



# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-INF-1238-2023

## INFORME DE INSPECCIÓN

### INSPECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO Y DEL PASO INFERIOR DE LA UNIDAD FUNCIONAL V DEL PROYECTO DE CIRCUNVALACIÓN NORTE, RUTA NACIONAL N.º 39



**Preparado por:**

Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

Documento generado con base en el Art. 6, inciso b) de la Ley 8114 y lo señalado en el  
Capít.7, Art. 68 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto  
DE-37016-MOPT

San José, Costa Rica

4 de setiembre, 2023



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 2 de 37
---------------------------	----------------------	----------------



<b>1. Informe:</b> EIC-Lanamme-INF-1238-2023		<b>2. Copia N.º:</b> 1
<b>3. Título:</b> INSPECCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DEL VIADUCTO Y EL PASO INFERIOR DE LA UNIDAD FUNCIONAL V DEL PROYECTO DE CIRCUNVALACIÓN NORTE, RUTA NACIONAL N.º 39		<b>4. Fecha del Informe</b> 4 de setiembre, 2023
<b>5. Organización y dirección</b> 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		
<b>6. Notas complementarias</b> Ninguna		
<b>7. Resumen</b> Este informe de inspección presenta las observaciones de la inspección estructural del 19 de julio de 2023 con respecto a la construcción del viaducto y el paso inferior pertenecientes a la Unidad Funcional V del proyecto de Circunvalación Norte, en la Ruta Nacional n.º 39. Adicionalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones correspondientes. Este informe es un producto de la asesoría técnica que brinda el Programa de Ingeniería Estructural a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, como parte de las competencias de fiscalización de la Red Vial Nacional asignadas al LanammeUCR por medio de la Ley 8114		
<b>8. Palabras clave</b> Puente, viaducto, paso inferior, Circunvalación Norte, Ruta 39, Unidad Funcional V, Calle Blancos, construcción de puentes, concreto presforzado, auditorías técnicas de puentes, inspección de puentes.		<b>9. N.º de páginas</b> 37
<b>10. Elaborado por:</b> Ing. Daniel Johanning Cordero Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural	<b>11. Revisado y aprobado por:</b> Ing. Julian Trejos Villalobos Coordinador Unidad de Puentes y Coordinador a.i. Programa de Ingeniería Estructural	<b>12. Revisado por:</b> Lic. Giovanni Sancho Sanz Coordinador Unidad de Asesoría Legal

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 3 de 37
---------------------------	----------------------	----------------



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 4 de 37
---------------------------	----------------------	----------------



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y DE LAS ESTRUCTURAS INSPECCIONADAS</b> .....	<b>11</b>
<b>4. ALCANCE</b> .....	<b>13</b>
<b>5. OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE LA INSPECCIÓN</b> .....	<b>14</b>
5.1. OBSERVACIONES CON RESPECTO AL VIADUCTO .....	14
5.2. OBSERVACIONES CON RESPECTO AL PASO INFERIOR (TRAMO 2).....	24
5.3. OBSERVACIONES CON RESPECTO AL PASO INFERIOR (TRAMO 3).....	26
5.4. OBSERVACIONES CON RESPECTO AL PASO INFERIOR (TRAMO 4).....	29
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>31</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>33</b>
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	<b>36</b>



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 6 de 37
---------------------------	----------------------	----------------



## RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta las observaciones realizadas en sitio durante la inspección de la construcción del viaducto y el paso inferior pertenecientes a la Unidad Funcional V del proyecto de Circunvalación Norte, la cual se llevó a cabo el 19 de julio de 2023.

A partir de la inspección realizada, se identificaron las siguientes deficiencias en el viaducto: oxidación en las placas de acero y cordones de soldadura de los aisladores sísmicos tipo LRB, desprendimiento de concreto de las vigas principales alrededor de dichas placas, separación entre placas de los aisladores conectadas con soldadura de filete, deficiencias en el concreto de la Pila 56 asociadas a los procesos constructivos, posible ausencia de sistema de drenaje detrás del Bastión 2 y grietas en las prelosas del tablero.

En lo que respecta al paso inferior, durante la inspección realizada se observaron grietas verticales en la pared de cabezal de los bastiones asociadas a la retracción del concreto, así como deficiencias en el concreto asociadas a procesos constructivos, entre ellas: nidos de piedra en los bastiones, hundimiento en la superficie de concreto de uno de los bastiones, varillas expuestas embebidas en los bastiones y desprendimientos de concreto en los bastiones y las vigas principales. Adicionalmente, se observó levantamiento en la base de algunos de los apoyos elastoméricos, el cual se determinó que no está prohibido por la normativa aplicable.

Al respecto, se recomienda solicitar a la Administración una respuesta por escrito en la que aclare el plan de intervención que seguirá el Contratista para solventar cada una de las deficiencias observadas, así como las medidas preventivas que tomará el Contratista para evitar que estos problemas se vuelvan a presentar en otros elementos que aún no han sido construidos. Asimismo, se recomienda recordar a la Administración que varias de las medidas correctivas para algunas de estas deficiencias fueron implementadas en los tramos del viaducto pertenecientes a las Unidades Funcionales III y IV, por lo que también podrían ser aplicadas en los tramos del viaducto pertenecientes a la Unidad Funcional V. Por último, se recomienda solicitar a la Administración la verificación del cumplimiento del artículo 5.3.1 de la norma AASHTO/AWS D1.5:2020 en lo que respecta a la separación entre placas de los aisladores sísmicos del viaducto conectadas con soldadura de filete, así como del artículo 11.6.6 de la especificación AASHTO LRFD (2020) en lo que respecta a la posible ausencia de un sistema de drenaje detrás del Bastión 2 del viaducto.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 7 de 37
---------------------------	----------------------	----------------



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 8 de 37
---------------------------	----------------------	----------------





## 1. INTRODUCCIÓN

Este informe de inspección presenta las observaciones realizadas durante la inspección estructural del 19 de julio de 2023 con respecto a la construcción del viaducto y el paso inferior pertenecientes a la Unidad Funcional V del proyecto de Circunvalación Norte, en la Ruta Nacional n.º 39. En la Sección 3 de este informe se presenta con mayor detalle las características y la ubicación geográfica de las estructuras inspeccionadas. En la Sección 4 se presenta el alcance de la inspección realizada. En la Sección 5 se presentan las observaciones específicas para cada una de las estructuras inspeccionadas. Finalmente, en las Secciones 6 y 7 se presentan, respectivamente, las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

La inspección fue realizada por el Ing. Daniel Johanning Cordero de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR, con la presencia del Ing. Alejandro Guasch García de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR. Esta inspección fue de tipo visual, haciendo uso de instrumentos de medición como cinta métrica y medidor de ancho de grietas en caso de ser requeridos.

Este informe es un producto de la asesoría técnica que brinda el Programa de Ingeniería Estructural (PIE) a la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del LanammeUCR, como parte de las competencias de fiscalización de la Red Vial Nacional asignadas al LanammeUCR por medio de la Ley 8114. La inspección y este informe se realizan ante la solicitud de criterio técnico de parte de la Unidad de Auditoría Técnica, según consta en el correo electrónico remitido por el Ing. Mauricio Salas con fecha de 13 de julio de 2023.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 9 de 37
---------------------------	----------------------	----------------



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Responder a la solicitud de revisión técnica por parte de la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR, con respecto a los procesos constructivos del viaducto y del paso inferior de la Unidad Funcional V del proyecto de Circunvalación Norte.

### 2.2. Objetivos específicos

- a) Realizar una visita al sitio para inspeccionar visualmente los elementos estructurales del viaducto y del paso inferior en proceso constructivo.
- b) Comentar sobre las posibles causas e implicaciones de las deficiencias observadas en cada una de las estructuras inspeccionadas.
- c) Brindar recomendaciones con base en las observaciones realizadas.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 10 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y DE LAS ESTRUCTURAS INSPECCIONADAS

El Proyecto de Diseño y Construcción del Corredor Vial Ruta Nacional n.º 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, las cuales fueron definidas de modo que cada unidad funcional pueda ser puesta en operación una vez se finalice, sin depender de las demás. Las Unidades Funcionales I, II, III y IV ya están en operación, mientras que la Unidad Funcional V aún se encuentra en la fase constructiva. La Figura 1 muestra la ubicación geográfica de las cinco unidades funcionales del proyecto.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la carretera de Circunvalación Norte como se muestra en los planos del proyecto; la Unidad Funcional V se destaca en color morado.

