

2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
ARAGON.

"CONTROL DE INFILTRACIONES EN LA LINEA 3 DEL METRO"

T E S I S

para obtener el Titulo de

INGENIERA CIVIL.

P R E S E N T A

ELIZABETH VERONICA CORTES JIMENEZ



ASESOR: ING. RODRIGO MURILLO FERNANDEZ

San Juan de Aragón 2000

280112



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

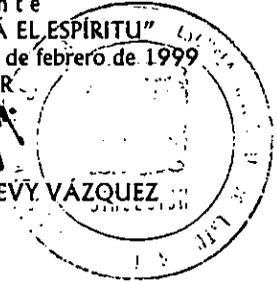
ELIZABETH V. CORTÉS JIMÉNEZ
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 26 de enero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RODRIGO MURILLO FERNÁNDEZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado, "CONTROL DE INFILTRACIONES EN LA LÍNEA 3 DEL METRO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

A rentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 9 de febrero de 1999
EL DIRECTOR

Lic. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ



c c p Secretaría Académica.
c c p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.
c c p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/MCA/vr

“CONTROL DE INFILTRACIONES

EN LA LINEA 3 DEL METRO”

ALUMNA: ELIZABETH VERÓNICA CORTÉS JIMÉNEZ

ASESOR: ING. RODRIGO MURILLO FERNANDEZ

DEDICATORIA

SOLO SE LA PUEDO DEDICAR A UNA PERSONA
A LA SEÑORA MARA JIMENEZ TREJO, QUE ES MI MAMÁ.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a todos mis profesores que a lo largo de estos 23 años estuvieron conmigo apoyándome y ayudándome en cada momento, a mi maestra Magda que a veces me consintió pero aun así bien que aprendí a leer y escribir, a mi maestra Socorro una feminista de primera, a mis profes de la secundaria que tuvieron que soportar mi voz y mi risita más de una vez mientras daban clase, a mi prof. de literatura que me dejó de tarea para toda la vida que leyera, leyera mucho y he tratado de cumplir con esta tarea y espero hacerlo toda mi vida, gracias a Edna, a Teo y la Miss de Anatomía que siempre me echaron la mano en la prepa, gracias a los profes que aveces en un examen me ayudaron y así no me atore en la escuela. No se a quien agradecer el hecho de que mi educación haya sido gratuita, entonces a quien corresponda: Muchas gracias.

Gracias profesor Murillo por dedicarme algunas horas tan valiosas de su tiempo para atender mi tesis, gracias por sus consejos, gracias por la enorme cantidad de facilidades que me dio para concluir con ella, gracias por los rays y ay profe gracias por ayudarme en este último jalón, por ayudarme a no desesperarme, no solo en lo de la tesis sino también cuando me angustiaba por otras cosas, gracias por escucharme cuando tenía un problema algo fuerte, gracias por preocuparse por mí, profe no tiene una idea de cuanto lo quiero y cuanto le agradezco todo el apoyo que me ofreció. Espero que este asesoramiento sea el principio de una gran amistad.

Gracias a eso que es pero no es y que ha permitido este ir y venir de sucesos en mi vida, que la mayoría de las veces he disfrutado y cuando no ha sido así, entonces solamente he comprendido.

TEMARIO

Capítulo 1	Introducción	1
Capítulo 2	Descripción general de Línea 3	
2.1	Aspectos generales	3
2.1.1	Etapas de construcción	3
2.2	Tipos de construcción	4
2.2.1	Superficial	4
2.2.2	Subterránea	7
2.2.3	Túnel	13
2.3	Suelos que atraviesa el metro	16
2.3.1	Antecedentes del Valle de México	16
2.3.2	Zona I de Lomas	17
2.3.3	Zona II de transición	17
2.3.4	Zona III o lacustre	18
2.4	Partes que forman el metro	19
2.4.1	Estaciones	19
2.4.2	Interestaciones	20
2.5	Impermeabilización	21
Capítulo 3	Origen y efecto de las infiltraciones	
3.1	Diferencia entre filtración e infiltración	27
3.2	Características que tiene el proceso constructivo del metro que facilitan la presencia de infiltraciones	27
3.3	Características del suelo del Valle de México que facilitan la presencia de infiltraciones	28
3.4	Origen y características del flujo que se infiltra a las instalaciones del STC Metro	29
3.4.1	Agua Potable	29
3.4.2	Agua de Drenaje	30
3.4.3	Hidrocarburos	30
3.4.4	Agua Freática	31
3.5	Problemas que generan las infiltraciones en las instalaciones del STC Metro	32

3.5.1	En obra civil	32
3.5.2	Instalaciones electromecánica	33
3.5.3	Daños a terceros	34
Capítulo 4	Métodos de control	
4.1	Aspectos generales que se deben tomar en cuenta para atender infiltraciones	35
4.1.1	Recepción de la información	35
4.1.2	Prioridades a considerar para la atención de Infiltraciones	36
4.2	Cronología de los métodos de tratamiento de infiltraciones	36
4.3	Métodos empleados para el control de Infiltraciones	37
4.3.1	Solución desde el lado positivo	37
4.3.2	Solución desde el lado negativo	40
4.3.2.1	Canalización	41
4.3.2.2	Sellado	43
4.3.2.3	Inyección	44
Capitulo 5	Conclusiones	46
Capitulo 6	Recomendaciones	49
	Bibliografía	51

CAPITULO 1

INTRODUCCION

La entrada de agua a través de muros y losas en el Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro han ocurrido desde que entró en funcionamiento. Para evitar que dañen a las instalaciones y equipos se han utilizado diversos métodos como la canalización, el sellado y la inyección.

Los escurrimientos de agua a través de la obra civil del Metro son muy diferentes, ya sea por el gasto que escurre, por la presión con que sale, por la calidad del líquido, por su ubicación, en fin, cada infiltración tiene sus propias características. En el periodo de mayo a septiembre de 1998, de todas las infiltraciones que se trataron, en muy pocas dejó de fluir líquido; en algunos casos porque se canalizó y en otros porque el procedimiento o la opción aplicada no fue la correcta. Se espera que a lo largo de este trabajo se dé un enfoque diferente a la manera de abordar el tratamiento que se hace al flujo de agua dentro de las instalaciones del Metro.

En el capítulo titulado Descripción de Línea 3 se realiza una breve semblanza de la importancia del STC Metro y en particular de Línea 3 en el sistema de comunicaciones y transportes de la Ciudad de México; también de las etapas en que se construyó y las soluciones que se dieron para su construcción. Se habla de las características que tiene el suelo de la Ciudad de México y que por lo tanto influyen de manera directa en el comportamiento de la construcción una vez terminada y que pueden ser importantes para la generación de infiltraciones. En este capítulo también se dan a conocer las partes que forman una Línea del Metro y los métodos que se utilizaron durante su construcción para evitar infiltraciones.

En el siguiente capítulo, Origen y Efectos de las Infiltraciones, se trata de introducir a las circunstancias que originan una infiltración, explicando en primer lugar que se entiende por una infiltración y cómo se genera. Posteriormente se describen las propiedades que presenta en su conjunto el Valle de México y la infraestructura del Metro; no solo se hace referencia al suelo sino también a las características que se tiene por ser una zona urbana, por ejemplo la presencia de tuberías que proveen a los habitantes de agua potable, o para sacar las aguas negras en el sistema de drenaje. En ambos casos, por ser líquidos pueden infiltrarse al Metro. Al final del capítulo se indica porqué es importante solucionar las infiltraciones, señalando los problemas que pueden acarrear de no ser atendidas.

En el capítulo de Métodos de Control, se hace referencia a las soluciones que ha adoptado el STC para atender las infiltraciones; se explica primero como se obtiene la información y las prioridades que se toman en cuenta para solucionarlas, después se explican los procedimientos de cada uno de los métodos, sus pros y contras.

En el capítulo de Conclusiones se dan las observaciones generales que se obtuvieron a lo largo del trabajo y en el capítulo de Recomendaciones se proporcionan opciones para modificar y mejorar el proceso constructivo.

CAPITULO 2

DESCRIPCION GENERAL DE LINEA 3

2.1 ASPECTOS GENERALES

La importancia del Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro radica en la nula emisión de contaminantes además de su confort, rapidez, condiciones de seguridad y en ser el medio de transporte con mayor capacidad que cualquier otro sistema, ya que un tren con 9 vagones transporta simultáneamente a 1530 pasajeros, lo que hizo posible que en 1996 haya tenido una afluencia (cantidad de pasajeros) en días laborales de 1,116,110,724; en sábados 173,663,682; en domingos y días festivos 135,492,661; o sea que en ese año transportó 1,425,467,267 usuarios habiendo ocupado Línea 3 (Línea a la que se refiere esta tesis) el tercer lugar de afluencia capturando el 19.72% del total, es decir, 272,356,611 usuarios. Durante 1997, los trenes que transitan en L3 recorrieron 617,623 km. Estas son algunas razones por las que es muy importante considerar el mantenimiento de estaciones e interestaciones, ya que con afluencias tan elevadas los usuarios deben estar seguros en sus instalaciones, ya sea en la obra civil, eléctrica, mecánica, etcétera.

Línea 3 va de Indios Verdes a Universidad cubriendo así 21.278 km de servicio divididos en 21 estaciones: Indios Verdes, Deportivo 18 de Marzo, Potrero, La Raza, Tlatelolco, Guerrero, Hidalgo, Juárez, Balderas, Niños Héroes, Centro Médico, Hospital General, Etiopía, Eugenia, División del Norte, Zapata, Coyoacán, Viveros, Miguel Angel de Quevedo, Copilco y Universidad, además de sus talleres en Ticomán, lo que hace un total de 23.609 km de longitud. Cuatro de sus estaciones son de correspondencia con las Líneas 1, 2, 5 y 9.

2.1.1 Etapas de construcción

La primera etapa de construcción del Metro dio inicio en 1967 con las Líneas 1, 2 y 3. Al terminar esta primera etapa, L3 inauguró el tramo Tlatelolco - Hospital General, el 20 de noviembre de 1970, con una longitud de 5.441 km.

En la segunda etapa se construyeron 10.7 km de la L3 repartidas en sus dos extremos norte y sur. Hacia el norte las estaciones de La Raza a Indios Verdes con 5.4 km; este tramo fue inaugurado el primero de diciembre de 1981 y hacia el sur el tramo de Centro Médico a Zapata, cuya longitud fue de 5.32 km y entró en servicio el 25 de agosto de 1980.

El STC Metro actualmente está en su quinta etapa de construcción pero Línea 3 terminó en la tercera etapa con el tramo de Zapata a Ciudad Universitaria que tiene 6.5 km. Este último tramo se inauguró el 30 de agosto de 1983.

2.2 TIPOS DE CONSTRUCCION

Antes de iniciar la construcción y dar una solución a cada tramo hay que hacer la planeación, ubicando el trazo por donde va a pasar la Línea del Metro, basada en las rutas más usuales y con mayor afluencia; estos datos son obtenidos mediante estudios de origen y destino, modelos de transporte, usos de suelo, vialidades disponibles, paisaje urbano, incremento demográfico, interacción con otros planes de desarrollo, etcétera.

Existen diferentes soluciones para la construcción del Metro: elevada, superficial, subterránea y túnel. En L3 en el tramo de Indios Verdes a Potrero se optó por la solución superficial (más adelante veremos porqué); de La Raza a Viveros es subterránea; de Viveros a Copilco es túnel y en CU otra vez es superficial.

Los criterios para elegir cada una de las soluciones son los siguientes:

- ◆ Costo de la obra civil por kilómetro
- ◆ Tiempo de ejecución de la obra civil
- ◆ Obstrucción de la vía pública durante la ejecución
- ◆ Interferencia con los servicios municipales
- ◆ Conservación de obras y equipos
- ◆ Mantenimiento de la vía
- ◆ Paisaje Urbano: aspecto estético y barrera física
- ◆ Futura disponibilidad vial
- ◆ Libramientos viales perpendiculares inducidos
- ◆ Selección adecuada del procedimiento para construcción de túnel.

2.2.1 Superficial

Para optar por la solución superficial (fig.1) en el tramo de Indios Verdes a Potrero fue necesario contemplar varios aspectos, pues aunque pudiera pensarse que es la solución más barata, esto en la práctica no sucede porque hay que adicionar costos de desvío, de limitación de derecho de vía de 10 m de ancho, además de la construcción de las estaciones cuyas áreas de servicio son subterráneas, y de los pasos a desnivel perpendiculares, cuya frecuencia es en promedio de un paso por cada kilómetro aproximadamente, y por lo tanto, su costo se eleva considerablemente. Uno de los factores más importantes es el paisaje urbano, ya que por ejemplo en la solución superficial se requiere una anchura mínima de 50 m para lograr soluciones satisfactorias. En relación con la futura disponibilidad vial, la solución superficial ocupa un ancho equivalente a tres carriles

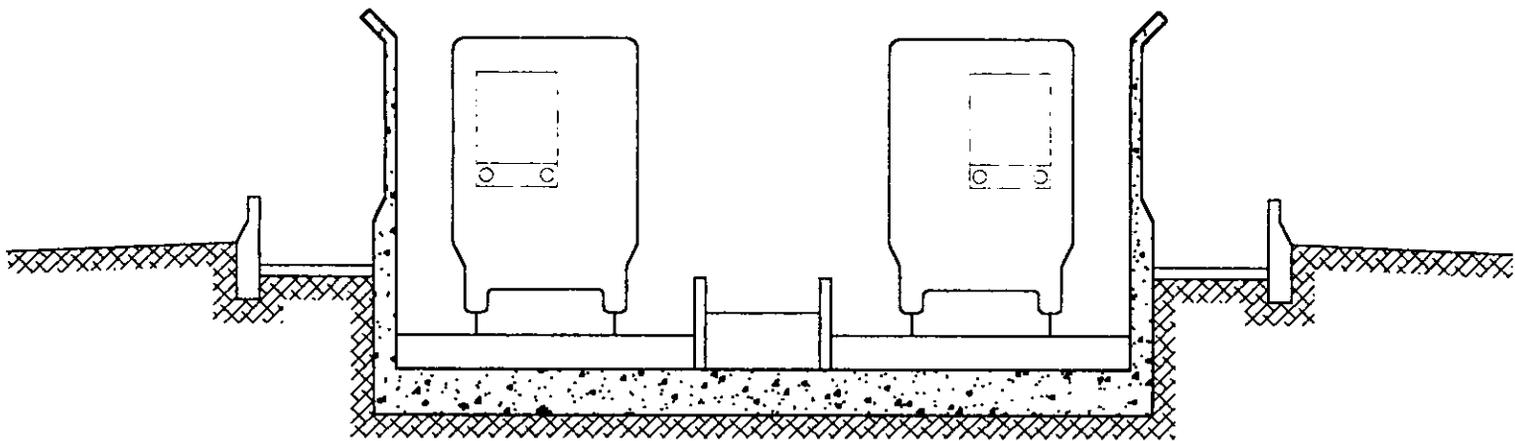


FIG 1
SOLUCION SUPERFICIAL

de circulación y en lo que respecta a libramientos perpendiculares inducidos, genera problemas en cruces importantes, cuyas soluciones viales repercuten en la construcción de estructuras subterráneas o elevadas para salvar el obstáculo que presenta la Línea. El avance de obra es el mayor comparado con las otras soluciones, pues tiene rendimientos de 130 a 150 m por mes considerando un solo frente de trabajo.

Es por eso que este tipo de solución se tomó en cuenta en avenidas o calzadas, que contaban con una sección transversal de más de 40 m (por ejemplo, Insurgentes Norte) lo cual permitía ubicar esta vía rápida de transporte colectivo con otras vías rápidas de transporte individual.

