drenaje superficial y profundo, hasta desembocar a través de los emisores en afluentes del río Tula donde sigue su trayecto hasta dicho río y la Presa Endó. El río Tula es influente del Moctezuma y este, a su vez, del Pánuco, que finalmente descarga en el Golfo de México.

El agua del drenaje, en época de estiaje, se utiliza fundamentalmente en el riego de cultivos en las zonas de Chiconautla y Zumpango dentro del Valle de México y la mayor parte, en la zona de Tula en el Estado de Hidalgo. En total se riegan 90,000 hectáreas con las aguas del drenaje del Valle de México.

Por otra parte, como ya vimos anteriormente, el conducto principal del sistema de drenaje profundo es el Emisor Central, formado por una sección circular de 6.5 m de diámetro, con una pendiente geométrica de 2 milésimas, 50 km de longitud y revestido en su totalidad con concreto hidráulico de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con cemento tipo V, fue diseñado para trabajar como canal con capacidad para un gasto de 220 m^3/s y una velocidad de 6 m/s.

1.4. El Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1994 – 2010.

La extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Departamento del Distrito Federal, actualmente el Sistema de Aguas de la Ciudad de México del Gobierno del Distrito Federal, con apoyo del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), elaboraron el Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1994 – 2010.

El Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1994 - 2010, es un documento de referencia en la planeación y desarrollo de la infraestructura de drenaje, así mismo reúne en un diagnóstico general las condiciones de su funcionamiento y su prospección, por lo que es necesario diseñar políticas de operación que hagan más eficiente al sistema de drenaje y disminuyan los riesgos de inundación, así como llevar a cabo las ampliaciones y modificaciones de la infraestructura bajo su orientación.

En este plan se pronostican las condiciones del crecimiento de la ciudad y se dan las soluciones técnicas y económicamente factibles en la ampliación del sistema, con la finalidad de fomentar el saneamiento de la ciudad y preservar los recursos naturales, asegurando el bienestar de la población.

Está conformado por seis capítulos, mismos que reflejan en conjunto tres etapas del estudio: el diagnóstico de la situación actual, la planeación y la programación de obras a futuro.

La primera etapa la integran los capítulos 1 y 2. El capítulo 1 presenta el marco físico – urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), el cual muestra una descripción geográfica y física de la misma que se complementa con una visión histórica del crecimiento de la población, del crecimiento urbano y de las obras de drenaje entre 1990 y 1994, además de una proyección poblacional futura y el crecimiento esperado de la mancha urbana para el año 2010.

El capítulo 2 se presenta el diagnóstico del sistema de drenaje en el cual se describe en forma detallada el funcionamiento del Sistema de Drenaje Metropolitano y Control de Avenidas, se presentan los

resultados obtenidos en los análisis de funcionamiento para cada uno de los sistemas de colectores, drenes principales y del Sistema de Drenaje Profundo.

La segunda etapa la compone el capítulo 3, en el se presenta la planeación del Sistema de Drenaje, el cual esta enfocada a definir el desarrollo del mismo, conforme al crecimiento esperado de la mancha urbana y de la población, así como la evolución del hundimiento, además presenta un resumen de los objetivos y estrategias a futuro inmediato para el adecuado funcionamiento del Sistema en su conjunto.

La tercera etapa la integran los capítulos 4 y 5. El capítulo 4 detalla la realización de obras futuras de acuerdo con las prioridades establecidas conforme a resultados presentados en la etapa del diagnóstico, por otra parte el conjunto de estructuras que opera para aliviar las zonas críticas mediante transferencias de caudales.

En el capítulo 5, presenta las políticas operativas destacando las principales acciones que deben aplicarse para el adecuado funcionamiento del Sistema.

Finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones, enfocadas a orientar el trabajo que se requiere para mejorar las condiciones del Sistema de Drenaje, y la adecuada prestación del servicio a los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El Plan Maestro incluye un catálogo de proyectos con descripción de la obra, su ubicación y beneficios que se obtendrán, asimismo el Plan Maestro de la ZMCM se sustenta en la información proporcionada por las empresas consultoras que participaron en la elaboración de estudios de apoyo.

1.5. Situación Actual.

Actualmente el drenaje de la Ciudad de México funciona mediante un sistema combinado, es decir, en los mismos ductos se transportan las aguas residuales y las pluviales. Su estructura comienza en las redes secundarias y primarias, continúa en el sistema general del desagüe, toda el agua recolectada sale del valle por alguna de las cuatro salidas artificiales que se han construido:

- Tajo de Nochistongo. Ideado por Enrico Martínez en 1580 e iniciado en 1607 como túnel, comenzó a operar en 1789. Recibe las aportaciones del emisor poniente.
- Primer túnel de Tequisquiac. Es parte del proyecto propuesto por el ingeniero Francisco de Garay en 1856. Se inició su construcción en 1865, comenzó a operar en 1895. Recibe las aguas del Gran Canal del Desagüe desde 1900.
- Segundo túnel de Tequisquiac. Se inició su construcción en 1935 pero se terminó hasta 1954, comenzó a operar en ese mismo año. Recibe caudales del Gran Canal del Desagüe.
- Emisor central. Es parte del drenaje profundo. Proyecto elaborado por la extinta Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal. Su construcción se inició en 1967. Recibe las descargas de los interceptores Centro-Poniente, Central y Oriente. Está operando desde 1975, hasta desembocar 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 al río Tula y la presa Endó. El río Tula es efluente del Moctezuma y éste, a su vez, del Panuco que descarga en el Golfo de México.

En la actualidad el sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México cuenta con más de 166 km en operación, a profundidades que varían entre 15 y 220 m. A estas profundidades su operación no es afectada por los hundimientos ocurridos en las capas superficiales; su estructura es resistente a los efectos de los sismos, por lo que resulta muy económico a largo plazo, puesto que se evita la instalación de plantas de bombeo en su trayecto.



Fig. 1.24 Portal de Salida del Emisor Central.

En junio de 2008 el Emisor Central cumplió 33 años de operación, el cual no había recibido mantenimiento desde 1993; En los últimos años, se habían realizado numerosas hipótesis sobre el estado del Sistema de Drenaje de la Ciudad de México, especialmente de su Emisor Central.

En el año 2005 el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, se realizó la inspección física en algunos de los tramos del Emisor Central comprendidos entre las lumbreras 9A – 10 y de la lumbrera 17 hasta el portal de salida, realizado por métodos indirectos con el empleo de una lancha no tripulada equipada con videocámaras y un sistema de iluminación para obtener tomas con mayor claridad; mediante el análisis de los videos obtenidos, se determino el estado que guarda el Emisor Central en los tramos mencionados, se observó lo siguiente:

- Filtraciones de agua en los diferentes tramos sin poder determinar su magnitud. Estas probablemente se incrementan en época de lluvia sin llegar a ser de gran importancia
- También se observó movimientos rápidos en la lancha principalmente en los tramos L9 A – L 10 y L 21 – Portal de Salida, lo cual hace pensar que existen obstáculos, filtraciones o desgaste en la cubeta del túnel, el cual no se tiene ninguna información del mismo por estar bajo el agua.

- En el tramo de L 21 – Portal de Salida, se evidencio zonas con exposición de acero de refuerzo en paredes y clave.
- De la medición de gases y análisis químico del agua residual que circula en los tramos estudiados del Emisor Central, se detectó que el ácido sulfhídrico (H_2S) es el único que esta fuera de los parámetros permitidos, este es el principal elemento que ataca al concreto sobre el nivel de flujo de las aguas residuales, deteriorando gradualmente a éste, manifestándose como agrietamientos y desconchamientos progresivos que reducen el concreto a un estado frágil o incluso blando.

