



Programa de Ingeniería Estructural

LM-PIE-24-2020

INFORME DE INSPECCIÓN

INSPECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO DE LA UNIDAD FUNCIONAL III DE CIRCUNVALACIÓN NORTE - RUTA NACIONAL N° 39



San José, Costa Rica

01 de julio, 2020

Informe LM-PIE-24-2020	Fecha de emisión: 01 de julio, 2020	Página 1 de 23
------------------------	-------------------------------------	----------------



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco

Informe LM-PIE-24-2020	Fecha de emisión: 01 de julio, 2020	Página 2 de 23
------------------------	-------------------------------------	----------------

Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica | Tel: (506) 2511-2500 Fax: (506) 2511-4440
direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr



1. Informe N°: LM-PIE-24-2020		
2. Título: INSPECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO DE LA UNIDAD FUNCIONAL III DE CIRCUNVALACIÓN NORTE - RUTA NACIONAL N° 39		3. Fecha del Informe 01 de julio, 2020
4. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
5. Resumen Este informe de inspección de la construcción del viaducto que conforma la Unidad Funcional III de Circunvalación Norte (Ruta Nacional N° 39) es un producto de la asesoría técnica que brinda el Programa de Ingeniería Estructural a la Unidad de Auditoría Técnica. El informe presenta un resumen de las observaciones realizadas durante la inspección estructural del 18 de mayo 2020, y posteriormente se ofrecen las conclusiones y recomendaciones correspondientes.		
6. Palabras clave Viaducto, Circunvalación Norte, Ruta Nacional N° 39, Unidad Funcional III		
7. Inspección e informe por: Ing. Daniel Johanning Cordero Programa de Ingeniería Estructural	8. Inspección y revisión del informe por: Ing. Rolando Castillo Barahona, PhD Programa de Ingeniería Estructural	
Fecha: 01 de julio, 2020	Fecha: 01 de julio, 2020	



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco

Informe LM-PIE-24-2020	Fecha de emisión: 1 de julio de 2020	Página 4 de 23
------------------------	--------------------------------------	----------------

Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica | Tel: (506) 2511-2500 Fax: (506) 2511-4440
direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETIVOS.....	8
3. ALCANCE.....	8
4. AVANCE EN LA CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO	9
5. OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE LA INSPECCIÓN	10
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco

Informe LM-PIE-24-2020	Fecha de emisión: 1 de julio de 2020	Página 6 de 23
------------------------	--------------------------------------	----------------

Código Postal 11501-2060, Universidad de Costa Rica | Tel: (506) 2511-2500 Fax: (506) 2511-4440
direccion.lanamme@ucr.ac.cr | www.lanamme.ucr.ac.cr

1. INTRODUCCIÓN

Este informe de inspección de la construcción del viaducto que conforma la Unidad Funcional III de Circunvalación Norte (Ruta Nacional N° 39) es un producto de la asesoría técnica que brinda el Programa de Ingeniería Estructural a la Unidad de Auditoría Técnica. El informe presenta un resumen de las observaciones realizadas durante la inspección estructural del 18 de mayo de 2020, y posteriormente se ofrecen las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

El Proyecto de Diseño y Construcción del Corredor Vial Ruta Nacional N° 39 comprende el tramo norte de la carretera de Circunvalación entre La Uruca y Calle Blancos, el cual tiene una longitud total aproximada de 5.5 km. El proyecto se divide en cinco unidades funcionales (UF), las cuales fueron definidas de modo que cada unidad funcional pueda ser puesta en operación una vez se finalice, sin depender de las demás.

La Unidad Funcional III del proyecto abarca el tramo de 1.74 km entre Colima de Tibás y el antiguo Triángulo de la Solidaridad (ver Figura 1), y consiste principalmente en un viaducto elevado, así como una marginal en su parte inferior que conectará con las calles existentes de la zona. Durante la visita realizada se inspeccionó tanto la superestructura como la subestructura del viaducto en construcción. La inspección se realizó con la presencia del Ing. Andrés González y el Ing. Rolando Castillo del Programa de Ingeniería Estructural, así como el Ing. Mauricio Salas de la Unidad de Auditoría Técnica.



Figura 1. Ubicación geográfica de la carretera de Circunvalación Norte como se muestra en los planos del proyecto; la Unidad Funcional III se destaca en amarillo.



2. OBJETIVOS

- a. Responder a las dudas y preocupaciones señaladas por el Ing. Mauricio Salas de la Unidad de Auditoría Técnica, específicamente en lo que respecta a:
 - El acabado superficial de las losas.
 - Las fisuras observadas en las losas.
 - Las juntas utilizadas entre los tableros.
 - El espesor de la carpeta asfáltica.
 - El sistema de apoyos y topes sísmicos.
- b. Observar los trabajos constructivos de la estructura del viaducto y brindar comentarios al respecto.
- c. Proveer conclusiones y recomendaciones.

3. ALCANCE

Este informe se limita a presentar un resumen de las observaciones realizadas en sitio durante la inspección de la construcción del viaducto perteneciente a la Unidad Funcional III de la carretera de Circunvalación Norte, así como a brindar recomendaciones en función de las observaciones realizadas.

La inspección realizada abarcó parte de la Unidad Funcional III, por lo que este informe no incluye observaciones ni recomendaciones para el resto de las unidades funcionales del proyecto.

Durante la inspección se realizó un reconocimiento de los elementos estructurales y no estructurales del viaducto en construcción.

