



**INFORME GEOTÉCNICO – ESTRUCTURAL DE
VULNERABILIDAD CORRESPONDIENTE AL TÚNEL DE LA
LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MÉXICO A. C.
COMITÉ DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop followed by several smaller strokes.

A handwritten signature in blue ink, appearing as a series of connected loops and lines.

A handwritten signature in blue ink, featuring a prominent vertical stroke and a horizontal base.

A large, complex handwritten signature in blue ink, with multiple overlapping loops and a long horizontal tail.

17 de junio de 2021

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. DESCRPCIÓN DE LOS DIFERENTES TRAMOS Y SECCIONES	4
3. RECORRIDOS DE INSPECCIÓN VISUAL, INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN DE CONVERGENCIAS.....	18
4. INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN DE CONVERGENCIAS	36
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA ESTRUCTURA DEL TÚNEL.....	40
6. RECOMENDACIONES A LA ESTRUCTURA DE LA VÍA	41



1. INTRODUCCIÓN

La Línea 12 del Metro de la Ciudad de México tiene una longitud de 24.7 km, corre de la estación terminal correspondencia Mixcoac a la Estación Terminal Tláhuac; cuenta 20 estaciones intermedias teniendo correspondencias en la estación Atlalilco con la Línea 8, en la estación Ermita con la Línea 2, en la estación Zapata de la Línea 3 y en Mixcoac de la Línea 7 siendo esta última una de las terminales.

De los 24.7 km de longitud de la línea, 8.589 km son en túnel; de los cuales 7.44 km se excavaron con un escudo EPB (Earth Pressure Balance) y 1.149 km fueron excavados mediante método convencional.

En la Figura 1, se muestra el trazo, las estaciones y el tipo de sección construida a todo lo largo de la línea 12 del metro. Así mismo, en la Figura 2 se muestra un detalle que corresponde únicamente al tramo de túnel objeto del presente dictamen.



Figura 1. Trazo, estaciones y tipo de sección construida en la línea L12 del metro de la Ciudad de México.



Figura 2. Trazo, estaciones y tipo de sección construida correspondiente al tramo en túnel.

Como parte de las revisiones que está llevando a cabo el gobierno de la Ciudad de México para conocer y evaluar el estado en el que se encuentran las estructuras de la citada Línea 12 del metro, en el presente documento tiene por objeto estudiar y conocer el estado actual en que se encuentra el túnel, y efectuar el dictamen de vulnerabilidad para que en un corto plazo el tramo subterráneo de la línea de metro sea reabierto a la circulación de los trenes y opere con los más altos estándares seguridad.

Para llevar a cabo el dictamen de vulnerabilidad del túnel, se recopiló y analizó la siguiente información existente:

- Algunos planos As built del túnel, proporcionados por el Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM).
- Informe realizado por la empresa SYSTRA, titulado: "METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO DIAGNÓSTICO DE LA LÍNEA 12", fechado de 8 de agosto de 2014.
- Informe elaborado por el Instituto Mexicano de Transporte (IMT), titulado: "LEVANTAMIENTO DE ESTUDIOS DE ALTA TECNOLOGÍA EN EL TRAMO SUBTERRÁNEO (ATLALILCO – MIXCOAC) DE LA LÍNEA 12 DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO (STCM) DE LA CIUDAD DE MÉXICO" fechado de 10 de Junio de 2021.

Adicionalmente se efectuaron diversos recorridos a todo lo largo de los 8,589 m de túnel, mapeando y registrando en un plano las diversas anomalías detectadas tanto en la clave como en los hastiales del túnel y en las intersecciones con las diferentes estaciones.

Derivado del resultado de los recorridos, se tomó la decisión y necesidad de llevar a cabo una LA Instrumentación y medición de ocho (8) estaciones de convergencias, con objeto de monitorear, a corto, mediano y largo plazo el comportamiento deformacional en las secciones del túnel consideradas como críticas.

Por otro lado, con base en los recorridos de inspección del túnel, y considerando el estudio realizado por el IMT; se plantean una serie de recomendaciones para la estructura de la vía, la cual según consta en el citado informe, presenta diversos problemas atribuibles a la composición, calidad y estado de la sub base, base y balasto de la estructura de la vía.

2. DESCRPCIÓN DE LOS DIFERENTES TRAMOS Y SECCIONES

Con base en los planos As built que fueron prtoporcionado por el Sistema de Transporte Colectivo Metro, fue posible conocer el trazo en planta y los diferentes tipos de sección y procedimiento constructivo con los que fue construido el túnel.

Se emplearon tres diferentes métodos de excavación:

1. Tramo excavado con tuneladora

El tramo excavado mediante una maquina tuneladora tipo escudo EPB (Earth Pressure Balance) tiene una longitud total de 7,740 m, va desde la lumbrera ubicada en el cadenamiento 20+360 al cadenamiento 27+320 (antes de llegar a la estación Insurgentes Sur). Su sección es circular con un radio al intradós de 4.555 m; consta de una sección estructural formada con dovelas de 0.535 m de espesor y 1.5 m de longitud.

4

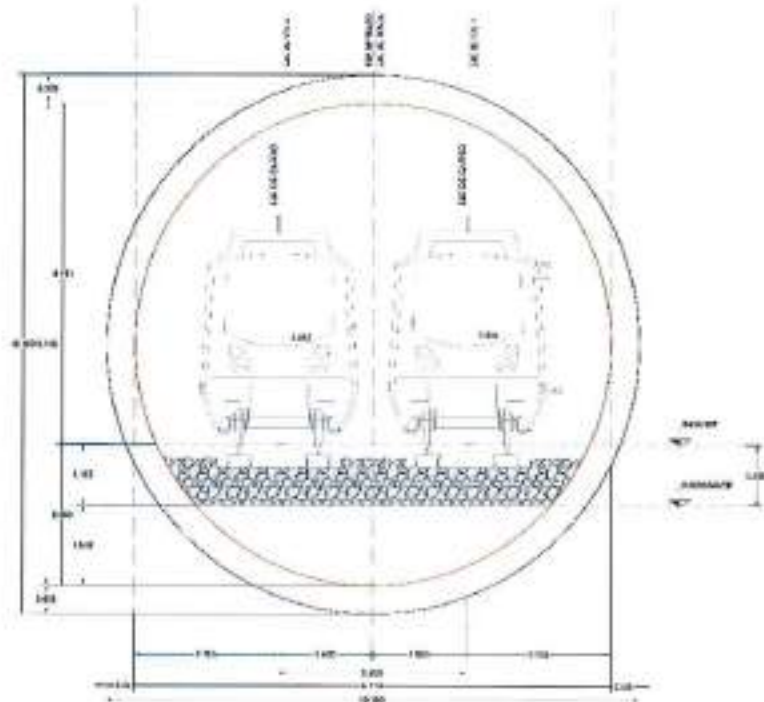
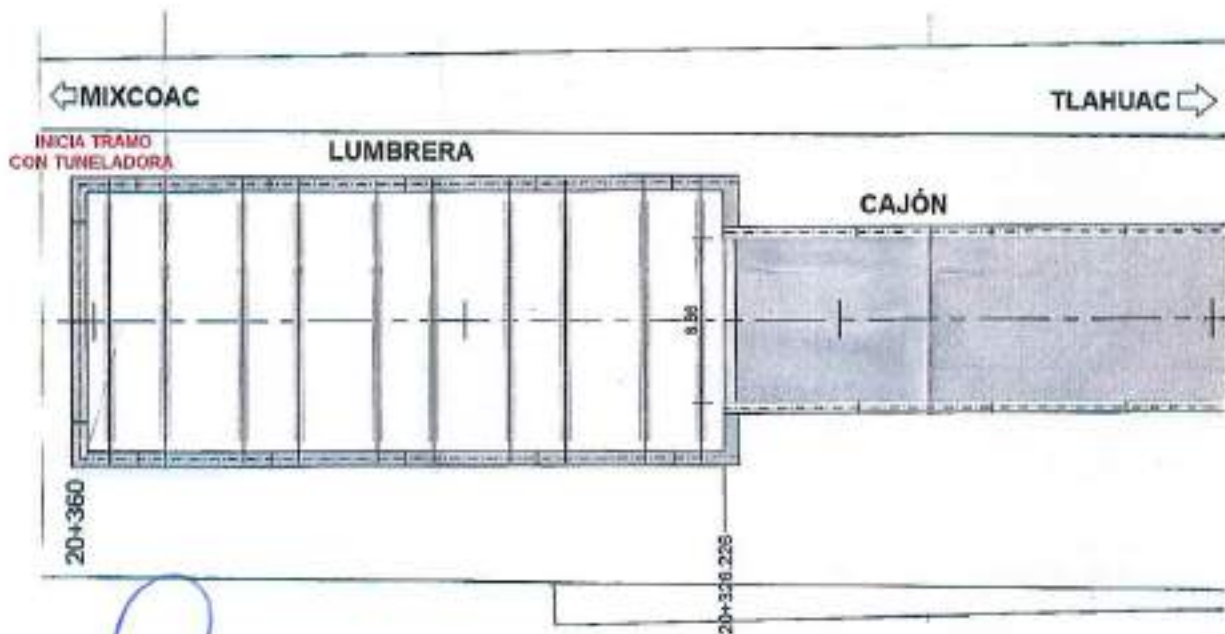


Figura 3. Sección tipo en tramo excavado con tuneladora (imagen tomada del plano PMDF-10-PG-612295-IV-0036-01156-P-AB).

Al inicio del tramo con tuneladora se reforzó la zona con muros armados de concreto de 80 cm de espesor y una losa de fondo de espesor variable, tal como se muestra en la Figura 4.



Handwritten signatures and initials in blue ink are present at the bottom of the page, along with the number 5.

