



INFORME SOBRE LA LÍNEA 12

1. ATENCIÓN A LAS VÍCTIMAS DEL EVENTO OCURRIDO EN LA LÍNEA 12 DEL STC METRO

Todas las 103 personas que resultaron lesionadas y las 26 familias de quienes lamentablemente perdieron la vida fueron atendidas en forma inmediata y en todo momento a través de un equipo de 107 servidores públicos, designados por la Jefatura de Gobierno, quienes fungieron como enlaces que brindaron acompañamiento directo en los domicilios, identificando, reportando y gestionando los apoyos que cada caso requería.

Durante los días inmediatamente posteriores al accidente se instalaron carpas de atención para los familiares en el exterior de los hospitales a donde fueron referidas las personas lesionadas, con la finalidad de mantenerles informadas de la evolución del estado de salud de los y las pacientes y estar atentos a sus necesidades. A través de ese mecanismo también fue posible dotar de 11 mil raciones de comida caliente para quienes estaban al cuidado de sus familiares, se organizaron todos los viajes de traslado que fueron necesarios para acudir a sus domicilios y hospitales y se gestionaron más de 400 noches de hospedaje sin costo en hoteles cercanos a los sitios hospitalarios.

En forma paralela, a efecto de integrar la información y garantizar la oportuna gestión de los diversos apoyos, se estableció una oficina centralizada de atención compuesta por 20 dependencias del Gobierno de México y de la Ciudad: Consejería Jurídica y de Servicios Legales, Agencia Digital y de Innovación Pública, Registro Civil, Colegio de Notarios, Secretarías de Salud, Educación, Desarrollo Económico, Trabajo y Fomento al Empleo, Administración y Finanzas, Movilidad, Turismo, Inclusión y Bienestar Social, DIF, Instituto del Envejecimiento Digno, Participación Ciudadana, Instituto de Vivienda, IMSS, ISSSTE, FOVISSSTE e INFONAVIT. Ello permitió que en una sola visita las personas afectadas, acompañadas siempre por su enlace de gobierno, resolvieran múltiples gestiones: desde la generación de documentos de identidad hasta trámites de pensiones de viudez u orfandad, incluyendo la programación del seguimiento médico y de rehabilitación, así como la entrega de apoyos para garantizar los derechos a la salud, a la educación, a la vivienda y al empleo.

De conformidad con la Ley de Víctimas para la Ciudad de México, se diseñaron acciones y modalidades de reparación de daños, basadas en parámetros internacionales, que garantizaron que en todo momento estuviera dispuesto el apoyo necesario para las personas afectadas y que éste fuera brindado en forma eficaz, oportuna, cálida y digna.

Además de todas las atenciones médicas y de rehabilitación necesarias, que a la fecha deben superar **más de 2,500 citas gratuitas en una red de 19 hospitales públicos y 7 privados**, incluyendo servicios en Institutos Nacionales que brindan atenciones altamente especializadas, se han entregado un aproximado de **78 millones 650 mil pesos** que incluyen apoyos de emergencia, asistencia e indemnización; adicionalmente **se continúan**

entregando en forma mensual cerca de 2 millones de pesos como resultado del pago de salarios de los empleos gestionados a todos los que lo requirieron, las becas educativas otorgadas a todos los integrantes de las familias que estaban estudiando y los apoyos de renta brindados, se calcula que las cantidades a la fecha superan más de **80 millones de pesos en forma acumulada durante estos 48 meses**; finalmente, y no menos importante, **se estima una cantidad calculada que podría rondar los 300 millones de pesos** como producto de los Acuerdos Reparatorios que fueron establecidos entre la empresa constructora y la gran mayoría de las personas afectadas, mediante la Unidad de Mediación de la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México en el marco de la Ley General de Mecanismos Alternativos de Solución de Controversias, aplicable para este tipo de casos.

