



**INFORME DE LA INSPECCIÓN FÍSICA DEL ESTADO DEL
VIADUCTO ELEVADO DE LA LINEA 12 DEL STC-METRO**

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

17 de junio de 2021

Contenido

I. PROPÓSITO Y ALCANCES.....	3
II. CÉDULA DE INSPECCIÓN OCULAR DEL ESTADO FÍSICO DEL TRAMO ELEVADO DE LA LÍNEA 12.....	7
III. RESULTADOS.....	8
IV. LOCALIZACIÓN DE LAS VULNERABILIDADES.....	20
V. CONCLUSIONES DE LAS INSPECCIONES OCULARES REALIZADAS POR LAS BRIGADAS DEL CSE-CICM.....	21
REFERENCIAS.....	23
APÉNDICE A. LOCALIZACIÓN DE LAS VULNERABILIDADES.....	24

The image shows several handwritten signatures in blue ink. There are four distinct signatures: one at the top right, one in the middle right, one at the bottom right, and one at the bottom left. The signatures are stylized and appear to be official or personal marks.

I. PROPÓSITO Y ALCANCES

En el marco de los convenios de colaboración y del protocolo de actuación ante emergencias, mediante los cuales el Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C. (CICM) apoya al Gobierno de la Ciudad de México, a través del Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC), se realizó una **inspección ocular de Nivel 1** sobre el estado físico de los tramos elevados de la **Línea 12** del Sistema de Transporte Colectivo, Metro. El objetivo de esta inspección fue identificar posibles vulnerabilidades, como patologías, defectos, daños, etc., que requiriesen un estudio más detallado para descartar riesgos evidentes a la vista en la operación de dichos tramos.

Las metodologías de inspección de estructuras de tipo multinivel se basan en la idea de realizar visitas de inspección con distinto nivel de detalle para que los trabajos en casos de emergencia se realicen de manera eficiente. El nivel de detalle va en aumento para cada tipo de inspección, comenzando con una inspección somera que sea aplicable a gran escala y en poco tiempo. Una inspección somera permite discriminar las estructuras que son claramente seguras para continuar con su operación sin poner en peligro a los usuarios u ocupantes, de aquéllas que ostensiblemente son inseguras por presentar patologías importantes y, por tanto, no debe permitirse su uso. De esta manera, en los siguientes niveles se deberán realizar evaluaciones cada vez más detalladas sobre las estructuras inseguras o en duda tales que permitan una mejor clasificación de las condiciones de las estructuras que, por el tipo de inspección previa, no se han determinado y evaluado, como son desplomos, deformaciones, etc.

En este tipo de metodologías se pueden plantear diferentes niveles de evaluación dependiendo del universo y complejidad de las estructuras por evaluar, la disponibilidad de los recursos humanos y materiales, la accesibilidad y el tiempo de respuesta requerido por la sociedad. Es fundamental que la definición del número y tipos de niveles de evaluación estén sustentadas y planeadas tomando en cuenta las condiciones técnicas de los involucrados y las condiciones sociales de la comunidad a la que esté orientada.

A nivel internacional se ha identificado que, en el caso de respuesta ante condiciones de emergencia, lo más adecuado es establecer tres niveles de evaluación con las características definidas a continuación (Alcocer et al., 2021):

- **Inspección Nivel 1** o metodología de evaluación rápida: Este nivel de evaluación pretende resolver la pregunta sobre si se puede usar la estructura. No tiene como objetivo clasificar el daño. El resultado de este nivel de evaluación permite clasificar a las estructuras de acuerdo con su

funcionalidad y con la posibilidad de ocupación y uso. Es un método de aplicación simple, desde la banqueta o el exterior de la estructura y sin necesidad de tomar medidas físicas y cuya realización toma pocos minutos. Es una inspección exclusivamente ocular que se apoya en formatos estandarizados que tienen la intención de unificar las conclusiones. De ninguna manera este nivel de inspección puede derivar en un dictamen de seguridad estructural. Este nivel de evaluación es realizado por brigadas de inspección conformadas por personal con conocimientos de ingeniería y encabezadas por un jefe de brigada con mayores conocimientos sobre el tema.