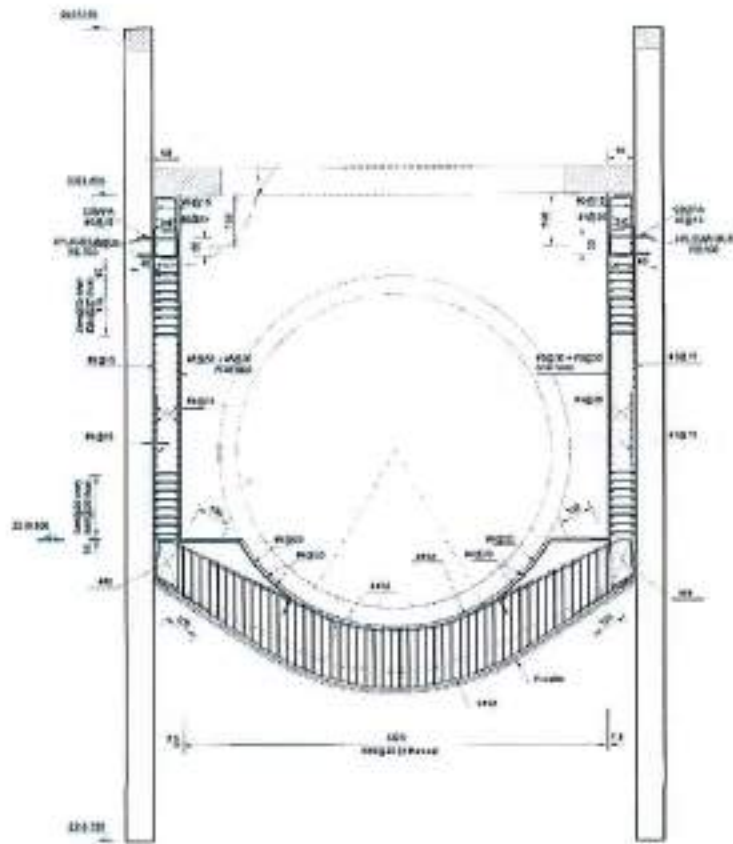


Figura 4. Sección tipo en inicio de tramo excavado con tuneladora (imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612225-IV-0071-02319-P-AB).

2. Tramo excavado con método convencional

El tramo de túnel excavado mediante método convencional inicia en el cadenamiento 27+320 a la cabecera oriente de la estación Insurgentes Sur (cadenamiento 27+367), tiene una $L = 47$ m.

De la cabecera poniente de la estación Insurgentes sur (cadenamiento 27+544) y hasta la lumbrera Cádiz (cadenamiento 27+764), tiene una longitud $L = 220$ m

Así mismo, desde la cabecera poniente de la estación Mixcoac (cadenamiento 28+448) hasta la lumbrera Benvenuto Cellini (cadenamiento 28+530), que corresponde con el cruce de la línea 7 que corre de Barranca del muerto a el Rosario, tiene una longitud $L = 88$ m

Finalmente, los túneles de cola de maniobras y andén de depósito van desde la lumbrera Benvenuto Cellini ubicada en el cadenamiento 28+530 hasta el cadenamiento 29+377, con lo cual resulta una longitud $L = 847$ m.

El tramo excavado con el método convencional que comprende del cad. 27+320 a la cabecera oriente de la estación Insurgentes Sur (cad. 27+367) y desde la cabecera poniente de la estación Insurgentes Sur (27+544.70) a la Lumbrera Cádiz (cad. 27+774); se excavó con 3 diferentes secciones constructivas.

Handwritten signatures and a page number '6' are present at the bottom of the page.

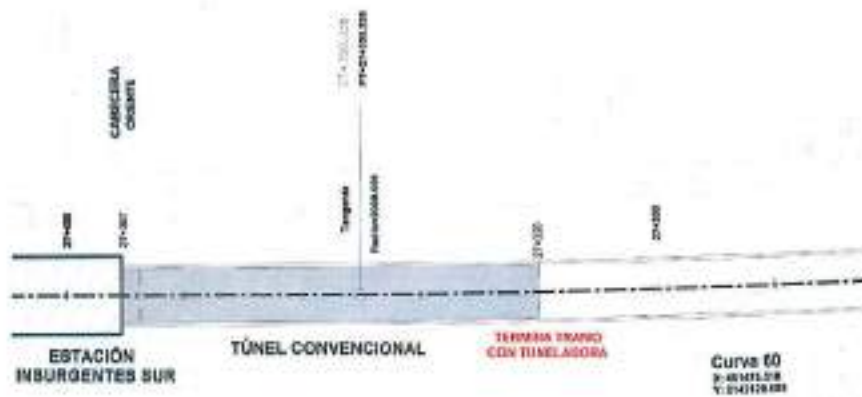


Figura 5. Planta de localización del primer tramo de túnel excavado con el método convencional

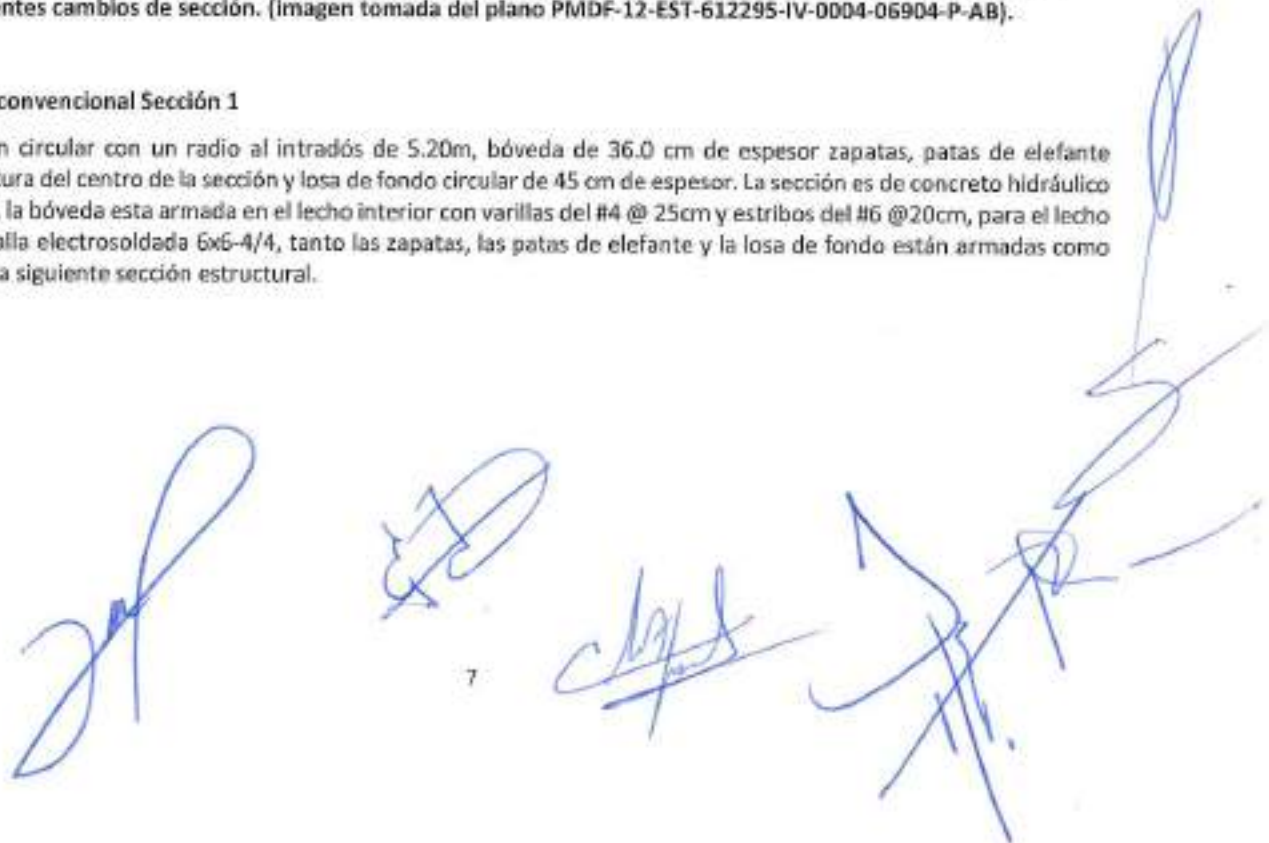
Tomando en cuenta los planos "As built" el túnel fue excavado con diferentes cambios en la geometría y composición del armado.



Figura 6. Planta de localización del tramo de túnel excavado por método convencional (L=219.3m) y sus diferentes cambios de sección. (Imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0004-06904-P-AB).

Túnel convencional Sección 1

Sección circular con un radio al intradós de 5.20m, bóveda de 36.0 cm de espesor zapatas, patas de elefante laterales a la altura del centro de la sección y losa de fondo circular de 45 cm de espesor. La sección es de concreto hidráulico $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, la bóveda esta armada en el lecho interior con varillas del #4 @ 25cm y estribos del #6 @ 20cm, para el lecho exterior con malla electrosoldada 6x6-4/4, tanto las zapatas, las patas de elefante y la losa de fondo están armadas como se muestra en la siguiente sección estructural.



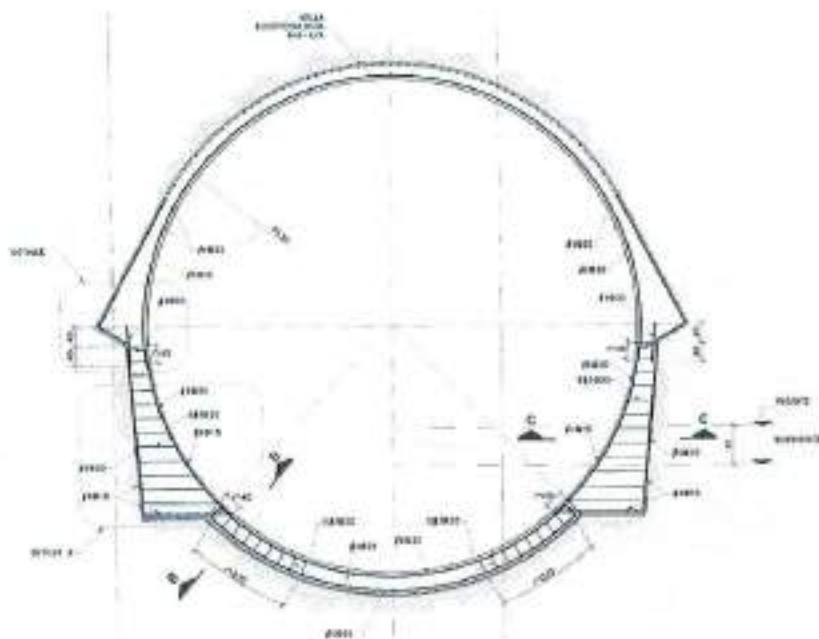


Figura 7. Sección estructural en túnel convencional sección 1 (Imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0004-06904-P-AB).

