



# Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-INF-0208-2023

## INFORME DE REVISIÓN DOCUMENTAL

### REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DE LA REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, EN LA RUTA NACIONAL N.º 32



**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

17 de febrero, 2023



Página intencionalmente dejada en blanco



<b>1. Informe:</b> EIC-Lanamme-INF-0208-2023		<b>2. Copia N.º:</b> 1
<b>3. Título:</b> REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DE LA REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, EN LA RUTA NACIONAL N.º 32		<b>4. Fecha del Informe:</b> 17 de febrero, 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> Dentro del presente informe de revisión documental, se revisa la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Virilla, específicamente el procedimiento de evaluación estructural que se siguió para determinar las necesidades de mejoramiento y ampliación del puente, así como el procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento, tanto para cargas no sísmicas como para cargas sísmicas. La revisión de estos procedimientos se centró en verificar el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la normativa vigente. El Programa de Ingeniería Estructural (PIE) realiza esta revisión ante la solicitud de criterio técnico de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del LanammeUCR. Este documento es parte de las competencias de la fiscalización de la Red Vial Nacional asignadas al LanammeUCR por medio de la Ley 8114. El proyecto "Diseño de Detalle de la Ampliación del Viaducto Existente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional No. 32 'Carretera Braulio Carrillo'" consiste en una propuesta de mejoramiento y ampliación del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, cuyo alcance incluye: la sustitución de cuatro superestructuras tipo viga de concreto presforzado, el reforzamiento de una superestructura tipo viga cajón de concreto presforzado, la sustitución de los bastiones, el reforzamiento de la cimentación, el fuste y la viga cabezal de las seis pilas y la sustitución de todos los dispositivos de apoyos del puente.		
<b>8. Palabras clave</b> 2023, Puente, río Virilla, memoria de cálculo, diseño estructural, mejoramiento, rehabilitación, reforzamiento, rehabilitación sísmica, Ruta 32, auditorías técnicas de puentes, informe de revisión documental.		<b>9. N.º de páginas</b> 109
<b>10. Elaborado por:</b> Ing. Francisco Rodríguez Bardía Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural	<b>11. Revisado por:</b> Ing. Daniel Johanning Cordero Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural	<b>12. Revisado y aprobado por:</b> Ing. Julian Trejos Villalobos Coordinador Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural
<b>13. Revisado y aprobado por:</b> Ing. Rolando Castillo Barahona Coordinador General Programa de Ingeniería Estructural	<b>14. Revisado por:</b> Asesoría Legal LanammeUCR	



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-XXXX-2022	XX de noviembre, 2022	Página 4 de 109
---------------------------	-----------------------	-----------------



## 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.....</b>	<b>11</b>
<b>4. ALCANCE DE LA REVISIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>5. NORMATIVA APLICABLE AL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE PUENTES EXISTENTES</b>	<b>17</b>
<b>6. REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL MEJORAMIENTO DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA .....</b>	<b>19</b>
6.1. ELEMENTOS ESCOGIDOS PARA REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO .....	19
6.2. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA LA REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO .....	19
6.3. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO .....	22
6.3.1. <i>Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente para cargas no sísmicas .....</i>	<i>22</i>
6.3.2. <i>Revisión del procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente para cargas no sísmicas .....</i>	<i>27</i>
6.3.3. <i>Revisión del procedimiento de análisis y diseño sismorresistente del puente .....</i>	<i>33</i>
6.3.4. <i>Resumen de los resultados de la revisión .....</i>	<i>36</i>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>APÉNDICE A. LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA PARA CARGAS NO SÍSMICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>APÉNDICE B. LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA CARGAS NO SÍSMICAS DE LAS MEDIDAS DE MEJORAMIENTO DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA EN RUTA NACIONAL N.º 32 .....</b>	<b>69</b>
<b>APÉNDICE C. LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA CARGAS SÍSMICAS DE LAS MEDIDAS DE MEJORAMIENTO DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA EN LA RUTA NACIONAL N.º 32 .....</b>	<b>96</b>



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 6 de 109
---------------------------	---------------------	-----------------



## RESUMEN EJECUTIVO

A partir de la revisión de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Virilla, en la Ruta Nacional n.º 32, se encontró lo siguiente:

- El procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del puente existente sobre el río Virilla con respecto a la evaluación estructural y el diseño del mejoramiento y ampliación estructural, cumple en un **67,97 %** con los requerimientos de la normativa aplicable vigente al momento de realizarse el proyecto.
- Se observaron hallazgos de atención inmediata, los cuales se enlistan a continuación:
  - Se observó incumplimiento del acero longitudinal en el diseño de los pilotes que se muestra en la página 1042 del documento de memoria de cálculo, lo que podría indicar insuficiente capacidad a flexión o flexocompresión
  - En los apéndices de la memoria de cálculo se observó el uso de versiones anteriores de la norma AASHTO a la indicada en planos constructivos y la introducción de la memoria de cálculo, que a su vez es anterior a la vigente, del 2020.
  - Se observó que las longitudes de anclaje de ganchos estándar son insuficientes según lo indicado en AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.10.8.2 y 5.10.8.4.
  - Se observó que el puente fue diseñado con importancia esencial, cuando lo requerido por la normativa Nacional es que sea diseñado como un puente con importancia crítica, lo que implica que las fuerzas sísmicas de diseño deben ser un 25 % mayores a las consideradas en el diseño actual. La Tabla 3.1 de los LDSRP indica que los puentes cuyo costo supere los US\$10 millones (aproximadamente US\$13 millones al día de hoy) sean diseñados como puentes críticos.
  - Se observó que se utilizaron recubrimientos menores a lo establecido en AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.10.1 en superficies exteriores de pilas, vigas y losas y superficies coladas contra el terreno de bastiones.



- Se detectó la omisión parcial o total de información en la memoria de cálculo, según se indica en el apartado 6 de este informe, lo cual dificulta el seguimiento de la información presentada e impide verificar el cumplimiento de los requerimientos correspondientes de la normativa aplicable.

Al respecto, se hacen las siguientes recomendaciones dirigidas a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR:

- Reportar a la Administración las observaciones brindadas en este informe con respecto a la posible aplicación incompleta o incorrecta de la normativa, para que estos aspectos sean revisados por la empresa consultora durante la etapa actual del proyecto.
- Recomendar a la Administración que solicite a la empresa diseñadora una alternativa de diseño donde se hayan corregido los hallazgos observados de atención inmediata o, en su defecto, una justificación de los criterios adoptados en dichos hallazgos con aprobación de la administración.
- Recomendar a la Administración que solicite a la empresa diseñadora la información faltante y aclaraciones necesarias que permitan verificar el cumplimiento de los requerimientos de la normativa aplicable.
- Aunque en este caso no se incluyeron documentos contractuales en la revisión, se considera apropiado recomendar a la Administración que, en los documentos contractuales de futuros proyectos de diseño de puentes, solicite específicamente la entrega de un plan de control y aseguramiento de la calidad, el nombre y el número de carné de los profesionales responsables y la vigencia de la normativa y las especificaciones técnicas de diseño estructural a cumplir en los documentos contractuales.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 8 de 109
---------------------------	---------------------	-----------------



## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del presente informe de revisión documental, se revisa la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Virilla, específicamente el procedimiento de evaluación estructural que se siguió para determinar las necesidades de mejoramiento y ampliación del puente, así como el procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento, tanto para cargas no sísmicas como para cargas sísmicas. La revisión de estos procedimientos se centró en verificar el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la normativa vigente. El Programa de Ingeniería Estructural (PIE) realiza esta revisión ante la solicitud de criterio técnico de la Unidad de Auditoría Técnica (UAT) del LanammeUCR, según consta en el correo electrónico remitido por el Ing. Francisco Fonseca con fecha del 24 de noviembre de 2022.

Este documento es parte de las competencias de la fiscalización de la Red Vial Nacional asignadas al LanammeUCR por medio de la Ley 8114.

Como parte del proyecto de ampliación del puente, denominado “Diseño de Detalle de la Ampliación del Viaducto Existente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional No. 32 ‘Carretera Braulio Carrillo’”, se proponen acciones para el mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, las cuales incluyen: la sustitución de cuatro superestructuras de tipo viga incluyendo el tablero, el reforzamiento de la viga cajón y ampliación del tablero de las superestructuras, reforzamiento de las pilas, sustitución de ambos bastiones y sustitución de todos los dispositivos de apoyo del puente.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 9 de 109
---------------------------	---------------------	-----------------



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Revisar la memoria de cálculo del mejoramiento estructural, reforzamiento y ampliación de componentes que sean representativos del puente a reforzar y ampliar sobre el río Virilla, ubicado en la Ruta Nacional n.º 32.

### 2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a. Seleccionar los elementos del puente a revisar dentro de la memoria de cálculo de mejoramiento estructural, de modo que la revisión abarque todas las tipologías presentes en la estructura.
- b. Revisar que en la memoria de cálculo se haya aplicado correcta y completamente la normativa vigente referente al procedimiento de diagnóstico y evaluación estructural para determinar necesidades de mejoramiento estructural.
- c. Verificar que en la memoria de cálculo se haya aplicado correcta y completamente la normativa vigente con respecto al procedimiento de diseño estructural sin considerar cargas de sismo.
- d. Revisar que en la memoria de cálculo se haya aplicado correcta y completamente la normativa vigente referente al procedimiento de análisis y diseño sismorresistente.
- e. Verificar si la información incluida en la memoria de cálculo de mejoramiento estructural del puente se presenta de forma clara, congruente y ordenada, de manera que pueda ser seguida por parte de un revisor externo especializado.
- f. Presentar conclusiones y recomendaciones con base en las observaciones realizadas.



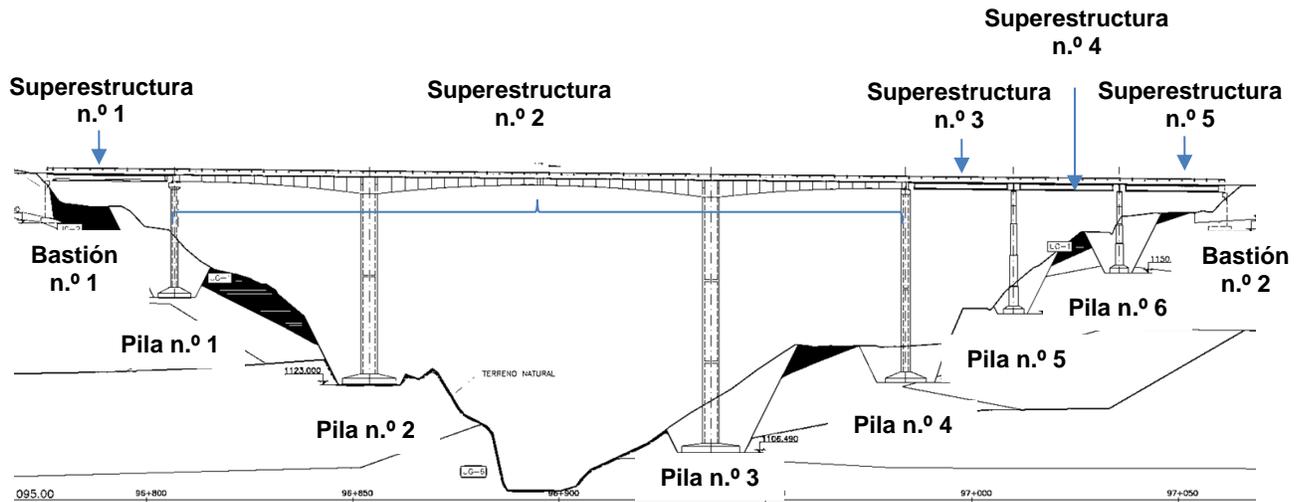
### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El puente existente comprende cinco superestructuras, de las cuales cuatro de ellas son de tipo viga de concreto presforzado y una de ellas es de tipo viga cajón de concreto presforzado. La superestructura de tipo viga cajón cuenta con tres tramos, en los cuales la viga tiene un peralte mayor hacia el apoyo en las pilas intermedias.

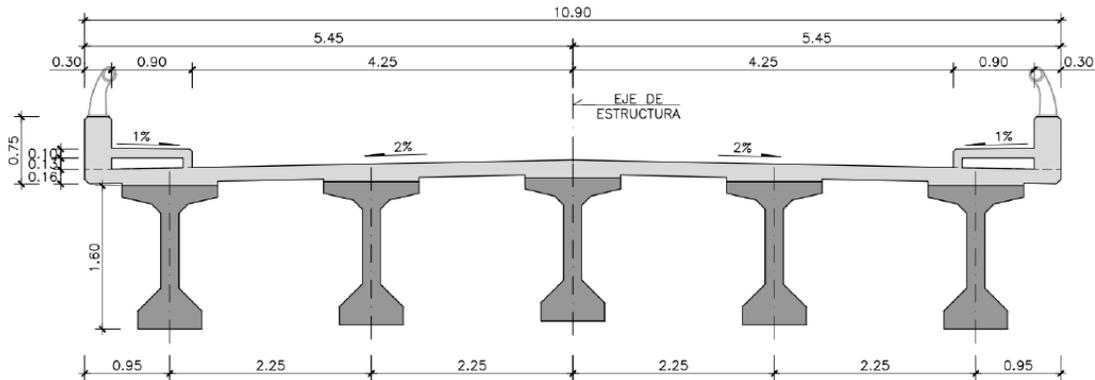
El puente cuenta con 8 subestructuras: dos bastiones tipo marco y seis pilas tipo columna sencilla, todas de concreto reforzado. En la Tabla 1 a continuación, se presenta un resumen de las características del puente. Adicionalmente, en las figuras 1 a 4 se puede observar el puente según se describe en este capítulo.

**Cuadro 1.** Características generales del puente existente sin intervenir sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32.

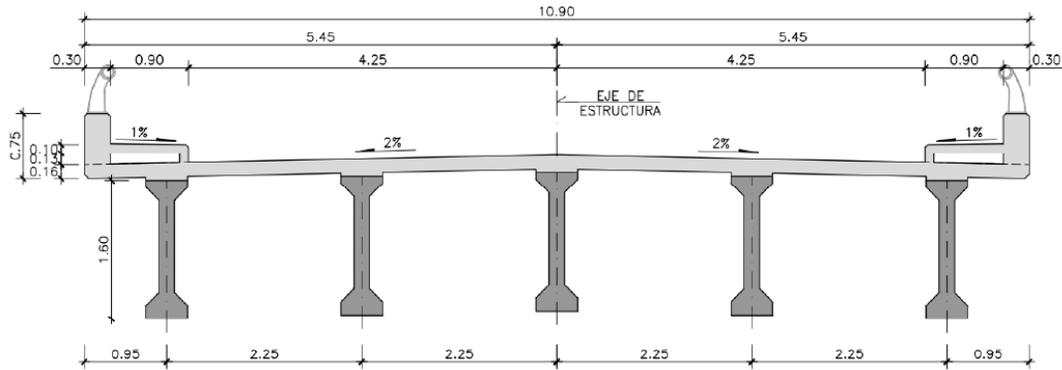
<b>Geometría</b>	Longitud total (m)	284.6
	Ancho total (m)	10,9
	Número de tramos	7
	Alineación del puente	Recto
<b>Superestructura</b>	Número de superestructuras	5
	Tipo de superestructura (elementos principales)	Tramos 1, 5, 6 y 7: viga de concreto presforzado Tramos 2, 3 y 4: viga cajón de concreto presforzado
	Tipo de tablero	Tablero de concreto reforzado
<b>Subestructura</b>	Número de bastiones y pilas	2 bastiones; 6 pilas
	Tipo de bastiones	Marco de columna doble de concreto reforzado
	Tipo de pilas	Columna sencilla de concreto reforzado
	Tipo de apoyo en bastiones	Bastión n.º 1 y n.º 2, apoyo fijo
	Tipo de apoyo en pilas	Apoyos expansivos en superestructuras tipo viga de concreto presforzado Apoyos rígidos en superestructuras tipo viga cajón de concreto presforzado
	Tipo de cimentación	Bastiones y pilas: Placa aislada (superficial)



**Figura 1.** Elevación oeste del puente existente en condición actual sobre el río Virilla en Ruta Nacional n.º 32  
Modificado de: MOPT, 2022.

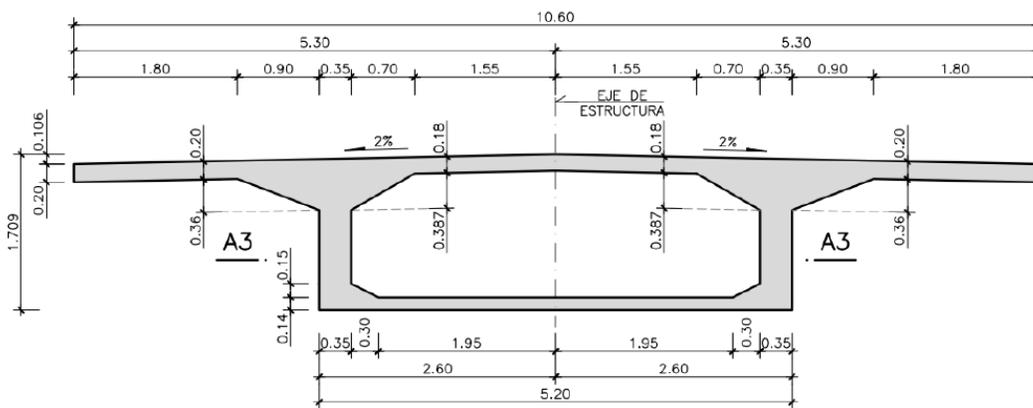


**Figura 2.** Sección de superestructura n.º 1 del puente existente en condición actual sobre el río Virilla en Ruta Nacional n.º 32  
Fuente: MOPT, 2022.



**Figura 3.** Sección de superestructura n.º 3, n.º 4 y n.º 5 del puente existente en condición actual sobre el río Virilla en Ruta Nacional n.º 32

Fuente: MOPT, 2022.



**Figura 4.** Sección de superestructura n.º 2 del puente existente en condición actual sobre el río Virilla en Ruta Nacional n.º 32

Fuente: MOPT, 2022.