Las especificidades en cifras aproximadas son las siguientes::

\$78,650,111.40 EN APOYOS DE EMERGENCIA, ASISTENCIA E INDEMNIZACIÓN

- **\$1,204,492.80** distribuidos en **120 apoyos de \$10,037.44 cada uno** para gastos de alimentación y traslados.
- **\$1,041,563.64** distribuidos en **26 apoyos de \$40,060.14** para gastos funerarios.
- **\$2,800,445.76** distribuidos en **93 apoyos de \$30,112.32** para gastos de asistencia.
- **\$853,609.20 de Reembolsos** por parte del STC Metro y la CEAVI de diversos gastos de víctimas.
- **\$1,750,000.00** entregados a través de **104 CRÉDITOS a fondo perdido DEL FONDESO.**
- **\$26,000,000.00** erogados por concepto de Indemnizaciones provisionales anticipadas del Gobierno de la Ciudad de México a través de la CEAVI para los núcleos familiares de las personas lamentablemente fallecidas.
- **\$45,000,000.00** como Indemnización cubierta por el seguro institucional del STC Metro distribuidos de conformidad con el nivel de gravedad que cada caso representaba.

\$2,091,236.01 EN APOYOS MENSUALES DE CARÁCTER LABORAL, EDUCACIONAL Y PARA RENTA

- **114 empleos, más de 80% en el sector público**, que representan salarios que suman **CADA MES \$1,167,198.00**; para casos que lo solicitaron se gestionaron 20 empleos en la iniciativa privada.
- **Becas Educativas:** Se entregan **251 becas QUE SUMAN AL MES** un valor de **\$830,455.01**, con el compromiso de mantenerlas hasta la culminación de los estudios universitarios.
- Se asignaron **71 departamentos por parte del INVI**, la mayoría a fondo perdido. Mientras se concretaba la entrega de las viviendas en los proyectos elegidos por las familias afectadas se gestionaron apoyos de renta, que a la fecha equivalen al pago de **1,123 apoyos por este concepto** por una cantidad total de **\$4,492,000.00**.

Adicionalmente a la atención integral que se brindó, abarcando salud, educación, empleo y vivienda, para garantizar el acceso a la justicia se continúa brindando la asesoría jurídica para las víctimas en el juicio que sigue su curso, mientras que en un plazo inferior a un año se concretó la suscripción de 123 **Acuerdos Reparatorios entre la empresa CICSA y el 95% de los afectados**, previstos por la justicia restaurativa a través de la Ley General de Mecanismos Alternativos de Solución de Controversias. El contenido de estos Acuerdos Reparatorios es confidencial por ministerio de ley, aunque al estar determinados sus montos por parámetros de carácter internacional se estima que la cifra debería ascender a un monto total aproximado de 300 millones de pesos.

A la fecha se mantiene el acompañamiento a las personas que lo necesitan, incluyendo la asesoría jurídica de la mayoría que no tienen asesoría privada y el seguimiento médico y rehabilitatorio gratuito a quienes así lo requieren, incluyendo sus traslados. Así se ha cumplido con el mandato de la entonces Jefa de Gobierno de que ninguna víctima quedara en el desamparo.

Informe de la actuación de la Fiscalía en el caso del percance de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo, Metro

I. Introducción

El 3 de mayo de 2021, a las 22:11 horas, se produjo el colapso de un tramo elevado de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México, entre las estaciones Olivos y Tezonco. Este incidente resultó en la pérdida de 26 vidas y más de 100 personas heridas. Desde el primer momento la Fiscalía estuvo presente con peritos PDI y ministerio público. Las investigaciones realizadas por la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJCDMX) identificaron múltiples fallas en el diseño y construcción de la estructura como causas del colapso.

Se estructuró un plan de investigación, para lo cual se formaron equipos de trabajo técnico jurídico que realizó un análisis de documentación y atención a víctimas. El técnico fue la base del trabajo con los grupos de expertos de diversas disciplinas relacionadas con estructuralismo, cargas, y mecánica de materiales entre otras, habilitados como peritos e integrantes de los claustros docentes de la UNAM y el IPN. Para complementar fueron formados grupos especializados de ministerios públicos que tuvieron siempre una coordinación muy estrecha con el equipo de Peritos, y coordinación con la Comisión Ejecutiva de Atención a Víctimas..

Todo lo anterior fue esencial para llegar a las conclusiones y las imputaciones para poder llegar a realizar la reparación del daño, hecho este de justicia social y reformativa, poniendo como es debido, a las víctimas al centro

II. Metodología de Investigación

La FGJCDMX llevó a cabo un análisis exhaustivo que incluyó:

- Revisión de videos del C5 que captaron el momento del colapso.
- Inspección y levantamiento de la estructura colapsada, con la participación de 19 disciplinas periciales, incluyendo criminalística, ingeniería civil y geotecnia.
- Extracción y análisis de muestras de materiales como concreto, acero estructural y balasto.
- Pruebas de laboratorio realizadas por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) en componentes metálicos.

