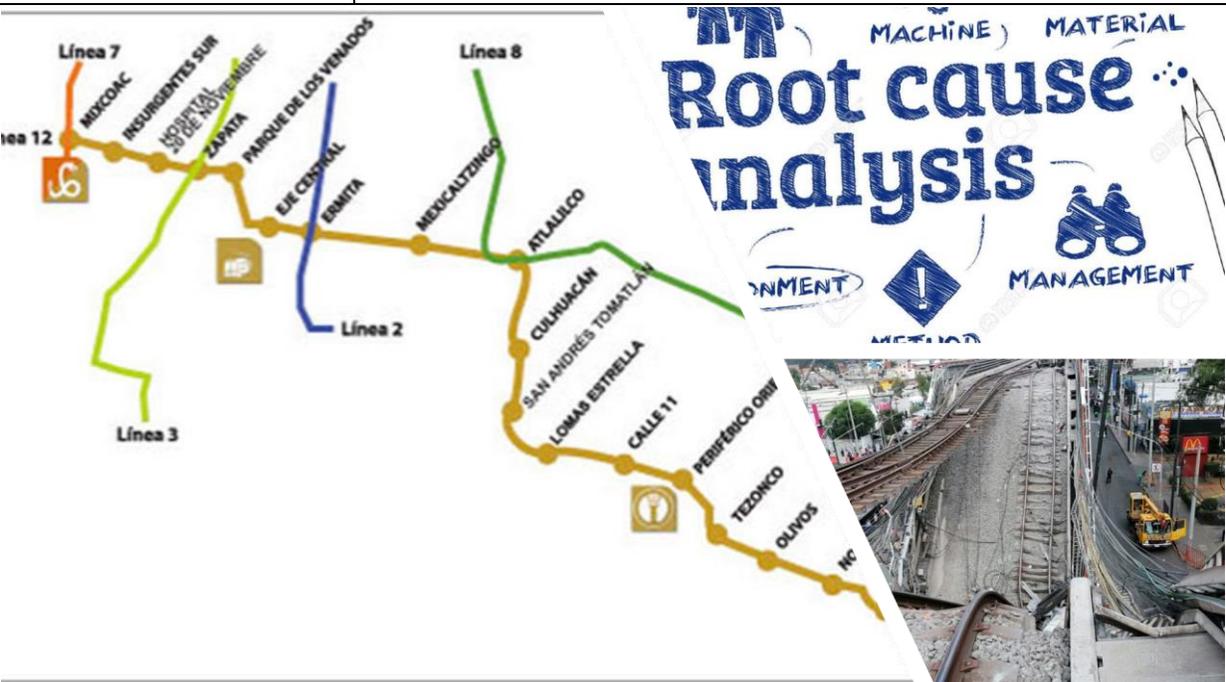


DICTAMEN TÉCNICO DEL INCIDENTE OCURRIDO EN LA LÍNEA 12, EN EL TRAMO ELEVADO ENTRE LAS ESTACIONES OLIVOS Y TEZONCO, ENTRE LAS COLUMNAS 12 Y 13, Y ANÁLISIS DE CAUSA-RAÍZ

Dictamen Preliminar – Fase I

CLIENTE: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México

	Reporte No.: T1148816-2021-SGIRPC-ACR-L12
	

Rev.	Descripción	Fecha	Cargo	Nombre	Firma
0	Dictamen Preliminar	Jun 14, 2021	Project Sponsor	Eckhard Hinrichsen	
0	Dictamen Preliminar	Jun 14, 2021	Representante Legal	Ausencio López	

INDEX

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
III.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
III.1	Fase I – Enfoque para la opinión técnica independiente	4
III.2	Fase II – Enfoque técnico para la investigación de la causa inmediata	4
III.3	Fase III – Enfoque técnico para el análisis de la causa raíz	4
III.4	Estructura del equipo de Investigación de DNV y Programa de Trabajo	6
IV.	DESCRIPCIÓN DEL EVENTO	8
V.	RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA FASE I	9
V.1	Visitas a la Zona del Incidente	9
V.2	Proceso de obtención de pruebas y solicitud de documentos	27
V.3	Entrevistas a testigos	28
V.4	Datos de muestreo de concreto	29
VI.	HALLAZGOS PRELIMINARES EN LA FASE I	36
VII.	ACTIVIDADES A SEGUIR.....	37
VIII.	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A LA FECHA	38

I. INTRODUCCIÓN

Este reporte integra los hallazgos preliminares de la Investigación independiente que realiza DNV.

DNV continua con la revisión de las evidencias documentales y de partes en los diferentes procesos tales como diseño, construcción, operación, rehabilitación y reparaciones; a efectos de determinar la relevancia de cada uno de dichos hallazgos, así como su contribución con el incidente.

II. RESUMEN EJECUTIVO

El 3 de mayo de 2021, parte del tramo elevado de la Línea 12 (L12) entre las estaciones de Olivos y San Lorenzo Tezonco colapsó entre las columnas 12 y 13 (el incidente). Este documento contiene un informe de las actividades de la Fase I realizadas durante el período del 12 de mayo al 11 de junio de 2021 por el equipo internacional y multidisciplinario de expertos de DNV GL México S. de R.L. de C.V. (DNV).

DNV fue contratada por la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil (SGIRPC) del Gobierno de la Ciudad de México (GCM) para el proyecto "SERVICIO DE DICTAMEN TÉCNICO DEL SINIESTRO OCURRIDO EN LA LÍNEA 12, EN EL TRAMO ELEVADO ENTRE LAS ESTACIONES OLIVOS Y TEZONCO, ENTRE LAS COLUMNAS 12 Y 13, Y ANÁLISIS DE CAUSA-RAÍZ "(el proyecto). El objetivo del proyecto es proporcionar experiencia en las diferentes fases de la investigación: Fase I , Pre-Dictamen Técnico; Fase II, la investigación de la causa inmediata (también conocida como investigación de fallas); y, Fase III, el análisis de la causa raíz (ACR). El objetivo de la opinión técnica de un tercero independiente es recolectar y preservar las evidencias para las fases posteriores de la investigación, así como recabar observaciones iniciales del incidente. El objetivo del análisis de causa inmediata es determinar la causa material o el modo de la falla (por ejemplo, fatiga, sobrecarga, diseño, procedimientos constructivos, deficiencias en el control de calidad, etc.) de los componentes asociados con el incidente. Finalmente, el objetivo del ACR es identificar problemas sistemáticos que, si se cambian, podrían evitar que ocurra un incidente similar.

El Sistema de Transporte Colectivo (STC) opera la L12, la cual tiene 23 km y 722 m de longitud con un total de 20 estaciones, incluyendo cuatro (4) interestaciones (Mixcoac, Zapata, Ermita y Atlalilco) y dos (2) estaciones finales (Tlahuac y Mixcoac). El mapa en la siguiente página identifica la ruta de la L12 dentro de Ciudad de México (CDMX) y muestra la ubicación del incidente, objetivo de esta investigación, en la L12 (rectángulo rojo):

Figura I.1 Mapa de la L12 que opera entre Mixcoac (Sur de CDMX) y Tláhuac (Sureste de la CDMX)



<http://www.stc.df.gob.mx/sabias/linea12>

Los trenes que operan en la L12, del modelo FE-10, fueron fabricados por Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles S.A. (CAF). Estos trenes se componen de siete vagones: dos locomotoras (FR) y cinco vagones de pasajeros (FN). Los vagones están organizados de la siguiente manera: FR-FN-FN-FN-FN-FN-FR. Cada vagón cuenta con dos (2) bogies, que son chasis de cuatro ruedas que llevan el juego de ruedas unido a la carrocería de los vagones del tren. La interfaz entre el tren y la vía es metálica (rodadura férrea).

La mayoría de las líneas operadas por STC utilizan rodadura neumática, con la excepción de las Líneas A y 12. Estas líneas están equipadas con laminación con base de acero fabricada por CAF (para modelos FE-07 y FE-10, respectivamente).

Figura I.2 Laminado con base neumática (lado izquierdo) versus laminado con base de acero (lado derecho)



www.google.mx

Figura I.3 Laminado a base de acerto de las series FE-07 y FE-10 fabricado por CAF. La FE-10 es operada en la L12 por STC



Visita al sitio del incidente

Algunas características del modelo FE-10, con rodadura férrea operado en L12, son las siguientes:

- De los 30 trenes que operan en la línea, cada uno cuenta con 7 vagones.

La capacidad de pasajeros en cada tren es de: 1.475 pax (336 sentados y 1.139 de pie).

- Ancho del vagón: 2,8 m,
- Longitud de la locomotora (FR): 20,50 m,
- Longitud del vagón (FN): 20 m,
- Longitud de un tren: 141 m.

III. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de la investigación de DNV sobre el siniestro ocurrido en la L12 se limita al dictamen preliminar (Fase I), investigación de la causa inmediata (Fase II) y el ACR (Fase III). El objetivo del proyecto es identificar la (s) causa (s) del colapso de un tramo de la L12 entre las estaciones Olivos y San Lorenzo Tezonco, así como desarrollar recomendaciones para prevenir la recurrencia de este evento o eventos similares en el futuro.

La evacuación y plan de respuesta de emergencia están fuera del alcance de esta investigación. Los descargos de responsabilidad sobre el contenido de este informe se proporcionan en el Anexo A.

III.1 Fase I – Enfoque para la opinión técnica independiente

DNV está llevando a cabo una serie de investigaciones in situ para documentar fotográficamente el lugar del siniestro y registrar las evidencias de posición así como durante la fase de recopilación y conservación de evidencias de partes para las pruebas necesarias en el proyecto. Como parte de las investigaciones in situ, se están realizando inspecciones visuales de los componentes estructurales para identificar áreas de interés para su posterior análisis y, con base a lo anterior, obtener las muestras para corroborar el cumplimiento de las condiciones de materiales establecidos en el diseño (características y propiedades del concreto, propiedades de las varillas utilizadas en el armado y características y propiedades de la estructura metálica). Se han recolectado y enviado muestras a los laboratorios previamente seleccionados para que DNV atestigüe las pruebas y análisis especificados previamente. En este reporte se incorporan las observaciones iniciales de esas visitas al sitio.