El proyecto de ampliación y reforzamiento del puente existente sobre el río Virilla consiste en las siguientes actividades:

- la sustitución de las superestructuras n.º 1, n.º 3, n.º 4 y n.º 5,
- el reforzamiento de la superestructura n.º 2 mediante fibra de carbono y postensado externo,
- el encamisado de la base de los cuerpos (denominados fustes en la memoria de cálculo) de las 6 pilas tipo columna simple de concreto,
- la ampliación de los cabezales de las pilas n.º 5 y n.º 6,
- la ampliación de las cimentaciones de las seis pilas,
- la ampliación del tablero de la superestructura n.º 2,
- la sustitución de ambos bastiones tipo marco por bastiones tipo cabezal sobre pilotes y
- la sustitución de todos los dispositivos de apoyo de expansivos a elastoméricos.



#### 4. ALCANCE DE LA REVISIÓN

Este informe presenta los resultados de la revisión de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32.

La revisión abarcó todas las tipologías de elementos presentes en la estructura y las medidas de mejoramiento a implementar que fueron descritas en la Sección 3 de este informe.

Dentro de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Virilla, se revisaron específicamente los siguientes aspectos:

- El cumplimiento de los requerimientos de evaluación estructural de puentes existentes para cargas no sísmicas establecidos en los documentos: *The Manual for Bridge Evaluation* (AASHTO, 2018) y *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (AASHTO, 2017).
- El cumplimiento de los requerimientos de diseño estructural de puentes establecidos en el documento *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (AASHTO, 2017).
- El cumplimiento de los requerimientos de diseño sismorresistente de puentes establecidos en los documentos: *Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes* (CFIA, 2013) y *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (AASHTO, 2017).
- Claridad para dar seguimiento al procedimiento mostrado en la memoria de cálculo para la determinación de los diseños realizados.
- Coincidencia entre los planos constructivos y los resultados obtenidos en las memorias de cálculo.
- Justificación de las suposiciones realizadas por la empresa consultora.
- Indicación del nombre y número de carné de los profesionales responsables del diseño del mejoramiento estructural, así como de los profesionales que realizaron una revisión independiente del diseño.

Quedaron fuera de la revisión los siguientes aspectos:

- Cualquier requerimiento particular de vigas tipo cajón quedó fuera del alcance de esta revisión, como lo son: requerimientos de análisis, detallado o diseño. La revisión de

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 15 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



las vigas tipo cajón se realizó contra los contenidos del Apéndice A5 de AASHTO LRFD 2017.

- No se realiza una revisión de la exactitud de los cálculos realizados en la memoria de cálculo.
- No se revisan requerimientos particulares de los reforzamientos mediante fibras de carbono, los cuales se encuentran estipulados en el documento ACI PRC-440.2-17 *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*.
- Este informe no contempla una revisión de los documentos contractuales, debido a que estos no se encontraban disponibles durante el proceso de revisión de la memoria de cálculo.
- El alcance de este informe no contempla una revisión detallada de los planos estructurales del mejoramiento del puente. Estos documentos se utilizaron solamente como material de soporte al momento de realizar la revisión de la memoria de cálculo.



## 5. NORMATIVA APLICABLE AL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE PUENTES EXISTENTES

De acuerdo con el nuevo Manual de Puentes de Costa Rica MP-2020 (el cual se encuentra en proceso de oficialización por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transportes), el mejoramiento de un puente se define como la acción de intervención correspondiente a las actividades de rehabilitación o sustitución de puentes existentes. La rehabilitación se define como la acción que involucra trabajos mayores requeridos para reestablecer la integridad estructural de un puente, y a través de los cuales es posible realizar una restauración parcial o completa de los distintos elementos o componentes del puente. La sustitución, por otro lado, se define como la acción que implica remover la totalidad de la estructura del puente y colocar en el mismo sitio una estructura nueva.

Para realizar la revisión del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente sobre el río Virilla, se consideró la normativa presentada a continuación:

- *The Manual for Bridge Evaluation, 3rd Edition (AASHTO, 2018)*: Se abreviará como “AASHTO MBE” para efectos de este informe. Contiene lineamientos para la inspección y evaluación de puentes vehiculares existentes en servicio. En la Sección 6.A se establece una metodología para evaluación de capacidad de carga de puentes existentes, consistente con la filosofía LRFD. Entre los propósitos de este tipo de evaluaciones, se encuentra la determinación de las necesidades de mejoramiento de un puente.
- *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 8th Edition (AASHTO, 2017)*: Se abreviará como “AASHTO LRFD 2017” para efectos de este informe. Contiene las especificaciones para el diseño, evaluación y rehabilitación de puentes vehiculares por el método LRFD. En la Sección 3 se establecen todas las cargas de diseño, factores y combinaciones de carga para el diseño de puentes nuevos, y que también son aplicables a la evaluación estructural de puentes existentes; en la Sección 4 se establecen todos los requerimientos de análisis y modelado de las estructuras; en la Sección 5 se establecen todos los requerimientos para estructuras de concreto, y en la sección 11 se incluye todo lo relacionado con subestructuras. También se considera aplicable la sección 3.10, relacionada con cargas de sismo.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 17 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



- Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes (CFIA, 2013): Se abreviará como “LDSRP” para efectos de este informe. Establece los requisitos mínimos para el análisis, diseño y rehabilitación sismorresistente de puentes que se construyan en el territorio de la República de Costa Rica.

Se consideró la normativa indicada debido a que, aunque se hizo la solicitud de todos los documentos contractuales, no se contó con un cartel con especificaciones en las que se indicara la normativa requerida. Adicionalmente, se revisó contra AASHTO LRFD 2017 por ser el documento base que se utilizó durante la etapa de análisis y diseño del proyecto de rehabilitación según lo indicado en la memoria de cálculo.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 18 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



## 6. REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL MEJORAMIENTO DEL PUEBTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA

### 6.1. Elementos escogidos para revisión de la memoria de cálculo

Para realizar la revisión de la memoria de cálculo, se escogieron estratégicamente los siguientes elementos:

- Bastión n.º 1 y su cimentación, por ser igual al bastión n.º 2 y su cimentación, ambos son tipo marco que serán sustituidos por bastiones de tipo cabezal sobre pilotes.
- Pila n.º 1 por ser representativa de la pila n.º 4 de tipo columna simple, con dos celdas internas.
- Pila n.º 2 por ser representativa de la pila n.º 3 de tipo columna simple, con tres celdas internas.
- Pila n.º 5 por ser representativa de la pila n.º 6 de tipo columna simple sólida.
- Superestructura n.º 1 por ser representativa de las superestructuras n.º 3, n.º 4 y n.º 5, de tipo viga de concreto presforzado.
- Superestructura n.º 2, de tipo viga cajón de concreto presforzado.
- Apoyos del bastión n.º 1, por ser representativo de todos los demás dispositivos de apoyo del puente.

### 6.2. Criterios considerados para la revisión de la memoria de cálculo

Se utilizaron tres listas de verificación para revisar el procedimiento de evaluación estructural y diseño de rehabilitación y sustitución que se muestra en la memoria de cálculo correspondiente. Estas listas de verificación se describen a continuación:

1. La primera lista de verificación se utilizó para revisar el procedimiento de evaluación estructural del puente para cargas no sísmicas, según los requerimientos establecidos en el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018), y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017). Esta lista de verificación, ya aplicada, se muestra en el Apéndice A de este informe.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 19 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



2. La segunda lista de verificación se utilizó para revisar el procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente para cargas no sísmicas, según los requerimientos establecidos en la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017). Para generar esta lista se utilizó como referencia el Apéndice A5 de AASHTO LRFD, el cual muestra el procedimiento general y las consideraciones mínimas a seguir para el diseño estructural de puentes de concreto reforzado y concreto presforzado. Esta lista de verificación, ya aplicada, se muestra en el Apéndice B de este informe.
3. La tercera lista de verificación se utilizó para revisar el procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente para cargas de sismo, según los requerimientos establecidos en los LDSRP (CFIA, 2013), y la especificación AASHTO LRFD 2017 (AASHTO, 2017). Esta lista de verificación, ya aplicada, se muestra en el Apéndice C de este informe.

La revisión consistió en determinar el grado de cumplimiento del procedimiento de diseño para cada uno de los criterios establecidos en las listas de verificación. El grado de cumplimiento de cada criterio se calificó seleccionando uno de tres posibles niveles de cumplimiento: (a) el criterio **Sí** se cumple en su totalidad, (b) el criterio se cumple **Parcialmente** o (c) el criterio **No** se cumple del todo. En caso de ser necesario, se hicieron observaciones específicas de la evaluación de cada criterio.

Adicionalmente, se le asignó una puntuación a cada uno de los tres posibles niveles de cumplimiento de cada criterio de la lista de verificación, de la siguiente manera:

- **Sí** se cumple en su totalidad; se asignó 1 punto.
- Se cumple **Parcialmente**, se asignaron 0,5 puntos.
- **No** se cumple del todo, se asignaron 0 puntos.

Con base en esta escala de puntaje se obtuvo un puntaje total para cada una de las listas de verificación. Con el propósito de obtener el porcentaje de cumplimiento para cada lista de verificación, el puntaje total obtenido se dividió entre el puntaje máximo por el que se puede optar, el cual coincide con la cantidad total de criterios evaluados en cada una de las listas. De la misma manera, se obtuvo el porcentaje de cumplimiento global de la memoria de cálculo considerando los puntajes de todos los criterios evaluados con las tres listas de verificación.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 20 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



Las observaciones más importantes y el porcentaje de cumplimiento obtenido a partir de la revisión con las listas de verificación se presentan en la siguiente sección. Adicionalmente, en los apéndices de este informe se pueden consultar las listas completas con la puntuación asignada a cada criterio.



### 6.3. Resultados de la revisión de la memoria de cálculo

En esta sección se presenta un resumen de las observaciones más importantes que fueron identificadas a partir de la revisión del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del mejoramiento del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32. Esta revisión consistió de tres partes: (1) revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente para cargas no sísmicas (resultados presentados en la Sección 6.3.1 y Apéndice A del informe), (2) revisión del diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente para cargas no sísmicas (resultados presentados en la Sección 6.3.2 y Apéndice B del informe), y (3) revisión del análisis y diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente para cargas de sismo (resultados presentados en la Sección 6.3.3 y Apéndice C del informe).

#### 6.3.1. Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente para cargas no sísmicas

El Cuadro 2 presenta los pasos generales del procedimiento de evaluación estructural del puente existente para cargas no sísmicas que fueron revisados con la lista de verificación del Apéndice A, así como el porcentaje de cumplimiento para cada uno de estos pasos. Se puede observar que el porcentaje de cumplimiento general obtenido fue de **70,3%**. El puntaje asignado a los criterios correspondientes para cada paso del procedimiento se puede consultar en el Cuadro A.1 del Apéndice A de este informe.

**Cuadro 2.** Pasos generales y porcentaje de cumplimiento del procedimiento de evaluación estructural del puente existente para cargas no sísmicas, de acuerdo con el manual AASHTO MBE y la especificación AASHTO LRFD 2017.

Pasos generales del procedimiento de evaluación estructural	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
A. Aspectos generales:	3,5	4	87,5%
B. Evaluación estructural del tablero (concreto reforzado):	9,5	15	63,3%
C. Evaluación estructural de las vigas principales (concreto presforzado):	13,5	20	67,5%
D. Evaluación estructural de la subestructura (concreto reforzado):	15,5	22	70,5%
E. Selección y diseño de las medidas de rehabilitación:	3	3	100,0%
Total:	<b>45</b>	<b>64</b>	<b>70,3%</b>

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 22 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



A partir de esta revisión, se hacen las siguientes observaciones específicas para las siguientes categorías de importancia según el impacto que tienen en el proyecto:

A. Observaciones con respecto a incumplimientos de la normativa

6.A.1. Se indica que se amplifica la carga vehicular en un 25 % para revisar los efectos de cargas puntuales sobre la losa del tablero; sin embargo, no queda clara la razón de haber realizado esto, ya que en la fuente indicada en la memoria de cálculo (Reglamento de Circulación por Carreteras con base en el Peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga) no se exige esta amplificación de la carga. Esta consideración genera una condición más segura de la exigida por la normativa, pero que podría asimismo generar sobrecostos.

B. Observaciones con respecto a la omisión de información

6.B.1. Se entiende que se realizaron pruebas al concreto como punto de partida; sin embargo, no se observó una revisión o memoria de cálculo detallada del estado actual de la estructura.

6.B.2. En las capturas de pantalla de los modelos y escaneos de los cálculos en los apéndices 3 y 5 de la memoria de cálculo no se indica el número de carriles de diseño que son cargados de manera simultánea con la carga viva vehicular, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento de los Artículos 3.6.1.1.1 y 3.6.1.3.1 de la norma AASHTO LRFD 2017.

6.B.3. A pesar de que en las páginas introductorias de la memoria de cálculo se indican los factores de presencia múltiple de la carga viva vehicular, en las capturas de pantalla de los modelos de análisis estructural en los apéndices 3 y 5 no se encontró evidencia de que se hayan utilizado, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 3.6.1.1.2 de la norma AASHTO LRFD 2017.

6.B.4. Para el diseño de la superestructura tipo viga cajón en el apéndice 5 de la memoria de cálculo no se indica los factores de carga utilizados en las combinaciones de carga para cada uno de los estados límite, por lo que no fue posible verificar que estos factores coincidan con los especificados en el Artículo 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 23 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



- 6.B.5. No se justifica la utilización de los factores de reducción de la resistencia para las revisiones a flexión en las vigas presforzadas, según AASHTO LRFD 2017 5.5.4.2 y 5.6.2.1.
- 6.B.6. Aunque se conoce la resistencia del concreto del tablero de la superestructura n.º 2 gracias a las pruebas de núcleo que se tenían como insumo inicial, no se sabe si se está considerando algún factor de condición para el acero de refuerzo existente según AASHTO MBE 6A.4.2.3.
- 6.B.7. No se observó el cálculo de la capacidad del tablero existente de los tramos n.º 2 a n.º 4 de tipo viga cajón (superestructura n.º 2). Por lo tanto, no fue posible revisar los Artículos 5.6.3.2, 5.6.3.3, 5.7.3 y 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.B.8. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya considerado los efectos secundarios del postensado en la superestructura de viga tipo cajón, como se establece en la sección 3.12.7 de la norma AASHTO LRFD 2017 y en las secciones 6A.2.2.2 y 6A.5.9 de AASHTO MBE.
- 6.B.9. Se debe indicar en la memoria de cálculo si los tendones son adheridos o desadheridos para justificar el valor del factor de reducción de resistencia a flexión y flexocompresión (1,0 para tendones adheridos y 0,9 para tendones desadheridos), según los Artículos 5.5.4.2 y 5.6.2.1 de AASHTO LRFD 2017
- 6.B.10. Para los tramos n.º 2 a n.º 4 (superestructura n.º 2), no fue posible verificar el factor de reducción de la resistencia a flexión y flexocompresión a utilizar según los Artículos 5.5.4.2 y 5.6.2.1 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.B.11. No se logró identificar en la memoria de cálculo si se consideró el factor de sistema para tomar en cuenta el nivel de redundancia del sistema completo para ninguna de las superestructuras. En el caso de la viga cajón, podría aplicar un factor distinto de 1 por tratarse únicamente de dos almas. Esto según AASHTO LRFD 2017 Artículo 1.3.4.
- 6.B.12. En la memoria de cálculo no se muestra cuáles fueron los límites de esfuerzos de tensión del presfuerzo que fueron considerados en la evaluación de la superestructura de viga cajón para el estado límite de servicio. En el caso de las superestructuras de viga



- prefabricada, se observa que se indican los límites de AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.9.2.2, mas no se logra identificar la revisión contra dichos límites.
- 6.B.13. En las superestructuras tipo viga presforzada de concreto se indican los límites de esfuerzos de los materiales a considerar según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.9.2.3.2 mas no se logró identificar la revisión contra dichos límites. En el caso de las superestructuras de viga cajón no se identificó la revisión de los límites de esfuerzos de tensión del concreto según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.9.2.3.2.
- 6.B.14. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el acero de refuerzo mínimo por flexión de todas las superestructuras existentes, lo cual es un requerimiento según el Artículo 6A.5.6 de AASHTO MBE y el artículo 5.6.3.3 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.B.15. No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan revisado los efectos de esbeltez de las columnas como parte de la evaluación estructural de la subestructura o una justificación sobre por qué no revisarlos, de acuerdo con el Artículo 5.6.4.3 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.B.16. Se presentan resultados de la interacción entre compresión y flexión de las pilas, mas no se muestra si la sección es controlada por compresión o tensión según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.5.4.2 o 5.6.2.1 (no se muestran diagramas de interacción de las pilas).
- 6.B.17. No se observa que se hayan utilizado factores de redundancia para subestructuras o cimentaciones en la memoria de cálculo según AASHTO LRFD 2017 1.3.4
- 6.B.18. No se observa el cálculo de la capacidad actual de las cimentaciones, por lo que no fue posible verificar los Artículos 5.6.4.5, 5.6.3.3, 3.4.1 y 5.7.3 de AASHTO LRFD 2017 con la condición actual.
- 6.B.19. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el deslizamiento de la base de todas las cimentaciones para la condición existente según AASHTO LRFD 2017 Artículo 10.6.3.4.



C. Observaciones con respecto a la presentación de la información

- 6.C.1. Debido a la dificultad de lectura de la hoja de cálculo por la forma en la que se presenta la información, no fue posible identificar los cálculos mediante los cuales se obtuvieron capacidades de la superestructura existente tipo viga cajón en su condición actual según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.6.3.2 y AASHTO MBE Artículos 6A.4.2.1 y 6A.5.4.1; sin embargo, se observan diagramas de demanda vs capacidad que indican que sí se realizó el cálculo de la capacidad actual y que sí era necesario el refuerzo.
- 6.C.2. En las páginas introductorias de la memoria de cálculo se observa que se enlistan los tipos de cargas permanentes que podrían existir en la estructura según AASHTO LRFD 2017 Artículos 3.5.1, 3.5.2, 3.11.5 y 3.11.6 (DC, DW, EV, EH, ES); sin embargo, no fue posible verificar el uso correcto de cada una en los apéndices 4, 7 y 8 de la memoria de cálculo.