- Inspección Nivel 2 o metodología de evaluación intermedia: Este nivel de evaluación es aplicable, en principio, a estructuras que requieren una evaluación más detallada, ya sea porque con la metodología anterior se clasificaron como inseguras o en duda. Responde a la pregunta ¿debe ser intervenida la estructura? El análisis que se realiza en este nivel requiere realizar un levantamiento geométrico de la estructura y del daño observado. Considera la utilización de ecuaciones simplificadas que permiten identificar de manera aproximada las condiciones de vulnerabilidad de la estructura. El resultado de este nivel de evaluación permite establecer el nivel de seguridad y de vulnerabilidad de la estructura. Para este nivel de evaluación, se requiere mayor tiempo y se debe tener acceso a la estructura para complementar la información recabada mediante la Inspección Nivel 1, asimismo, este nivel de evaluación debe ser realizado por profesionistas especialistas en seguridad estructural.
- Inspección Nivel 3 o metodología de inspección detallada: Este nivel de evaluación es aplicable principalmente a estructuras que requieren una evaluación más precisa en la que se revisa el comportamiento de la estructura con base en análisis estructurales detallados conforme lo indica la normativa local. El resultado de este análisis permite calcular la capacidad (resistente, de rigidez, de amortiguamiento y ductilidad) de una estructura e identificar aquellas estructuras que tienen la posibilidad de ser rehabilitadas o que en su defecto deben ser demolidas, así como definir los esquemas de intervención en el caso que se requieran. Al igual que en la Inspección Nivel 2, este nivel de evaluación debe ser realizado por profesionistas especialistas en seguridad estructural con un equipo de apoyo de expertos.

Para establecer de manera precisa el nivel de seguridad estructural de un sistema o conjunto de estructuras, deben completarse los tres niveles de inspección necesariamente.

Con el objetivo de llevar a cabo la inspección ocular, el Comité de Seguridad Estructural del CICM (CSE-CICM) convocó a 101 brigadistas, entre los que hubo especialistas en estructuras, geotecnia, puentes y arquitectura. Se formaron 37 brigadas compuestas por ingenieros y arquitectos de la práctica profesional y

académicos de las distintas universidades del área metropolitana con el fin de realizar una **inspección ocular de Nivel 1**.

En la figura 1 se muestra la subdivisión de los tramos que se inspeccionaron por las diferentes brigadas que organizó el CSE-CICM. De esta manera, del tramo colapsado el pasado 3 de mayo, llamado de aquí en adelante "Zona Cero", hacia la estación del Metro Culhuacán, se inspeccionaron 24 tramos, mientras que de la Zona Cero en dirección al metro Tlaltenco, se inspeccionaron 13 tramos.

Es importante aclarar que la Zona Cero no estuvo dentro de los alcances de la inspección ocular del estado físico de los tramos elevados de la Línea 12. La participación del CICM y su CSE no considera peritajes ni evaluación en la Zona Cero de la Línea 12 debido a que ésta se encuentra bajo proceso judicial por parte de la **Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México**, con el apoyo de peritos nacionales e internacionales especializados en Puentes, Estructuras, Geotecnia y Seguridad Estructural. En este sentido, el CICM y su CSE participan exclusivamente como órgano de consulta en los aspectos técnicos generarles para definir los requerimientos y procedimientos de una inspección válida, de acuerdo a las normas reconocidas nacional e internacionalmente, pero en ningún caso actuará como su vocero.

Debido a lo anterior, y con el fin de no interferir en dichos procesos, evitar confusiones o malas interpretaciones; el CICM y su CSE no emitirán opiniones sobre la información, argumentos y conclusiones publicadas o transmitidas en diversos medios de comunicación nacionales e internacionales o en redes sociales, ya que el CICM y su CSE no tiene conocimiento o acceso a las fuentes consultadas en la elaboración de dichas publicaciones.

El alcance de este informe es solamente emitir comentarios y recomendaciones con base en **los resultados de la inspección ocular Nivel 1, desarrollada por los brigadistas voluntarios** integrados en una cédula de inspección ocular diseñada específicamente para este ejercicio. En los apartados siguientes se describen los alcances y características de dicha cédula. Asimismo, se comentan los resultados obtenidos por las diferentes brigadas y las conclusiones derivadas al respecto. Por tanto, **este informe no es un dictamen de seguridad estructural, ni tiene el alcance de determinar los niveles de seguridad estructural de los distintos tramos**. Es un documento que sirve de base a las autoridades de la Ciudad de México para realizar estudios más detallados de los aspectos que, ocularmente, se identificaron como posiblemente vulnerables. Para poder emitir una opinión concluyente respecto a la integridad estructural del tramo observado, es necesario que se realicen los siguientes niveles de evaluación más detallados y cumplir con el proceso completo de la metodología multinivel.