4. AVANCE EN LA CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO

Las Figuras 2a y 2b muestran el avance general de la construcción del viaducto al momento de la visita. Como se puede observar, ya se había completado la construcción de las pilas y la colocación de las vigas de prácticamente todo el viaducto. El bastión en el extremo oeste del viaducto aún no había sido construido, lo mismo que el tramo de la superestructura entre dicho bastión y la primera pila. La construcción de los tableros de la superestructura y de las barreras vehiculares estaba avanzada.

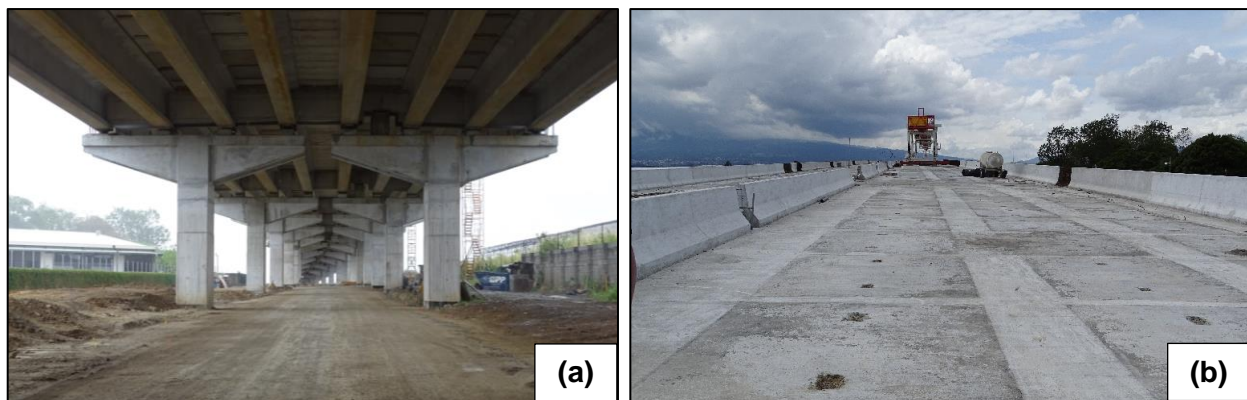


Figura 2. Avance general en la construcción del viaducto. **(a)** Vista de la parte inferior del viaducto.
(b) Vista de la parte superior del viaducto.

5. OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE LA INSPECCIÓN

Con respecto a las losas del tablero y la superficie de ruedo:

- Se observaron dos tipos de construcción para las losas del tablero del viaducto. En algunos tramos las losas fueron coladas en sitio (ver Figura 3a), utilizando placas de concreto prefabricadas como encofrado inferior. Este método constructivo coincide con lo que está especificado en los planos. En otros tramos del viaducto, el tablero se está construyendo por medio de paneles de concreto prefabricado con uniones coladas en sitio (ver Figura 3b). Este tipo de tablero no está especificado en los planos del proyecto que fueron facilitados.

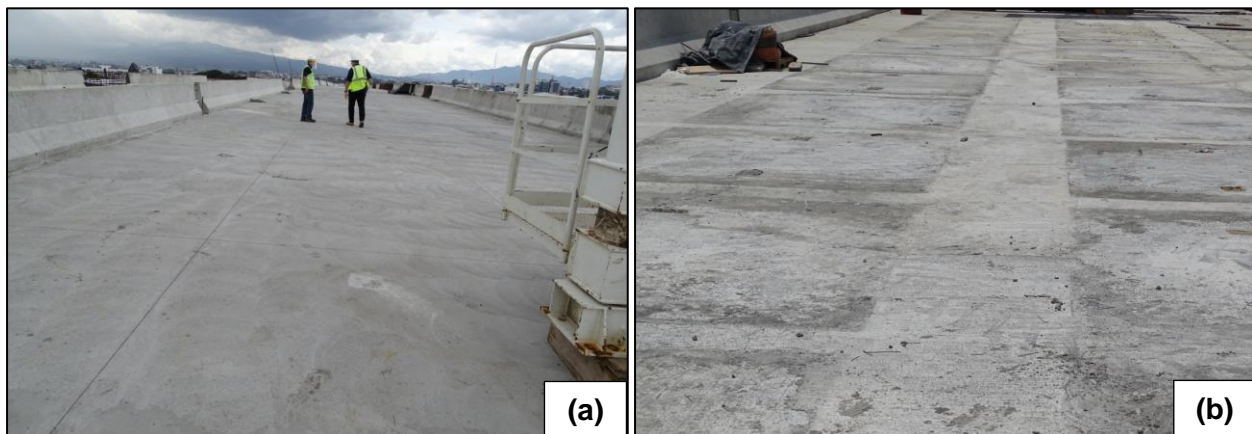


Figura 3. Dos tipos de construcción para las losas del tablero del viaducto. **(a)** Losas coladas en sitio.
(b) Paneles prefabricados con uniones coladas en sitio.

- En el caso de los tramos donde el tablero fue construido por medio de paneles prefabricados con uniones coladas en sitio, se pudo observar acumulación de sedimento en algunas áreas (ver Figura 4), lo cual indica que existen desniveles en la superficie de la losa.
- En algunas áreas del tablero las losas exhiben fisuras en su superficie (ver Figuras 5a, 5b, 5c y 5d), lo cual es desfavorable desde el punto de vista de la durabilidad del concreto reforzado. Se pudo observar que algunas de las zonas con fisuras habían sido marcadas a su alrededor (ver Figura 5a). Aunque el problema de fisuras se observó en los dos tipos de sistemas constructivos, estas eran más frecuentes en el caso del sistema de paneles prefabricados con uniones coladas en sitio.



