

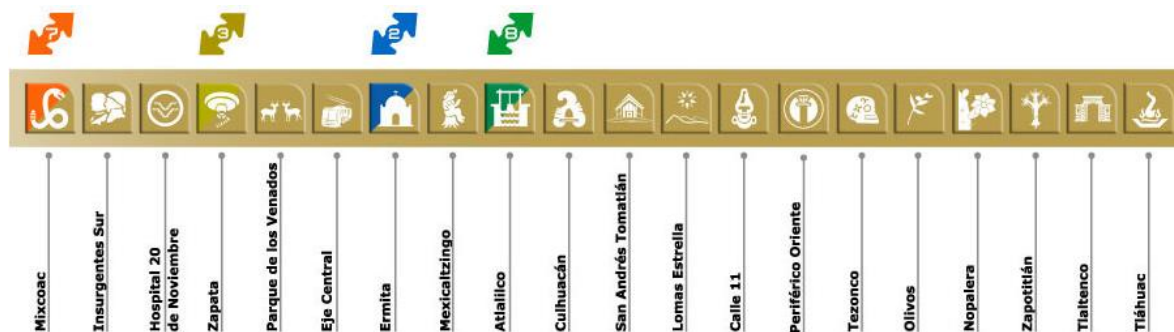
Ciudad de México a 24 de Mayo del 2021.

M.I. Jesús Antonio Esteva Medina

Secretario de Obras y Servicios
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e.

Estimado Jesús:

Con Base a los recorridos efectuados el día de lunes 12 de mayo y el día jueves 20 de mayo, en conjunto con experto del CICM, IMT, ISC y Secretaria de Obras de la Ciudad de México, al tramo subterráneo de la línea 12 del metro de la Ciudad de México. Con la finalidad de observar y detectar la existencia de riesgos geotécnicos-estructurales que pudieran poner en peligro la operación del tramo referido entre las estaciones Mixcoac y Atlalilco. Para ello, a continuación, expongo las observaciones, aspectos técnicos y recomendaciones asociados a la Línea 12 en su tramo subterráneo. Así como, el dictamen técnico geotécnico estructural de la inspección realizada.



Antecedentes:

La línea 12 del metro de la Ciudad de México entró en operación el 30 de octubre del 2012, lo que a la fecha le da una vida de servicio de 8 años y 7 meses.

Tiene una longitud de 20.28 km entre la estación Mixcoac y la estación Tláhuac, de ellos 8.8 km de la estación Mixcoac a la estación Atlalilco, corresponden al tramo subterráneo objeto de este documento.

El tramo subterráneo, durante su recorrido cruza 3 distintas formaciones geotécnicas definidas en el reglamento de las construcciones de la Ciudad de México (RCCM) y sus Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones (NTCDCC).

- La zona de transición suelo tipo II
- La zona de arcilla compresible, suelo Tipo III
- Y la zona de transición "abrupta" del cerro de la estrella, suelo tipo II

Zona de transición suelo tipo II

Este tipo de formación se cruza al poniente en la estación Mixcoac e insurgentes, por sus génesis puede hablarse de una zona de interestratificación cambiante al pie de la zona de lomas, esta formación contiene en sus partes más profundas depósitos caóticos glaciares, lahares y fluvio-glaciares, por otra parte, los depósitos aluviales pueden ser recientes sobreyaciendo sobre los depósitos lacustres, en pocas palabras esta formación fue la ribera del Lago histórico de toltecas y mexicas.

Zona de arcilla compresible, suelo Tipo III

Son suelos arcillosos blandos, consecuencia de depósitos y alteración fisicoquímica de las cenizas volcánicas en ambiente lacustre, su espesor a lo largo de la línea varía de 12 m en la estación insurgentes a los 25 m en la estación del eje central y disminuye hacia el cerro de la estrella.

Zona de transición abrupta del cerro de la estrella, suelo tipo II

Esta zona se identifica con el contacto entre rellenos de la cuenca y los cerros que sobresalen, como el caso del cerro de la estrella. Los depósitos fluviales al pie de los cerros son prácticamente nulos (poca longitud en superficie, lo cual origina que las arcillas lacustres (suelo tipo III) estén en contacto con la roca (suelo tipo I) de manera casi inmediata. La estratigrafía está caracterizada por una serie de lentes arcillosos intercalados con lentes duros (tobas, arenas, limos)

Riesgo Sísmico

Tomando en cuenta las 3 formaciones geotécnicas definidas en el RCDF, el tramo subterráneo se enfrenta a aceleraciones sísmicas definidas por la abscisa al origen del espectro de diseño, que para este caso se obtuvieron del SASID.