Figura 1. Tramos elevados de la Línea 12 que se inspeccionaron de manera ocular por las brigadas del CSE-CICM

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Large handwritten signature]

II. CÉDULA DE INSPECCIÓN OCULAR DEL ESTADO FÍSICO DEL TRAMO ELEVADO DE LA LÍNEA 12

Los resultados del examen y exploración de hechos durante la inspección ocular por parte de las brigadas de ingenieros se asentaron en la cédula de inspección que se muestra en la figura 2. En la cédula se incluye: la ubicación y características generales del tramo revisado, la condición general del mismo, la posibilidad de hundimientos/emersiones y desplomes, así como una valoración de las condiciones en que se aprecia están la superestructura (vigas) y la subestructura (columnas y cabezales). Al final se emite una calificación global. La cédula tiene la opción de emitir comentarios o notas acompañados de evidencia fotográfica.

La calificación global puede tener los siguientes niveles:

Grado A, se refiere a puentes que presentan una o más deficiencias graves que impliquen un peligro inminente para la seguridad pública o que motiven la interrupción del servicio del tramo, por lo que se sugiere su atención inmediata.

Grado B, aquellos tramos que presentan una o varias deficiencias moderadas y que pueden evolucionar a graves, en consecuencia, se recomienda su atención a mediano plazo.

Grado C, puentes que sólo presentan deficiencias ligeras con presunta evolución lenta y que requieren mantenimiento rutinario.

III. RESULTADOS

Las brigadas de inspección del CSE-CICM recorrieron los tramos asignados entre el 5 y el 8 de mayo de 2021. Las brigadas de inspección hicieron sus comentarios y llenaron las cédulas correspondientes tras haber revisado, desde banqueta y a nivel de la calle, los elementos estructurales. Fue frecuente que se apoyaran en binoculares para lograr observar con mayor detalle algún elemento. En ningún caso, las brigadas tuvieron acceso a la superestructura.

A continuación, se presentan los principales resultados de las inspecciones. La información sobre el detalle está bajo resguardo del CSE-CICM.

1. Tipo de suelo

En cuanto al tipo del suelo sobre el cual se desplantan los tramos elevados inspeccionados, se encontró que 59 por ciento está en suelo blando, 39 por ciento en suelo de transición y 2 por ciento en suelo firme, de acuerdo con la zonificación geotécnica vigente en la Ciudad de México.

2. Tipo de subestructura y superestructura

Las características generales de los tramos elevados se resumen en la tabla 1. Como se podrá notar, resalta que la mayoría de las columnas (subestructura) son de concreto reforzado. En la superestructura se revisaron tramos con vigas de concreto presforzado y con vigas metálicas con tabletas prefabricadas de concreto. En lo que concierne al tipo de tablero, la mayoría son estándar y cuentan con juntas. Finalmente, el tipo de apoyo que predomina en estos puentes son de neopreno, seguidos de los metálicos y en menor proporción los mixtos. Más adelante se detalla la localización de los sistemas estructurales mencionados.

CÉDULA DE INSPECCIÓN OCULAR DEL ESTADO FÍSICO DEL PUENTE

Jefe de brigada:

Ubicación

Nombre del puente:

Tramo:

Colonia:

Delegación o municipio:

Entidad Federativa:

Tipo de suelo (firma, transición, blando):

Tipo de subestructura <input type="checkbox"/> Estribos de concreto <input type="checkbox"/> Estribos de mampostería <input type="checkbox"/> Pilas o columnas de concreto <input type="checkbox"/> Pilas o columnas de acero	Tipo de superestructura <input type="checkbox"/> Concreto pretensado <input type="checkbox"/> Concreto reforzado <input type="checkbox"/> Acero <input type="checkbox"/> Concreto-Acero
Tablero <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Escriado	Juntas de dilatación <input type="checkbox"/> Existe <input type="checkbox"/> No existe
Apoyos <input type="checkbox"/> Neopreno <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> Pomo <input type="checkbox"/> Otro	

Condición General del puente	
Hundimiento <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica	Desplome <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica

Agrietamiento al centro de masa en elementos estructurales de concreto (grietas por flexión) <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica	Agrietamiento en losas <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica
---	---

Subestructura y superestructura	
Daños en columnas o estribos <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica	Grado de corrosión de los elementos estructurales de acero <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica

Daño en juntas de expansión <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica	Daño en dispositivos de apoyo <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica
--	--

Daños en soldaduras <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica	Daños en pernos o remaches <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica
--	---

Clasificación global

Grado A: Puente que presenta una o más deficiencias graves que impliquen un peligro inminente para la seguridad pública o que impliquen la interrupción del servicio del puente. Requiere atención inmediata.