Figura 4. Acumulación de sedimento sobre la losa del tablero.

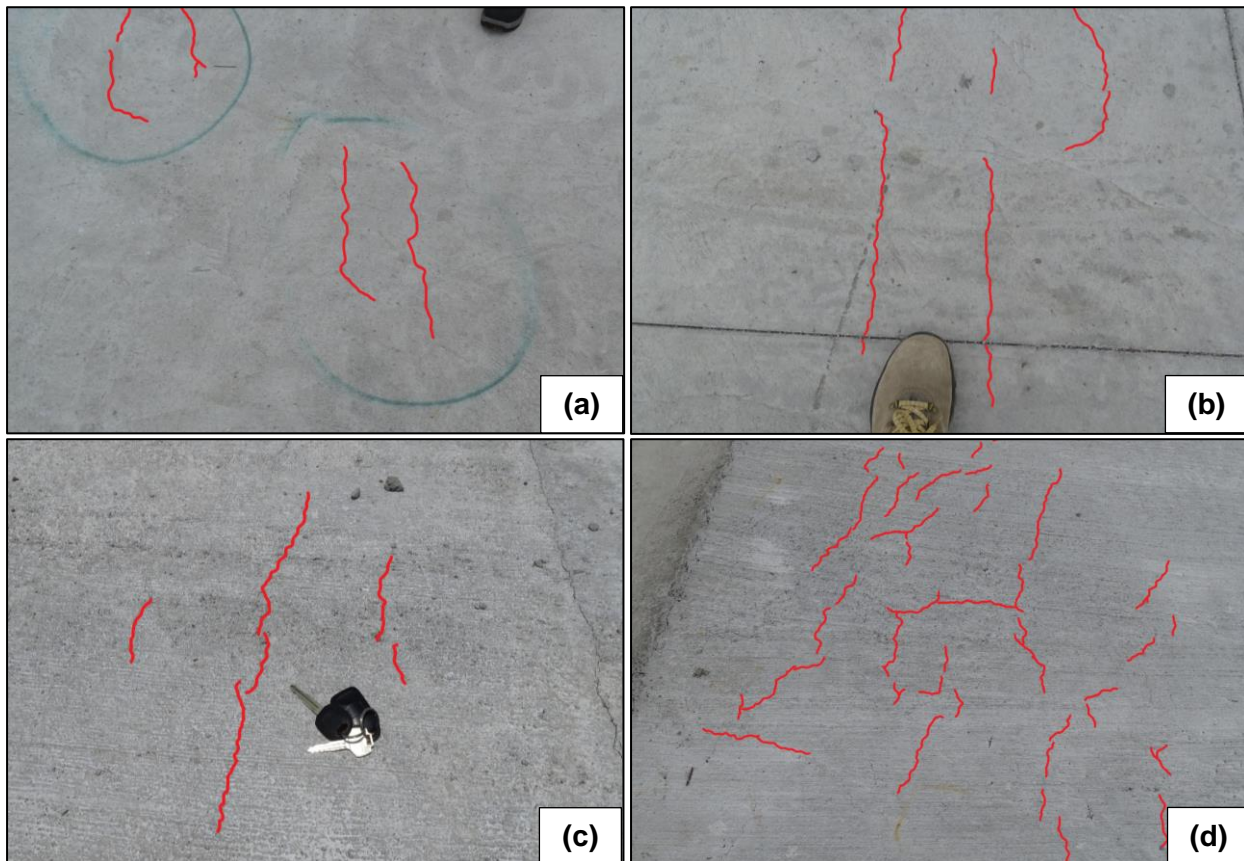


Figura 5. Ejemplos de fisuras en la superficie de las losas del viaducto.

- En el caso específico del sistema de paneles prefabricados con uniones coladas en sitio, se observó que se habían construido juntas de contracción en algunas de las uniones coladas en sitio, realizadas por medio de un corte de sierra (ver Figura 6). Según comentó el Ing. Mauricio Salas, este procedimiento se estaba implementando por recomendación del consultor estructural con el fin de controlar la propagación de las grietas en la losa.



Figura 6. Junta de contracción sobre una de las uniones coladas en sitio entre los paneles prefabricados.

- En los planos del proyecto se indica que sobre el tablero se va a colocar una carpeta asfáltica con un espesor de 40 mm y un tamaño máximo nominal del agregado de 12 mm. No se especifica el uso de una membrana impermeabilizante entre la losa del tablero y la superficie de ruedo o desgaste por colocar.

Con respecto a las barreras vehiculares:

- La barrera vehicular medianera presenta una menor altura y cantidad de acero de refuerzo en comparación con las barreras vehiculares de los costados (ver Figuras 7a y 7b). En los planos facilitados únicamente se indica un refuerzo longitudinal de dos varillas #4 para la barrera medianera (ver Figura 8). Además de estas varillas longitudinales, en sitio también se pudo observar refuerzo transversal.
- En los planos del proyecto no se indica el detalle de la conexión entre la barrera vehicular medianera y la losa del tablero. Tampoco se indica el nivel de contención (TL) de la barrera vehicular medianera ni de las barreras vehiculares de los costados.