Fuente: CONAVI, 2018. Modificado por PIE, LanammeUCR

Durante la inspección, se visitó específicamente la Unidad Funcional V del proyecto (mostrada en color morado en la Figura 1), la cual se ubica en el sector de Calle Blancos y se extiende desde la intersección de la nueva carretera con la Ruta Nacional n.º 32 hasta la intersección con la Ruta Nacional n.º 109, donde se une con el tramo de Circunvalación existente. Esta unidad funcional está conformada por dos partes: un paso elevado de 600 metros de largo y un paso inferior de 900 metros de largo. El paso elevado comprende los últimos 10 tramos y el acceso este del viaducto que inicia en la Unidad Funcional III del proyecto. Por otro lado, el paso inferior corresponde al tramo final del proyecto, el cual contará con calles marginales a nivel para conectar con las calles existentes de la zona, así como una intersección a dos niveles entre la carretera de Circunvalación (nivel inferior) y la Ruta Nacional n.º 109 (nivel superior).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 11 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



Es importante mencionar que, debido a su extensión, el paso inferior está dividido en 11 módulos que se pueden considerar como 11 estructuras independientes, una al lado de la otra. Estos módulos están identificados en los planos del proyecto como “Tramos” numerados del 1 al 11. Al momento de la visita al proyecto, solamente el Tramo 3 del paso inferior presentaba la subestructura concluida y las vigas principales colocadas. En el caso del Tramo 2, este presentaba la viga cabezal del bastión norte concluida, mientras que la viga cabezal del bastión sur estaba en proceso constructivo. Por último, el Tramo 4 presentaba únicamente la viga cabezal del bastión sur concluida.

En el Cuadro 1, se presenta un resumen de las características principales de las estructuras de la Unidad Funcional V que fueron inspeccionadas, específicamente el viaducto y los Tramos 2, 3 y 4 del paso inferior. Los datos se obtuvieron de los planos estructurales correspondientes.

**Cuadro 1.** Resumen de las características principales de las estructuras inspeccionadas. (Adaptado de: CONAVI, 2022 y CONAVI, 2023a).

Puente	# de tramos	Long. tramos (m)	Long. total (m)	Ancho (m)	Tipo de super-estructura	Tipo de bastión	Tipo de pila	Tipo de apoyo
Viaducto <sup>1</sup>	10	32 a 40	359,3	23,4	Vigas I de concreto presforzado	Cabezal sobre pilotes	Columna múltiple	Aisladores tipo LRB y apoyos esféricos
Paso inferior <sup>2</sup> (Tramo 2)	1	30,5	30,5	40,5	Vigas I de concreto presforzado	Cabezal sobre pilotes	No tiene	Almohadillas elastoméricas
Paso inferior <sup>2</sup> (Tramo 3)	1	33,8	33,8	27,5	Vigas I de concreto presforzado	Cabezal sobre pilotes	No tiene	Almohadillas elastoméricas
Paso inferior <sup>2</sup> (Tramo 4)	1	36,5	36,5	25,0	Vigas I de concreto presforzado	Cabezal sobre pilotes	No tiene	Almohadillas elastoméricas

<sup>1</sup>El viaducto elevado abarca las Unidades Funcionales III, IV y V del proyecto de Circunvalación Norte. Las características mostradas en el cuadro corresponden únicamente a los tramos del viaducto que forman parte de la Unidad Funcional V.

<sup>2</sup>Los tramos 2, 3 y 4 del paso inferior presentan longitud y ancho variable. Los datos mostrados en el cuadro corresponden a valores promedio.



#### 4. ALCANCE

Este informe presenta las observaciones realizadas en sitio durante la inspección de la construcción del viaducto y los Tramos 3, 4 y 5 del paso inferior de la Unidad Funcional V del proyecto de Circunvalación Norte, las cuales fueron presentadas en la Sección 3 de este informe. La inspección de estas estructuras abarcó únicamente los elementos estructurales que se encontraban visibles el día de la inspección, los cuales se resumen en el Cuadro 2. Adicionalmente, se consultaron los planos y las memorias de cálculo de los elementos inspeccionados en los casos en los que fuera necesario complementar la información recopilada durante la inspección. Por último, para cada una de las observaciones realizadas con respecto a estos elementos, se brindan las conclusiones y recomendaciones correspondientes con el fin de que se dé una solución a los problemas identificados.

**Cuadro 2.** Elementos inspeccionados en cada estructura de la Unidad Funcional V.

Estructura	Elementos inspeccionados				
	Cabezal de bastiones	Cuerpo de pilas	Apoyos	Vigas principales	Tablero
Viaducto	●	●	●	●	●
Paso inferior (Tramo 2)	●				
Paso inferior (Tramo 3)	●		●	●	
Paso inferior (Tramo 4)	●				

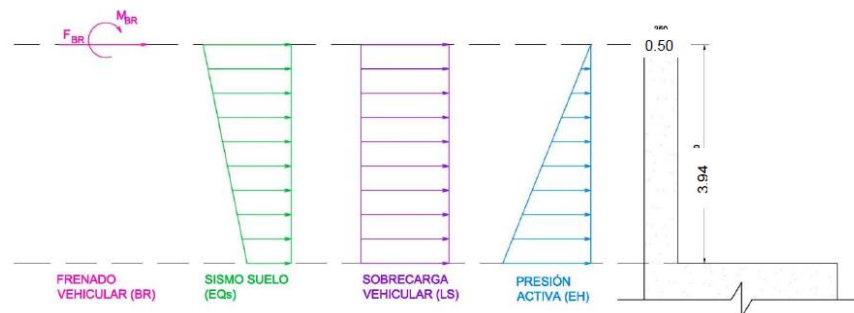
## 5. OBSERVACIONES REALIZADAS DURANTE LA INSPECCIÓN

### 5.1. Observaciones con respecto al viaducto

Con base en la inspección realizada en sitio, se hacen las siguientes observaciones para cada uno de los elementos del viaducto que se indican en el Cuadro 2.

