

INTRODUCCIÓN

En este trabajo presento la mayor cantidad de información disponible del llamado Drenaje Profundo, el cual es una parte importante de la Ciudad de México que no se puede ver.

Muestro algunos rasgos históricos que dejan huella para la elaboración del Drenaje Profundo, desde los principios de México como la Gran Tenochtitlán hasta las épocas actuales.

Se pueden apreciar datos muy importantes como lo son las ubicaciones de las lumbreras que se comunican entre sí para que funcione este sistema, las fechas en que se realizaron las acciones contra inundaciones y los funcionamientos de los Escudos de lodos, con los cuales se pudo llevar a cabo este tedioso trabajo.

Para finalizar definiré al Sistema del Drenaje Profundo como una serie de conexiones que ayudan al desalojo de las aguas residuales y pluviales de la Ciudad de México por medio de grandes tuberías colocadas a una gran profundidad por debajo del nivel del suelo (esto para que el hundimiento de la ciudad no le afecte) el cual trabaja con la fuerza de gravedad.

EL PASADO.

Época prehispánica:

La mar que vieron los primeros españoles al llegar al valle de México eran el lago de Texcoco <cuyas aguas eran saladas por el hecho de salitre de su lecho> y el lago de Chalco.

En aquella época, estos lagos formaban parte de montañas cubiertas de pinos, encinos, robles y numerosos ríos pequeños. Como los lagos estaban a diferente altura, el agua de Chalco se desbordaba con frecuencia sobre el de Texcoco.

Desde entonces comenzó la lucha de los habitantes del Valle contra el agua, ya que aunque no ocurrieran tormentas extraordinarias, bastaba con que durante varios años se presentaran veranos lluviosos para que el nivel de los lagos se elevara peligrosamente, ya que no existían desagües.

Los primeros asentamientos indígenas se localizaron en los islotes y riberas de los lagos, pero conforme se acentuó el predominio de los aztecas, Tenochtitlán se extendió hacia las superficies que ganaba el agua. Entonces el aumento en los niveles de los lagos comenzó a ocasionar daños cuantiosos.

Ante este problema se construyeron bordos y diques de contención. En 1450 Netzahualcóyotl, rey de Texcoco, por encargo del rey azteca Moctezuma, diseñó y dirigió la construcción de un albarradón de más de doce kilómetros de longitud y cuatro metros de ancho para proteger a la gran Tenochtitlán del azote de las inundaciones. El dique dividió desde entonces el lago de Texcoco y la parte occidental se le dio el nombre de Laguna de Máxico. Esta obra también contribuyó a la ciudad, beneficiando a los cultivos.

Tenochtitlán era una ciudad lacustre cuyos habitantes aceptaban esas circunstancias naturales, por lo que sólo pensaron en contener las aguas, sin crear ningún sistema para desaojarlas del Valle.

Época colonial:

Pero todo cambió al iniciarse la conquista. Durante el asedio de la ciudad por Hernán Cortés en 1521, se abrieron varios boquetes en el albarradón de Netzahualcóyotl para permitir el paso de las embarcaciones españolas.

Posteriormente, las lluvias torrenciales alertaron a las autoridades coloniales sobre el grave problema de las inundaciones que afectaban a la Ciudad de México, por lo que en 1555 el virrey Velasco ordenó la construcción del albarradón de Lázaro y se hizo un primer proyecto para el desagüe del Valle de México.

Sin embargo, en 1604 y en 1607 ocurrieron grandes inundaciones, provocadas principalmente por los escurrimientos del río Cuautitlán, que ocasionaron numerosas muertes y cuantiosos daños materiales. Alarmado el virrey envió una proposición al Cabildo para que se procediera a construir un desagüe de la ciudad.

Enrioco Martínez propuso a las autoridades un proyecto consistente en la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, al noroeste del Valle de México. El plan fue aceptado y el 29 de noviembre de 1607 el virrey dio la primera azadona de esta gran obra, que fue terminada en menos de un año. Así el Valle dejó de ser una cuenca cerrada para contar con su primera salida artificial de agua. Pero por falta de revestimiento, poco tiempo después ocurrieron derrumbes que inutilizaron el túnel. Entonces se decidió sustituirlo por un tajo o zanja, que pudo ser terminado después de 160 años de trabajo, interrumpido por frecuentes derrumbes e inundaciones.