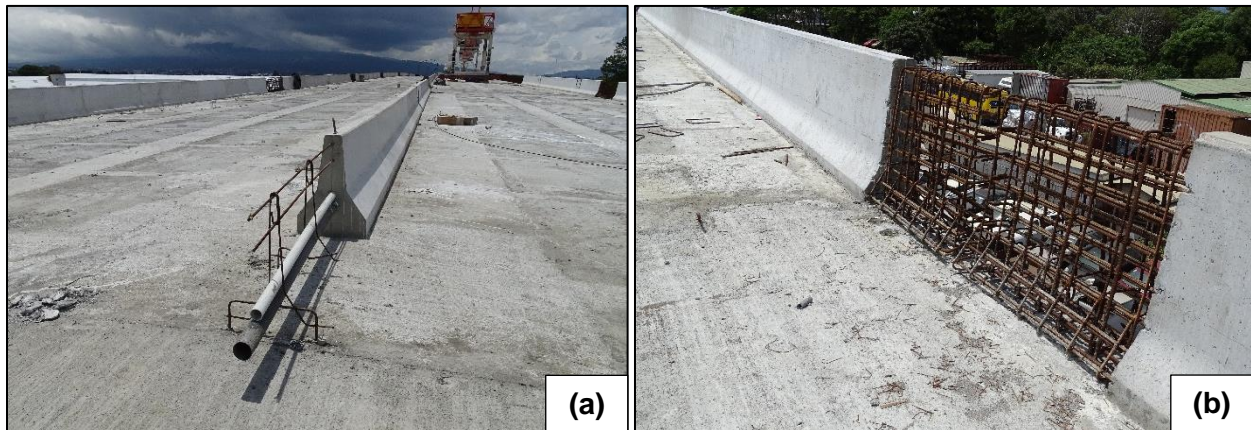


Figura 7. Acero de refuerzo de las barreras vehiculares. **(a)** Barrera vehicular medianera. **(b)** Barrera vehicular del costado sur.

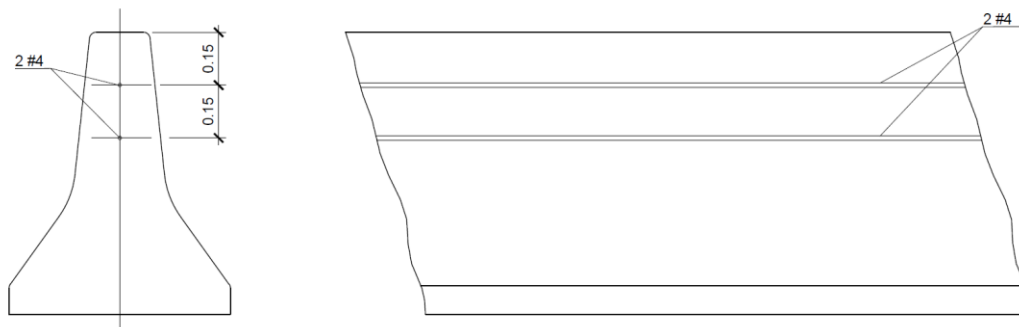


Figura 8. Detalle del acero de refuerzo que se indica en los planos del proyecto para la barrera vehicular medianera.

Con respecto a las juntas entre tableros:

- En los planos del proyecto se especifican dos tipos de juntas entre tableros. El primer tipo corresponde a las juntas de dilatación o expansión, las cuales se colocan aproximadamente cada cinco tramos. Para este tipo de junta los planos indican que debe haber una separación entre superestructuras contiguas de 0.50 m (ver Figura 9a). Sobre esta abertura se coloca el dispositivo de junta Transflex (ver Figura 9b). Al momento de la inspección, las juntas de dilatación estaban en proceso de construcción; el dispositivo de junta Transflex aún no había sido colocado.

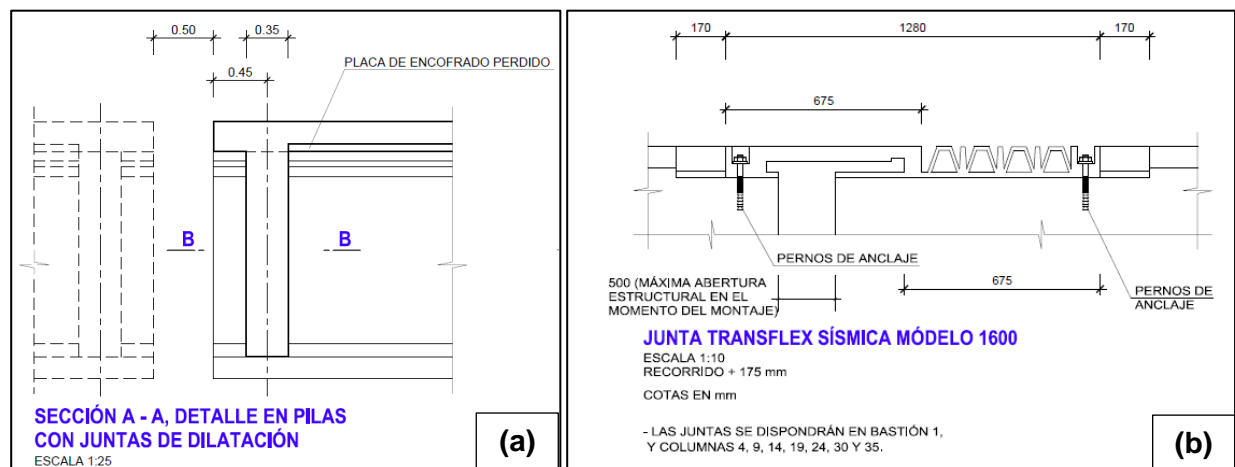


Figura 9. Detalles de la junta de dilatación o expansión indicados en los planos del proyecto. **(a)** Detalle de la separación entre superestructuras contiguas. **(b)** Detalle del montaje de la junta Transflex.