- Estudio de la caja negra del tren accidentado y revisión de los vagones.
- Análisis de documentos de la obra, incluyendo planos, estudios topográficos y bitácoras.
- Modelos matemáticos y simulaciones para evaluar la resistencia y comportamiento estructural .

III. Hallazgos Principales

1. Fallas en la Construcción:

- Pernos de Cortante Mal Colocados: Se identificó una instalación deficiente de los pernos que unen la losa de concreto con las vigas metálicas, con patrones irregulares y soldaduras de mala calidad
- Deficiencias en las Soldaduras: Se observaron soldaduras con porosidad, falta de fusión y uso de materiales de relleno no adecuados, lo que comprometió la integridad estructural .

2. Errores de Diseño:

- Falta de Redundancia Estructural: La estructura carecía de elementos que permitieran redistribuir cargas en caso de falla de un componente, lo que llevó a un colapso total tras la falla de una viga.
- Diseño Inadecuado de Conexiones: Se detectaron errores en el diseño de las conexiones inferiores de los atiesadores verticales, generando agrietamientos por fatiga.

IV. Conclusión técnica

El colapso de la Línea 12 del Metro fue resultado de una combinación de errores en el diseño estructural y deficiencias en la construcción. La instalación incorrecta de pernos de cortante y las soldaduras deficientes comprometieron la integridad de la estructura, mientras que la falta de redundancia en el diseño impidió que la estructura resistiera la falla de un componente. La ausencia de certificación independiente agravó la situación.

V. Aplicación del Dolo Eventual en la Acusación Penal

En su acusación contra varios exfuncionarios y responsables de la construcción de la Línea 12, la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJCDMX) sostuvo que los imputados actuaron con dolo eventual, una figura jurídica que implica que el autor de un delito no tiene la intención directa de causar un daño pero prevé como posible el

resultado lesivo de su conducta y, aun así, decide actuar. En este caso, la Fiscalía argumentó que los acusados tenían conocimiento de las irregularidades técnicas y estructurales durante el diseño y construcción del tramo elevado, y que existían advertencias previas de expertos sobre riesgos en la obra. A pesar de ello, no corrigieron las fallas, no detuvieron la obra ni implementaron medidas de mitigación, aceptando con ello la posibilidad de un colapso con consecuencias fatales. Esta postura legal busca diferenciar la conducta de una mera negligencia o culpa, y establecer una responsabilidad penal más grave, al sostener que los imputados aceptaron el riesgo de muerte o lesiones como consecuencia probable de sus decisiones

VI. Reparación del Daño a las Víctimas

Tanto la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México (FGJCDMX) como el Gobierno capitalino establecieron un esquema integral de reparación del daño para atender a las víctimas directas e indirectas del colapso de la Línea 12. Esta reparación se estructuró conforme a los principios de verdad, justicia y reparación integral, contemplados en la Ley General de Víctimas. En coordinación con la Comisión Ejecutiva de Atención a Víctimas (CEAVI), se otorgaron indemnizaciones económicas, apoyos médicos, psicológicos y de acompañamiento jurídico, así como becas educativas y ayudas para vivienda. Además, a través de convenios con la empresa Carso Infraestructura y Construcción S.A. de C.V., una de las constructoras implicadas, se promovieron acuerdos reparatorios con familiares de fallecidos y personas lesionadas, permitiendo resolver por vía alterna más de 100 casos. La FGJ subrayó que estos mecanismos no sustituyen la acción penal en curso, sino que reconocen el derecho de las víctimas a una reparación digna y proporcional al daño sufrido, sin condicionarlo al resultado del juicio.

2. PROCEDIMIENTO PARA REPARAR LA LÍNEA 12, MONITOREO, Y MONTO DE INVERSIÓN.

Como parte de las acciones inmediatas, y en colaboración con el **Colegio de Ingenieros Civiles de México** (CICM), se realizaron inspecciones en el viaducto y el tramo subterráneo de la Línea 12, así como la emisión de recomendaciones técnicas. Asimismo, se constituyó un **Comité Técnico Asesor** integrado por:

- **Sergio Alcocer Martínez de Castro.**

Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería, UNAM, y Doctor en Ingeniería de la Universidad de Texas en Austin. Es Investigador del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Especialista en Ingeniería estructural y sísmica.