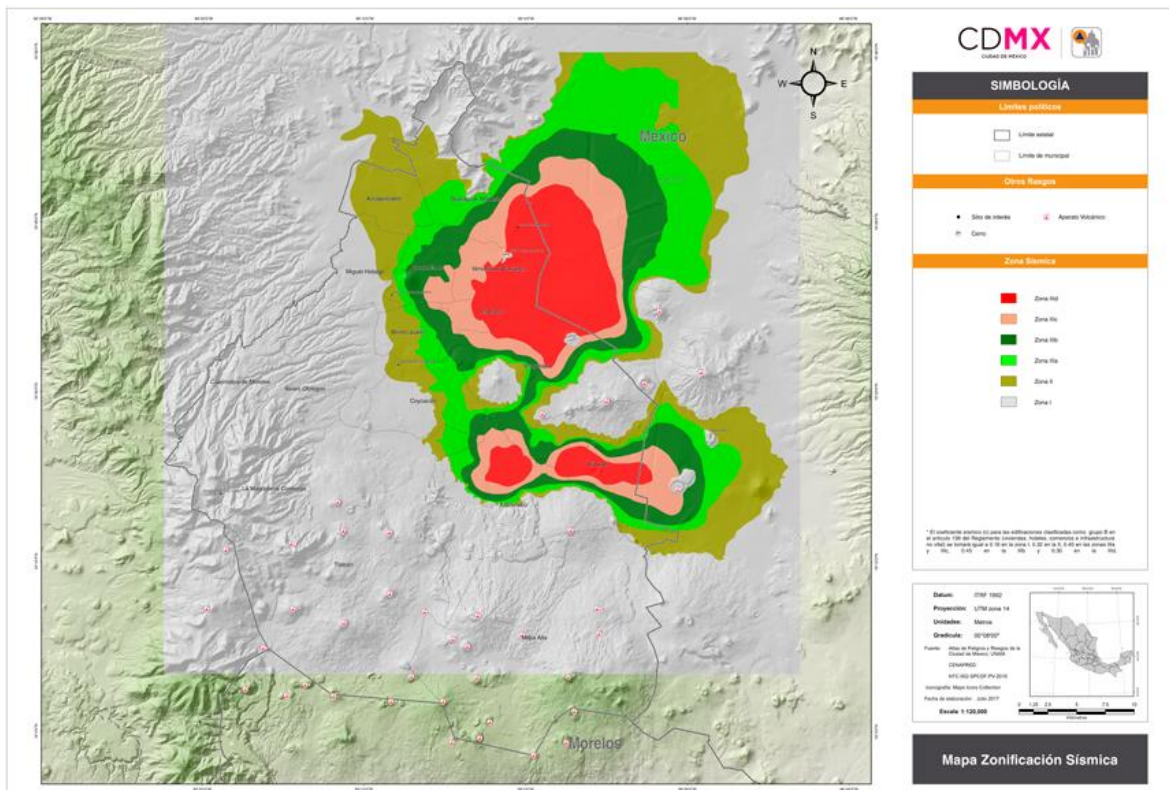


Tabla 1

ESTACION	Aceleración del terreno (gal)
Mixcoa	0.18
Insurgentes	0.22
20 de noviembre	0.22
Zapata	0.26
Parque de los venados	0.35
Eje central	0.40
Ermita	0.42
Mexicaltcingo	0.46
Atlalilco	0.24

Considerandos:

Factor de Importancia Grupo A1

Factor de hiperestaticidad = 1

Factor de irregularidad = 0.7

***estos considerandos solo se utilizaron para la aplicación de SASID, ya que la aceleración del terreno es independiente de dichos factores.**

De los resultados obtenidos por el SASID cabe hacer la observación de que el valor de aceleración obtenido en Atlalilco se refiere a los depósitos de zona de transición. Sin embargo, habrá que considerar una aceleración menor en el terreno (0.12 aprox.) en el cambio de tramo subterráneo a tramo elevado por la presencia de la roca como apoyo de las estructuras.