III.2 Fase II – Enfoque técnico para la investigación de la causa inmediata

Después de que las muestras se hayan entregado a los laboratorios para su análisis, DNV desarrollará un alcance de trabajo específico para respaldar la determinación de la causa inmediata del incidente. La supervisión de las pruebas estará a cargo de los expertos de DNV en metalurgia y concreto. Los resultados de las pruebas y análisis se revisarán y se utilizarán como base para los cálculos y modelaciones estructurales, que serán realizados por los especialistas en estructuras de DNV para evaluar las condiciones de carga de la línea en el momento del incidente. Los resultados de las pruebas y análisis metalúrgicos, los cálculos estructurales, las observaciones y los datos recogidos in situ y la revisión de los documentos solicitados se utilizarán para determinar la causa inmediata del incidente (es decir, el modo de falla). Los hallazgos de la investigación para determinar la causa inmediata se ampliarán en el ACR donde se identificarán factores contribuyentes y problemas sistemáticos.

III.3 Fase III – Enfoque técnico para el análisis de la causa raíz

El análisis causal es el núcleo de la investigación de incidentes. Este análisis utiliza un método sistemático de procesamiento de la evidencia recopilada durante una investigación para identificar los factores resultantes del incidente. El análisis comienza con la caracterización del incidente y avanza hacia atrás, hacia la(s) causa(s) raíz. Este enfoque ayuda en el desarrollo de medidas correctivas. DNV utilizará la técnica de análisis causal sistemático basada en barreras (BSCAT™) para determinar la (s) causa (s) raíz del incidente.



BSCAT™ es una metodología que permite el análisis de incidentes complejos mediante el examen de las barreras al incidente. Un diagrama de pajarita simplificado se usa a menudo en BSCAT™ para identificar las barreras que deberían haber estado en su lugar para prevenir la amenaza que condujo directamente al incidente (es decir, la causa inmediata del incidente) y las barreras que estaban o deberían haber estado colocadas para mitigar las consecuencias después de un incidente. Para esta investigación se identificarán y evaluarán las barreras preventivas. Una vez identificadas las barreras, se aplicará un análisis causal sistemático a cada barrera utilizando la metodología BSCAT™ para evaluar la eficacia de las barreras individuales. Usando las barreras identificadas, se determinará la (s) causa (s) raíz del incidente.

III.4 Estructura del equipo de Investigación de DNV y Programa de Trabajo

III.4.1 Equipo de investigación DNV

El equipo de DNV está integrado por los siguientes especialistas:

- Project Sponsor
 - Eckhard Hinrichsen, Director General DNV México

- Coordinación del Proyecto
 - Enone Cao Fraga, Ingeniero Especialista
 - Milagro González Santiago, Gerente de Análisis de Riesgo

- Columbus, Ohio, USA –Expertos en Análisis Causa Raíz
 - David Norfleet, Doctor en Ciencias de Materiales, Gerente del área de Investigación de Incidentes
 - Barbara N. Padgett, Líder de Análisis Causa - Raíz

- San Diego, California, USA – Expertos Geotécnicos y civiles (especialistas en concreto)
 - Mathew Rogers, Especialista Líder Geotécnico y estructural
 - Eric Ntambakwa, Especialista Líder Geotécnico y Estructural
 - Nicolas Peralta Perez, Doctor en Estructuras

- Hamburgo, Alemania – Expertos en materiales y estructuras
 - Thomas Jahnke, Especialista Líder, ingeniero estructural -ductos y materiales
 - Jorge Vallebuena, Especialista Líder, ingeniero estructural, VMC y estructuras

- Madrid, España – Experto en sistemas ferroviarios
 - Jorge Aldegunde, Consultor Líder en sistemas ferroviarios

- México – Expertos en diversas especialidades
 - J. Raúl Avilés Atrián, Coordinador de integridad mecánica
 - Artemio Oropeza, Inspector en garantía técnica/certificación
 - Aquileo Segura, Especialista en garantía técnica/certificación
 - Gustavo Godínez, Asesor Líder y KCM
 - Carlos Godínez, Asesor Líder

Información adicional acerca de la empresa DNV se integra en el Anexo B.

IV. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO

El lunes 3 de mayo de 2021 a las 22:22 hrs, una sección del puente elevado ubicado entre las estaciones Olivos y San Lorenzo Tezonco en la L12, colapsó entre las columnas 12 y 13. La sección colapsada se ubicaba a aproximadamente 200 m de la plataforma de la Estación Olivos. El incidente ocurrió mientras un tren viajaba desde la estación San Lorenzo Tezonco hasta la estación Olivos (de oeste a este) con los vagones 6 y 7 del tren coincidiendo en la sección derrumbada del puente de concreto. Como resultado del incidente se reportaron al momento de emitir este reporte un total de 26 fatalidades y 106 lesionados.

Figura III.1 Vista area de la zona del incidente



www.google.mx/map

El puente de concreto y acero falló aproximadamente en la mitad del tramo, cerca del lugar donde una pequeña viga diagonal de la tercera vía se une a la viga principal en dirección norte. El puente de concreto y acero se fracturó en dos secciones (Sección Oeste y Sección Este). Tras el incidente, la sección oeste se quedó tendida en el suelo y la sección este permaneció apoyada parcialmente con un extremo en la parte superior de la columna de soporte 12 y el otro extremo en contacto con el suelo.

V. RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA FASE I

V.1 Visitas a la Zona del Incidente

Un equipo multidisciplinario de expertos en la materia de DNV han realizado varias investigaciones in situ sobre el incidente L12. El 12 de mayo de 2021, el equipo de DNV se movilizó al lugar del incidente para presenciar las actividades en curso y documentar con fotografías la evidencia de la sección colapsada de la L12 entre las estaciones Olivos y San Lorenzo Tezonco, registrando las siguientes observaciones que se detallan a continuación.

Adicionalmente, y durante este período de trabajo, se inicia la revisión documental de las más de 13,000 carpetas del expediente existente de la Línea 12 en investigación.

- a) Se observa la deformación en las vigas que conforman el puente de concreto-acero, tanto en la Trabe Lado Sur (sección sobre la cual rodaba el tren en el momento del incidente), Trabe Lado Norte y la Trabe de la Bifurcación, denominada Vía en "Y".

Deformación y fractura en las vigas que conforman el puente de concreto acero, tanto en la Trabe Lado Sur (T-1) sección sobre la cual rodaba el tren en el momento del incidente, Trabe Lado Norte (T-3) y la Trabe de la Bifurcación (T-6), denominada Vía en "Y".

Figura IV.1.1- Alma de la trabe sur (T-1)



Visita al sitio del incidente

Figura IV.1.2- Alma de la trabe T-1



Visita en zona del incidente

Figura IV.1.3- Conexión trabe T-3-trabe puente- trabe T-6



Visita en zona del incidente

- b) Se observan fracturas en los elementos de los sistemas de contraventeo, con desprendimientos de material de los refuerzos, fracturas en almas (de las tres traves descritas anteriormente) y en soldadura de la junta de conexión en Trabe de Bifurcación con Trabe Lado Norte y en soldaduras adyacentes.

Figura IV.1.4- Unión Trabe T-7 y contraventeo



Detalle del contraventeo (CV1) – trabe T-7



Vista general del contraventeo (CV1) – trabe T-7

Figura IV.1.6 Unión Trabe T-1 y Contraventeo



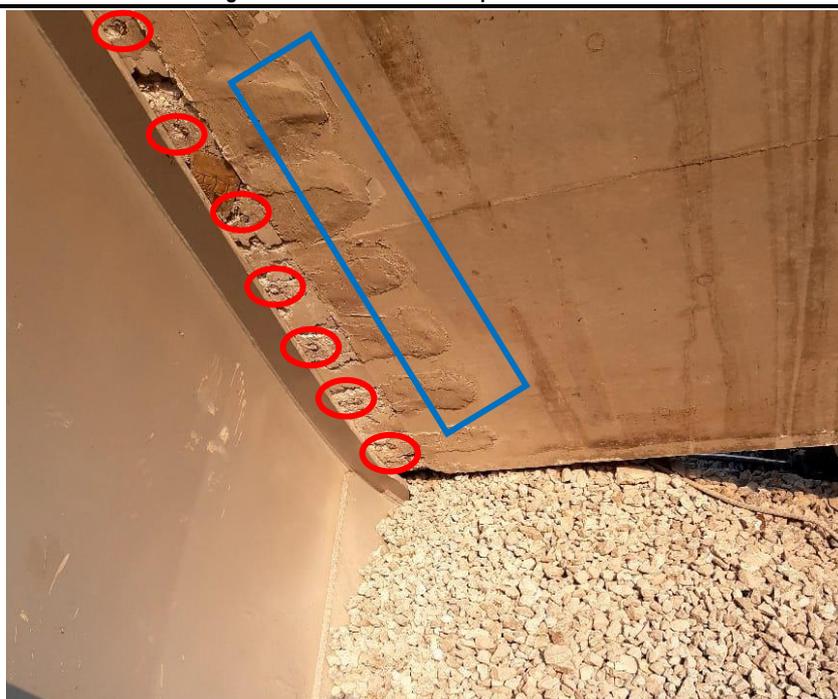
Detalle de trabe T-1 – contraventeo CV-1



Vista general de trabe T-1 – contraventeo CV-1

- c) Se observa un desplazamiento de las traves, el cual permitió observar concretos diferentes y algunos de los pernos desoldados de las traves, estos pernos denotan una deficiencia en el proceso de soldadura aplicado. Además, se observan diferentes tipos de concreto en la tableta, presumiblemente debido a posición por diseño de pernos y por modificación en condiciones de campo.

Figura IV.1.7 – Detalle de los pernos Nelson



Los círculos rojos resaltan la ubicación de los tornillos y el rectángulo azul resalta la presencia de un concreto diferente frente a la referencia prefabricada



Círculos rojos están resaltando los pernos donde aún queda el remanente de la protección cerámica para la ejecución de la unión entre perno y viga, los pernos presentan deficiencias en las superficies observadas en la unión, además las distancias entre los pernos no son equidistantes. Por lo cual no cumple con el diseño

Figura IV.1.8 – Detalle de los pernos Nelson



DNV continua evaluando la calidad de la soldadura y falta de fusión

- d) Con relación a lo anterior, en las secciones que colapsaron se observa una condición similar, es decir, la evidencia de no tener la totalidad de los pernos requeridos en el plano de diseño, y/ o huellas de soldadura de pernos posiblemente soldados, los cuales presumiblemente se desprendieron tras el incidente.