Túnel convencional Sección 2

Sección formada por un medio arco con un radio al intradós de 5.20m, bóveda de 36.0 cm de espesor zapatas, patas de elefante laterales a la altura del centro de la sección y losa de fondo recta de 70 cm de espesor. La sección es de concreto hidráulico $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, la bóveda esta armada en el lecho interior con varillas del #4 @ 25cm y estribos del #6 @ 20cm, para el lecho exterior con malla electrosoldada 6x6-4/4, tanto las zapatas, las patas de elefante y la losa de fondo están armadas como se muestra en la siguiente sección estructural.

La sección cuenta con dos huecos para registros de 40x60cm y dos drenes laterales de 20cm de diámetro.

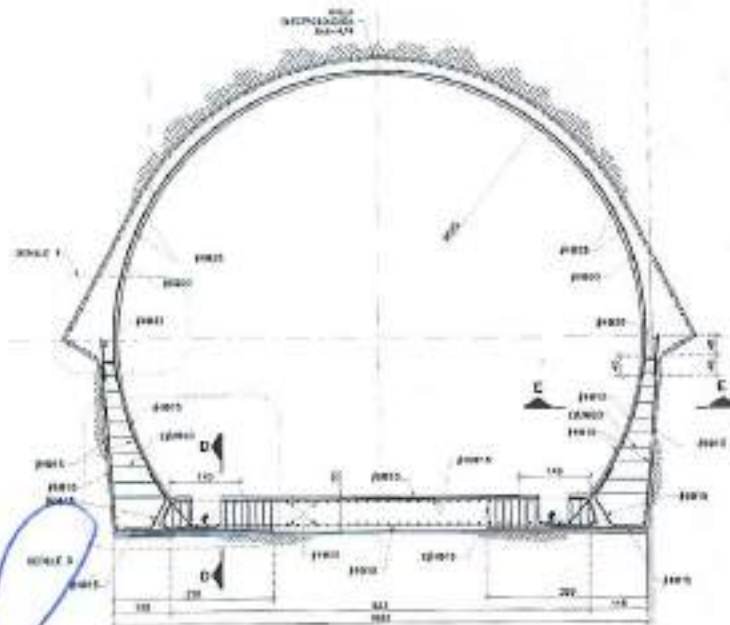


Figura 8. Sección estructural en túnel convencional sección 2 (Imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0004-06904-P-AB)

Handwritten blue ink signatures and scribbles are present on the right side of the page, overlapping the drawing area and extending below the caption.

La transición entre secciones se realizó por medio de la trabe T-1, tal como se muestra en el siguiente detalle.

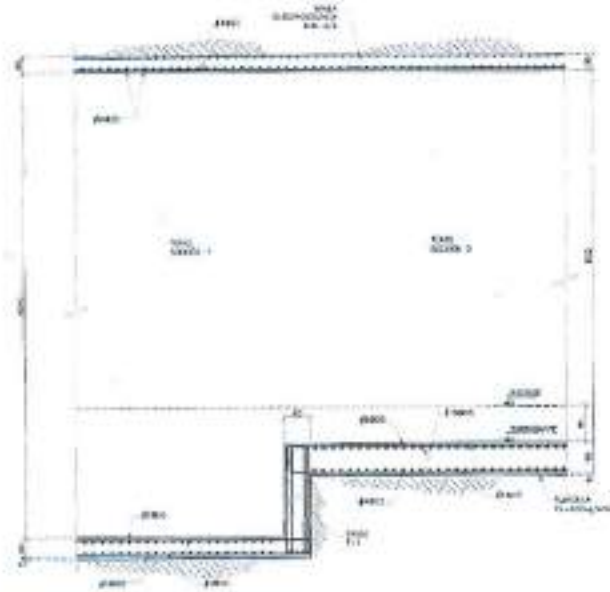


Figura 9. Detalle de transición entre secciones 1 y 2 de túnel convencional (Imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0004-06904-P-AB).

Túnel convencional Sección 3

Sección formada por un medio arco con un radio al intradós de 5.08m, bóveda de 36.0 cm de espesor zapatas, patas de elefante laterales a la altura del centro de la sección y losa de fondo recta de 60 cm de espesor. La sección es de concreto hidráulico $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, la bóveda esta armada en el lecho interior con varillas del #4 @ 25cm y estribos del #6 @20cm, para el lecho exterior con malla electrosoldada 6x6-4/4, tanto las zapatas, las patas de elefante y la losa de fondo están armadas como se muestra en la siguiente sección estructural.

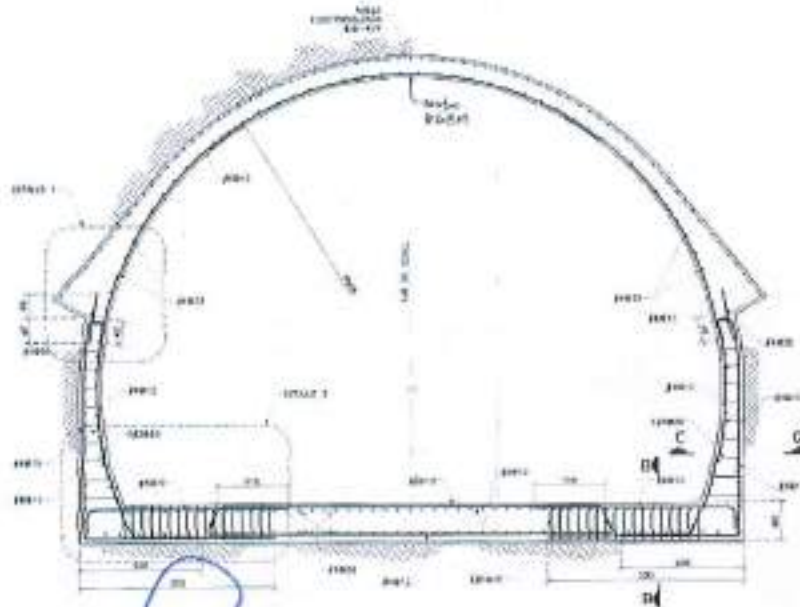


Figura 10. Sección estructural en túnel convencional sección 3 (Imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0097-06997-P-AB)

La transición entre secciones 2 y 3 se realizó por medio de una trabe de transición, tal como se muestra en el siguiente detalle.

9

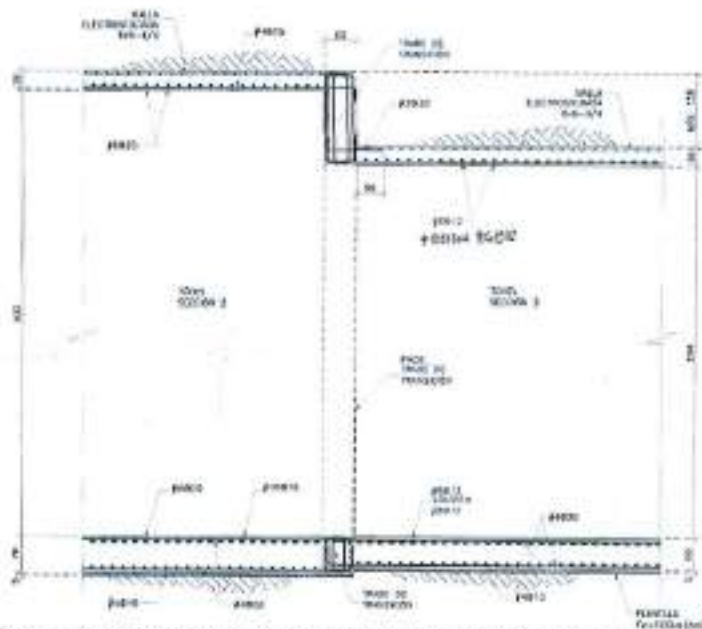


Figura 11. Detalle de transición entre secciones 2 y 3 de túnel convencional (imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0097-06997-P-AB)

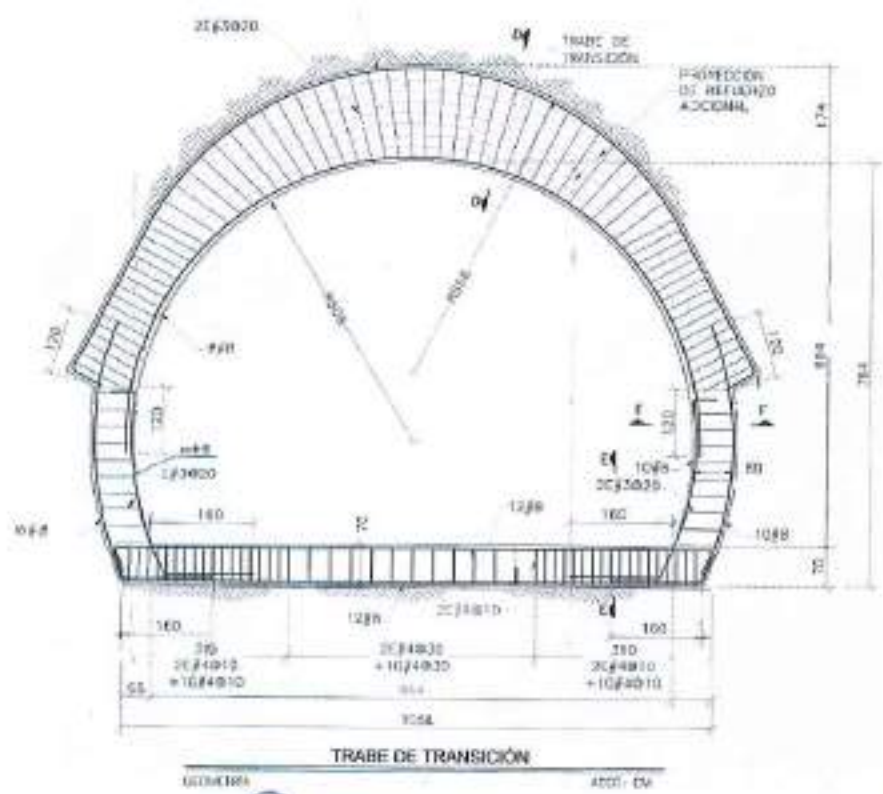


Figura 12. Sección estructural en la trabe de transición entre sección 2 y 3 (imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0097-06997-P-AB)

Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large signature on the right and several smaller ones at the bottom. A small number '10' is written near the bottom center.