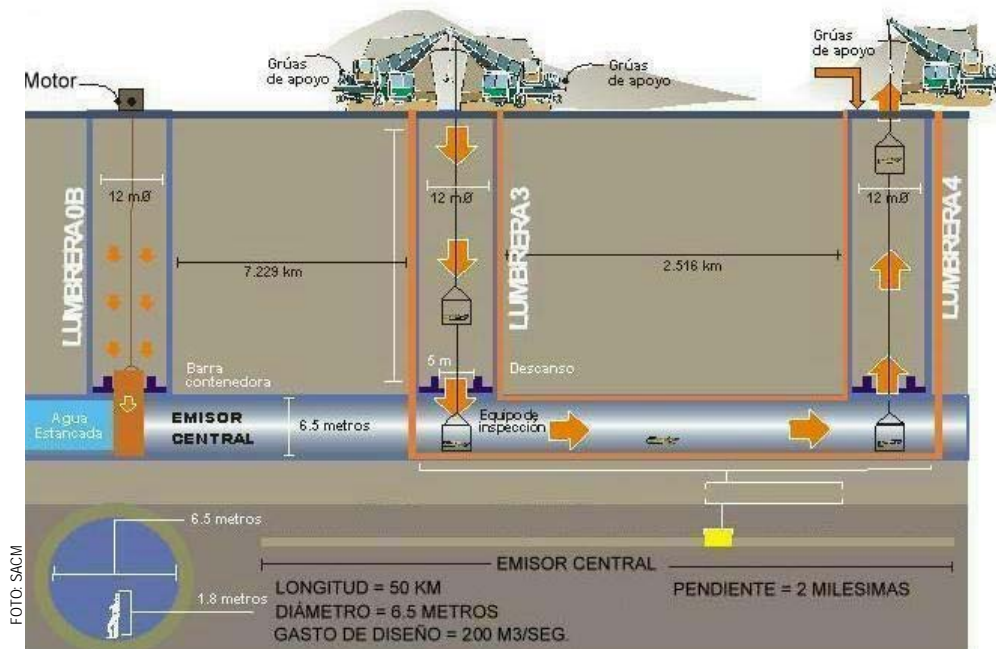


Fig. 1.25. Acciones de inspección del Emisor Central, lumbreras OB, 3 y 4.



Fig. 1.26. Lancha equipada con videocámaras y un sistema de iluminación.



Fig. 1.27. Descenso de la lancha no tripulada.

A finales de 2007 y principios de 2008, investigaciones, tanto del Colegio de Ingenieros Civiles de México, como de la Comisión Nacional del Agua y del Sistema de Agua de la Ciudad de México, así como las opiniones de diversos ingenieros de la Universidad Nacional Autónoma de México, coincidían que la situación actual del Emisor Central es que sigue reduciendo su capacidad de conducción, que hay daños estructurales, se sabe que hay un desgaste en el grosor de las paredes de los tubos, desprendimiento de concreto, varillas expuestas, peligro de derrumbes y como consecuencia del estado físico del túnel el coeficiente de rugosidad se ha modificado, es más alta la consistencia, el agua pierde velocidad y el volumen de la salida se reduce.

Debido a que, con los estudios anteriores, no se conocía el deterioro interno del túnel del Emisor Central, en los primeros meses del año 2008 el Sistema de Aguas de la Ciudad de México llevo a cabo una inspección física en el túnel del Emisor Central con ayuda de un tractor "D-6 sobre orugas", equipada con videocámaras y un sistema de iluminación para obtener tomas con mayor claridad; el personal que intervino en la inspección estuvo provisto con equipo de respiración autónoma con duración de cuatro horas y equipo adicional de una hora, así como casco, overol, botas pantaloneras, chamarra de hule y guantes, asimismo el grupo de inspección llevaba detectores de gases (sulfhídrico, monóxido de carbono, oxígeno y explosividad), al igual que radios para intercomunicación, lámparas de mano y cámaras de video y fotográfica; mediante la inspección se detecto acero expuesto, varillas sueltas, filtraciones, escarificación en paredes y clave del túnel, esto se debe a la acción de los gases, aunado al estado de la cubeta, que aunque no pudo ser observada se deduce que tiene desgaste por intemperismo mecánico, así mismo, se constato azolve en algunos de sus tramos; así como daños menores en algunas lumbreras consistente acero expuesto y la escarificación en paredes da la misma.



FOTO: RCBS

Fig. 1.28. Tractor sobre orugas tipo D-6.

Por otra parte en mayo de 2008, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México concluyó los estudios del Emisor Central, dando como resultado, el túnel no constituye riesgo de falla estructural o colapso de su capacidad hidráulica, pues la mayor parte del revestimiento tiene deterioro leve y la reducción de su capacidad de flujo se debe a la irregularidad de la superficie de dicho revestimiento.



FOTO: RCBS

Fig. 1.29. Acero expuesto en la lumbrera L-1 del Emisor Central.



FOTO: RCBS

Fig. 1.30. Filtración en la lumbrera L-O del Emisor Central.



FOTO: RCBS

Fig. 1.31. Deterioro del revestimiento de concreto en la lumbrera L-21 del Emisor Central.

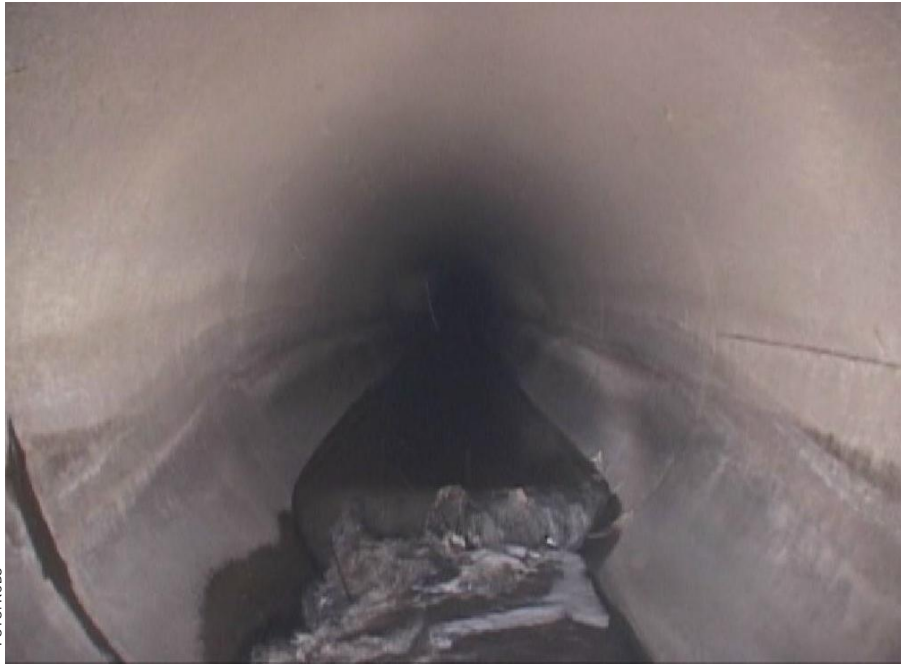


FOTO: RCBS

Fig. 1.32. Azolve en la lumbrera L-3 del Emisor Central.



FOTO: RCBS

Fig. 1.33. Daños en el revestimiento de concreto de la lumbrera 12 del Emisor Central.

Como se pudo observar en las imágenes anteriores, la situación actual del Emisor Central no constituye ningún riesgo de falla estructural, los daños mas importante es el deterioro del revestimiento definitivo, varilla expuesta en algunos tramos del túnel y lumbreras del Emisor Central.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La problemática que sufre el sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México, es tan compleja como su estructura misma, por lo que es importante considerar varios factores.

Por el año de 1930 comienza el acelerado crecimiento de la mancha urbana en la ciudad de México a la que se le debía dotar de todos los servicios, entre ellos el de drenaje, que se ha visto rebasado en su ampliación y capacidad por el incremento de los escurrimientos pluviales, al disminuir las áreas de infiltración. Este crecimiento de la población ha provocado que existan asentamientos humanos en zonas federales, cauces de ríos, presas, vasos, lagunas, así como la deforestación de las áreas verdes ocasionando que los escurrimientos en ciertas cuencas suceden con mayor rapidez, causando desequilibrio en la capacidad reguladora de algunas presas, es decir si éramos 10 millones de habitantes, ahora somos 19 millones.



FOTO: SACM

Fig. 2.1. Sistema de Presas.

Debido al crecimiento de la población, la demanda de agua potable se intensificó y para abastecer la demanda del vital líquido, se realizaron obras de perforación de pozos profundos, provocando la sobreexplotación de los mantos acuíferos, que ocasiona asentamientos regionales en el subsuelo del Valle de México. Esto ha provocado que parte del Gran Canal de Desagüe haya perdido su pendiente original. La velocidad de los hundimientos en los primeros 10 kilómetros en los últimos años ha sido de alrededor de 20 centímetros por año, provocando que el Gran Canal ya no tenga la capacidad de drenar por gravedad las aguas que conduce y que en pocos años quedará fuera de operación y el único drenaje al oriente del Interceptor del Poniente será el Emisor Central.