#### Observación 5.1.1. Cabezal del Bastión 2 – Sistema de drenaje:

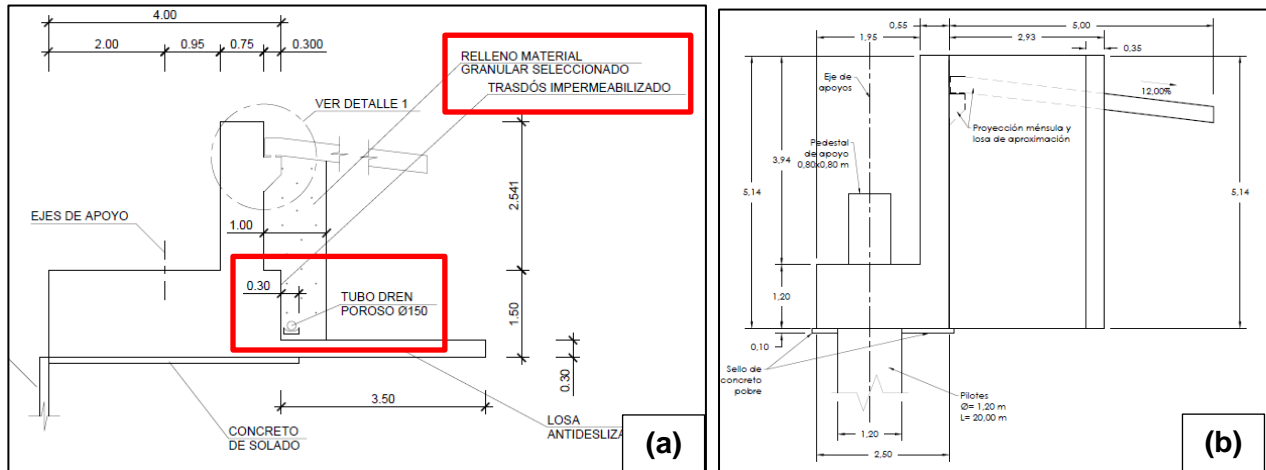
- A. El Bastión 2 del viaducto fue rediseñado por la empresa contratista de modo que la viga cabezal se apoye sobre pilotes en lugar de apoyarse sobre muros de suelo reforzado, como se había planteado inicialmente. En la memoria de cálculo del rediseño del bastión se justifica este cambio indicando que las condiciones del suelo y los niveles actuales del terreno permitirán que la construcción de este elemento sea más rápida (Estrella & H Solís, 2023).
- B. En la memoria de cálculo del rediseño del Bastión 2 (Estrella & H Solís, 2023), no se incluyó la presión hidrostática (WA) detrás del bastión como parte de las cargas consideradas en el análisis estructural de la pared de cabezal (ver Figura 2). Según lo indicado en el Art. 11.6.6 de AASHTO LRFD, esto se permite siempre y cuando se coloque un sistema de drenaje detrás del bastión (AASHTO, 2020).
- C. Aunque los planos originales del Bastión 2 sí muestran un sistema de drenaje detrás del bastión (ver Figura 3a), los planos estructurales del rediseño de este elemento no muestran dicho sistema (ver Figura 3b).
- D. Al momento de la inspección, no se observó ningún sistema de drenaje en la parte trasera del Bastión 2 (ver Figura 4).



**Figura 2.** Cargas consideradas en el análisis estructural de la pared de cabezal del Bastión 2 del viaducto.

Fuente: Estrella & H Solís, 2023

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 14 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



**Figura 3.** Detalle de Bastión 2 del viaducto. **(a)** Diseño original muestra sistema de drenaje detrás del bastión. **(b)** Rediseño por parte del Contratista no muestra sistema de drenaje detrás del bastión.

Fuente: **(a)** CONAVI, 2022. **(b)** CONAVI, 2023b

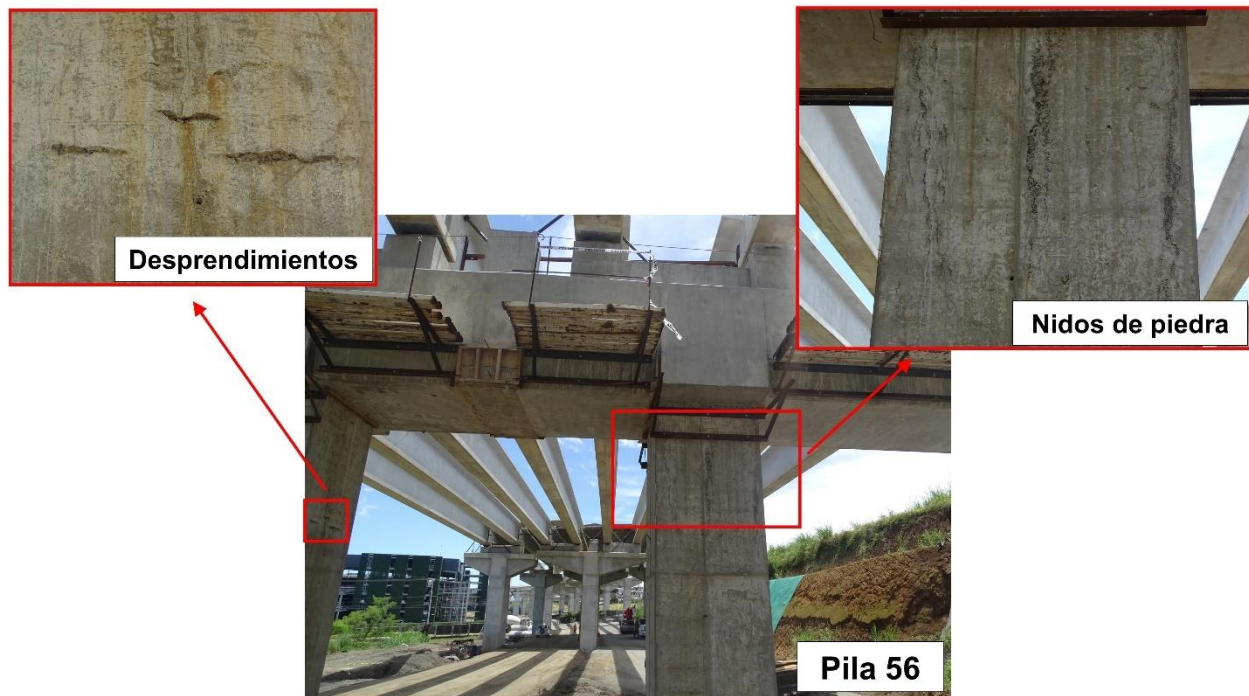


**Figura 4.** Parte trasera del Bastión 2 del viaducto durante la inspección realizada. No se observó ningún sistema de drenaje detrás del bastión.



Observación 5.1.2. Cuerpo de pilas – Deficiencias en concreto:

- A. Se observaron desprendimientos puntuales en la columna central sur de la Pila 56 del viaducto, así como nidos de piedra puntuales en la columna central norte de esta misma pila (ver Figura 5).



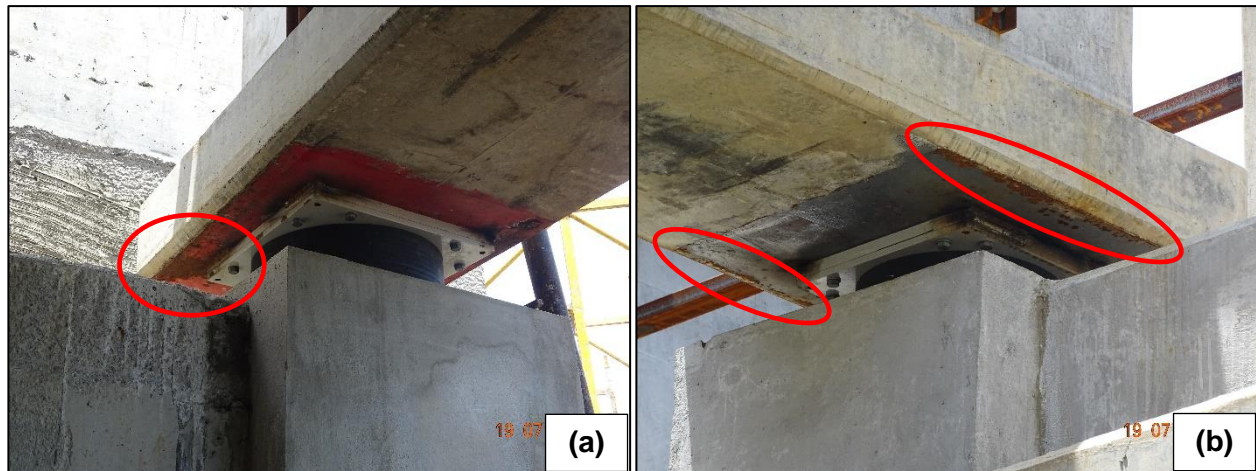
**Figura 5.** Desprendimientos y nidos de piedra puntuales observados en las columnas centrales de la Pila 56 del viaducto.

Observación 5.1.3. Aisladores sísmicos elastoméricos (LRB) – Oxidación de placas:

- A. Se pudo observar oxidación en las placas de acero que están embebidas en las vigas principales del viaducto, a las cuales se conectan los aisladores elastoméricos de núcleo de plomo (LRB por sus siglas en inglés), esto debido a la falta de aplicación de un sistema de protección de pintura para elementos de acero (ver Figura 6).
- B. El problema de oxidación también se observó en los cordones de soldadura entre la placa superior de los aisladores tipo LRB y la placa de acero que está embebida en las vigas principales (ver Figura 7).