Finalmente a partir de 1789 se dio salida permanente a las aguas de la cuenca de México, para seguridad de sus habitantes.

En 1803 y 1804, Humboldt, luego de inspeccionar las obras hidráulicas llegó a la conclusión de que había que complementar el plan de Enrico Martínez para drenar el Valle con un gran canal de desagüe. Pero la lucha por la independencia retrasó este ambicioso proyecto casi un siglo.

Siglo XIX:

La salida de la cuenca por el tajo de Nochistongo empezó a alterar la ecología del Valle e inició un nuevo proceso: el nivel de los lagos ya no crecía como antes, los diques crearon áreas seguras para que la ciudad se extendiera sobre las planicies lacustres y la población se concentró aún más en las orillas de los antiguos lagos. Estas zonas sufrían cuantiosos daños cuando se desbordaban.

Hacia 1856 las inundaciones eran cada vez más alarmantes: en algunas zonas su nivel alcanzaba hasta tres metros de altura. A principios de ese año se abrió un concurso para el proyecto de las obras del desagüe, 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 Tequisquiác. Ambas obras se inauguraron en 1900. Se trataba de un esfuerzo colosal, pero de ninguna manera se había logrado la solución total.

Historia reciente:

En 1930 se terminó la primera red de drenaje por gravedad, consistente en un sistema de tuberías que descargaban al Gran Canal 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 determinó el sistema y disminuyó su capacidad para desalojar las aguas del Valle, lo que motivó la ampliación del Gran Canal y la construcción del segundo túnel de Tequisquiác.

El Hundimiento de la Ciudad:

Desde principios de siglo hasta 1936, los hundimientos de la Ciudad de México se mantuvieron en el orden de cinco centímetros por año. Al principio 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 al nivel del Gran Canal, con un gran incremento en los costos de operación y mantenimiento. En 1960 se construyeron el interceptor y el Emisor del Poniente, con objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la cuenca, descargándose a través del trabajo de Nochistongo.

No obstante, el desmesurado crecimiento de la ciudad volvió insuficientes las capacidades del drenaje del Gran Canal 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. Se requería de un sistema de drenaje que no fuera afectado por los asentamientos del terreno, que no necesitará bombeo y que expulsara las aguas por la cuarta salida artificial; era necesario construir el Sistema de Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

UNA SALIDA PARA EL AGUA.

Desde el punto de vista geohidrológico, la cuenca del Valle de México es una gran olla cuyas paredes y fondo impermeable están constituidas por rocas volcánicas. Esa olla está rellena de sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos que van desde arenas gruesas hasta arcillas con altos contenidos de agua. Dentro de ese marco histórico, geológico y hidrológico funciona el sistema de drenaje del Distrito Federal.

El sistema es combinado, aunque en la actualidad se están separando los drenajes, conduciendo tanto aguas de lluvia como residuales a través de una red primaria y una secundaria, con plantas de bombeo, tanques de tormenta, causes abiertos, ríos entubados, presas, lagunas y drenaje profundo.

Sin el conjunto de obras del sistema de drenaje, no sería posible dar solución al desalojo de las aguas de la Ciudad.

A partir de 1975, año en que se concluyó la primera etapa del drenaje profundo, éste se convirtió en uno de los componentes más importantes del sistema de desagüe. Consta de varios interceptores que fluyen hacia un mismo conducto para evacuar las aguas.

Por sus características de construcción y por la profundidad a que se encuentra, no es afectado por el hundimiento y opera por gravedad, por lo que será una obra durable y económica a largo plazo.

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

Emisor central:

Comienza en Cuauhtepac, en la delegación Gustavo A. Madero, atraviesa la autopista México–Querétaro a la altura de Cuautitlán y continúa paralelamente a ésta el puente de Jorobas, donde la vuelve a atravesar. Ahí se dividen las cuencas del Valle de México y del río El Salto. Descarga en este último río 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, que satisface las demandas de riego de la zona. El río Tula es influente del Moctezuma y éste, a su vez, del Pánuco, que descarga en el Golfo de México.