Túnel convencional en cruce con línea 7 (Cabecera poniente estación Mixcoac-Lumbrera Benvenuto Cellini)

La sección de túnel convencional en el cruce con la línea 7 está formada por un medio arco con un radio al intradós de 5.38m, bóveda de 36.0 cm de espesor, zapatas, patas de elefante laterales a la altura del centro de la sección y losa de fondo recta de 70 cm de espesor. La sección es de concreto hidráulico $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, la bóveda esta reforzada malla electrosoldada 6x6-4/4. La losa de fondo es de 60 cm de espesor y en la zona reforzada de 80cm; los detalles de armado de la sección se muestran en la siguiente figura.

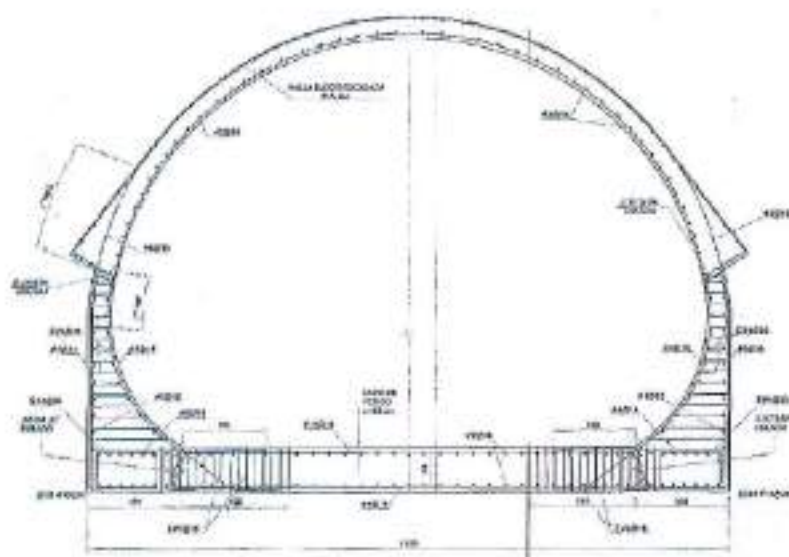


Figura 13. Sección estructural reforzada en túnel convencional cruce con línea 7 (imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612305-III-0070-05370-P-01)

Túnel convencional en cola de maniobras y andén de depósito

Los túneles de cola de maniobras y el andén de depósito también se excavaron con el método tradicional a partir de la lumbrera Benvenuto Cellini ubicada en el cad 28+530 hasta el cad. 29+377.

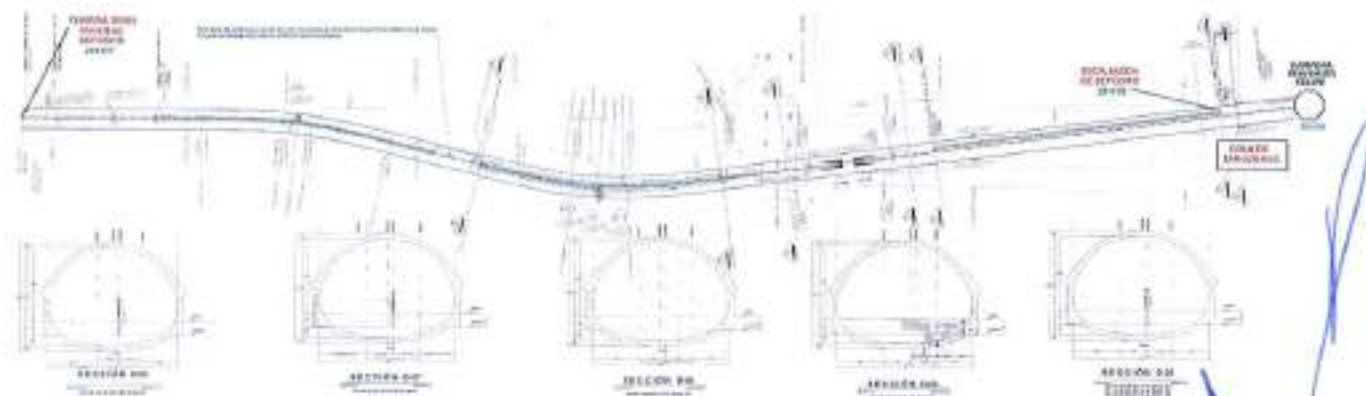
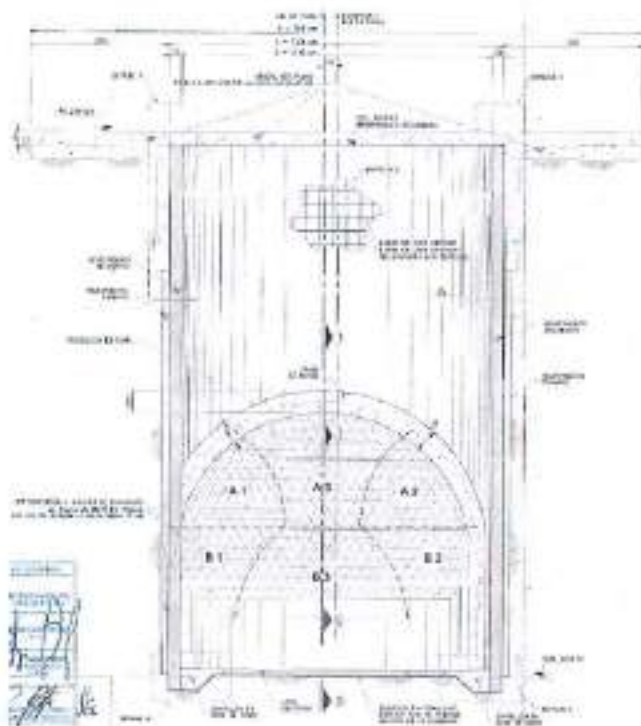
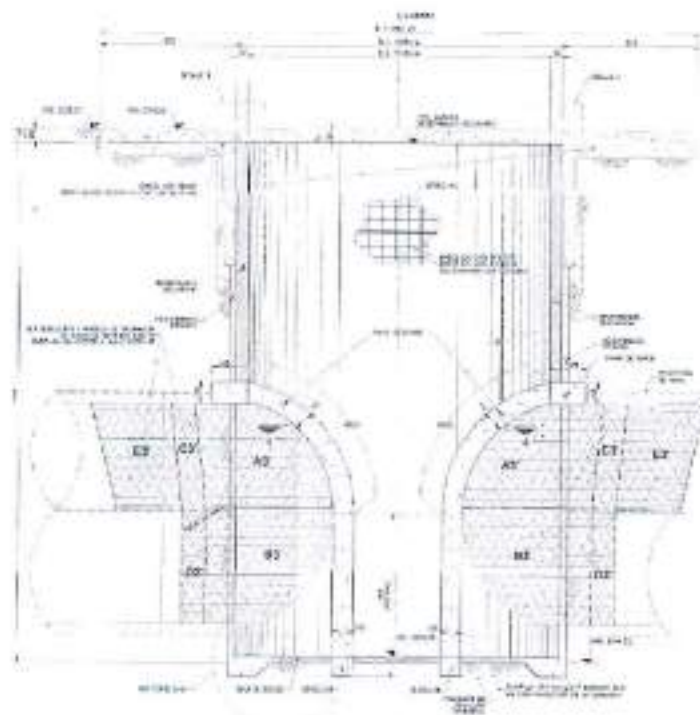


Figura 14. Planta de túnel en cola de maniobras y ande de depósito

Conexión con lumbrera

La conexión del túnel en cola de maniobras con la lumbrera Benvenuto Cellini se reforzó con traves de borde.





Figuras 15 y 16. Conexión de túnel con lumbrera Benvenuto Cellini con la sección estructural en cola de maniobras (imágenes tomadas del plano PMDF-12-EST-612305-IV-0003-35219-P-AB).

Sección del túnel en cola de maniobras

La sección de túnel convencional en cola de maniobras está formada por un medio arco con un radio al intradós de 5.38m, bóveda de 36.0 cm de espesor, patatas, patas de elefante laterales a la altura del centro de la sección y losa de fondo recta de 70 cm de espesor. La sección es de concreto hidráulico $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, la bóveda está armada con varillas

longitudinales del #4 @ 35cm, transversales del #5 @ 20cm y estribos de refuerzo con varillas del #3. La losa de fondo es de 60 cm de espesor armada con varillas longitudinales del #5 @ 20cm y transversales del #6 @ 15cm.

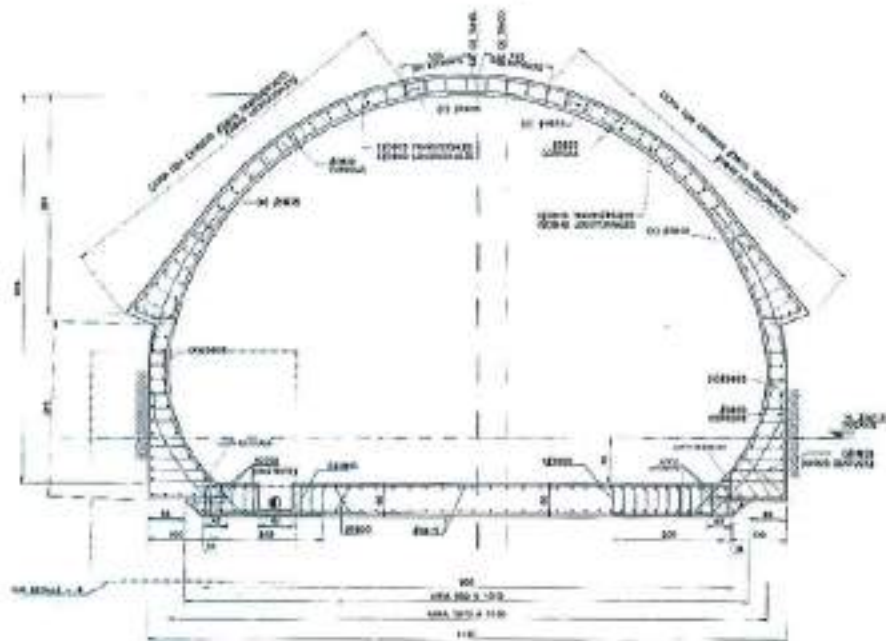


Figura 17. Sección estructural en túnel de cola de maniobras (imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612305-IV-0017-02617-P-AB).