### 6.3.2. Revisión del procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente para cargas no sísmicas

El Cuadro 3 presenta el resultado de la revisión del procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente para cargas no sísmicas que se realizó con la lista de verificación del Apéndice B, así como el porcentaje de cumplimiento para cada uno de estos componentes. Se puede observar que el porcentaje de cumplimiento general obtenido fue de **61,7%**. El puntaje asignado a los criterios correspondientes para cada paso del procedimiento se puede consultar en los Cuadros B.1, B.2 y B.3 del Apéndice B de este informe para el tablero, las vigas principales y secundarias de la superestructura y las pilas, bastiones, apoyos y cimentaciones de la subestructura, respectivamente.

**Cuadro 3.** Porcentaje de cumplimiento del procedimiento de diseño estructural de las medidas de mejoramiento del puente según AASHTO LRFD (AASHTO, 2017).

Pasos generales del procedimiento de diseño estructural	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
A. Diseño del tablero [AASHTO A5.3]	20	30	66,7%
B. Diseño de la superestructura [AASHTO A5.3]	24	41	58,5%
C. Diseño de la subestructura [AASHTO A5.5]	22	36	61,1%
Total:	<b>66</b>	<b>107</b>	<b>61,7%</b>

A partir de esta revisión, se hacen las siguientes observaciones específicas para las siguientes categorías de importancia según el impacto que tienen en el proyecto:

#### D. Observaciones con respecto a incumplimientos de la normativa

6.D.1. Se observó que en las superestructuras de tipo viga de concreto presforzado, se hace referencia a la norma AASHTO LRFD 2007, al contrario de lo indicado en los planos constructivos o en la introducción a la memoria de cálculo, donde se indica que se utilizó AASHTO LRFD 2017.

6.D.2. No está claro cuál fue la edición de la especificación AASHTO LRFD que se utilizó, ya que los artículos a los que se hace referencia en la memoria de cálculo no coinciden con los de la edición 2017.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 27 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



- 6.D.3. En los cálculos de los pilotes de los bastiones, aunque sí se revisa su capacidad, se hace referencia a AASHTO LRFD 2007, lo que es distinto a lo indicado en las páginas introductorias de la memoria de cálculo y planos constructivos, que es AASHTO LRFD 2017.
- 6.D.4. La hoja de cálculo mostrada en la página 1042 de diseño de pilotes nuevos indica que no hay cumplimiento del acero longitudinal en los apéndices de la memoria de cálculo, lo que podría indicar capacidad insuficiente para soportar cargas de flexión o flexocompresión en los pilotes y no se observa una justificación de mantenerlo así o una alternativa de diseño.
- 6.D.5. Aunque sí se observó en los planos constructivos, no se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan calculado longitudes de desarrollo o empalmes del acero de refuerzo de ningún elemento de concreto reforzado o presforzado según los artículos 5.10.8.2 o 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión rápida contra lo establecido en 5.10.8.2 y 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017 y se observó que las longitudes de anclaje de los ganchos estándar que se indica en planos son insuficientes (plano 3.1.1).
- 6.D.6. No se observa que se haya realizado una verificación del recubrimiento mínimo en las hojas de cálculo de ninguno de los elementos nuevos del puente según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.10.1. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión contra el artículo de AASHTO LRFD 2017 y se notó que algunos recubrimientos aparentan ser insuficientes (superficies exteriores en pilas reforzadas, vigas y losas nuevas y superficies coladas contra terreno de bastiones nuevos).

#### E. Observaciones con respecto a la omisión de información

- 6.E.1. No se encontró evidencia en la memoria de cálculo que se haya calculado el acero de refuerzo de distribución en la dirección longitudinal del tablero de acuerdo con el Artículo 9.7.3.2 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.2. No se encontró evidencia en la memoria de cálculo de que se haya considerado los factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 28 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



- 6.E.3. No se detectó en la hoja de cálculo que se haya realizado una revisión de las deflexiones de la losa o las entrelosas de acuerdo con el Artículo 9.5.2 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.4. No se observó que se haya realizado una verificación del acero de refuerzo mínimo según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.6.3.3
- 6.E.5. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado la transferencia de cortante entre la losa y la barrera vehicular de acuerdo con el Artículo 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.6. Se observa que se revisan límites de máximos y mínimos de espaciamiento del acero de refuerzo del tablero de concreto; sin embargo, no se evidencia la sección del AASHTO LRFD 2017 contra la que se revisa y no fue posible realizar la verificación de cumplimiento contra 5.10.3.1 o 5.10.3.2 de AASHTO LRFD 2017 por falta de claridad en la información que se está presentando en la memoria de cálculo.
- 6.E.7. No se verifica que la sección cumpla con los requerimientos mínimos dimensionales según AASHTO LRFD 2017 sección 5.12.3.2.2 o 5.12.3.5.1. Se observó en planos constructivos que se indica el uso de una viga AASHTO tipo V, sin embargo, es necesario que en la memoria de cálculo también quede plasmado el tipo de viga que se utilizará.
- 6.E.8. Al igual que en el tablero, no hay evidencia en las hojas de cálculo de que se haya considerado el factor modificador de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.9. Para el diseño estructural de vigas principales se definen los factores de carga, pero no se indica en cuál combinación de carga se han utilizado, por lo que no es posible verificar el correcto uso del Artículo 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017. Además, la forma en la que se presentan los cálculos hace difícil su seguimiento.
- 6.E.10. En las páginas iniciales de la memoria de cálculo se indican los carriles cargados y los factores de presencia múltiple de la carga viva vehicular; sin embargo, no se encontró evidencia, dentro de las hojas de cálculo que se muestran en los apéndices de la memoria para diseño de vigas y losas, de que estos factores se hayan aplicado, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 3.6.1.1 de AASHTO LRFD 2017.



- 6.E.11. En las páginas iniciales de la memoria de cálculo se indica el factor de amplificación dinámica a utilizar para el puente; sin embargo, en las hojas de cálculo de los apéndices de la memoria de cálculo o en los modelos utilizados no queda claro que efectivamente se haya utilizado, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 3.6.2 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.12. No se indican los artículos de AASHTO LRFD 2017 contra los que se revisa el control de agrietamiento.
- 6.E.13. No se logra detectar el cálculo del parámetro  $\beta$  en la hoja de cálculo para la resistencia a cortante en las vigas de concreto presforzado, según el Artículo 5.7.3.4 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.14. No hay evidencia de que se haya realizado una revisión de la tensión adicional generada por los efectos del cortante producidos por el presfuerzo en la sección de las vigas principales según el Artículo 5.7.3.5 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.15. Se observan algunas revisiones de acero mínimo transversal a colocar en las vigas principales, sin embargo, no queda claro cuál es la sección de AASHTO contra la que se revisa, pues no se hace referencia al artículo de referencia y no se puede verificar el cumplimiento del Artículo 5.7.2.5 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.16. No se observa que se haya realizado una revisión del espaciamiento máximo de refuerzo transversal según el Artículo 5.7.2.6 de AASHTO LRFD 2017 en las vigas principales.
- 6.E.17. Se indica un cálculo de resistencia a cortante en el plano de contacto entre vigas y tablero (denominada como rasante en las hojas de cálculo); pero no se hace referencia al artículo 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017 y no se muestra el origen de la demanda.
- 6.E.18. No se observa que se haya revisado el detallado en las zonas de anclaje de las vigas de concreto presforzado según AASHTO LRFD 2017 5.9.4.3.
- 6.E.19. Al igual que en el tablero, para vigas cajón o tipo I no se observan cálculos o revisiones de longitudes de desarrollo en la hoja de cálculo según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.10.8.1, 5.10.8.2 o 5.10.8.4.



- 6.E.20. No se indica el material o el tamaño del ducto de postensión dentro de las vigas como se indica en AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.4.6. Aunque se indica en planos, es necesario que en la hoja de cálculo quede plasmado.
- 6.E.21. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se revisaran límites de espaciamiento de tendones y ductos de presfuerzo postensado, según el Artículo 5.9.5.1 y 5.9.5.2 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.22. No se encontró evidencia de que se haya realizado una revisión del espaciamiento del refuerzo convencional en las vigas I de la superestructura, según el Artículo 5.10.3.1 y 5.10.3.2 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.23. No se observa que se haya calculado el efecto del viento sobre las subestructuras, tampoco se observa que se realice una justificación sobre por qué no calcularlo o una demostración de que las cargas de sismo sean superiores.
- 6.E.24. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan revisado los efectos de esbeltez en las columnas de las pilas según el Artículo 4.5.3.2.2 y 5.6.4.3 de AASHTO LRFD 2017, y tampoco se incluye una justificación de no haber revisado estos efectos.
- 6.E.25. No se observa que se haya revisado la transferencia de cortante entre el cuerpo de la pila (denominado en la memoria de cálculo como fuste) y la viga cabezal de las pilas, según el Artículo 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.26. No se observa que se haya revisado la cantidad mínima o máxima de acero longitudinal en las columnas de las pilas, según el Artículo 5.6.4.2 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.27. No se observa una revisión de cumplimiento contra los recubrimientos especificados en AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.14.3.
- 6.E.28. En pilas se muestra que las cargas de la cimentación son las provenientes de la columna; mas no se realiza una revisión del cumplimiento en la zona de transferencia de cortante entre la pila y la cimentación, según el Artículo 5.12.8.8 y 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 31 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



- 6.E.29. En los esquemas de análisis de cargas laterales para los bastiones no se muestra que se haya considerado las fuerzas causadas por sismo según el Artículo 11.6.5 de AASHTO LRFD 2017. En algunas partes de modelado parece considerarse una carga de sismo; sin embargo, no queda claro de dónde proviene dicha carga.
- 6.E.30. En bastiones no se logró identificar la revisión de requerimientos de acero de refuerzo para resistir retracción y temperatura según el Artículo 11.6.1.5 y 5.10.6 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.E.31. En cuanto a detallado de los pilotes, no se observa que se haya revisado la cuantía de acero longitudinal contra lo establecido en el Artículo 5.6.4.2 y 5.12.9 de AASHTO LRFD 2017. Se realizó la revisión del acero de los pilotes del bastión n.º 1 contra los límites de acero longitudinal mínimo y máximo que se establecen en AASHTO y se observó que sí hay cumplimiento; sin embargo, esto no exime al diseñador de realizar la revisión para todos los pilotes de la obra.

#### F. Observaciones con respecto a la presentación de la información

- 6.F.1. La forma en la que se presentan los cálculos en la memoria (formato, orden, presentación) dificulta la revisión de los factores de carga utilizados en las combinaciones de carga con respecto a lo especificado en el Artículo 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.F.2. Se indican revisiones de acero por temperatura para el acero de refuerzo del tablero, pero es difícil encontrarlo en las hojas de cálculo por el orden en que se presenta la información y no se indica el artículo de AASHTO LRFD 2017 contra el que se revisa.
- 6.F.3. Se observa que se realiza un análisis de las cargas actuantes en las columnas de todas las pilas, pero no queda claro cómo se obtuvo la demanda contra la cual se están comparando las capacidades por flexión y flexocompresión de las columnas.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 32 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



### 6.3.3. Revisión del procedimiento de análisis y diseño sismorresistente del puente

El Cuadro 4 presenta el resultado de la revisión documental de la memoria de cálculo del procedimiento de análisis y diseño sismorresistente del puente. La revisión documental se divide en 7 pasos generales (ver columna 1 de cuadro 4), para los cuales se muestra el porcentaje de cumplimiento (ver columna 4 de Cuadro 4). Se puede observar que el porcentaje de cumplimiento general obtenido para este procedimiento fue de **75,5 %**. El puntaje asignado a los criterios correspondientes para cada paso del procedimiento se puede consultar en el Cuadro C.1 del Apéndice C de este informe.

**Cuadro 4.** Porcentaje de cumplimiento del procedimiento de diseño sismorresistente para los componentes del puente según el método de fuerzas de AASHTO LRFD (AASHTO, 2017).

Pasos generales del procedimiento de análisis y diseño sísmico	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
A. Requerimientos generales de diseño:	3,5	4	87,5%
B. Determinación de la demanda sísmica:	3	3	100,0%
C. Determinación de zona de desempeño sísmico y sistema sismorresistente:	4	4	100,0%
D. Análisis de demanda (fuerzas):	6	6	100,0%
E. Determinación de fuerzas y desplazamientos de diseño:	4,5	6	75,0%
F. Diseño y detallado de columnas dúctiles de concreto reforzado:	9	13	69,2%
G. Diseño por capacidad de los elementos adyacentes:	6,5	10	65,0%
Total:	<b>36,5</b>	<b>46</b>	<b>79,3%</b>

A partir de esta revisión, se hacen las siguientes observaciones específicas para las siguientes categorías de importancia según el impacto que tienen en el proyecto:

#### G. Observaciones con respecto a incumplimientos de la normativa

6.G.1. Se observó que el puente debió considerarse como de importancia Crítica y no importancia Esencial, pues el costo de rehabilitación supera los US\$10 millones al 2012 (aproximadamente US\$13 millones al día de hoy) según lo indicado la Tabla 3.1 de los LDSRP, lo que significa en que el puente se diseñó con una amenaza sísmica menor de la requerida.



#### H. Observaciones con respecto a la omisión de información

- 6.H.1. Se observa que se han calculado capacidades biaxiales en todas las pilas del puente; sin embargo, no queda evidenciado cuál es el origen de las fuerzas utilizadas para el diseño o si cumplen con el Artículo 3.10.9.4.3 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.H.2. No existe evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan revisado los requerimientos de capacidad  $P-\Delta$  considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura, de acuerdo con el Artículo 4.7.4.5 de AASHTO LRFD 2017.
- 6.H.3. No se observa que se haya revisado si las fuerzas axiales en la columna de las pilas son suficientes para que la carga axial sea mayor al valor establecido en AASHTO LRFD 2017 5.11.4.1.3, de  $0,10 \cdot A_g \cdot f'_c$ . Esto tendría repercusiones sobre cuánto contribuye el concreto en la capacidad a cortante de la sección.
- 6.H.4. No se evidenció que se haya revisado la cuantía mínima ni máxima de acero longitudinal de las columnas de las pilas o pilotes según AASHTO LRFD 5.11.4.1.1 o 5.6.4.2. Se realizó una revisión rápida en la pila n.º 1 y en los pilotes del bastión n.º 1 y se observó que sí hay cumplimiento; sin embargo, esto no exime al diseñador de realizar la revisión de todos los elementos en flexocompresión.
- 6.H.5. No se observa en planos o en la memoria de cálculo que se realicen revisiones de los requerimientos especiales para detallado en zona sísmica, en especial de longitudes de desarrollo o empalmes de acero en la memoria de cálculo según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.11.4.3 o 5.11.4.1.6.
- 6.H.6. No se indican en los apéndices de la memoria de cálculo las combinaciones de carga que se utilizaron para revisión de la capacidad gravitacional o sísmica de los apoyos según AASHTO LRFD 2017 Artículo 14.6.5.3.
- 6.H.7. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya realizado el cálculo de los anclajes de los apoyos según el Artículo 14.7.5.3.7 de AASHTO LRFD 2017.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 34 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



6.H.8. No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya realizado revisión de la longitud de asiento mínima según la zona de desempeño sísmico aplicable, según el Artículo 4.7.4.4 de AASHTO LRFD 2017. Se realizó una revisión y se observó que la longitud de asiento cumple con AASHTO LRFD 2017 en la superestructura n.º 1; sin embargo, esto no exime al diseñador de realizar la revisión en todas y cada una de las superestructuras.

#### I. Observaciones con respecto a la presentación de la información

En este aspecto se revisa la forma en la que se presenta la información en la memoria de cálculo relacionada con el análisis y diseño sísmico según los LDSRP (que se le pueda dar un seguimiento adecuado, que la información sea entendible). No se tienen observaciones relacionadas con esta categoría.

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 35 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



### 6.3.4. Resumen de los resultados de la revisión

En el Cuadro 5 se presenta un resumen de los porcentajes de cumplimiento obtenidos para cada procedimiento mostrado en la memoria de cálculo. El porcentaje de cumplimiento global obtenido para la memoria de cálculo fue de **67,97 %**. El detalle de los criterios específicos que fueron evaluados y el puntaje asignado a cada uno se pueden consultar en los Apéndices A, B y C de este informe.

**Cuadro 5.** Porcentaje de cumplimiento global del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32.

Lista de verificación	Normativa considerada	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
1. Procedimiento de evaluación estructural para cargas no sísmicas	- AASHTO MBE - AASHTO LRFD	45	64	<b>70,3%</b>
2. Procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada para cargas de sismo	- AASHTO LRFD	66	107	<b>61,7%</b>
3. Procedimiento de análisis y diseño del puente ante cargas de sismo	- AASHTO LRFD - LDSRP	36,5	46	<b>79,3%</b>
<b>Total:</b>		<b>147,5</b>	<b>217</b>	<b>67,97 %</b>

Se observaron hallazgos de atención inmediata, los cuales se enlistan a continuación:

- Se indica incumplimiento del acero longitudinal en el diseño de los pilotes que se muestra en la página 1042 del documento de memoria de cálculo, lo que podría indicar insuficiente capacidad a flexocompresión.
- En los apéndices de la memoria de cálculo se observó el uso de versiones anteriores de la norma AASHTO a la indicada en planos constructivos y la introducción de la memoria de cálculo, la cual es AASHTO LRFD 2017.
- Se observó que las longitudes de anclaje de ganchos estándar son insuficientes según lo indicado en AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.10.8.2 y 5.10.8.4.
- Se observó que el puente fue diseñado con importancia esencial, cuando lo requerido por la normativa Nacional es que sea diseñado como un puente con importancia crítica, lo que implica que las fuerzas sísmicas de diseño deben ser un 25 % mayores a las consideradas en el diseño actual. La Tabla 3.1 de los LDSRP indica que los puentes cuyo costo supere

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 36 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



los US\$10 millones (aproximadamente US\$13 millones al día de hoy) sean diseñados como puentes críticos.

- Se observó que se utilizaron recubrimientos menores a lo establecido en AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.10.1 en pilas, vigas y losas y superficies coladas contra el terreno de bastiones (cara inferior y trasera).