Grado B: Aquellos que presentan una o varias deficiencias moderadas y que pueden evolucionar a graves. Requieren atención a mediano plazo (seis años).

Grado C: Los que solo presentan deficiencias ligeras con evolución lenta. Requiere mantenimiento rutinario.

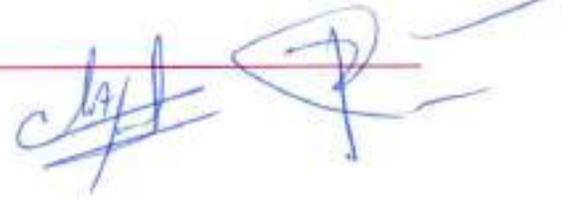
Tablas principales deformadas <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica	Agrietamiento en zonas de apoyo en elementos estructurales de concreto (grietas por cortante) <input type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Grave <input type="checkbox"/> No se aprecia <input type="checkbox"/> No aplica
--	--

Puente Grado: _____

Existencia fotográfica	Observaciones adicionales (reforzamiento adicional, existencia de reforzamiento, etc.)

*Se hace la aclaración que el Grado B corresponde a un tiempo de atención de 6 meses

Figura 2. Cédula de inspección ocular del estado físico del tramo elevado inspeccionado

3. Condiciones generales de los tramos inspeccionados ocularmente

De la revisión de las condiciones generales de los tramos elevados, se encontró que, por efecto de hundimientos/emersiones, en 92 por ciento de los tramos no se apreció alguna evidencia de los mismos. Solamente en 3 por ciento se observaron hundimientos de magnitud moderada y en 5 por ciento ligera. En lo que respecta a posibles desplomos en la estructura (particularmente de las columnas), en 98 por ciento de los tramos no se observó desplomo alguno y en 2 por ciento se calificaron los desplomos como moderados. Con respecto a hundimientos y desplomos conviene señalar que, cuando se identificaron, ocurrieron en las zonas de suelo blando.

Tabla 1. Características generales de los componentes de los tramos elevados inspeccionados

Característica del puente	Porcentaje (%)
Material de la Subestructura	
Columnas de concreto	90
Columnas de acero	8
Mixto	2
Material de la Superestructura	
Concreto	46
Concreto-acero	46
Acero	8
Tipo de tablero	
Normal	70
Esviajado	18
Curvos	8
Mixto	4
Juntas de dilatación	
Existe	92
No inspeccionado	5
No existe	3
Tipos de apoyos	
Neopreno	54
Metálico	34
No apreciable	7
Mixto	5

4. Deficiencias o daños observados en los tramos elevados

En la tabla 2 se resumen las deficiencias o daños registrados en la inspección ocular de las brigadas del CSE-CICM en los diferentes tramos elevados. Conviene recordar que estas deficiencias o daños fueron observados desde el nivel de banqueteta y sin la posibilidad de tomar medidas físicas del mismo, como anchos y longitudes de grieta o pruebas de calidad en las soldaduras, por mencionar algunos; una revisión más detallada para determinar de manera mucho más precisa los daños, requiere tener acceso cercano a la superestructura.

En este mismo sentido, es importante mencionar que algunos elementos estructurales se pueden inspeccionar de manera más precisa desde el nivel de banqueteta, ya sea por la cercanía con ellos, o bien, por sus propias características y dimensiones, tal es el caso de columnas, trabes principales, zonas de apoyo, etc; mientras que para otros elementos de más difícil acceso su valoración se torna complicada, como es el caso de pernos, remaches y soldaduras.

Por lo anterior, especial atención merece el tramo 1 poniente con estructuración y características similares al tramo de la Zona Cero, a base de vigas de acero y losas de concreto, ya que con la **inspección ocular Nivel 1** no es posible determinar el estado de sus elementos estructurales ocultos, tales como conectores de cortante, soldadura, etc., mismos que son también muy importantes para garantizar el trabajo estructural satisfactorio del sistema.