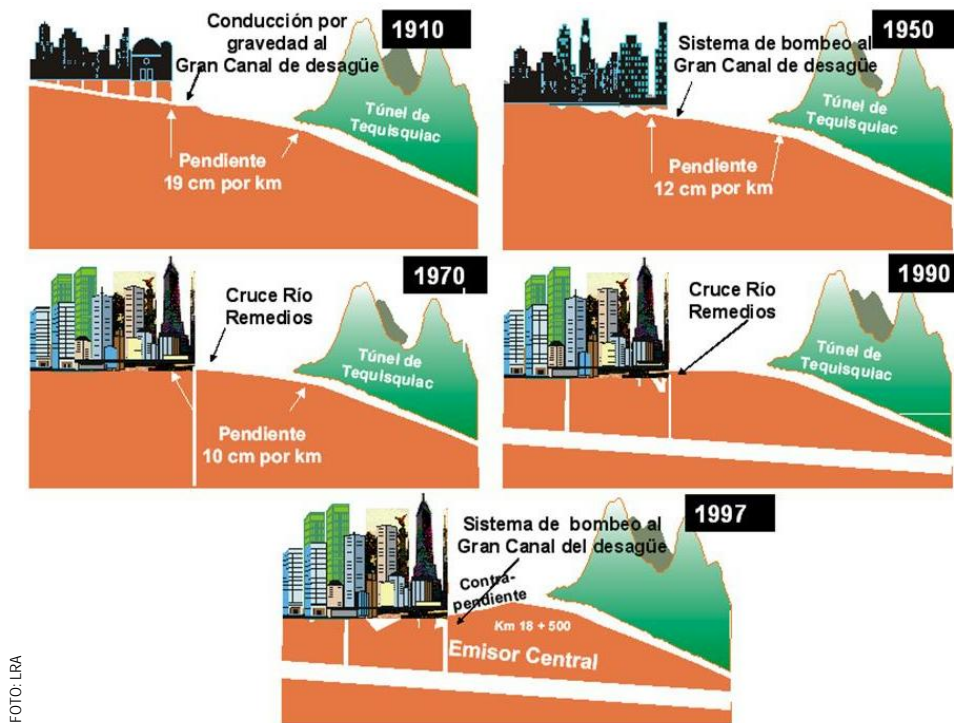


Fig. 2.2. Hundimiento de la ciudad.

Por otro lado, hace unos quince años las autoridades decidieron que el agua que conducía el Gran Canal se desviara al drenaje profundo. Esto provocó un cambio de vocación del Emisor Central columna vertebral del sistema de drenaje profundo: de trabajar sólo en la temporada de lluvias como el vertedor pluvial del Valle de México, se convirtió en un drenaje sanitario permanente, aumentando los escurrimientos de aguas residuales y pluviales, de manera que hay que corregir el funcionamiento del Gran Canal de Desagüe, ya que impide que el Emisor Central esté fuera de operación durante el estiaje.

En el valle de México la precipitación pluvial media anual es de 700 milímetros, pues cada año, de mayo a octubre, se presentan lluvias que se caracterizan por su gran intensidad y corta duración. Además, durante este periodo se acumulan grandes cantidades de azolve en los componentes del sistema de drenaje. Sin embargo, ante la realidad del cambio climático que se está viviendo en el mundo entero es posible que en un futuro se presente una precipitación constante superior a los 30 milímetros de manera ininterrumpida.

Hoy día, sabemos que la capacidad teórica del túnel del Emisor Central, se está deteriorando con el tiempo, lo único que sabemos es que por el Emisor Central, en vez de salir 180 m³/s, están saliendo 110 m³/s; estamos hablando de que está desalojando el 60% del valor inicial. También se ha detectado que las lumbreras que están a lo largo del emisor han tomado carga; esto ha implicado que el conducto principal, para desalojar un volumen menor, también tome carga, por lo cual necesariamente el coeficiente de rugosidad ha aumentado drásticamente debido al deterioro del revestimiento del concreto que afecta el funcionamiento hidráulico, como consecuencia del ataque químico de los gases y la erosión producida por los materiales sólidos.

Hay que buscar un revestimiento final del concreto, que sea resistente al ataque químico en la parte superior del túnel, y en la parte inferior a la abrasión.



FOTO: RCBS

Fig. 2.3. Emisor Central.

El hecho crítico es que hoy tenemos una capacidad total de alrededor de 150 m³/s, en lugar de los 290 m³/s que teníamos en 1975.

Capacidad del drenaje (m ³ /seg)				
Año	Interceptor del Poniente	Drenaje Profundo	Gran Canal de Desagüe	Total
1975	30	180	80	290
2007	30	110	10	150
Diferencias				
	0	-70	-70	-140
	0%	-38.8 %	-87.5 %	-48.3 %

TABLA 2.1.- PERDIDA DE LA CAPACIDAD DE DESAGÜE.

Quizás las obras de infraestructura hidráulica no sean muy lucidoras políticamente, no obstante, es indispensable garantizar el buen funcionamiento del Emisor Central no solamente para desalojar las aguas residuales de la ciudad, sino garantizar la seguridad de los habitantes.

3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

El desarrollo de la ciudad tiene una estrecha relación con el desarrollo del sistema de drenaje, por lo que es necesario llevar a cabo las ampliaciones y modificaciones de la infraestructura bajo la orientación del Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1994 - 2010. En este plan se pronostican las condiciones del crecimiento de la ciudad y se dan las soluciones técnicas y económicamente factibles en la ampliación del sistema, con la finalidad de fomentar el saneamiento de la ciudad y preservar los recursos naturales, asegurando el bienestar de la población, por lo que es indispensable tomar en cuenta lo siguiente:

3.1. Suministro del servicio.

Continuar con la ampliación del sistema de drenaje en beneficio de los habitantes de la ciudad y del área conurbada, por lo que se debe proyectar la construcción en forma integral, considerando incrementos en las redes secundarias, colectores, plantas de bombeo, presas y lagunas de regulación, además del sistema de drenaje profundo, lo que permitirá incorporar zonas del Distrito Federal que actualmente carecen del servicio y mejorar el sistema en los sitios con deficiencias.

- Las zonas que no están integradas al sistema general de drenaje, se debe continuar la construcción de drenajes separados, tratando las aguas residuales para su reuso y aprovechando el agua de lluvia para la recarga del acuífero o para uso doméstico previa potabilización.
- Impulsar el desarrollo urbano con base en la factibilidad de los servicios.

3.2. Tratamiento de aguas residuales y saneamiento de cuencas.

- Incrementar el tratamiento de aguas residuales hasta un nivel secundario y su reuso, estudiando la factibilidad de obtener un efluente que pueda ser considerado como recurso adicional de agua limpia y

segura que sustituya en algunas actividades el uso del agua potable, así como para inyectarla al subsuelo. Disminuyendo la sobreexplotación de los mantos acuíferos, la velocidad de movimientos regional, así como los volúmenes de aguas residuales generados en la ciudad.



Fig. 3.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella.

- Tratar los lodos o desechos sólidos que se originan con el tratamiento de aguas residuales, para que durante su retiro no despidan malos olores y sean bacteriológicamente seguros. Además, este tipo de lodos se pueden utilizar como mejoradores de suelos en la agricultura.
- Implantación de los mecanismos e incentivos necesarios para que las industrias traten el agua residual que generan y la reusen, de conformidad con las normas técnicas ecológicas aplicables.
- Concluir los proyectos correspondiente al programa para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el área metropolitana de la Ciudad de México, que se lleva a cabo en coordinación con las autoridades correspondientes de la Comisión Nacional del Agua, los Gobiernos del Estado de México y del Distrito Federal, quienes están de acuerdo en que el tratamiento de las aguas residuales es una necesidad impostergable y que la solución del problema debe ser a nivel regional y debe formar parte de los planes de saneamiento integral de desarrollo del Estado de México y del Distrito Federal, con el fin de reciclar las aguas generadas en la ciudad y disminuir el influente de estas aguas al sistema de drenaje.