C. Este problema de oxidación en las placas de los apoyos también se había observado de manera generalizada durante el proceso constructivo de las Unidades Funcionales III y IV del proyecto, tal como se reportó en los informes LM-PIE-03-2021 (PIE, 2021a) y LM-PIE-16-2021 (PIE, 2021b). En este caso, el Contratista aplicó un sistema de protección de pintura a los elementos de acero de todos los apoyos del viaducto como una medida correctiva (ver Figura 8).



**Figura 6.** Problemas de oxidación en los elementos de acero de los aisladores sísmicos tipo LRB.

**(a)** Aislador sísmico del Bastión 2. **(b)** Aislador sísmico de pila.



**Figura 7.** Problemas de oxidación en cordón de soldadura realizada por tractos en aislador sísmico tipo LRB del Bastión 2.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 17 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



**Figura 8.** Sistema de protección que fue aplicado a las placas de acero de los dispositivos de apoyo del viaducto en las Unidades Funcionales III y IV del proyecto.

Observación 5.1.4. Aisladores sísmicos elastoméricos (LRB) – Soldadura por trectos:

- A. Se pudo observar que los cordones de soldadura entre la placa superior de los aisladores tipo LRB y la placa de acero que está embebida en la viga principal no son continuos a lo largo del borde de la placa, sino que están siendo realizados por trectos (ver Figura 7).
- B. De acuerdo con un informe de supervisión de UNOPS (2020b) de las Unidades Funcionales III y IV, el Contratista implementó modificaciones al proceso de soldadura para que este se realizara por trectos, con el fin de evitar desprendimientos de concreto en las vigas principales producto de la expansión térmica de las placas de acero durante el proceso de soldadura (ver Observación 5.1.6). Es posible que este mismo método que fue implementado en las Unidades Funcionales III y IV se esté aplicando en la Unidad Funcional V.

Observación 5.1.5. Aisladores sísmicos elastoméricos (LRB) – Separación entre placas:

- A. En uno de los aisladores sísmicos tipo LRB del Bastión 2, se pudo observar una separación de aproximadamente 7 mm entre la placa superior del aislador y la placa de acero que está embebida en la viga principal, las cuales están conectadas a través de una soldadura de filete (ver Figura 9).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 18 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



- B. De acuerdo con el artículo 5.3.1 de la norma AASHTO/AWS D1.5:2020, “las partes que se unirán mediante soldaduras de filete se deben poner en contacto lo más cercano posible. La abertura de la raíz no debe exceder los 5 mm [3/16 in] excepto en los casos que involucren formas o placas de 75 mm [3 in] o más de espesor si, después del enderezado y ensamblado, la abertura de la raíz no puede cerrarse lo suficiente para cumplir con este requisito. En tales casos, se puede usar una abertura de raíz máxima de 8 mm [5/16 in], con una soldadura de respaldo o un respaldo adecuado. Si la abertura de la raíz es mayor a 2 mm [1/16 in], el lado de la soldadura de filete se incrementará en la cantidad de la abertura de la raíz o el Contratista deberá demostrar que se obtuvo el tamaño de soldadura requerido.” (AASHTO & AWS, 2020).
- C. En este caso, dado que la abertura de raíz (separación entre placas de acero) es mayor a 2 mm, el Contratista debe demostrar que se cumplen los requisitos establecidos en el artículo 5.3.1 de la norma AASHTO/AWS D1.5:2020, o en su defecto, hacer las correcciones necesarias para que la soldadura de filete cumpla con todos los requerimientos de la normativa.



**Figura 9.** Separación entre la placa superior de aislador sísmico del Bastión 2 y la placa de acero que está embebida en la viga principal.

Observación 5.1.6. Vigas principales – Desprendimiento de concreto:

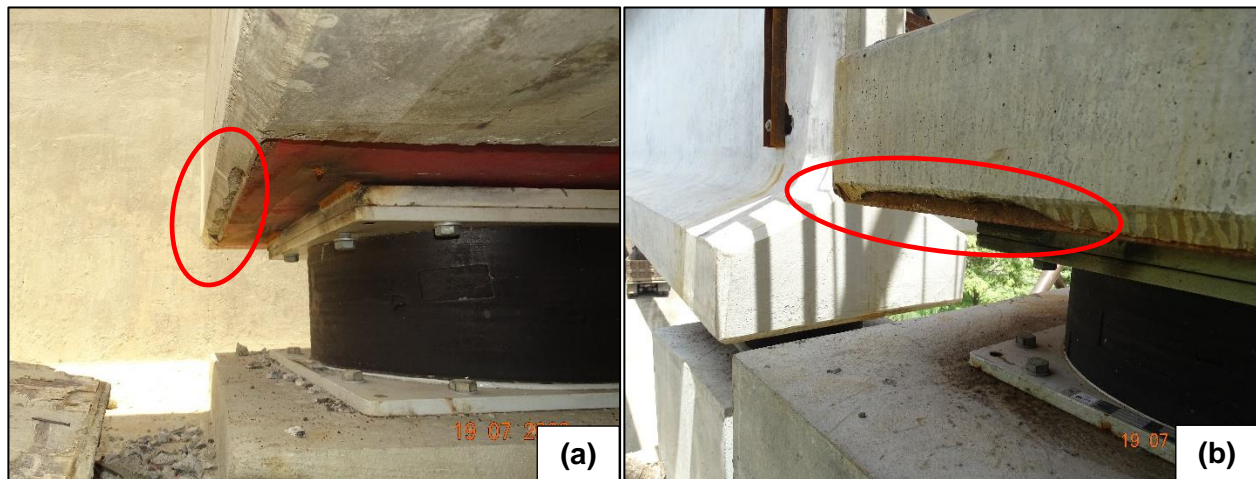
- A. Se pudo observar agrietamiento y desprendimiento de concreto alrededor de las placas de acero que están embebidas en las vigas principales, a las que se sueldan los aisladores sísmicos tipo LRB (ver Figura 10). Esto representa un problema de durabilidad, ya que al

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 19 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



desprenderse el concreto, las placas de acero quedan expuestas y estas aún no cuentan con un sistema de protección.

- B. Este problema también se había observado de manera generalizada durante el proceso constructivo de las Unidades Funcionales III y IV del proyecto, tal como se reportó en los informes LM-PIE-03-2021 (PIE, 2021a) y LM-PIE-16-2021 (PIE, 2021b). De acuerdo con un informe de supervisión de UNOPS (2020a) de dichas unidades funcionales, el Contratista indicó que las fisuras aparecían como resultado de la expansión térmica del elemento durante el proceso de soldadura de las placas de acero embebidas en las vigas a la placa de acero del aparato de apoyo.
- C. Como el fin de evitar este problema, en las Unidades Funcionales III y IV se modificó el proceso de soldadura para que este se realizara por trectos. Sin embargo, la medida no tuvo el efecto esperado, ya que se seguía produciendo agrietamiento en el concreto de recubrimiento, aunque la soldadura se efectuara por trectos (UNOPS, 2020b). Finalmente, como medida correctiva, se aplicó un mortero para restituir el recubrimiento de concreto que se había desprendido en estas zonas (ver Figura 11).



**Figura 10.** Desprendimiento de concreto alrededor de las placas de acero embebidas en las vigas principales. **(a)** Aislador sísmico del Bastión 2. **(b)** Aislador sísmico de pila.



**Figura 11.** Mortero aplicado para restituir el recubrimiento de concreto desprendido en las vigas principales del viaducto en las Unidades Funcionales III y IV.