Presencia de Agua (nivel Freático)

Se sabe que en la Ciudad de México la presencia de agua intersticial, definida como nivel freático es variable; sin embargo, podemos establecer un valor aproximado real a lo largo de la línea como sigue:

Tabla 2

Suelo Tipo	Profundidad estimada del NAF
Zon II	3.5 a 5.0
Zona I	1.5 a 3.0
Zona II cerro de la estrella	2.0 a 3.5

Por lo tanto, durante la construcción y operación del tramo subterráneo la convivencia con el agua que literalmente arropa las estructuras de la línea, fue y es permanente.

Cualquier excavación o estructura, que tenga una presión atmosférica en su interior, generará una movilización y flujo de agua hacia ella, especialmente si se encuentra sumergida, como es el caso que nos compete. Aquí hay que destacar la importancia de la presión del agua en los puntos de salida de afloramiento; ya que entre más cercano al nivel de desplante de las estructuras, sea: por una grieta en el revestimiento, una deficiencia de sellado o por necesidad de instalaciones. la presión hidrostática aumenta y el caudal de agua también.

Las filtraciones se asocian al acarreo de suelo confinante de la estructura, que a largo plazo, pueden asociarse a deformaciones en la superficie del terreno y daños a infraestructura hidráulica y de instalaciones. A largo plazo pudieran generar afectaciones a cimentaciones superficiales de edificaciones a lo largo del trayecto del tramo subterráneo y próximo al sitio de la filtración.

La presencia de filtraciones genera daños de operación y seguridad en el sistema de vía de La Línea.

Observaciones

Durante el recorrido se pudo apreciar las distintas soluciones adoptadas para cada una de las zonas geotécnicas que cruza La Línea. Es interesante remarcar que los procesos constructivos utilizados fueron:

Tabla 3

Interestación	Sección constructiva
Mixcoac-Insurgentes	Pilas secantes en sección cajón con ancho variable mínimo 10 m, tuneleo mecanizado de 10 m de diámetro
Insurgentes-20 de noviembre	Tuneleo mecanizado de 10 m de diámetro y tuneleo con escudo y dovelas de 10 m de diámetro
20 de noviembre - Zapata	Tuneleo con escudo y dovelas de 10 m de diámetro
Zapata-Parque de los venados	Tuneleo con escudo y dovelas de 10 m de diámetro
Parque de los venados - Eje central	Tuneleo con escudo y dovelas de 10 m de diámetro
Eje central - Ermita	Tuneleo con escudo y dovelas de 10 m de diámetro
Ermita-Mexicaltzingo	Tuneleo con escudo y dovelas de 10 m de diámetro
Mexicaltcingo-Atlalilco	Sistema tradicional con tablestaca de acompañamiento y cajón colado en sitio sección variable mínimo 10 m de diámetro
Atlalilco transición elevado	Cajón colado en sitio sección variable mínimo 10 m de diámetro

En las interestaciones

- A cielo abierto y tuneleo mecanizado

En las estaciones

- A cielo abierto

El procedimiento a cielo abierto, es propio de zonas donde la cobertura sobre la estructura, permite tener coberturas máximas razonables y empujes laterales soportados por el sistema de ademe (revestimiento primario) de la excavación. Mientras que el uso de tuneleadoras mecánicas o escudos, se recomienda, cuando las condiciones de suelo son claramente homogéneas (suelo tipo III) y las coberturas sobre la clave del túnel permiten minimizar los efectos de deformaciones en superficie, para ello el diseño de la presión de lodos utilizado en el frente del escudo y la velocidad de excavación son los factores que rigen el proceso constructivo. Para la técnica de tuneleo con métodos mecánicos (frente de excavación) fue factible en suelos competentes suelo tipo II estación Insurgentes.

La combinación de métodos constructivos, a cielo abierto y mediante tuneleo define la problemática encontrada en el suelo durante la etapa de construcción.

En los tramos construidos mediante técnica de tuneleo a frente abierto, la densidad de filtraciones al interior del tramo es menor que las presentes en los tramos a base de cajo o pilas secantes.

En el tramo de pilas secantes se aprecian filtraciones entre las pilas, ya que el revestimiento utilizado entre pilas es concreto lanzado, que recubre de manera no uniforme la superficie de la sección. Hay que hacer notar que, en este tramo con pilas, no existe un revestimiento final es decir el revestimiento primario (en lenguaje de túneles), es también el revestimiento definitivo. Concepto de diseño que considera el revestimiento primario como revestimiento definitivo. Lo anterior se aplicó a todo el tramo subterráneo, hasta su llegada a la estación Mexicalcingo, donde el inicio del cajón con sección estructural definida por muros y losas formando un anillo de sección cuadrada inicia y es independiente del sistema de soporte de la excavación.