El proceso constructivo es muy sencillo. Se hace una excavación poco profunda, se mejora el terreno y se construye una losa de concreto reforzado con espesor de 35 a 40 cm acompañada de 2 muros laterales cuya altura tiene un máximo de 3.70 m con espesores también variables entre 35 y 40 cm en la parte inferior o junta con la losa y de 15 cm en la corona del muro.

El análisis de la sección superficial es sumamente sencillo, ya que básicamente se trata de una losa que transmite al suelo las cargas de diseño de la siguiente manera:

Cargas de diseño:	
Muertas	Vivas
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Peso propio de la losa ◆ Peso muros ◆ Peso herrería de protección ◆ Balastro ◆ Vía, riel, barra guía, andadores, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Trenes de metro ◆ Tren de mantenimiento ◆ Frenaje ◆ Impacto ◆ Aceleración, cabeceo, etc.

Asimismo, para el diseño de los muros laterales se toma en cuenta el empuje de tierras, el cual depende de la profundidad a la que se desplanta la estructura del Metro.

Los materiales que se consideraron para el diseño fueron:

- ◆ Concreto $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$
- ◆ Acero de refuerzo $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$
- ◆ Factor de Carga F.C. = 1.5

Finalmente, para obtener una flexibilidad estructural en el cajón superficial se determinó dejar juntas de contracción y dilatación a cada 2 m de la losa, así como bandas de P.V.C.

2.2.2 Subterránea

El costo más alto de la obra civil corresponde a la Línea subterránea, ya sea en cajón o en túnel. La velocidad para la solución subterránea es del orden de 90 a 110 m por mes realizada por un solo frente de trabajo, inferior a la solución superficial. En cuanto a la obstrucción de vía pública durante la construcción, esta solución causa mayores problemas, ya que las interferencias con instalaciones municipales son totales, obligando en ocasiones a desvíos importantes de grandes colectores o de redes de distribución de agua. Con lo que respecta a la conservación y mantenimiento de los equipos, la solución subterránea presenta mejores condiciones. En relación con la futura disponibilidad vial, la solución subterránea no la afecta.

El cajón debe tener en su interior las siguientes dimensiones. El ancho libre en tramo recto es de 6.90 m compuesto de dos anchos de carro de 2.50 m cada uno, un espacio intermedio de 0.40 m y dos andadores laterales de 0.75 m cada uno. La altura interior tiene un total de 4.80 m constituidos por 0.40 m de espesor del balastro, 0.30 m de durmiente y de pista de rodamiento, 3.60 m de altura del vehículo y 0.50 m de espacio libre sobre el techo del tren. El cajón debe cumplir con los requisitos de estabilidad, compensación, flexibilidad e impermeabilización que se requieren para suelos con las características tan particulares como las del Valle de México.

Para construir el cajón existen varias formas, teniendo en cuenta las características del suelo y los problemas de hundimiento de la ciudad; se han adoptado tres soluciones básicas las cuales dependen no solo de las propiedades mecánicas del subsuelo en cada zona, sino también del espacio disponible en las calles para la operación de la maquinaria de construcción.

Uno de los tipos de estructura es el cajón convencional (fig. 2); suele utilizarse en avenidas o calzadas sumamente anchas, es un cajón rectangular de concreto con muros de aproximadamente 1.00 m de espesor, losa inferior de 0.80 m y losa superior de 0.60 m, construido dentro de una excavación a cielo abierto con una profundidad máxima de 7 m. Los taludes de la excavación son diseñados de acuerdo con las características de los suelos en cada tramo y el fondo es estabilizado (si se trata de suelos finos arcillosos o limosos) abatiendo el nivel freático mediante bombeo previamente a la excavación, con objeto de reducir la magnitud de las expansiones de dicho fondo y a la vez mantener un adecuado factor de seguridad contra deslizamiento de los taludes. Después de haber alcanzado la profundidad de diseño se coloca una plantilla de concreto pobre e inmediatamente la losa de fondo, después se coloca la cimbra y se construyen los muros; por último se coloca la losa superior del cajón y se procede a colocar el relleno.

Otro tipo de estructura es el cajón con muro ademe y/o muro estructural que es también un cajón rectangular, pero su proceso constructivo es diferente (fig. 3). El proceso constructivo para el muro ademe, Milán o tablaestaca es el siguiente:

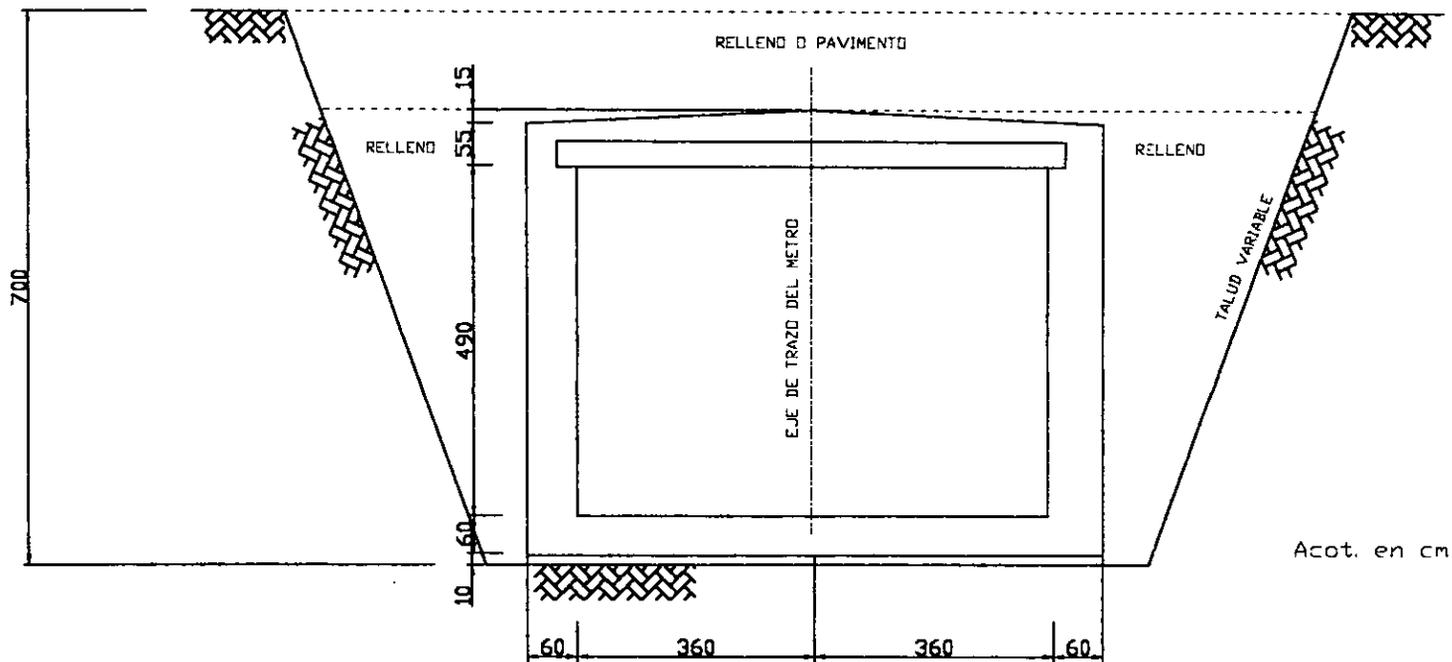


FIG. 2

CAJON SENCILLO CON EXCAVACION
A CIELO ABIERTO

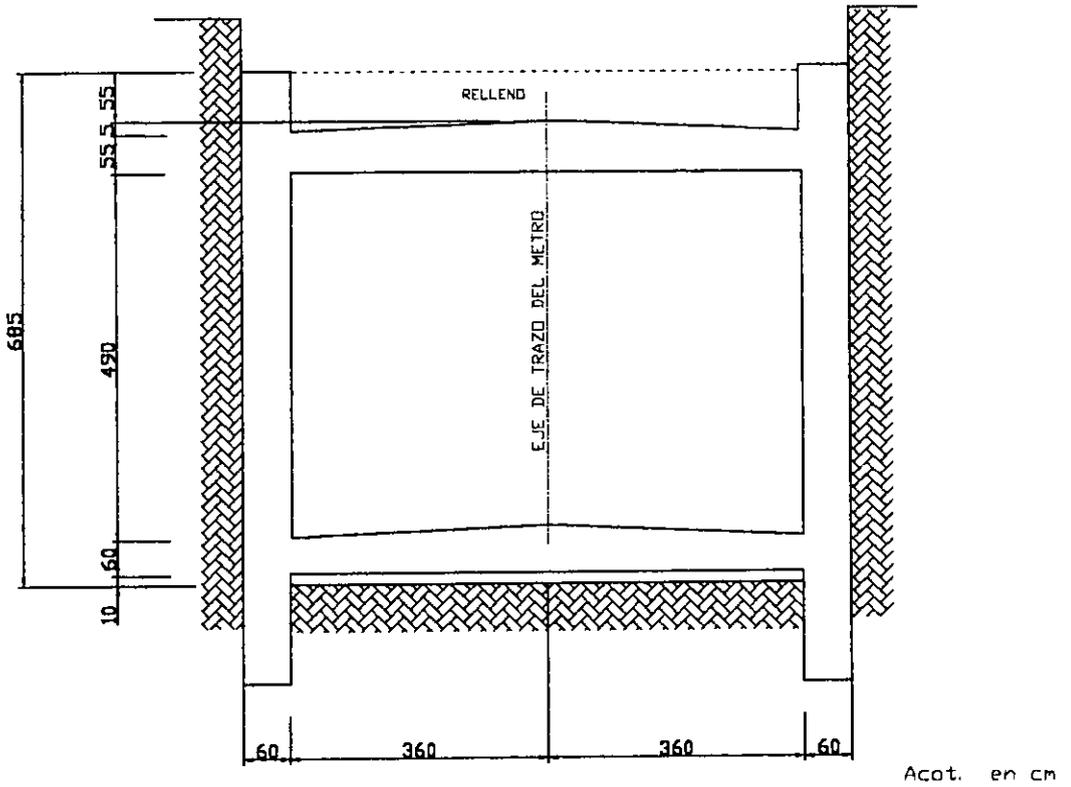


FIG. 3

CAJON CON TABLESTACA ESTRUCTURAL

Primero se colocan o construyen los brocales, que pueden ser de concreto o metálicos en forma de "L" invertida, colocados frente a frente y separados entre sí por el ancho del muro ataguía, tablaestaca o muro Milán. Tiene la finalidad de guiar al equipo de excavación para la construcción o colocación de los muros Milán; esta excavación debe hacerse con equipo o maquinaria cuya herramienta de corte sea guiada, con objeto de ofrecer una amplia garantía en la verticalidad, alineamiento e integridad de las paredes de la zanja y que permiten alcanzar sin problemas la profundidad media del muro, por lo cual la herramienta de excavación debe deslizarse con suavidad, sin chicoteo ni golpes, e hincarse sin dejarla que choque o que caiga libremente contra el lodo o contra las paredes de la zanja para evitar desprendimientos o caídos.

El lodo bentonítico usado como ademe durante la perforación debe cumplir con las características adecuadas de contenido de arena, volumen de agua libre, viscosidad de Marsh y cinemática, densidad y espesor de costra. Es importante mencionar que un buen lodo es la clave para obtener un muro de contención de buena calidad. La excavación de las zanjas se harán en forma alternada, es decir, no deben excavar tableros contiguos en forma simultánea. La longitud de las zanjas excavadas que alojan los muros del cajón son generalmente de 6.0 m. Es importante mencionar que una zanja no puede dejarse totalmente excavada y ademada con lodo por mucho tiempo para evitar problemas de estabilidad en las paredes. Cuando se ha concluido la excavación y se ha verificado la profundidad de la zanja y las propiedades del lodo, se procede a introducir unas juntas metálicas que limitan el tablero y a colocar la parrilla de acero de refuerzo. La cara de la junta que quedará en contacto con el concreto debe engrasarse para facilitar su extracción posterior.

Las parrillas de acero de refuerzo, se harán descender por su propio peso, tomando las debidas precauciones con respecto a la verticalidad, el alineamiento y la profundidad, además es necesario dejar dentro de la parrilla espacios libres verticales para permitir el paso de las trompas de colado.

Después de colocada, centrada y nivelada la parrilla se introducirá, en el espacio respectivo, la trompa de colado por tramos. Los coples de unión de cada tramo de la trompa deben ser perfectamente herméticos para impedir que la succión de la columna de concreto, al bajar, chupe aire o lodo del exterior. Al tramo que sobresale en la superficie se le conecta un embudo o una tolva. El extremo inferior de la trompa, o boca de descarga, debe quedar apoyado en el fondo de la zanja antes de iniciar el colado. Esta boca va cerrada por un tapón en el momento de hacer descender la trompa dentro del lodo. Este tapón debe tener un diseño adecuado para que impida la entrada del lodo y para que retenga el concreto en la trompa, hasta que éste haya formado una columna cuya altura sea suficiente para botar el tapón e iniciar el flujo suave del concreto. El concreto debe ser suficientemente fluido para que sin necesidad de vibrarlo penetre y se distribuya uniformemente por todo el tablero. Para ayudar al concreto a fluir al principio, puede desplazarse la trompa verticalmente hacia arriba y hacia abajo vigilando que permanezca siempre suficientemente ahogada en el concreto para que no exista contaminación del lodo

con el concreto. Con un buen procedimiento de colado el lodo no se mezclará con el concreto, sino que éste lo llevará siempre por delante hasta rebosar.

Un buen procedimiento de colado representa:

1. Tener un lodo bajo control que cumpla con todas las características especificadas.
2. Tener un concreto fluido (revenimiento según las especificaciones de concreto).
3. Dejar la trompa ahogada siempre en el concreto durante el colado y asegurarse de que los coples de unión de los tramos de la trompa sean herméticos, es decir, que impida la entrada del lodo hacia el interior.
4. Hacer un colado continuo.
5. Verificar durante el colado, el volumen de concreto que entra en el tablero y el volumen de lodo que se desplaza, y compararlo con los volúmenes calculados de acuerdo con la geometría del tablero.

Una vez fraguados los muros, se excava el prisma de tierra comprendido entre ellos, abatiendo previamente el Nivel de Aguas Freaticas mediante pozos profundos equipados con bombas de tipo eyector. La excavación se realizará manteniendo un talud en el frente de ataque de la excavación, en una longitud que generalmente varía entre 4 y 8 metros, dependiendo del tipo de suelo, hasta la profundidad correspondiente al primer nivel de puntales; se prosigue con la excavación en etapas sucesivas hasta alcanzar la profundidad del segundo y tercer nivel de puntales. Colocado el tercer nivel de puntales se continúa con la excavación hasta alcanzar el máximo nivel. Los puntales se colocan con una precarga con objeto de evitar deformaciones al suelo y a las estructuras vecinas. Alcanzado el máximo nivel de excavación se procede de inmediato a colar una plantilla lastre de concreto pobre, a colocar el armado y a realizar el colado de la losa de fondo.

Esta es la segunda opción en la que tanto la losa superior como la inferior se ligan estructuralmente a los muros ademe, integrando así una estructura rígida.