La función más importante del Emisor es conducir fuera de la cuenca del Valle de México las aguas del Sistema del Drenaje Profundo de la Ciudad de México.

Interceptor del Poniente:

El interceptor inicia en la zona suroeste de la Ciudad, en la cuenca del Río Magdalena Contreras, atraviesa las delegaciones Álvaro Obregón y Miguel Hidalgo y al municipio de Naucalpan en el Estado de México, llegando a descargar en el Río Hondo en el mismo estado. Cuenta con una longitud de 16.5 Km. Y un diámetro de 4 m.

En su trayectoria recibe las descargas de 16 colectores en el DF 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 del Bosque de Chapultepec.

Su función principal es la de captar las aguas provenientes del Poniente de la Ciudad para evitar inundaciones en las partes de la misma.

Interceptor Centro Poniente:

Se inicia en la lumbrera 14 del Interceptor del Poniente, cerca del Museo 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; benefician a gran parte de las delegaciones de Miguel Hidalgo y Azcapotzalco. Además alivia al interceptor del Poniente en la lumbrera 14.

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 y capta los colectores de Tabasco, 5 de Mayo, Héroes, Río Consulado, Cuithláhuac, Fortuna y Moyobamba. También cuenta con obras de toma de los ríos de Los Remedios, Tlalnepantla, San Javier y Cuauhtémoc. Beneficia a las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc y parte de la Benito Juárez.

Interceptor Oriente:

Su tramo norte, principia en las calles de Aglabampo y Troncoso; por esta calle se va hacia el norte hasta la calzada 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 hasta el oriente para alcanzar la Av. Eduardo Molina y así llegar hasta la lumbrera 8C ubicada en la colonia Salvador Díaz Mirón, y termina en la lumbrera 0 del Emisor Central, en Cuauhtémoc.

La función principal de este tramo del túnel es aliviar al Gran Canal de Desagüe a través de la obra de toma del cual depende 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 desagüe de la laguna de regulación. El Arbolillo en Cuauhtémoc, con la que se beneficia una parte de la delegación Gustavo A. Madero. Actualmente se encuentra en proceso constructivo el Gran Canal de Desagüe, en sus 9.5 Km. localizados dentro del Distrito Federal, de los cuales 6.6 Km. se encuentran ya en operación. Cabe mencionar que se tiene contemplada otra nueva obra de toma en L-7.

Hacia el sur, el Interceptor Oriente corre por el Eje 3 Oriente, a partir de la calle Aglabampo, en su intersección con el Interceptor Centro-Oriente en la lumbrera 4, hasta la avenida Taxqueña, donde se conecta al Interceptor Canal Nacional Canal de Chalco. En el cruce con la calle Tlazintla se ubica la lumbrera 3,

cercana a ella es captado por el colector Plutarco Elías Calles directamente al túnel; en la lumbrera 2, ubicada en la esquina con avenida Apatlaco. Las aguas del cause entubado del río Churubusco, son captadas en la lumbrera 1.

Interceptor Centro–Oriente:

Este interceptor une los Interceptores Oriente y Central. Se inicia en la lumbrera 1, ubicada en las calles Dr. Durán y Dr. José María Vértiz y termina en la lumbrera 4, en Aglabampo y Francisco del Paso y Troncoso.

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

Interceptor Oriente–Sur:

El trazo de este túnel se 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. Su longitud de 13.8 Km. con 5m de diámetro y 8 lumbreras en su trayecto.

Como una opción operativa de gran importancia, este Interceptor cuenta con la planta de bombeo Zaragoza de 20 m³/seg con la cual se podrá aliviar al interceptor Oriente–Sur hacia el entusiasmo del río Churubusco, o invertir su funcionamiento en caso necesario.

A través de sus captaciones aliviará a los colectores Luis Manuel Rojas, Canal de San Juan, Zaragoza Norte, Río Churubusco y el Iztaccíhuatl; y al los interceptores Iztapalapa y Oriente–Oriente. Además de la delegación Iztapalapa, se beneficiará a Iztacalco y Venustiano Carranza.

