

**Comité Técnico Asesor para el Refuerzo y Rehabilitación de la Línea 12 del Metro**

**Notas técnicas del 24 de Agosto, 2021**

Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Elevado con Vigas Metálicas de la Línea 12 del Metro.....pág 2

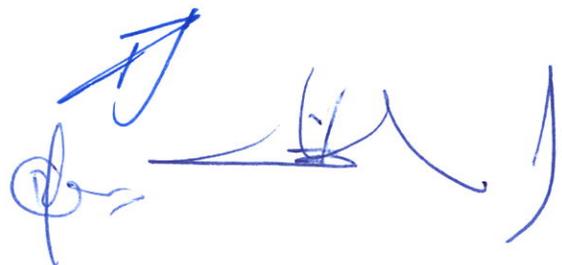
Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Subterráneo de la Línea 12 del Metro.....pág 4

Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Elevado (Enfoque Vías) de la Línea 12 del Metro.....pág. 6

Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Elevado de la Línea 12 del Metro sobre trenes.....pág 8

Firmas el Comité Técnico Asesor para el Refuerzo y Rehabilitación de la Línea 12 del Metro.....pág 9

**24 de Agosto, 2021**

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

## Recomendaciones sobre el Tramo Elevado con Vigas Metálicas de la Línea 12 del Metro

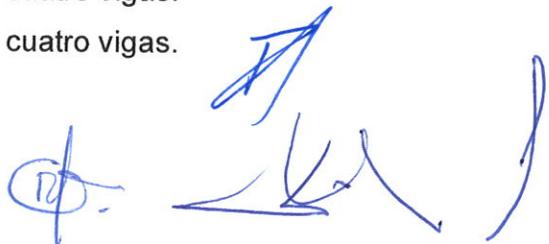
A raíz del colapso del claro en el tramo elevado con vigas metálicas, ocurrido el 3 de mayo de 2021, el Comité Técnico Asesor (CTA) efectuó visitas técnicas y revisó la documentación técnica sobre el proyecto y la información pública sobre el colapso.

A partir de la información obtenida, el CTA desarrolló diversas soluciones técnicas de tipo conceptual para la reconstrucción del claro colapsado y para el reforzamiento del resto del tramo elevado con vigas metálicas. Tras una evaluación numérica del desempeño esperado de la estructura, así como de la facilidad y la confiabilidad constructivas de todas las opciones, el CTA desarrolló, con detalle, la solución que consideró como la idónea.

Durante el proceso, el CTA solicitó la confirmación de los criterios y valores básicos de diseño al Comité Asesor en Seguridad Estructural de la Ciudad de México. Para la revisión de las estructuras y el diseño del reforzamiento se aplicó la versión 2016 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y la versión 2020 de sus correspondientes Normas Técnicas Complementarias, así como documentos especializados para diseño de puentes y viaductos férreos.

Como resultado de los análisis y estudios, el CTA recomienda:

- a) La reconstrucción del claro colapsado (Zona Cero), de acuerdo con el proyecto y especificaciones elaborados por el CTA, con base en tres vigas metálicas tipo cajón y un sistema de piso prefabricado unido con secciones canal soldadas al patín superior de dichas vigas.
- b) Previa autorización de la FGJ, El CTA revisará el tramo gemelo, y evaluará la necesidad de reforzarlo o en su caso sustituirlo.
- c) El reforzamiento de todos los siguientes tramos mediante un sistema de apuntalamiento metálico:
  - a. Tramos rectos tipo de 30 m, con dos y cuatro vigas.
  - b. Tramos rectos tipo de 25 m, con dos y cuatro vigas.



- c. Tramo Periférico, con dos columnas y dos vigas.
- d. Tramo Periférico, con cuatro vigas, y con dos columnas y cuatro vigas.
- e. Tramos curvos tipo de 25 m y tramo curvo de 17 m.

El sistema de apuntalamiento metálico se compone de:

- 1. Puntales metálicos, inclinados, horizontales o verticales, según el tramo.
  - 2. Conexiones de los puntales a la cimentaciones existentes o a nuevas cimentaciones, según se requiera.
  - 3. Diafragmas metálicos verticales y horizontales.
  - 4. Topes sísmicos auxiliares a los existentes.
- d) El reforzamiento de las columnas de concreto mediante encamisados de fibra de carbono para incrementar su capacidad estructural, previa reparación local y/o inyección de grietas, si se requiere, de conformidad con las especificaciones del CTA.
- e) La inspección aleatoria de soldaduras de las trabes armadas del tramo elevado y, en su caso, su reparación. El procedimiento y el personal deben de cumplir con la norma correspondiente de la AWS (American Welding Society), y deberán estar certificados por la misma.
- f) La implantación de los requisitos de inspección y mantenimiento de los proyectos de reconstrucción y reforzamiento para asegurar el cumplimiento de su vida útil.

El CTA continúa trabajando en la revisión de cimentaciones y en el estudio del comportamiento, y en caso la definición del reforzamiento, de tramos especiales y de las estaciones del Metro.