Tabla 2. Deficiencias o daños observados en diferentes partes del puente

Daños observados	Porcentaje (%)
Columnas	
No se aprecia	67
Ligero	18
Moderado	13
Grave	2
Corrosión en elementos estructurales de acero	
No se aprecia	31
Ligero	56
Moderado	10
Alta	3
Daño en soldaduras	
No se aprecia	81
Ligero	13
Moderado	3
Grave	3
Daños en pernos (tornillos) o remaches	
No se aprecia	72
Ligero	4
Moderado	24
Trabes principales deformadas	
No se aprecia	92
Ligero	6
Moderado	2
Agrietamiento en zonas de apoyo en elementos estructurales de concreto (grietas inclinadas)	
No se aprecia	72
No aplica	2
Ligero	20
Moderado	5
Grave	1
Agrietamiento en zonas al centro de claro en elementos estructurales de concreto (grietas por flexión)	
No se aprecia	74
No aplica	24
Moderado	2
Agrietamiento de losas	
No se aprecia	49
No aplica	31
Ligero	10
Moderado	7
Grave	3
Daños en juntas de expansión	
No se aprecia	76
Ligero	18
No aplica	3
Moderado	3
Daños en dispositivos de apoyo	
No se aprecia	69
No se logró revisar	3
Ligero	16
Moderado	5
Grave	5
No aplica	2

De la tabla 2, se puede concluir que en 67 por ciento de los tramos no hay deficiencias o daños en las columnas y que en 13 por ciento de los mismos se observaron deficiencias o daños moderados. En 2 por ciento se reportó deficiencia o daño grave en alguna columna de los tramos analizados.



Figura 3. Clasificación de deficiencias o daños observados en columnas

Con respecto al nivel de corrosión en elementos estructurales de acero, en 56 por ciento de los tramos se identificó como ligero (asociado a oxidación por falta de pintura) y en 13 por ciento como moderado a grave. Con respecto a las deficiencias o daños en soldadura, en 81 por ciento de los tramos no se apreció deficiencia o daño alguno. En 13 por ciento de ellos las deficiencias o daños fueron clasificados como ligeros, en 3 por ciento moderados y 3 por ciento graves. Las deficiencias o daños en pernos (tornillos) o remaches fueron inexistentes en 72 por ciento de los tramos; mientras que se observaron con deficiencias o daños moderados en 24 por ciento y ligeros en 4 por ciento. Es importante mencionar que los pernos (tornillos) se usaron en pocos elementos estructurales que componen los elementos principales de la Línea 12. Con relación a la deformación (flecha o deformación vertical) en traveses principales de los tramos inspeccionados, en 92 por ciento de los tramos no se registró deformación alguna (a simple vista). En 6 por ciento de consideraron deformaciones ligeras y en 2 por ciento moderadas.



Figura 4. Clasificación de la corrosión observada en elementos estructurales de acero



Figura 5. Clasificación de deficiencias o daños observados en soldaduras



Figura 6. Clasificación de deficiencias o daños observados en pernos (tornillos) o remaches



Figura 7. Clasificación de traves principales deformadas

Durante la inspección ocular se prestó atención a las condiciones de las zonas de apoyo en los cabezales de concreto. En 72 por ciento de los tramos no se observó grieta alguna. En 20 por ciento se notaron grietas inclinadas con características que sugieren clasificarlas como deficiencias o daño ligero, 5 por ciento moderado y 1 por ciento grave. Con relación a grietas en el centro de claro en vigas de

concreto (grietas por flexión), solamente en 2 por ciento se observaron grietas de espesor moderado. En 80 por ciento de los tramos grietas en losas no se observaron; se apreciaron grietas asociadas a deficiencias o daños ligeros en 10 por ciento, 7 por ciento moderados y 3 por ciento graves.



Figura 8. Clasificación de agrietamiento en zonas de apoyo en elementos estructurales de concreto (grietas inclinadas)

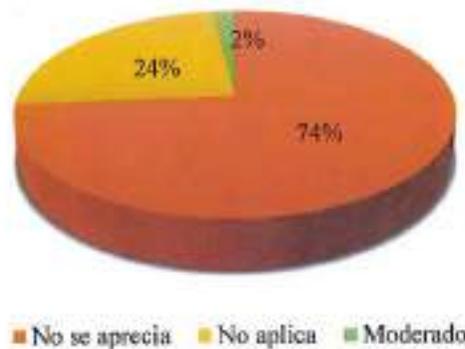


Figura 9. Clasificación de agrietamiento en zonas al centro de claro en elementos estructurales de concreto (grietas por flexión)



Figura 10. Clasificación de agrietamientos en losas

En lo que se refiere a deficiencias o daños en las juntas de expansión, la gran mayoría está en buenas condiciones (79 por ciento); en 18 por ciento se reportaron con deficiencias o daños de ligeros y en 3 por ciento con deficiencias o daños moderados. A una conclusión similar se llega sobre los dispositivos de apoyo que en 84 por ciento no tienen deficiencias o daños y en 16 por ciento, las deficiencias o daños son de tipo ligero.