La tercera alternativa es construir entre los muros Milán otro cajón rectangular de menor espesor; esta solución se aplica en casos en que la profundidad de desplante del Metro sea tan grande que requiera mayor peso en la estructura, para contar así con una cimentación del tipo compensada (fig. 4). Estos muros se construyen una vez fraguada la losa de fondo, entonces se retiran los dos niveles inferiores de puntales y se procede con rapidez a la construcción de los muros interiores del cajón. A continuación, se colocan tabletas de concreto preesforzado que forma una parte de la losa de techo la cual se complementa con el colado en sitio de un espesor de concreto reforzado. Concluido este colado se retira el nivel superior restante de puntales. Todos los eventos anteriores se llevan a cabo en el menor tiempo posible debido a que cuando el efecto carga-descarga, al que se ve sometido el subsuelo, se lleva a cabo en un lapso reducido, las deformaciones que sufre la estructura y el suelo vecino durante y después de su construcción son mínimas, y la estabilidad de la excavación durante la construcción se garantiza.

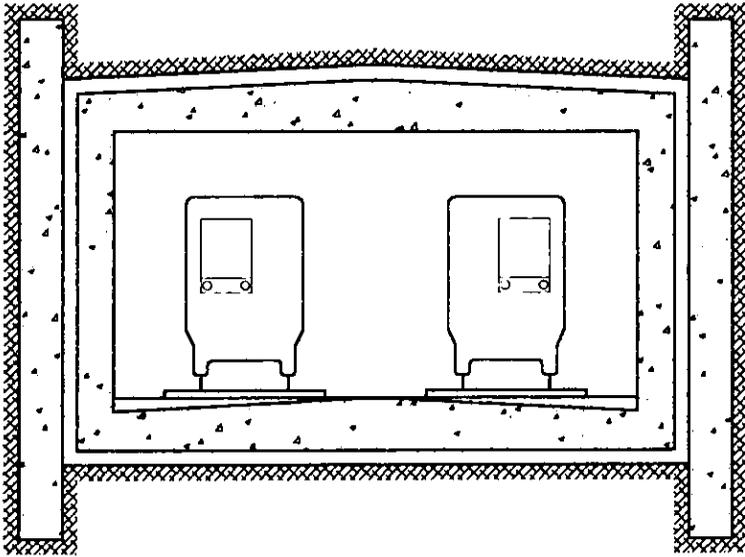
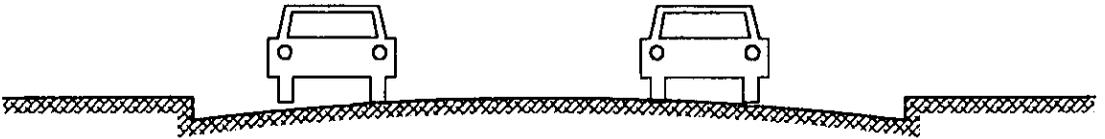


FIG 4
SOLUCION SUBTERRANEA

La razón principal es que al aumentar la profundidad de perfil, aumenta el volumen de excavación del núcleo, por lo que es necesario compensar peso a dicho volumen, agregando este muro de acompañamiento.

También se realiza la construcción de partes complementarias del cajón tales como rejillas de ventilación, nichos de tracción a cada 700 o 1000 m y subestaciones de rectificación (a nivel calle).

Una vez que el concreto de la losa de techo haya adquirido la resistencia especificada en el proyecto, se procederá al relleno superior del cajón para formar la infraestructura de la futura vialidad que se construirá sobre la Línea del Metro, siguiendo los tradicionales procesos constructivos en la ejecución de terraplenes, subbases, bases y carpeta asfáltica o losas de concreto hidráulico.

2.2.3 Túnel

Para la construcción del túnel (fig. 5) es recomendable ubicar una lumbrera por estación a distancias aproximadas de 800 a 1000 m entre sí y con diámetros de 10.20 m. Antes de iniciar la excavación, es necesario colocar un brocal para proteger el terreno de sobrecargas locales. Para la excavación del núcleo se utiliza una draga con cucharón de almeja y, en otros casos, se usan trascavos. Para extraer la rezaga se emplean botes izados por dragas. También habrá necesidad de colocar pozos de abatimiento del nivel freático en el perímetro de la lumbrera, para disminuir las filtraciones y aumentar la estabilidad de la excavación. Normalmente se realiza una excavación de 2.5 m de profundidad, colocación de concreto lanzado de 15 cm de espesor, con malla electrosoldada y así sucesivamente hasta llegar al nivel de piso.

De acuerdo con las características de los suelos y los techos existentes en cada tramo, se lleva a cabo una zonificación sobre los procedimientos de excavación y propiedades del ademe primario. En algunos lugares puede haber cambio con respecto al espesor del concreto lanzado, la colocación de una o dos mallas electrosoldadas, el refuerzo de zonas críticas con marcos metálicos, así como la distancia máxima excavada sin ademe, el ataque a sección completa o con banqueo y la distancia máxima de este último. De tal forma que podemos reducir a dos procedimientos para realizar la excavación del túnel con algunas variantes, estos procedimientos son: procedimiento convencional en el que puede utilizarse como ademe el concreto lanzado sólo o con marcos de acero, y el procedimiento con escudo de frente abierto.

Procedimiento convencional: la excavación del frente se inicia con un empotramiento en la intersección con la lumbrera, colando en una ranura perimetral una trabe de borde de concreto, así como sus anclas de fricción en la parte superior del portal; esto se realiza en todas las intersecciones de túneles, dejando anclajes en la trabe de borde para integrarlos con el revestimiento definitivo. La excavación se hace generalmente con banqueo iniciándose en la sección media superior por etapas de 1.20 m de longitud, hasta alcanzar 4.80 m de banco repitiéndose en forma

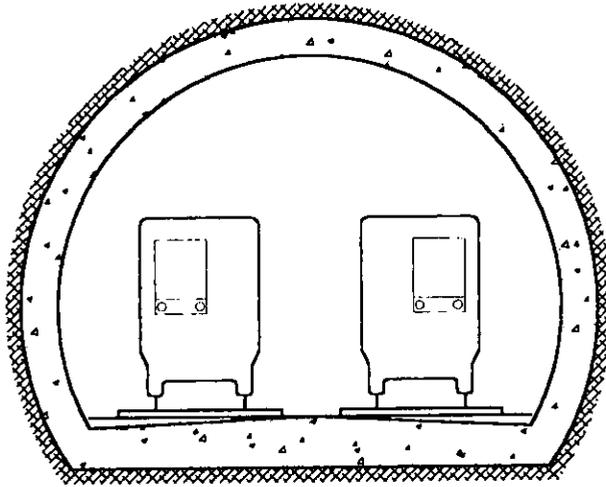
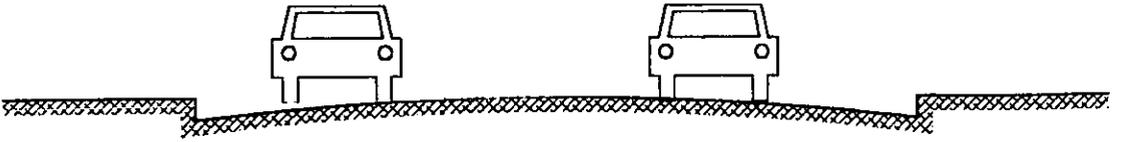


FIG 5
SOLUCION TUNEL

iterativa. La excavación del frente se hace por medio de martillos neumáticos, ayudándose en ocasiones con máquinas rozadoras. Se cuenta además con un traxcavo, para ayudar a la excavación y carga de la rezaga, la cual es transportada en camiones a la lumbrera donde es extraída a la superficie en botes elevados por grúas o malacates.

Ademe con concreto lanzado: En cuanto se termina una etapa de la excavación en la sección media superior, se coloca una capa de 5 cm de concreto lanzado para apoyar la primera malla de 6"x6"x1/4 e inmediatamente se lanza la siguiente capa de concreto con espesor de 15 cm de concreto lanzado. Todas estas operaciones de lanzado y colocación de malla son consecutivas.

El banqueo de la sección media inferior va desfasada en por lo menos 2 etapas, repitiéndose las mismas operaciones que en la sección media superior, pero en este caso, el concreto lanzado termina en el piso con una zapata de apoyo 40 x 80 cm bajo el nivel de plantilla. Finalmente se cuelga el revestimiento definitivo con concreto hidráulico quedando el túnel terminado.

Ademe con marcos de acero y concreto lanzado: Una vez terminada una etapa de excavación de la sección media superior se coloca una primera capa de concreto de 5 cm de espesor con objeto de recibir la primera malla, enseguida se coloca una rastra metálica en el piso para apoyar las secciones curvas de los marcos las cuales reciben el terreno por medio de retaque de madera, después se lanza una segunda capa de concreto de 10 cm de espesor que se coloca en el espacio comprendido entre los marcos. Luego se excava el banco inferior prolongando el concreto lanzado con la malla hasta la plantilla del túnel donde termina con una zapata. Enseguida se reciben las piezas curvas de los marcos mediante largueros que se apoyan en la zapata del piso, se recubre el terreno entre los marcos con una capa de 10 cm de espesor de concreto, colocándose en algunas ocasiones anclas. De ser así se lleva de manera análoga al anterior una instrumentación, para control de asentamientos y obtención de datos para determinar el comportamiento de la masa de suelo.

Una vez terminada la excavación del túnel, cualquiera que haya sido el soporte temporal empleado, se procede al armado para el revestimiento definitivo con concreto hidráulico convencional. Primero se cuelan las guarniciones, después el arco por medio de una cimbra metálica modular y finalmente la losa de piso. El concreto para los colados se introduce al interior del túnel a través de las lumbreras y pozos de control topográfico.

Procedimiento con escudo de frente abierto: antes de iniciar la excavación se construye un atraque de concreto, para apoyar los gatos y transmitir el empuje; cuando el escudo está en contacto con el terreno se realiza un precorte que facilita el avance, luego se accionan los gatos, avanzando según lo indique el proyecto. Ya que el escudo recorrió esa distancia, se excava el núcleo del túnel en la zona de la camisa a la vez que se coloca un anillo de dovelas dentro del faldón. En el siguiente avance queda un anillo de dovelas dentro de la zona del faldón en contacto con el

terreno que se expande con gatos hidráulicos, para garantizar un contacto adecuado contra el terreno. Como etapa final, se inyecta mortero de arena, cemento agua y un aditivo acelerador de fraguado para rellenar el espacio anular que va quedando entre el terreno natural y el extradós de las dovelas.

El escudo tiene dimensiones de 9.15 m de diámetro exterior y 4.70 m de largo que presenta una estructura interior formada por columnas y vigas de acero que le dan tanto rigidez al escudo como apoyo a los gatos que empujan los ademes frontales, los cuales sostienen el terreno del frente, estos mismos largueros sostienen a su vez, plataformas que permiten a los obreros trabajar en los tres niveles o secciones que esta dividido el escudo.

El revestimiento definitivo en la estación Viveros se realizó con concreto lanzado y en Miguel Angel de Quevedo y Copilco, se utilizaron secciones prefabricadas.

2.3. SUELOS QUE ATRAVIESA EL METRO

La mecánica de suelos tiene una importancia preponderante para el diseño y la construcción de cualquier obra civil y en la definición de Gabriel Moreno Pecero es muy claro el porqué, él dice que la mecánica de suelos "es el conocimiento del comportamiento del suelo en cuanto a su relación esfuerzo-deformación y a su variación con el tiempo, con el fin de que el proyecto, diseño, construcción, operación y conservación de las obras de ingeniería en las que interviene el suelo resulten simultáneamente seguras, económicas, funcionales y sean acordes o compatibles con la naturaleza" (Rodríguez J.L., 1996).

Y si hablamos del STC Metro donde anualmente se tiene en sus instalaciones a casi 2 billones de personas, eso nos obliga a pensar que los estudios de mecánica de suelos son vitales para la seguridad de sus usuarios y para el comportamiento de la obra civil; por consiguiente necesarios para su proyecto, diseño, construcción, operación y conservación. Pero aunque se realicen estos estudios, al construir el Metro se altera la naturaleza del subsuelo del Valle de México y se presentan problemas como los asentamientos irregulares, infiltraciones, etcétera.

Los suelos del Valle de México se dividen según la mecánica de suelos en tres zonas: Zona I de Lomas, Zona II de Transición y Zona III de Lago y Línea 3 pasa por estas tres zonas; a continuación se realiza una breve descripción del Valle y su regionalización geotécnica.

2.3.1 Antecedentes del Valle de México

El Valle de México está en el extremo sur del altiplano mexicano y era hasta el siglo pasado una cuenca cerrada que ahora drena hacia el norte por un túnel y un

tajo artificiales. Hace 700 000 años la cuenca drenaba hacia el sur, hasta que fue cerrada por la Sierra de Chichinautzin a principios del Cuaternario. Casi todo el Valle está cubierto por materiales de este periodo geológico, salvo las tobas y brechas de la formación Tarango en el poniente y las lavas andesíticas de las sierras Nevada en el oriente.

El drenaje artificial y la evolución topográfica debida al hundimiento regional transformaron el lago original -que cubría desde Zumpango en el norte hasta Chalco en el sur- en una extensión de lagos menores cuya extensión fue variando. Las particularidades geotécnicas del subsuelo del Valle de México se deben a la deposición de finas cenizas volcánicas en el ambiente lacustre que predominaba durante el Pleistoceno Superior en más de 2000 km² de los 7000 km² de la cuenca. Tales condiciones dieron como resultado los tres tipos de subsuelo que hoy se distinguen en el Valle de México.

2.3.2 Zona I de tomas

Las estaciones de Universidad a Viveros se encuentran en esta zona que el Reglamento del Distrito Federal en su artículo 219 define como una "zona formada por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que puede existir superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas y de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena".

En esta zona se realizó la solución de túnel y para conocer las propiedades mecánicas del subsuelo se efectuaron sondeos de exploración a cada 100 m, de donde se extrajeron muestras alteradas e inalteradas. Las muestras inalteradas sirvieron para determinar la profundidad de excavación del túnel, procurando dejar alojada la sección en materiales limo-arenoso; también fue importante determinar la presencia de cavernas o minas de arena, lo cual se realizó con sondeos geoelectricos.

2.3.3. Zona II o de Transición

Esta zona es atravesada por el cajón del Metro entre las estaciones División del Norte y Viveros; la solución que se dio es subterránea en su totalidad y según el RDF esta zona se caracteriza por que "los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad o menos, y está constituida por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre, el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros."

2.3.4. Zona III o Lacustre

Esta zona es la que más complicaciones representa para la ingeniería civil y en ella se tienen más de la mitad de las estaciones; es el tramo comprendido entre División del Norte e Indios Verdes. Es definida por el RDF como una zona "integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m."

2.4. PARTES QUE FORMAN EL METRO

El STC Metro tiene varias instalaciones, además de las estaciones e interestaciones, como pueden ser los talleres donde existen naves tipo industrial que sirven para resguardar a los trenes que no se encuentran circulando en Línea; ahí también se les da mantenimiento menor, es decir, mantenimiento preventivo y correctivo a los trenes. También hay un tramo de vía de pruebas, además de instalaciones de apoyo para los trabajadores (comedor, sanitarios y servicios médicos, entre otros).

Para satisfacer las necesidades de energía eléctrica se cuenta con subestaciones eléctricas para alumbrado normal y de emergencia. Cada estación cuenta con permanencias donde se hace el trabajo de mantenimiento de las estaciones. Además de contar con varios edificios para cuestiones administrativas. En esta tesis se limita a las estaciones e interestaciones.

2.4.1. Estaciones

Los elementos que constituyen una estación (fig. 6) y donde, por lo tanto, es posible que se presenten infiltraciones, son los siguientes:

1.- Zona de andenes, donde el público aborda o desciende de los trenes; es muy importante que no existan infiltraciones en esa zona por que los usuarios se pueden resbalar.