Se entrega el proyecto ejecutivo estructural para el desarrollo del proyecto geométrico detallado.

Handwritten blue ink signatures and marks at the bottom right of the page. There are three distinct signatures: one on the left, one in the middle with an arrow pointing towards the right, and one on the right that is larger and more stylized.

## Recomendaciones sobre el Tramo Subterráneo de la Línea 12 del Metro

Tras haber realizado una inspección ocular detallada, complementada con análisis numéricos ante cargas gravitacionales, no se encontró evidencia que permita suponer que el túnel esté sujeto a riesgo de daño o colapso estructural, ni en el corto ni en el largo plazo. Lo anterior es válido si las condiciones piezométricas no varían significativamente de las previstas en el diseño.

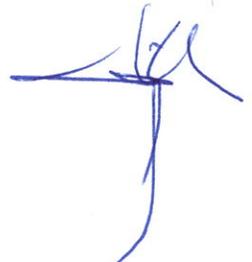
Con base en la información recabada en visitas técnicas realizadas al tramo subterráneo, y tomando en consideración la serie de 16 calas realizadas por la Dirección General de Obras para el Transporte de la Ciudad de México sobre la estructura de la vía, fue posible constatar la presencia de material tipo base (i.e. arenas y gravas compactadas) ubicado entre el balasto y la cubeta del túnel, de un espesor promedio de 40 cm.

Se constató en diversos lugares la presencia de agua producto de filtraciones de distintas intensidades, así como, la de deficiencias en el sistema de drenaje.

Lo anterior ha producido un deterioro en el balasto que se presenta en forma de material triturado, degradado y con finos.

Debido a lo anterior, este Comité Técnico Asesor (CTA) recomienda:

- a) Medir periódicamente asentamientos en superficie y deformaciones del túnel, así como niveles piezométricos en los puntos aledaños al túnel con la intención de controlar los niveles de extracción de agua y, poder así, prevenir situaciones de riesgo.
- b) Atender las filtraciones mediante impermeabilizaciones, captación y conducción de agua, así como de inyecciones en las uniones de las dovelas.
- c) Desazolvar los cárcamos y restituir los sistemas automatizados correspondientes con equipos de capacidad adecuada.
- d) Uniformizar el sistema de drenaje (drenaje lateral) tal que sea consistente con la infraestructura de sustentación que se construya, si es el caso.
- e) Establecer un sistema de bombeo eficiente en zonas anegadas.



- f) Obtener muestras de balasto para efectuar los ensayos de laboratorio correspondientes y verificar su estado. Dependiendo de los resultados de los ensayos se determinará la necesidad de cambiar dicho balasto.
- g) Revisar el material granular base durante la ejecución de las calas del balasto para verificar su grado de compactación, su resistencia e integridad. Se recomienda verificar también que se cumplan las especificaciones de diseño para la compactación y una resistencia mínima de proyecto de 2 kg/cm<sup>2</sup> determinada de pruebas de placa. De no cumplir lo anterior, se recomienda la sustitución por un material menos susceptible al agua y a las acumulaciones de deformaciones plásticas ante cargas cíclicas, tal como un concreto fluido o ciclópeo de resistencia especificada a la compresión de 20 kg/cm<sup>2</sup>.
- h) Para fines de prevenir futuras contingencias, se recomienda considerar la sustitución del material base por un material menos susceptible al agua como un concreto ciclópeo o fluido de resistencia especificada a la compresión de 20 kg/cm<sup>2</sup>, en aquellas zonas donde se requiera.
- i) Construir una losa de sustentación (cubeta) y construir el drenaje y cárcamo en el vado en el subtramo Parque de los Venados – Eje Central.
- j) Sustituir la vía en 7 curvas con radios menores que 550 m de riel de 115E por riel UIC60 con sus respectivos durmientes y fijaciones, de acuerdo con las recomendaciones de Systra.
- k) Para la reapertura de la línea, se recomienda la renivelación y realineación de la vía.

Desde el punto de vista de operación del sistema, se recomienda revisar por corrosión y, en su caso, reemplazar las instalaciones y sus sujeciones.

Finalmente, el CTA recomienda cumplir con los procedimientos de mantenimiento para garantizar un comportamiento adecuado a corto, mediano y largo plazo.

Handwritten blue ink signatures and initials at the bottom right of the page. There are several distinct marks, including a large stylized signature, a smaller signature, and some initials or scribbles.

## Recomendaciones sobre el Tramo Elevado (Enfoque Vías) de la Línea 12 del Metro

Del Km 18+879 (Eje de estación Atlalilco) al 4+010 (Cola Tláhuac)

A partir de las visitas de miembros del Comité Técnico Asesor (CTA) realizadas, se recomienda obtener muestras alteradas e inalteradas de balasto, para efectuar los ensayos de laboratorio correspondientes y verificar su estado.

Dependiendo de los resultados de los ensayos se determinará la necesidad de cambiar dicho balasto.

Para la reapertura de la línea, se recomienda en todo la renivelación y realineación de la vía.