Conexión de caseta, nicho interruptor y disyuntor de obras secundarias

Al túnel en cola de maniobras se conectan túneles de servicio y operación de la estación Mixcoac como lo es la caseta del visitador, el nicho interruptor de fosa de visitas y el nicho disyuntor de obras secundarias, ambas secciones se encuentran reforzadas en su unión mediante una trabe de borde.

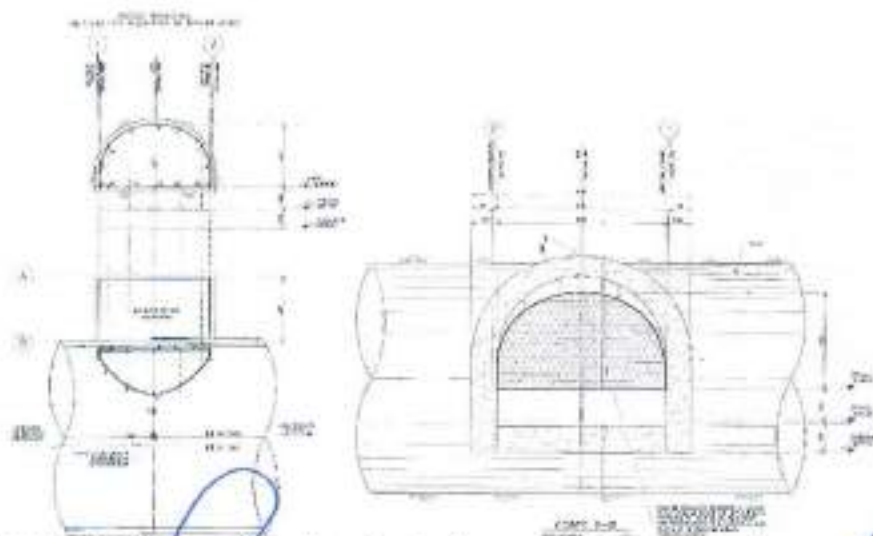


Figura 18. Conexión de túnel para nicho disyuntor de obras secundarias con la sección estructural en cola de maniobras (Imágenes tomadas del plano PMDF-12-EST-612305-IV-0017-35309-P-AB).

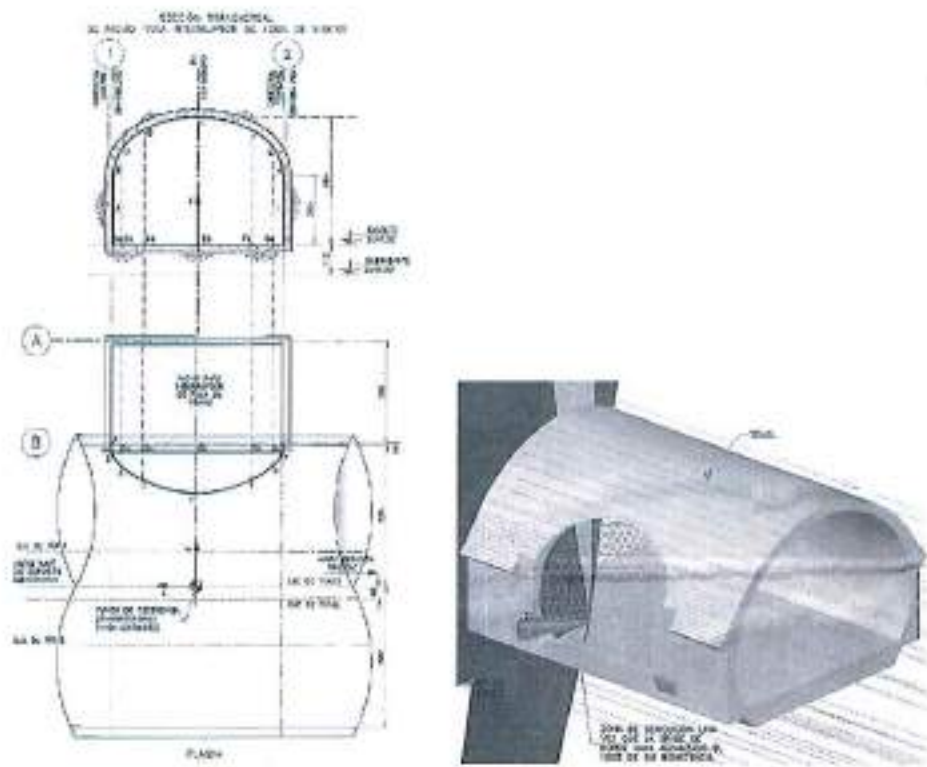


Figura 19. Conexión de túnel para nicho interruptor de fosa de visitas caseta con la sección estructural en cola de maniobras
(imágenes tomadas del plano PMDF-12-EST-612305-IV-0015-35306-P-AB)

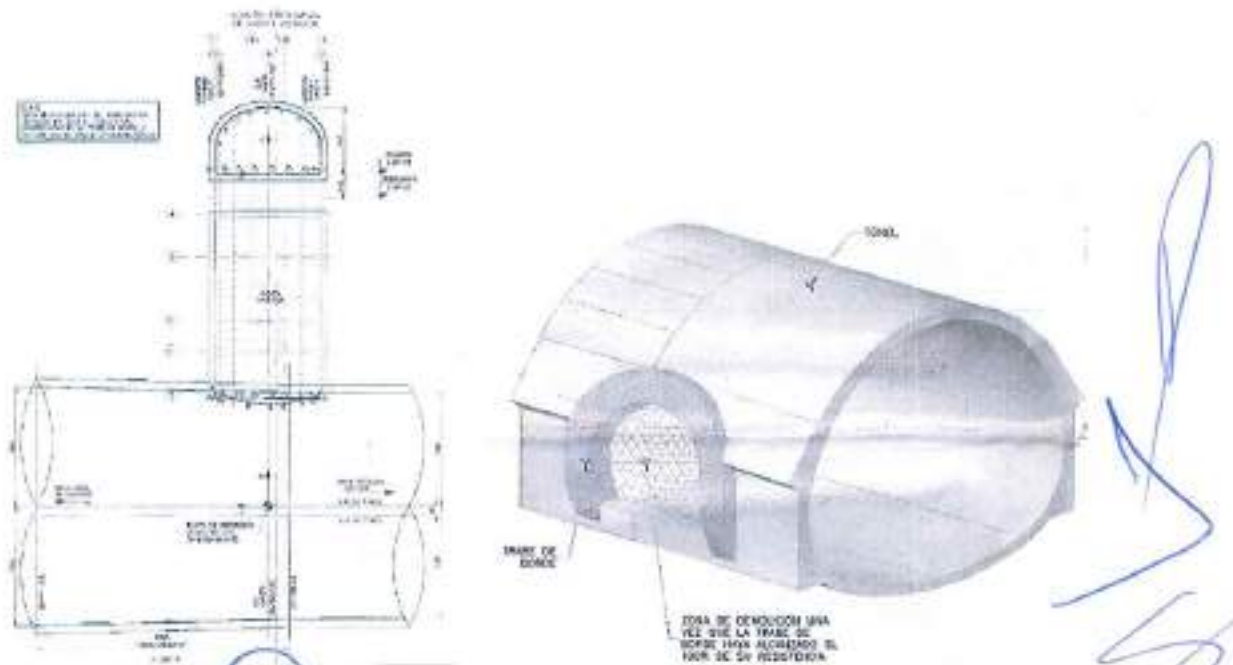


Figura 20. Conexión de túnel para caseta con la sección estructural en cola de maniobras
(imágenes tomadas del plano PMDF-12-EST-612305-IV-0016-35308-P-AB)

Handwritten signatures and marks in blue ink, including a large signature on the left, a signature with the number '14' in the center, and several other signatures on the right.

Sección del túnel en andén de depósito

La sección de túnel convencional en el andén de depósito está formada por un medio arco con un radio al intradós de 5.748m, bóveda de 36.0 cm de espesor, zapatas, patas de elefante laterales a la altura del centro de la sección y losa de fondo recta de 70 cm de espesor. La sección es de concreto hidráulico $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$, la bóveda está reforzada con malla electrosoldada $6 \times 6-4/4$. La losa de fondo es de 35 cm de espesor; los detalles de armado de la sección se muestran en la siguiente figura.

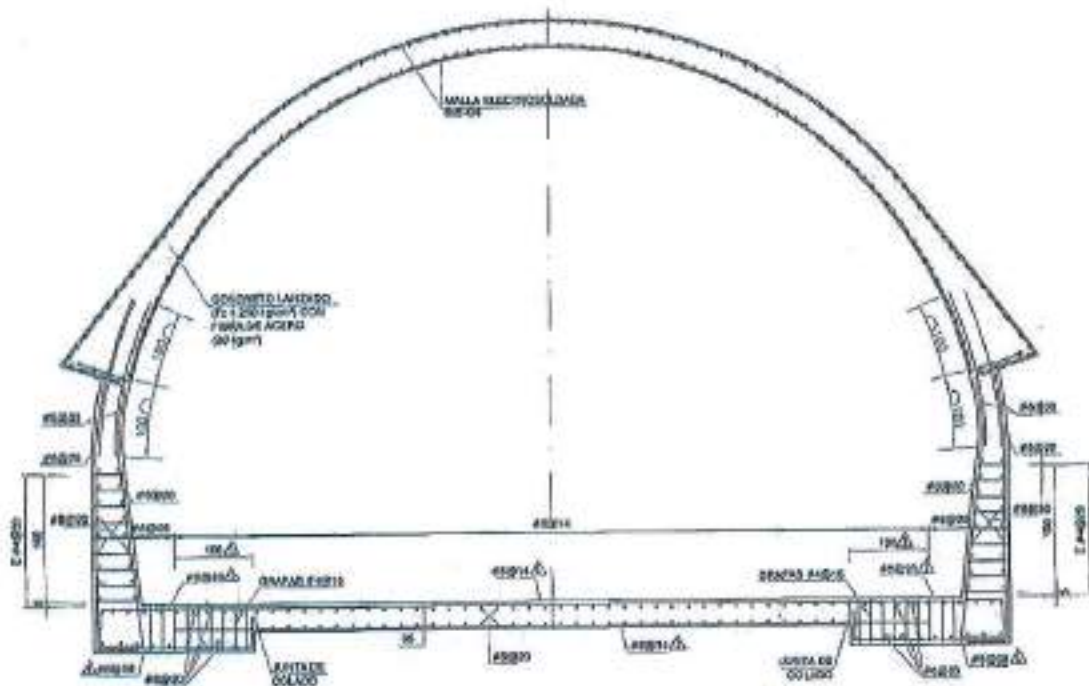


Figura 21. Sección estructural en túnel convencional sección 3 (imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612307-III-05338-P-01).