- El tipo de junta que se utiliza sobre el resto de las pilas del proyecto (es decir, sobre aquellas pilas donde no hay junta de dilatación) corresponde a una rótula de continuidad entre los tableros, la cual permite transmitir cortante y tensión de un tablero a otro sin restringir la rotación. A diferencia de las juntas de dilatación, en este caso la separación entre tableros de cada superestructura es de únicamente 20 mm, y estos deben estar unidos por medio de una dovela de acero inoxidable (ver Figura 10). En los planos también se indica que la parte superior de la abertura debe ir sellada, sin embargo, no se especifica el tipo de sello.

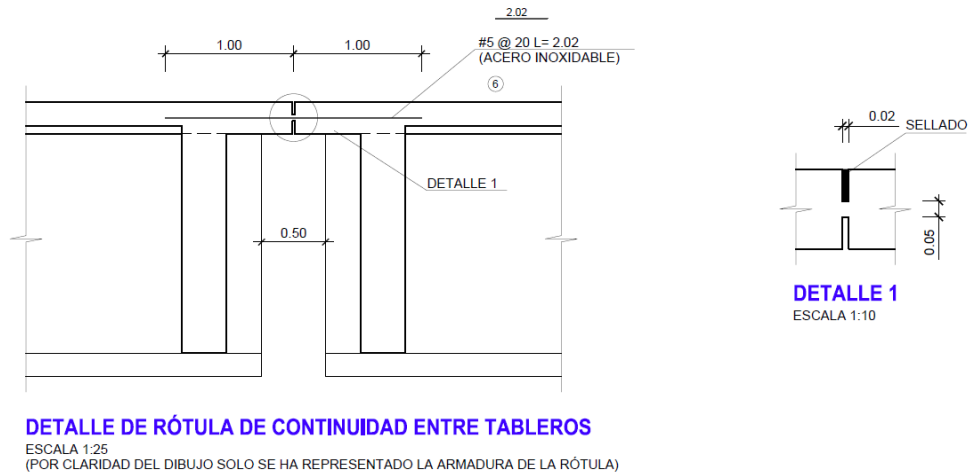


Figura 10. Detalle de la rótula de continuidad entre tableros indicado en los planos del proyecto.

- Al momento de la visita, algunas de las juntas con rótula de continuidad ya habían sido construidas. En estos casos, se pudo observar que se está utilizando una lámina de poliestireno para generar la abertura de 20 mm en la losa (ver Figura 11). Esta lámina aún no había sido removida y, consecuentemente, el sello mostrado en los planos (del cual no se especifica el tipo) aún no había sido colocado.



Figura 11. Junta donde la rótula de continuidad entre tableros ya había sido construida. Se observó el uso de una lámina de poliestireno para generar la abertura en las losas de los tableros; aún no se había colocado el sello que se muestra en los planos.

- Otras de las juntas con rótula de continuidad aún estaban en proceso de construcción al momento de la visita. En estos casos, se pudo observar el uso de placas de concreto prefabricadas como encofrado inferior; las dovelas de acero inoxidable aún no habían sido colocadas (ver Figura 12a).
- En algunas de las juntas en proceso de construcción, se pudo observar que el acero de refuerzo estaba deformado o desplazado con respecto a su posición correcta (ver Figura 12b). Según explicó el Ing. Mauricio Salas, esto ocurrió debido al paso de vehículos o de maquinaria directamente sobre las juntas durante el tiempo que estas han estado expuestas.

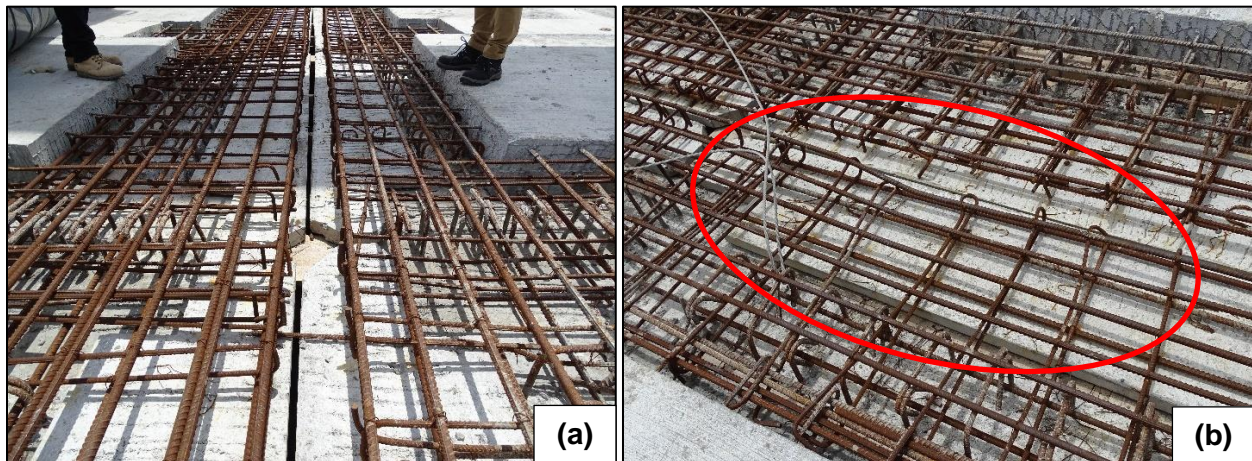


Figura 12. Juntas donde la rótula de continuidad estaba en proceso de construcción. **(a)** Se observó el uso de placas prefabricadas como encofrado inferior; aún no se habían colocado las dovelas de acero inoxidable. **(b)** Acero de refuerzo de una de las juntas deformado y desplazado.