- **Dr. Bernardo Gómez González**

Ingeniero civil por la UAM, unidad Azcapotzalco, maestro de Ingeniería por la UNAM y doctor en especialidad de control automático por el IPN. Especialista en estructuras y perito certificador.

- **Dr. Raúl Jean Perrilliat.**

Ingeniero civil por la Universidad Iberoamericana, maestro en Ingeniería por la UNAM. Perito certificado.

- **Ing. José María Riobóo.**

Ingeniero civil por la UNAM, especialista en estructuras y puentes y viaductos urbanos, docente y perito certificado.

Este comité fue encargado de **desarrollar el proyecto estructural de la Línea 12**, enfocado en el reforzamiento y la rehabilitación del tramo elevado y del túnel, y emitió diversos informes técnicos al respecto; recomendó **reforzar la estructura metálica para cumplir con el Reglamento de Construcciones vigente**. Los criterios de diseño fueron avalados por el Comité Asesor en Seguridad Estructural de la Ciudad de México (CASE).

Tramo subterráneo:

- 11.8 kilómetros de longitud.
- Nueve estaciones: Mixcoac a Atlalilco.

En coordinación con el CICM, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), especialistas del Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro y la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México se realizaron 2 inspecciones:

- Inspección física, se realizó con un **microondas de alta frecuencia**, para conocer los espesores de los materiales y detección de oquedades y huecos en el subsuelo.
- **Levantamiento geomático vectorial robotizado** para detectar los niveles de humedad en la estructura, ubicar deformaciones y hundimientos diferenciales.



Levantamiento geomático vectorial robotizado

Los trabajos de rehabilitación y reforzamiento se realizaron en estricto apego y cumplimiento de los lineamientos, especificaciones y proyectos que estableció el Comité Técnico Asesor, con acompañamiento del Consejo Consultivo del Metro.

Entre las labores que se llevaron a cabo están las siguientes:

- Intervención de siete curvas.
- Sustitución de 22 mil metros cúbicos de balasto.
- Cambio de más de 15 mil durmientes y 17 mil 400 metros de riel.
- Revisión de trenes y simulación de marcha.
- Revisión de sistemas de cárcamos y drenaje.

Reforzamiento del tramo elevado de estructura metálica:

Los trabajos de reconstrucción y reforzamiento del viaducto elevado, en su tramo metálico, fueron realizados mediante la inversión y ejecución de la empresa CICSA, así como con el acompañamiento del Gobierno de la Ciudad de México, la Universidad Autónoma de Nuevo León, la proyectista, el corresponsable en seguridad estructural (CSE) y el director responsable de obra (DRO).

Datos generales tramo elevado metálico

- 6 Estaciones de Calle 11 a Zapotitlán.
- Longitud: 6.7 km.
- 260 claros* intervenidos (*Un claro es el espacio existente entre un apoyo y otro).
- 257 claros Reforzados.
- 3 claros Reconstruidos: Zona Cero, Claro Espejo y Claro 22.

Reforzamiento de columnas existentes.

- Reforzamiento de **155 columnas** mediante encamisados de fibra de carbono, los cuales permiten aumentar la capacidad de carga.
- Periodo de ejecución: noviembre de 2021- julio de 2022.



Encamisados de fibra de carbono

Diseño de los reforzamientos:

Debido a las características particulares de cada claro se realizaron:

- Nube de puntos: escaneo que, a través de radares, brinda una fotografía precisa de la estructura.
- 3,380 planos de ingeniería básica.
- 14,300 planos de taller.
- Fabricación de 53 mil piezas de acero, equivalentes a 15,744 toneladas de acero.
- Estas piezas son diferentes, para cada uno de los 260 claros del proyecto.



Nube de puntos

Diseño de los reforzamientos:

Debido a las características particulares de cada claro se realizaron:

- Nube de puntos: escaneo que, a través de radares, brinda una fotografía precisa de la estructura.
- 3,380 planos de ingeniería básica.
- 14,300 planos de taller.
- Fabricación de 53 mil piezas de acero, equivalentes a 15,744 toneladas de acero.
- Estas piezas son diferentes, para cada uno de los 260 claros del proyecto

Reforzamiento de la estructura existente.