3. Tramo excavado mediante pilas

Este tramo tiene una longitud de 528 m, va de la lumbrera Cádiz ubicada en el cadenamiento 27+764 hasta la cabecera oriente de la estación Mixcoac (cadenamiento 28+292).

Tomando en cuenta los planos "As built"; el tramo entre la lumbrera Cádiz (27+764.00) y la cabecera de la estación Mixcoac (28+256) se excavó mediante la colocación de pilas, concreto lanzado con malla electrosoldada, losa de fondo, losa tapa y relleno compactado.



Figura 22. Planta de localización. Inicio de la zona excavada con pilas en dirección Mixcoac
(imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0019-34582-P-AB).

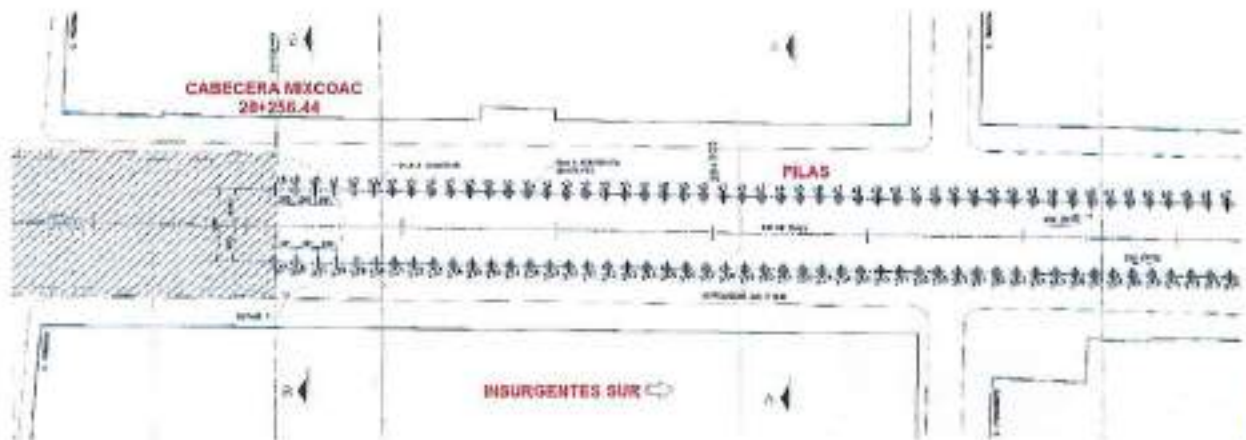


Figura 23. Planta de localización. Zona excavada con pilas llegada a la cabecera de la estación Mixcoac
(imagen tomada del plano PMDF-12-EST-612295-IV-0019-34582-P-AB)

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]
[Handwritten signature]
[Handwritten signature]
[Handwritten signature]

3. RECORRIDOS DE INSPECCIÓN VISUAL, INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN DE CONVERGENCIAS

Para conocer el estado físico en el que se encuentra el túnel se llevaron a cabo una serie de recorridos realizados en conjunto con personal de la Dirección General de Obras Para el Transporte y personal del Metro, dichos recorridos, se realizaron del 2 al 14 de junio de 2021, los cuales se integran por intertramo desde la Estación Atlalilco hasta la zona de maniobras en Mixcoac.

3.1. Intertramo Estación Atlalilco a Estación Mexicaltzingo

El recorrido inicia en la estación Atlalilco dirección Mixcoac, donde a partir del cad. 18+956.337 (cabecera norte) hasta el cad. 20+340.0, la obra subterránea ejecutada fue a base de sección cajón, conforme a lo indicado en el proyecto.

La inspección indicada (a pie) es a partir del cad. 20+340.0; que en este punto se inicia la transición de túnel excavado en cajón a túnel excavado con tuneladora y con la colocación de dovelas como revestimiento definitivo.

Nota: todos los cadenamientos considerados en el presente documento son los referenciados e indicados sobre el hastial izquierdo del túnel (vía 2).



Fotografía 1. Vista del inicio del túnel con dovelas [cad. 20+340.0]

En dicho punto de intersección (cad. 20+340.0), es posible observar la existencia de humedad en diferentes lugares tanto de la lumbrera como del perímetro de inicio del túnel, los escurrimientos y goteos son visibles en toda la altura del túnel, la acumulación del agua existente se observa dirigida hacia el cárcamo visible a la entrada del túnel sobre ambas vías. La carbonatación del concreto es visible en distintos puntos donde hay filtraciones.

El área de túnel mostrado se encuentra bajo la calzada Ermita Iztapalapa, a un costado de la

Universidad UNITEC Campus Sur.

Desde el inicio del túnel con dovelas cad. 20+340.0 y hasta la cabecera Oriente de la Estación Mexicaltzingo, la sección del túnel fue recubierta con una capa variable de concreto lanzado de 10 a 15cm de espesor.



Fotografía 2. Túnel con dovelas recubiertas con concreto lanzado a la altura del cad. 20+443.30, vista dirección Mixcoac.



Fotografía 3. Vista del cad. 20+837.0 (próximo a la cabecera Oriente de la estación Mexicaltzingo); en este sitio se detectó humedad, carbonatación y filtraciones en la estación túnel-estación, se observa gran afectación al plafón de la cabecera.

Handwritten signatures and scribbles in blue ink, including a large signature on the right side and several smaller ones at the bottom.

En general a partir del cad. 20+340.0 hasta la cabecera Oriente de la estación Mexicaltzingo, se observan zonas puntuales con problemas de filtraciones de agua, las cuales son muy evidentes en las intersecciones de túnel con lumbrera y/o cajón de la estación. Así mismo se observa a lo largo del tramo recorrido que existen distintos sistemas (a base de dianas reflejantes y/o bulones) de monitoreo.

3.2. Intertramo Estación Mexicaltzingo a Estación Ermita

Se continua con la inspección del túnel, donde a partir de la cabecera Poniente de la estación Mexicaltzingo, se observa que se continua el sistema a base de dovelas recubierto con una capa variable de concreto lanzado.



Fotografía 4. Cabecera Poniente de la estación Mexicaltzingo, donde es posible observar la cantidad de humedad, carbonatación y filtraciones de agua en la unión túnel-estación, a la altura del cad. 21+025.294



Fotografía 5. Detalle de las afectaciones que se tienen tanto en el concreto como en las instalaciones existentes, debido a las filtraciones de la zona del túnel descrita en la fotografía anterior.

Handwritten signatures and initials in blue ink, including a large signature on the right and several smaller ones at the bottom. A circled number '20' is also present.



Fotografía 6. A la altura del cad. 21+305.60, es posible observar que culmina la colocación de concreto lanzado sobre dovelas.



Fotografía 7. Vista dirección Mixcoac a partir del cad. 21+425.0, donde es posible observar la estructuración del túnel a base de dovelas, así mismo se ha verificado que dicha zona no existe problemas de filtraciones y/o daños estructurales visibles.

Handwritten signatures in blue ink, including a large signature on the right and several smaller ones on the left. A small number "21" is visible near the bottom center of the signatures.



Fotografía 8. A la altura del cad. 21+662.0 es posible observar problemas de filtraciones ligeras de agua en distintos puntos de la bóveda del túnel, sobre la vía 1 existe un pequeño nicho. En la zona se pueden observar placas de acero en las uniones de dovelas.



Fotografía 9. Cabecera Oriente de la estación Ermita, donde existe gran cantidad de humedad, carbonatación, filtración, goteo y escurrimiento de agua en la unión túnel-estación.

En el intertramo de la estación Mexicaltzingo a la cabecera oriente de la estación Ermita, se observan distintas zonas con problemas de filtraciones ligeras de agua, las cuales son muy evidentes en la unión de dovelas.

Handwritten signatures and a date '22' are present at the bottom of the page.

Así mismo se observa a lo largo del tramo recorrido que existen distintos sistemas (a base de dianas reflejantes y/o bulones) de monitoreo.



Fotografía 10. Los problemas de filtraciones en la unión de dovelas son evidentes a partir del cad. 21+377.0 hasta la Cabecera Poniente de la estación Ermita, en la imagen mostrada es a la altura del cad. 21+420.0

3.3. Intertramo Estación Ermita a Estación Eje Central



Fotografía 11. Cabecera Poniente de la estación Ermita, donde existe los problemas de filtraciones de agua son mínimos y principalmente sobre el hastial derecho (vía 1).

Handwritten signatures in blue ink are present on the page, including a large signature on the right side and several smaller ones at the bottom.



Fotografía 12. Vista del interior del túnel en zona de dovelas a la altura del cad. 23+696.0 dirección Micoac, donde se tienen afectaciones por filtraciones de agua a lo largo de toda la bóveda, así mismo se observan canalizaciones realizadas para dirigir los escurrimientos hacia los hastiales.



Fotografía 13. Cabecera Oriente de la estación Eje Central, donde las filtraciones son mínimas, sin embargo se observan distintas placas de acero en la unión de las dovelas.

En el intertramo de la estación Ermita a la cabecera oriente de la estación Eje Central, se observan

zonas puntuales con problemas de filtraciones ligeras de agua, las cuales son muy evidentes en la unión de dovelas. Así mismo se observa a lo largo del tramo recorrido que existen distintos sistemas (a base de dianas reflejantes y/o bulones) de monitoreo.



Fotografía 14. Filtraciones en la unión de dovelas a la altura del cad. 23+725.0.

3.4. Intertramo Estación Eje Central a Estación Parque de los Venados



Fotografía 15. Cabecera Poniente de la estación Eje Central, donde no existen afectaciones de consideración por filtraciones y/o daños estructurales visibles.

Handwritten signatures and marks in blue ink are present at the bottom of the page, including a large signature on the left, a signature in the center, and several other marks on the right.



Fotografía 16. Túnel en zona de dovelas a la altura del cad. 25+200.0 dirección Mixcoac, donde se tienen afectaciones por filtraciones y escurrimientos de agua a lo largo de toda la bóveda, el goteo constante se ve reflejado en el estado de las vías en dicho punto.