El tramo comprendido entre la lumbrera 7A hasta su confluencia con la lumbrera 5 del Interceptor Oriente, se tiene programado iniciar su operación en el corto plazo.

Interceptor Oriente–Oriente:

Su tramo se 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. Tiene una longitud de 7.2 Km., diámetro de 5 y 3.10m y 5 lumbreras, ya construidas, de las cuales dos son constructivas, y en corto plazo se iniciará la excavación del túnel.

Por medio de lumbreras de captación aliviará 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.

Interceptor Iztapalapa:

Tiene una longitud de 5,500 metros y un diámetro de 3.10 metros. Capta gran parte de las aguas generales de la Delegación Iztapalapa, las conduce hasta la Planta de bombeo Central de Abasto II de 20 m³/seg de capacidad, que a su vez las incorpora hacia el Río Churubusco. También recibe de los desfuegos de las lagunas Mayor y Menor de Iztapalapa, que beneficia la parte noreste de esta delegación.

Interceptor Obrero Mundial:

Tiene una longitud de 710 metros, diámetro de 3.20 metros y dos lumbreras. Su trazo es paralelo al Río de la

Piedad, capta a éste 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 del Interceptor Central.

Interceptor Canal Nacional–Canal de Chalco:

El trazo de éste túnel se inicia en la lumbrera 0, en avenida Río Churubusco y Canal Nacional. Se desplaza en forma paralela al Canal Nacional hasta el eje 3 Oriente, para continuar por éste hasta la calzada de la Virgen, donde se contempla un ramal de 1.7 Km. hacia el sur, continúa por la calzada 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 Tláhuac, alcanzando una longitud de 14.3 Km. y un diámetro terminado de 3.10 metros.

El tramo de 6.9 Km. comprendido entre las lumbreras 0 y 5 se encuentra en operación, en la lumbrera 5 se captan las aguas del Canal de Chalco y Ciénega Grande; de la L5 a L7 está excavado y en proceso de revestimiento definitivo. Se continúa la excavación del interceptor para entrar en operación hasta la laguna de regulación San Lorenzo en el mediano plazo.

Su caudal será conducto hacia el Interceptor Oriente o al Río Churubusco, mediante la Planta de Bombeo Miramontes de 20 m³/seg de capacidad. Con esta estructura se beneficiará las delegaciones de Coyoacán, Iztapalapa, Xochimilco y Tláhuac.

Interceptor Ermita:

Con una longitud de 6 Km. inicia su trazo a la altura del Eje 5 sur con la calzada Ermita Iztapalapa, sigue su trayectoria hacia el poniente de la ciudad para dar vuelta en la calle Luis Manuel Rojas y descargar finalmente en la lumbrera 2 del Interceptor Oriente–Sur; contará con cuatro lumbreras con las que captará a los colectores Paraje San Juan, Justo Sierra I y II, Cañas, Quetzalcóatl, Pozos y Luis Manuel Rojas, dando así alivio a parte de la zona oriente de la delegación Iztapalapa.

Interceptor Gran Canal:

Con una longitud de 1.01 Km. y un diámetro de 3.10 m este interceptor se inicia en los terrenos de las Plantas de Bombeo 1 y 1A con la L–1 y termina con la L.2 en la proximidad de la confluencia del eje 1 norte y el Gran Canal de Desagüe. En la L–1 captará parte del canal de las P.B. 1 y 1A, para descargarlos directamente al Interceptor Oriente, y la otra en su caso, podrá irse por el entubamiento del Gran Canal.

Programa Hidráulico del Valle de México:

De acuerdo a los estudios realizados en el Plan Maestro del Drenaje de la Ciudad de México 1944–2010, 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 efficienten la operación del sistema y que proporcione seguridad a la seguridad a la población, ante posibilidades inducciones.

Para el sanamiento del Valle de México se construirá 4 plantas de tratamiento de aguas residuales:

- Tecamac
- Coyotepec
- El Salto
- Nextlalpan

Estas plantas se ubicarán en la proximidad del Gran Canal y el Dren General del Valle; en la vecindad de la descarga del Emisor del Poniente, y en la descarga del Emisor Central.