Con respecto a los dispositivos de apoyo y los topes sísmicos:

- En cada pila del viaducto, y sobre la misma línea de apoyos, se están utilizando dos tipos distintos de apoyos: apoyos de aislamiento sísmico de neopreno con núcleo de plomo, y apoyos esféricos (ver Figura 13). La disposición de los apoyos observada en sitio coincide con la disposición especificada en los planos del proyecto (ver Figura 14). Cabe mencionar que esta disposición de apoyos es la que se usa en la mayoría de las pilas del viaducto.



Figura 13. Tipos de apoyo que se utilizan en las pilas del viaducto.

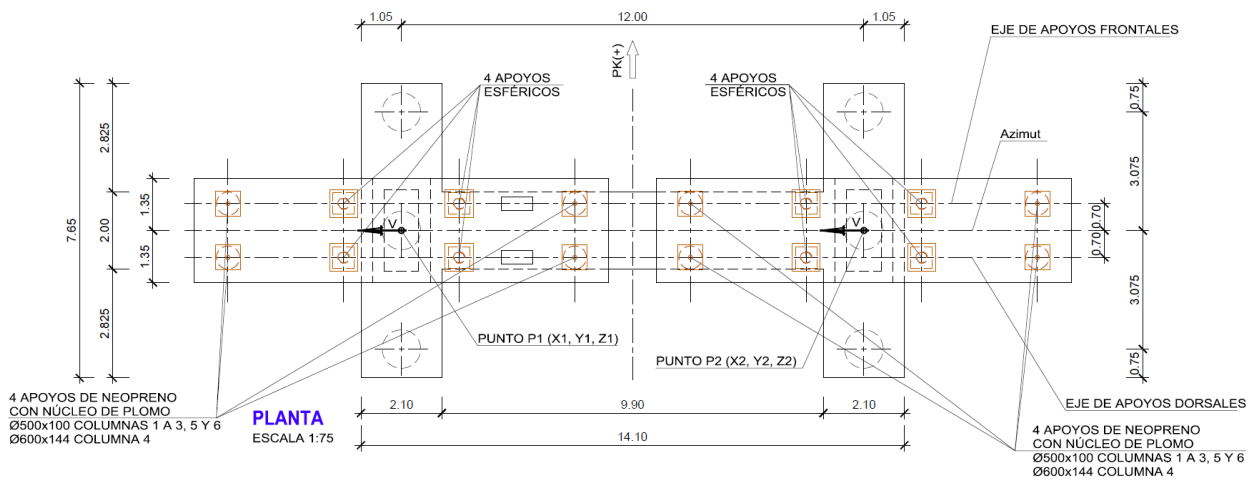


Figura 14. Disposición de los apoyos según se indica en los planos del proyecto.

- En lo que respecta a los apoyos esféricos, en las notas de los planos se indica que estos tienen una capacidad de desplazamiento de 210 mm, tanto en la dirección transversal como en la dirección longitudinal. Sin embargo, en el detalle del apoyo mostrado en los planos parece haber pernos que restringen el movimiento horizontal, por lo que no queda claro cómo se lograría la capacidad de desplazamiento indicada (ver Figura 15).

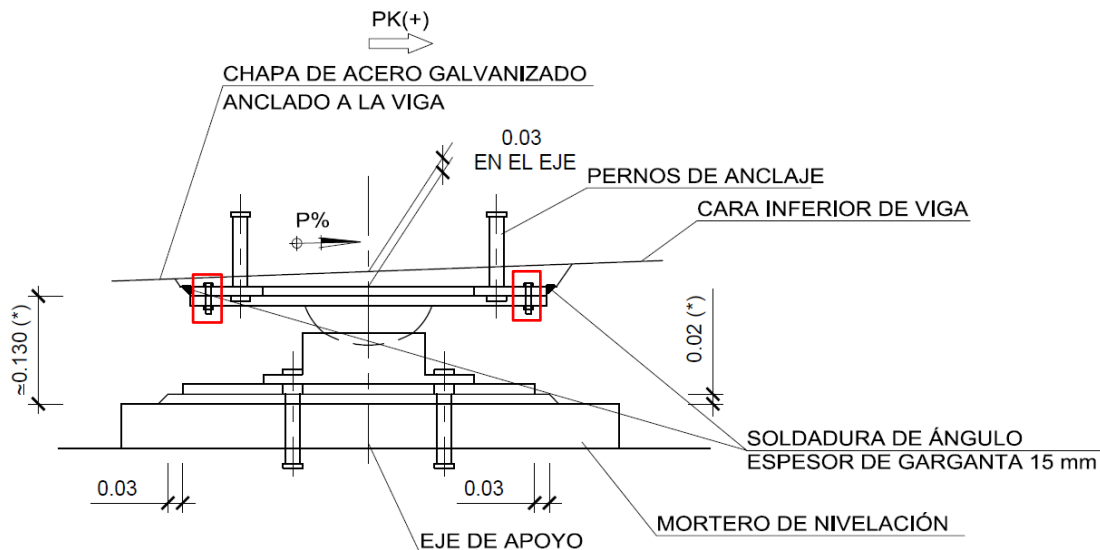


Figura 15. Detalle del apoyo esférico mostrado en los planos del proyecto. Se destacan los pernos que parecen restringir el desplazamiento horizontal del apoyo.