Fotografía 17. Cabecera Poniente de la Estación Parque de Los Venados, presenta humedad y salitre, tanto en las paredes como en el plafón.

3.5. Intertramo Estación Parque de los Venados a Estación Zapata



Fotografía 18. Cabecera Oriente de la estación Parque de Los Venados, presenta ligeros problemas de humedad, filtraciones de agua en la bóveda del túnel, principalmente en la unión de dovelas.



Fotografía 19. Túnel en zona de dovelas a la altura del cad. 25+765.0 dirección Micoac, donde se tienen afectaciones por filtraciones y escurrimientos de agua en los hombros del túnel, principalmente sobre el hastial izquierdo (vía 1).

Handwritten signatures and a date stamp '13/06/2021' are present on the page.



Fotografía 20. Antes de llegar a la cabecera Oriente de la estación Zapata, se observa del cad. 25+975.0 al cad. 26+006.0 la zona de dovelas reforzadas en sus uniones con placas de acero.



Fotografía 21. Cabecera Poniente de la estación Zapata, no presenta problemas de humedad y/o filtraciones, sólo el refuerzo de placas en la unión de dovelas.

3.6. Intertramo Estación Zapata a Estación 20 de Noviembre

Handwritten signatures in blue ink, including a large signature on the right side and several smaller ones at the bottom.



Fotografía 22. Cabecera Oriente de la estación Zapata, no presenta problemas de humedad y/o filtraciones actuales, se encuentra al día de la visita seca.



Fotografía 23. Túnel en zona de dovelas a la altura del cad. 26+237.0 dirección Miscoac, donde se aprecian las condiciones actuales sin problemas de humedad y/o estructurales visibles, situación que persiste a lo largo del presente intertramo.

Handwritten signatures in blue ink, including a large signature on the right side and several smaller ones at the bottom. A small number "29" is visible between the signatures.



Fotografía 24. Cabecera Poniente de la estación 20 de Noviembre, no presenta problemas de humedad y/o filtraciones actuales, se encuentra al día de la visita seca, sobre el hastial derecho (vía 1) se aprecian algunas placas metálicas en la unión de las dovelas.

3.7 Intertramo Estación 20 de Noviembre a Estación Insurgentes Sur



Fotografía 25. Cabecera Oriente de la estación 20 de Noviembre, no presenta problemas de humedad y/o filtraciones actuales, se encuentra al día de la visita seca.

Handwritten signatures in blue ink are present on the page, including a large signature on the right side and several smaller ones at the bottom.



Fotografía 26. Vista del interior del túnel en zona de dovelas a la altura del cad. 27+160.0 dirección Mixcoac, donde se tienen afectaciones por filtraciones y escurrimientos de agua a lo largo de toda la bóveda (principalmente en el perímetro de los huecos de ventilación existentes).



Fotografía 27. El túnel a base de dovelas culmina en el cad. 27+325.0 dirección Mixcoac, dando inicio al túnel excavado por método convencional, hasta dicho punto se tienen distintas zonas puntuales con filtraciones principalmente en la unión de dovelas.

Handwritten signatures and a large blue arrow pointing upwards and to the right.



Fotografía 28. A partir del cad. 27+325.0 hasta la cabecera Poniente de la estación Insurgentes Sur se tienen problemas con filtraciones, escurrimientos, goteo de agua y carbonatación del concreto lanzado en distintos puntos (principalmente en la zona de los hombros del túnel).



Fotografía 29. Detalles de los problemas de filtraciones existentes en distintos puntos a partir del cad. 27+325.0 al 27+380.0

Handwritten signatures in blue ink, including a large signature on the right and several smaller ones at the bottom.

3.8 Intertramo Estación Insurgentes Sur a Estación Mixcoac



Fotografía 30. Vista del interior del túnel en zona de túnel convencional a la altura del cad. 27+570.0 dirección Mixcoac, donde se tienen afectaciones por filtraciones y escurrimientos de agua a lo largo de toda la bóveda (donde se observan las canalizaciones realizadas para su captación).



Fotografía 31. Los problemas de filtraciones, carbonización del concreto lanzado son visibles hasta el cad. 27+741.50 (termina túnel convencional, inicia lumbrera Cádiz).



Fotografía 32. De la lumbrera Cádiz hasta la estación Mixcoac la obra subterránea fue realizada en sección cajón (como se observa en la figura a la altura del cad. 28+200.0), en dicho tramo no se aprecian problemas de humedad y/o filtraciones de agua de consideración.

3.9 Intertramo Estación Mixcoac Sur a Muro tapón



Fotografía 33. Vista del interior del túnel en zona de túnel convencional a la altura del cad. 28+960.0 dirección Muro Tapón en la zona de maniobras, donde se tienen afectaciones por filtraciones y escurrimientos de agua a lo largo de toda la bóveda (donde se observan las canalizaciones realizadas para su captación).



Fotografía 34. Las filtraciones y escurrimientos persisten hasta el cad 28+508.0 (Inicia lumbrera).



Fotografía 35. A la altura del cad. 29+260.0 al 29+280.0 se tiene un grave problema de filtraciones, escurrimientos y goteo de agua en toda la bóveda del túnel, el cual es constante, afectando las condiciones estructurales (carbonatación del concreto lanzado) así como el daño visible en el estado de las vías.

Gran parte del túnel convencional de zona de maniobras desde Estación Mixcoac, presenta afectaciones por filtraciones y/o escurrimientos de agua.

4. INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIÓN DE CONVERGENCIAS

Para verificar el comportamiento del túnel, durante el recorrido se determinaron los puntos críticos y que se consideraron los más viables para realizar una campaña de instrumentación mediante la colocación de prismas de precisión.

4.1. Equipo de medición

Los prismas de alta precisión GRZ4 con reflector de 360° se fabrican con cristales de máxima calidad y están provistos de revestimientos ópticos con el fin de alcanzar una larga vida útil en las condiciones más extremas y el mayor alcance con la máxima precisión. La medición se realiza con una estación total Leica TS11 3" R500.



Fotografía 36. Prisma de alta precisión GRZ4 con reflector de 360° Marca Leica

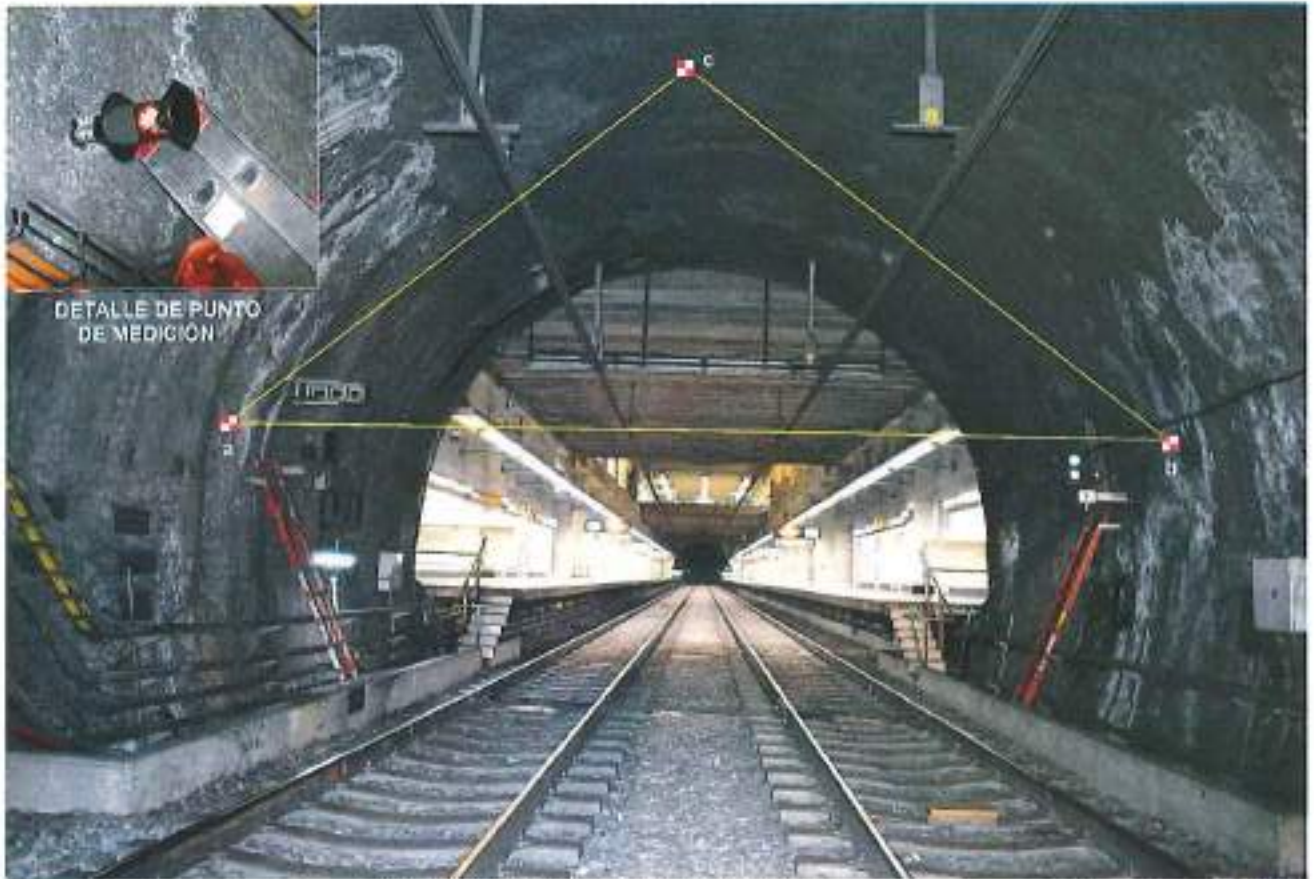


Fotografía 37. Prisma de alta precisión instalado en las estaciones de medición.

La sección de instrumentación tiene 3 puntos de medición; dos en los hastiales y uno al centro de la

clave, de esta manera se medirán el comportamiento de la sección en su conjunto.

Se plantea que las mediciones se realicen diariamente con el objetivo de tener la mayor cantidad de datos posibles y poder determinar si existe alguna tendencia de deformación.



Fotografía 38. Sección de instrumentación tipo.