Figura 11. Clasificación de deficiencias o daños en juntas de expansión



Figura 12. Clasificación de deficiencias o daños en dispositivos de apoyo

5. Clasificación de deficiencia o daño global

En la figura 13 se muestra el resultado de la evaluación global de los tramos inspeccionados, en la cual se refleja su condición general a partir de lo observado. Como se puede apreciar, ningún tramo se clasificó como Grado A (con deficiencias graves). En 68 por ciento de los tramos se presentan deficiencias ligeras (Grado C), mientras que un 32 por ciento tienen deficiencias moderadas (Grado B).

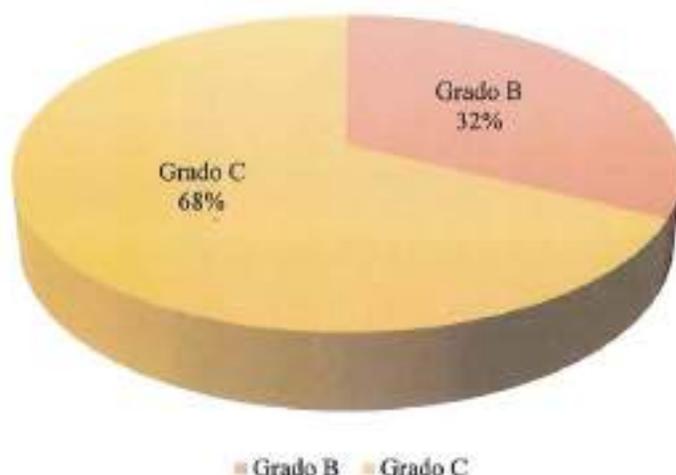


Figura 13. Clasificación global de los tramos elevados inspeccionados

En los tramos clasificados con Grado B, tres de ellos requieren una revisión y atención inmediata, con el propósito de evitar que las deficiencias o daños que presentan actualmente puedan evolucionar a graves (y pasar a Grado A) y, en consecuencia, comprometan la seguridad estructural. Dichos tramos son: 13 poniente, 6 oriente y 7 oriente, cuya ubicación se muestra en la figura 14.

El tramo 13 poniente se ubica cerca de la estación Calle 11, en el cual se apreció deterioro en las juntas de las tabletas de concreto reforzado (figura 15), por lo que se sugiere una revisión más detallada sobre las posibles causas y, en consecuencia, su reparación correspondiente.

El tramo 6 oriente se ubica en la proximidad de la estación Nopalera. En dicho tramo se identificaron daños en el cabezal por desprendimiento del recubrimiento de concreto en el tope sísmico, tal como se aprecia en la figura 16. Se presume que este daño ocurrió a raíz del sismo del 19 de septiembre de 2017. Asimismo, se apreció una deformación residual del apoyo de neopreno como se ilustra en la figura 17, lo cual manifiesta un movimiento de la trabe, que habrá que estudiar con mayor detenimiento sus posibles causas. En ambos casos se deberá brindar la solución conducente para garantizar el buen desempeño estructural del tramo. Una situación similar ocurre en el tramo 7 oriente. Conviene resaltar que el movimiento de apoyos de neopreno es normal. En estos casos conviene revisar las razones de la deformación residual que se encuentra en magnitudes aceptables.



Figura 14. Ubicación de los tramos que se sugiere su atención inmediata: 13 poniente, 6 oriente y 7 oriente.



Figura 15. Deterioro observado en la superestructura del tramo 13 poniente

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Large handwritten signature]



Daño en el cabezal

Figura 16. Daño en el tope sísmico del cabezal del tramo 6 oriente



Deformación residual del apoyo de neopreno

Figura 17. Deformación residual en el apoyo de neopreno del tramo 6 oriente

IV. LOCALIZACIÓN DE LAS VULNERABILIDADES

A partir de la información recopilada en las inspecciones oculares, se generó la tabla 3 (Apéndice A) en la que se muestra la calificación de la cédula de cada uno de los segmentos inspeccionados y ubicados de acuerdo con las estaciones de la Línea 12. Además, se puede ver el sistema estructural que tiene cada segmento y su longitud de tal forma de poder estimar de forma aproximada la ubicación de las vulnerabilidades. Finalmente, en la última fila se incluye un apartado de comentarios sobre acciones a seguir y evitar que las vulnerabilidades evolucionen a un Grado A.

De la tabla 3 se puede ver que la mayoría de los segmentos ubicados entre la estación Culhuacán y periférico Oriente está clasificada como Grado C debido a que las deficiencias o daños detectados son nulos o mínimos (ligeros). Es decir, esto indica que los primeros 4.7 km del tramo elevado aparentemente no tienen deficiencias o daños importantes perceptibles a simple vista. Dos de los segmentos fueron clasificados como Grado B; conviene destacar que la inspección fue limitada en los tramos de gran altura.