Figura IV.1.9–Trabes T-7, T-1 y T-6



Evidencia que el número de Pemos Nelson en la trabe T-7 no coinciden con los indicado en los planos de diseño

Figura IV.1.10 –Trabes T-7, T-1 y T-6

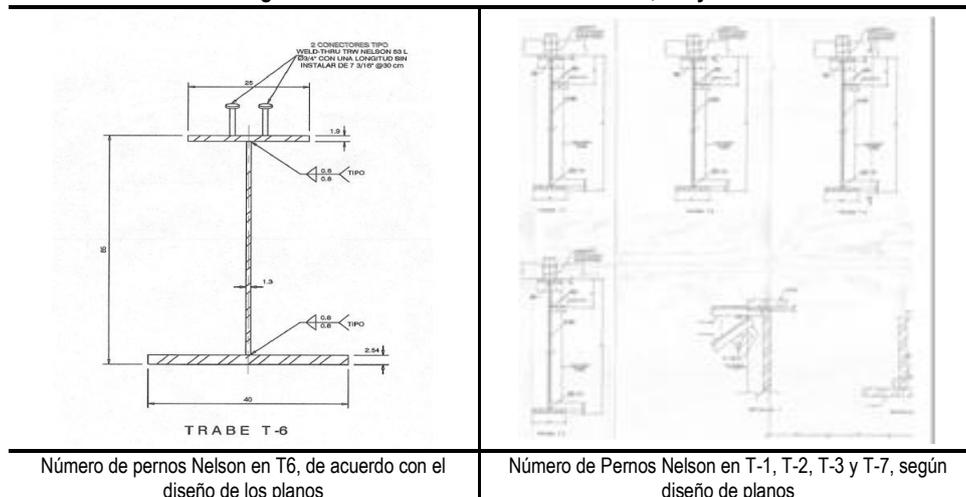


Evidencia que el número de Pernos Nelson en la trabe T-1 no coinciden con los indicados en los planos de diseño



Evidencia que el número de Pernos Nelson en la trabe T-6 no coinciden con los indicados en los planos de diseño

Figura IV.1.11 – Plano de diseño Traveses T-7, T-1 y T-6



Además, se observó en la sección de la trabe sur del lado oriente, la cual se inspeccionó ya en el taller de resguardo, una inconsistencia en cuanto al número de pernos instalados:

Figura IV.1.11 – Pernos en Sección de Trabe Sur – lado oriente



Como resultado del colapso de la sección del puente, se observa el balasto esparcido y sobre algunas secciones de interés en las traveses y tabletas prefabricadas de concreto, material estructural, cableado, etc., por lo que se acuerda proceder a su retiro, llevando a cabo una secuencia o protocolo de ejecución de retiro. Las actividades observadas incluyeron: retiro de lastre, amarre y corte de sistemas eléctricos y mecánicos, y retiro de todos los elementos y componentes de la vía.

Posterior a la limpieza del sitio del incidente, los especialistas de DNV, identificaron lo siguiente:

- a) Se observa una soldadura no concluida en la Trabe de la Bifurcación, en su unión con la Trabe Puente, y rotura total de una soldadura en la Trabe Puente, denotando la inclusión de un material ajeno (varilla) aproximadamente a la mitad de la preparación de la junta, al parecer esta unión fue realizada en sitio y quizás después de un ajuste en sus dimensiones, para su montaje final, denotando deficiencias en la preparación y ejecución de la soldadura.

Figura IV.1.12- Trabe T-6 girder- trabe puente



Soldadura no concluída en la junta de la sección trabe T-6 y trabe Puente

Trabe T-7 mostrando deformación y desprendimiento de la luminaria de soporte

- b) Se observan huellas de impacto de los pernos, presumiblemente desprendidos sobre la superficie de la trabe T-1 en el lado sur, posiblemente producto de las vibraciones generadas por la operación:

Figura IV.1.13 – Huellas de Impacto



Huellas de Impacto por vibración en T-1

- c) Se observa la condición de desprendimiento y rotura del cabezal de concreto (lado oeste), en donde por diseño, se tiene la sección fija del puente, como consecuencia del colapso.

Figura IV.1.14– Topes sismicos



Vista suroeste



Vista Noroeste



Vista sureste

- d) Durante la visita al sitio, el especialista de DNV identificó una “ubicación similar” en la orientación Este - Oeste, desde la falla potencial, cerca de la estación San Lorenzo Tezonco.

Figura IV.1.15– Ubicación similar al sitio del incidente L12



Visita a la zona del incidente

- e) Detalles observados por los ingenieros civiles expertos:

Figura IV.1.16 Detalles de Varillas



La distancia entre el acero de refuerzo y la superficie superior de la losa no refleja las dimensiones requeridas de recubrimiento.

No se identificó evidencia obvia de una falla / grieta preexistente en las superficies de fractura de la zona de falla inspeccionadas, se verificará con pruebas de laboratorio adicionales.

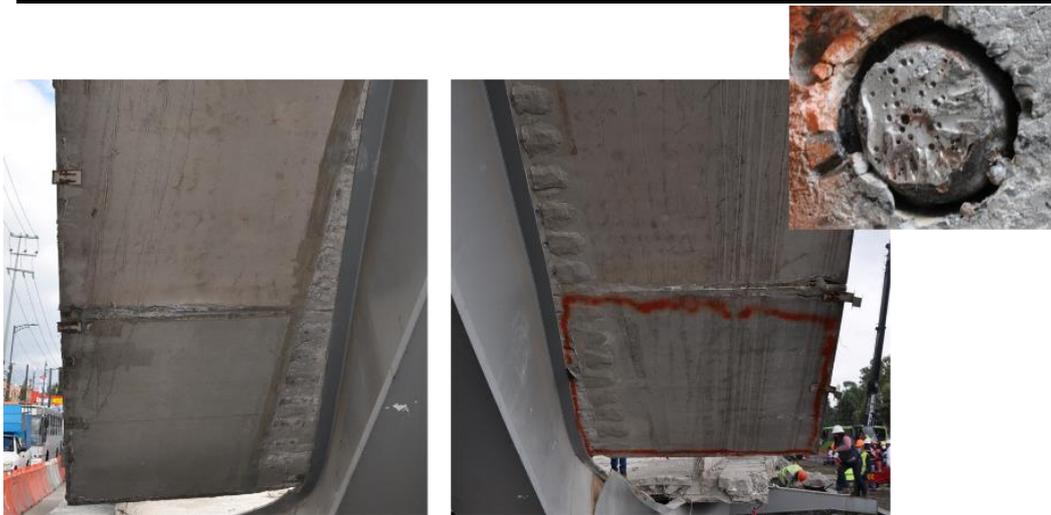
Visita al sitio del incidente

Figura IV.1.17 Detalles de resanes de concreto en tableta de losa prefabricada



Visita al sitio del incidente

Figura IV.1.18 - Fotografía detallada de un Perno Nelson



Visita al sitio – Pernos Nelson – Dirección Oeste

- f) Detalles observados en las soldaduras de los pernos Nelson, entre los cuales se tienen los siguientes hallazgos: Deficiencia en la unión soldada del perno (falta de empuje o empuje corto hacia la viga, disminuyendo el área de fusión, corriente baja en el proceso y posibles contaminantes entre las superficies de contacto), cantidad de pernos menores a los requeridos, distancias longitudinales y transversales de separación entre pernos no uniforme, falta de eliminación de la cerámica de protección después de ejecutado el proceso de soldadura del perno disminuyendo el área de adherencia con el concreto de relleno en el área de ubicación de éstos.

* El modo de falla se determinará mediante pruebas destructivas.

g) Correspondencia de planos o dibujos con detalles de cimentación.

El punto medio de la zona de falla parece corresponder a:

- Transición de cimentación poco profunda (zapatas) a cimentación superficial apoyada sobre pilotes,
- Transición de una zona de lecho rocoso relativamente poco profundo a una zona de capa de mayor profundidad, de suelo más resistente.

No se observaron signos evidentes de esfuerzos alrededor de las columnas de soporte o el terreno adyacente.

Figura IV.1.19 - Detalles de la cimentación en la zona de falla



Ref: Plano N° o Clave PMDF-12-EST-612155-IV-0007-00925-PAB, MZO-2012

Figura IV.1.20 - Detalles de la cimentación en la zona de falla

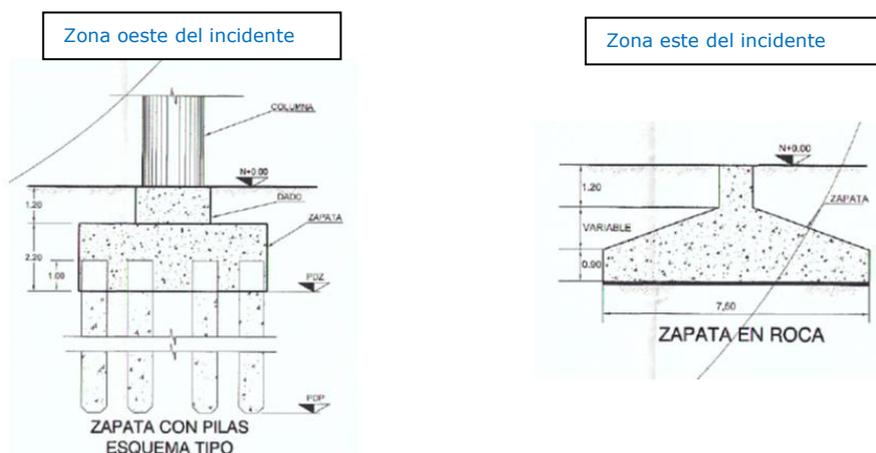
ZAPATAS CON PILAS			ZAPATAS	
CADENAMIENTO	PROFUNDIDAD DE DESPLANTE PDZ (m)	LONGITUD DE PILAS PDR (m)	CADENAMIENTO	PROFUNDIDAD DE DESPLANTE PDZ (m)
10+272.379	3.40	7.41	9+980.010	5.80
10+297.102	3.40	11.28	10+003.968	5.80
10+322.102	3.40	9.89	10+025.968	5.80
10+352.102	3.40	15.73	10+047.968	5.60
10+382.102	3.40	8.66	10+069.968	6.00
10+412.102	3.40	10.93	10+091.968	6.15
10+442.102	3.40	11.93	10+113.968	6.00
10+472.102	3.40	12.37	10+134.010	6.50
10+502.102	3.40	13.56	10+157.378	5.50
10+532.102	3.40	15.12	10+187.378	6.20
10+562.102	3.40	11.25	10+212.378	6.50
10+592.102	3.40	12.00	10+242.378	6.50
10+620.502	3.40	19.50		
10+644.381	3.40	19.50		
10+666.381	3.40	19.80		
10+888.381	3.40	20.50		
10+710.381	3.40	22.50		
10+732.381	3.40	26.50		
10+754.381	3.40	26.50		
10+774.502	3.40	33.50		

Zona oeste del incidente

Zona este del incidente

Ref: PMDF-12-MS-612155-IV-0006-01606-P-AB

Figura IV.1.21 - Detalles de la cimentación en la zona de falla



Ref: PMDF-12-MS-612155-IV-0006-01606-P-AB

- h) La inspección visual de la superficie del riel (en el área inspeccionada) no reveló defectos importantes y se observó en estado normal, de acuerdo con la condición del paso de los trenes. El personal de STC confirmó que se realizan actividades diarias de mantenimiento preventivo. Las actividades de mantenimiento preventivo son parte de un plan de mejora de la línea que se desarrolló luego de que se identificaron fallas y defectos, posterior al período de operación inicial entre 2012 y 2014. No se observaron problemas geométricos importantes para la sección de la vía inspeccionada.