2.- Zona de acceso, sus diversas áreas depende del tipo de estación, comprende:

- ◆ Vestíbulo, escaleras y circulaciones.
- ◆ Controles de entrada y salida de pasajeros (taquillas, torniquetes y portillones).
- ◆ Cambio de andenes.

ÁREAS OPERATIVAS

- 1 Automatización y control
- 2 Subestación de alumbrado y fuerza
- 3 Extracción de aire
- 4 Cárcamo
- 5 Jefe de estación
- 6 Primeros auxilios
- 7 Limpieza
- 8 Sanitarios
- 16 Máquinas
- 21 Bodega
- 22 Policía auxiliar
- T Taquillas

Vestíbulo
Andenes
Escaleras
Vías

A Tiendas

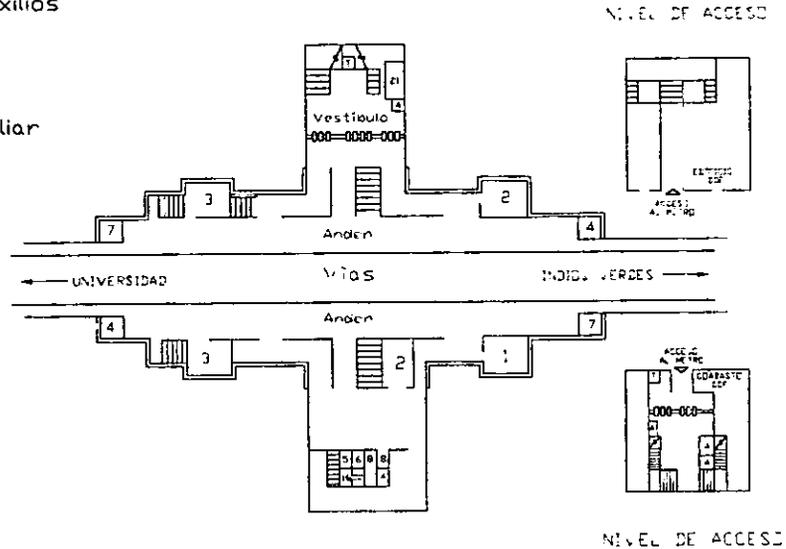


FIG 6
PARTES QUE FORMAN UNA ESTACIÓN

3.- Zonas de servicio que contiene los elementos que requiere la operación de la estación son:

- ◆ Cuarto de operación.
- ◆ Sala de telecomunicaciones.
- ◆ Cuarto de servicios técnicos.
- ◆ Cuarto de extracción de aire.
- ◆ Cárcamo y cuarto de bombeo.
- ◆ Tomas de aire.
- ◆ Casa de máquinas para escaleras mecánicas.
- ◆ Almacén y depósito de cascajo.
- ◆ Sanitario para empleados y operadores.
- ◆ Espacios para publicidad y concesiones.
- ◆ Local para inspectores.
- ◆ Sala de relevadores.
- ◆ Oficina de despachador (en estaciones terminales).
- ◆ Sala de descanso.

2.4.2 Interestaciones

En las interestaciones son necesarias obras adicionales para albergar equipos electromecánicos, por ejemplo nichos de seguridad, de visitadores, de acometida de cables de energía. Además, a lo largo del túnel existen charolas laterales aproximadamente a 3 m de altura donde se depositan cables de alta tensión, de baja tensión, alumbrado de emergencia, cableado para telefonía de trenes, señalización, pilotaje automático y un sistema contra incendios.

La vía está constituida por tres elementos metálicos: riel, pista y barra guía, que sirven para guiar y mantener una base lo suficientemente rígida, alineada y nivelada para permitir un desplazamiento uniforme y confortable de los trenes. Además, el elemento denominado barra guía se utiliza como conductor para la transmisión de la energía eléctrica necesaria para el movimiento de los trenes.

Los rieles, pistas y barras guías se asientan y sujetan a durmientes de concreto espaciados a cada 75 cm en rectas y a cada 60 cm en curvas. A su vez los durmientes van asentados sobre balastro que consisten en piedra triturada con una granulometría y dureza adecuada, que entre sus funciones tiene la de transmitir y repartir sus cargas. El balastro es también un medio que permite compensar los movimientos del subsuelo.

En estaciones e interestaciones subterráneas la ventilación es muy importante y se logra en forma natural mediante rejillas que tienen como función permitir el efecto de émbolo de un tren en marcha, sacando del interior del túnel el aire recalentado. Las especificaciones de ventilación natural señalan 270 m² de rejilla de ventilación por cada kilómetro de túnel para 2 vías; debajo de estas rejillas existen

charolas separadas por una distancia de 0.50 a 0.80 m, que tiene como función acumular el agua pluvial y por medio de bajadas con poliducto de P.V.C. mandar el agua al canal cuneta que se encuentran a lo largo de toda la Línea, en los dos extremos laterales y desemboca en los cárcamos de bombeo que se encuentran en la cabecera de cada estación. También existen extractores de aire, además de las lumbreras que tienen rejillas.

2.5 IMPERMEABILIZACION

Para hablar acerca del sistema de impermeabilización es necesario explicar brevemente el proceso constructivo del cajón con muro Milán solamente.

Las actividades a realizar son:

- ◆ Colado de muros de concreto reforzado estructural.
- ◆ Abatimiento del NAF mediante pozos de bombeo colocados a 10 m de separación.
- ◆ Excavación del núcleo entre los muros estructurales, mediante sistemas mecánicos y manuales, hasta el nivel de la losa de fondo, apuntalando y troquelando los muros para evitar alguna falla ocasionada por el empuje del suelo.
- ◆ Demolición del muro en la zona de la losa de fondo, donde se anclará el refuerzo de ésta.
- ◆ Retiro de troqueles y colocación de losa presforzada como tapa.
- ◆ Colado de losa de compresión armada sobre la losa presforzada.
- ◆ Relleno sobre el cajón del Metro.

Estas actividades se realizan en tramos de 6 m de longitud, por lo que los puntos principales en donde es posible que haya infiltraciones son los siguientes :

- ◆ En las juntas de colado entre los muros estructurales.
- ◆ En las juntas que se provocan por la demolición del muro, para anclar el armado de la losa.
- ◆ En las juntas de colado entre losas de fondo.
- ◆ En el muro estructural.

Para garantizar la impermeabilización en dichas zonas, se llevan a cabo las siguientes actividades.

- ◆ Para las juntas de colado entre los muros estructurales y entre las losas de fondo, se coloca una banda de Cloruro de Polivinilo (P.V.C.) de 22 cm a lo largo de toda la junta. Dicha banda impide el paso del agua en la junta de colado .
- ◆ Para las juntas de colado que se provocan por la demolición del muro estructural para integrar las losas de fondo y superior la impermeabilización, se hará

utilizando una resina epóxica comercial entre el muro y la losa, además de utilizar un concreto de buena calidad.

- ◆ Para las posibles filtraciones en el muro estructural, la impermeabilización tiene varios puntos:
 - ◆ Buena calidad del concreto y construcción del muro.
 - ◆ El espesor del muro estructural de 0.60 m.
 - ◆ Cuando los procesos anteriores no garantizan la impermeabilización por ser de características especiales el terreno en que se construye la sección de cajón del Metro, tales como materiales granulares o con alto contenido de humedad, se procede a realizar inyecciones al terreno contiguo a la zona de filtración con una mezcla o lechada de agua-cemento a presión como se indica en la figura 7, con la finalidad de impermeabilizar el suelo llenando los huecos que quedan en los materiales granulares, formando una pantalla de baja permeabilidad.

Para determinar los lugares donde se va a impermeabilizar en un cajón con muro Milán y muro de acompañamiento, basado en la construcción de los muros armados y colados en el sitio, que en este caso sirven para contener el empuje del suelo y compensar el peso del volumen de excavación, el proceso constructivo es el siguiente:

- ◆ Colado de muros de contención.
- ◆ Abatimiento del NAF mediante pozos de bombeo a cada 10 m.
- ◆ Excavación del núcleo entre estos muros mediante sistemas mecánicos y manuales, hasta el núcleo de la losa de fondo troquelando los muros.
- ◆ Colado de la losa de fondo independientemente de los muros de contención.
- ◆ Armado y colado de los muros estructurales que constituye la sección estructural definitiva.
- ◆ Colocación de losa prefabricada.
- ◆ Colado de losa de compresión y relleno sobre cajón del metro.

En este caso las posibles zonas de infiltraciones son las siguientes (fig. 8):

- ◆ En las juntas de colado entre muros de contención.
- ◆ En las juntas entre muro y muro de acompañamiento.
- ◆ En las juntas de colado en la losa de fondo.
- ◆ En las juntas de colado entre losas de fondo y muro de acompañamiento.

La solución de impermeabilización es semejante a la anterior, es decir, para las juntas de colado en muros de contención, losas de fondo, muros de acompañamiento y entre losa de fondo y muro de acompañamiento se coloca una banda de PVC.

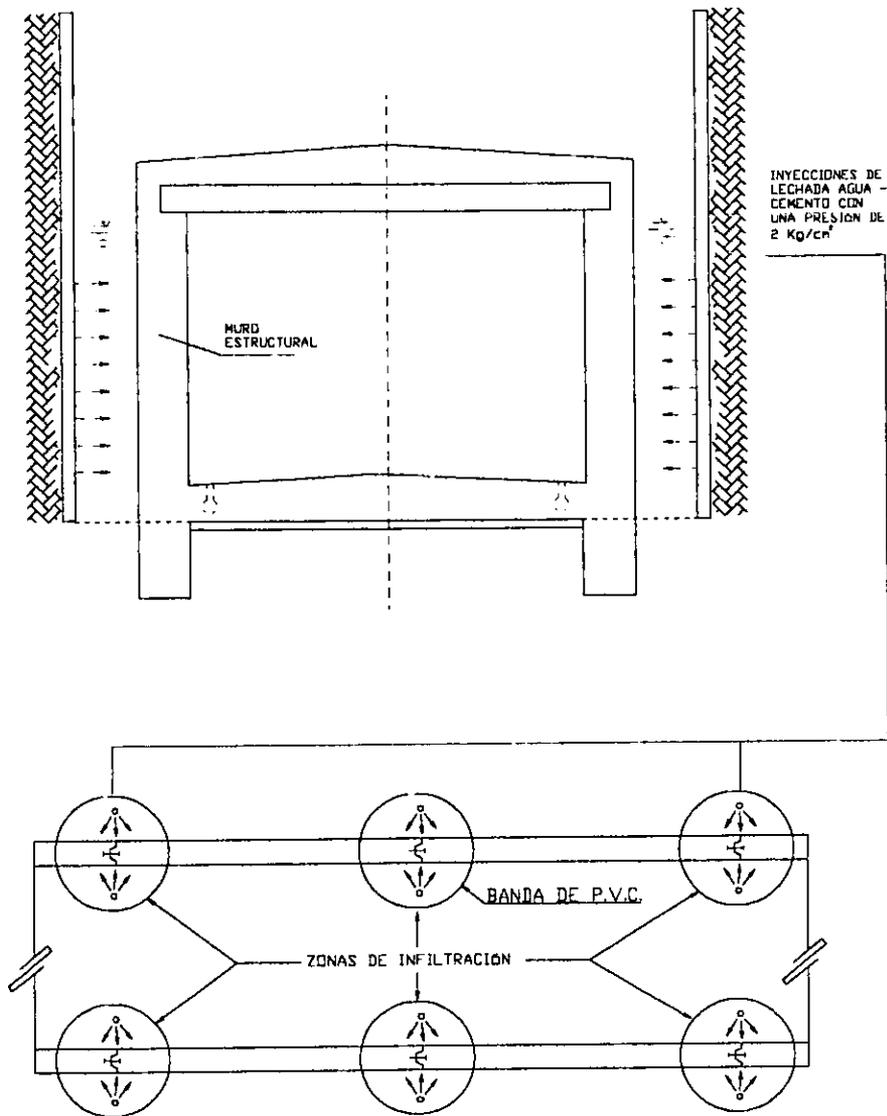


FIG 7
 INYECCIÓN AL TERRENO CONTINUO

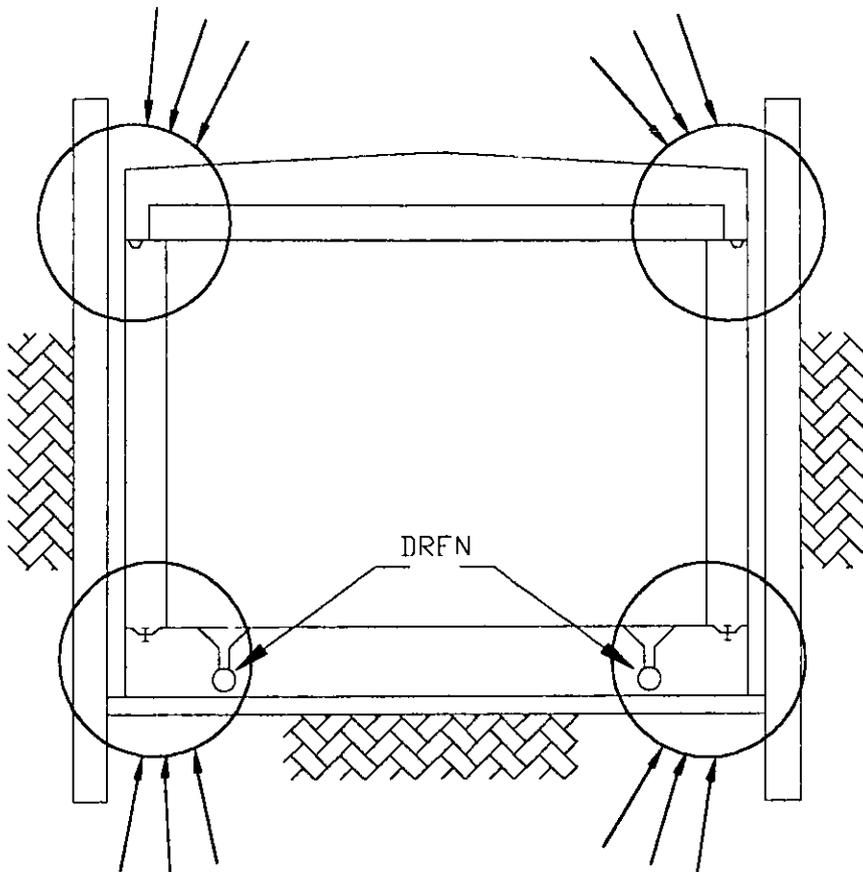


FIG 8

POSIBLES INFILTRACIONES EN CAJON
CON MURO ESTRUCTURAL Y DE ACOMPAÑAMIENTO

La buena calidad del concreto garantizará aún más la impermeabilización de la sección cajón-muro de acompañamiento.

Las recomendaciones anteriores pueden verse afectadas por algún sismo, lo que en algún caso crítico provocaría grietas o fracturas en los muros. Previendo esta situación se considera en el proyecto ese imprevisto y se colocó un dren de PVC de 0.25 m de diámetro, ahogado en la losa de fondo en los extremos laterales del túnel, tal como se indica en la figura 9, para captar y evacuar el flujo de agua.

En todas las estaciones del metro, existen los acabados con mamparas y una de las funciones de éstas es la de cubrir los escurrimientos de agua de los muros estructurales de andenes y pasillos, canalizarlos a través del zoclo dren y los sistemas de drenaje hacia los cárcamos y de esta forma evitar encharcamientos en áreas visibles a los usuarios.