- Consistió en el montaje de estructura de acero adicional de soporte y las conexiones mediante soldadura con base en el tipo de elemento estructural (puntales, diafragmas, contraventeos, tensores, etc.).
- Apoyos Intermedios en 15 claros: por las condiciones especiales, se determinó este tipo de refuerzo (11 en el intertramo Tezonco - Olivos, 2 en la Estación Olivos y 2 más en la Estación Nopalera).
-



Antes de la intervención



Después de la intervención



Antes de la intervención



Después de la intervención

Reconstrucción de 3 claros.

2 claros entre las estaciones Tezonco y Olivos

- Claro 107 (Zona Cero).
- Claro 117 (Claro Espejo).

Configuración anterior:

- 2 traveses de 30 m.
- 1 travesa intermedia.

Configuración actual:

- 3 traveses de 30 m.
- 1 apoyo intermedio, apoyada en pilas de 12 a 15 m de profundidad.

Claro 22 entre las estaciones Nopalera y Zapotitlán

- Longitud: 35.9 m.

Configuración anterior:

- 3 vigas tipo "I" reforzadas y diafragmas de alma abierta.

Configuración actual:

- Doble alma en traveses.
- Nuevos puntales, diafragmas, contraventeos y TMA's.
- Nuevos toques sísmicos.
- Se recuperó la amplitud de la Av. Guillermo Prieto.

Procedimiento de Precarga.

- La precarga se realizó al centro del claro con un gato en cada travesa.
- Se alcanzó un desplazamiento máximo de 7 mm.
- Se aplicó una carga máxima de 75 ton.



Precarga

Control y aseguramiento de calidad.

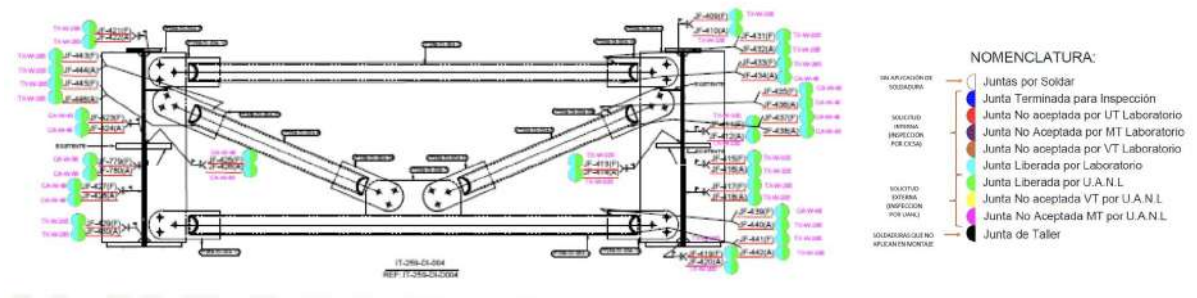
Ante la falta de personal especializado en soldadura, se abrió una Escuela de Capacitación y Certificación, cuya instalación tuvo lugar en la estación Tláhuac. En este esfuerzo fue fundamental la participación de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Grupo Carso y la empresa CICSA. Gracias a esta iniciativa, se logró capacitar a mil 345 soldadores, llegando a contar con hasta 700 trabajando de manera simultánea entre campo y talleres.

- Control por parte de la constructora y aseguramiento por parte de los especialistas de la UANL.
- Se certificaron a más de 700 soldadores con los niveles 1.5 y 1.8.
- Aseguraron que los procesos de calidad de materiales, habilitado, fabricación y soldadura, cumplan con las especificaciones de proyecto.
- Se realizó por cada una de las soldaduras individuales, un mapeo de soldaduras donde se marca, el estatus (soldada, aceptada, no aceptada, inspeccionada y liberada) y soldador que aplicó.



Maapeo de soldaduras:

- Identificación de la junta.
- Tipo de junta.
- Estado de inspección.
- Soldador que aplico con base al tipo de junta.
- Marca de la pieza.



Maapeo de soldaduras

Pruebas Preoperativas:

- Se verificó y validó, que los claros completamente reforzados, estuvieran en aptitud para el tránsito de los trenes en su capacidad máxima de carga.
- Medición de vibraciones ambientales.
- Estáticas 400 ton por tren (158 ton de bidones).
- Dinámicas.



Pruebas estáticas

Instrumentación Permanente.