En lo que se refiere a las obras de drenaje, deben ser construidas en el menor tiempo posible, puesto que su ausencia podría provocar severas inundaciones en la zona metropolitana de la Ciudad de México, ya que el Gran Canal de Desagüe quedará fuera de únicamente el Emisor Central para drenar la mayor parte de la ciudad. Y depender de una sola salida sería muy riesgoso, aunque su probabilidad de falla sea mínima, así, del estudio realizado se derivaron las estructuras que se relacionan en el siguiente cuadro:

Obra	Características	
Túnel Vaso del Cristo	L= 13.8Km	Ø= 500 m
Túnel Río de los Remedios	L= 10.0 Km.	Ø= 5.00 m
Túnel Dren General	L= 6.7 Km.	Ø= 5.00 m
Planta de bombeo de aguas combinadas Dren General	Q= 80 m3/seg	H= 26 m
Planta de bombeo de aguas combinadas Planta de tratamiento	Q= 40 m3/seg	H= 15m
Laguna de regulación El Fusible4	A= 38 ha	Vol= 0.6 millones de m3
Laguna de regulación Casa Colorada	A=366 ha	Vol= 5.0 millones de m3

Estructuras de Captación de las Aguas Combinadas:

Para lograr el desalojo de las aguas residuales y pluviales, se requiere de estructuras que permitan conducir y controlar los caudales generados desde la red secundaria y primaria hasta el Drenaje Profundo, por medio de cajas de captación, colectores de alivio, cajas de control, cámaras en espiral, tanques amortiguadores, cimacios, lumbreras adosadas o para descargar directamente al túnel y vertedores así como lagunas de regulación.

Laboratorio de ingeniería Experimental:

Con el propósito de que el funcionamiento de las obras del Sistema General de Drenaje pueda ser verificado de manera previa a su construcción y con ello crear innovaciones para el desalojo de las aguas residuales y pluviales de la Ciudad de México, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal cuenta con un Laboratorio de Ingeniería Experimental. En él se han desarrollado modelos a escala de diferentes estructuras, tales como la planta de bombeo Central de Abasto II, lumbreras y túneles del Sistema de Drenaje Profundo y colectores y presas, entre otros.

El análisis de las obras hidráulicas en laboratorio, han permitido identificar diferentes factores físicos que permiten desarrollar los proyectos y diseños más funcionales operativamente, incluso más económicos. Tal es el caso de los cárcamos circulares de las plantas de bombeo, además de las estructuras de captación al Sistema de Drenaje Profundo.

LA EXCAVACIÓN:

La complejidad de los suelos, la gran profundidad a que se excava y los enormes volúmenes de material que es necesario desalojar desplazar, crearon la necesidad de innovar la técnica empleada en la construcción del Drenaje Profundo.

En 1967, al iniciarse la primera etapa de excavaciones en el Emisor Central, el Interceptor Central y el Interceptor Oriente, se utilizó la tecnología convencional empleada por la minería, pero también se idearon nuevas técnicas, como lumbreras flotantes y la perforación de túneles con escudos y aire comprimido para estabilizar el frente de excavación. Al extenderse el Interceptor Central hacia el sur en 1977 se trabajó en un subsuelo compuesto principalmente por arcillas muy saturadas y blandas. Por esta razón fue necesario emplear escudos con presiones de aire de 0.8 a 1.3 kg/cm² mayores usadas que en la primera etapa. Presiones más altas crearían un riesgo de incidencia de enfermedades por descompensación en los trabajadores y reduciría el tiempo efectivo de las jornadas de trabajo.