3.3. Aspectos legislativos, administrativos e institucionales.

En cumplimiento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, se han intensificado las siguientes disposiciones:

- Aplicar las normas técnicas expedidas por la Secretaría de Educación, Salud y Desarrollo Social, para regular las descargas de aguas de las industrias al sistema de drenaje, prestando mayor atención al cumplimiento de las concentraciones máximas de los compuestos permitidos para ser económicamente depuradas en las plantas de tratamiento, y por otro lado las aguas que se conduzcan por el sistema de drenaje profundo perjudiquen su revestimiento.
- Promover la instalación de sistemas separados en los nuevos desarrollos urbanos, debiéndose además construir calles secundarias y áreas descubiertas con materiales que permitan la infiltración del agua pluvial.
- Sancionar a infractores de las normas establecidas para el uso del sistema de drenaje, y así evitar acciones que pongan en peligro su funcionamiento, afecten las condiciones ambientales, causen daño a la población o hagan económicamente incosteable el tratamiento del agua residual.

3.4. Construcción del Emisor Oriente.

En vista de que el gran Canal de desagüe en pocos años quedara fuera de operación y la falta de capacidad para desalojar los caudales generados por lluvias extraordinarias y la necesidad de inspeccionar, dar mantenimiento y reparar la red de conductos principales del drenaje de la ciudad de México (entubamientos, red de Drenaje Profundo y Emisor Central) surge la necesidad de construir una quinta salida artificial de las aguas negras y pluviales que se generan en la cuenca del Valle de México, cuyos objetivos primordiales serán:

- Aumentar la capacidad de desalojo de las aguas negras y pluviales que se generan en el Valle de México.

-
- Tener una salida adicional del Sistema de Drenaje Profundo, que daría flexibilidad a las políticas de operación en la temporada de lluvias.
 - Poder inspeccionar, dar mantenimiento y reparar el Sistema de Drenaje Profundo, incluido el Emisor Central.

Para dar la solución al problema, será necesaria la construcción de un túnel de 6.5 m de diámetro, longitud de 60 km, aproximadamente, para conducir un caudal de 160 m³/s. Este túnel emisor sería construido en dos etapas.

- La primera etapa, de 10 km aproximadamente, iría desde la confluencia del Gran Canal del Desagüe con el Río de los Remedios hasta la altura del Caracol de Texcoco, donde se construiría una planta de bombeo para 80 m³/s, que vertería sus aguas al Gran Canal del Desagüe en la zona donde éste cuenta con pendiente suficiente para conducir el caudal de bombeo.
- La segunda etapa, corresponde a una longitud de 50 km aproximadamente, e iría desde el Caracol de Texcoco paralelamente al Gran Canal del Desagüe hasta la Laguna de Zumpango, y de ahí, hasta su descarga en la Presa Endó, en el estado de Hidalgo.

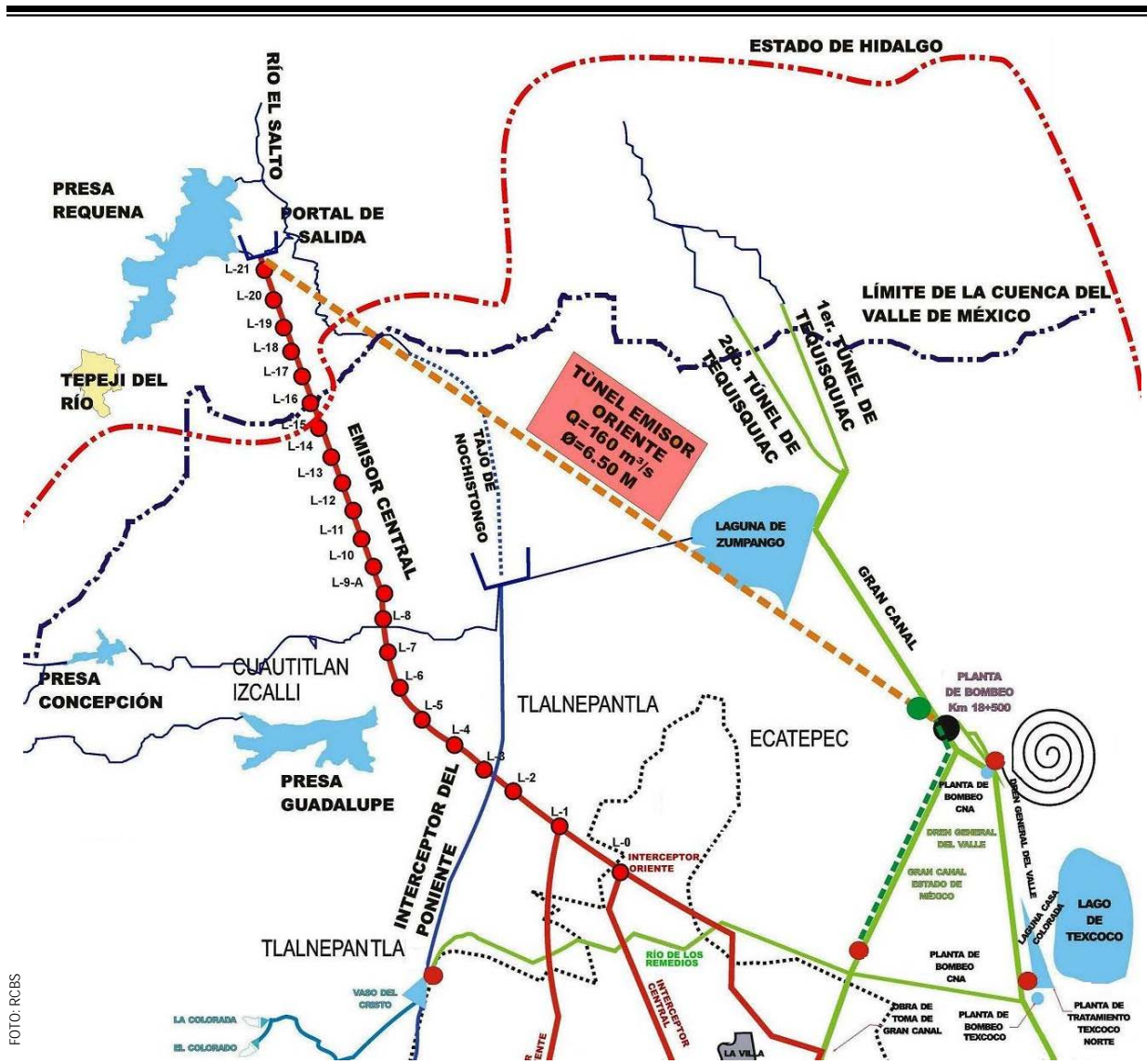


FOTO: RCBS

Fig. 3.2. Emisor Oriente.

3.5. Inspección y Rehabilitación del Emisor Central.

Como parte de las acciones que desempeño el Gobierno del Distrito Federal, para recuperar la capacidad del sistema de drenaje, se llevó a cabo "Acciones conjuntas para recobrar la capacidad hidráulica del sistema de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México", en estrecha coordinación con el Gobierno Federal a través de la Comisión Nacional de Agua, mediante recursos provenientes del Fideicomiso 1928; se tomó la decisión de realizar la construcción de 4 plantas de bombeo superficiales que permitieron la inspección y reparación del túnel del Emisor Central, así, a fin de atender la urgente necesidad de ejecutar las acciones que permitieron reducir la probabilidad de falla del mismo, mediante la evaluación directa y detallada del estado estructural para llevar a cabo las obras que resulten necesarias.

- **Planta de Bombeo Vaso "El Cristo".** Evita por un lado que las aguas provenientes del poniente de la Zona Metropolitana se envíen hacia el oriente por el río de los Remedios y que tengan que regularse en volúmenes que provoquen problemas sanitarios en la zona habitacional colindante, desviándolas hacia el Emisor del Poniente 9 m³/s.
- **Planta de Bombeo Gran Canal KM 11 + 600.** Incrementa la capacidad de desalojo del Gran Canal en un caudal máximo de operación de 21 m³/s.
- **Planta de Bombeo Casa Colorada Superficial.** Envía los excedentes de escurrimientos conducidos por el Dren General del Valle y el Río de los Remedios, al interior de la Laguna de Regulación Casa Colorada evitando con ello conducir parte del caudal hacia el Sistema de Drenaje Profundo. El Gasto máximo de Operación de esta Planta es de 20 m³/s.
- **Rehabilitación de la Planta de Bombeo Canal de Sales.** Bombea hasta 10 m³/s de agua del Dren General del Valle hacia el Gran Canal a través de los canales de desfogue y sales para los cárcamos I y III localizados en el extremo del Dren General del Valle.