Adicionalmente, se pudo verificar que en la portada de las memorias de cálculo del proyecto sí se indica el nombre de los profesionales responsables de la elaboración de la memoria de cálculo, mas no se indica quién revisó y aprobó. Adicionalmente, no se incluyen los números de carné de cada profesional para demostrar que posean afiliación al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA).



## 7. CONCLUSIONES

Se revisó la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32 en lo que respecta a la aplicación correcta y completa de la normativa aplicable a la evaluación estructural de puentes existentes, así como al diseño estructural y diseño sismorresistente de las medidas de mejoramiento.

A partir de las revisiones realizadas, se llega a las conclusiones que se presentan en el Cuadro 6, mostrado a continuación. Para cada conclusión se indican las observaciones asociadas de la Sección 6 de este informe.

**Cuadro 6.** Resumen de conclusiones derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Conclusión		Observaciones asociadas
1.	No se contó con un cartel con especificaciones en las que se indicara la normativa requerida ya que, según entendimiento de esta Unidad, el proyecto se da gracias a una adenda al contrato de construcción del puente nuevo adyacente.	-
2.	El procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del puente existente sobre el río Virilla con respecto a la evaluación estructural y el diseño del mejoramiento y ampliación estructural, cumple en un <b>67,97 %</b> con los requerimientos de la normativa aplicable vigente al momento de realizarse el proyecto.	General
3.	Se detectaron casos en los que la normativa aplicable a la evaluación estructural de puentes existentes y el diseño estructural y sismorresistente de puentes se pudo haber aplicado de forma incompleta o incorrecta.	6.A.1, 6.D.1, 6.D.2, 6.D.3, 6.D.4, 6.G.1, 6.D.5, 6.D.6



**Cuadro 6.** Resumen de conclusiones derivadas de la revisión de la memoria de cálculo (cont.)

Conclusión		Observaciones asociadas
4.	Se detectó la omisión de cierta información en la memoria de cálculo que impide verificar el cumplimiento de los requerimientos correspondientes de la normativa aplicable. Específicamente, se detectó la omisión de la siguiente información:	-
4.1.	Justificación de la selección de datos de entrada y otros parámetros considerados en la memoria de cálculo.	6.B.1, 6.E.10, 6.E.21,
4.2.	Justificación de la utilización de criterios de diseño en algunos de los elementos del puente.	6.B.2, 6.B.3, 6.B.9, 6.B.12, 6.B.13, 6.E.6, 6.E.9, 6.E.15, 6.E.17, 6.E.29
4.3.	Resultados obtenidos del análisis estructural para las diferentes combinaciones de carga consideradas.	5.D.3, 5.G.3, 5.O.1, 6.H.6,
4.4.	Procedimiento de cálculo y resultados obtenidos de la estimación de capacidad y demanda que se utilizaron para calcular las relaciones capacidad/demanda de los diferentes elementos de la estructura.	6.B.4, 6.B.7, 6.B.11, 6.B.15, 6.B.16, 6.B.17, 6.E.2, 6.E.8, 6.E.9, 6.E.10, 6.E.11, 6.E.12, 6.E.29, 6.H.1,
4.5.	Omisión de factores modificadores de la resistencia.	6.B.5, 6.B.6, 6.B.10, 6.E.13,



**Cuadro 6.** Resumen de conclusiones derivadas de la revisión de la memoria de cálculo (cont.)

Conclusión		Observaciones asociadas
4.6.	Omisión de pasos, procedimientos o revisiones que están especificados en la normativa.	6.B.8, 6.B.12, 6.B.13, 6.B.14, 6.B.16, 6.B.18, 6.B.19, 6.E.1, 6.E.3, 6.E.4, 6.E.5, , 6.E.7, 6.E.14, 6.E.16, , 6.E.18, 6.E.19, 6.E.21, 6.E.22, 6.E.23, 6.E.24, 6.E.25, 6.E.26, 6.E.27, 6.E.28, 6.E.30, 6.E.31, 6.H.2, 6.H.3, 6.H.4, 6.H.5, 6.H.7, 6.H.8
5.	Se detectaron casos en los que la información presentada en la memoria de cálculo no es clara o presenta incongruencias, lo cual puede dificultar su seguimiento. Específicamente, se detectó lo siguiente:	-
5.1.	En algunas secciones de la memoria de cálculo no existe claridad con respecto a cuál fue la normativa considerada.	6.D.1, 6.D.2, 6.D.3, 6.E.12,
5.2.	La memoria de cálculo incluye o menciona cierta información sin quedar claro de qué forma fue utilizada dentro del análisis.	6.C.1, 6.C.2, 6.E.9, 6.E.10, 6.E.11, 6.F.1,
5.3.	La información presentada en la memoria de cálculo con respecto a omite algunos detalles y presenta pequeñas inconsistencias.	6.E.10, 6.F.2, 6.F.3



## 8. RECOMENDACIONES

Con base en la revisión de la memoria de cálculo del mejoramiento y ampliación estructural del puente sobre el río Virilla, se recomienda a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR ejecutar las acciones que se presentan en el Cuadro 7, mostrado a continuación. Para cada recomendación se indican las observaciones asociadas de la Sección 6 de este informe.

**Cuadro 7.** Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Recomendación		Observaciones asociadas
1.	Solicitar a la Administración que el diseñador complete la memoria de cálculo de forma <u>inmediata</u> con cada uno de los siguientes aspectos:	-
1.	1.1. Presentar una propuesta de diseño en la que se considere al puente como Crítico. En su defecto, presentar una justificación avalada por la Administración sobre la categoría de importancia del puente escogida.	6.G.1
	1.2. Proveer de un diseño en el que se corrija el incumplimiento del acero longitudinal de los pilotes nuevos. En su defecto, presentar una justificación aprobada por la Administración del uso de pilotes que incumplen en cuantía de acero longitudinal para resistir fuerzas de flexión y flexocompresión.	6.D.4
	1.3. Presentar una justificación aprobada por la Administración del uso de normativa AASHTO 2007 si se indica en planos constructivos y en las páginas introductorias de la memoria de cálculo el uso de AASHTO LRFD 2017.	6.D.2, 6.D.3, 6.D.1
	1.4. Corregir los valores de longitud de desarrollo que se indica en planos constructivos. En su defecto, justificar los valores de longitud de desarrollo de ganchos estándar que se indican en planos constructivos mediante un cálculo desarrollado que cuente con aprobación de la Administración.	6.D.5



**Cuadro 7.** Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo (cont.)

Recomendación		Observaciones asociadas
1.5.	Corregir los recubrimientos especificados en los planos constructivos que son menores a los solicitados por la norma AASHTO LRFD 2017. En su defecto, justificar con aprobación de la Administración el uso de recubrimientos menores a los establecidos en el artículo 5.10.1 de AASHTO LRFD 2017	6.D.6
2.	Solicitar a la Administración que el diseñador complete la memoria de cálculo en el corto plazo (máximo 3 meses) con cada uno de los siguientes aspectos:	-
2.	2.1. Justificar el uso de una carga vehicular amplificada en un 25 % para efectos puntuales de carga sobre losa del tablero.	6.A.1
	2.2. Aclarar si se cargó más de un carril de diseño simultáneamente en los modelos de análisis, aplicando los factores de presencia múltiple y de amplificación dinámica.	6.E.10
	2.3. Indicar en qué sección de la memoria se muestran los cálculos de efectos secundarios por el postensado en la superestructura de viga cajón. En caso de que no esté en la memoria, se recomienda que el diseñador presente la información en un documento aparte.	6.B.8
	2.4. Aclarar cuáles fueron las combinaciones de carga que se utilizaron para el diseño de cada elemento del puente.	General
	2.5. Demostrar que las columnas de las pilas cumplen los requerimientos de esbeltez según el Artículo 4.5.3.2.2 y 5.6.4.3 de AASHTO LRFD 2017, o justificar si no es necesario considerarlos.	6.B.15, 6.E.24
	2.6. Justificar el motivo por el cuál no se hizo uso de los factores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional.	6.E.8, 6.E.2



**Cuadro 7.** Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo (cont.)

Recomendación		Observaciones asociadas	
2.	2.7.	Justificación del uso de factores de reducción de la resistencia en los cálculos de capacidad de algunos elementos (AASHTO LRFD 2017 5.5.4.2 y 5.6.2.1).	General
	2.8.	Revisiones de detallado (recubrimiento, aceros mínimos, longitudes de desarrollo, empalmes, ganchos estándar, cuantías de acero, etc.) (AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.11.4.3, 5.11.4.1.6, 5.11.4.1.1, 5.11.4.1.3, 5.10.8.1, 5.10.8.2, 5.12.9.1, 5.10.8.4 o 5.12.9.2)	General
	2.9.	Justificación del uso de factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia iguales a 1.	General
	2.10.	Cálculo de las deflexiones de las losas de tablero y de las entrelosas según AASHTO LRFD 2017 Artículo 9.5.2.	6.E.3
	2.11.	Revisión de deslizamiento en la base de las cimentaciones de pilas (AASHTO LRFD 2017 Artículo 10.6.3.4).	6.B.19
	2.12.	Revisiones de deflexiones en losas y prelosas (Artículo 9.5.2 de AASHTO LRFD 2017).	6.E.3
	2.13.	Revisiones de transferencia de cortante entre tablero y barreras de contención vehicular, y entre el tablero y las vigas de concreto de las superestructuras tipo viga (5.7.4 de AASHTO LRFD 2017)	6.E.5, 6.E.17
	2.15.	Revisión de tensiones adicionales por cortante producido por el presfuerzo en los elementos principales de las superestructuras (AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.7.3.5).	6.E.14
	2.16.	Revisión de longitud de asiento en todas las subestructuras (Artículo 4.7.4.4 de AASHTO LRFD 2017).	6.H.8



**Cuadro 7.** Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo (cont.)

Recomendación		Observaciones asociadas	
2.	2.17.	Interacción entre cuerpos de pilas y cabezales de pilas y entre cuerpos de pilas y cimentaciones (Artículo 5.12.8.8 y 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017).	6.E.28
	2.18.	Revisión de los desplazamientos inelásticos de la estructura a partir de los desplazamientos elásticos del análisis (Artículo 4.7.4.5 de AASHTO LRFD 2017).	6.H.2
	2.19.	Provisión de una memoria de cálculo completa para el diseño de los apoyos, tomando en cuenta los anclajes, longitud de asiento y combinaciones de fuerzas (14.6.5.3 y 14.7.5.3.7 de AASHTO LRFD 2017).	6.H.6, 6.H.7, 6.H.8
	2.20.	Revisiones de detallado de cuantías mínimas y máximas de acero, separaciones de refuerzo longitudinal y transversal, revisión de confinamiento en zonas donde se requiere.	General
	2.21.	Justificación de no considerar cargas de viento en las subestructuras del puente.	6.E.23
	2.22.	Justificación de no considerar los efectos de esbeltez en columnas de pilas	6.E.24
	2.23.	Revisión de fuerzas axiales en columnas según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.11.4.1.3 para verificar la contribución a cortante del concreto	6.H.3
	2.24	Revisión del deslizamiento en la base de todas las cimentaciones según AASHTO LRFD 2017 Artículo 10.6.3.4.	6.B.19
	2.24	Justificación del uso de un factor de sistema de 1 en vigas cajón.	6.B.11



**Cuadro 7.** Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo (cont.)

Recomendación		Observaciones asociadas	
2.	2.25	Indica si los tendones de presfuerzo en vigas tipo I son adheridos o desadheridos y justificar el valor de reducción de resistencia a flexión utilizado.	6.B.9
3.		Aunque en este caso no se incluyeron documentos contractuales en la revisión, se considera apropiado recomendar a la Administración que en los documentos contractuales de futuros proyectos de diseño de puentes solicite específicamente la entrega de la siguiente información:	-
3.	3.1.	Un plan de control y aseguramiento de la calidad de todos los entregables y actividades relacionadas con el diseño estructural, el cual permita detectar errores e inconsistencias antes de la entrega del producto final por parte del diseñador. Este plan debe ser revisado y aprobado por la Administración antes del inicio de los trabajos. Se recomienda consultar el documento titulado "Guidance on Quality Control and Quality Assurance (QC/QA) in Bridge Design" (FHWA, 2011).	General
	3.2.	El nombre y número de carné de los profesionales responsables del diseño estructural, así como de los profesionales responsables de los procesos de revisión independiente del diseño.	-
	3.3.	Solicitar a la Administración revisar la vigencia de la normativa y las especificaciones técnicas de diseño estructural a cumplir, que se solicita en los documentos contractuales.	-



## 9. REFERENCIAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. (2018). *The Manual for Bridge Evaluation. 3rd Edition*. Washington D.C.: AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. (2017). *AASHTO LRF Bridge Design Specifications. 8th Edition*. Washington D.C.: AASHTO.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, CFIA. (2013). *Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes*. Documento disponible en <https://www.codigosismico.or.cr/images/lineamientos.pdf>
- Consortio Virilla 32 S.A. (2022). *CV32-361-2022-CO Proyecto Rehabilitación Puente Saprissa*. San José, Costa Rica.
- Khan, M.A. (2010). *Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair. 1<sup>st</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill.
- MOPT (2022). *Diseño de detalle de la ampliación del viaducto existente sobre el río Virilla, Ruta Nacional no. 32 "Carretera Braulio Carrillo"*. Diseño: FHECOR. San José, Costa Rica.
- MOPT (2022). *Diseño de la Rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 32 en el límite entre la Provincia de San José y la Provincia de Heredia en Costa Rica*. Versión: Planos de diseño en versión [dwg] y [PDF]. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, FHECOR. San José, Costa Rica.



Página intencionalmente dejada en blanco



## Apéndice A.

### Lista de verificación para la revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 48 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



Página intencionalmente dejada en blanco



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PUENTES DE CONCRETO POR EL MÉTODO LRFD SEGÚN EL MANUAL DE AASHTO <i>THE MANUAL FOR BRIDGE EVALUATION</i> 3rd ed 2018 rev 2020 (abreviado como AASHTO MBE) Y LA ESPECIFICACIÓN <i>AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS</i> 8va ed 2017 (abreviado como AASHTO LRFD)						
Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>A. Aspectos generales</b>					<b>3,5</b>	<b>4</b>
<b>A.1. Aplicabilidad de las especificaciones y filosofía de diseño</b>						
1.3 6.1	1.1	¿Las especificaciones de diseño y evaluación estructural utilizadas son aplicables al tipo de puente considerado?	Sí	El puente a rehabilitar y ampliar cumple con las definiciones de AASHTO sobre lo que es un "puente". Adicionalmente, el puente cumple con el tipo de carga que transporta para poder utilizar las especificaciones AASHTO.	1	1
6A.1.1	1.1	¿La metodología utilizada para la evaluación estructural es consistente con la filosofía de diseño LRFD?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>A.2. Determinación de la condición del puente</b>						



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>A.2. Determinación de la condición del puente</b>						
6.1.1 C6.1.1 6.1.2	No hay Art.	¿Se determinó la condición existente de los componentes estructurales del puente a partir de una inspección de campo reciente?	Parcialmente	Se entiende que se realizaron pruebas al concreto como punto de partida; sin embargo, no se observó una revisión o memoria de cálculo detallada del estado actual de la estructura.	0,5	1
6.1.1 C6.1.1 6A.5.2.1	C5.4.2.1	En caso de que el concreto de los componentes estructurales presente deficiencias apreciables, ¿se determina la resistencia y calidad del concreto a través de ensayos del material?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>B. Evaluación estructural del tablero de concreto reforzado</b>					<b>9,5</b>	<b>15</b>
<b>B.1. Propiedades de los materiales</b>						
6.1.1	5.4	¿Se definen todas las propiedades de los materiales que fueron consideradas en la evaluación estructural del tablero?	Sí	No hay comentarios.	1	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6.1.1 6A.5.2	5.4	¿Las propiedades de los materiales que fueron consideradas en la evaluación estructural del tablero son consistentes con las propiedades que fueron especificadas para el diseño original del puente?	NA	Se utilizaron pruebas de material para el análisis y diseño de las vigas, por lo que la información de planos queda invalidada.	NA	0
<b>B.2. Definición de cargas permanentes:</b>						
6A.2.2.1	3.5.1	¿Se calculan las cargas permanentes (DC y DW) de acuerdo con las condiciones existentes en sitio al momento de realizar el análisis?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>B.3. Aplicación de carga viva vehicular:</b>						
6A.2.3.1	3.6.1.3.3	¿Se verifica la carga viva vehicular (LL) aplicable según el caso de estudio?	Parcialmente	Se indica que se amplifica la carga vehicular en un 25 % para revisar los efectos de cargas puntuales sobre la losa del tablero; sin embargo, no queda clara la razón de haber realizado esto, ya que en la fuente indicada en la memoria de cálculo (Reglamento de Circulación por Carreteras con base en el Peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga) no se exige esta amplificación de la carga.	0,5	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	
6A.2.3.2	3.6.1.1.1 3.6.1.3.1	¿Se define el número de carriles de tránsito a cargar y el posicionamiento transversal de las líneas de llantas?	Parcialmente	En las capturas de pantalla de los modelos y escaneos de los cálculos no se indica el número de carriles de diseño que son cargados de manera simultánea con la carga viva vehicular, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento de los Artículos 3.6.1.1.1 y 3.6.1.3.1 de la norma AASHTO LRFD 2017.	0,5	1	
6A.1.4	3.6.1.1.2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados?	Parcialmente	A pesar de que en las páginas introductorias de la memoria de cálculo se indican los factores de presencia múltiple de la carga viva vehicular, en las capturas de pantalla de los modelos de análisis estructural no se encontró evidencia de que se hayan utilizado, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 3.6.1.1.2 de la norma AASHTO LRFD 2017.	0,5	1	
6A.2.3.3 6A.4.3.3	3.6.2	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado?	Sí	No hay comentarios.	1	1	
		<b>B.4. Análisis estructural:</b>					
6A.3.2	4.6.2.1	¿Se utiliza un método aproximado para el análisis estructural del tablero (método de franjas)?	NA	Se utilizó un análisis refinado para los efectos de la carga viva.	NA	0	