Sustitución de durmientes de madera por concreto en aparatos de vía

Se recomienda la inspección de los durmientes de madera de los aparatos de vía. Aquellos que se encuentren deteriorados deberán de ser sustituidos por unos de concreto.

Tramo Olivos – Tezonco (Zona Colapsada)

Los componentes de vías, señalización, catenaria y demás instalaciones eléctricas y electrónicas dañadas por el colapso, requieren de una rehabilitación integral:

- a. Suministro de vías (rieles, durmientes, balasto y sistemas de fijación).
- b. Suministro de 3 aparatos de cambios de vía, mismos que presentaron pérdida total
- c. Rehabilitación de la catenaria dañada.
- d. Rehabilitación del cable de media tensión y los sistemas eléctricos y electrónicos.

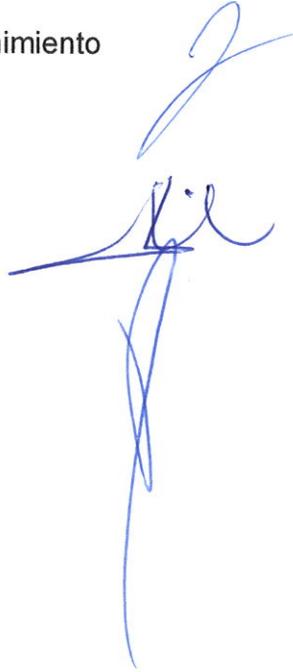
Trabajos complementarios

Se recomienda evaluar y resolver los problemas de insuficiencia de canalones y bajadas pluviales en estaciones.



Adicionalmente, desde el punto de vista de operación del sistema, se recomienda revisar por corrosión y, en su caso, reemplazar las instalaciones y sus sujeciones.

Finalmente, el CTA recomienda que se cumpla con los procedimientos de mantenimiento para garantizar un comportamiento adecuado a corto, mediano y largo plazo.

A large, stylized handwritten signature in blue ink, located in the upper right quadrant of the page. The signature is highly cursive and difficult to decipher.A collection of handwritten marks in blue ink located in the bottom right corner. It includes a circled letter 'd', a checkmark-like symbol, and a vertical line.

## Recomendaciones sobre el Tramo Elevado de la Línea 12 del Metro sobre trenes

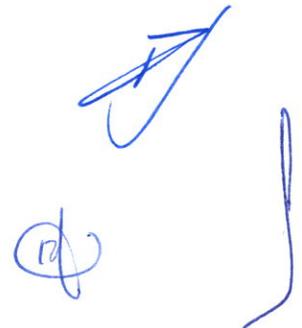
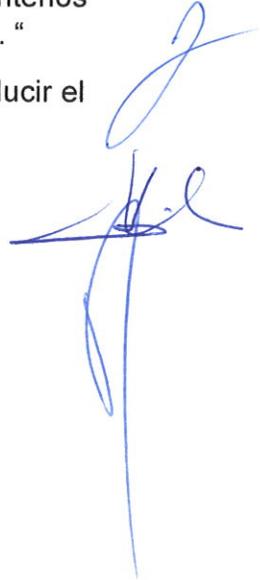
Los trenes de Línea 12 tienen las siguientes especificaciones técnicas:

- a. Trenes compuestos de 7 coches cada uno y longitud total de 140 metros.
- b. Rodadura férrea.
- c. "Bogies" con una distancia entre ejes de ruedas de 2.5 metros.

El costo de mantenimiento de los trenes y vías de Línea 12 es más alto que el promedio de las otras líneas, debido entre otras razones, a la fricción que se presenta en 7 curvas en el tramo subterráneo con radios inferiores a los 350 m

Se solicitó a CAF el desarrollo de un modelo numérico para evaluar el riesgo de descarrilamiento de los trenes. Este estudio, que se anexa con la firma de dicha empresa, asevera: "...la seguridad de circulación queda certificada, de acuerdo a los criterios normativos aplicables, del material rodante FE-10 sobre las vías de la Línea 12...."

Se recomienda la instalación de modificadores de fricción con el propósito de reducir el desgaste de rieles y rueda.



# Comité Técnico Asesor para el Refuerzo y Rehabilitación de la Línea 12 del Metro

## Notas técnicas 24 de Agosto, 2021

Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Elevado con Vigas Metálicas de la Línea 12 del Metro

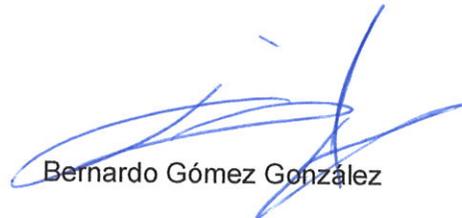
Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Subterráneo de la Línea 12 del Metro

Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Elevado (Enfoque Vías) de la Línea 12 del Metro

Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Elevado de la Línea 12 del Metro en cambio de trenes



Sergio Alcocer Martínez de Castro



Bernardo Gómez González



Raúl Jean Perrilliat



Juan Manuel Mayoral Villa



Rubén Alfonso Ochoa Torres



José María Rioboo Martín