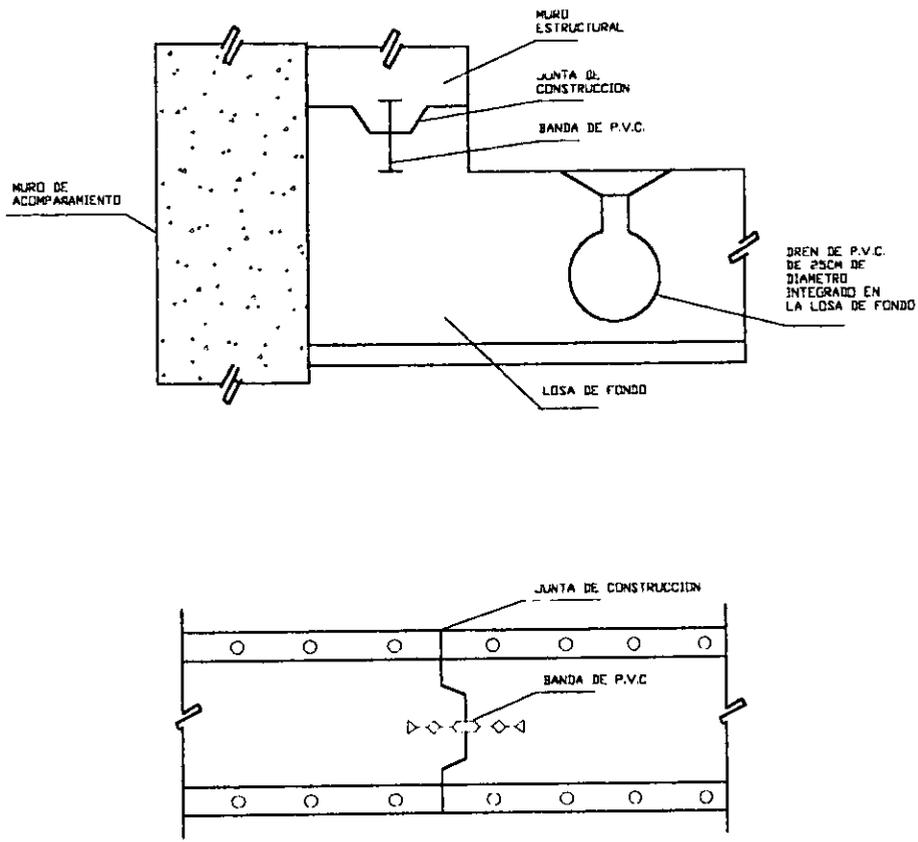


FIG 9
 BANDA DE PVC QUE IMPIDE EL PASO DE AGUA

CAPITULO 3

ORIGEN Y EFECTO DE LAS INFILTRACIONES

3.1 DIFERENCIA ENTRE FILTRACIÓN E INFILTRACIÓN

Se distingue en este trabajo, filtración de infiltración, principalmente en que una filtración sucede en un medio continuo y una infiltración en un medio discontinuo (agrietado).

Es muy común que en diversos países de habla castellana el término flujo y filtración signifiquen lo mismo, es decir, que este nombre lo recibe el fenómeno de circulación de agua a través de un suelo, o sea el flujo de un líquido o gas.

Este fenómeno llamado flujo o filtración lo generan los fluidos como el agua que tiene la característica de deformarse continuamente cuando se somete a una tensión de cortadura por pequeña que ésta sea, además de ser incompresible.

Por lo tanto podemos concluir que una filtración es una corriente pequeña de líquido con flujo laminar, que se produce a través de un medio poroso; su velocidad y su caudal suelen ser pequeños. Para que un medio sea permeable necesita tener vacíos comunicados.

Una infiltración es cuando el agua llega a una barrera impermeable que le impide el paso directo, pero después de cierto tiempo y bajo ciertas condiciones, como puede ser la existencia de una alta presión a la que esté sometido el líquido, circula entre las discontinuidades de este sólido, que en un principio le impedía el paso.

3.2 CARACTERÍSTICAS QUE TIENE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DEL METRO, QUE FACILITAN LA PRESENCIA DE INFILTRACIONES

El proceso se inicia con la excavación de los tableros que formaran los muros Milán de 6 m de longitud por 0.60 m de ancho y profundidad variable de 7 a 12 m. Estos módulos se excavan con equipo guiado Casagrande. A medida que se avanza, se va rellenando de lodo bentonítico, el cual sirve como ademe para evitar caídos del terreno durante los trabajos. Posteriormente se coloca la junta metálica que lleva una banda de PVC para evitar infiltraciones y desfaseamiento de los muros de concreto armado colado en sitio. Una vez realizado esto, se procede a la colocación de la parrilla de acero de refuerzo y el vaciado de concreto para formar el muro Milán. En teoría este es el proceso constructivo del muro Milán, pero en la práctica sucede algo muy diferente, ya que es cuando se generan varias fallas que disminuyen la calidad de los muros Milán y facilitan la existencia de infiltraciones en el Metro.

Las principales fallas que presentan los muros Milán son:

A) Caídos

Estos ocurren en las paredes del terreno natural a un nivel de 2.0 a 3.0 m de profundidad con respecto a la superficie del terreno, ocasionando que durante el colado de los muros, el volumen de concreto llene las socavaciones dejadas por los caídos, quedando posteriormente muros con sección transversal con salientes variables de 1.0 a 1.5 m² por la longitud del caído. En los tramos con este tipo de falla es usual observar la continuidad de la falla a lo largo de uno o más muros. Además, el material desprendido contamina el concreto.

B) Zonas contaminadas

Son zonas inestables sin resistencia alguna que quedan atrapadas en el concreto y provocan discontinuidad en el concreto. Generalmente, pueden observarse como zonas localizadas de material mezclado con lechada de cemento o bien agragado de concreto mezclado con arcilla.

Estas zonas contaminadas o caídos tienen como origen diferentes causas, entre ellas la discontinuidad del colado, pues en ocasiones hay interrupciones hasta de 15 minutos, el uso de concreto con revenimiento fuera de especificación, es decir, fuera del rango comprendido entre 14.5 y 21.5 cm, fluido estabilizador con baja densidad como puede ser el agua tratada ya que aparentemente ésta, es la causa principal de caídos, aunado a la brusquedad del procedimiento de excavación del muro. Una de las principales razones de contaminación de muro Milán se da durante el colado porque las uniones del tubo "tremie" o lingada son origen de filtración del fluido estabilizador al concreto. La excavación realizada por operadores de draga inexpertos provoca que los trabajos se realicen con brusquedad y sin tener cuidado en la excavación de la tercera posición, área central del muro Milán, además de desconocer las buenas prácticas para el colado a base del tubo "tremie" y realizar "chaqueteo" brusco y excesivo. Generalmente estas causas no se dan aisladas, sino que generalmente se combinan y provocan una pésima calidad del muro Milán.

3.3 CARACTERISTICAS DEL SUELO DEL VALLE DE MEXICO QUE FACILITAN LA PRESENCIA DE INFILTRACIONES

Las razones por las que se presenta una infiltración en los túneles del STC Metro son muchas y muy variadas. Las condiciones que presenta el suelo del Distrito Federal (D.F.) son favorables para la presencia de éstas, por ejemplo, en el Valle de México donde los terrenos corresponden al antiguo Lago de Texcoco y que en un corte estratigráfico típico de esta zona se pueden observar que existe un depósito arenoarcilloso o limoso con abundantes restos arqueológicos o de rellenos artificiales hasta de 10 m de espesor, convirtiéndose en ocasiones en el único estrato que ocupan los cajones del Metro en el tramo subterráneo y que por cierto abarca grandes extensiones de la zona de lago. Las características de este estrato es que

son materiales altamente compresibles (por lo tanto son muy deformables) y, por esta razón tienen muchos problemas de asentamientos.

El suelo en la Ciudad de México se encuentra sometido a infinidad de cargas; estas cargas son soportadas por los esfuerzos totales inherentes que presenta el suelo. Con estos datos se diseña el cajón para soportar empujes que puedan dañar la infraestructura, pero también existen esfuerzos neutrales que son generados por el agua que se encuentra en el suelo (presión hidrostática y presión hidrodinámica). Una característica del agua es la incompresibilidad, por lo tanto, al tener el suelo cargas exteriores, el agua que lo compone adquiere presiones elevadas y el agua por la permeabilidad del conjunto tenderá a fluir hacia zonas de la masa en que prevalezca una menor presión; este hecho se reflejará en el estado de esfuerzos de la zona cargada, cuando el agua llega a una pared vertical impermeable, se empieza a acumular, a generar más presión, tiene la necesidad de salir y busca en el muro Milán espacios suficientes para pasar, ya que no existe ningún medio 100% impermeable, por lo que el agua logra infiltrarse a través del muro Milán y del muro estructural y posiblemente dañe instalaciones del STC.

El fenómeno de compresibilidad que genera asentamientos en el Valle de México provoca que la construcción del Metro se fisure cuando estos asentamientos son irregulares (esto es lo más frecuente). Además, por estar en una zona de alta sismicidad provoca que en un movimiento telúrico las construcciones se agrieten y por allí pase el agua y se genere la infiltración, habiendo sido facilitado su paso por el asentamiento irregular o por el temblor pues forman grietas que partiendo de la superficie llegan hasta el acero de refuerzo y facilitan la introducción del líquido al interior de las instalaciones del STC.

3.4 ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO QUE SE INFILTRA A LAS INSTALACIONES DEL STC METRO

Existen diferentes fuentes de las infiltraciones que se presentan en el STC Metro, unas son más peligrosas que otras; algunas provienen de las tuberías de agua potable o de drenaje rotas; también cuando existen fugas de hidrocarburos. Por estar ubicados en la Ciudad de México, la principal fuente es el agua que fluye en el subsuelo es Agua Freática. Cada líquido que se infiltra al STC tiene ciertas características que se enumerarán a continuación.

3.4.1. Agua Potable

En una urbe tan grande como la Ciudad de México con casi 20 millones de habitantes, es muy importante abastecerla de agua potable; esto se logra de manera subterránea pues se encuentran localizadas tuberías que abastecen a la capital de este líquido. En muchas ocasiones estas tuberías están rotas a causa de esfuerzos y vibraciones en la red debido a cargas superficiales, lo que provoca agrietamientos transversales; también existen agrietamientos longitudinales por fatiga de materiales,

defectos de fabricación, golpe de ariete, corrosión o junteo defectuoso de tubos; otra causa de las fugas son los aplastamientos que generalmente se presentan en tuberías de materiales defectuosos; también son frecuentes las fugas que se presentan en accesorios especiales como: válvulas, coples, juntas Gibault, juntas Dresser; y anillos de sellamiento, manifestándose las fallas con ranuras horizontales y verticales por donde se escapa el agua que en pocas ocasiones se manifiesta en la superficie, que de ser así se reparan inmediatamente, pero comúnmente el líquido escurre hacia cauces naturales como grietas en fallas geológicas, al subsuelo en zonas permeables, a instalaciones de la infraestructura urbana como ductos de luz, de teléfonos, tuberías de drenaje, o hacia otro tipo de instalaciones subterráneas como los túneles del STC, donde después de algún tiempo se infiltra. Se estima que se pierde en la red de agua potable entre el 30 y 40 % del suministro, esta agua que se pierde sale a presión, lo que provoca más daños en la infraestructura subterránea.

El agua potable tiene sustancias como el oxígeno, bióxido de carbono y sales minerales de potasio, sodio, calcio y magnesio en cantidades pequeñas, que son incrustantes, además de cloro que es corrosivo.

3.4.2. Agua de drenaje

Es necesario sacar las aguas negras o de desecho que se generan en la ciudad para que no causen enfermedades entre los habitantes. Esta agua se evacúa por medio de tuberías que también pueden presentar fisuras o fracturas por las que el agua empieza a fluir y a contaminar las aguas freáticas, además de infiltrarse en las estaciones o interestaciones del STC y dañar sus instalaciones. A diferencia del agua potable, el agua de drenaje no sale a presión.

Esta agua contiene todo tipo de materiales de desecho: orgánicos y minerales, en estado sólido como materiales fecales, arcillas, arenas, residuos de la industria; en estado líquido como orines, colorantes, etc.; en estado gaseoso como ácido sulfhídrico, gas metano, amoníaco y demás productos de putrefacción de algunas sustancias.

3.4.3. Hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos integrados por carbono e hidrógeno, altamente inflamables.

A lo largo de L3 existen 8 estaciones de servicio o gasolineras funcionando que pueden presentar filtraciones de hidrocarburos al subsuelo, que alteran y destruyen instalaciones urbanas, equipos, entorno ecológico y pueden provocar la muerte de personas. En L3 sólo se ha presentado un caso en que la estación de servicio número 2794 afectó a la interestación Centro Médico - Etiopía. Esto sucedió porque algún tanque de almacenamiento presentó alguna fuga de hidrocarburo que se filtró al subsuelo, se diluyó con el agua freática y así llegó a las instalaciones del

STC, principalmente en el lugar de mayor vulnerabilidad, que son los túneles por donde circulan los trenes y toman energía de la barra guía.

3.4.4 Aguas freáticas

La fuente más importante de infiltraciones son las aguas freáticas.

El suelo, es un material con arreglo variable de sus partículas que dejan entre ellas una serie de poros conectados, que forman una compleja red de canales de diferentes magnitudes que se comunican tanto con la superficie del terreno como con las fisuras y grietas de la masa del mismo, entonces el agua que cae sobre el suelo parte escurre y parte se infiltra por acción de la gravedad hasta estratos impermeables más profundos formando la llamada capa freática. El límite superior de este manto acuoso se llama nivel freático. El agua que pasa por los poros a través del suelo se le conoce como agua gravitacional y aquella que se encuentra por debajo del nivel freático se le llama agua freática. Cuando se suspende el movimiento del agua gravitacional a través del suelo, parte del agua se queda retenida en los poros y sobre la superficie de las partículas debido a las fuerzas de tensión y adsorción. Esta agua que no puede ser drenada directamente, recibe el nombre de agua adsorbida. Los poros del suelo que se encuentran por debajo del nivel freático se encuentran completamente llenos de agua, y se considera que cualquier movimiento de esta agua a través del suelo sigue la ley de Darcy que indica que la intensidad de filtración por unidad de área es directamente proporcional al gradiente hidráulico, o sea:

$$V = k i A t$$

Donde

V = Cantidad de agua, en cm³ generalmente, que escurre a través del área A

k = Constante de permeabilidad o conductividad hidráulica, en cm/s

normalmente

i = Gradiente hidráulico, igual a la pérdida de carga entre la longitud recorrida

A = Área transversal, en cm², a través del cual fluye el agua

t = Tiempo normalmente en segundos, durante el cual fluye la cantidad V de agua

El agua subterránea puede provenir directa o indirectamente de la precipitación pluvial:

- 1) Directamente como agua de lluvia que se filtra al interior del suelo y/o trasmina por grietas o pasajes en formaciones rocosas y penetra en profundidades suficientes para alcanzar el NAF.
- 2) Indirectamente, como agua superficial de corrientes, pantanos, lagos y depósitos que se filtran al suelo a través de terrenos permeables cuando el NAF es inferior a la superficie libre del agua.

En la estación de Centro Médico ubicada en Av. Cuauhtémoc casi en el cruce con Viaducto Miguel Alemán es muy visible como afecta este tipo de agua a la construcción, siendo esta estación una de las más afectadas en el Cúbiculo de Jefe de Estación (CJE) que se encuentra debajo de las escaleras de la salida oriente, en el parque Antonio M. Anza, ya que por estar ubicada junto a un parque y un panteón, hay una recarga importante de agua al suelo. Debido a los asentamientos diferenciales que se han registrado han permitido la formación de una grieta muy grande de casi 2 m de largo por 3 cm de abertura y una profundidad suficiente para inundar el CJE en tiempo de lluvias.