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.3.2	4.6.2.1	¿Se verifica la aplicabilidad del método aproximado implementado para el análisis estructural?	NA	Se utilizó un análisis refinado para los efectos de la carga viva.	NA	0
6A.3.3	4.6.3.2	¿En casos en los que los métodos aproximados no son aplicables, se utiliza un método de análisis refinado apropiado?	Sí	Se utilizó un análisis refinado para los efectos de la carga viva.	1	1
<b>B.5. Selección de factores de carga y factores de resistencia:</b>						
6A.2.2.3 6A.4.2.2 6A.4.3.2	3.4.1	¿Se definen los factores de carga de las cargas permanentes y transitorias para cada uno de los estados límite a considerar?	Parcialmente	Los factores de combinación se indican en las páginas introductorias de la memoria de cálculo. Sin embargo, para los tramos n.º 2 a n.º 4 no queda claro cuáles fueron los factores de carga utilizados en las combinaciones de los estados límite.	0,5	1
6A.5.3 6A.5.4	5.5.4.2 5.6.2.1	¿Se definen los factores de reducción de resistencia ( $\phi$ ) para el estado límite de resistencia, tomando en cuenta si la sección es controlada por tracción o por compresión?	Parcialmente	No se justifica la utilización de los factores de reducción de la resistencia para las revisiones a flexión en los elementos de concreto como vigas presforzadas, según AASHTO LRFD 2017 5.5.4.2 y 5.6.2.1.	0,5	1
6A.4.2.3	No hay Art.	¿Se define el factor de condición ( $\phi_c$ ) para tomar en cuenta la incertidumbre en la resistencia de elementos deteriorados?	Parcialmente	Aunque se conoce la capacidad del concreto del tablero de la superestructura n.º 2 gracias a las pruebas de núcleo, no se sabe si se está considerando algún factor de condición para el acero de refuerzo existente.	0,5	1
<b>B.6. Evaluación del estado límite de resistencia:</b>						
6A.1.4	5.6.3.2	¿Se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a flexión positiva del tablero considerando su condición existente?	Parcialmente	No se observó el cálculo de la capacidad del tablero existente de los tramos n.º 2 a n.º 4 de tipo viga cajón (superestructura n.º 2), por la complejidad para dar seguimiento a los cálculos realizados. Por lo tanto, no fue posible revisar los Artículos 5.6.3.2, 5.6.3.3, 5.7.3 y 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.1.4	5.6.3.2	¿Se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a flexión negativa del tablero considerando su condición existente?	Parcialmente	No se observó el cálculo de la capacidad del tablero existente de los tramos n.º 2 a n.º 4 de tipo viga cajón (superestructura n.º 2), por la complejidad para dar seguimiento a los cálculos realizados. Por lo tanto, no fue posible revisar los Artículos 5.6.3.2, 5.6.3.3, 5.7.3 y 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero mínimo a flexión, y en caso de no cumplirse, se reduce la resistencia a flexión del tablero por el factor de reducción correspondiente?	Parcialmente	No se observó el cálculo de la capacidad del tablero existente de los tramos n.º 2 a n.º 4 de tipo viga cajón (superestructura n.º 2), por la complejidad para dar seguimiento a los cálculos realizados. Por lo tanto, no fue posible revisar los Artículos 5.6.3.2, 5.6.3.3, 5.7.3 y 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1
6A.5.8	5.7.3	En caso de ser necesario, ¿se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a cortante del tablero considerando su condición existente?	Parcialmente	No se observó el cálculo de la capacidad del tablero existente de los tramos n.º 2 a n.º 4 de tipo viga cajón (superestructura n.º 2), por la complejidad para dar seguimiento a los cálculos realizados. Por lo tanto, no fue posible revisar los Artículos 5.6.3.2, 5.6.3.3, 5.7.3 y 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1
6A.4.2.1 6A.5.4.1 6A.5.8	3.4.1	¿Se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos de flexión positiva, flexión negativa y cortante en el tablero para la combinación de carga de Resistencia I?	Parcialmente	No se observó el cálculo de la capacidad del tablero existente de los tramos n.º 2 a n.º 4 de tipo viga cajón (superestructura n.º 2), por la complejidad para dar seguimiento a los cálculos realizados. Por lo tanto, no fue posible revisar los Artículos 5.6.3.2, 5.6.3.3, 5.7.3 y 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>C. Evaluación estructural de las vigas principales de concreto presforzado</b>					<b>13,5</b>	<b>20</b>
<b>C.1. Propiedades de los materiales</b>						
6.1.1	5.4	¿Se definen todas las propiedades de los materiales que fueron consideradas en la evaluación estructural de las vigas principales?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6.1.1 6A.5.2	5.4	¿Las propiedades de los materiales que fueron consideradas en la evaluación estructural de las vigas principales son consistentes con las propiedades que fueron especificadas para el diseño original del puente?	NA	Se utilizaron pruebas de material para el análisis y diseño de las vigas, por lo que la información de planos queda invalidada.	NA	0
<b>C.2. Definición de cargas permanentes:</b>						
6A.2.2.1	3.5.1	¿Se calculan las cargas permanentes (DC y DW) de acuerdo con las condiciones existentes en sitio al momento de realizar el análisis?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.2.2.2 6A.5.9	3.12.7	¿Se consideran los efectos secundarios del postensado como una carga permanente?	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya considerado los efectos secundarios del postensado en la superestructura de viga tipo cajón, como se establece en la sección 3.12.7 de la norma AASHTO LRFD 2017 y en las secciones 6A.2.2.2 y 6A.5.9 de AASHTO MBE.	0	1
<b>C.3. Aplicación de carga viva vehicular:</b>						
6A.2.3.1	3.6.1.3.3	¿Se verifica la carga viva vehicular (LL) aplicable según el caso de estudio?	Sí	No hay comentarios.	1	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.2.3.2	3.6.1.1.1 3.6.1.3.1	¿Se define el número de carriles de tránsito a cargar y el posicionamiento transversal de las líneas de llantas?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.1.4	3.6.1.1.2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados?	Parcialmente	Se indican los factores de presencia múltiple en las páginas introductorias de la memoria de cálculo; sin embargo, en las capturas de pantalla de los modelos de análisis no queda explícito que se hayan utilizado.	0,5	1
6A.2.3.3 6A.4.3.3	3.6.2	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>C.4. Cálculo de los efectos por otras fuerzas:</b>						
6A.2.3.4 - 6A.2.3.8	Sección 3	¿Se realiza el cálculo de los efectos de otras fuerzas adicionales, según se requiera?	Sí	No hay comentarios.	1	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>C.5. Análisis estructural:</b>						
6A.3.2	4.6.2.2.2	¿Se calculan los factores de distribución para el momento producido por la carga viva vehicular?	NA	Se utilizó análisis refinado para la determinación de las fuerzas internas causadas por las cargas externas en todas las superestructuras del puente.	NA	0
6A.3.2	4.6.2.2.3	¿Se calculan los factores de distribución para el cortante producido por la carga viva vehicular?	NA		NA	0
6A.3.2	4.6.2.2	¿Se verifica la aplicabilidad del método aproximado implementado para el análisis estructural?	NA		NA	0
6A.3.3	4.6.3.2	¿En casos en los que los métodos aproximados no son aplicables, se utiliza un método de análisis refinado apropiado?	NA		NA	0
<b>C.6. Selección de factores de carga y factores de resistencia:</b>						
6A.2.2.3 6A.4.2.2 6A.4.3.2	3.4.1	¿Se definen los factores de carga de las cargas permanentes y transitorias para cada uno de los estados límite a considerar?	Parcialmente	Los factores de combinación se indican en las páginas introductorias de la memoria de cálculo. Sin embargo, para los tramos n.º 2 a n.º 4 no queda claro cuáles fueron los factores de carga utilizados en las combinaciones de los estados límite.	0,5	1
6A.5.3 6A.5.4	5.5.4.2 5.6.2.1	¿Se definen los factores de reducción de resistencia ( $\phi$ ) para el estado límite de resistencia, tomando en cuenta si la sección es controlada por tracción o por compresión?	Parcialmente	En la memoria de cálculo y en los planos constructivos no se indica si los tendones de presfuerzo son adheridos o no adheridos, por lo que no existe claridad en el factor de reducción de resistencia a considerar según los Artículos 5.5.4.2 y 5.6.2.1 de AASHTO LRFD. Para los tramos n.º 2 a n.º 4 (superestructura n.º 2), no fue posible verificar el factor de reducción de la resistencia a considerar según los Artículos 5.5.4.2 y 5.6.2.1 de AASHTO LRFD.	0,5	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.4.2.3	No hay Art.	¿Se define el factor de condición ( $\phi_c$ ) para tomar en cuenta la incertidumbre en la resistencia de elementos deteriorados?	NA	Se utilizan pruebas de material, por lo que se conoce con precisión la resistencia de los materiales.	NA	0
6A.4.2.4	1.3.4	¿Se define el factor de sistema ( $\phi_s$ ) para tomar en cuenta el nivel de redundancia del sistema completo de la superestructura al momento de evaluar los efectos de flexión y carga axial?	No	No se logró identificar en la memoria de cálculo si se consideró el factor de sistema para tomar en cuenta el nivel de redundancia del sistema completo para ninguna de las superestructuras.	0	1
<b>C.7. Estado límite de servicio:</b>						
6A.1.4	5.9.3	¿Se definen las pérdidas de presfuerzo que fueron consideradas en los cálculos?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.5.2.3	5.9.2.2	¿Se verifican los límites de esfuerzos de tensión en los tendones de presfuerzo?	Parcialmente	En la memoria de cálculo no se muestra cuáles fueron los límites de esfuerzos de tensión del presfuerzo que fueron considerados en la evaluación de la superestructura de viga cajón para el estado límite de servicio. En el caso de las superestructuras de viga prefabricada, se observa que se indican los límites de AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.9.2.2, mas no se logra identificar la revisión contra dichos límites.	0,5	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.4.2.1 6A.5.4.1	5.9.2.3.2	¿Se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los esfuerzos de tensión en el concreto de las vigas principales para la combinación de carga de Servicio III?	Parcialmente	En las superestructuras tipo viga presforzada de concreto se indican los límites a considerar según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.9.2.3.2 mas no se logró identificar la revisión contra dichos límites. En el caso de las superestructuras de viga cajón no se identificó la revisión de los límites de esfuerzos de tensión del concreto según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.9.2.3.2.	0,5	1
<b>C.8. Estado límite de resistencia:</b>						
6A.1.4	5.6.3.2	¿Se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a flexión positiva de las vigas principales considerando su condición existente?	Parcialmente	Debido a la dificultad de lectura de la hoja de cálculo por la forma en la que se presenta la información, no fue posible identificar los cálculos mediante los cuales se obtuvieron capacidades de la superestructura existente tipo viga cajón en su condición actual según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.6.3.2 y AASHTO MBE Artículos 6A.4.2.1 y 6A.5.4.1; sin embargo, se observan diagramas de demanda vs capacidad que indican que sí se realizó el cálculo de la capacidad actual y que sí era necesario el refuerzo.	0,5	1
6A.1.4	5.6.3.2	¿Se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a flexión negativa de las vigas principales considerando su condición existente?	Parcialmente	Debido a la dificultad de lectura de la hoja de cálculo por la forma en la que se presenta la información, no fue posible identificar los cálculos mediante los cuales se obtuvieron capacidades de la superestructura existente tipo viga cajón en su condición actual según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.6.3.2 y AASHTO MBE Artículos 6A.4.2.1 y 6A.5.4.1; sin embargo, se observan diagramas de demanda vs capacidad que indican que sí se realizó el cálculo de la capacidad actual y que sí era necesario el refuerzo.	0,5	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero mínimo a flexión, y en caso de no cumplirse, se reduce la resistencia a flexión de las vigas principales por el factor de reducción correspondiente?	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el acero de refuerzo mínimo por flexión para la evaluación estructural de la ninguna de las superestructuras existentes, lo cual es un requerimiento según el Artículo 6A.5.6 de AASHTO MBE y el artículo 5.6.3.3 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
6A.4.2.1 6A.5.4.1	3.4.1	¿Se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos de flexión positiva y negativa en las vigas principales para la combinación de carga de Resistencia I?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.5.8	5.7.3	En caso de ser necesario, ¿se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a cortante de las vigas principales considerando su condición existente?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.4.2.1 6A.5.4.1 6A.5.8	3.4.1	En caso de ser necesario, ¿se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos de cortante en las vigas principales para la combinación de carga de Resistencia I?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>D. Evaluación estructural de la subestructura de concreto reforzado</b>					<b>15,5</b>	<b>22</b>
<b>D.1. Propiedades de los materiales</b>						
6.1.1	5.4	¿Se definen todas las propiedades de los materiales que fueron consideradas en la evaluación estructural de los elementos de la subestructura?	Sí	No hay comentarios.	1	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6.1.1 6A.5.2	5.4	¿Las propiedades de los materiales que fueron consideradas en la evaluación estructural de la subestructura son consistentes con las propiedades que fueron especificadas para el diseño original del puente?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>D.2. Cálculo de fuerzas:</b>						
6.1.5.2 6A.1.4	3.5 3.6	¿Se obtienen las reacciones transmitidas por la superestructura hacia la subestructura?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6.1.5.2 6A.1.4	3.5.1 3.5.2 3.11.5 3.11.6	¿Se calculan todas las cargas permanentes (DC, DW, EV, EH, ES) que actúan sobre los elementos de la subestructura?	Parcialmente	En la evaluación estructural de los bastiones o las pilas no queda claro que se hayan aplicado todas las cargas permanentes (DC, DW, EV, EH, ES) que deben resistir según AASHTO LRFD 2017 Artículos 3.5.1, 3.5.2, 3.11.5 y 3.11.6.	0,5	1
6.1.5.2 6A.1.4	3.6.4	¿Se calcula la fuerza debida al frenado de vehículos (BR)?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6.1.5.2 6A.1.4	3.6.3	En el caso de puentes curvos, ¿se calcula la fuerza centrífuga (CE)?	NA	El puente es recto.	NA	0



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>D.3. Análisis estructural:</b>						
6A.3.2 6A.3.3	4.6.2 4.6.3	¿Se utiliza un método de análisis estructural apropiado para determinar las fuerzas internas en los elementos de la subestructura?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.1.4	5.6.4.3 4.5.3.2.2	¿Se consideran los efectos de esbeltez de las columnas en el análisis estructural?	No	No se logró detectar si en el análisis de las columnas fue considerado algún efecto de esbeltez. Esto no quiere decir que no se haya realizado, sino que no fue plasmado en la memoria de cálculo.	0	1
<b>D.4. Selección de factores de carga y factores de resistencia:</b>						
6A.2.2.3 6A.4.2.2 6A.4.3.2	3.4.1	¿Se definen los factores de carga de las cargas permanentes y transitorias para cada uno de los estados límite a considerar?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.5.3	5.5.4.2 5.6.2.1	¿Se definen los factores de reducción de resistencia ( $\phi$ ) para el estado límite de resistencia, tomando en cuenta si la sección es controlada por tracción o por compresión?	Parcialmente	Se presentan resultados de la interacción entre compresión y flexión de las pilas, mas no se muestra si la sección es controlada por compresión o tensión según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.5.4.2 o 5.6.2.1 (no se muestran diagramas de interacción de las pilas)	0,5	1
6A.4.2.3	No hay Art.	¿Se define el factor de condición ( $\phi_c$ ) para tomar en cuenta la incertidumbre en la resistencia de elementos deteriorados?	NA	Se utilizan pruebas de material, por lo que se conoce con precisión la resistencia de los materiales.	NA	0



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.4.2.4	1.3.4	¿Se define el factor de sistema ( $\phi_s$ ) para tomar en cuenta el nivel de redundancia del sistema completo de la superestructura al momento de evaluar los efectos de flexión y carga axial?	No	No se observa que se hayan utilizado factores de redundancia para subestructuras o cimentaciones en la memoria de cálculo según AASHTO LRFD 2017 1.3.4	0	1
<b>D.5. Estado límite de resistencia:</b>						
<b>D.5.1. Columnas de pilas y bastiones:</b>						
6A.1.4	5.6.4.4 5.6.4.5	¿Se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a flexión biaxial y carga axial de las columnas considerando su condición existente?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero mínimo a flexión, y en caso de no cumplirse, se reduce la resistencia a flexión de las columnas por el factor de reducción correspondiente?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.4.2.1 6A.5.4.1 6A.5.7	3.4.1	¿Se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos combinados de flexión y carga axial en las columnas para la combinación de carga de Resistencia I?	Sí	No hay comentarios.	1	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.5.8	5.7.3	En caso de ser necesario, ¿se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a cortante de las columnas considerando su condición existente?	Sí	No hay comentarios.	1	1
6A.4.2.1 6A.5.4.1 6A.5.8	3.4.1	En caso de ser necesario, ¿se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos de cortante en las columnas para la combinación de carga de Resistencia I?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>D.5.2. Cimentaciones superficiales de pilas y bastiones:</b>						
6A.1.4	5.6.4.5	¿Se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a flexión de las placas de cimentación considerando su condición existente?	Parcialmente	No se observa el cálculo de la capacidad actual de las cimentaciones, por lo que no fue posible verificar los Artículos 5.6.4.5, 5.6.3.3, 3.4.1 y 5.7.3 de AASHTO LRFD 2017 con la condición actual	0,5	1
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero mínimo a flexión, y en caso de no cumplirse, se reduce la resistencia a flexión de las placas de cimentación por el factor de reducción correspondiente?	Parcialmente	No se observa el cálculo de la capacidad actual de las cimentaciones, por lo que no fue posible verificar los Artículos 5.6.4.5, 5.6.3.3, 3.4.1 y 5.7.3 de AASHTO LRFD 2017 con la condición actual	0,5	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6A.4.2.1 6A.5.4.1	3.4.1	¿Se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos de flexión en las placas de cimentación para la combinación de carga de Resistencia I?	Parcialmente	No se observa el cálculo de la capacidad actual de las cimentaciones, por lo que no fue posible verificar los Artículos 5.6.4.5, 5.6.3.3, 3.4.1 y 5.7.3 de AASHTO LRFD 2017 con la condición actual	0,5	1
6A.1.4	5.7.3	En caso de ser necesario, ¿se determina la resistencia nominal ( $R_n$ ) a cortante de las placas de cimentación considerando su condición existente?	Parcialmente	No se observa el cálculo de la capacidad actual de las cimentaciones, por lo que no fue posible verificar los Artículos 5.6.4.5, 5.6.3.3, 3.4.1 y 5.7.3 de AASHTO LRFD 2017 con la condición actual	0,5	1
6A.4.2.1 6A.5.4.1 6A.5.8	3.4.1	En caso de ser necesario, ¿se aplica la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos de cortante en las placas de cimentación para la combinación de carga de Resistencia I?	Parcialmente	No se observa el cálculo de la capacidad actual de las cimentaciones, por lo que no fue posible verificar los Artículos 5.6.4.5, 5.6.3.3, 3.4.1 y 5.7.3 de AASHTO LRFD 2017 con la condición actual	0,5	1
6.1.5.2	10.6.3.3	¿Se revisa que la excentricidad de las placas de cimentación esté dentro del límite permitido para el estados límite de resistencia?	Sí	No hay comentarios.	1	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6.1.5.2	10.6.3.4	¿Se analiza la estabilidad de las placas de cimentación ante deslizamiento para el estado límite de resistencia?	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el deslizamiento de la base de todas las cimentaciones para la condición existente según AASHTO LRFD 2017 Artículo 10.6.3.4.	0	1
<b>E. Selección y diseño de las medidas de rehabilitación</b>					<b>3</b>	<b>3</b>
<b>E.1. Rehabilitación del tablero de concreto reforzado:</b>						
6.1 6A.1.4	Secciones 5 y 9	En caso de ser necesario, ¿se proponen medidas de rehabilitación para incrementar la resistencia del tablero que son consistentes con los resultados obtenidos de la evaluación estructural?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>E.2. Rehabilitación de las vigas principales de concreto presforzado:</b>						
6.1 6A.1.4	Sección 5	En caso de ser necesario, ¿se proponen medidas de rehabilitación para incrementar la resistencia de las vigas principales de concreto presforzado que son consistentes con los resultados obtenidos de la evaluación estructural?	Sí	No hay comentarios.	1	1