Desde el 2023 y hasta la fecha se está monitoreando la salud estructural, con el objetivo de garantizar la operación segura, después de la ocurrencia de una carga o fuerza accidental, por medio de los siguientes instrumentos:

- 21 Acelerómetros triaxiales.
- 13 Deformímetros.
- 6 Extensómetros.
- 2 Extensómetros de suelo.
- 6 Clinómetros biaxiales.
- 2 Medidores de junta.
- Sistema de sensores en línea.



Instrumentación de equipo permanente

Para la conexión vía remota se tienen los siguientes equipos:

- 7 Datalogger.
- 4 Gateway.
- Antenas para internet satelital.
- Módems para internet de fibra óptica.

Monitoreo Sísmico y de Operación.

Con base en los instrumentos instalados, los eventos sísmicos que han ocurrido desde el año 2023 a la fecha:

- No han generado ningún daño en la estructura del viaducto elevado de la Línea 12.
- Al momento se cuenta con la medición de más de un centenar de variables en puntos estratégicos distribuidos a lo largo del tramo reforzado.

- La instrumentación ha realizado el seguimiento después de los trabajos de reforzamiento, durante las pruebas operativas previo a la apertura, continuando con la observación de la estabilidad de la estructura hasta el día de hoy.
- Se seguirá el monitoreo puntual en el futuro y durante la vida útil remanente de la estructura, para la seguridad de los usuarios.

Desde el año 2023 hasta la fecha se han generado más de 100 informes de monitoreo en los claros instrumentados.

El sistema de monitoreo ha permitido identificar que el viaducto elevado y su reforzamiento han tenido un comportamiento adecuado y/o superior a las condiciones esperadas de diseño desde su apertura y no se han detectado desviaciones que ameriten algún tipo de alertamiento.

Constancia de Seguridad Estructural

- Registro que la construcción cumple con las características generales para la Seguridad Estructural establecidas en el Reglamento de Construcciones vigente.
- Se basa en inspecciones oculares exhaustivas, estudios analíticos y de campo.
- La constancia deberá renovarse cada 5 años.
- Fue suscrita por un Corresponsable en Seguridad Estructural Nivel 2.

3. Evaluación de los trenes

El Comité Técnico Asesor (CTA) para el Refuerzo y Rehabilitación de la Línea 12 del Metro emitió "Comentarios y recomendaciones sobre el Tramo Elevado de la Línea 12 sobre trenes". Dichos comentarios establecen lo siguiente:

- a) Que el costo de mantenimiento de los trenes y vías de la 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 radio inferiores a los 350 m[etros].

Por esta razón el propio comité recomendó, y el Metro ejecutó, la sustitución del tipo de riel y balasto en dichas curvas del tramo subterráneo por componentes de mayor especificación.

- b) "...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..."

Estas conclusiones derivan de un modelo numérico desarrollado para evaluar el riesgo de descarrilamiento de los trenes.

En el anexo con el modelo numérico al que hace referencia el CTA se considera el análisis que hizo la consultora SYSTRA en el año 2015, las condiciones de la vía al momento del análisis del CTA, y se hace un modelo que simula un escenario de riesgo de forma teórica.

Los resultados del modelo muestran que:

"existen unos márgenes de seguridad amplios, y se considera que razonablemente extrapolables al resto de la línea entendiendo que no existen puntos con una severidad apreciablemente mayor que la considerada. En este sentido, puede considerarse que el cálculo realizado, a pesar de las limitaciones de alcance mencionadas, no arroja ningún signo que permita dudar de la seguridad de circulación..."

Adicionalmente la empresa CAF, fabricante de los trenes FE-10 que circulan sobre las vías de la Línea 12 del Metro, entregó al Metro la valoración de seguridad que certifica la seguridad de circulación, de acuerdo a el diseño original como de las modificaciones propuestas por SYSTRA en 2014-2015.

4. Comportamiento de operación y seguridad de los Trenes FE10

Con objeto de determinar el comportamiento de operación y seguridad de los Trenes FE10, en la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México, se realizaron: análisis, simulaciones, ensayos y pruebas de campo que fueron presentadas, en diversas reuniones, al Comité Técnico de Línea 12, para que dicho Comité emitiera sus conclusiones y recomendaciones.