3.5 PROBLEMAS QUE GENERAN LAS INFILTRACIONES EN LAS INSTALACIONES DEL STC METRO

Este trabajo se centra en las infiltraciones que ocurren en las instalaciones subterráneas, ya sea en túnel o en cajón. Pero hay que dar por hecho que en algunas estaciones que están construidas de manera superficial también hay infiltraciones y la solución que se le puede dar es muy sencilla. Como el agua que la afecta es pluvial, entonces hay que tener una buena impermeabilización, además de mantener limpias las bajadas para que el agua fluya al canal cuneta.

Las infiltraciones atacan a todas las instalaciones ya sean mecánicas, eléctricas y civiles, estén en túneles, locales técnicos o vestíbulos; a continuación se describe el daño que producen.

3.5.1. En obra civil

En general las construcciones de concreto son muy duraderas, pues el concreto de buena calidad posee una considerable resistencia a la mayor parte de los agentes químicamente agresivos que existen en la naturaleza. Convenientemente preparado, puesto en obra y curado, resiste casi todos los tipos de terrenos y aguas subterráneas.

El agua del subsuelo intenta pasar a través de la obra civil, pues ésta es la que impide su paso, particularmente son los muros los que no la dejan pasar, es por eso que allí es donde se presentan más las infiltraciones; el agua busca por donde es más sencillo pasar y encuentra menor oposición en las juntas, ya sean frías o de construcción, y por allí puede empezar la infiltración.

El agua provoca en el concreto degradación, pues ésta se genera en un medio húmedo o saturado de líquido agresivo. El concreto sufre daños, su superficie se hace porosa y si la acción agresiva es intensa y duradera, los daños pueden acabar con él. La magnitud de este ataque depende esencialmente: del medio exterior, es decir, de las sustancias agresivas, tales como la composición química de la capa freática, de las propiedades de los suelos, de la profundidad del NAF, de condiciones climatológicas, microbiológicas, etc., además, también influye la composición mineral

del concreto, la forma de fabricación, estructura y edad. También los factores físicos externos (temperatura, velocidad de las corrientes subterráneas, presión, proceso de secado humedecimiento, etc.) acrecientan o aminoran la acción agresiva.

Como se puede ver casi todos los factores que incrementan la degradación del concreto los tiene el muro Milán; por ejemplo, de manera exterior los compuestos que contiene el agua y dañan al muro son sustancias agresivas que atacan de manera intensa y duradera. El muro en sí, puede carecer de una buena resistencia debido al mal vibrado que impidió que los agregados se acomodaran bien y existen vacíos entre algunas gravas; es por esta razón que hay zonas de la estructura donde el concreto es muy pobre y poroso, además, algunas veces un mal proceso constructivo provocó la contaminación del concreto que facilita la presencia de infiltraciones.

La corrosión afecta al acero cuando el concreto no a sido capaz de proporcionar la protección requerida a los materiales ahogados en él, el acero puede presentar corrosión aun en concreto no agrietado, si éste se encuentra bajo condiciones de exposición muy severa o si el recubrimiento del acero de refuerzo es insuficiente. El agrietamiento que se extiende hacia adentro desde la superficie del concreto contribuye a la corrosión, ya que puede proporcionar entrada a la humedad, al aire y a contaminantes. Las grietas más anchas, y en especial si son paralelas al material ahogado en el concreto, pueden facilitar un mayor acceso a las sustancias corrosivas y así acelerar sus ataques.

En las primera etapas de la corrosión se puede observar en los poros de concreto y en agrietamientos superficiales unas manchas causadas por el óxido (generalmente de color gris oscuro o rojizas) lo que indica que el acero aumentará de volumen y por lo tanto provocará un agrietamiento más notable que se produce en una sección paralela a los elementos de refuerzo y una pérdida de adherencia entre el concreto y acero. En casos avanzados en el concreto se pueden formar escamas, que se desprenden y permiten la exposición directa del acero.

Podemos concluir que las infiltraciones en la infraestructura del STC metro causan:

- ◆ Deterioro estructural, por degradación del concreto.
- ◆ Fracturamiento de losas y muros de concreto, debido a la expansión volumétrica originada por la oxidación de las varillas corrugadas y acero de refuerzo expuestos a la humedad.
- ◆ Deterioro de acabados arquitectónicos y recubrimientos de protección superficial.

3.5.2. Instalaciones electromecánicas

Ya que el líquido atravesó el muro y está fluyendo, puede ser que en su trayecto dañe algunas instalaciones electromecánicas, como el sistema de

transformación de energía de alto voltaje y con ello puede entorpecer gravemente al sistema, además de afectar al señalamiento que se encuentra instalado a lo largo del túnel, o cualquier dispositivo electromecánico que se encuentre instalado a lo largo de la red y al entrar en contacto con el agua pueden causar algún corto circuito y suspender el servicio. Además, si el agua está cayendo en la vía de rodamiento puede provocar que en una pendiente muy fuerte el tren se deslice hacia atrás provocando que necesite más energía, por la poca fricción que existe entre la vía y las llantas.

3.5.3. Daños a terceros

Las infiltraciones, cuando el flujo es muy abundante pueden causar inundaciones en los andenes donde los usuarios podrían resbalarse, o en algunos lugares donde puede entorpecer el trabajo de los empleados del STC, por ejemplo en el CJE, en el local de limpieza, en los sanitarios, en taquillas, etc. También, puede influir de manera negativa cuando el agua se encuentra en el local de Automatización y Control o en el local 3, de extracción de aire.

Además, puede influir negativamente en las construcciones aledañas como fue el caso del tramo Allende-Zócalo de Línea 2, porque al introducirse el agua a las instalaciones se están restando esfuerzos neutrales al suelo y por lo tanto aumentando los esfuerzos totales, lo que provoca en el suelo asentamientos inesperados, estos asentamientos influyen de manera directa y negativa a construcciones aledañas, que en este caso corresponde al Palacio Nacional.

CAPITULO 4

METODOS DE CONTROL

4.1 ASPECTOS GENERALES QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA PARA ATENDER INFILTRACIONES

Después de hacer una revisión de la manera en que se generan y afectan las infiltraciones al sistema de transporte, se establece el proceso a seguir para atenderlas. Primero hay que hacer un censo de las infiltraciones que existen y después clasificarlas para saber cuales hay que atender primero, y cuales no es necesario que se atiendan. Se considera que todas las infiltraciones deberían atenderse pues la simple presencia de agua, indica que está afectando a la obra civil y demás instalaciones.

4.1.1 Recepción de la información

La manera en que se recibe la información acerca de las infiltraciones que existen a lo largo de la Línea es:

- El Centro de Comunicación (C.C.) ubicado en el quinto piso del Puesto de Control Central 1 (P.C.C.1.) de la calle Delicias 67, donde todo el personal que labora en el S.T.C. puede llamar y reportar las averías que encuentre en la estación o túnel donde esté ubicado. Normalmente envían por oficios sus reportes y hay una persona de mantenimiento encargada de pasarla diariamente al C.C. y tomar nota de estas averías o fallas para transmitir las al área o especialidad que corresponda atenderlas.
- Por oficios que giran las diferentes áreas (instalaciones físicas, hidráulicas, electromecánicas, etc.) que tienen infiltraciones en sus centros de trabajo.
- Por reportes de los recorridos que los trabajadores del STC hacen por las instalaciones del Metro y que posteriormente envían por oficios las fallas que localizan al área de mantenimiento que corresponda.
- Por inspecciones que realiza el personal del departamento de Mantenimiento en las estaciones que revisa a diario.
- Por parte de la supervisión encargada de estos trabajos donde se obtiene la mayor información al respecto, ya que diariamente se encuentran en túnel o estaciones para la supervisión de compañías que labora en la reparación de infiltraciones.

En algunas ocasiones cuando van a atender una infiltración que ya se ubicó, ésta ha desaparecido y ya no hay infiltración que atender. En Línea 3 solo se atienden las infiltraciones que tienen agua, mientras que en otras Líneas se inyectan productos hidrofóbicos aunque ya no haya agua.

4.1.2 Prioridades a considerar para la atención de infiltraciones

Ya que se tiene un censo o universo de las infiltraciones que existen en la Línea, éstas se clasifican en diferentes tipos:

- Las Infiltraciones urgentes de atención inmediata (prioridad "A") son aquellas que al estar afectando aisladores, barras guías, cuchillas en las subestaciones o estaciones de alta tensión, sin importar la cantidad de agua, ocasionan cortos circuitos que provocan el paro provisional del servicio y afectan en primera instancia, a los miles de usuarios que diariamente lo utilizan y en segundo lugar, afecta a las empresas donde ellos laboran por llegar tarde a sus centros de trabajo y con esto a la economía del país. También se consideran las infiltraciones que al afectar andenes, escaleras o pasillos, pueden provocar accidentes a los usuarios; lo anterior depende de la cantidad de agua que caiga en estas zonas.
- Las infiltraciones urgentes (Prioridad "B") son aquellas donde los escurrimientos afectan a las instalaciones de la red contra incendio, cableado, escaleras mecánicas, etc. y en sí a todas aquellas que de alguna manera afecta y deteriora los equipos, por tal motivo es necesario intervenir para que no acorten su vida útil. Dentro de éstas tenemos también a las que afectan las estaciones cuya aparición provoca malestares y mala imagen entre los usuarios.
- Las infiltraciones normales (Prioridad "C") son las que escurren de losas, pisos y muros que aparentemente no afectan a nada ni a nadie, las de los muros generalmente acarrearán sedimentos que atacan el acero y concreto, las de losa gotean sin afectar equipos y las de piso en áreas y zonas que no afectan personas e instalaciones. Lo anterior puede variar de prioridad, debido que al incrementarse el gasto de agua puede inmediatamente pasar a ser una infiltración con prioridad "A" o "B".

4.2 CRONOLOGÍA DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO DE INFILTRACIONES

Desde que se atienden las infiltraciones en el Metro hasta 1995, todas las Líneas estaban concentradas en una sola gerencia y era el departamento de obra civil el que se encargaba de atender las infiltraciones. La única solución era canalizar.

A partir de 1995, la gerencia única se divide en cuatro gerencias: la primera es la gerencia de Líneas 1, 3 y 4; la segunda las Líneas 2, 5 y 6; la tercera de las Líneas 7, 8, 9 y A y la cuarta de edificios e instalaciones. A partir de ese año cada gerencia elige el tratamiento; dependiendo del responsable, ésta podía ser canalizar o sellar y en Línea 1 como tratamiento piloto se inicia la inyección; en Línea 3 se sigue canalizando hasta 1997, año en que se inyectaron 2 infiltraciones; a partir de

1998, después de un simposio para el tratamiento de infiltraciones en el STC Metro, se exige a las gerencias implementar la inyección no como un método auxiliar, sino como un método establecido para solucionarlas. Es cuando se hacen contratos para inyectar designando los tramos que correspondan a una compañía, ya que antes cualquier compañía que canalizaba también podía inyectar, pero subcontratando este tipo de trabajo.

4.3 METODOS EMPLEADOS PARA EL CONTROL DE LAS INFILTRACIONES

El túnel (formado por muros Milán o piezas prefabricadas), es parte esencial del Metro porque es la que contiene en sí a los vehículos, es la infraestructura civil de la Línea, es la protección de todas las instalaciones de este importante medio de transporte. Esta estructura tiene dos lados o caras, un lado positivo, que es precisamente el que tiene contacto con el suelo donde se genera la presión hidrostática y proviene el agua y otro lado llamado negativo, que es el que ve el usuario.

Si la única preocupación cuando se atiende una infiltración, fuera la conservación integral del Metro, entonces se atenderían las infiltraciones desde el lado positivo asegurando que la obra civil no será afectada, ya que al atender por el lado negativo es como si solo nos preocupáramos por las instalaciones electromecánicas y usuarios sin preocuparnos por la obra civil.

4.3.1 Solución desde el lado positivo

Si nos preocupáramos por el lado positivo, automáticamente se mantendría en buen estado todo el conjunto que forma una Línea del Metro. Es así como podemos decir que la verdadera solución, donde no se dañe ni a los equipos electromecánicos, ni a los usuarios, ni a la obra civil, es evitando que el agua penetre los muros que forman el cajón del Metro, y esto se puede lograr si se detecta el origen del agua que afecta a las instalaciones, de tal manera que si el agua proviene de una tubería rota en el sistema de drenaje o de agua potable, ésta se atiende ahí donde está la fuga y así evitar que el agua penetre en el muro y afecte las instalaciones, y por lo tanto ya no se tendría que canalizar, ni sellar o inyectar. Pero no se sabe que hay una fuga hasta que el agua está afectando las instalaciones.

Actualmente existen dispositivos para detectar fugas no visibles; la Dirección General de Construcción de Obras Hidráulicas (DGCOH) del gobierno del D.F. utiliza las de tipo "Visual y auditivo" que consiste en utilizar instrumentos que permitan localizar la salida del líquido mediante señales auditivas generadas en la tubería. Para tal efecto se utilizan dos tipos de equipo, el Correlacionador de Ruido de Fuga y el Amplificador de Audición, en ambos casos, apoyados por un detector de metales para localizar el trazo de la red.

El funcionamiento del equipo correlacionador se basa en un sistema electrónico que consta de sensores en contacto con la tubería a revisar y conectados a un analizador de espectro de audiofrecuencia, mientras que el método acuafónico basa la detección de fugas en un dispositivo que amplifica el sonido producido por el agua a través de la carpeta asfáltica, permitiendo una respuesta simple y rápida, no obstante que en buena medida su efectividad depende de la habilidad del operador para interpretar las señales.

También existe una interacción entre la DGCOH y el STC para dar una solución definitiva a una infiltración provocada por una tubería rota y así obtener ventaja ambas dependencias al evitar que el agua se siga perdiendo y afectando al Metro.

Es necesario seguir un procedimiento para atender este tipo de fugas, mismo que se explica a continuación:

1. La DGCOH recibe la llamada de solicitud de apoyo para la detección de probable fuga de agua potable en los cajones o túneles del STC.
2. Se establece una cita en la zona afectada, en coordinación con personal del STC, detallando la hora de la visita y el lugar; si se trata de fugas en las vías del tren, de preferencia los trabajos se realizarán en la noche, cuando los vagones han terminado su turno de trabajo, y las líneas eléctricas se encuentran fuera de operación.
3. Una vez localizado el sitio, se toma una muestra del agua infiltrada y se analizan sus características de calidad, la cantidad de cloro residual, su pH, olor y sabor.
4. Se procede a determinar el tipo de líquido que emana de la fuga comparando la muestra con la de una toma domiciliaria de la zona, a partir de lo cual se deduce si es potable, o si es de drenaje o agua freática.
5. Se inspeccionan los muros y se verifican las manchas que deja la infiltración. Cuando la mancha es de café oscuro y presenta características de afectación por cloro, se infiere que la influencia es por agua potable; en caso de manchas blanquecinas por sales, con olor característico penetrante, es factible la presencia de aguas servidas o de nivel freático.
6. Si la infiltración del lugar, es por agua potable se procede a realizar la inspección de la red con equipo especializado. En gran parte de los casos la detección de fugas se dificulta debido a las frecuentes desviaciones de la tubería que no son consignadas oportunamente en los planos de redes de distribución de la Ciudad de México.

Con base en las revisiones periódicas a la red de agua potable, que se intercalan con las de las Líneas del Metro, se han localizado fugas en tuberías que van de media pulgada hasta 20 pulgadas de diámetro (1.27 a 50 cm), afectando

túneles y andenes. Aunque los esfuerzos por detectar este tipo de anomalías aun no alcanzan los niveles esperados, los resultados han permitido detectar fugas tan graves, que de no haberse localizado pudieron haber afectado el sistema de transformación de energía de altos voltajes y con ello entorpecer gravemente la operación del sistema.