**Cuadro A.1.** Revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente existente sobre el río Virilla para cargas no sísmicas según el manual AASHTO MBE (AASHTO, 2018) y la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>E.3. Rehabilitación de los elementos de la subestructura:</b>						
6.1 6A.1.4	Secciones 5, 10 y 11	En caso de ser necesario, ¿se proponen medidas de rehabilitación que incrementan la resistencia de los elementos de la subestructura que son consistentes con los resultados obtenidos de la evaluación estructural?	Sí	No hay comentarios.	1	1
<b>Puntaje total obtenido para la evaluación estructural del puente:</b>					<b>45</b>	<b>64</b>
					<b>70,3%</b>	



## Apéndice B.

**Lista de verificación para la revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32**

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 69 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 70 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



**Cuadro B.1.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del tablero del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES DE CONCRETO SEGÚN EL APÉNDICE A5 DE LA NORMA AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS 8th Ed (2017)					
DISEÑO DEL TABLERO [AASHTO A5.3]					
Ítem AASHTO A5.3	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>C.</b>	<b>Diseño convencional de un tablero de concreto reforzado apoyado sobre vigas:</b>			<b>7</b>	<b>8</b>
2	¿Se cumple con el espesor mínimo permitido para el tablero? [9.7.1.1]	Sí	No se observa una revisión directa de cumplimiento, pero la losa propuesta sí tiene más del mínimo indicado.	1	1
5	En caso de utilizar un método aproximado de análisis (método de franjas), ¿se verifica que sea aplicable al tipo de tablero considerado en el diseño? [4.6.2.1]	NA	Se utiliza un método refinado de análisis, por lo que este ítem no aplica.	NA	0
	En caso de utilizar un método refinado de análisis, ¿se hace uso de uno de los métodos de análisis estructural aceptables? [4.4] [4.6.3.2]	Sí		1	1
6	¿Se verifica la carga viva vehicular aplicable según el caso de estudio? [3.6.1.3.3]	Sí		1	1
	En caso de utilizar el método aproximado de análisis, ¿se determinan los anchos de franjas equivalentes para aplicar la distribución de la carga viva vehicular? [4.6.2.1.5]	NA	Se utiliza un método refinado de análisis, por lo que este ítem no aplica.	NA	0



**Cuadro B.1.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del tablero del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO A5.3	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
7	¿Se calcula el acero de refuerzo de distribución requerido en la dirección longitudinal del tablero? [9.7.3.2]	No	No se encontró evidencia en la memoria de cálculo que se haya calculado el acero de refuerzo de distribución en la dirección longitudinal del tablero de acuerdo con el Artículo 9.7.3.2 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
8	¿Se aplican los casos de carga requeridos para el diseño del voladizo del tablero? [A13.4.1]	Sí		1	1
	¿Se define el tipo de barrera vehicular, las propiedades geométricas y las fuerzas de diseño? [13.7.2] [A13.2]	Sí		1	1
	¿Se calcula la resistencia nominal de la barrera vehicular a las cargas transversales que son transmitidas al voladizo? [A13.3.1]	Sí		1	1
	¿Se consideran los criterios de aplicación de la carga viva de diseño al voladizo del tablero? [3.6.1.3.1] [3.6.1.3.4]	Sí		1	1
<b>D.</b>	<b>Selección de factores de resistencia:</b>			<b>1</b>	<b>1</b>
1	¿Se definen los factores de resistencia para el estado límite de resistencia? [5.5.4.2]	Sí		1	1



**Cuadro B.1.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del tablero del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO A5.3	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>E.</b>	<b>Selección de modificadores de carga:</b>			<b>0</b>	<b>3</b>
1	¿Se define el modificador de carga de ductilidad para el estado límite de resistencia? [1.3.3]	No	No se encontró evidencia en la memoria de cálculo de que se haya considerado los factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
2	¿Se define el modificador de carga de redundancia para el estado límite de resistencia? [1.3.4]	No	No se encontró evidencia en la memoria de cálculo de que se haya considerado los factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
3	¿Se define el modificador de carga de importancia operacional para el estado límite de resistencia? [1.3.5]	No	No se encontró evidencia en la memoria de cálculo de que se haya considerado los factores modificadores de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
<b>F.</b>	<b>Selección de combinaciones y factores de carga:</b>			<b>1</b>	<b>1</b>
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Sí	La forma en la que se presentan los cálculos en la memoria (formato, orden, presentación) dificulta la revisión de los factores de carga utilizados en las combinaciones de carga con respecto a lo especificado en el Artículo 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017.	1	1



**Cuadro B.1.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del tablero del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO A5.3	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>G.</b>	<b>Cálculo de los efectos por carga viva:</b>			<b>3</b>	<b>3</b>
1	¿Se definen las cargas vivas de diseño (LL) que actúan sobre la estructura y el número de carriles de diseño? [3.6.1]	Sí		1	1
2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados? [3.6.1.1.2]	Sí		1	1
3	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado? [3.6.2]	Sí		1	1
<b>H.</b>	<b>Cálculo de los efectos por otras fuerzas:</b>			<b>2</b>	<b>2</b>
1	¿Se calculan los efectos de todas las cargas permanentes de diseño (DC, DW)? [3.5.1]	Sí		1	1
	¿Se realiza el cálculo de los efectos de otras fuerzas adicionales, en caso de ser requerido?	Sí		1	1
<b>I.</b>	<b>Estado límite de servicio:</b>			<b>1</b>	<b>2</b>
5	¿Se verifica el espaciamiento requerido del acero de refuerzo para el control de agrietamiento? [5.6.7]	Sí		1	1
7	¿Se verifica que las deflexiones en el tablero producidas por la carga viva estén dentro de límite establecido? [9.5.2]	No	No se detectó en la hoja de cálculo que se haya realizado una revisión de las deflexiones de la losa o las entrelosas de acuerdo con el Artículo 9.5.2 de AASHTO LRFD 2017.	0	1



**Cuadro B.1.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del tablero del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO A5.3	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>J.</b>	<b>Estado límite de resistencia:</b>			<b>3</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Flexión:</b>				
1c	¿Se determina la resistencia nominal a flexión positiva del tablero y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí		1	1
	¿Se determina la resistencia nominal a flexión negativa del voladizo del tablero y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí		1	1
1d	¿Se verifica el límite mínimo del acero de refuerzo y/o presfuerzo para la resistencia a flexión? [5.6.3.3]	No	No se observa que se haya realizado una verificación del límite mínimo de acero de refuerzo según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.6.3.3	0	1
<b>2</b>	<b>Cortante:</b>				
2a	¿Se revisa la capacidad del tablero para resistir cortante? [5.7.2]	Sí		1	1
2b (5)	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre el tablero y la barrera vehicular? [5.7.4]	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado la transferencia de cortante entre la losa y la barrera vehicular de acuerdo con el Artículo 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
<b>K.</b>	<b>Revisión del detallado:</b>			<b>2</b>	<b>5</b>
1	¿Se provee el recubrimiento necesario para proteger el acero de refuerzo y/o presfuerzo del tablero? [5.10.1]	Sí		1	1



**Cuadro B.1.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del tablero del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO A5.3	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
2	¿Se calcula la longitud de desarrollo de las barras de acero de refuerzo transversales colocadas en el voladizo del tablero? [5.10.8.1] [5.10.8.2]	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan calculado longitudes de desarrollo o empalmes del acero de refuerzo de ningún elemento de concreto reforzado o presforzado según los artículos 5.10.8.2 o 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
4	¿Se definen los empalmes por traslapo de las barras de acero de refuerzo transversales y longitudinales del tablero? [5.10.8.4]	No	Aunque sí se observó en los planos constructivos, no se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan calculado longitudes de desarrollo o empalmes del acero de refuerzo de ningún elemento de concreto reforzado o presforzado según los artículos 5.10.8.2 o 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión rápida contra lo establecido en 5.10.8.2 y 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017 y se observó que las longitudes de anclaje de los ganchos estándar que se indica en planos parece ser insuficiente.	0	1



**Cuadro B.1.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento del tablero del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO A5.3	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
8	¿Se revisan los límites para el espaciamiento del acero de refuerzo? [5.10.3.1] [5.10.3.2]	Parcialmente	Se observa que se revisan límites de máximos y mínimos de espaciamiento del acero de refuerzo del tablero de concreto; sin embargo, no se evidencia la sección del AASHTO LRFD 2017 contra la que se revisa y no fue posible realizar la verificación de cumplimiento contra 5.10.3.1 o 5.10.3.2 de AASHTO LRFD 2017 por falta de claridad en la información que se está presentando en la memoria de cálculo.	0,5	1
	¿Se calcula el acero de refuerzo de retracción y temperatura requerido en la dirección longitudinal del tablero? [5.10.6]	Parcialmente	Se indican revisiones de acero por temperatura para el acero de refuerzo del tablero, pero es difícil encontrarlo en las hojas de cálculo por el orden en que se presenta la información y no se indica la el artículo de AASHTO LRFD 2017 contra el que se revisa.	0,5	1
<b>Puntaje total obtenido para el diseño estructural del tablero:</b>				<b>20</b>	<b>30</b>
				<b>66,7%</b>	



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

DISEÑO DE LAS VIGAS PRINCIPALES [AASHTO A5.3]					
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>B.</b>	<b>Definición de la sección típica:</b>			<b>0</b>	<b>1</b>
1a,1b,1c	¿Se verifica que la sección de la viga utilizada cumpla con los espesores mínimos del ala superior, ala inferior y alma? [5.12.3.2.2] [5.12.3.5.1]	No	No se verifica que la sección cumpla con los requerimientos mínimos dimensionales según AASHTO LRFD 2017 sección 5.12.3.2.2 o 5.12.3.5.1. Se observó en planos constructivos que se indica el uso de una viga AASHTO tipo V, sin embargo, es necesario que en la memoria de cálculo también quede plasmado el tipo de viga que se utilizará.	0	1
<b>D.</b>	<b>Selección de factores de resistencia:</b>			<b>1</b>	<b>1</b>
1	¿Se definen los factores de resistencia para el estado límite de resistencia? [5.5.4.2]	Sí		1	1
<b>E.</b>	<b>Selección de modificadores de carga:</b>			<b>0</b>	<b>3</b>
1	¿Se define el modificador de carga de ductilidad para el estado límite de resistencia? [1.3.3]	No	Al igual que en el tablero, no hay evidencia en las hojas de cálculo de que se haya considerado el factor modificador de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.	0	1



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
2	¿Se define el modificador de carga de redundancia para el estado límite de resistencia? [1.3.4]	No	Al igual que en el tablero, no hay evidencia en las hojas de cálculo de que se haya considerado el factor modificador de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
3	¿Se define el modificador de carga de importancia operacional para el estado límite de resistencia? [1.3.5]	No	Al igual que en el tablero, no hay evidencia en las hojas de cálculo de que se haya considerado el factor modificador de carga por ductilidad, redundancia o importancia operacional de acuerdo con los Artículos 1.3.3, 1.3.4 y 1.3.5 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
<b>F.</b>	<b>Selección de combinaciones y factores de carga:</b>			<b>0,5</b>	<b>1</b>
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Parcialmente	Para el diseño estructural de vigas principales se definen algunos factores de carga, pero no se indica en cuál combinación de carga se van a utilizar del Artículo 3.4.1 de AASHTO LRFD 2017. Además, la forma en la que se presentan los cálculos hace difícil su seguimiento.	0,5	1
<b>G.</b>	<b>Cálculo de los efectos por carga viva:</b>			<b>4</b>	<b>5</b>
1	¿Se definen las cargas vivas de diseño (LL) que actúan sobre la estructura y el número de carriles de diseño? [3.6.1]	Sí		1	1



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados? [3.6.1.1.2]	Parcialmente	En las páginas iniciales de la memoria de cálculo se indican los carriles cargados y los factores de presencia múltiple de la carga viva vehicular; sin embargo, no se encontró evidencia dentro de las hojas de cálculo de los apéndices que se muestran en la memoria de que estos factores se hayan aplicado, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 3.6.1.1 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1
3	¿Se define el factor de amplificación dinámica (IM) aplicable al componente y estado límite considerado? [3.6.2]	Parcialmente	En las páginas iniciales de la memoria de cálculo se indica el factor de amplificación dinámica a utilizar; sin embargo, en las hojas de cálculo de los apéndices o en los modelos no queda claro que efectivamente se haya utilizado, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 3.6.2 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1
4	En caso de utilizar el método aproximado de análisis, ¿se calculan los factores de distribución para el momento producido por carga viva? [4.6.2.2.2]	NA	Se utiliza un método refinado de análisis, por lo que este ítem no aplica.	NA	0
5	En caso de utilizar el método aproximado de análisis, ¿se calculan los factores de distribución para el cortante producido por carga viva? [4.6.2.2.3]	NA	Se utiliza un método refinado de análisis, por lo que este ítem no aplica.	NA	0



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
4, 5	En caso de utilizar un método refinado de análisis, ¿se hace uso de uno de los métodos de análisis estructural aceptables? [4.4] [4.6.3.3]	Sí		1	1
6	¿Se obtienen las reacciones transmitidas por la superestructura a la subestructura? [3.6]	Sí		1	1
<b>H.</b>	<b>Cálculo de los efectos por otras fuerzas:</b>			<b>1</b>	<b>1</b>
1	¿Se definen todas las cargas permanentes de diseño (DC, DW)? [3.5.1]	Sí		1	1
	¿Se realiza el cálculo de los efectos de otras fuerzas adicionales, en caso de ser requerido?	NA	No se considera que sea necesario la aplicación de otras fuerzas en el análisis de la viga.	NA	0
<b>I.</b>	<b>Estado límite de servicio:</b>			<b>7,5</b>	<b>8</b>
1	¿Se definen las pérdidas de presfuerzo consideradas en los cálculos? [5.9.3]	Sí		1	1
2	¿Se verifican los límites de esfuerzos de tensión en los tendones de presfuerzo? [5.9.2.2]	Sí		1	1
3a	¿Se verifica el límite del esfuerzo de compresión en el concreto antes de las pérdidas? [5.9.2.3.1a]	Sí		1	1
	¿Se verifica el límite del esfuerzo de tensión en el concreto antes de las pérdidas? [5.9.2.3.1b]	Sí		1	1



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3b	¿Se verifica el límite del esfuerzo de compresión en el concreto después de las pérdidas, para la combinación de carga de Servicio I? [5.9.2.3.2a]	Sí		1	1
	¿Se verifica el límite del esfuerzo de tensión en el concreto después de las pérdidas, para la combinación de carga de Servicio III? [5.9.2.3.2b]	Sí		1	1
5	¿Se verifica el espaciamiento requerido del acero de refuerzo para el control de agrietamiento? [5.6.7]	Parcialmente	No se indican los artículos de AASHTO LRFD 2017 contra los que se revisa el control de agrietamiento.	0,5	1
6	En caso de ser aplicable, ¿se revisa el estado límite de fatiga? [5.5.3.1]	NA	Por tratarse de una estructura de concreto, el análisis de fatiga no aplica.	NA	0
7	¿Se verifica que las deflexiones en las vigas producidas por la carga viva estén dentro de límite establecido? [2.5.2.6.2]	Sí		1	1
<b>J.</b>	<b>Estado límite de resistencia:</b>			<b>6,5</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Flexión:</b>				
1a, 1b	¿Se calcula el esfuerzo promedio en el acero de presfuerzo, de acuerdo con el tipo de tendón utilizado (adherido o no adherido)? [5.6.3.1]	Sí		1	1
1c	¿Se determina la resistencia nominal a flexión positiva de las vigas principales y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí	El seguimiento de la hoja de cálculo es difícil; sin embargo, se logra observar que se realizan algunas revisiones de estados límites de flexión.	1	1