Se consideraron las condiciones más desfavorables a fin de garantizar el cumplimiento normativo aplicable así como una adecuada operación del material rodante en el trazado y vías de la Línea 12 y particularmente, la seguridad de los viajeros y las instalaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

A continuación, se enlistan los documentos más relevantes que fueron presentados y evaluados por el Comité Técnico:

- Cálculos dinámicos.
- Informe de ensayos de seguridad frente al descarrilamiento.
- Informe de ensayos del coeficiente de balanceo.

- Informe de ensayos de resistencia rotacional del bogie.
- Análisis del comportamiento dinámico según norma UIC 518:2009.
- Análisis de seguridad.
- Análisis de calidad de marcha.
- Informe de ensayos de confort y vibraciones.
- Anexo 3, resumen de resultados.
- Informe de ensayos para evaluación de confort según norma EN 12299:2009
- Informe de ensayos de medición de esfuerzos rueda carril en curvas específicas.
- Análisis de L.B. Foster friction modifier application and coefficient of friction measurments.
- Evaluación de desgaste de rueda.
- Análisis e informe de contacto y esfuerzos rueda carril.
- Estudio causas del desgaste ondulatorio.
- Nota técnica sobre los efectos de la circulación en curva alnc positiva y negativa en ejes ferroviarios.
- Reporte de ensayos en vía del 6 de octubre de 2015.
- Análisis de costos de mantenimiento para determinar la necesidad de reparación del tramo subterráneo.

Adicionalmente, se procedió de acuerdo a la recomendación de SYSTRA, a reperflar la totalidad de las ruedas metálicas de los trenes para garantizar el mejor contacto entre rueda y carril.

Por último, el 13 de agosto de 2021 se entregó al STC Metro la VALORACIÓN DE SEGURIDAD DE CIRCULACIÓN que certifica la seguridad de circulación, de acuerdo a los criterios normativos aplicables, del material rodante FE-10 sobre las vías de la Línea

Tanto del diseño original como de las modificaciones propuestas por SYSTRA en 2014-2015.

5. Resumen de lo realizado por STC METRO

El Metro de la CDMX se hizo cargo de la obra electromecánica:

- Tramo Olivos a Tezonco:
 - Sustitución de 600 metros de riel con cabeza endurecida.
 - Sustitución de seis aparatos cambio de vía con durmientes de concreto, instalados sin juntas mecánicas, con mayor vida útil; eliminando vibraciones y golpeteo a la estructura.

- Instalación de dos aparatos de dilatación sin juntas mecánicas; eliminando vibraciones y golpeteo que afectaban a la estructura.
- Mantenimiento general al sistema de catenaria en el tramo.

Tramo San Andrés Tomatlán a Lomas Estrella:

- Sustitución de aparatos cambio de vía, sin juntas mecánicas, y durmientes de concreto.

Tramo Zapotitlán a Tlaltenco:

- Sustitución de aparatos cambio de vía, sin juntas mecánicas, y durmientes de concreto.
 - En el tramo subterráneo, de Mixcoac a Atlalilco, Las actividades desarrolladas no modificaron las condiciones de operación. Consistieron en rehabilitación de drenaje, cárcamos de captación de agua y equipos de bombeo; así como el mejoramiento de la subbase en zonas degradadas para mayor resistencia a la compresión y a la humedad. Con esto se redujeron las deformaciones en el perfil geométrico.
 - El reemplazo de vías en los tramos curvos de radios menores a 300 metros, incluyó el cambio de balasto por nuevo de mayor dureza y granulometría adecuada, la sustitución de durmientes con fijaciones elásticas; riel con mayor dureza y ajuste de sobrelevación y peralte de siete curvas, a fin de facilitar la inscripción del material rodante.
 - En las cuatro zonas intervenidas se rehabilitaron las siete curvas de radio menor a 300 metros, incluyendo el cambio por completo la capa de balasto, empleando material (balasto) tipo C4 (21,900 m3), que cumple con la norma UNE EN 13450, soportar las sollicitaciones mecánicas estáticas y dinámicas inducidas por el paso constante de trenes para pasajeros y de mantenimiento.

En todas las zonas intervenidas se colocaron durmientes de concreto 5354 RS equipados con almohadillas (aptos para placas VIPA con 4 pernos). Estos elementos son elaborados de concreto pretensado de dimensiones 2400 x 300 x 200 mm, instalados con una separación entre apoyos de 600 mm.

Estas piezas de concreto están equipadas con dos suelas reductoras de desgaste (USP) de 865 x 260 mm colocadas en la parte inferior de las durmientes, que ayudarán a mejorar la nivelación de la vía con el tiempo.