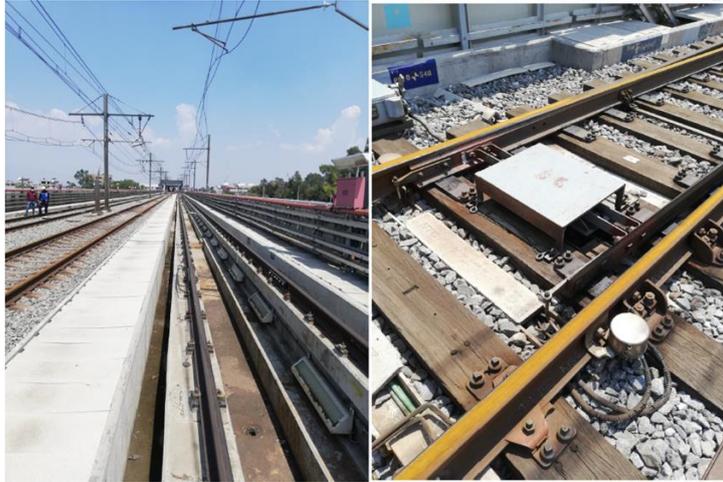
Figura IV.1.22 - Detalles de la superficie del carril



Visita al sitio del incidente

Se observó que los componentes de la vía, como los gabinetes y los motores de interruptores, estaban en buenas condiciones.

Figura IV.1.23 - Componentes de la pista



Visita al sitio del incidente

También se realizó una inspección visual del balasto, observando que algunas rocas del mismo han adquirido una apariencia más redonda (quizás debido al desgaste).

La mayor parte del balasto observado parece adecuado para su propósito, proporcionando asentamiento y absorbiendo la vibración de la interfaz rueda-carril.

Figura IV.1.24 – Detalle de Balasto



Visita al sitio del incidente

Los componentes del carril asociados con el subsistema de señalización se observaron en condiciones normales de operación.

Figura IV.1.25 - Detalles de los componentes de la pista

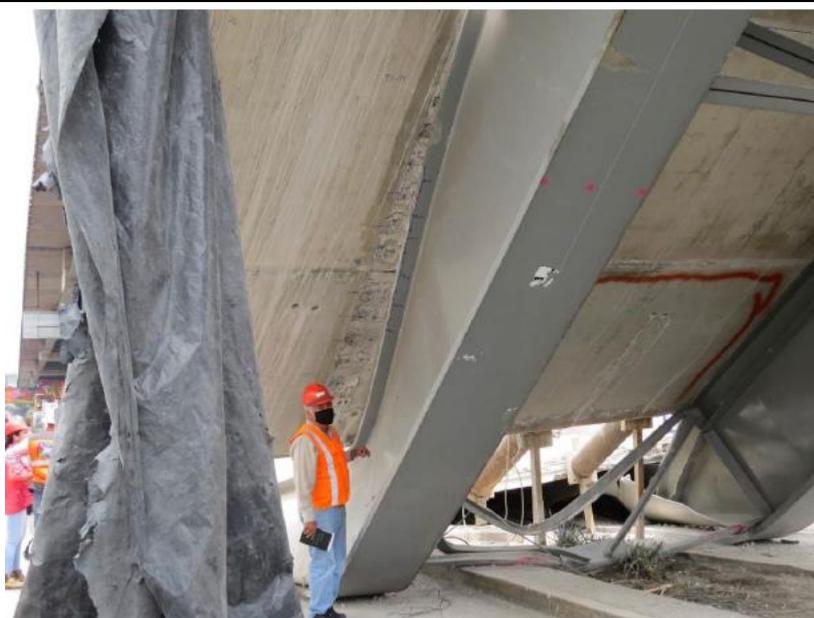


Visita al sitio del incidente

-
-
- i) Derivado de la evaluación estructural en el lugar del incidente, se identificó que el puente colapsó aproximadamente en la mitad del tramo, próxima a la ubicación donde una pequeña trabe diagonal procedente de la tercera trabe se une a la trabe principal, en el lado norte. Resultando del colapso, el puente se fracturó en dos secciones: sección oeste y sección este, permaneciendo la sección oeste tendida en el suelo y la sección este parcialmente apoyada con un extremo en la parte superior de la columna de soporte 12, y el otro extremo en contacto con el suelo.

Durante la inspección visual de las dos traves de acero principales de la sección este, se observó que dichas traves no se encontraron tan deformadas como las de la sección oeste.

Figura IV.1.26 - Parte este del puente colapsado



Visita al sitio del incidente

En relación a lo anterior, se observó la deformación en el alma y la fractura en el patín inferior. Dicha fractura se ubicó por encima de la soldadura de filete que une el alma al patín (ver imagen abajo).

Figura IV.1.27 - Trabe de acero principal, lado sur de la parte oeste



Visita de sitio del accidente

V.2 Proceso de obtención de pruebas y solicitud de documentos

La recolección de evidencia utilizando documentos asociados con el diseño, construcción, operación y mantenimiento de un componente o sistema es una parte importante de cualquier investigación de incidentes. El objetivo de la recopilación de pruebas es establecer un cronograma de eventos y facilitar la identificación de las causas subyacentes.

En la reunión de inicio de la investigación realizada en las oficinas de la SGIRPC durante la semana del 14 de mayo de 2021, SGIRPC y DNV establecieron el proceso de comunicación para solicitar y recibir información. Este proceso se ilustra en la figura IV.2.1.

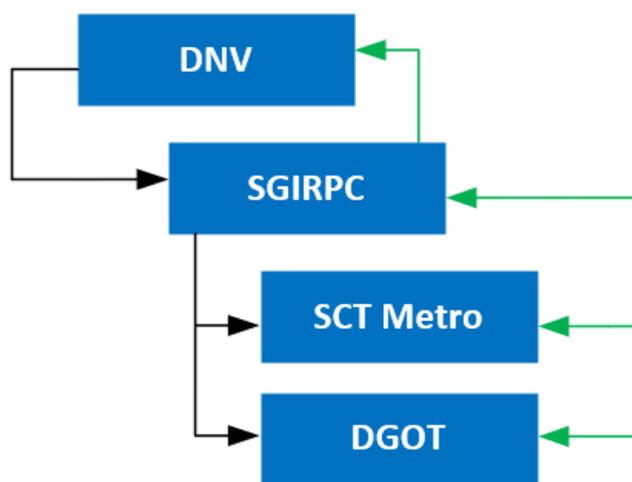


Figura IV.2.1 Acuerdo para solicitudes de información

DNV ha identificado los documentos requeridos para la realización del ACR, y ha solicitado los documentos de acuerdo con el proceso descrito anteriormente. En el Apéndice C de este reporte se incluye una lista con los documentos solicitados y la información contenida en ellos.

Existe una gran cantidad de documentos relacionados con el diseño, la construcción, el mantenimiento y la operación del L12, los cuales se almacenan principalmente en formato impreso. DNV ha trabajado con las autoridades para obtener la información de la manera más oportuna posible.

V.3 Entrevistas a testigos

Los especialistas de DNV realizaron entrevistas con el personal del STC, siguiendo una agenda sugerida y una serie de tópicos generales para entender el funcionamiento del STC así como las principales responsabilidades e interacción entre las áreas de la organización. Todas las entrevistas realizadas se llevaron a cabo en las instalaciones del STC (sede de Ingeniería y Desarrollo Tecnológico) con la asistencia de representantes de SGIRPC.

Los objetivos de las entrevistas fueron recolectar información sobre la organización del STC y el funcionamiento de L12 incluyendo su confiabilidad, disponibilidad, operación, mantenimiento y sistemas de seguridad.

La Tabla IV.3-1 enumera los nombres del personal clave entrevistado por DNV. Los puntos clave de las declaraciones de los entrevistados se incorporarán a la evaluación del ACR.

Tabla V.3-1

Lista de personal entrevistado por DNV

Name	Role	Company
Joel Álvaro Carmona Callejo	Dirección de Ingeniería y Desarrollo Tecnológico	STC
Danieo Guerra Maranto	Gerencia de Sistemas e Investigación de Incidentes	STC
Omar Moya Rodríguez	Gerencia de Instalaciones Fijas	STC
Alejandra Flores Saldívar	Gerencia de Obras y Mantenimiento	STC
Roberto Clemente Ángeles Mendoza	Dirección de Mantenimiento de Material Rodante	STC
Fermín Rafael Ramírez	Subgerencia de instalaciones mecánicas y vías	STC
Benito Decebal Chávez Gaftoi	Coordinador de vías III	STC
Luis Aranda Terrones	Gerencia de Seguridad Institucional	STC
Javier Alejandro Viñolo Uriarte	Representante técnico	CAF
Rodrigo García Flores	Operador de Tren	STC
Ma. Isabel Lira Aguilar	Regulador de PCC de transportación	STC
Hugo Medrano Sosa	Insp. Jefe de estación de transportación los Olivos	STC
Jorge Patiño Martínez	Insp. Jefe de estación de transportación los Tezonco	STC

El proceso de entrevistas a personal involucrado sigue activo, y DNV continuará realizando entrevistas a personal relevante. Derivado de las mismas se están solicitando evidencias adicionales de documentación para ser evaluadas.