4.2. Estaciones de medición

Los lugares donde se instalaron las estaciones de medición se definieron directamente en campo tomando en cuenta los lugares con mayor presencia de agua, cambio de sección constructiva o que sea un punto de interés en zonas excavadas con el método tradicional.

Las estaciones de medición se ubicaron en los siguientes lugares:

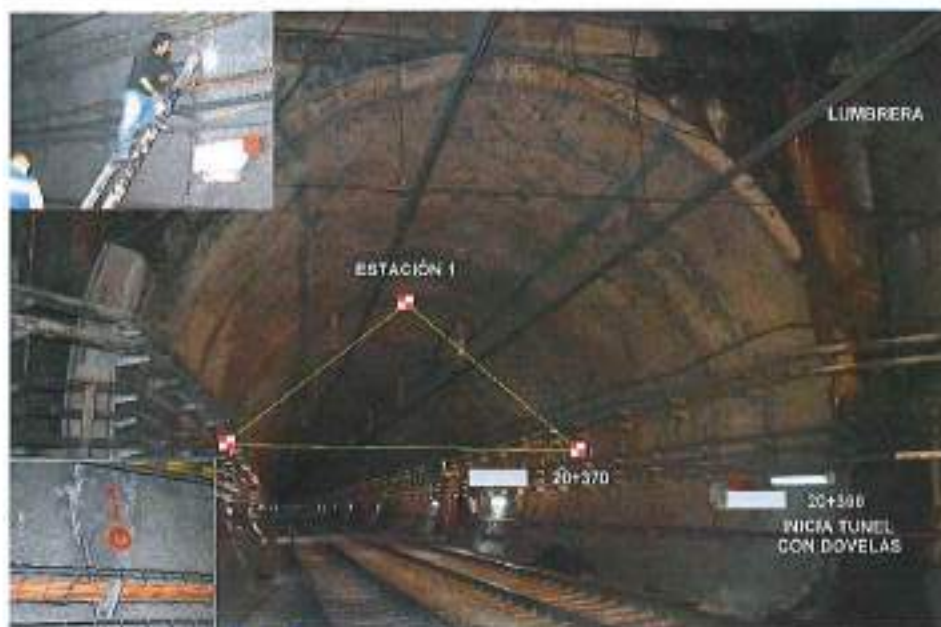
Estación de medición	Cadenamiento	Referencia
1	20+346.0	Zona de transición, inicio del túnel excavado con tuneladora, túnel con dovelas y concreto lanzado
2	20+443.3	A 103.3m de la zona de transición, zona con humedad en todo el perímetro de la sección, figura nastial izquierdo

3	21+660.0	Zona de túnel con dovelas, filtraciones y gran cantidad de humedad con humedad en todo el perímetro de la sección.
4	23+856.5	Zona de túnel con dovelas y placas de acero en la unión de dovelas, cabecera de la estación Eje Central
5	27+346.5	Antes de la cabecera oriente de la estación Insurgentes Sur, zona de túnel excavado con método convencional
6	27+570.0	A 30 m después de la cabecera poniente de la estación Insurgentes Sur, zona de túnel excavado con método convencional.
7	27+667.0	A 127.0 m después de la cabecera poniente de la estación Insurgentes Sur, zona de túnel excavado con método convencional. Gran cantidad de filtraciones
7	27+703.0	A 60m antes de la lumbrera Cádiz, antes del cambio de sección de tipo 2 a tipo 1

Tabla 1. Ubicación de estaciones de medición a monitorear con el sistema descrito de prismas

4.3 Estación de medición 1 (cad. 20+346.0)

La primera estación de medición se ubicó a pocos metros del inicio del túnel excavado con tuneladora; la zona presenta mucha humedad y escurrimientos en las paredes de la lumbrera. La sección del túnel con dovelas tiene una capa de concreto lanzado de espesor variable de 10 a 15 cm colocado durante la construcción; se requiere descartar que se haya colocado por problemas de estabilidad en la unión de trinchera y túnel.



Fotografía 39. Estación de medición No. 1.

4.4 Estación de medición 2 (cad. 20+443.30)

La estación de medición número 2 se ubicó a 103.3 metros del inicio del túnel excavado con tuneladora; la zona a diferencia de otras zonas del túnel; presenta humedad a lo largo de todo el perímetro; se consideró conveniente revisar esta zona para verificar que no existan problemas de estabilidad.

4.5 Estación de medición 3 (cad. 27+660.0)

La estación de medición número 3 (entre la estación Mexicaltzingo y Ermita) se ubicó en una zona donde se presentan filtraciones y se tienen placas en las dovelas.

4.6 Estación de medición 4 (cad. 23+856.50)

La estación de medición número 4 se ubicó antes de la cabecera Poniente de la estación Eje Central, zona de dovelas con placas en sus uniones.



Fotografía 40. Trabajos de medición en la estación de medición No. 4.

4.7 Estación de medición 5 (cad. 27+346.50)

La estación de medición número 5 se ubicó antes de la cabecera oriente de la estación Insurgentes Sur, esta zona es relevante debido a que el túnel con dovelas termina a 50 metros antes de la estación Insurgentes sur; este tramo fue excavado con el método convencional, por lo que se consideró importante monitorear esta zona.

4.8 Estación de medición 6 (cad. 27+570.0)

La estación de medición número 6 se ubicó a 30.0m después de la cabecera poniente de la estación Insurgentes Sur, este tramo fue excavado con el método convencional, por lo que se consideró importante monitorear esta zona ya que existe mucha humedad en diferentes puntos de la sección.



Fotografía 41. Actividades de medición con estación total de la estación de medición No. 6.

4.9 Estación de medición 7 (cad. 27+667.0)

La estación de medición número 7 se ubicó a 127.0m después de la cabecera poniente de la estación Insurgentes Sur, este tramo fue excavado con el método convencional, por lo que se consideró importante monitorear esta zona ya que existe mucha humedad y filtraciones en diferentes puntos de la sección.

4.10 Estación de medición 8 (cad. 27+703.0)

La estación de medición número 5 se ubicó a 60.0m antes de llegar a la lumbrera Cádiz que es el inicio del cajón hacia la estación Mixcoac, este tramo fue excavado con el método convencional, y se consideró saber su comportamiento ya que es una zona de transición de secciones constructivas antes de la zona de pilas.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA ESTRUCTURA DEL TÚNEL

Con base en la recopilación y análisis de la información existente, de los estudios realizados recientemente por el IMT y los recorridos de campo efectuados por los especialistas del CICM; se emite el presente dictamen geotécnico – estructural de vulnerabilidad, que concluye que el tramo subterráneo de la Línea del Metro puede ser reabierto en un corto plazo, siempre y cuando se lleven a cabo las siguientes acciones:

1. Continuar con las medición de convergencias en las secciones instrumentadas y las existentes marcadas en el plano anexo.
2. Llevar a cabo una instrumentación y medición que permita comprobar la evaluación de los posibles problemas acontecidos durante la construcción del túnel y/o las anomalías detectadas en el presente estudio y en los estudios efectuados por el IMT. A continuación se enlistan los instrumentos que se recomiendan implementar:
 - 2.1. Instrumentación y medición de convergencias mediante extensómetros de cuerda vibrante, con lectura automatizada y en tiempo real, ubicada en los sitios detectados en el presente informe.

2.2. Instalación de piezómetros abiertos

2.3. Nivelaciones en el interior y exterior del túnel

2.4. Elaboración de modelos numéricos, calibrados con la instrumentación de obra, realizando secciones de análisis en los sitios que presentan posibles anomalías.

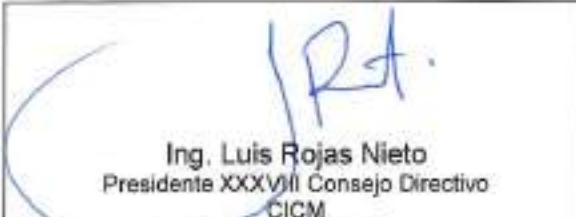
Es importante mencionar que la instrumentación complementaria propuesta, además de sustentar técnicamente el dictamen seguridad geotécnico – estructural, permitirá controlar la seguridad del túnel a lo largo de su vida útil.

6. RECOMENDACIONES A LA ESTRUCTURA DE LA VÍA

Con base en el Informe elaborado por el Instituto Mexicano de Transporte (IMT), titulado: "LEVANTAMIENTO DE ESTUDIOS DE ALTA TECNOLOGÍA EN EL TRAMO SUBTERRÁNEO (ATLALILCO – MIXCOAC) DE LA LÍNEA 12 DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO (STCM) DE LA CIUDAD DE MÉXICO" con fecha 10 de junio de 2021, se puede apreciar que la estructura de la vía presenta diversos y graves problemas que han afectado las vías y por consiguiente el adecuado funcionamiento de los trenes del metro, generando gastos excesivos en el mantenimiento.

Para evitar mayores problemas a futuro, primero que nada se recomienda solucionar por completo el problema de filtración de agua hacia el interior del túnel, así mismo se recomienda realizar estudios complementarios en los sitios puntuales en los que se detectaron los problemas graves y con base en ello proponer el cambio de la estructura de la vía, únicamente en los tramos en los que la estructura de la vía no cumpla con la normativa vigente.

**FIRMAS INFORME GEOTÉCNICO – ESTRUCTURAL DE VULNERABILIDAD
CORRESPONDIENTE AL TÚNEL DE LA LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE
MÉXICO**



Ing. Luis Rojas Nieto
Presidente XXXVIII Consejo Directivo
CICM



Ing. Jorge Serra Moreno
Vicepresidente Técnico y de Planeación
CICM




Ing. Luis Robledo Cabello
Coordinador Comité de Infraestructura
CICM



Dr. Bernardo Gómez González
Coordinador Comité de
Seguridad Estructural CICM



Dr. Roberto Aguerrebere Salido
Coordinador Comité de
Infraestructura del Transporte CICM



M.I. Roberto Avelar Cajiga
Presidente Sociedad Mexicana de
Ingeniería Geotécnica



Dr. Edgar Tapia Hernández
Presidente Sociedad Mexicana de
Ingeniería Sísmica



M.C. Carlos Tapia García
Presidente Sociedad Mexicana de
Ingeniería Estructural



Ing. Francisco Suárez Fino
Expresidente AMITOS y
Perito en Túneles CICM