Observación 5.1.7. Tablero – Grietas en prelosas:

- A. Se pudo observar agrietamiento en una de las prelosas del tablero del Tramo 55 del viaducto (ver Figura 12), el cual ya había sido colado al momento de la inspección.
- B. De acuerdo con los planos estructurales del proyecto, no existe una conexión a cortante entre las prelosas prefabricadas y el tablero colado en sitio que transmita las fuerzas entre ambos elementos (ver Figura 13). Asimismo, en la memoria de cálculo del viaducto se indica que el espesor de las prelosas no se consideró al momento de realizar los cálculos de la resistencia del tablero (Estrella & H Solís, 2018). Por lo tanto, se puede suponer que las prelosas en cuestión no contribuyen a la capacidad estructural del tablero.
- C. Aunque las prelosas no contribuyan a la capacidad estructural del tablero, estas sí corresponden a un elemento permanente del viaducto que está suspendido sobre la vía marginal inferior. Por lo tanto, se considera que es prudente darles mantenimiento con tal de evitar problemas asociados en el futuro.
- D. Este problema también se había observado de manera generalizada durante el proceso constructivo de la Unidad Funcional III del proyecto, tal como se reportó en el LM-PIE-42-2021 (PIE, 2021c).



Figura 12. Agrietamiento observado en una de las prelasas del tablero del Tramo 55 del viaducto.

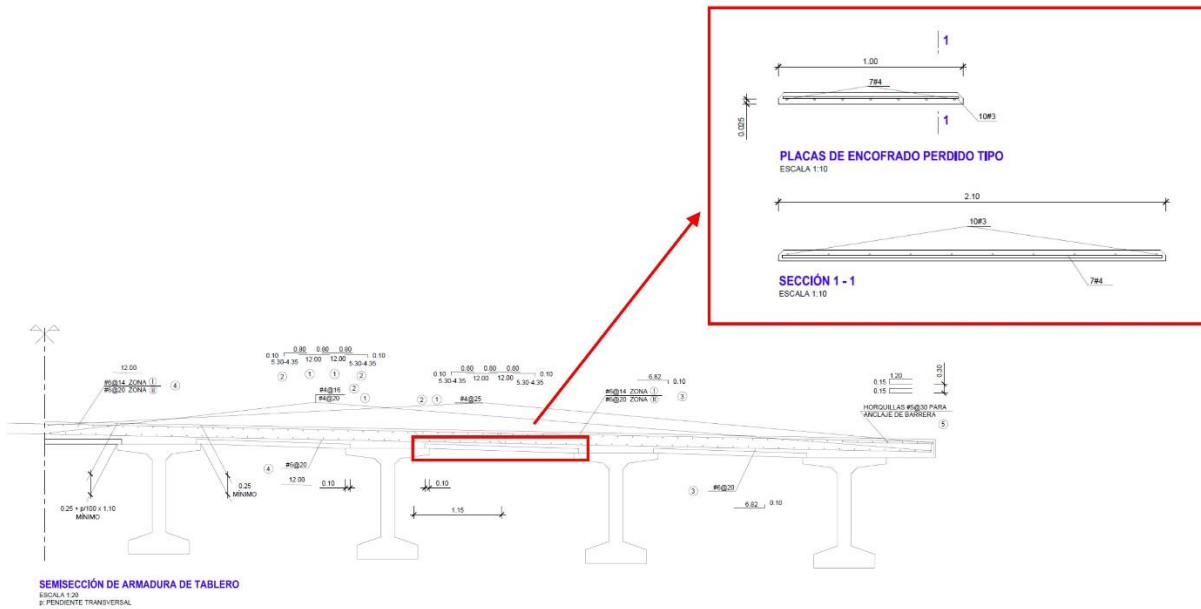


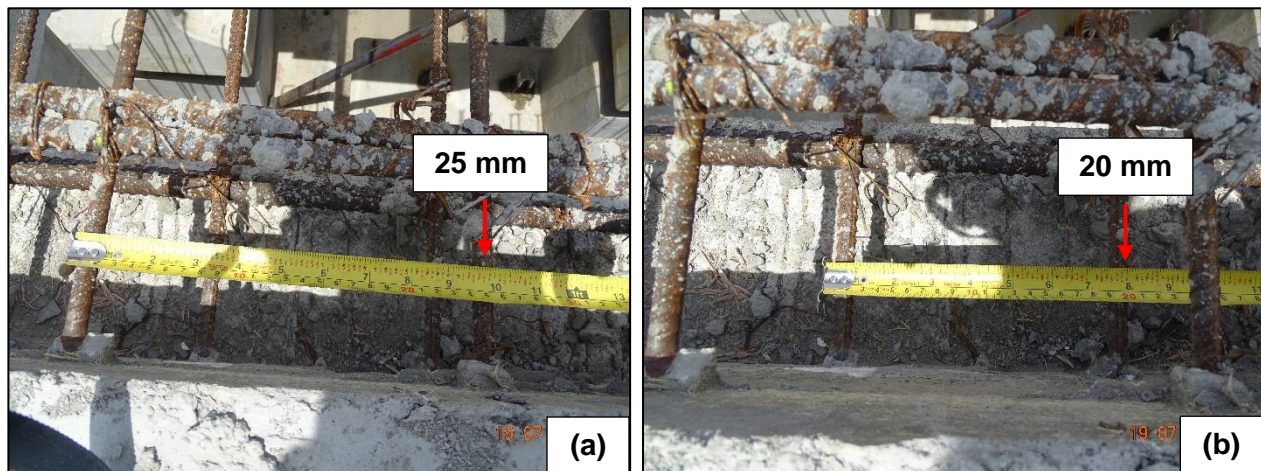
Figura 13. Detalle del acero de refuerzo de la prelasas prefabricadas como se muestra en los planos estructurales del proyecto.

Fuente: CONAVI, 2022



Observación 5.1.8. Tablero – Separación de acero de refuerzo longitudinal:

- A. Durante la inspección se midió la separación del acero de refuerzo longitudinal del tablero del Tramo 55 del viaducto, el cual ya había sido colado. En el caso de la capa superior, se midió una separación de 25 mm (ver Figura 14a), mientras que, en el caso de la capa inferior, se midió una separación de 20 mm (ver Figura 14b). Estas separaciones coinciden con lo especificado en los planos estructurales del viaducto.
- B. No fue posible medir la separación del acero de refuerzo transversal ya que este no se encontraba visible al momento de la inspección.



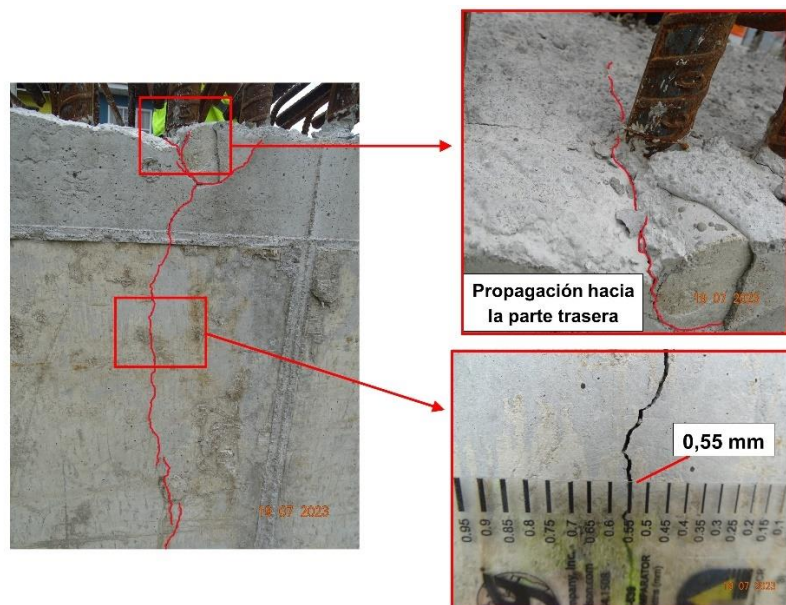
**Figura 14.** Medición de la separación del acero de refuerzo longitudinal del tablero del viaducto, la cual coincide con lo especificado en los planos estructurales. **(a)** Capa de refuerzo superior. **(b)** Capa de refuerzo inferior.

## 5.2. Observaciones con respecto al paso inferior (Tramo 2)

Con base en la inspección realizada en sitio, se hacen las siguientes observaciones para cada uno de los elementos del Tramo 2 del paso inferior que se indican en el Cuadro 2.