Aspectos de diseño

El concepto del trabajo del tramo subterráneo, está idealizado como una cimentación sobre un medio elástico, ya que el ducto por sus características geométricas, su rigidez, resistencia y capacidad de deformación permite idealizarlo así.

Esta cimentación (ducto) esta fija en sus extremos (Estación Mixcoac y Estaciona Atlalilco) y suspendida sobre un medio elástico (zona III), desde la estación 20 de noviembre hasta la estación Mexicaltcingo. La zona de transición se considera como una zona de transición entre los extremos fijos y la parte soportada sobre el medio elástico.

Esta consideración de partida permite que nuestro "ducto" subterráneo trabaje en conjunto con los desplazamientos y deformaciones que el suelo circundante le trasmite. Definiendo su rigidez, resistencia y capacidad de deformación, en función de los desplazamientos que se esperan a lo largo de su vida útil.

Las estaciones funcionan en el esquema de diseño, como elementos de conexión y fijación (como un conector entre dos tramos de manguera) aunque en algunos casos las Estaciones presentan problemas de subcompensación.

Desde el punto de vista sísmico, la seguridad estructural de la condición dinámica, (interacción suelo estructura), se asocia a las excitaciones de la masa de suelo, valores que pueden apreciarse en la tabla 1.

Los valores mostrados, permiten apreciar las implicaciones sísmicas por la presencia de las dos fronteras definidas entre los 3 tipos de zonas geotécnicas.

El diseño debió considerar el ajuste de rigidez en la sección estructural como parte del diseño sísmico. Es decir, conexiones, cambios de sección, reforzamiento de sección, etc. que permitan ajustar los desplazamientos estimados por cargas muertas, de operación y sismo que se estima, experimentará la sección estructural del tramo subterráneo, al cruzar de un tipo de suelo sea II o III, al siguiente sea III o II.

El efecto de considerar un sistema estructural, diseñado para trabajar en suelos tipo II a uno Tipo III y de un sistema estructural diseñado para suelos tipo III a tipo II, tiene los siguientes puntos a considerar:

1. Concentración de esfuerzos en la sección estructural por el cambio de rigidez del suelo.
2. Reforzamiento de la sección estructural para soportar los incrementos de esfuerzos por la génesis y propiedades mecánicas de los suelos circundantes.
3. Valoración de los desplazamientos en superficie para evitar las afectaciones en calles y avenidas, así como en la infraestructura pública y privada.

4. Solucionar el proceso de excavación por el cambio de rigidez del suelo, modificando el equipo de excavación.

Debemos recordar que solo el tramo Mexicalcingo Atlalilco, tiene una sección estructural definida por un elemento continuo de concreto reforzado como revestimiento definitivo, (cajón de concreto reforzado).

Implicaciones a lo largo de la línea.

Estación	Mixcoac	Interestación		Insurgente
Abscisa espectral al origen	0.18	0.18	0.22	0.22
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto muros tablestacas y pilas	Pilas secantes	Tuneleo mecanizado	Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Concreto lanzado	Concreto lanzado	
Observaciones		Filtraciones		

Estación	Insurgentes	Interestación		20 de Noviembre
Abscisa espectral al origen	0.22			0.22
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto Muros Tablestacas	Tuneleo mecanizado	Excavación con escudo y dovelas	Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Concreto lanzado	Dovelas atornilladas	
Observaciones			Filtraciones en juntas entre dovelas	

Estación	20 de Noviembre	Interestación		Zapata
Abscisa espectral al origen	0.22			0.26
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto Muros Tablestacas	Excavación con escudo y dovelas	Excavación con escudo y dovelas	Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Dovelas atornilladas	Dovelas atornilladas	
Observaciones		Filtraciones en juntas entre dovelas	Filtraciones en juntas entre dovelas	

Estación	Zapata	Interestación	Parque de los venados
Abscisa espectral al origen	0.22		0.35
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto Muros Tablestacas	Excavación con escudo y dovelas	Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Dovelas atornilladas	
Observaciones		Filtraciones en juntas entre dovelas	

Estación	Parque de los venados	Interestación	Eje Central
Abscisa espectral al origen	0.35		0.40
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto Muros Tablestacas	Excavación con escudo y dovelas	Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Dovelas atornilladas	
Observaciones		Filtraciones en juntas entre dovelas	