Ejemplo de esto, fue la fuga que se localizó en el centro histórico, entre las calles Pino Suárez y San Jerónimo en una tubería de 12" (30 cm) con caudal de pérdida de 3.55 l/s y cerca de un transformador de alto voltaje, que de no haber sido detectada hubiera ocasionado graves daños.

Una vez que es confirmada la procedencia del agua y más o menos se ubica, se procede a la eliminación de la fuga. En primer lugar se realiza un seccionamiento del tramo a reparar, mediante la manipulación de válvulas que tengan relación con la derivación de agua en la zona afectada, esto quiere decir que hay que dejar de suministrar agua por un tiempo determinado a la población que habita la zona de influencia.

Posteriormente se procede a realizar la excavación del terreno mediante métodos convencionales, hasta llegar a la profundidad donde se localiza la tubería dañada para realizar la sustitución del tramo dañado o tal vez solo realizar el cambio de accesorios especiales, si es que estos se encuentran en mal estado.

Finalmente, se realiza una prueba hidráulica, para verificar que no exista fuga en la línea de distribución y normalizar el servicio de suministro de agua en la zona afectada.

Cuando se trata de fugas en la red de drenaje, personal especializado de la Subdirección de Drenaje de la Dirección de Operación de la DGCOH, en coordinación con personal de las gerencias del STC, en su Dirección de Operación, supervisan el lugar para dar solución a la fuga.

Primero se procede a limpiar la tubería dañada, mediante el empleo de equipo hidroneumático de alta presión (Vactor), esta unidad cuenta con dos motores, uno de ellos tiene la doble función de trasladar la unidad al lugar de trabajo y activar la bomba de alta presión que por medio de la manguera de sondeo inyecta el agua al interior de la red con una presión de 5,000 lb/pulg² (351.31 kg/cm²). La instalación del equipo se realiza en el pozo más próximo aguas abajo para llevar a cabo la operación de succión a través del motor auxiliar.

Posteriormente se efectúa la revisión del interior de la línea con equipo de circuito cerrado de televisión, y así determinar las posibles fallas en la línea de drenaje. Con el equipo mecánico solo se pueden inspeccionar tuberías de 0.30 a 0.60 m de diámetro, para diámetros mayores se lleva a cabo de manera visual, por lo que es necesario colocar tapones de neopreno y seccionar el tramo por revisar, además se instalan extractores de aire para disipar los gases acumulados en el interior.

Una vez detectada la falla en la red de drenaje, los procedimientos para su reparación son:

- En diámetros de 0.30 a 0.60 m, se lleva a cabo la sustitución total del tramo dañado.
- En diámetros mayores de 0.60 m se realizan reparaciones por medio de calafateo, es decir, se realiza un taponamiento en la grieta del tramo dañado con los productos existentes en el mercado, ya sea resina epóxica, cemento, soldaduras, etc., ya que el agua normalmente no tiene presión.

Cuando se presentan fugas de hidrocarburos se avisa a Protección Civil y esta dependencia atiende la fuga desde el lugar donde se ubica la fisura.

Estas son las soluciones que se dan por el lado positivo de la estructura, pero existe otra fuente del líquido que provoca las infiltraciones y cuando el agua proviene de agua freática, o no se atiende la fisura en la red de agua potable o de drenaje, entonces la solución se da desde el lado negativo del túnel.

4.3.2 Solución por el lado negativo

En realidad, no hay un solo procedimiento para escoger de que manera se va a atender cada infiltración desde el lado negativo del túnel, esto más bien depende del tipo de contrato que hay con la compañía que atiende infiltraciones, pues algunas solamente inyectan, otras sellan y canalizan y otras solo sellan o solamente canalizan.

Cuando una compañía sella y canaliza a la vez, entonces sí podemos escoger que método será el mejor y en esta selección se toma en cuenta:

- ◆ El origen de la infiltración: éste no se refiere al origen que genera la infiltración, sino de que parte de la estructura proviene el agua, por tanto, si el agua sale por las juntas de construcción en muros y plafones o de elementos prefabricados, la solución es la canalización; no sellan porque en una junta el agua se corre hacia los lados. Si su origen es en un muro con una grieta pequeña, entonces sellan.
- ◆ Cantidad de gasto: si la cantidad de agua que fluye por la fisura es demasiada y tiene mucha presión entonces se canaliza, de lo contrario el sellado se puede botar. Normalmente sellan cuando es poco el gasto.
- ◆ Calidad del concreto: si el muro es muy poroso porque anteriormente ha sido sellado y el agua que se acumuló detrás de él provocó que se degradara de manera más acelerada por los procesos de secado humedecimiento o, a causa de un mal vibrado al momento de su colado, o al usar concretos muy pobres combinados con el mismo procedimiento de secado humedecimiento, la degradación lo ha afectado a tal grado que al momento de retirar falsas

adherencias y sarro el concreto se demuele sin ningún problema y el cincel penetra fácilmente, esto hace difícil el sellado además de que no garantiza que el agua deje de fluir (tampoco la canalización, pero con ésta por lo menos se supone ya no afectará de manera negativa al Metro) entonces se recurre a la canalización.

- ◆ Estética: es común utilizar la canalización cuando no se afecta la estética del sistema, por ejemplo en túnel o locales, pero si la infiltración se localiza en vestíbulos y es visible para los usuarios, la canalización se vería muy mal; a veces cuando el gasto es grande, la estética pasa a segundo término y se utiliza la canalización.

El uso del sellado se reduce a tapar pequeñas fisuras o grietas donde el gasto es poco, están bien definidas y el muro está en buen estado.

En el contrato que se hace entre la compañía y el STC se especifica el método que se va a utilizar. Cuando una compañía inyecta, entonces solo inyecta y no se aplica otro método. En algunas gerencias sólo inyectan, pero en Línea 3 se utilizan los tres métodos.

4.3.2.1 Canalización

Como su nombre lo indica se trata de canalizar o conducir al líquido para que no afecte las instalaciones electromecánicas o provoque accidentes a los usuarios una vez que el agua está dentro. Esto se logra de varias formas: por medio de láminas, ya sea de fibra de vidrio para interestaciones, porque si se caen no provocan cortos circuitos, o de acero llamadas charolas, que se utilizan en estaciones por el acabado que se les puede dar; también por medio de tubos de poliducto o PVC. En algún tiempo se usaron láminas de PVC conocidas como láminas Zintra, que las termoformaban y las contratistas ya las traían listas para colocarlas en el plafón de túneles y estaciones, esto agilizaba mucho los trabajos además de que casi no afectaba a la estética de la estación, pero por su alto costo se dejaron de usar.

Generalmente todas las canalizaciones por tuberías se realizan en muros, y en muy raras ocasiones en el plafón. Para canalizar por medio de tubos se ranura de tal forma que se pueda llegar al origen de la infiltración, hasta que se pueda encontrar concreto sano, posteriormente se coloca el tubo exactamente en el escurrimiento y se calafatea para dar soporte al tubo, con una mezcla de cemento-arena y un aditivo llamado Sellacon (acelerante del fraguado) de la marca "Fester"; también se puede utilizar una "calientita", que es la mezcla de cloruro de calcio, cemento y arena, combinados con agua, que al reaccionar para fraguarse generan calor; estas pasta se aplican alrededor del tubo para obligar a que el agua escurra por éste y mandarlo a una zona que no afecte, generalmente al zocio dren en las estaciones y al balastro en los túneles. También para captar mayor cantidad de agua se construyen "nidos de golondrina" que consisten en una especie de nido en el origen de la infiltración con las pastas para recibir los escurrimientos con una salida

de poliducto o de PVC. A diferencia del procedimiento anterior, en éste se puede limpiar cuando el sarro que acarrea el agua las tapa.

Cuando una infiltración se localiza en el techo generalmente se canaliza por medio de láminas, éstas se colocan en las uniones de elementos prefabricados y en las juntas de construcción, sujetadas con anclas de impacto y alambre recocido. En algunos casos se colocan ángulos de aluminio para dar la pendiente necesaria y mandar el agua hacia los "nidos de golondrina" o recubrimientos hechos con lámina galvanizada, con salida para conectarla al tubo del poliducto o PVC y canalizar hacia el balastro y de ahí escurra hacia el canal cuneta. Para los túneles se estuvieron usando en un tiempo láminas a base de PVC (Zintra) que en un extremo se les adaptaba un conector para canalizar con poliducto hacia el canal cuneta.

Para canalizar las infiltraciones en las estaciones, se habilitan charolas de acuerdo a las necesidades de cada caso a base de lámina galvanizada, las cuales se les da la pendiente necesaria para que permitan el libre escurrimiento del agua hacia los recubrimientos y de ahí al zoclo dren; esto es en caso de tener las infiltraciones en el plafón después de colocar las charolas, se les da el acabado tirol con pintura para aparentarlos y evitar que rompan con la estética de la estación.

Cuando existen infiltraciones en los muros de acceso o de los andenes, se ranura hasta encontrar el concreto sano y se localiza el escurrimiento; con un tubo de media caña se canaliza hasta el zoclo dren, la ranura se calafatea con Acuaplug para que conduzca la infiltración por el tubo que se colocó y al finalizar se le da el mismo acabado existente.

En realidad la canalización no soluciona el problema de la infiltración, pues el agua sigue afectando la infraestructura y tal vez hasta más que si no se canalizara. Por ejemplo en la interestación Viveros - Miguel Anguel de Quevedo en el cadenamiento 15+749, por la vía que va de Indios Verdes a Universidad, en 1997 se canalizó una infiltración con lámina de fibra de vidrio que no dejó escurrir el agua porque el túnel no permitió la maleabilidad de la lámina, entonces el agua se quedó ahí acumulada degradando al concreto a tal grado que cuando quitaron la lámina el concreto se desbarataba con la mano, se podía ver el acero de refuerzo y se podía introducir una mano en esta oquedad.

En la canalización el agua sigue fluyendo por la obra civil, primero a través de una fisura pero con el paso del tiempo va degradando las paredes de esa fisura hasta hacerla más grande, además de tener que darle mantenimiento a los tubos, pues en algunas ocasiones estos se tapan por los residuos que acarrea el agua en su paso. En muchas ocasiones es preferible sustituirlos porque si por alguna razón éstos se mueven, entonces ya no cumplen su función y el agua escurre a los lados deteriorando el concreto; en ocasiones, en lapsos de uno a dos años el tubo está rodeado de residuos y salitre ya que el tubo se tapó, el agua ya no corre por ahí y sigue afectando al sistema. Además, es como si estuviéramos extrayendo agua del subsuelo, pues al canalizar el agua se va a los cárcamos de bombeo del Metro y luego a la red de drenaje.

4.3.2.2 Sellado

El sellado tiene un uso muy restringido y su método de aplicación es el siguiente:

Se localiza el origen de la infiltración, desprendiendo las falsas adherencias y sarro que acarrea el agua, después se hace un ranurado hasta encontrar el concreto sano para posteriormente sellar la zona de la infiltración por medio de una mezcla como la que se usó en la canalización para calafatear, pero como tiene el problema de fraguar muy rápido o muy lento al no realizarse en las proporciones indicadas, se puede desprender fácilmente. A causa de estos problemas se hicieron pruebas con otros productos tales como Colma Fix de Sika, Recubrimientos Especializados Jacob S.A. de C.V., compuestos cementosos de la empresa Quidisa, Xipex concentrado y Patch and Plug de Fester así como el Acuaplug y Sellotex de la empresa Recubrimientos Texturizados (Retex). Estos dos últimos productos son similares en sus características y fueron los que pasaron la prueba a la que se les sometió, además la diferencia en precios hizo que se optara por los de Retex, ya que los de Fester eran un 100% más caros. A los productos de Retex sólo se les agrega agua y se mezcla hasta obtener una pasta que se aplica directamente en la zona de la infiltración, manteniendo la pasta presionada con la mano hasta su fraguado. Después de sellar la infiltración y para evitar humedades se aplica con brocha Sellotex, el cual "impermeabiliza" por medio de cristalización la zona donde se aplicó.

De 1997 a 1998, se utilizaron para sellar el Patch and Plug de Fester, después aplicaban un producto llamado Xipex Concentrado y Xipex Modificado para devolver las propiedades mecánicas al muro; estos últimos se aplican con una brocha. Es difícil que el sellado quede bien pues al siguiente día o varios días de aplicado se presenta humedad en el área que se colocó, debido a que no era correcto aplicarlo en esa infiltración o debido a la deficiencia del aplicador o del producto.

El sellado no da buenos resultados, pues si el gasto y la presión son un poco elevados, el agua se desplazara en cualquier dirección del sellado o de plano éste será botado y el agua volverá a salir. Ahora, el agua ya no fluye, sino que está acumulada detrás de esta nueva barrera, manteniendo saturadas las fisuras y todo el interior de los elementos estructurales, por tanto el acero se mantiene en contacto directo con el agua. Esta presencia inicia la oxidación del acero, el cual se corroe y éste es un proceso que nunca se podrá eliminar, además de que ocurre la degradación del concreto a causa de la presencia de agua detrás del sellado, el debilitamiento de los elementos estructurales y el hecho de que el agua volverá a brotar cuando alcance presiones para las cuales el sellado no será suficiente.

Por lo tanto, si le damos el nombre de solución al hecho de no afectar instalaciones electromecánicas, ni a los usuarios o trabajadores del STC, la canalización y el sellado son soluciones bajo esta definición, sin embargo, son soluciones a medias, pues no son definitivas.

4.3.2.3. Inyección

La tercera y última opción que el STC Metro utiliza para el tratamiento de infiltraciones es la inyección. Para inyectar no se necesita tener ciertas condiciones porque se puede aplicar en cualquier tipo de infiltración, aunque es preferible aplicarla en un concreto sano con una fisura bien definida.

Para realizar la inyección se pueden utilizar lechadas de cemento mezcladas con otras sustancias o también pueden utilizar resinas.

Existen una gran variedad de productos, por ejemplo las lechadas de cemento con cualquier tipo de aditivo como puede ser bentonita y cloruro de Calcio, en esta mezcla se debe primero hacer un lodo con la bentonita, después agregar el cloruro de Calcio y después el cemento hasta formar una mezcla completamente homogénea sin grumos. El problema que presenta la inyección con lechada es que son extremadamente rígidas al endurecer y por lo tanto propensas a nuevos agrietamientos. Cuando el agua ha hecho una caverna en el muro y no es visible, pero es muy grande y se llevaría grandes cantidades de resina su reparación, entonces se usa de manera paralela la lechada con la resina. También existen compuestos químicos inflamables o que pueden dañar la salud de los aplicadores. Las Resinas de Uretano no presentan estos problemas, además de que forman barreras sellantes e impermeabilizantes, flexibles o rígidas muy efectivas en las infiltraciones de agua a través del concreto y otros materiales estructurales, con resistencias a altas presiones hidrostáticas, por la propiedad que tienen de expandirse después de ser inyectados hasta ocupar cerca del 100% de los espacios vacíos de su confinamiento, incluso en espacios capilares, quedando las grietas saturadas de resina.

Estos uretanos se dividen en hidrofóbicos que requieren una cantidad mínima de agua, tan reducida como el 0.5% de su peso para reaccionar completamente, sin necesitar de un medio con exceso de agua, porque la reacción es estequiométrica o sea que únicamente tomará el volumen de agua necesario para efectuar la reacción. Estos uretanos curados forman masas compactas, espumas o una combinación de ambas, dependiendo de las dimensiones de los espacios a inyectar y los tiempos de reacción de las resinas, con texturas rígidas o flexibles.