### Observación 5.2.1. Cabezal de bastión norte – Agrietamiento de concreto:

- A. Se observaron grietas verticales en la pared de cabezal del bastión norte, para las cuales se pudo medir un espesor aproximado entre 0,2 y 0,55 mm y una separación aproximada entre 3 y 4 m. Estas grietas abarcaban la altura completa de la cara frontal de la pared de cabezal y en algunos casos incluso se extendían hacia la parte trasera (ver Figura 15). Adicionalmente, se observó una grieta aislada en la viga cabezal del bastión norte con un espesor aproximado de 0,5 mm (ver Figura 16).
- B. De acuerdo con Xue, Zhou, Hua & Li (2018), la principal razón para la aparición de grietas verticales en un bastión es que, bajo el efecto conjunto de retracción del concreto y cambios de temperatura, se produce deformación entre la viga cabezal sobre pilotes y la pared de cabezal. Sin embargo, esta deformación se encuentra restringida por la rigidez de los pilotes, lo cual genera grietas en la pared de cabezal que se propagan verticalmente.



**Figura 15.** Grietas por retracción del concreto en pared de cabezal del bastión norte del paso inferior (Tramo 2).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 24 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------





**Figura 16.** Grieta aislada en viga cabezal del bastión norte del paso inferior (Tramo 2).

Observación 5.2.2. Cabezal de bastión norte – Deficiencias en concreto por proceso constructivo:

- A. Se pudo observar nidos de piedra en varios puntos de la pared de cabezal del bastión norte (ver Figura 17).
- B. Se pudo observar desprendimientos de concreto en dos puntos de la pared de cabezal del bastión norte, aparentemente producidos al momento de remover la formaleta después del colado del elemento (ver Figura 18).



**Figura 17.** Nidos de piedra en pared de cabezal del bastión norte del paso inferior (Tramo 2).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 25 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



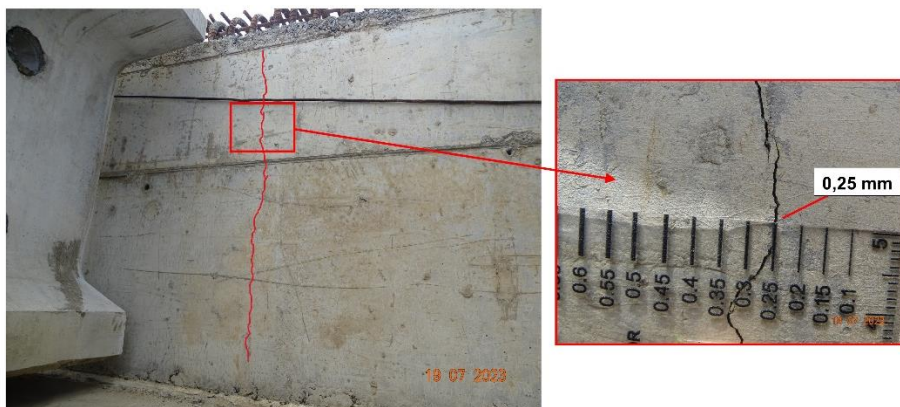
**Figura 18.** Desprendimientos de concreto en pared de cabezal del bastión norte del paso inferior (Tramo 2).

### 5.3. Observaciones con respecto al paso inferior (Tramo 3)

Con base en la inspección realizada en sitio, se hacen las siguientes observaciones para cada uno de los elementos del Tramo 3 del paso inferior que se indican en el Cuadro 2.

#### Observación 5.3.1. Cabezal de bastiones – Agrietamiento de concreto:

- A. Se observaron grietas verticales aisladas en la pared de cabezal tanto del bastión norte como del bastión sur, las cuales presentaban un espesor aproximado de 0,25 mm y abarcaban la altura completa de la cara frontal de la pared de cabezal (ver Figura 19).
- B. La causa de estas grietas aparenta ser la misma que la expuesta para el Tramo 2 del paso inferior (ver Observación 5.2.1.B)

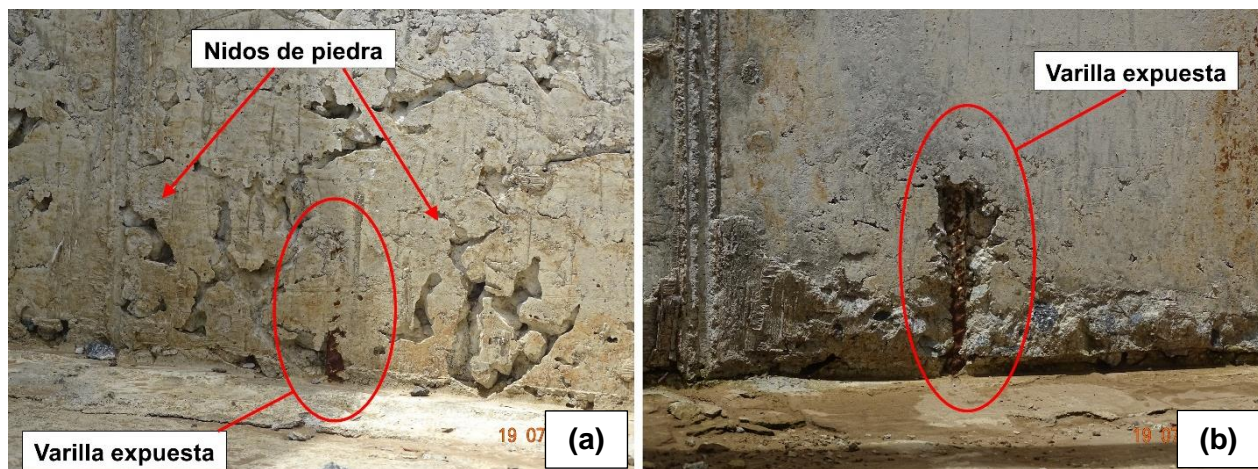


**Figura 19.** Grietas por retracción del concreto en pared de cabezal del bastión sur del paso inferior (Tramo 3).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 26 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------

Observación 5.3.2. Cabezal de bastiones – Deficiencias en concreto por proceso constructivo:

- A. Se pudo observar nidos de piedra en varios puntos de la pared de cabezal tanto del bastión norte como del bastión sur (ver Figura 20a).
- B. Se pudo observar varias varillas expuestas en la pared de cabezal tanto del bastión norte como del bastión sur (ver Figuras 20a y 20b). En apariencia estas varillas no forman parte del acero de refuerzo de la pared de cabezal, sino que fueron colocadas para dar soporte de la formaleta durante el proceso de colado del concreto. Sin embargo, la eventual corrosión de estas varillas podría ocasionar desprendimientos en el concreto circundante.



**Figura 20.** Nidos de piedra y varillas expuestas en pared de cabezal del bastión sur del paso inferior (Tramo 3). En apariencia las varillas expuestas no forman parte del acero de refuerzo del elemento.

Observación 5.3.3. Apoyos elastoméricos – Levantamiento del apoyo:

- A. En los apoyos elastoméricos de algunas de las vigas principales, se pudo observar un levantamiento leve del apoyo elastomérico con respecto al pedestal sobre el que está colocado (ver Figura 21).
- B. De acuerdo con Stanton et al (2008), este tipo de levantamiento puede darse debido a altas rotaciones producidas por la contraflecha de la viga en combinación con carga axial de baja magnitud durante la etapa constructiva. Los autores demuestran que el levantamiento no constituye un problema para apoyos elastoméricos que no posean placas externas (como es el caso de los apoyos en cuestión). Esta misma conclusión fue adoptada por la especificación de diseño AASHTO LRFD, según se indica en el comentario C14.7.6.3.5a (AASHTO, 2020).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 27 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



**Figura 21.** Levantamiento parcial del apoyo elastomérico del extremo norte de una de las vigas principales del paso inferior (Tramo 3).

Observación 5.3.4. Vigas principales – Desprendimientos por impacto:

- A. Se pudo observar desprendimiento de concreto en los extremos de dos de las vigas principales, en uno de los casos con acero de refuerzo expuesto (ver Figuras 22a y 22b, respectivamente). En apariencia, estos desprendimientos fueron producidos por golpes durante el montaje de las vigas.