El sentido de la construcción de estas cuatro plantas de bombeo es que, de no contar con ellas, ni la inspección, ni las reparaciones serían posibles, lo que permitió evitar la saturación de sus principales colectores y cauces que se ubican en las partes bajas de las zonas poniente y oriente en época de lluvias.

El manual de operación del drenaje profundo establece que durante las temporadas de estiaje se tiene que inspeccionar, dado que son túneles muy largos y construidos en formaciones geológicas complicadas, por lo que en el estiaje del 2007-2008 el Sistema de Aguas de la Ciudad de México llevó a cabo la inspección a lo largo de sus 50 kilómetros de longitud del Emisor Central y otorgar la rehabilitación requerida en una primera etapa y en etapas subsecuentes.

3.5.1 Alcances del proyecto.

Basándose en los videos tomados en los años 2005 y 2006 con las lanchas no tripuladas, provista de iluminación y cámaras de video, se estableció llevar a cabo una inspección inicial del túnel del Emisor Central, para posteriormente realizar una inspección de detalle y realizar las reparaciones mediante la inyección de contacto para la impermeabilización, así como la aplicación de concreto lanzado en los primeros 25 metros, tanto aguas arriba como aguas abajo de diversas lumbreras que fueron definidas como lumbreras de acceso al túnel.

Con antelación a la inspección fue necesario en su caso el retiro de los filtros de carbón activado, rejillas y tabletas de concreto reforzado que se encontraban sobre los brocales de las lumbreras 0, 1, 3, 5, 6, 7, 10, 12, 14A, 14, 19 y 21, con la finalidad de suministrar ventilación natural al túnel.



Fig. 3.4. Retiro de rejillas en brocal de lumbrera.



Fig. 3.5. Retiro de tabletas de concreto reforzado en brocal de lumbrera.

El objetivo de la inspección inicial fue observar y efectuar un levantamiento de los daños detectados: desgastes del concreto, acero de refuerzo expuesto y desprendido, filtraciones y azolves, etcétera.

En un inicio se planeó llevar a cabo la inspección del túnel mediante la utilización de dos camiones vehículos tipo todo terreno "Unimog", propiedad de la Comisión Federal de Electricidad, a los cuales se les adaptaron unidades adicionales de iluminación y plataforma posterior del vehículo para seguridad del personal que realizaría la inspección, un vehículo recorrería el tramo entre las lumbreras O y 9A y el otro vehículo haría el recorrido entre el portal de salida y la lumbrera 9A del Emisor Central el cual contaba con un tirante hidráulico de agua que oscilaba entre 60 y 70 cm. Asimismo, se dispuso de una grúa con canastilla para poder extraer al personal en caso de ser necesario.

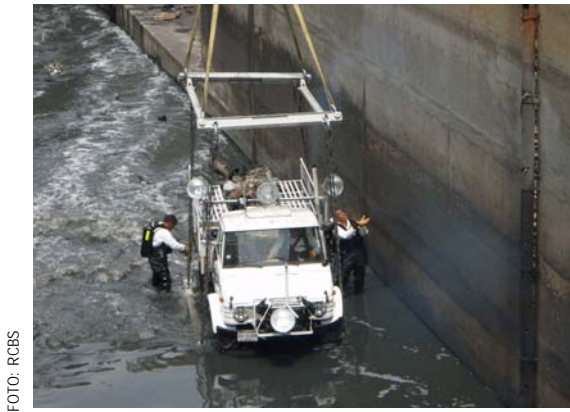


Fig. 3.6. Vehículo Unimog en portal de salida.



Fig. 3.7. Vehículo Unimog en lumbrera L0.

Durante la inspección inicial llevada a cabo por el portal de salida, el vehículo Unimog utilizado se dañó aguas arriba de la lumbrera 21 al subir un bordo formado por la acumulación de azolve y material metálico diverso, lo cual provocó que se poncharan dos llantas y se dañara el motor, el personal tuvo que salir por la lumbrera 21 y el vehículo se condujo en reversa hasta el portal de salida. Se utilizó el otro vehículo Unimog para continuar con la inspección por el portal de salida, pero debido a la presencia de varillas desprendidas en la cubeta del túnel también sufrió la ponchadura de llantas en el tramo comprendido entre la lumbrera 21 y el portal de salida.



FOTO: RCBS

Fig. 3.8. Vehículo Unimog en portal de salida.



FOTO: RCBS

Fig. 3.9. Vehículo Unimog en lumbrera L0.

Debido a lo anterior, se tomó la decisión de utilizar un tractor "D-6 sobre orugas", al que se adaptó una estructura metálica para el personal técnico que participó en la inspección, equipado con videocámaras y un sistema de iluminación.



FOTO: RCBS

Fig. 3.10. Tractor sobre orugas tipo D-6.

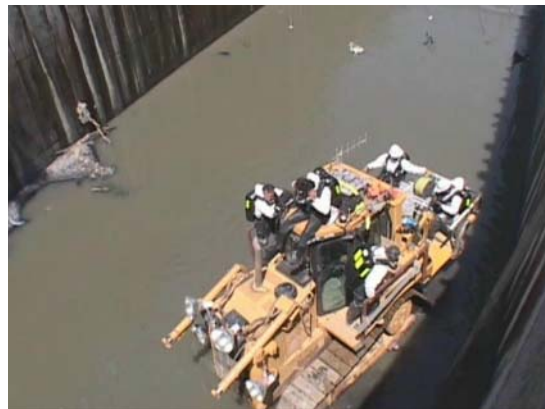


FOTO: RCBS

Fig. 3.11. Tractor sobre orugas tipo D-6.

En esta inspección inicial intervino personal del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, de las compañías supervisoras y del contratista: cuatro ingenieros, un estructurista, un buzo, un ayudante de buzo, un fotógrafo y un operador de tractor, los cuales estuvieron provistos con equipo de respiración autónoma, botas pantaloneras, overol, chamarra de hule, casco, overol, guantes, radios para intercomunicación, lámparas de mano, cámaras de video y fotográfica, así como detectores de gases (sulfhídrico, monóxido de carbono, oxígeno y explosividad).

La inspección inicial se llevó a cabo en cuatro etapas:

1. Del portal de salida a la lumbrera 17 (8.6 km).
2. De la lumbrera 17 a la lumbrera 11 (13.7 km)
3. De la lumbrera 11 a la lumbrera 5 (15.7 km).
4. De la lumbrera 5 a la lumbrera O (11.9 km).

Al término de la inspección inicial, el tractor D6 fue extraído a superficie por la lumbrera 1.

Derivado de la inspección inicial se concluyó que el túnel del Emisor Central no presenta daños estructurales que lo pongan en riesgo de colapso, que pudiera interrumpir su funcionamiento, los daños existentes en la superficie en el revestimiento del túnel en la media sección superior, y particularmente en la clave del túnel, se deben a la acción de los químicos de gases; el deterioro del revestimiento de la cubeta del túnel, es resultado de la abrasión producida por los materiales sólidos que arrastra la corriente del agua, daños que contribuyen al incremento del coeficiente de rugosidad y por ende a la reducción del gasto de salida.

Asimismo, se constató mayor presencia de gases, en el tramo de túnel comprendido entre las lumbreras OA, OB, O hasta 8, los cuales, al no poder desalojarse en forma natural por el tiro de las lumbreras, afectaron la clave del túnel, desgastando el recubrimiento y dejando el acero de refuerzo expuesto.

También, se pudo comprobar la presencia de seis obstrucciones menores (1.00 m de altura, en promedio) en la cubeta del túnel, consistentes en acumulación de azolves, principalmente en zonas donde la cubeta estaba desgastada, con el acero de refuerzo expuesto y desprendido, lo que provocaba la retención de material diverso.

3.5.2 Inspección de detalle del túnel del Emisor Central.

Previamente a la inspección de detalle del túnel del Emisor Central se cerraron compuertas en las lumbreras OA y OB lo que permitió la reducción del tirante hidráulico en el túnel, asimismo se aplicó en el interior del túnel un producto inhibidor de gases y olores.