Se instaló un sistema de fijación elástica de doble etapa, tipo VIPA, adecuado para la fijación del riel a las condiciones de operación de la Línea. El sistema está diseñado para atenuar las vibraciones creadas por el contacto riel-rueda (acaecido durante el recorrido del material rodante sobre las vías que corren en la Línea 12) lo que evita la transferencia directa de éstas a la estructura.

El diseño del sistema VIPA se basa en la combinación de una almohadilla antivibratoria de baja rigidez y una almohadilla bajo el riel ajustada al valor de retención longitudinal. Cada silla VIPA tiene cuatro puntos de anclaje y, posterior a su colocación, el riel se fijó mediante dos clips elásticos tipo Pandrol Fastclip FC1504.

Una vez realizada la renovación de la subbase, realizando el suministro y la colocación de balasto tipo C4, durmientes de concreto Sateba S354 (7,500 piezas), sustitución del riel 115 Lb/yda RE con grado de acero: 900, por riel IUC60 E 1 con dureza 350 HT con tratamiento térmico (9,150 metros) se incluyó la instalación de rieles de transición, se realizó el mejoramiento geométrico en trazo, perfil y sobreelevaciones en una longitud de siete kilómetros, reduciendo el desgaste de los rieles.

- En el tramo de intervención se realizó el mantenimiento integral de la catenaria.
- Todo lo anterior sin afectar las condiciones normales de operación tales como velocidad y, por consiguiente, sin modificar la programación del sistema CBTC.
- En cuanto al material rodante, con objeto de determinar el comportamiento de operación y seguridad de los Trenes FE10, se realizaron los procesos de análisis, simulaciones, ensayos y pruebas de campo que fueron presentadas, en diversas reuniones, al Comité Técnico Asesor (CTA), para que emitiera conclusiones y recomendaciones. Se

consideraron las condiciones más desfavorables a fin de garantizar el cumplimiento normativo aplicable, así como una adecuada operación del material rodante en el trazo y vías de la Línea 12.

- Se procedió de acuerdo con la recomendación de Systra, a reperfilear la totalidad de las ruedas metálicas de los trenes para garantizar el mejor contacto entre rueda y carril.
- Por último, el 13 de agosto de 2021 se entregó al STC Metro la "Valoración de seguridad de circulación" que certifica la seguridad de circulación, de acuerdo con los criterios normativos aplicables, del material rodante FE-10 sobre las vías de la Línea 12, tanto del diseño original como de las modificaciones propuestas por Systra en 2014-2015.
- Asimismo, el Sistema de Transporte Colectivo, contrató a la empresa TÜV Rheinland de México S.A de C.V., para el "Servicio del estado de seguridad de la Línea 12", para el tramo subterráneo.
- La obra de rehabilitación del tramo subterráneo de Línea 12, se concluyó en diciembre de 2022 y su reapertura al usuario inicio el 15 de enero de 2023.

- Se garantizó una superficie de estable sobre la cual se desplantó el sistema de vías, eliminando hundimientos en la subrasante y las consecuentes afectaciones al sistema de vías.
- Se ha reducido el mantenimiento al sistema de vías, asociado al desgaste y dotando de mayor estabilidad a la vía tanto en sentido vertical como horizontal.
- Los trabajos en el sistema de vías, también han disminuido el efecto de torsión al tren (al garantizar que las transiciones entre curvas y tangentes entraran en tolerancia), en particular al desgaste de parte bajas del tren.
- Las características de la intervención evitaron modificar la velocidad comercial y con ello modificar el CBTC. El proyecto ha representado una modificación integral en el sistema de vías, que incide directamente en la operación diaria de la Línea 12.
- Cabe resaltar que el Metro lleva a cabo un monitoreo sistemático de la estructura del tramo elevado.
- Con relación a las observaciones de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), emitidas en 2024, se han atendido y se continúa trabajando de forma sistemática permanente.

Sistema de Transporte Colectivo:

- La Línea 12 es segura y cada día beneficia a 370 mil usuarios, en promedio, que se trasladan de Tláhuac a Mixcoac, en ambas direcciones.
- La operación es absolutamente segura en sus 20 estaciones de servicio e interestaciones; en un recorrido de 23.9 kilómetros, que se realiza en 45 minutos, considerando el tramo subterráneo como en el elevado.