Los hidrofílicos son el otro tipo de uretanos y tienen la característica de aceptar gran cantidad de agua dentro de sus estructuras moleculares, en rangos que van desde 1 volumen de agua por un volumen de resina, o sea una proporción 1:1, hasta 10:1. Una vez curados producen barreras impermeables al agua ya sea en forma de espuma o en forma de gel, pero siempre con una textura flexible. Su aplicación se recomienda cuando el medio circundante al lugar de la inyección está permanentemente húmedo, ya que el uretano debe conservar el agua con que reaccionó. En caso de que el medio circundante llegara a secarse, entonces el uretano hidrofílico se expone a una deshidratación, seguida de una contracción de volumen, quedando en riesgo de perder su sello y por consiguiente su impermeabilidad.

Las ventajas que ofrecen los uretanos, son la efectividad como barreras impermeables, la facilidad con que se aplican y el rendimiento al incrementarse el volumen de éste, proporcionado por el agua con la que reaccionan.

Los hidrofóbicos son más versátiles que los uretanos hidrofílicos, debido a que se pueden aplicar en ambientes húmedos, secos y cambiantes por temporadas, sin que se alteren sus condiciones físicas, debido a que estas resinas contienen 100% de sólidos, por lo tanto no sufren deshidratación y no están expuestos a contracciones de volumen que pueden originar la pérdida de sello e impermeabilidad.

En Línea 3 el tipo de resina que se utiliza es hidrofílica con el producto 3M de Scotch-Seal Chemical Grout 5600. El procedimiento de aplicación es en principio parecido a los anteriores, primero se hace limpieza de la zona afectada para encontrar el origen y ver la posición de la grieta, cuando hay grieta; después se hacen perforaciones con barrenos a los lados con cierto ángulo para poder llegar a la grieta e inyectar por varios puntos, se calafatea para detener las boquillas o niples y se realiza la inyección de agua con colorante primero, para saber como fluirá la resina al momento de ser inyectada, además de asegurar que la resina hidrofílica reaccionará; después se inyecta la resina, alternada con agua para el mismo fin. La compañía que realiza la inyección en Línea 3 utiliza una bomba eléctrica para inyectar el agua y una manual para la resina. El principal problema que se observó y que hacía que durante algunas jornadas no se pudiera inyectar, es que la resina se gelaba en la manguera, es decir que antes de que la resina se inyectara al muro, ésta ya había reaccionado y esta situación complicaba mucho los trabajos.

En comparación con la canalización y el sellado, la inyección es mucho más cara, pues el litro de resina tenía un costo en abril de 1998 de \$ 238.38/L, y en algunas ocasiones se llegan a inyectar hasta 19 L de resina, cabe aclarar que cuando existe una oquedad muy grande, que se determina por la cantidad de gasto que sale por el orificio; para disminuir el uso de la resina se inyecta primero lechada, una vez que ha fraguado se inyecta resina, además se necesitan aditamentos especiales que en los métodos anteriores no se usan como pueden ser el rotomartillo y brocas para hacer perforaciones en concreto de 5/8 de diámetro y hasta 36" de profundidad, el uso de bombas para la inyección y el tener a técnicos especializados para realizar este trabajo.

Tal vez es la solución más viable porque la acción de la inyección es penetrar en la fisura de donde proviene el agua y llegar hasta el lado positivo del muro evitando que el agua siga dañando el muro, pero a veces la falta de equipo o técnicos especializados provoca que no sea la mejor opción para atender infiltraciones provocadas por aguas freáticas.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

El STC Metro es un medio de transporte invaluable para la población de la ciudad de México y es por esta razón la importancia de mantenerlo en óptimas condiciones. El proceso constructivo utilizado en Línea 3 fue insuficiente para mantener la estructura protegida en su totalidad contra los daños que puede causar el agua que existe en el subsuelo, afectando así a todas las instalaciones que forman el Metro, además de que la impermeabilización de los cajones o túneles fue deficiente.

No es lo mismo decir filtración o infiltración, aunque generalmente se utilice el primer término para referirse al hecho de que el agua ha atravesado los muros de los túneles y por consecuencia afecta al Metro. A este fenómeno de detener el flujo del agua con un muro provocando presiones más fuertes, y penetrando así al muro Milán y al muro de acompañamiento, seguir fluyendo y dañando al Metro, se le da el término de infiltración.

El suelo del Valle de México tiene varios factores que posibilitan la generación de infiltraciones en el Metro, ya sea por aguas freáticas, tuberías rotas de agua potable, drenaje o hidrocarburos, además de los asentamientos y sismos que suceden en la Ciudad de México y fracturan los muros.

La interacción suelo-muro Milán facilitan la generación de infiltraciones por las características que ambas partes tienen. El suelo tiene agua y el muro es poroso, condiciones que favorecen el flujo hacia el interior de las estructuras subterráneas.

Es difícil tener un procedimiento analítico para estudiar y atender las infiltraciones, o para reforzar ciertas partes de los muros donde es más probable que éstas existan; esto se debe a que el movimiento del agua en las cercanías del Metro es muy variable, así como las líneas de flujo que se generan en el subsuelo; por tanto, también la presión y la velocidad del flujo se desconocen, lo que hace difícil un análisis convencional.

La importancia de atender las infiltraciones radica en los daños que pueden generar al STC Metro, ya sea en el sistema electromecánico o en la obra civil, además de los contratiempos que genera no solo a los usuarios, sino también a las personas que laboran en el Metro, además de afectar construcciones aledañas, situación que pone en peligro los inmuebles particulares o patrimonios nacionales como en el tramo Allende-Zócalo de Línea 2.

La observación sugiere que la mayoría de las infiltraciones se concentra en los tramos construidos mediante cajones, siendo los tramos en túneles menos afectados, esto probablemente se deba a que el método de cajones se utilizó en la

zona de lago con el procedimiento constructivo de cajones de muro Milán in situ, mientras que el túnel se localiza en su mayoría en la zona de lomas con niveles freáticos a mayor profundidad y fue hecho con dovelas prefabricadas, que aunque presentan mayor número de juntas, en realidad hay menor presencia de agua. Esto no quiere decir que en el túnel no haya infiltraciones, sino que la mayoría de las veces se presentan en las juntas, mientras que la dovela prefabricada en sí tiene mayor control de calidad que el muro y probablemente es menos permeable su concreto.

El muro tiene dos caras, una positiva y una negativa, la positiva está en contacto con el suelo y la negativa es la que vemos. Pocas veces se da solución desde el lado positivo, tomando en cuenta el origen del agua que está afectando; de hecho los tres métodos utilizados en Línea 3 sugieren atender las infiltraciones desde el lado negativo, localizando el "origen" o sea el lugar del muro de donde surge el agua.

Se sigue todo un protocolo para atender infiltraciones desde hacer un censo hasta determinar cuáles hay que atender primero. En Línea 3 se emplean tres métodos para atender infiltraciones: el sellado, la canalización y la inyección.

La canalización y el sellado son más económicos que la inyección; otra característica de ambas es que siguen afectando la infraestructura ya que la canalización permite el paso del agua haciendo que ésta siga atacando las paredes de la fisura, por lo tanto al acero y al concreto también, solo que ya no afecta al sistema electromecánico (en teoría, porque la humedad que genera la presencia del agua de alguna manera afecta las instalaciones electromecánicas), ya que se canalizó para que el agua llegue al canal cuneta. Pero el muro se sigue deteriorando igual que en el sellado, que en este caso es como si pusieramos un tapón a la fisura para que no afecte el sistema electromecánico, pero el agua se sigue acumulando detrás de este tapón y por lo tanto afecta la obra civil, además de que en poco tiempo el agua encontrará otra debilidad en el muro y saldrá por allí.

La inyección pretende penetrar por toda la fisura, después expandirse y así evitar el paso del agua, es decir entrar por el lado negativo y llega hasta el lado positivo evitando que se siga deteriorando la obra civil. Cuando el escurrimiento de agua es muy fuerte se inyecta lechada de cemento-bentonita y después resina. La inyección tiene muy buenos resultados cuando se aplica en concreto sano con una fisura bien definida, pero por lo regular el concreto está muy degradado y es difícil localizar la entrada del agua o de donde proviene, porque generalmente no es una grieta sino un área bastante grande donde brota el agua; comúnmente no sólo se ve el concreto degradado, sino también el acero de refuerzo oxidado; en estos casos se limpia el área, si se observa que es un lloradero fuerte se calafatea, se colocan niples y se inyecta, pero es claro que el agua después de cierto tiempo volverá a brotar y a acumularse detrás del calafateo y ya sea por la mala calidad del concreto o porque la resina no entró bien en las fisuras, el agua se vuelve a acumular y puede desprender el calafateo.

Se concluye que hasta el momento los métodos utilizados para atender las infiltraciones no son del todo satisfactorios y esto se debe a varios factores:

- No se tiene conocimiento exacto del tipo de agua que se infiltra, provocando que muchas veces se canalice agua potable o de drenaje, en vez de reparar las tuberías.
- El criterio de utilizar cualquier método de tratamiento es incorrecto, ya que en muchas ocasiones en un tramo diferente al asignado a la inyección, sería muy útil utilizarla, pero el contrato realizado no permite su uso.
- Las compañías que atienden infiltraciones muchas veces no tienen la capacidad técnica para atenderlas correctamente.

Antes de 1997 sólo se canalizaba o se sellaba, por lo tanto, el deterioro de los muros es evidente y la humedad que hay en los túneles es patente, pues ha transcurrido bastante tiempo con el flujo del agua, lo que hace difícil la inyección. Además, en tramos como Guerrero-Hidalgo, solo se ha canalizado y los contratos no permiten que allí se inyecte, afectando esto grandemente a los muros.

CAPITULO 6

RECOMENDACIONES

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Se recomienda que antes de atender cualquier infiltración, se busque el origen real de tal forma que solo se atiendan infiltraciones generadas por agua freática y no dar solución a infiltraciones provocadas por fugas de agua potable, de drenaje o de hidrocarburos. Esto se puede lograr haciendo pruebas de pH al agua que entra al Metro. Una vez que se le ha dado solución a una infiltración mediante la reparación de la tubería, se debe, inyectar con resina hidrofóbica para sellar la grieta.

La relación DGCOH-STC debe ser más estrecha para evitar que se canalicen, sellen o inyecten infiltraciones de agua potable o agua de drenaje, ya que ahora es más fácil localizar fugas no visibles, aun a través de la carpeta asfáltica, mediante señales auditivas con el equipo amplificador electrónico de audición.

Es conveniente permitir que la inyección se realice en cualquier tramo de la Línea. Se debe exigir a las compañías que tengan todo lo necesario para poder trabajar. No se deben hacer contratos por asignación directa, sino hacerlos por invitación restringida a compañías que tengan la capacidad técnica para atender las infiltraciones.

Se ha planeado construir 25 Líneas en la Ciudad de México, hasta el momento existen 9 Líneas y una Línea férrea; la Línea 3 es de las primeras Líneas del Metro y tiene problemas por infiltraciones muy serios, por esta razón hay que redefinir el proceso constructivo del Metro.

El problema de las infiltraciones que se presentan en la mayoría de los tramos subterráneos son originados, como se determinó en el apartado correspondiente, por el proceso constructivo. Es por esta razón que se recomienda también el uso de muros prefabricados, donde se pueda tener un mayor control de calidad y el suelo no influya en su construcción, y por lo tanto, contamine al concreto ya sea con lodo bentonítico o con el mismo suelo.

Se recomienda dar seguimiento a las infiltraciones que se tratan, no solo hacer un censo de las que hay en cada Línea, sino que también se lleve el registro de sus características, cómo se atendieron y se registre anualmente su condición.

También es recomendable tener gráficas de la Línea para detectar los tramos más dañados por aguas freáticas durante todo el año o gran parte de él.

Entre las alternativas que existen para erradicar el problema está también el uso de geomembranas, que dificultan mucho más el paso del agua al Metro, evitando con esto extraer agua del subsuelo y también los contratiempos que provoca en el STC.

Una de las opciones para utilizar las geomembranas es integrarlas en el proceso constructivo del muro Milán; una vez que se han colocado los brocales, hecho la excavación y el lodo bentonítico está contenido en lo que será el muro, se baja la parrilla de acero de refuerzo y en la pared que estará en contacto con el suelo, bajar una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE, por sus siglas en ingles), esto se puede realizar cuando el diseño especifica que solo se utilizará muro Milán, después de realizar la excavación del núcleo y antes de colocar la losa de concreto pobre, colocar la geomembrana y después de colocar la losa superior del cajón, colocar otra geomembrana bajo el relleno indicado, de esta manera se puede proteger el cajón.

Cuando se trate de muro Milán con muro de acompañamiento la geomembrana irá después de la construcción del muro tablaestaca, una vez realizada la excavación y colocada la plantilla de concreto pobre, conviene colocar sobre ésta una geomembrana de PVC que impida el paso del agua; conforme se van construyendo los muros de acompañamiento, ir colocando entre el muro Milán y el muro de acompañamiento una geomembrana de PVC; las uniones en este caso se pueden realizar por medio de solvente integral, en planta.

En túnel la geomembrana de PVC se puede colocar después de las dovelas y sobre éstas aplicar el concreto lanzado.

En caso de obra ya construida, se podría utilizar alguna solución desde el lado positivo del muro, si es que el NAF no tiende a abatirse, tal como una geomembrana de PVC que impida el paso del agua; para ello, deberá ubicarse primero a nivel calle el lugar del tramo por tratar y excavar hasta llegar a la profundidad del muro, entonces colocar la geomembrana y rellenar.

BIBLIOGRAFÍA

- Biczok I., 1972, La corrosión del hormigón y su protección, Bilbao Urnos A.
- Bufete A., 1998, "Tratamiento de infiltraciones por el método de inyección" 1^{er} simposio técnico sobre tratamiento de filtraciones en el STC, México.
- Castañeda C. E., 1982, El proyecto de la obra civil del Metro, México.
- Ceja J., 1998, "Sellado y canalización de filtraciones" 1^{er} simposio técnico sobre tratamiento de filtraciones en el STC, México.
- Fair G. M., Geyer Y., 1968, Ingeniería sanitaria y de aguas residuales Vol 1 Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales, Noriega Limusa.
- Juárez B. E., Rico R. A., 1975, Mecánica de suelos tomo II, Limusa, México.
- Lambe T. W., & Whitman., 1972, Mecánica de suelos, McGraw-Hill, México.
- Ley de adquisición y obras públicas, 1994, Porrúa. México.
- Murillo F. R., 1994, "Geomembranas usuales en México", XVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Xalapa, Ver.
- Pano P. I., 1998, "Detección y eliminación de fugas no visibles en la red de agua potable y subcolectores de drenaje", 1^{er} simposio técnico sobre tratamiento de filtraciones en el STC, México.
- Ramos B. A. R., 1998, "¿Cómo evitar las filtraciones en los tramos subterráneos del Metro de la ciudad de México?" 1^{er} simposio técnico sobre tratamiento de filtraciones en el STC, México.
- Reglamento de construcción para el D.F., 1995, Porrúa. México.
- Rico R. A., Del Castillo H., 1974, Ingeniería de suelos en las vías terrestres, Limusa, México.
- Rodríguez J. L., 1996, Apuntes de mecánica de suelos, ENEP Aragón, UNAM, México.
- Streeter V. L., 1979, Mecánica de los fluidos, McGraw-Hill.
- Veytia B.M., Ocampo F. M., 1988, Construcción de túneles para Metro en zona poniente de la ciudad de México, COVITUR, México.