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
	¿Se determina la resistencia nominal a flexión negativa de las vigas principales y se comprueba que sea suficiente? [5.6.3.2]	Sí		1	1
1d	¿Se verifica el límite mínimo del acero de refuerzo y/o presfuerzo para la resistencia a flexión? [5.6.3.3]	Sí	Se observa una hoja de excel con programación en la cuál, aparentemente, se introducen los límites del acero como condición limitante en el cálculo.	1	1
<b>2</b>	<b>Cortante:</b>				
	¿Se calcula la resistencia nominal a cortante de las vigas principales considerando el aporte del concreto, el acero de refuerzo transversal y el presfuerzo? [5.7.3.3]	Sí		1	1
2b (1)	¿Se revisa el límite superior de la resistencia nominal a cortante dado por la Ec. 5.7.3.3-2? [5.7.3.3]	Parcialmente	No está claro cuál fue la edición de la especificación AASHTO LRFD que se utilizó, ya que los artículos a los que se hace referencia en la memoria no coinciden con los de la edición 2017	0,5	1
2b (2)	¿Se determinan los valores de los parámetros $\beta$ y $\theta$ para el cálculo de la resistencia a cortante en la sección considerada? [5.7.3.4]	Parcialmente	No se logra detectar el cálculo del parámetro $\beta$ en la hoja de cálculo para la resistencia a cortante en la sección considerada, según el Artículo 5.7.3.4 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1
2b (3)	¿Se verifica que en cada sección del elemento el refuerzo longitudinal colocado es suficiente para resistir la tensión adicional generada por la fuerza cortante? [5.7.3.5]	No	No hay evidencia de que se haya realizado una revisión de la tensión adicional generada por los efectos del cortante en la sección según el Artículo 5.7.3.5 de AASHTO LRFD.	0	1



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
2b (4)	¿Se revisa el límite mínimo permitido para el refuerzo transversal? [5.7.2.5]	Parcialmente	Se observan algunas revisiones de acero mínimo transversal a colocar en las vigas principales, sin embargo, no queda claro cuál es el criterio base utilizado en la revisión, pues no se hace referencia al artículo de referencia y no se puede verificar el cumplimiento del Artículo 5.7.2.5 de AASHTO LRFD 2017	0,5	1
	¿Se revisa el espaciamiento máximo permitido para el refuerzo transversal? [5.7.2.6]	No	No se observa que se haya realizado una revisión del espaciamiento máximo de refuerzo transversal según el Artículo 5.7.2.6 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
2b (5)	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre las vigas principales y el tablero? [5.7.4]	No	Se indica un cálculo de resistencia a rasante; pero como no se hace referencia al artículo 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017 y no se muestra el origen de la demanda, no queda claro si esto es la revisión de la transferencia de cortante en el plano de contacto entre vigas y tablero.	0	1
<b>K.</b>	<b>Revisión del detallado:</b>			<b>3,5</b>	<b>10</b>
1	¿Se provee el recubrimiento de concreto suficiente para proteger el acero de refuerzo y/o presfuerzo de las vigas principales? [5.10.1]	No	No se observa que se haya realizado una verificación del recubrimiento mínimo en las hojas de cálculo según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.10.1. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión contra el artículo de AASHTO LRFD 2017 y se notó que algunos recubrimientos aparentan ser insuficientes (superficies exteriores en pilas, vigas y losas y superficies coladas contra terreno de bastiones).	0	1



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
2	¿Se revisa la longitud de desarrollo del acero de refuerzo convencional requerida en las secciones críticas de las vigas principales? [5.10.8.1] [5.10.8.2]	No	Al igual que en el tablero, para vigas no se observan cálculos o revisiones de longitudes de desarrollo o traslape en la hoja de cálculo según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.10.8.1, 5.10.8.2 o 5.10.8.4.	0	1
3	¿Se revisa la longitud de desarrollo de los tendones de presfuerzo requerida en las secciones críticas de las vigas principales? [5.9.4.3]	No	No se observa que se haya revisado el detallado en las zonas de anclaje de las vigas de concreto presforzado según AASHTO LRFD 2017 5.9.4.3	0	1
4	¿Se definen los empalmes por traslape de las barras de acero de refuerzo de las vigas principales? [5.10.8.4]	No	Aunque sí se observó en los planos constructivos, no se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan calculado longitudes de desarrollo o empalmes del acero de refuerzo de ningún elemento de concreto reforzado o presforzado según los artículos 5.10.8.2 o 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión rápida contra lo establecido en 5.10.8.2 y 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017 y se observó que las longitudes de anclaje de los ganchos estándar que se indica en planos parece ser insuficiente.	0	1
5	¿Se diseñan las zonas de anclaje del acero de presfuerzo considerando el tipo de presfuerzo (acero postensado o acero pretensado)? [5.9.5.6] [5.9.4.4]	Sí		1	1



**Cuadro B.2.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de las vigas principales del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la especificación AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
6	¿Se define el material y tamaño del ducto, así como la configuración del perfil del ducto dentro de la viga? [5.4.6]	Parcialmente	No se indica el material o el tamaño del ducto de postensión dentro de las vigas como se indica en AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.4.6.	0,5	1
7a, 7b	¿Se revisan los requerimientos de confinamiento de los tendones de presfuerzo? [5.9.5.4]	Sí		1	1
7c	¿Se revisan los límites de espaciamiento de los tendones y ductos de presfuerzo? [5.9.5.1] [5.9.5.2]	No	No se logró detectar que se revisaran límites de espaciamiento de tendones y ductos de refuerzo.	0	1
8	¿Se revisan los límites de espaciamiento del acero de refuerzo convencional? [5.10.3.1] [5.10.3.2]	No	No se observa que se haya realizado una revisión del espaciamiento del refuerzo convencional.	0	1
10	¿Se muestran los cálculos y consideraciones para el diseño de los elementos secundarios (diafragmas transversales)? [5.12.4]	Sí		1	1
<b>Puntaje total obtenido para el diseño estructural de las vigas principales:</b>				<b>24</b>	<b>41</b>
				<b>58,5%</b>	



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017)

DISEÑO DE LA SUBESTRUCTURA [AASHTO A5.5]					
Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>A.</b>	<b>Longitud de asiento mínima:</b>			<b>0</b>	<b>0</b>
1	¿Se verifica la longitud de asiento mínima de las vigas principales sobre los elementos de la subestructura? [4.7.4.4]	NA	Esto se está atendiendo mediante otra lista de revisión.	NA	0
<b>B.</b>	<b>Cálculo de los efectos de fuerzas no calculados para la superestructura:</b>			<b>7</b>	<b>7</b>
1	¿Se analiza el efecto de la carga de viento sobre la estructura y la carga viva (WS, WL)? [3.8]	Sí	No se observa que se haya calculado el efecto del viento en las subestructuras y no se observa que se realice una justificación sobre por qué no calcularlo.	1	1
2	¿Se analiza el efecto del agua (WA) sobre los elementos de la subestructura? [3.7]	NA	La mayoría de los elementos de la subestructura se encuentran sobre el nivel del río, por lo que se considera que este requisito es innecesario.	NA	0
5	¿Se analiza el efecto de la fuerza de sismo (EQ) sobre la estructura? [3.10] [4.7.4]	Sí		1	1
6	¿Se analiza el efecto de las fuerzas inducidas por cambios de temperatura (TU, TG)? [3.12.2] [3.12.3] [4.6.6]	Sí		1	1
7	¿Se analiza el efecto de las fuerzas inducidas por otras deformaciones superpuestas (SH, CR, SE, PS)? [3.12.4] [3.12.5] [3.12.6] [3.12.7]	Sí		1	1
9	¿Se analiza el efecto de las fuerzas por impacto vehicular (CT) en los elementos de la subestructura? [3.6.5]	NA	No hay tránsito vehicular cercano a las subestructuras por tratarse de un puente que salvaguarda un río.	NA	0



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
10	¿Se incluye la fuerza de frenado (BR) en las consideraciones de la carga vehicular? [3.6.4]	Sí		1	1
11	En el caso de puentes curvos, ¿se incluye el efecto la fuerza centrífuga (CE) en las consideraciones de la carga vehicular? [3.6.3]	NA	El puente es recto.	NA	0
12	¿Se analiza el efecto de las presiones laterales del suelo (EH) que actúan sobre los bastiones y aletones? [3.11.5]	Sí		1	1
	¿Se analiza el efecto de una sobrecarga sobre el material retenido detrás de los bastiones (ES, LS)? [3.11.6]	Sí		1	1
<b>C.</b>	<b>Análisis de la estructura y combinaciones de carga:</b>			<b>2</b>	<b>2</b>
1	¿Se definen las combinaciones de carga de los estados límite a considerar y los factores de carga correspondientes? [3.4.1]	Sí		1	1
2	¿Se consideran las combinaciones de los efectos por fuerza de sismo en las dos direcciones perpendiculares de la estructura? [3.10.8]	Sí		1	1



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>D.</b>	<b>Diseño de elementos a compresión:</b>			<b>4</b>	<b>12</b>
	<b>Columnas:</b>				
1	¿Se determina la resistencia axial factorizada de las columnas y se comprueba que sea suficiente? [5.6.4.4]	Parcialmente	Se observa que se realiza un análisis de las cargas actuantes en las columnas de todas las pilas, pero no queda claro de dónde proviene la demanda contra la cual se están comparando las capacidades de las columnas.	0,5	1
2	¿Se revisa que las columnas tengan capacidad suficiente para resistir los momentos de diseño en las dos direcciones principales de la estructura (flexión biaxial)? [5.6.4.5]	Parcialmente	Se observa que se realiza un análisis de las cargas actuantes en las columnas de todas las pilas, pero no queda claro de dónde proviene la demanda contra la cual se están comparando las capacidades de las columnas.	0,5	1
3	¿Se analizan los efectos de esbeltez de las columnas, o bien, se demuestra que no es necesario considerarlos? [4.5.3.2.2] [5.6.4.3]	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan revisado los efectos de esbeltez en las columnas según el Artículo 4.5.3.2.2 y 5.6.4.3 de AASHTO LRFD 2017, y tampoco se incluye una justificación de no haber revisado estos efectos.	0	1
4	¿Se revisan los requerimientos de área y espaciamiento del refuerzo transversal para elementos en compresión? [5.6.4.6]	Parcialmente	Se indica que se realiza un recocado de la base de las pilas para aumento del confinamiento; sin embargo, no queda claro que se realice una revisión del acero transversal necesario para confinar.	0,5	1



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
5	¿Se calcula la resistencia nominal a cortante de las columnas y se comprueba que sea suficiente? [5.7.3.3]	Parcialmente	Se observa que se realiza un análisis de las cargas actuantes en las columnas de todas las pilas, pero no queda claro de dónde proviene la demanda contra la cual se están comparando las capacidades de las columnas.	0,5	1
	¿Se revisa la transferencia de cortante a través del plano de contacto entre la columna y la viga cabezal? [5.7.4]	No	No se observa que se haya revisado la transferencia de cortante entre el fuste y la viga cabezal de las pilas, según el Artículo 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
6	¿Se verifican los límites para el acero de refuerzo longitudinal de las columnas? [5.6.4.2]	No	No se observa que se haya revisado la cantidad mínima o máxima de acero longitudinal en columnas, según el Artículo 5.6.4.2 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
8	¿Se provee el recubrimiento de concreto suficiente para proteger el acero de refuerzo de las columnas? [5.14.3]	No	No se observa que se haya realizado una verificación del recubrimiento mínimo en las hojas de cálculo según AASHTO LRFD 2017 Artículo 5.10.1. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión contra el artículo de AASHTO LRFD 2017 y se notó que algunos recubrimientos aparentan ser insuficientes (superficies exteriores en pilas, vigas y losas y superficies coladas contra terreno de bastiones).	0	1



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
9	¿Se revisa la longitud de desarrollo del acero de refuerzo convencional requerida en las secciones críticas de las columnas? [5.10.8.1] [5.10.8.2]	No	Aunque sí se observó en los planos constructivos, no se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan calculado longitudes de desarrollo o empalmes del acero de refuerzo de ningún elemento de concreto reforzado o presforzado según los artículos 5.10.8.2 o 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión rápida contra lo establecido en 5.10.8.2 y 5.10.8.4 de AASHTO LRFD 2017 y se observó que las longitudes de anclaje de los ganchos estándar que se indica en planos parece ser insuficiente.	0	1
	¿Se definen los empalmes por traslape de las barras de acero de refuerzo de las columnas? [5.10.8.4]	No	No se observan revisiones de longitudes de desarrollo o de empalmes en varillas longitudinales en toda la estructura según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.10.8.1, 5.10.8.2 o 5.10.8.4.	0	1
<b>Apoyos:</b>					
7	¿Se verifica la resistencia factorizada en la zona de los elementos de apoyos? [5.6.5]	Sí		1	1
	¿Se realiza el diseño de los apoyos para las cargas y desplazamientos calculados? [14.4] [14.6] [14.7]	Sí		1	1



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>E.</b>	<b>Diseño de bastiones y cimentaciones (consideraciones estructurales):</b>			<b>9</b>	<b>15</b>
2	<b>Cimentaciones superficiales (placa aislada):</b>				
	¿Se realiza el diseño por flexión de la placa de cimentación para el momento de diseño calculado en la sección crítica correspondiente? [5.12.8.4]	Sí		1	1
	¿Se realiza el diseño por cortante de la placa de cimentación para la fuerza cortante de diseño calculada en la sección crítica correspondiente? [5.12.8.6]	Sí		1	1
	¿Se revisa la transferencia de fuerzas a través del plano de contacto entre la columna o muro y la placa de cimentación? [5.12.8.8] [5.7.4]	Parcialmente	En pilas se muestra que las cargas de la cimentación son las provenientes de la columna; mas no se realiza una revisión del cumplimiento en la zona de transferencia de cortante, según el Artículo 5.12.8.8 y 5.7.4 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1
3	<b>Bastiones (muro en voladizo)</b>				
	¿Se revisan las condiciones de asentamiento y estabilidad global del muro para el estado límite de servicio? [11.6.2]	NA	El bastión existe te es tipo marco y el nuevo es tipo cabezal sobre pilotes.	NA	0
	¿Se revisa la capacidad de soporte del suelo para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.2]	NA	El bastión existe te es tipo marco y el nuevo es tipo cabezal sobre pilotes.	NA	0



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
	¿Se revisa que la excentricidad del muro esté dentro del límite permitido para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.3]	NA	El bastión existe te es tipo marco y el nuevo es tipo cabezal sobre pilotes.	NA	0
	¿Se analiza la estabilidad del muro ante deslizamiento para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.3.6]	NA	El bastión existe te es tipo marco y el nuevo es tipo cabezal sobre pilotes.	NA	0
	¿Se diseña el muro contra la falla estructural generada por flexión para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.4] [5.6.3.2] [5.6.3.3]	Sí		1	1
	¿Se diseña el muro contra la falla estructural generada por fuerza cortante para los estados límite de resistencia y evento extremo? [11.6.4] [5.7.3.3]	Sí		1	1
	¿Se considera el efecto de las fuerzas inerciales y presiones laterales ocasionadas por sismo para el estado límite Evento Extremo I? [11.6.5]	Parcialmente	En los esquemas de análisis de cargas laterales para los bastiones no se muestra que se haya considerado las fuerzas causadas por sismo. En algunas partes de modelado parece considerarse una carga de sismo; sin embargo, no queda claro de dónde proviene dicha carga.	0,5	1
	¿Se revisan los requerimientos del acero de refuerzo para resistir los efectos por retracción y temperatura? [11.6.1.5] [5.10.6]	No	No se logró identificar la revisión de requerimientos de acero de refuerzo para resistir retracción y temperatura.	0	1



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
4	<b>Cimentaciones profundas (pilotes):</b>				
	¿Se determina la resistencia axial factorizada de los pilotes y se comprueba que sea suficiente? [5.6.4.4]	Parcialmente	La hoja de cálculo de diseño de pilotes indica que no hay cumplimiento del acero longitudinal en los apéndices de la memoria de cálculo.	0,5	1
	¿Se revisa que los pilotes tengan capacidad suficiente para resistir los momentos de diseño en las dos direcciones principales de la estructura (flexión biaxial)? [5.6.4.5]	Parcialmente	Aunque sí se realiza la revisión, se hace referencia a AASHTO 2007 y la hoja de cálculo indica que no hay cumplimiento.	0,5	1
	¿Se calcula la resistencia nominal a cortante de los pilotes y se comprueba que sea suficiente? [5.7.3.3]	Sí	Sin embargo, se indica que se revisa contra AASHTO 2007.	1	1
	¿Se revisan los requerimientos de área y espaciamiento del refuerzo transversal para pilotes de concreto? [5.6.4.6] [5.12.9]	Sí		1	1
¿Se verifican los límites para el acero de refuerzo longitudinal de los pilotes? [5.6.4.2] [5.12.9]	No	En cuanto a detallado de los pilotes, no se observa que se haya revisado la cuantía de acero longitudinal contra los límites establecidos en el Artículo 5.6.4.2 y 5.12.9 de AASHTO LRFD 2017. Se realizó la revisión del acero de los pilotes del bastión n.º 1 contra los límites establecidos en AASHTO y se observó que sí hay cumplimiento; sin embargo, esto no exime al diseñador de realizar la revisión para todos los pilotes de la obra.	0	1	



**Cuadro B.3.** Revisión del procedimiento de diseño estructural para cargas no sísmicas de las medidas de mejoramiento de la subestructura del puente existente sobre el Río Virilla en Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Ítem AASHTO	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
	¿Se provee el recubrimiento de concreto suficiente para proteger el acero de refuerzo de los pilotes? [5.10.1]	Sí	No se hace la revisión, pero se observa que en los cálculos se utilizó un recubrimiento aceptable.	1	1
	¿Se revisa la longitud de desarrollo del acero de refuerzo convencional requerida en las secciones críticas de los pilotes? [5.10.8.1] [5.10.8.2] [5.12.9.1]	No	Aunque sí se observó en los planos constructivos, no se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan calculado longitudes de desarrollo o empalmes del acero de refuerzo de ningún elemento de concreto reforzado o presforzado según los artículos 5.10.8.1, 5.10.8.2, 5.12.9.1, 5.10.8.4 y 5.12.9.2 de AASHTO LRFD 2017. Sumado a lo anterior, se realizó una revisión rápida contra lo establecido en 5.10.8.1, 5.10.8.2, 5.12.9.1, 5.10.8.4 y 5.12.9.2 de AASHTO LRFD 2017 y se observó que las longitudes de anclaje de los ganchos estándar que se indica en planos parece ser insuficiente (plano 3.1.1).	0	1
	¿Se definen los empalmes por traslapo de las barras de acero de refuerzo de los pilotes? [5.10.8.4] [5.12.9.2]	No	No se observan revisiones de longitudes de desarrollo o de empalmes en varillas longitudinales y no se hace revisión del recubrimiento contra el mínimo indicado según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.10.8.1, 5.10.8.2, 5.12.9.1, 5.10.8.4 y 5.12.9.2.	0	1
<b>Puntaje total obtenido para el diseño de la subestructura:</b>				<b>22</b>	<b>36</b>
				<b>61,1%</b>	



## Apéndice C.

**Lista de verificación para la revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas de las medidas de mejoramiento del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32**

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 96 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0208-2023	17 de febrero, 2023	Página 97 de 109
---------------------------	---------------------	------------------



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017).