- En el caso específico de los apoyos ubicados sobre pilas justo debajo de las juntas de dilatación, los planos indican que los apoyos de aislamiento sísmico cuentan con una capacidad de desplazamiento máxima de 288 mm. Por otra parte, la capacidad de desplazamiento máxima para los apoyos esféricos es únicamente de 210 mm. Esto sugiere que la capacidad de desplazamiento de la superestructura estaría limitada por la capacidad de desplazamiento de los apoyos esféricos lo que significa que no se puede aprovechar la capacidad de desplazamiento de los apoyos de aislamiento sísmico.

La situación antes descrita no aplica a los apoyos ubicados en pilas justo debajo de las rótulas de continuidad, pues en estos casos la capacidad de desplazamiento indicada para los dos tipos de apoyos es similar.

- De acuerdo con los planos facilitados, las vigas diafragma deben contar con un espacio libre de 1.60 m de ancho en la zona donde se coloca el tope sísmico (ver Figura 16a). El ancho especificado para los topes sísmicos es de 0.80 m (ver Figura 16b), por lo que la holgura a ambos lados del tope sísmico con la viga diafragma es de 0.40m. En algunas de las pilas del puente se pudo observar que esta holgura era mucho más pequeña (ver Figura 17a), lo cual restringiría el desplazamiento del tablero y no se aprovecharía en su totalidad la capacidad de desplazamiento de los apoyos. Sin embargo, se observó que este problema se está corrigiendo (ver Figura 17b).

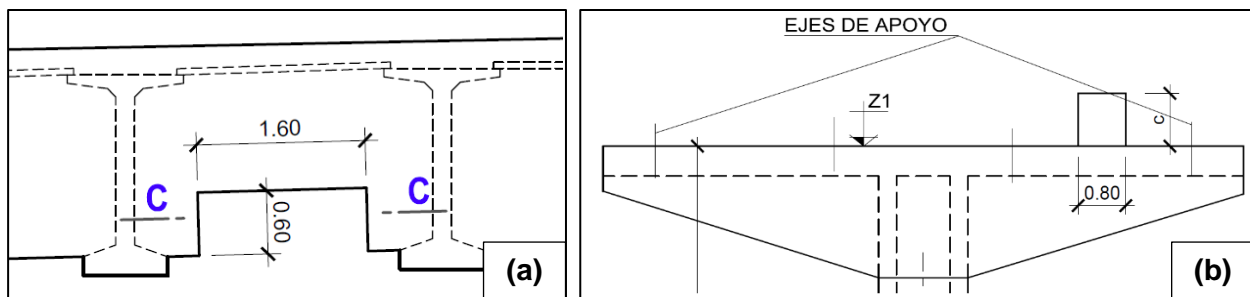


Figura 16. Detalles para el tope sísmico mostrados en los planos del proyecto. **(a)** Detalle de la viga diafragma en la zona donde se coloca el tope sísmico. **(b)** Detalle que muestra el ancho del tope sísmico sobre la pila.

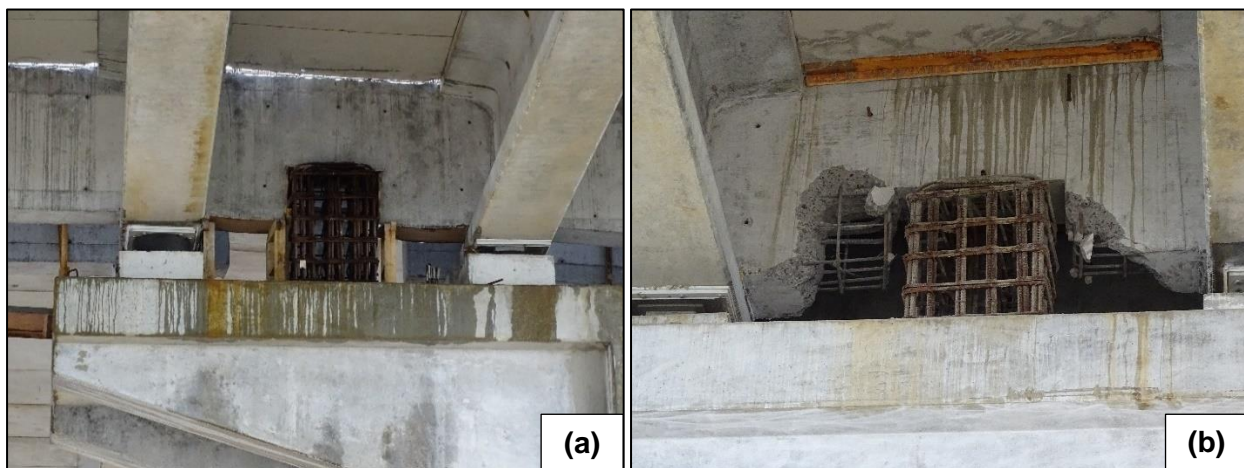


Figura 17. Topes sísmicos en proceso de construcción. **(a)** Caso donde la holgura entre el tope sísmico y la viga diafragma es menor que la indicada en los planos. **(b)** Caso donde se había iniciado la reparación para aumentar la holgura entre el tope sísmico y la viga diafragma.

- Al momento de la inspección, los drenajes debajo del viaducto aún no se habían construido. Se pudo observar que el agua de lluvia proveniente de la superestructura estaba descargando directamente sobre las pilas del viaducto (ver Figura 18), lo cual puede favorecer el deterioro temprano de los apoyos.