La inspección de detalle del túnel del Emisor Central comprendido entre las lumbreras O hasta el portal de salida, fue realizada por las empresas supervisoras, la empresa supervisora Lumbreras y Túneles, S.A. de C.V. le correspondió el tramo de la lumbrera 0 a la lumbrera 9 y la empresa supervisora Dielem, S.A. de C.V. del tramo de la lumbrera 10 al portal de salida; el personal que intervino consistió en: ingenieros, auxiliares de ingeniero, topógrafos y cadeneros, quienes realizaron el recorrido a pie, con tirantes de agua del orden de 60 cm, los cuales contaron con equipo de seguridad: botas pantaloneras, overol, casco, guantes y mascarillas con filtros de carbón activado. Asimismo, utilizaron detectores de gas (monóxido de carbono, oxígeno, sulfhídrico y explosividad), lámparas de mano, radios de comunicación, cámaras de video y fotográfica, así como cintas métricas, flexómetros, estadales, etcétera.

El descenso y ascenso del personal fue por las lumbreras mediante grúa con canastilla y en algunas lumbreras con elevador tipo Alimak.



Fig. 3.12. Grúa con canastilla.



Fig. 3.13. Elevador tipo Alimak.

En la superficie de las lumbreras 0, 1, 3, 5, 6, 7, 10, 12, 14A, 14, 19 y 21 asignadas para descenso y ascenso de trabajadores, contaba con recursos humanos para verificar el paso del personal técnico que realizaba la inspección de detalle.

La inspección de detalle permitió confirmar y ampliar la información obtenida con la inspección inicial, precisando los daños menores; aunque éstos no representan riesgo a la estabilidad del túnel, se consideró conveniente repararlos con objeto de mejorar su funcionamiento; tal fue el caso del acero de refuerzo expuesto, filtraciones, agregado grueso del concreto expuesto por la erosión en la zona de recubrimiento, montículos menores en la cubeta del túnel, las cuales se retiraron. Asimismo en las

lumberas 10 y 12, presentan intemperización del concreto en sus paredes, aunque no impiden el flujo, las "lajas" del concreto se desprenden al mínimo contacto, lo cual pone en riesgo la seguridad del personal que trabaja en el túnel.



FOTO: RCBS

Fig. 3.14. Azolve, tramo lumbera 3.



FOTO: RCBS

Fig. 3.15. Acero expuesto en túnel, tramo lumbera 6.



FOTO: RCBS

Fig. 3.16. Daños en paredes del túnel.



FOTO: RCBS

Fig. 3.17. Daños en cubeta de túnel.



FOTO: RCBS

Fig. 3.18. Daños en pared de la lumbera 12.



FOTO: RCBS

Fig. 3.19. Daños en pared de la lumbera 12.

SITUACIÓN DEL TÚNEL Y LUMBRERAS DEL EMISOR CENTRAL EN MARZO DE 2008.

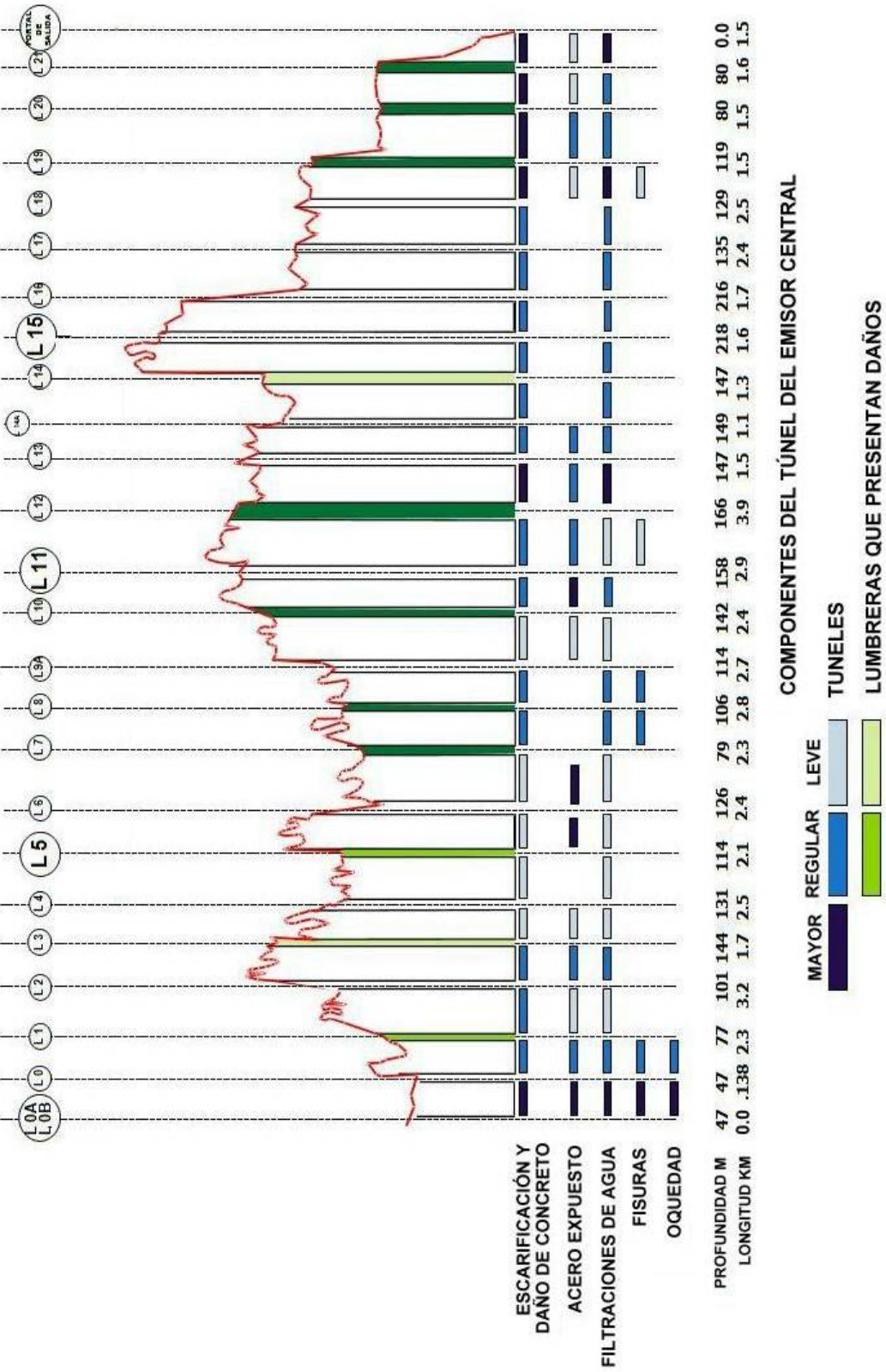


Fig. 3.20. Situación del túnel y lumbreras del Emisor Central en marzo de 2008.

FOTO: RCBS

3.5.3 Inspección de la cubeta del túnel del Emisor Central.

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México logró reducir el tirante de aguas en el túnel a 30 cm, mediante el hermético en las compuertas de las lumbreras OA y OB durante un tiempo efectivo de ocho horas, lo cual permitió obtener un tirante hidráulico en el túnel de 30 cm, y en estas condiciones el personal técnico de las empresas supervisoras y del Órgano Desconcentrado SACM efectuaron la inspección detallada de la cubeta del Emisor Central, accediendo por las diversas lumbreras al mismo tiempo y disponiendo de ocho horas para la inspección antes de volver a abrir las compuertas. Aunque el tirante hidráulico de 30 cm no permitió observar físicamente los daños en la cubeta del túnel, se logró definir que el desgaste ocasionado por abrasión en el centro tiene profundidades variables entre 15 y 25 cm, y un ancho promedio de 65 cm, existiendo acero de refuerzo expuesto y daños en el recubrimiento del túnel.



FOTO: CICM

Fig. 3.21. Cubeta del Emisor Central.

3.5.4 Especificaciones.

Previamente a la rehabilitación del túnel, se realizaron los trabajos necesarios consistentes en:

- Suministro y aplicación en el interior del túnel de producto inhibidor de gases y olores.
- Instalaciones en superficie. Barandal perimetral en el brocal de la lumbrera, instalación eléctrica, instalación para agua, instalación para aire, instalación para lanzado de concreto e instalación para ventilación.



FOTO: RCBS

Fig. 3.22. Instalación en brocal de lumbrera 19.



FOTO: RCBS

Fig. 3.23. Equipo en superficie lumbrera 14A.