De esta misma tabla se puede ver que las vulnerabilidades más importantes se encuentran en el tramo entre la estación Periférico Oriente y Zapotitlán. Este segmento tiene una longitud aproximada de 3.6 km (del orden de 32 por ciento de la longitud del tramo elevado) y está estructurado a base de columnas de concreto reforzado y vigas metálicas (segmentos de estructuración similar al tramo de la Zona Cero).

V. CONCLUSIONES DE LAS INSPECCIONES OCULARES REALIZADAS POR LAS BRIGADAS DEL CSE-CICM

Parte 1. Respecto al análisis estadístico de la información

Con base en la información obtenida de la inspección ocular de la Línea 12 del Metro, se emiten los siguientes comentarios y conclusiones:

- Las inspecciones revelan que la gran mayoría de los tramos (95 por ciento) no evidencian hundimientos ni desplomos. Pocos tramos presentan afectaciones de ligeras a moderadas por hundimiento y desplomo de la estructura, al ser observadas en menos del 5 por ciento de los tramos revisados.
- La mayor parte de la estructura (70 por ciento) no tiene deficiencia o daño alguno. Se observaron deficiencias o daños en columnas, los cuales se calificaron de ligeros a moderados y sólo en un 2 por ciento como graves, mientras que en las losas se apreciaron agrietamientos de ligeros a graves. El 92 por ciento de las vigas no evidencian deformaciones perceptibles a simple vista; la deformación en traveses principales se valoró de ligera a moderada en 8 por ciento de dichos tramos.
- En lo que respecta a los elementos estructurales de acero, más de la mitad de los tramos visitados evidencian algún nivel de corrosión; la mayoría de éstos con corrosión ligera u oxidación y en algunos pocos hasta corrosión alta. En 81 por ciento de los tramos no se notaron deficiencias o daños en soldaduras de manera visual; en 13 por ciento de ellos las deficiencias o daños fueron clasificados como ligeros, en 3 por ciento moderados y 3 por ciento graves.
- Los resultados de estas inspecciones también revelan que la mayor parte del tramo elevado no exhibe deficiencias o daños en juntas de expansión ni en apoyos (80 por ciento). En 20 por ciento de los tramos se presentan deficiencias o daños en las juntas de expansión y en los apoyos. La mayor parte de las deficiencias o daños son ligeros, tal como se muestra en la tabla 2.
- De acuerdo con la evaluación en más del 40 por ciento de los tramos se registró algún nivel de deficiencia, en su mayoría de tipo ligero que anuncian falta de acciones preventivas. En cuanto a las deficiencias moderadas, **en tres tramos se sugiere su atención inmediata** para evitar que estas deficiencias o daños evolucionen a graves y puedan poner en riesgo la integridad de los usuarios y la operación del Metro.

- A partir de una inspección ocular de Nivel 1 se determinó que el **68 por ciento** está clasificado como **Grado "C"**, mientras que un **32 por ciento** se encuentra clasificado como **Grado "B"**. **No se detectaron afectaciones Grado "A"**. No obstante, se deberá dar **atención inmediata a los puntos indicados en la conclusión anterior para evitar evolución del daño**.
- Los tramos del 8 poniente a 12 poniente no fue posible observarlos a detalle debido a la gran altura de estos tramos.

Parte 2. Respecto a las acciones a seguir y las limitaciones del trabajo

- De acuerdo con la información recabada por las brigadas de inspección del CSE-CICM, se clasificó el tramo 1 poniente con Grado C. Este tramo tiene una estructuración y características similares al tramo de la Zona Cero. Por ello, se recomienda analizar este tramo a detalle mediante una evaluación de Nivel 2 y de Nivel 3. Se recomienda que la evaluación incluya una revisión detallada del análisis, diseño y detallado estructural; de los procesos constructivos y posibles cambios o ajustes en obras, así como de los planos *as-built*. Se recomienda también realizar una prueba de carga. Sin estas evaluaciones, no se puede garantizar la seguridad estructural de este y otros tramos atípicos del viaducto elevado.
- Se detectó en el tramo 10 poniente una columna muy cercana a un puente vehicular. Se deberá estudiar a detalle la cercanía entre ambos elementos de tal forma que se pueda descartar el golpeteo entre elementos ante la acción de un evento sísmico.
- Las vulnerabilidades más importantes se localizan en el tramo de la estación Periférico Oriente a la estación Zapotitlán. Este segmento tiene una longitud aproximada de 3.6 km y la estructuración es a base de una columna de concreto y vigas de acero. En este segmento, por tratarse de la estructuración que fue utilizada en la Zona Cero, se recomienda proceder con una evaluación Nivel 2 y dar atención especial al análisis de la sección compuesta entre las vigas de acero y losas de concreto prefabricadas (tabletas).
- Se detectaron tres puntos con daño en cabezales. Se deberá dar atención inmediata para evitar la evolución del daño a Grado A. Se recomienda realizar una campaña de inspección de apoyos de neopreno de Nivel 2 y de los topes sísmicos en todo el tramo elevado.
- Se recomienda realizar una evaluación Nivel 2 en cuatro sitios para evitar que las vulnerabilidades puedan evolucionar a un Grado "A". Los sitios se indican a detalle en los comentarios mostrados en el esquema del Apéndice A.