Figura 18. Agua de lluvia proveniente de la superestructura descargando directamente sobre la pila del viaducto.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En respuesta a las preocupaciones señaladas por el Ing. Mauricio Salas, se brindaron comentarios con respecto a las losas del tablero, la superficie de ruedo, los tipos de juntas entre tableros, los sistemas de apoyos y los topes sísmicos. Las observaciones realizadas en sitio durante la inspección fueron complementadas con el estudio de la información y los detalles incluidos en los planos del proyecto que fueron facilitados. Con base en las observaciones realizadas, se hacen las siguientes recomendaciones:

Con respecto a las losas del tablero y la superficie de ruedo:

- Consultar por qué en algunos tramos del viaducto se está utilizando un tipo de tablero distinto al que está especificado en los planos; solicitar los planos constructivos para este tipo de tablero (paneles de concreto prefabricados con uniones coladas en sitio). En términos generales, el sistema de paneles prefabricados reflejaba mayores deficiencias en cuanto a fisuras y al acabado de la superficie en comparación con el sistema de losas coladas en sitio que se especifica en los planos del proyecto.
- Solicitar información sobre las acciones que el contratista va a tomar para solucionar el problema de las fisuras que se observaron en la superficie de las losas del tablero. Aunque las juntas de contracción que se construyeron pueden ayudar a evitar la aparición de nuevas fisuras en las losas, aún no se habían tomado medidas respecto a las fisuras ya existentes, las cuales podrían comprometer la durabilidad del tablero.
- Consultar si está previsto utilizar una membrana impermeabilizante entre la losa del tablero y la superficie de ruedo. El uso de sistemas de protección como el que se menciona es una práctica recomendada para aumentar la durabilidad del tablero, de acuerdo con la sección 5.14.5 de *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* y su comentario. En caso de que no esté previsto colocar una membrana, se recomienda consultar al diseñador por la razón de su posición. Por otro lado, si la respuesta fuera positiva, consultar si los 40 mm de espesor de la capa asfáltica que se indica en los planos permite realizar futuros trabajos de mantenimiento en la superficie de ruedo sin que la membrana impermeabilizante o el recubrimiento de concreto del tablero se vean afectados.

Informe LM-PIE-24-2020	Fecha de emisión: 1 de julio de 2020	Página 21 de 23
------------------------	--------------------------------------	-----------------



- En relación con la consulta realizada por Mauricio Salas respecto a si las imperfecciones en la superficie de la losa se pueden reflejar en la capa asfáltica de 40 mm, se recomienda dirigir esta consulta a especialistas en pavimentos asfálticos.

Con respecto a las barreras vehiculares:

- Preguntar al diseñador cuál es el criterio utilizado para el diseño de las barreras vehiculares, tanto de la medianera como de los costados. Se hace la consulta ya que se observaron diferencias significativas en la cantidad de acero de refuerzo, altura de la barrera y anclaje a la losa.
- Consultar al contratista si los tipos de barrera utilizados han sido ensayados para demostrar que su diseño cumple con los requerimientos mínimos para alguno de los niveles de contención (TL), especificados en la sección 13.7.2 de *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. Además, consultar cuáles son los niveles de contención correspondientes a cada barrera.
- Solicitar la memoria de cálculo del diseño de la barrera vehicular tanto de la medianera como de los costados donde se demuestre la idoneidad de la barrera para resistir el impacto vehicular, y que la losa cuenta con suficiente capacidad para resistir el momento y la tensión transmitida por la barrera debido al impacto vehicular. En el caso de la barrera vehicular medianera, solicitar también el detalle de la conexión entre la barrera y la losa del tablero, pues este no se muestra en los planos que fueron facilitados.

Con respecto a las juntas entre tableros:

- Consultar cuál es el tipo de sello que se va a utilizar para sellar la abertura de 20 mm entre tableros en el caso de las juntas con rótula de continuidad, ya que esta información no se indica en los planos del proyecto. Verificar en las siguientes inspecciones que el sello esté siendo colocado.
- Solicitar al contratista una confirmación de que se están utilizando las dovelas de acero inoxidable en las rótulas de continuidad, tal como está indicado en los planos del proyecto. Verificar en las siguientes inspecciones que se estén utilizando dovelas de este tipo en las juntas con rótula de continuidad que están en proceso de construcción.

Informe LM-PIE-24-2020	Fecha de emisión: 1 de julio de 2020	Página 22 de 23
------------------------	--------------------------------------	-----------------



- Consultar al contratista cuáles son las acciones que va a tomar para corregir las deformaciones y los desplazamientos observados en el acero de refuerzo de las losas en las juntas con rótula de continuidad debido al paso de vehículos y maquinaria. Consultar cuáles medidas se van a tomar para evitar que este problema se dé en otras juntas del viaducto mientras estas se terminan de construir.

Con respecto a los dispositivos de apoyo y los topes sísmicos:

- Solicitar la ficha técnica de los diferentes tipos de apoyo que se están utilizando en el proyecto.
- Consultar al diseñador cómo se logra desarrollar la capacidad de desplazamiento de 210 mm en los apoyos esféricos, ya que esto no está claro en el detalle mostrado en los planos.
- Consultar al diseñador por su posición con respecto a que la capacidad de desplazamiento de los apoyos esféricos sea menor que la de los apoyos de aislamiento sísmico, específicamente en aquellas pilas donde hay junta de dilatación.
- Verificar en la siguiente inspección que el espacio libre entre las vigas diafragma y los topes sísmicos se haya corregido, de modo que este espacio sea el que se indica en los planos.
- Consultar al contratista cuáles son las medidas que va a tomar para evitar que el agua de lluvia descargue directamente sobre las pilas, afectando la durabilidad de los dispositivos de apoyos, esto mientras se finaliza la construcción de los drenajes definitivos del viaducto.