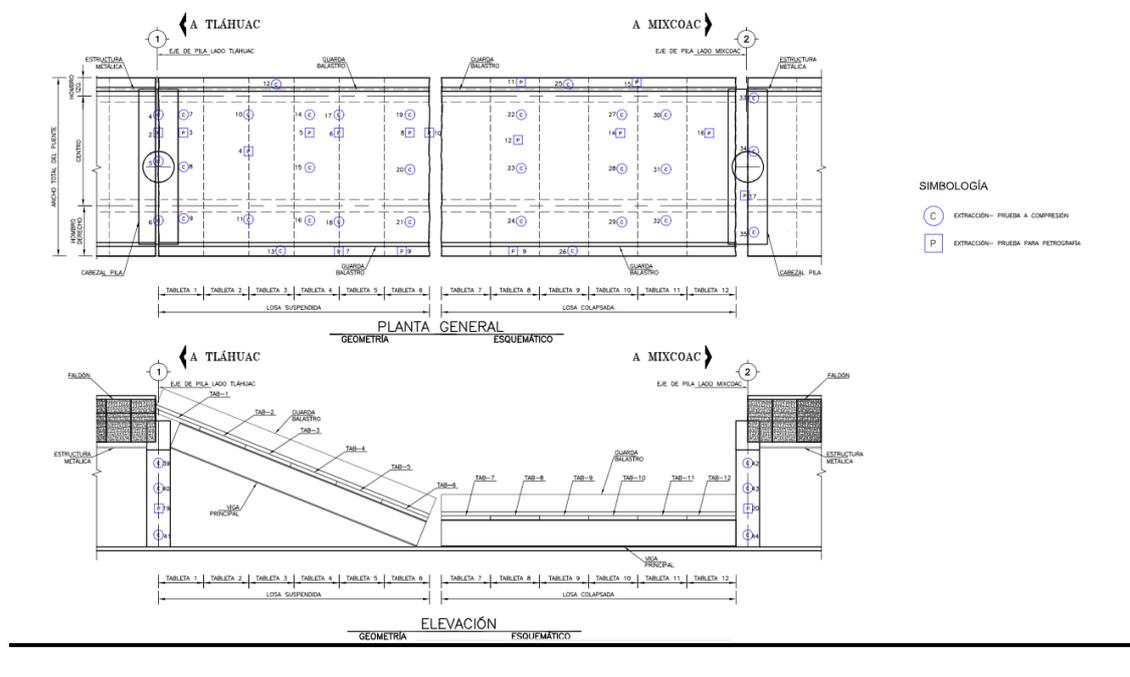
V.4 Datos de muestreo de concreto

Como parte del proceso de investigación, y una vez que se finalizó el retiro del balasto, uno de los expertos en concreto de DNV realizó una serie de visitas al sitio para establecer el número, tipo y ubicación de las muestras a obtener, las cuales permitirán conocer las características y propiedades del concreto para su inclusión en el análisis a realizar.

V.4.1 Muestras de Concreto

DNV identificó un total de 52 ubicaciones para la obtención de los núcleos de concreto. El siguiente esquema muestra las ubicaciones identificadas:

Figura IV.4.1.1 Dibujo esquemático de la ubicación de los núcleos de concreto



El 19 de mayo de 2021, el Laboratorio de Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil comenzó con el marcado de la ubicación de los núcleos de concreto a muestrear. El 20 de mayo de 2021 se inició el proceso de extracción de dichos núcleos, y la actividad se completó el 25 de mayo de 2021 después de haber extraído 52 núcleos de concreto.

Figura IV.4.1.2 Proceso de núcleos de concreto



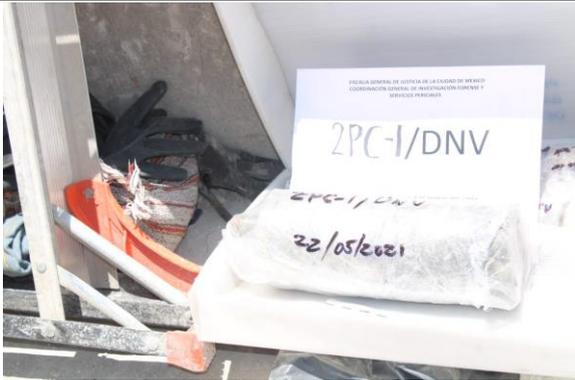
Instalación del equipo extractor de núcleos



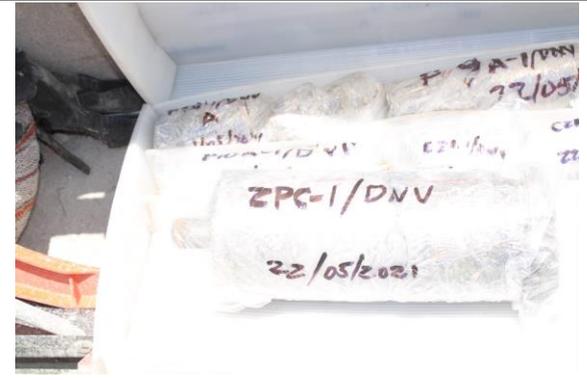
Progreso de la extracción de núcleos de concreto

Todas las etapas de la toma de muestras, desde el marcado hasta la extracción y traslado al laboratorio, fueron atestiguadas y registradas por la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México, quien estuvo a cargo de establecer y mantener la cadena de custodia de las muestras de concreto.

Figura IV.4.1.3 Cadena de custodia



Clasificación y etiquetado de los núcleos de concreto



Embalaje y almacenamiento de los núcleos de concreto

Como parte de la cadena de custodia, representantes de la Fiscalía General de Justicia (FGJ) de la Ciudad de México, permitieron el traslado de las muestras a laboratorio y observaron y documentaron el proceso de pruebas de compresión, la obtención del módulo de elasticidad y pruebas petrográficas, actividades que se realizaron en las instalaciones del laboratorio.

Figura IV.4.1.4 Pruebas de compresión de laboratorio



Desembalaje de los núcleos de concreto en el laboratorio de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil



Ejemplo de preparación del núcleo de concreto (después del corte, secado y pulido del núcleo)



Núcleo de concreto antes de la prueba de compresión



Núcleo de concreto después de la prueba de compresión

Las pruebas de petrografía están a cargo del Laboratorio Petroanálisis Ingeniería, S. de R.L. de C.V.

Figura IV.4.1.5 Ensayos Petrográficos



Desembalaje de los núcleos de concreto en el Laboratorio de Petroanálisis Ingeniería



Proceso de corte de las muestras



Ejemplo de muestra - Espesor ~ 30 micrones

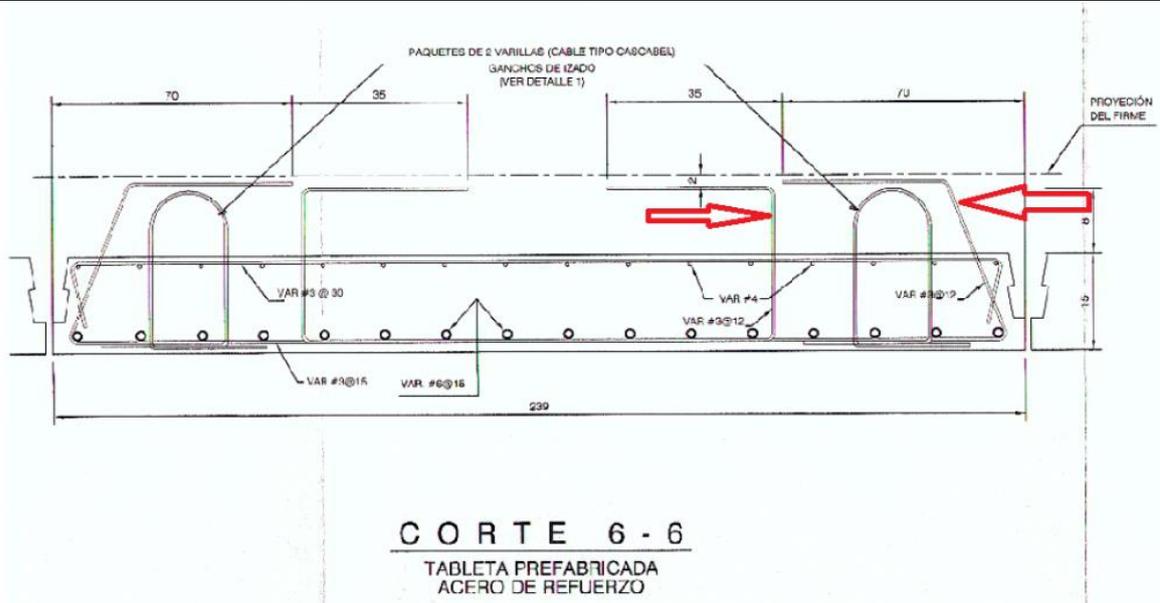


Proceso del análisis con microscopio óptico

V.4.2 Muestras de acero de refuerzo

DNV identificó un total de 15 muestras de acero de refuerzo, también denominadas varillas metálicas, para la prueba de resistencia a la tensión. Las ubicaciones para la toma de estas muestras se indican en el siguiente esquema:

Figura IV.4.2.1 Esquema de las muestras de acero de refuerzo



Desarrollado en escritorio

El 8 de junio de 2021, expertos de DNV visitaron el almacén de Tláhuac para obtener las muestras de concreto armado de las losas de concreto prefabricado. Todas las actividades fueron atestiguadas y documentadas por los representantes de la Fiscalía General de Justicia de la Ciudad de México.

Figura IV.4.2.2 Extracción de muestras de varillas



Extracción y corte de muestras de acero en el almacén de Tláhuac

V.4.3 Datos de muestreo de estructura metálica

Otro de los temas de interés que se abarcan en este proyecto, es la investigación de las propiedades y características de los elementos que forman la estructura metálica.

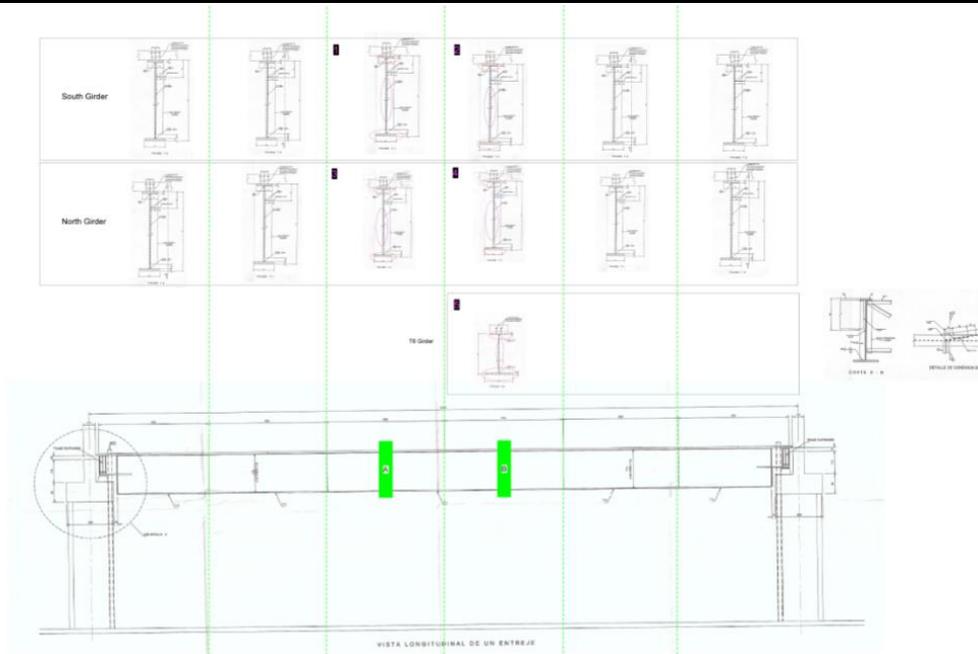
Como parte del análisis metalúrgico, los expertos de DNV identificaron las vigas principales que conforman la trabe sur, trabe norte y trabe de bifurcación, las cuales están constituidas de acuerdo con lo siguiente:

- Trabe Sur: T-2/ T-3/ T-1/ T-1/ T-3/ T-2, en la que la sección T-1 ubicada en el lado oeste fue la trabe que sufrió la mayor deformación y roturas en el lado sur.
- Trabe Norte: T-3/ T-1/ T-7/ T-7/ T-1/ T-3, en la que la sección T-7 ubicada en el lado oeste fue la trabe que sufrió la mayor deformación y roturas en el lado norte.
- Trabe de Bifurcación o Vía en "Y": T-6, que presentó una fractura en el alma, ubicada en la unión de la placa de refuerzo de la T-7 y deformación general en su longitud.