**Figura 22.** Desprendimiento en el extremo norte de una de las vigas principales del paso inferior (Tramo 3).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 28 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



**Figura 23.** Desprendimiento con acero expuesto en el extremo sur de una de las vigas principales del paso inferior (Tramo 3).

#### 5.4. Observaciones con respecto al paso inferior (Tramo 4)

Con base en la inspección realizada en sitio, se hacen las siguientes observaciones para cada uno de los elementos del Tramo 4 del paso inferior que se indican en el Cuadro 2.

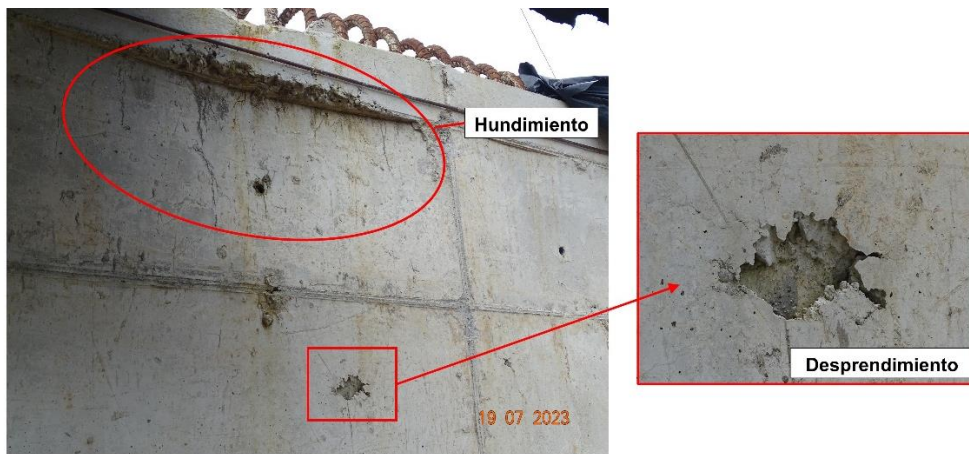
##### Observación 5.4.1. Cabezal de bastión sur – Deficiencias en concreto por proceso constructivo:

- A. Se pudo observar nidos de piedra en varios puntos de la pared de cabezal del bastión sur (ver Figura 24).
- B. Se pudo observar un hundimiento puntual en la superficie de la pared de cabezal del bastión sur, aparentemente causado por el movimiento de la formaleta durante el colado del elemento (ver Figura 25). Este hundimiento provoca que el recubrimiento de concreto al acero de refuerzo en esta zona sea menor al especificado.
- C. Se pudo observar desprendimientos de concreto puntuales en la pared de cabezal del bastión sur, aparentemente producidos al momento de remover la formaleta después del colado del elemento (ver Figura 25).
- D. Se pudo observar varias varillas expuestas en la pared de cabezal del bastión sur (ver Figura 26). En apariencia estas varillas no forman parte del acero de refuerzo de la pared de cabezal, sino que fueron colocadas para dar soporte de la formaleta durante el proceso de colado del concreto. Sin embargo, la eventual corrosión de estas varillas podría ocasionar desprendimientos en el concreto circundante.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 29 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



**Figura 24.** Nidos de piedra en pared de cabezal del bastión sur del paso inferior (Tramo 4).



**Figura 25.** Hundimiento y desprendimiento en pared de cabezal del bastión sur del paso inferior (Tramo 4).



**Figura 26.** Varillas expuestas en pared de cabezal del bastión sur del paso inferior (Tramo 4). En apariencia las varillas expuestas no forman parte del acero de refuerzo del elemento.



## 6. CONCLUSIONES

A partir de la inspección realizada de los puentes y elementos indicados en la Sección 4 de este informe, se obtienen las conclusiones que se presentan a continuación:

- a) En el caso de los tramos del viaducto que forman parte de la Unidad Funcional V, se pudieron observar varias deficiencias que también se habían observado de manera generalizada en inspecciones realizadas en el 2021 durante el proceso constructivo de los tramos del viaducto pertenecientes a las Unidades Funcionales III y IV del proyecto. Estas deficiencias incluyen: oxidación en las placas de acero y cordones de soldadura de los aisladores sísmicos tipo LRB, desprendimiento de concreto de las vigas principales alrededor de las placas embebidas a las que se conectan los aisladores sísmicos y grietas en las prelosas del tablero. Ante estas deficiencias, en las Unidades Funcionales III y IV se implementaron algunas medidas correctivas, como la aplicación de un sistema de protección de pintura de los elementos de acero y la restitución del recubrimiento de concreto desprendido en las vigas principales. Al momento de la inspección del proyecto realizada recientemente, no se observaron medidas similares que se hayan implementado en la Unidad Funcional V.
- b) Algunas observaciones realizadas durante la inspección requieren de una aclaración posterior por parte del Contratista para asegurar que se estén cumpliendo las disposiciones de la normativa técnica aplicable. Estas observaciones incluyen la posible ausencia del sistema de drenaje en el Bastión 2 del viaducto (ver Observación 5.1.1), lo cual debe satisfacer lo indicado en el artículo 11.6.6 de la especificación de diseño AASHTO LRFD (AASHTO, 2020), así como la separación entre placas con soldadura de filete observada en uno de los aisladores sísmicos tipo LRB del Bastión 2 (ver Observación 5.1.5), lo cual debe satisfacer lo indicado en el artículo 5.3.1 de la norma AASHTO/AWS D1.5:2020 (AASHTO & AWS, 2020).
- c) Se pudo verificar que la separación del acero de refuerzo longitudinal del tablero del Tramo 55 del viaducto (el único que había sido colado al momento de la inspección) coincide con la separación indicada en los planos constructivos correspondientes.
- d) Los bastiones del paso inferior presentan grietas verticales de hasta 0,55 mm de espesor que abarcan la altura completa de la cara frontal de la pared de cabezal y en algunos casos incluso se extienden hacia la parte trasera. Grietas con estas características generalmente están

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 31 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



asociadas al efecto conjunto de retracción del concreto y cambios de temperatura, así como la restricción a la deformación impuesta por la rigidez de los pilotes.

- e) En los bastiones y vigas principales del paso inferior, así como la Pila 56 del viaducto, fue posible observar varias deficiencias en el concreto que están asociadas a los procesos constructivos correspondientes. Estas deficiencias incluyen: nidos de piedra en el concreto, desprendimientos de concreto producidos al momento de remover la formaleta o por impacto, así como un hundimiento en la superficie de concreto producido por movimiento de la formaleta, lo cual reduce el recubrimiento al acero de refuerzo. Adicionalmente, en los bastiones del paso inferior se observaron varillas expuestas colocadas como parte del proceso constructivo y que aparentemente no forman parte del acero de refuerzo; sin embargo, la eventual corrosión de estas varillas podría ocasionar desprendimientos en el concreto circundante.
- f) Se pudo observar levantamiento en la base de algunos de los apoyos elastoméricos del paso inferior. Sin embargo, este levantamiento parece estar asociado a las condiciones propias de la etapa constructiva del puente (alta rotación por la contraflecha de la viga en conjunto con cargas axiales pequeñas transmitidas al apoyo en esta etapa) y no está prohibido por la especificación de diseño AASHTO LRFD (AASHTO, 2020).

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 32 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------





## 7. RECOMENDACIONES

Con base en las observaciones de los puentes inspeccionados, se recomienda solicitar a la Administración una respuesta por escrito en la que aclare los siguientes puntos:

1. Con respecto a las placas y conexiones de los aisladores sísmicos tipo LRB del viaducto (Observaciones 5.1.3, 5.1.4, 5.1.6):

1.1. El detalle del procedimiento que está siguiendo el Contratista para ejecutar la soldadura por tractos en las placas de los aisladores sísmicos.