- Instalaciones en lumbrera. Instalación eléctrica, instalación para agua, instalación para aire, instalación para lanzado de concreto e instalación para ventilación.



FOTO: RCBS

Fig. 3.24. Instalación en lumbrera 21.



FOTO: RCBS

Fig. 3.25. Instalación en lumbrera 7.

- Instalaciones en túnel. Instalación eléctrica, instalación para agua, instalación para aire, instalación para lanzado, instalación para ventilación y andadores.



Fig. 3.26. Instalaciones en tramo lumbrera 0.



Fig. 3.27. Instalación en tramo lumbrera 3.

El proceso de adecuación para realizar los trabajos con el equipo e instalaciones necesarias se resume como se muestra en la siguiente imagen.

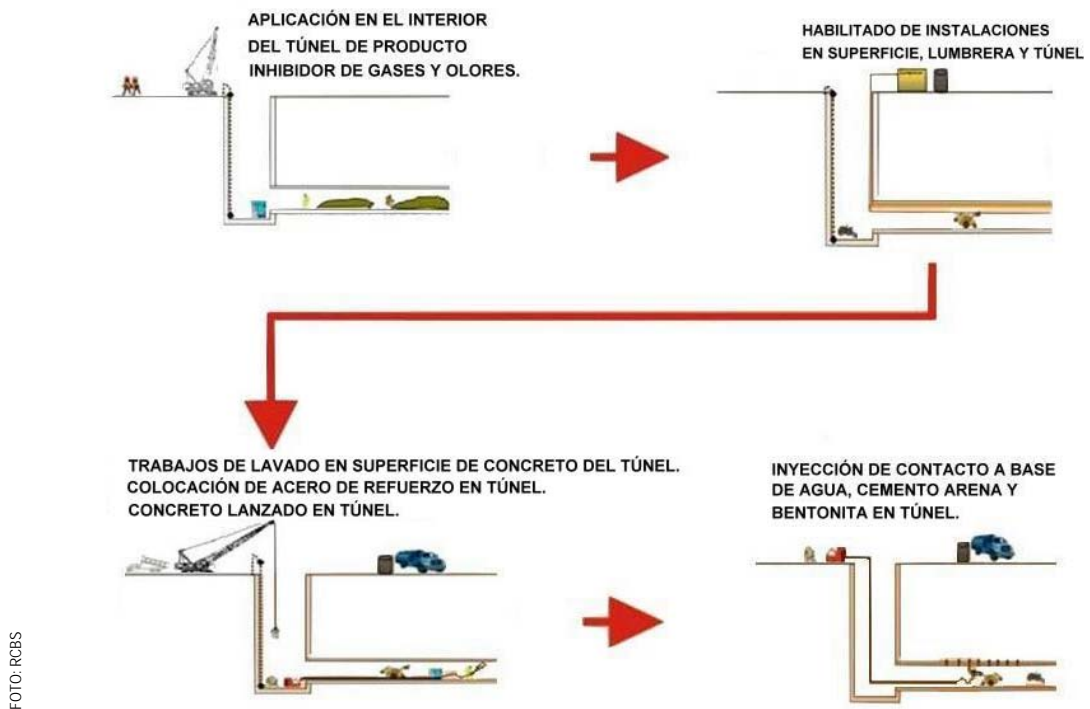


Fig. 3.28. Proceso para la rehabilitación del túnel.

Una vez habilitado el equipo y las instalaciones, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, conjuntamente con las empresas supervisoras, definió las especificaciones para los trabajos de reparación del Emisor Central, referentes a:

- A) Acero de refuerzo.
- B) Concreto lanzado en túnel.
- C) Control de infiltraciones.
- D) Concreto lanzado en lumbreras.

A) *Acero de refuerzo.* Una vez delimitada las zonas de acero expuesto y deteriorado, se procedió limpiar el área de concreto con agua a presión expulsada a 200 bares de presión con equipo de hidroblast hasta encontrar concreto sano, así mismo se limpio el acero de refuerzo con cepillo hasta eliminar la corrosión; medir el área perdida de acero de refuerzo y evaluar los siguientes tres casos y que a continuación se mencionan:

1) Acero de refuerzo expuesto con menos del 20% del área perdida. Se procedió a fijar anclas en forma de cruz de ½" que servirán de maestra, adheridas a la pared del túnel a una distancia de 1.00 metro en ambas direcciones y penetrando 15 cm en el concreto existente, fijándolas con resina epóxica libre de contracciones. Asimismo, después de eliminar las impurezas al acero de refuerzo existente se aplicó un anticorrosivo; se cubrió el acero de refuerzo con concreto lanzado.

2) Acero de refuerzo expuesto entre 20% y 40% del área perdida. Se colocó el 50% del acero de refuerzo existente, considerando diámetro y separación respectiva, fijado con anclas de ½" adheridas a la pared del conducto a una distancia de 1.00 m en ambas direcciones, penetrando 15 cm en el concreto existente y fijándolas con resina epóxica libre de contracciones para cubrir el acero de refuerzo con concreto lanzado.

3) Acero de refuerzo expuesto con mayor del 40% del área perdida; Se colocó el 100% del área de acero por sustituir con traslape y anclaje de 40 diámetros, considerando diámetro y separación respectiva; fijado con anclas de ½" adheridas a la pared del conducto a una distancia de 1.00 m en ambas direcciones, penetrando 15 cm en el concreto existente y fijándolas con resina epóxica libre de contracciones; se cubrió el acero de refuerzo con concreto lanzado.



FOTO: RCBS

Fig. 3.29. Limpieza con agua a presión con equipo hidroblast, tramo lumbrera 21.



FOTO: RCBS

Fig. 3.30. Colocación de anclas en forma de cruz de $\frac{1}{2}$ ", tramo lumbrera 7.

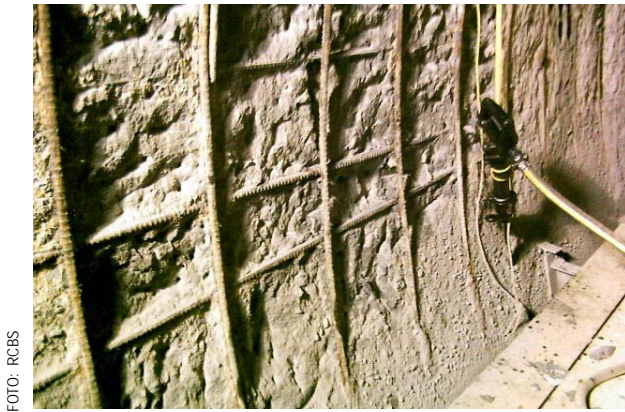


FOTO: RCBS

Fig. 3.31. Retiro del concreto viejo con rompedora.



FOTO: CICM

Fig. 3.32. Limpieza del acero expuesto y armado del acero de refuerzo.

B) *Concreto lanzado en túnel hasta un espesor de 10 cm.* Para el concreto lanzado por vía seca se especificó que debía ser de una resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, con cemento resistente a los sulfatos CPP 30 RS o CPC 30 RS, agregados pétreos consistentes en gravas y arenas procedentes de andesíticos o calizos con peso específico superior a 2.3 y tamaño nominal de la grava de $\frac{3}{8}$ ".

El concreto lanzado debe llevar una adición de micro-sílice en proporción del 5% del peso del cemento. Se le adicionó fibra de acero rectangular tipo grapa de 1.0" de longitud que cumple con los requisitos de ASTM A 820. Así como aditivos acelerantes de fraguado que deben cumplir con los requisitos establecidos en ASTM C1141 y agua libre de materias orgánicas, cloruros, sulfatos y otras impurezas.



FOTO: RCBS

Fig. 3.33. Cemento CCP 30R/RS/BRA



FOTO: RCBS

Fig. 3.34. Fibra de acero.



FOTO: RCBS

Fig. 3.35. Lanzado de concreto en lumbreira 0.



FOTO: RCBS

Fig. 3.36. Pulido del concreto lanzado en lumbreira 6.

C) *Control de infiltraciones.* Para el control de infiltraciones a través del revestimiento se establecieron especificaciones de acuerdo con tres criterios principales:

- 1) Infiltraciones que originen afloramiento de humedad en el revestimiento de túnel. Se utilizan mezclas estables con agua, cemento y bentonita.
- 2) Infiltraciones que originen escurrimiento en el revestimiento del túnel. Se utilizan mezclas estables de agua, cemento, bentonita y un aditivo acelerante de fraguado.
- 3) Infiltraciones que originen flujo a presión en el revestimiento del túnel. Se utilizan mezclas estables de agua, cemento, bentonita, arena y un aditivo acelerante de fraguado.