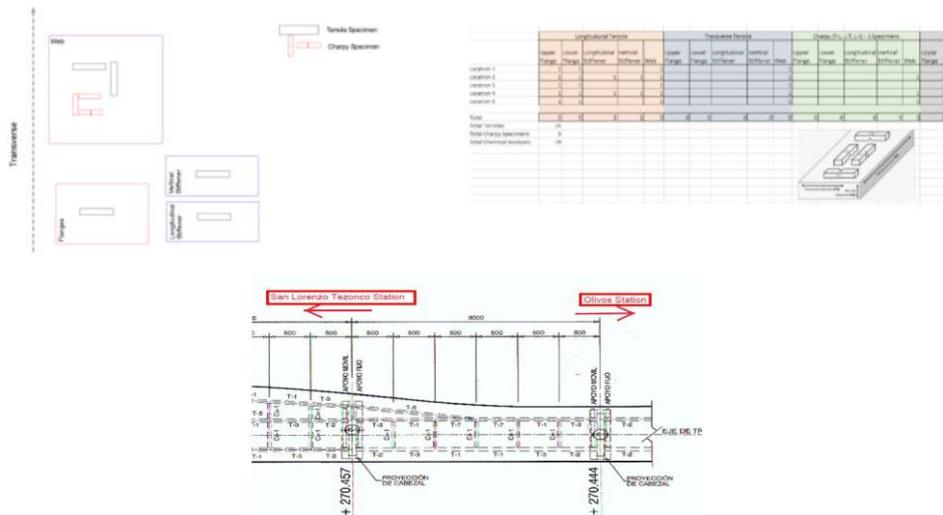
Con la identificación de las zonas más dañadas de cada sección de trabe, se elige la obtención de 19 muestras (correspondientes a 5 secciones de patín superior, 5 secciones de patín inferior, 5 secciones de alma, 2 muestras de atiesador longitudinal y 2 muestras de atiesador transversal), las cuales ya fueron cortadas e identificadas para su transferencia de custodia al laboratorio de acuerdo con el esquema que se muestra más adelante. Las muestras de acero se analizarán para evaluar los esfuerzos de tensión tanto en los patines (superior e inferior) como en el alma, refuerzo longitudinal y refuerzo vertical de las siguientes trabes: tres muestras en cada trabe (T-1, lado este y lado oeste, T-6 y T-7, lado este y

oeste), así como para pruebas de impacto y análisis químico; y cuatro pernos Nelson para pruebas de fractografía, microdureza y metalografía (aún pendientes por analizar).

Figura IV.4.3.1 Ubicaciones para pruebas mecánicas de componentes de acero



Dibujos esquemáticos de las ubicaciones de cada muestra de acero



Descripción de las muestras requeridas en cada patín, alma y trabe

Además de las actividades descritas anteriormente, DNV ha considerado realizar las siguientes pruebas: una prueba no destructiva en las soldaduras de penetración completa en el patín superior y el alma de las traveses T-1 y T-7, y en la unión de soldadura de filete entre alma y patines de las traveses T-1 y T-7.

VI. HALLAZGOS PRELIMINARES EN LA FASE I

Lo anterior, nos permite plantear de forma preliminar que el incidente fue provocado por una falla estructural, asociada al menos a las siguientes condiciones identificadas hasta ahora:

Deficiencias en el proceso constructivo:

- Proceso de soldadura de los pernos Nelson,
- Porosidad y falta de fusión en la unión perno – trabe,
- Falta de pernos Nelson en las trabes que conforman el conjunto del puente,
- Diferentes tipos de concreto en la tableta,
- Soldaduras no concluidas y/o mal ejecutadas,
- Supervisión y control dimensional en soldaduras de filete.

Daños observados:

- Deformación de las trabes del lado poniente en secciones T-1, T-7 y T-6, sobre patines y almas que las conforman,
- Roturas en almas de las trabes T-1 y T-7 del lado poniente, con sistemas de contraventeo (perfiles de ángulo) y sus placas de conexión.

Derivado de la revisión física y documental:

- Operativamente la Línea 12 venía trabajando en condiciones normales, de acuerdo con sus protocolos o programas de traslados y como parte de sus actividades preventivas, se cuenta con las evaluaciones de condición de ruedas metálicas.
- Los componentes de las vías, rieles, gabinetes y motores de interruptores se observan en condiciones normales, cumpliendo con los protocolos de mantenimiento rutinario, de acuerdo con la inspección visual en el área analizada.
- DNV está en proceso de revisión de la información complementaria, relacionada con posibles reparaciones y rehabilitaciones realizadas posteriores a la construcción.
- DNV está en proceso de revisión de la información complementaria, relacionada con el impacto de la operación cotidiana sobre la estructura.



VII. ACTIVIDADES A SEGUIR

Una vez concluido el dictamen preliminar correspondiente con la fase I, DNV procederá con las siguientes actividades para la elaboración del dictamen final acordado en el Anexo 1:

- DNV continuará revisando los planos de construcción (As-built) del tramo y realizará cálculos para determinar las discrepancias entre diseño y construcción que ya hayan sido identificadas y sus posibles consecuencias.
- DNV supervisará las pruebas y análisis destructivos de las muestras extraídas (concreto y acero) para confirmar el cumplimiento de la especificación de los materiales utilizados en la construcción.
- DNV supervisará las pruebas y análisis destructivos en la posible falla principal (considerada única e irrepetible) para determinar si hay evidencia que indique que se aplicó una condición de carga inusual al sistema, como lateral-torsional, que puede inducir el pandeo de las vigas de acero.



VIII. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A LA FECHA

DNV continuará con la revisión de las evidencias documentales y de partes en los diferentes procesos a efectos de determinar la relevancia de cada uno de dichos hallazgos, así como su contribución con el incidente considerando las siguientes líneas de investigación:

- ¿El diseño ha sido apropiado para el sistema de la L12?
- ¿Cumplieron los materiales de construcción con lo requerido por el diseño?
- ¿Cumplió la ejecución de la construcción con lo requerido por el diseño?
- Otros factores posiblemente contribuyentes, tales como: operación, reparaciones y rehabilitaciones.

ANEXO A

Descargos de Responsabilidad

1. Copyright ©DNV 2021. Todos los derechos reservados. \

2. LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO DE DNV GL MÉXICO S. DE R.L. DE C.V. ("DNV") SE BASÓ EN EL ACCESO Y EL DERECHO A INSPECCIONAR TODOS LOS SITIOS E INSTALACIONES PERTINENTES Y EN EL SUMINISTRO DE DOCUMENTACIÓN E INFORMACIÓN PERTINENTES Y COMPLETOS Y CORRECTOS, COMO SE DETALLA EN EL ANEXO C DEL ENTREGABLE / INFORME. NO HA FORMADO PARTE DEL TRABAJO IDENTIFICAR DISCREPANCIAS, ERRORES, INCONSISTENCIAS U OMISIONES EN LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR LA SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS Y PROTECCIÓN CIVIL ("LA SGIRPC"), "LA SGIRPC" ES RESPONSABLE DE LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA DURANTE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO Y DNV HA CONFIADO EN LA EXACTITUD E INTEGRIDAD DE DICHA INFORMACIÓN PARA EL DESEMPEÑO DE LOS TRABAJOS.

3. TODOS LOS ENTREGABLES PROPORCIONADOS POR DNV SE BASAN EN LA INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR "LA SGIRPC", COMO SE ESTABLECE EN EL ANEXO C, HASTA LA FECHA DE LA MISMA EMISIÓN. "LA SGIRPC" RECONOCE Y ACEPTA QUE EL RESULTADO DE LA OPINIÓN Y ANÁLISIS ENTREGADOS POR DNV SON VÁLIDOS ÚNICAMENTE EN EL MOMENTO DE EMISIÓN DEL ENTREGABLE. DNV SE RESERVA EL DERECHO DE MODIFICAR O COMPLEMENTAR EL ENTREGABLE EN CASO DE QUE SURJA NUEVA INFORMACIÓN.

4. "LA SGIRPC" SE ASEGURARÁ DE QUE, A MENOS QUE RECIBA PRIMERO EL CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DNV, "LA SGIRPC" (Y / O CUALQUIERA DE LAS PARTES QUE ACTÚAN EN SU NOMBRE) NO: (I) ALTERARÁ EL CONTENIDO, EL CONTEXTO O EL IDIOMA ORIGINAL DE CUALQUIER ENTREGABLE, (II) DISTRIBUIRÁ UN ENTREGABLE (O CUALQUIER PARTE DE ÉL) EN UN SITIO WEB PÚBLICO, EXCEPTO POR LO ESTABLECIDO EN LA LEY DE TRANSPARENCIA, ACCESO A LA INFORMACIÓN PÚBLICA Y RENDICIÓN DE CUENTAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO, O (III) DISTRIBUIRÁ UN ENTREGABLE (O CUALQUIER PARTE DEL MISMO) A TERCEROS PARA OBTENER BENEFICIOS O INTERCAMBIO DE CUALQUIER FORMA DE REMUNERACIÓN DIRECTA O INDIRECTA O DE FINALIDAD COMERCIAL SIMILAR. DNV NO ASUME NINGÚN DEBER DE CUIDADO CON NINGÚN TERCERO, Y SOLO "LA SGIRPC" (Y NINGUNA OTRA PARTE) PUEDE CONFIAR EN LOS ENTREGABLES. SE PROHIBE LA REFERENCIA A TODOS O PARTE DE LOS ENTREGABLES QUE PUEDAN DAR LUGAR A UNA INCORRECTA INTERPRETACIÓN.