1.2. Aclaración de si las medidas correctivas que fueron implementadas en los tramos del viaducto pertenecientes a las Unidades Funcionales III y IV (aplicación de un sistema de protección contra la corrosión a las placas de acero de todos los apoyos, restitución del recubrimiento de concreto desprendido en las vigas principales alrededor de estas placas) también van a ser aplicadas en los tramos del viaducto pertenecientes a la Unidad Funcional V.

1.3. Las especificaciones del sistema de protección contra la corrosión que sería aplicado a los elementos de acero de los apoyos de los tramos del viaducto pertenecientes a la Unidad Funcional V y los detalles del procedimiento que seguiría el Contratista para aplicarlo.

1.4. Las especificaciones del material que sería utilizado para restituir el recubrimiento de concreto desprendido alrededor de las placas de acero embebidas en las vigas principales y los detalles del procedimiento que seguiría el Contratista para aplicarlo.

2. Con respecto la separación entre placas con soldadura de filete en uno de los aisladores sísmicos tipo LRB del Bastión 2 (Observación 5.1.5):

2.1. Demostración por parte del Contratista de que se cumplen los requisitos establecidos en el artículo 5.3.1 de la norma AASHTO/AWS D1.5:2020 (AASHTO & AWS, 2020), o en su defecto, el plan de intervención que seguirá el Contratista para corregir el problema y realizar la soldadura de filete en cumplimiento de todos los requerimientos de la normativa.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 33 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



3. Con respecto al sistema de drenaje del Bastión 2 del viaducto (Observación 5.1.1):

3.1. Aclaración de si el rediseño del Bastión 2 del viaducto contempla la colocación de un sistema de drenaje detrás del muro que evite que se generen presiones hidrostáticas en esta zona, esto ante la duda de que dicho sistema no se observó en sitio durante la inspección realizada y este tampoco se muestra en los planos del rediseño del bastión.

3.2. En caso de que el rediseño del Bastión 2 del viaducto no contemplara la colocación de un sistema de drenaje, se requiere una demostración por parte del Contratista de que el diseño estructural del Bastión 2 es adecuado para soportar las presiones hidrostáticas actuando en conjunto con la presión del suelo, como lo establece el artículo 11.6.6 de la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2020), o en su defecto, el plan de intervención que seguirá el Contratista para corregir el problema y garantizar el cumplimiento de todos los requerimientos de la normativa.

4. Con respecto a las prelosas del tablero del viaducto (Observación 5.1.7):

4.1. Aclaración de si está previsto implementar alguna medida correctiva con respecto a las grietas en las prelosas utilizadas como encofrado permanente del tablero.

4.2. En caso positivo, el plan de intervención que seguirá el Contratista para corregir dicho agrietamiento.

4.3. En caso negativo, la justificación por parte del Contratista de por qué no se va a reparar dicho agrietamiento.

5. Con respecto a las grietas verticales en los bastiones del paso inferior (Observaciones 5.2.1, 5.3.1):

5.1. El plan de intervención que seguirá el Contratista para solventar el problema de agrietamiento por retracción del concreto en la pared de cabezal de los bastiones del paso inferior, con tal de evitar problemas de durabilidad en estos elementos.

5.2. Las medidas preventivas que tomará el Contratista para evitar que estos problemas se vuelvan a presentar en los bastiones de los tramos del paso inferior que aún no han sido construidos.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 34 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



6. Con respecto a las deficiencias en elementos de concreto del viaducto y el paso inferior asociadas a procesos constructivos (Observaciones 5.1.2, 5.2.2, 5.3.2, 5.3.4, 5.4.1):

6.1. El plan de intervención que seguirá el Contratista para solucionar cada una de las siguientes deficiencias observadas durante la inspección, las cuales están asociadas a procesos constructivos:

- Nidos de piedra y desprendimientos en la Pila 56 del viaducto
- Nidos de piedra en los bastiones de los Tramos 2, 3 y 4 del paso inferior
- Desprendimientos de concreto en los bastiones de los Tramos 2 y 4 del paso inferior
- Varillas expuestas embebidas en el concreto de los bastiones de los Tramos 3 y 4 del paso inferior, las cuales en caso de corroerse podrían generar desprendimientos del concreto circundante.
- Hundimiento en la pared de cabezal del bastión sur del Tramo 4 del paso inferior
- Daños por impacto en las vigas principales del Tramo 3 del paso inferior

6.2. Las medidas preventivas que tomará el Contratista para evitar que estos problemas se vuelvan a presentar en elementos estructurales que aún no han sido construidos.

EIC-Lanamme-INF-1238-2023	4 de setiembre, 2023	Página 35 de 37
---------------------------	----------------------	-----------------



## 8. REFERENCIAS

American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. (2020). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 9th Edition*. Washington D.C.: AASHTO.

American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO & American Welding Society, AWS. (2020). *Código de Soldadura para Puentes*. AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2020. Miami, FL: AWS.

Consejo Nacional de Vialidad, CONAVI. (2023a). *Unidad Funcional V: Calle Blancos*. Planos estructurales del Paso Inferior Calle Blancos. Versión 8. Proyecto: Diseño y Construcción del Corredor Vial “Circunvalación Norte”, Ruta Nacional N.º 39, Sección Uruca – Calle Blancos. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Consejo Nacional de Vialidad, CONAVI. (2023b). *Unidad Funcional V: Tramo Viaducto*. Planos estructurales del rediseño del Bastión 2 del Viaducto. Versión 4. Proyecto: Diseño y Construcción del Corredor Vial “Circunvalación Norte”, Ruta Nacional N.º 39, Sección Uruca – Calle Blancos. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Consejo Nacional de Vialidad, CONAVI. (2022). *Unidad Funcional V: Calle Blancos*. Planos estructurales del Viaducto. Versiones 3 y 4. Proyecto: Diseño y Construcción del Corredor Vial “Circunvalación Norte”, Ruta Nacional N.º 39, Sección Uruca – Calle Blancos. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Consejo Nacional de Vialidad, CONAVI. (2018). *Unidad Funcional III: Tramo Viaducto*. Plano de situación. Versión 1. Proyecto: Diseño y Construcción del Corredor Vial “Circunvalación Norte”, Ruta Nacional N.º 39, Sección Uruca – Calle Blancos. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Estrella & H Solís. (2023). *Memoria de Cálculo Bastión 2, Unidad Funcional V*. Proyecto: Diseño y Construcción del Corredor Vial “Circunvalación Norte”, Ruta Nacional N.º 39, Sección Uruca – Calle Blancos. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.



Estrella & H Solís. (2018). *Memoria de Cálculo Viaducto, Unidad Funcional III*. Proyecto: Diseño y Construcción del Corredor Vial “Circunvalación Norte”, Ruta Nacional N.º 39, Sección Uruca – Calle Blancos. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Programa de Ingeniería Estructural, PIE. (2021a). *Inspección de la construcción de las Unidades Funcionales III y IV de Circunvalación Norte – Ruta Nacional N° 39*. LM-PIE-03-2021. LanammeUCR: San José.

Programa de Ingeniería Estructural, PIE. (2021b). *Inspección de la construcción de las Unidades Funcionales I, III y IV de Circunvalación Norte – Ruta Nacional N° 39*. LM-PIE-16-2021. LanammeUCR: San José.

Programa de Ingeniería Estructural, PIE. (2021c). *Inspección de la construcción del proyecto de Circunvalación Norte, Unidades Funcionales I, II, III y IV, Ruta Nacional N° 39*. LM-PIE-42-2021. LanammeUCR: San José.

UNOPS. (2020a). *Informe de inspección estructural Ref.: 2020.04.26\_CN Inspección #5*. Proyecto Viaducto Circunvalación Norte. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

UNOPS. (2020b). *Informe de inspección estructural Ref.: 2020.05.29\_CN Inspección #6*. Proyecto Viaducto Circunvalación Norte. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Xue, X.; Zhou, J.; Hua, X. & Li, H. (2018). *Analysis of the Generating and Influencing Factors of Vertical Cracking in Abutments during Construction*. Advances in Materials Science and Engineering. Disponible en <https://doi.org/10.1155/2018/1907360>