Estación	Eje Central	Interestación	Ermita
Abscisa espectral al origen	0.40		0.42
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto Muros Tablestacas	Excavación con escudo y dovelas	Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Dovelas atornilladas	
Observaciones		Filtraciones en juntas entre dovelas	

Estación	Ermita	Interestación	Mexicaltcingo
Abscisa espectral al origen	0.42		0.46
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto Muros Tablestacas	Excavación con escudo y dovelas	Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Dovelas atornilladas	
Observaciones		Filtraciones en juntas entre dovelas	

Estación	Mexicaltcingo	Interestación	Atlalilco
Abscisa espectral al origen	0.46		0.24
Proceso constructivo y de diseño	Cielo abierto Muros Tablestacas	Lumbrera de construcción	Cielo abierto, tablestaca de acompañamiento Cielo abierto Muros Tablestacas
Revestimiento definitivo		Concreto reforzado	Cajón de concreto reforzado
Observaciones		Filtraciones importantes	Filtraciones someras

Conclusiones y Recomendaciones:

Por lo anterior se concluye y recomienda lo siguiente:

- A) Inspeccionar a detalle los sitios de discontinuidades geotécnicas y constructivas, principalmente las que se tienen en las interestaciones.
- B) Realizar pruebas no destructivas:

Mediante la ejecución de estudios de vibraciones y/o resonancia magnética y/o radar de penetración.

- C) Programar una campaña de inyecciones de consolidación y sellado desde el interior del túnel en horarios nocturno mediante una mezcla estable a base de lodo bentónico y cemento.
- D) Diseño de sistema de instrumentación que permita detectar deformaciones excesivas o fuera de rango conforme al análisis y diseño original.
- E) Revisar el diseño estructural para garantizar que el análisis sísmico tomó en cuenta la variación de las aceleraciones del suelo, ya que la estructura a diferencia de las otras líneas subterráneas del metro, es un elemento discontinuo debido al cambio de sección estructural y el diseño estructural de la sección de revestimiento definitivo, debió considerarlo.
- F) Lo anterior prioriza inspeccionar y dictaminar la seguridad estructural de:
- Las conexiones y sello entre dovelas
 - El estado físico entre el sistema de soporte y terreno confinante (filtraciones, gap)
 - La conexión entre estaciones e interestaciones
 - La continuidad estructural en los cambios, entre los distintos sistemas de estructuración que conforman las interestaciones
- G) Los factores de seguridad y tiempos de reacción de los elementos del soporte primario durante su diseño geotécnico estructural, son asignados bajo otros criterios distintos a los que se toman para cumplir como elementos de soporte definitivo. Esto hace importante la revisión de la información del proyecto; ya que el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México es claro respecto a los factores de Carga y de Resistencia para diseños definitivos.
- H) Se deberá contar con un modelo digital de todo el tramo subterráneo, que permita sobreponer los resultados de las inspecciones, levantamientos y sirva para dar seguimiento a las revisiones.
- I) Reuniones de trabajo con personal de operación del metro serán necesarias para aclarar dudas, datos y conocer su punto de vista.

Dictamen:

1. Después de revisar y analizar la información recabada de las visitas efectuadas, de las condiciones geotécnicas por donde la línea cruza en su trayecto, de observar los distintos sistemas de estructuración a lo largo del tramo, es que **Desde el punto de vista geotécnico – estructural, no se detectan daños visibles que permitan suponer la posibilidad inminente de una falla de la sección estructural a lo largo del tramo subterráneo, por ello es que dictaminamos que es factible que el tramo subterráneo de la Línea 12 entre las estaciones de Mixcoac y Atlalilco entre en operación.**
2. Es imperativo realizar una campaña de inspección a detalle y inventario de zonas con filtraciones, con la cual se programe y diseñe una campaña de inyección de consolidación y sello alrededor de la sección estructural que permita sellar espacios anulares, fisuras y grietas en la masa de suelo y en el revestimiento.
3. Deberá valorarse si el diseño del tramo subterráneo considerado en su diseño estructural el análisis sísmico apropiado para la definición de la rigidez, resistencia y capacidad de deformación de las distintas secciones constructivas presentes a lo largo del tramo y su continuidad estructural.

Se expide el presente documento a petición del interesado, tratándose de un dictamen fundamentado en la opinión técnica de investigadores, especialistas y peritos, para los efectos del mismo el día 24 de mayo del 2021 en la Ciudad de México.