ANEXO B

DNV en Breve

DNV es el experto independiente en gestión de riesgos y garantía de calidad, que opera en más de 100 países y con 12.000 empleados. A través de su amplia y profunda experiencia, DNV promueve la seguridad y el desempeño sostenible, estableciendo puntos de referencia en la industria e inspira y creando soluciones para los retos de la industria. Desde 1864, nuestro propósito ha sido salvaguardar la vida, la propiedad y el medio ambiente.

Somos la sociedad de clasificación líder en el mundo y un asesor reconocido para la industria marítima. Brindamos servicios de prueba, certificación y asesoramiento técnico de renombre mundial para la cadena de valor de la energía, de petróleo y gas y la gestión de la energía. DNV es uno de los organismos de certificación líderes en el mundo y ayuda a las empresas a garantizar el desempeño de sus organizaciones, productos, personas, instalaciones y cadenas de suministro.

Un área importante dentro de nuestra asesoría técnica es el análisis de fallas y la investigación de fallas. DNV tiene laboratorios especializados para estos hitos en Noruega (Oslo y Bergen), Reino Unido (Loughborough y Spadeadam), Singapur y EE. UU. (Columbus, OH). DNV ha realizado miles de investigaciones, la mayoría relacionadas con falla de materiales (fallas estructurales). Cualquier investigación emprendida se basará en esta gran experiencia para interpretar las observaciones, pero también para establecer un buen enfoque. Los laboratorios de DNV que realizan pruebas de integridad estructural prueban todo, desde muestras a pequeña escala hasta pruebas a gran escala de hasta 2900 toneladas y pruebas de explosión. Además, DNV ha desarrollado códigos líderes relacionados con el diseño estructural, la fatiga y tiene experiencia destacada en la industria en estructuras de hormigón y acero.

Una investigación de fallas más amplia puede requerir un análisis de causa raíz (RCA) para identificar debilidades o brechas dentro de un sistema de gestión. Un análisis de la causa raíz puede ayudar a definir mejoras de diseño y manufactura, acciones correctivas, prevenir la recurrencia y ahorrar costos en el futuro. DNV proporciona una investigación independiente utilizando expertos familiarizados con las principales técnicas de accidentes, tecnologías complejas y entornos difíciles o desafiantes. Nuestra Técnica de Análisis de Causa Sistemático basada en Barreras (BSCAT) combina el análisis de la causa raíz del evento y técnico tradicional con la evaluación de riesgos, así como la moderna basada en barreras. Nuestros expertos pueden aplicar esta metodología en muchas industrias.

DNV ha realizado muchas y diversas investigaciones a lo largo de los años, que incluyen:

- Incendios y explosiones
- Fallas en sistemas de transmisión o distribución de energía eléctrica
- Descarrilamientos ferroviarios
- Hundimiento de plataformas flotantes de almacenamiento y descarga.
- Incidentes en transporte marítimo
- Fallas por corrosión complejas
- Turbinas de viento
- Plantas industriales

- 
- Oleoductos terrestres y costafuera.
 - Análisis de fallas de trenes y DNV están realizando actualmente proyectos relacionados con el monitoreo en tiempo real de trenes con grietas y vagones de metro con mala soldadura
 - Los proyectos de análisis de fallas relacionados con la estructura de puente prueban periódicamente los componentes nuevos y usados para la calificación y la extensión de la vida útil.

Ejemplos de investigaciones de accidentes importantes:

- Explosión y derrame de petróleo de la plataforma Deepwater Horizon, investigación forense, Golfo de México de los Estados Unidos, 2010
- Accidente en Plataforma de Pemex en 2019
- Accidente en Planta Petroquímica, Monterrey, México, 2020
- Explosión química en Iqoxe, Tarragona, España, 2020
- Fallo estructural en una plataforma Jack-Up Auto-elevable, Singapur
- Investigación de fallas de pilares rotos en plataformas, confidencial 2013

ANEXO C - EVIDENCIA DOCUMENTAL SELECCIONADA PARA ANALISIS

TRANSF.	CAJA	ARCHIVADOR	SECCIONES	DESCRIPCIÓN		DESCRIPCIÓN
T-18	24	20	OLIVOS-SAN LORENZO	Planos	-	
T-18	24	19	LOS OLIVOS-SAN LORENZO	Memoria de cálculo para cimentación en zona de roca	-	
T-18	24	23	TRAMO LOS OLIVOS-SAN LORENZO	Planos	-	
T-25	E.U.F. 8.07 C0 01 T.2.022 2009 83	142 82	Planos tipo	DGPM-09-EST-612000-III-0010-00183-P-01 DGPM-09-EST-612000-III-0010-00813-P-01	Tramo Elevado. Solución Metálica Planta 6+447.600 hasta 14+494.739 Nota: Los gálibos no corresponden (1.10 de rasante a NPT de andador; 66.8 de rasante a subrasante.	
T-25	E.U.F. 8.07 C0 01 T.2.022 2009 83	142 82	Planos tipo	DGPM-09-EST-612000-III-0010-00184-P-00 DGPM-09-EST-612000-III-0010-00814-P-00	Tramo Elevado Solución Metálica. Trabes y Detalles. Revisar Vista C-C, Unión entre Tramos T-2, T-3 o T-3, T-1	
T-25	E.U.F. 8.07 C0 01 T.2.022 2009 83	142 82	Planos tipo	DGPM-09-EST-612000-III-0010-00184-P-01 DGPM-09-EST-612000-III-0010-00814-P-01	Tramo Elevado Solución Metálica. Trabes y Detalles. Revisar Vista C-C, Unión entre Tramos T-2, T-3 o T-3, T-2	
T-25	T-25	43	90	Planos	Estructuras Tramo Los Olivos-San Lorenzo Tezonco y San Lorenzo Tezonco- Periférico Oriente	Estructura para cajas de válvulas, memoria de cálculo estructural para cajas de válvulas, dimensionamiento armado de zapatas,

						cimentación compensada
T-25	T-25	43	108	Planos	Mecánica de suelos Tramo Los Olivos-San Lorenzo Tezonco y San Lorenzo Tezonco- Periférico Oriente y Periférico Oriente - Calle 11	Procedimientos constructivos excavación de zanjas, memoria de cálculo del estado límite de falla para cimentación parcialmente compensada con pilotes de fricción
T-25 18	T-25 18	1	114	Planos	Anteproyecto: Proyecto Geométrico	Proyecto Geométrico tramo los Olivos- San Lorenzo Tezonco
T-143	T-143	*51	13 de 26	Proceso de concurso	Circular modificatoria y aclaratoria No.6 y No.7	*Ficha técnica del material rodante folio 071 a 078 *Especificación técnica funcional de un equipo detector de desgaste de ruelas metálicas para el taller Tláhuac *Especificaciones del CCVT de la línea 12. Debe grabar imágenes a razón de 15 cuadros por un periodo de 7 días. Ver folio 245 a 333
T-143	T-143	*51	14 de 26	Proceso de concurso	Circular modificatoria y aclaratoria No.7	Especificación técnico funcional del sistema de mando centralizado +registro de averías e incidentes, así como bitácora diaria folios , 183 y 195
T-143	T-143	*51	15 de 26	Proceso de concurso	Circular modificatoria y aclaratoria No.7	Especificación funcional para la fabricación de durmientes de concreto para equipar las vías folios 383 a 440
T-143	T-143	*51	16 de 26	Proceso de concurso	Circular modificatoria y aclaratoria No.7	Especificación técnica para la ejecución de los trabajos de vía férrea clásica, contraríeles, durmientes, almohadillas acanaladas entre riel y durmiente, tornillos y

						tuercas, planchuelas metálicas para riel y aparatos de cambio de vía, rieles de acero no tratado calibre 115 LB/YD R.E. Folio 01 al 237
T-18	T18 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022 (Convenio 1 Modificatorio)	P1 C-23, 30, 52-54	22	OLIVOS-SAN LORENZO	Memoria ante proyecto de Perfil de Línea 12 Memoria ante proyecto de trazo de la Línea 12 Bases de Diseño del Proyecto Estructural en Tramo Elevado Memoria de cálculo para cimentación	
T-18	T18 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022 (Convenio 1 Modificatorio)		30	OLIVOS-SAN LORENZO	Análisis de la Información de la estación Olivos Planos de Infraestructura Hidráulica y proyecto ejecutivo de desvío de tuberías de 12" de diámetro de agua potable (Olivos-San Lorenzo)	
T-18	T18 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022 (Convenio 1 Modificatorio)		53	OLIVOS-SAN LORENZO	Estudios Geotécnicos	

T-18	T18 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022 (Convenio 1 Modificatorio)	P1 C-23, 30, 52-54	57	OLIVOS-SAN LORENZO	Diseño de cimentación de columnas en zona de roca Cálculo de trabe cajón tramo elevado	
T-18	T18 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022 (Convenio 1 Modificatorio)		66	OLIVOS-SAN LORENZO	Planos de Planimetría Olivos-San Lorenzo Planos de Planimetría con infraestructura urbana	
T-18	T18 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022 (Convenio 1 Modificatorio)		67	OLIVOS-SAN LORENZO	Bancos de Nivel con elevaciones restituidas Olivos-San Lorenzo Tezonco Planos de Perfil Longitudinal Olivos-San Lorenzo Planos de secciones transversales Olivos-San Lorenzo	
T-33	T-33 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022	S/N	8/10	Lista de Pendientes L-12 Trabajos mal ejecutados de obra civil	Folio 0349-0350 Folio 0377-0378	
T-27	T-27 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022 2010		64	Expediente único de Finiquito. Dirección de Diseño de Obras Civiles	Folio 000015-000034 y 000035-000054 Memoria de Cálculo Estructural, Solución trabe metálica de 30m	