De esta manera, por primera vez en México, se construyeron con éxito las lumbreras presurizadas para iniciar la excavación de túneles en suelos blandos. En 1982 se puso en operación un tramo de más de 16 Kilómetros en la lumbrera 1 del Emisor Central y la lumbrera 14 del Interceptor Poniente, utilizando un nuevo método de excavación con una máquina tipo fresadora, con lo que se obtuvieron avances de 20% y 25% superiores a los logrados con los métodos convencionales. Sin embargo, las etapas posteriores de excavación del Sistema del Drenaje Profundo presentaron más dificultades por la menor resistencia del suelo, requiriéndose una presión de 2.7 kg/cm², que excedía en mucho a la ya llamada 1.3 kg/cm², para utilizar un escudo de aire comprimido y estabilizar el frente de excavación.

Urgía diseñar y desarrollar un método constructivo que permitiera perforar los túneles faltantes en arcillas muy blandas.

Por otra parte, durante la construcción del túnel, en algunos casos se presentaban filtraciones de agua, lodos bentoníticos y suelo en el interior de las lumbreras.

Asimismo, al arrancar el escudo para la excavación de un nuevo tramo, la superficie de suelo sufría asentamientos bruscos. Por tales motivos, a profundidades de 15 a 30 metros en la zona del lago, era necesario modificar el procedimiento para la salida del escudo.

EL ESCUDO DE LODOS PRESURIZADOS:

Después de análisis hechos por la Comisión de Túneles de la DGCOH, se determinó la construcción de un portal de salida para el escudo excavador, el cual, entre otros factores reduciría los riesgos por la estabilidad del suelo, aceleraría la obra y disminuiría sus costos, sin alterar el procedimiento de construcción de las lumbreras. El portal es un muro de mortero, ubicado en la intersección de los cilindros del túnel y la lumbrera, capaz de tener la suficiente resistencia para soportar las presiones de los lodos bentónicos; suficiente baja resistencia para ser atravesado por el escudo, e impermeabilidad para evitar filtraciones.

En 1978, el Comité Técnico del Drenaje Profundo, integrado para el estudio de los métodos de excavación de túneles en suelos blandos, diseñó una máquina excavadora capaz de perforar con rapidez y seguridad las arcillas blandas del subsuelo de la Ciudad de México. Esta máquina reunía las siguientes características:

- Excavación de túneles de 6.24 metros de diámetro a 30 metros de profundidad en suelos con contenidos de agua variables entre 250% y 550%, con un avance promedio de 10 metros por día.
- Soporte mecánico al frente en todo momento, y otro soporte mediante lodo comprimido hasta presiones del orden de 2.5 Kg/cm².
- Ausencia de presiones de aire mayores a la atmosférica en las áreas del túnel donde trabaja el personal.
- Faldón de escudo provisto de un sello triple para impedir la entrada del material de inyección hacia el interior del túnel durante la colocación del revestimiento primario.
- Cabeza cortadora que gira en ambos sentidos y se desplaza hacia delante y hacia atrás.
- Extracción del producto del corte hacia la superficie mediante bombeo de lodos.
- Recirculación de lodos.
- Sistema de monitoreo del túnel que permite conocer los siguientes factores en todo momento:

- Presión del fluido de excavación
- Volumen excavado
- Alineamiento y nivel del túnel.
- Presión de los gatos y su extensión.
- Carga y temperatura de los motores que mueven la flecha central.

Después de analizar y seleccionar la tecnología mundial, el diseño ejecutivo del escudo presurizado estuvo a cargo de una firma japonesa. Así, desde el año de 1986 se contó con dos escudos de frente cerrado, para enfrentar los restos que implica excavar en suelos muy blandos característica de la Ciudad de México.

COMO TRABAJA EL ESCUDO EXCAVADOR:

El acceso al frente de excavación se efectúa por medio de lumbreras de 12 metros de diámetro, por donde se introducen materiales y equipo con ayuda de grúas de gran capacidad. Por ahí baja el escudo de lodos presurizado para comenzar su labor de excavación. Su rendimiento ha superado las normas fijadas: logra perforar un promedio de 12 metros diarios y ha avanzado hasta más de 25 metros en un día.

La excavación se efectúa por medio del disco frontal, que gira dentro de un fluido que conserva la estabilidad del frente de trabajo presurizado. El resto del túnel permanece a la presión atmosférica normal, evitando así que el personal se exponga a altas presiones.

Martínez Santiago Juan Carlos