- La mayoría de las brigadas reportó la existencia de soldaduras en zonas de esfuerzos máximos ante cargas gravitacionales estáticas (centro del claro). En algunos casos se detectó una placa de refuerzo sobre patín. Se deberá realizar una campaña de inspección de estas soldaduras para descartar daño o bien identificar si las placas de refuerzo deben existir en todos los tramos.
- Las brigadas reportaron en su mayoría corrosión ligera (oxidación) por lo que se deberá poner atención en la protección anticorrosiva de los segmentos de puente. Además, se recomienda una campaña de prevención y cuidado en las instalaciones hidráulicas para prevenir deterioro o evolución a daños de Grado "A".
- No se inspeccionó el interior de las estaciones; el trabajo se limita a los puentes elevados.

Parte 3. Recomendaciones

- **Reforzar y /o complementar las recomendaciones de este estudio con la información y conclusiones de los peritajes, nacional e internacional, de la Zona Cero u otros estudios que se realicen.**
- **El Comité Técnico de Seguridad Estructural del CICM recomienda no reiniciar la operación del tramo elevado de la Línea 12 del STCM hasta que se lleve a cabo la revisión detallada, Nivel 2 y Nivel 3 en su caso, y se obtenga el informe de vulnerabilidades correspondiente.**
- **Asimismo, se recomienda iniciar la elaboración de un proyecto de reforzamiento y rehabilitación que solucione las deficiencias identificadas, así como las vulnerabilidades que requieren atención inmediata.**

REFERENCIAS

AASHTO (2017). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. First Edition, American Association of state Highway and Transportation Officials, USA.

NTC-Cimentaciones (2017). "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones", Gaceta Oficial de la Ciudad de México.

Alcocer, S., Valencia, G. y Bautista, R. (2021). Evaluación postsísmica de la infraestructura física educativa de México. INIFED-Banobras, México.



Comentario 1.

Comentario 2.

Comentarios 3.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Large handwritten signature]



Comentario 5



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Large handwritten signature]



Comentario 4

Comentario 4.



Comentario 5

[Handwritten signature]

[Large handwritten signature]



Comentario 6



Comentario 6



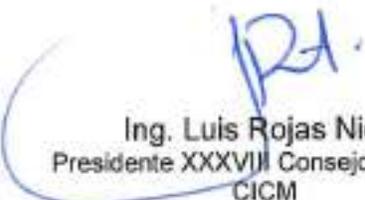
Comentario 7

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Large handwritten signature]

Firmas de Acuerdo del Informe la Inspección Física del Estado del Viaducto Elevado de la Línea 12 del STC-Metro



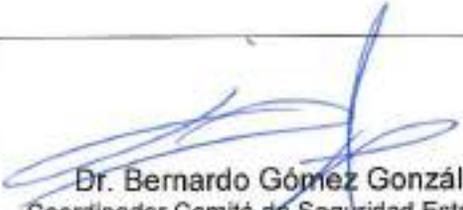
Ing. Luis Rojas Nieto
Presidente XXXVIII Consejo Directivo
CICM



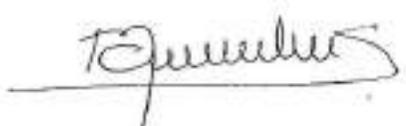
Ing. Jorge Serra Moreno
Vicepresidente de Técnica y Planeación
CICM



Ing. Luis Robledo Cabello
Coordinador Comité de Infraestructura
CICM



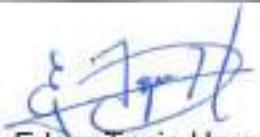
Dr. Bernardo Gómez González
Coordinador Comité de Seguridad Estructural
CICM



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