T-27	T-27 Contrato No 8.07 CO 01 T.2 022	S/N	70	Expediente único de finiquito	Folio 001 Plano tipo PMDF-09-EST- 612000-III-0052- 24217-P-02	Tramo Elevado Solución Metálica y Concreto (Losa y colado con tres conectores)
T-27	T-27 Contrato No 8.07 CO 01 T.2 022	S/N	70	Expediente único de finiquito	Folio 006 Plano tipo PMDF-09-EST- 612000-III-0053- 24218-P-01	Tramo Elevado Solución Metálica y Concreto Detalles
T-27	T-27 Contrato No 8.07 CO 01 T.2 022	S/N	70	Expediente único de finiquito	Folio 005 Plano tipo PMDF-09-EST- 612000-III-0053- 24218-P-00	Tramo Elevado Solución Metálica y Concreto
T-27	T-27 Contrato No 8.07 CO 01 T.2 022	S/N	71	Expediente único de finiquito	Folio 021-027 Boletín para la solución de las cuñas de ajuste para el montaje de las trabes metálicas en conexión con el cabezal (28 de junio 2010)	
T-27	T-27 Contrato No 8.07 CO 01 T.2 022	S/N	71 72	Expediente único de finiquito	Folio 014-039 Especificación	Especificaciones particulares para la construcción y montaje de estructuras de acero.
T-27	T-27 Contrato No 8.07 CO 01 T.2 022	S/N	72	Expediente único de finiquito	Folio 048-052 Boletín Folio 053-061 Boletín (Cambios)	Placa para junta constructiva entre tabletas de ajuste en cabezal.
T-27	T-27 Contrato No 8.07 CO 01 T.2 022	S/N	94	Expediente único de finiquito	Folio 017 Plano PMDF-09-EST- 612155-III-0020- 03402-P-00 Folio 018 Plano PMDF-09-EST- 612155-III-0020- 03402-P-01	Tramo Elevado Trabes y Detalles (Tramo en Y) Los Olivos-San Lorenzo Tezonco

T-27	T-27 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022	S/N	95	Expediente único de finiquito	Folio 001 Plano PMDF-09-EST- 612155-III-0020- 03402-P-02 Folio 002 Plano PMDF-09-EST- 612155-III-0020- 03402-P-01	Tramo Elevado Trabes y Detalles (Tramo en Y) Los Olivos-San Lorenzo Tezonco
T-27	T-27 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022	S/N	155	Expediente único de finiquito	Folio 054-061 Boletín	Fundamentación Técnica sobre distancia de reubicación de la estación San Lorenzo Tezonco de la L-12
T-64	T-64 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022	S/N	213	Planos As-Built L-12	Folio 0143 CD 04, carpeta 612155 Olivos-Tezonco	Planos As Built en digital de estructura Olivos- Tezonco
T-35	T-35 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022	S/N	110	Mecánica de suelos	Manual de Mantto. PMDF-12-MM- 612000-III-0001- 53733-D-02 Folio 0472-0480	Mantenimiento Tramo Elevado con Estructuración Metálica
T-35	T-35 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022	S/N	111	Mecánica de suelos	Manual de Mantto. PMDF-12-MM- 612000-III-0001- 53733-D-02 Folio 001-015, 081-100, 139-150	Mantenimiento Tramo Elevado con Estructuración Metálica
T-62	T-62 Contrato No 8.07 C0 01 T.2 022	S/N	354	Dossier de Calidad de Estructura Metálica	Apoyos 107 al 108 Vía "Y" CAD: 10+272.379 al 10+297.102 pestaña naranja 14 Folio 0118-0331	Carta validación de estructura Plan de inspección de prueba Recepción y certificado de materiales Fabricación de elementos, Inspección por ultrasonido y Líquidos penetrantes y mapeo Mapeo de soldadura Inspección visual y dimensional



						Reporte de piezas liberadas Reporte fotográfico
T-137		744	Reporte de Aseguramiento de Calidad - del 1 al 30 de Abril (Fase I)	<p>6.- Nopalera - Olivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tabla de resumen de control de concreto de concreto $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$. - Gráfica de Control de resistencia de concreto - Tabla de resumen de control rellenos y pavimentos. <p>7.- Olivos - San Lorenzo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tabla de resumen de control rellenos y pavimentos - Tabla de resumen de control de concreto de concreto $f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$. - Gráfica de Control de resistencia de concreto -Tabla de resumen de control de concreto de concreto $f'c =$ 	Relevante	

				300 kg/cm². - Gráfica de Control de resistencia de concreto - Tabla de resumen de control de concreto de concreto $f'c = 1500 \text{ kg/cm}^2$. - Tabla de resumen de control de concreto de concreto $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$.		
T-137		746	Reporte de Aseguramiento de Calidad - del 1 al 30 de Abril (Fase II)	12.- Planta de Dovelas - Tabla de resumen de control de concreto de concreto $f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$ - Gráfica de Control de resistencia de concreto - Certificados de calidad	Relevante	
			Reporte de Aseguramiento de Calidad - del 1 al 31 de Mayo (Fase II)	14.- Planta Dovelas - Tabla de resumen de control de concreto de concreto $f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$	Relevante	

				- Gráfica de Control de resistencia de concreto		
T-159	S/N	Libro CLXV	T-159	Bitácora 32/tramo CARSO/frente ZAPOTITLAN-TEZONCO	Nota No. 1202 de fecha 07 abril 2012, folio No. 0003	Indica que hubo un sismo el día 20 de marzo de 2012
T-56	S/N		T-56	Bitácora 32/tramo CARSO/frente ZAPOTITLAN-TEZONCO	Nota No. 1217 de fecha 08 junio 2012, folio No. 0009	La nota indica a la contratista que presente dictamen de los neoprenos que presentaron deformaciones fuera de tolerancia de proyecto, en los trabajos de cortes de misil en los apoyos móviles de los intertramos Olivos Tezonco.
T-56	S/N		T-56	Bitácora 32/tramo CARSO/frente ZAPOTITLAN-TEZONCO	Nota No. 1217 de fecha 25 junio 2012, folio No. 0011	Indica que se debe presente un dictamen por la reparación de fisuras en cabezales del intertramo Olivos Tezonco del apoyo 116 Cadenamiento 10 + 532.102 al apoyo 118 cadenamiento 10+592.102.
T-56	S/N	Libro 10	T-56	Bitácora 25	Nota No. 453 de fecha 26 junio 2010, folio No. 0022	con esta fecha se realizaron los trabajos de izaje y montaje de trabes metálicas de 30 m entre los apoyos 117 y 118 con cadenamiento 10+562.102 y 10+592.102 correspondientes al intertramo Los Olivos-San Lorenzo

T-56	S/N	Libro 10	T-56	Bitácora 25	Nota No. 496 de fecha 12 julio 2010, folio No. 0045	en atención a la nota No. 70 de fecha 28 de diciembre de 2009, se informa que las modificaciones al proyecto quedaron autorizadas mediante el boletín No. PMDF-09-EST-612100-111-0001-053001-B-00 y la Memoria No. PMDF-10-EST-612165-111-0001-01442-B-00, se entregaron copias de los mismos por este medio. Tomar referencia de los documentos anotados para buscarlos.
T-56		Libro 11	T-56	Bitácora 26/tramo CARSO/frente ZAPOTITLAN-SN. LORENZO TEZONCO	Nota No. 580 de fecha 20 de agosto 2010, folio No. 0040	supervisión indica a la contratista que en el apoyo 111 del intertramo Olivos-Sn. Lorenzo cadenamamiento 10+382 no se tiene el anclaje indicado en el proyecto, ya que en la revisión de la supervisión externa se detectó que dentro del cuerpo central del cabezal (diafragma) se tiene 10 varillas #12 (5 de cada lado), y el proyecto indica 20 varillas del #12 (10 de cada lado) y le requiere la solución autorizada a este punto y todos los trabajos quedan bajo responsabilidad del consorcio.

T-66		481	Dossier de Calidad de Estructura Concreto	<p>Olivos - Tezonco CAD: 10+157.378 al 10+242.378 - PMDF-09-EST-612155-III-0002-00888-P-01, Dimensionamiento y Armado de Zapata en Roca , 10+157.378 al 10+242.378 - PMDF-09-EST-612155-III-0001-02144-P-00, Zapatas Apoyadas sobre Pilas, 10+562.102 al 10+592.102 - PMDF-09-EST-612160-III-0003-01901-P-00, Zapatas Apoyadas sobre Pilas, Estación San Lorenzo Tezonco. - PMDF-10-EST-612160-III-0004-22391-P-00, Zapatas Apoyadas sobre Pilas, Estación San Lorenzo Tezonco - PMDF-09-EST-612155-III-0024-22215-P-00, Anclaje de Cabezal para Columna</p>	Relevante	
------	--	-----	-------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------	--



				<p>Circular (76 var)</p> <ul style="list-style-type: none">- PMDF-09-EST-612155-III-0021-03404-P-01, Zapatas Apoyadas sobre Pilas para Columnas del Tramo en "Y"- PMDF-09-EST-612155-III-0022-22213-P-00, Postensado en Cabezal para Columna Circular (76 var)- PMDF-09-EST-612155-III-0023-22214-P-00, Armado de Cabezal para Columna Circular (76 var)- PMDF-10-EST-612155-III-0025-22178-P-00, Postensado en Cabezal para el Tramo en la Vía en "Y"- PMDF-10-EST-612155-III-0026-22182-P-00, Armado de Cabezal para el Tramo de la Vía en "Y"- PMDF-10-EST-612155-III-0029-22177-P-00, Postensado en Cabezal para el Tramo		
--	--	--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--



				<p>de la Vía en "Y" (Zona de Bocina) - PMDF-10-EST-612155-III-0027-22183-P-00, Anclaje de Columna Cabezal para el Tramo de la Vía en "Y" - PMDF-10-EST-612155-III-0030-22179-P-00, Armado de Cabezal para el Tramo de la Vía en "Y" (Zona de Bocina) - PMDF-10-EST-612155-III-0031-22181-P-00, Anclaje de Columna a Cabezal para el Tramo de la Vía en "Y" (Zona de Bocina). - PMDF-10-EST-612155-III-0034-22220-P-00, Postensado en Cabezal para el Tramo de la Vía en "Y" (Zona de Bocina) - PMDF-10-EST-612155-III-0035-22221-P-00, Armado de Cabezal para Tramo de la Vía en "Y" (Zona de</p>		
--	--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--



				Cabecera) - PMDF-10- EST-612155-III- 0036-22222-P- 00, Anclaje de Columna a Cabezal para el Tramo de la Vía en "Y" (Zona de Cabecera)		
--	--	--	--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

Acerca de DNV

Impulsada por nuestro propósito de salvaguardar la vida, la propiedad y el medio ambiente, DNV permite a las organizaciones avanzar en la seguridad y sostenibilidad de sus negocios. Brindamos clasificación y aseguramiento técnico junto con software y servicios de asesoría de expertos independientes para las industrias marítima, de petróleo y gas y de energía. También brindamos servicios de certificación a clientes en una amplia gama de industrias. Operando en más de 100 países, nuestros 16,000 profesionales están dedicados a ayudar a nuestros clientes a hacer un mundo más seguro, más inteligente y más verde.