En los tres criterios, la presión máxima de inyección es de 2.00 kg/cm² y la inyección se suspende cuando se mantiene la presión máxima de 2.00 kg/cm² durante 30 segundos continuos, o bien se tenga un

consumo de 1,000 litros. Asimismo, se establecieron las características de los materiales y de los equipos para llevar a cabo la inyección.



FOTO: RCBS

Fig. 3.37. Canalización e inyección de contacto.



FOTO: RCBS

Fig. 3.38. Colocación de boquillas para inyección.

D) *Concreto lanzado en lumbreras.* Las "lajas" del concreto de las lumbreras 10 y 12, se desprendían al mínimo contacto, lo cual ponía en riesgo la seguridad del personal que trabaja en el túnel, se tomó la decisión de limpiar las lumbreras con equipo hidroblast hasta encontrar concreto sano, se procedió a fijar anclas en forma de cruz de $\frac{1}{2}$ ", adheridas al fuste de la lumbrera a una distancia de 1.00 metro en ambas direcciones y penetrando 15 cm en el concreto existente, fijándolas con resina epóxica libre de contracciones, para posteriormente lanzar concreto hasta un espesor de 10 cm.

3.5.5 Recubrimiento del revestimiento del concreto.

Debido a que este tipo de rehabilitación, no se había llevado a cabo, no se tenía contemplado el tipo de material que se podría utilizar para recubrir el revestimiento de concreto expuesto a la abrasión de materiales sólidos y principalmente al ácido sulfhídrico.

Algunas empresas que rehabilitaron el Emisor Central, propusieron cubrir el revestimiento de concreto con epóxico que se utilizan en cisternas de agua potable, con la finalidad de no contaminar el agua.



FOTO: RCBS

Fig. 3.39. Impermeabilización con epóxico, tramo lumbrera 19.



FOTO: RCBS

Fig. 3.40. Impermeabilización con epóxico, tramo la lumbrera 19.

Por otra parte, algunos países como Suiza, Alemania y República Checa, han utilizado un tratamiento a base de cemento y polímeros, el cual se caracteriza por su alta resistencia a los sulfatos y a la abrasión, así como a la agresión química de las plantas de tratamiento de aguas residuales y alcantarillados, este tipo de producto podría utilizarse para recubrir el revestimiento de concreto con la finalidad de darle mayor durabilidad, así mismo dada su composición de base conglomerante hidráulica, pueden ser aplicados de las siguientes maneras:



FOTO: VANDEX

Fig. 3.41. Aplicación a base de inyección.



FOTO: VANDEX

Fig. 3.42. Aplicación con cepillo o brochas.



Fig. 3.43. Aplicación con llanas.



Fig. 3.44. Aplicación con fratasadora.

3.6 Participación Ciudadana.

Debido al crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de México la población requiere de resultados inmediatos e infalibles en el suministro de los servicios hidráulicos tanto de agua potable como de drenaje.

La participación ciudadana juega un papel determinante para mantener en buenas condiciones operativas los componentes del sistema del drenaje, que es la responsable de recolectar y conducir las aguas residuales fuera de la ciudad, con la finalidad de mantener la integridad de la población librándola de inundaciones.

Es indispensable mantener la participación unida con las autoridades responsables de suministrar, operar y dar mantenimiento al sistema de drenaje, con la finalidad de mejorar la eficiencia del servicio y garantizar la adecuada captación, conducción y desalojo de las aguas residuales, así como lograr un mayor aprovechamiento del agua de lluvia, tomando en cuenta al mismo tiempo todos los aspectos relacionados para mantener el equilibrio ecológico en la ciudad, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- Informar a las autoridades acerca de fugas de agua, encharcamientos, falta de tapas en los pozos de visita y coladeras pluviales, hundimientos notables, taponamientos en los ductos y otros desperfectos.

-
- Disminuir el consumo de detergentes, insecticidas y otros compuestos químicos que no son solubles ni biodegradables, pues dañan y reducen la vida útil de las obras de drenaje y por otra parte impide el reciclaje de las aguas residuales por las plantas de tratamiento.
 - Reportar el vertido de desechos peligrosos como grasas, hidrocarburos o sustancias inflamables, tóxicas, corrosivas o explosivas y, en general, cualquier tipo de producto que pudiera causar daño a la población o al ambiente.

Otro tipo de acciones: bajar la sobreexplotación de los mantos, tratar y reusar, el agua sanitaria hasta un nivel secundario.

4. CONCLUSIONES.

- Debido a que el Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, ha sido blanco de especulaciones sobre su funcionamiento y estado físico, este trabajo tiene como finalidad, informar acerca de las condiciones en que actualmente se halla.
- El Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, sigue siendo la mejor opción para evitar las inundaciones en la ciudad, además de ser considerado la alternativa para el desalojo de aguas residuales, aunque hidráulica y constructivamente no se haya diseñado para tal fin.
- Para garantizar el correcto funcionamiento hidráulico del Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, como drenaje sanitario, deben de tomarse en primer lugar medidas de operación que incluyan programas de mantenimiento, en segundo lugar recubrir el conducto con material resistente a la erosión y ataques químicos (terminar la rehabilitación programada con un estricto control de calidad y supervisión).
- El Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México, no tiene riesgo estructural.
- El deterioro descubierto, se concentra en la clave del túnel (visiblemente afectada por los gases que se generan por la descomposición de la materia orgánica) y en la cubeta (debida al intemperismo mecánico del agua y de los sólidos en suspensión), ambos provocaron la pérdida del recubrimiento exponiendo el acero del mismo. Así como filtraciones.
- La rehabilitación consistió principalmente en desazolvar, en restituir el acero de recubrimiento y el espesor del mismo.

-
- Se debe de crear un sistema de ventilación más efectiva, para evitar la concentración de gases, pues aunque hay lumbreras a lo largo del Emisor Central, en algunos casos estas no se pueden utilizar pues se ubican en áreas pobladas.
 - Hay que concientizar a la comunidad para lograr establecer una cultura racional de los servicios hidráulicos.
 - Debe continuarse este tipo de trabajos para toda la infraestructura que compone el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.
 - La experiencia adquirida en el caso que nos ocupa, dejó entre ver que es necesario buscar o crear opciones tecnológicas que permitan monitorear el túnel. Y por otro lado mejores equipos que aseguren la integridad del personal.

5. BIBLIOGRAFÍA.

- *Colegio de Ingenieros Civiles de México, El Drenaje Profundo de la Ciudad de México*, Revista del Órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México Número 460, México agosto de 2007.
- *Colegio de Ingenieros Civiles de México, Emisor Central Inspección y Rehabilitación*, Revista del Órgano Oficial del Colegio de Ingenieros Civiles de México Número 470, México junio de 2008.
- *Departamento del Distrito Federal, Memoria Técnica de las Obras del Drenaje Profundo del Distrito Federal*, Túnel, S.A. de C.V., México 1975.
- *Departamento del Distrito Federal, Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1994 – 2010*, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, México 1994.
- *Departamento del Distrito Federal, Emisor Central*, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica 4ª Edición, México 1998.
- *Gobierno del Distrito Federal, Estudio para determinar el estado físico del Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México*, Sistema de Aguas de la Ciudad de México, México 2005.

Electrónica

http://www.aki.com.mx/noticias_y_eventos/tecnologia/ponen_en_operacion_plantas_de_bombeo_para_desalojar_emisor_central

<http://www.economista.com.mx/articulos/2008-05-06-62045>

<http://www.imta.mx>

<http://www.jornada.unam.mx/2008/05/07/index.php?section=capital&article=037n1cap>

<http://www.metropoli.org.mx/static/n070508.htm>

<http://www.mexicodesconocido.com.mx>

<http://www.oem.com.mx/eloccidental/notas/n665400.htm>

<http://www.radiotrece.com.mx/2008/05/06/pide-informe-sobre-obras-hidraulicas/>

<http://www.vandex.es>

[http://www.yucatan.com.mx/noticia.asp?cx=9\\$0924000000\\$3758947&f=20080226](http://www.yucatan.com.mx/noticia.asp?cx=9$0924000000$3758947&f=20080226)