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE <u>PUENTE SIN AISLAMIENTO SÍSMICO</u> SEGÚN LINEAMIENTOS PARA DISEÑO SISMORRESISTENTE DE Puentes DE COSTA RICA Y LA NORMA AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS 9th Ed 2020 (MÉTODO DE FUERZAS)						
Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
<b>1. Requerimientos generales de diseño:</b>					<b>3,5</b>	<b>4</b>
1.2	3.10.1	¿Las especificaciones de diseño sísmico utilizadas son aplicables al tipo de puente considerado?	Sí		1	1
3.1	Rigen los LDSRP	¿Se establece la clasificación de importancia operacional del puente?	Parcialmente	Se observó que el puente debió considerarse como Crítico y no Esencial según lo indicado la Tabla 3.1 de los LDSRP en cuanto al costo de construcción o rehabilitación, lo que significa en que el puente se diseñó con una amenaza sísmica menor de la requerida.	0,5	1
1.3	C3.10.5	¿Se establecen los criterios de desempeño del puente acordes con su clasificación de importancia operacional?	Sí		1	1
2.3.1	10.4.2	¿Se obtiene la información requerida del suelo de cimentación a partir de una investigación geotécnica del sitio?	Sí		1	1
2.3.1	10.5.4.2	¿Se evalúa el potencial de licuación del suelo en el sitio donde se construirá el puente?	NA	Las cimentaciones del puente se encuentran fuera de las márgenes del río	NA	0
<b>2. Determinación de la demanda sísmica:</b>					<b>3</b>	<b>3</b>
2.1	Rigen los LDSRP	¿Se determina la zona de amenaza sísmica según la ubicación geográfica del puente?	Sí		1	1
2.3	Rigen los LDSRP	¿Se establece la clasificación del sitio de cimentación a partir de la información obtenida de la investigación geotécnica?	Sí		1	1



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
2.4	Rigen los LDSRP	¿Se determina el espectro de diseño mediante el procedimiento general?	Sí		1	1
2.5.1	Rigen los LDSRP	En caso de ser requerido, ¿se realiza un análisis de amenaza sísmica de sitio específico para obtener el espectro de diseño?	NA	El puente se consideró como esencial, por lo que este requerimiento no es necesario.	NA	0
2.5.2	Rigen los LDSRP	En caso de ser requerido, ¿se realiza un análisis de respuesta dinámica del sitio para obtener el espectro de diseño?	NA	El puente se consideró como esencial, por lo que este requerimiento no es necesario.	NA	0
2.6	Rigen los LDSRP	En caso de ser requerido, ¿se consideran los efectos de amplificación espectral por presencia cercana de una falla?	NA	El puente se consideró como esencial, por lo que este requerimiento no es necesario.	NA	0
2.5	Rigen los LDSRP	Para espectros desarrollados por medio de un procedimiento específico, ¿se considera el límite inferior de 2/3 del espectro de diseño desarrollado por medio del procedimiento general?	NA	El puente se consideró como esencial, por lo que este requerimiento no es necesario.	NA	0
2.7	Rigen los LDSRP	En caso de sea requerido un análisis de historia en el tiempo, ¿se utilizan acelerogramas congruentes con el marco tectónico y sismológico del sitio?	NA	El puente se consideró como esencial, por lo que este requerimiento no es necesario.	NA	0
2.7	Rigen los LDSRP	En caso de sea requerido un análisis de historia en el tiempo, ¿se desarrollan acelerogramas compatibles con el espectro de respuesta calculado para el sitio dentro del rango de períodos de interés?	NA	El puente se consideró como esencial, por lo que este requerimiento no es necesario.	NA	0
<b>3. Determinación de zona de desempeño sísmico y sistema sismorresistente:</b>					<b>4</b>	<b>4</b>
3.3	4.7.4.3	¿Se evalúa si el puente satisface o no los requisitos mínimos de regularidad?	Sí		1	1



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.3	Rigen los LDSRP	¿Se determina correctamente la zona de desempeño sísmico considerando la zona de amenaza sísmica, la importancia operacional del puente, la regularidad del puente y el potencial de licuación del suelo?	Sí		1	1
3.2	Rigen los LDSRP	¿Se define la estrategia empleada para el diseño sismorresistente del puente: Tipo 1, 2 o 3?	Sí		1	1
3.2	Rigen los LDSRP	¿Se define cuáles son los elementos del puente resistentes a cargas de sismo y si el daño o fluencia es aceptable en estos elementos?	Sí		1	1
<b>4. Análisis de demanda (fuerzas):</b>					<b>6</b>	<b>6</b>
3.5.1	4.7.4.3.1	¿Se utiliza un procedimiento de análisis acorde con la zona de desempeño sísmico y características del puente?	Sí		1	1
3.5.1	C3.10.7.2	¿Se seleccionan adecuadamente los ejes horizontales para los movimientos del terreno?	Sí		1	1
3.5.1	10.5.4.2	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4 y en caso que aplique, ¿se realiza un análisis para considerar los posibles efectos por licuación de suelos?	NA	Las cimentaciones del puente se encuentran fuera de las márgenes del río	NA	0
<b>Procedimiento de análisis 2: Análisis multimodal espectral</b>						
3.5.1	4.7.4.3.3	¿Se consideran los requisitos de modelado para análisis dinámico estático establecidos en la normativa?	Sí		1	1



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	4.7.4.3.3	¿El número de modos de vibración considerados en el análisis es al menos tres veces el número de tramos considerados en el modelo?	Sí		1	1
3.5.1	4.7.4.3.3	¿Los resultados de los diferentes modos de vibración se combinan utilizando el método de combinación cuadrática completa (CQC)?	Sí		1	1
3.5.1	3.10.8	¿Se realiza la combinación ortogonal de las fuerzas elásticas obtenidas a partir del análisis en la dirección longitudinal y en la dirección transversal del puente?	Sí		1	1
<b>5. Determinación de fuerzas y desplazamientos de diseño:</b>					<b>4,5</b>	<b>6</b>
3.5.1	3.10.7	¿Se determinan los factores de modificación de respuesta, R, aplicables al tipo de subestructura y conexiones del puente?	Sí		1	1
3.5.1	3.10.9.3	Para la zona de desempeño sísmico 2, se determinan las fuerzas de diseño de todos los componentes, excepto cimentaciones, como las fuerzas elásticas obtenidas del análisis divididas entre el factor de modificación de respuesta aplicable al tipo de subestructura (R)?	NA	La zona de desempeño sísmico es zona 3.	NA	0



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	3.10.9.3	Para la zona de desempeño sísmico 2, se determinan las fuerzas de diseño de las cimentaciones como las fuerzas elásticas obtenidas del análisis divididas entre la mitad del factor de modificación de respuesta aplicable al tipo de subestructura (R/2)?	NA	La zona de desempeño sísmico es zona 3.	NA	0
3.5.1	3.10.9.3 3.10.9.4 3.10.7	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se determinan las fuerzas sísmicas de diseño iniciales de las columnas como las fuerzas elásticas obtenidas del análisis divididas entre el factor de modificación de respuesta aplicable al tipo de subestructura (R)?	Sí		1	1
3.5.1	3.10.9.4.3	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se incrementa la capacidad de momento nominal de las columnas mediante el factor de sobrerresistencia aplicable para efectos de calcular las fuerzas asociadas a la formación de rótulas plásticas?	NA		NA	0
3.5.1	3.10.9.4.3	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se calculan todas las fuerzas asociadas a la formación de rótulas plásticas en las columnas en las dos direcciones ortogonales, de acuerdo con la configuración de la pila (columna sencilla o columna múltiple)?	Parcialmente	Se observa que se han calculado capacidades biaxiales en todas las pilas del puente; sin embargo, no queda evidenciado cuál es el origen de las fuerzas utilizadas para el diseño o si cumplen con el Artículo 3.10.9.4.3 de AASHTO LRFD 2017.	0,5	1



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	3.10.9.4.1	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, se determinan las fuerzas sísmicas de diseño finales de las columnas, sus conexiones y los componentes adyacentes como la menor entre las fuerzas asociadas a la formación de rótulas plásticas en las columnas o las fuerzas elásticas divididas entre el factor de modificación de respuesta apropiado (R)?	Sí		1	1
3.5.1	3.4.1	¿Se combinan las fuerzas sísmicas de diseño con otros tipos de fuerzas aplicables utilizando los factores de carga correspondientes al estado límite de Evento Extremo I?	Sí		1	1
3.5.1	4.7.4.5	¿Se revisan los requerimientos de capacidad P-Δ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura?	No	No existe evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan revisado los requerimientos de capacidad P-Δ considerando los desplazamientos inelásticos de la estructura, de acuerdo con el Artículo 4.7.4.5 de AASHTO LRFD 2017.	0	1
<b>6. Diseño y detallado de columnas dúctiles de concreto reforzado:</b>					<b>9</b>	<b>13</b>
<b>6.1 Diseño por flexión:</b>						
3.5.1	5.11.4.1.2	Para columnas con refuerzo de aros o espirales, ¿se utiliza un factor de reducción de resistencia $\phi = 0.9$ ?	Sí		1	1



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	5.11.4.1.2	¿Se revisa que la resistencia biaxial de las columnas sea suficiente para resistir los momentos de diseño actuando en combinación con la fuerza axial de diseño?	Sí		1	1
3.5.1	5.11.4.1.2	¿El análisis de flexión biaxial considera las fuerzas axiales de diseño tanto máxima como mínima?	Sí		1	1
<b>6.2 Diseño por cortante:</b>						
3.5.1	5.11.4.1.3	¿Se obtiene la resistencia nominal a cortante considerando el aporte del concreto y el aporte del refuerzo transversal?	Sí		1	1
3.5.1	5.5.4.2	¿Se aplica el factor de reducción de resistencia correspondiente a fuerza cortante $\phi = 0.9$ ?	Sí		1	1
3.5.1	5.11.4.1.3	Dentro de la región de rótula plástica, se considera la reducción en la capacidad de cortante aportada por el concreto cuando la fuerza axial que actúa en la columna (considerando los efectos de sismo) es pequeña?	No	No se observa que se haya revisado si las fuerzas axiales en la columna de las pilas son suficientes para que la carga axial sea mayor al valor establecido en AASHTO LRFD 2017 5.11.4.1.3, de $0,10 \cdot A_g \cdot f_c$ . Esto tendría repercusiones sobre cuánto contribuye el concreto en la capacidad a cortante de la sección.	0	1
3.5.1	5.11.4.1.3	¿Se revisa que la resistencia a cortante de las columnas sea suficiente para resistir las fuerzas cortantes de diseño, tanto dentro como fuera de la región de rótulas plásticas?	Sí		1	1
<b>6.3 Detallado del refuerzo longitudinal:</b>						
3.5.1	5.11.3.1	Para la zona de desempeño sísmico 2, ¿se revisa que el área de acero longitudinal esté entre el 1% y el 6% del área de sección transversal de la columna?	NA	La zona de desempeño sísmico es zona 3.	NA	0



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	5.11.4.1.1	Para las zonas de desempeño sísmico 3 o 4, ¿se revisa que el área de acero longitudinal esté entre el 1% y el 4% del área de sección transversal de la columna?	No	No se evidenció que se haya revisado la cuantía mínima ni máxima de acero longitudinal de las columnas de las pilas o pilotes según AASHTO LRFD 5.11.4.1.1 o 5.6.4.2. Se realizó una revisión rápida en la pila n.º 1 y en los pilotes del bastión n.º 1 y se observó que sí hay cumplimiento; sin embargo, esto no exime al diseñador de realizar la revisión en todos los elementos en flexocompresión.	0	1
3.5.1	5.11.4.3	¿Se revisan los requisitos con respecto a la longitud de desarrollo del refuerzo longitudinal de las columnas?	No	No hay revisiones de detallado, en especial de longitudes de desarrollo o empalmes de acero en la memoria de cálculo según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.11.4.3 o 5.11.4.1.6	0	1
3.5.1	5.11.4.1.6	¿Se revisan los requisitos con respecto a los empalmes del refuerzo longitudinal de las columnas?	No	No hay revisiones de detallado, en especial de longitudes de desarrollo o empalmes de acero en la memoria de cálculo	0	1
		<b>6.4 Detallado del refuerzo transversal:</b>				
3.5.1	5.11.4.1.4 5.11.4.1.5	¿Se revisan los requisitos con respecto al detallado del refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica?	Sí		1	1
3.5.1	5.11.4.1.4	¿Se revisa el límite mínimo aplicable de la cantidad de refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica?	Sí		1	1



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	5.11.4.1.5	¿Se revisa el límite máximo del espaciamiento del refuerzo transversal de las columnas colocado dentro de la región de rótula plástica?	Sí		1	1
<b>7. Diseño por capacidad de los elementos adyacentes:</b>					<b>6,5</b>	<b>10</b>
<b>7.1 Diseño por capacidad de la viga cabezal de la pila:</b>						
3.5.1	3.10.9.4	¿Se realiza el diseño de la viga cabezal de las pilas para resistir las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	Sí		1	1
<b>7.2 Diseño por capacidad de las conexiones de la columna:</b>						
3.5.1	5.11.4.3	¿Se realiza el diseño de las conexiones resistentes a momento de la columna para transmitir las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	NA	No existen conexiones resistentes a momento en el puente.	NA	0
3.5.1	5.11.4.3	¿Se revisa la longitud mínima que debe extenderse el refuerzo transversal de la columna dentro del elemento adyacente?	No	No hay revisiones de detallado, en especial de longitudes de desarrollo o empalmes de acero en la memoria de cálculo según AASHTO LRFD 2017 Artículos 5.11.4.3 o 5.11.4.1.6	0	1
3.5.1	5.11.4.3	¿Se revisa el límite máximo de la resistencia nominal a cortante aportada por el concreto en el nudo de unión?	Sí		1	1
<b>7.3 Diseño sísmico de cimentaciones:</b>						
3.5.1	5.11.3.2.1 5.11.4.5.1	¿Se realiza el diseño de las cimentaciones de concreto para resistir las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	Sí		1	1
3.5.1	10.5.4.2	En caso de ser aplicable ¿se consideran los efectos de licuación de suelos en el diseño sísmico de las cimentaciones?	NA	Las cimentaciones del puente se encuentran fuera de las márgenes del río	NA	0



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	10.6.4	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para cimentaciones superficiales (volcamiento, deslizamiento, capacidad de soporte, estabilidad global)?	Sí		1	1
3.5.1	10.7.4	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para cimentaciones de pilotes hincados?	NA	Los pilotes son preexcavados.	NA	0
3.5.1	10.8.4 10.7.4	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para cimentaciones de pilotes preexcavados y colados en sitio?	Sí		1	1
3.5.1	5.11.4.5	En caso de ser aplicable, ¿se revisan los requerimientos de diseño sísmico para pilotes de concreto?	Sí		1	1
		<b>7.5 Diseño sísmico de bastiones:</b>				
3.5.1	11.6.5	¿Se revisan los requerimientos de diseño sísmico de los bastiones en la dirección longitudinal (considerando presiones laterales de suelo inducidas por sismo, efectos inerciales del muro y fuerzas sísmicas provenientes de la superestructura)?	NA	Los bastiones son de tipo cabezal sobre pilotes	NA	0



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1 4.4	11.6.5.2.2 11.6.5.2.3	¿Se utiliza el método de análisis de Mononobe-Okabe o el método Generalizado de Equilibrio Límite para calcular las presiones activas del suelo generadas durante el sismo, considerando una aceleración horizontal no menor al 50% del coeficiente de aceleración $C_a$ ?	NA	Los bastiones son de tipo cabezal sobre pilotes	NA	0
<b>7.6 Diseño sísmico de apoyos:</b>						
3.5.1	14.6.5.3	¿Se realiza el diseño de los apoyos, restricciones y anclajes para resistir, como mínimo, las fuerzas sísmicas de diseño calculadas?	Parcialmente	No se indican en los apéndices de la memoria de cálculo las combinaciones de carga utilizadas la combinación de fuerzas que se utilizó para revisión de la capacidad gravitacional o sísmica de los apoyos según AASHTO LRFD 2017 Artículo 14.6.5.3.	0,5	1
3.5.1	14.7.5.3.7	En el caso de apoyos expansivos elastoméricos, ¿se diseñan los anclajes para resistir adecuadamente las fuerzas sísmicas horizontales en exceso de las fuerzas que son acomodadas por la deformación lateral de la almohadilla?	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya realizado el cálculo de los anclajes de los apoyos según el Artículo 14.7.5.3.7 de AASHTO LRFD 2017.	0	1



**Cuadro C.1.** Revisión del procedimiento de análisis y diseño para cargas sísmicas del puente existente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional n.º 32, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y AASHTO LRFD (AASHTO, 2017) (cont.)

Art. LDSRP	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible
3.5.1	4.7.4.4	¿Se revisan los requisitos de longitud de asiento mínima para la zona de desempeño sísmico aplicable?	No	No se encontró evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya realizado revisión de la longitud de asiento mínima según la zona de desempeño sísmico aplicable, según el Artículo 4.7.4.4 de AASHTO LRFD 2017. Se realizó una revisión y se observó que la longitud de asiento cumple con AASHTO LRFD 2017 en la superestructura n.º 1; sin embargo, esto no exime al diseñador de realizar la revisión en todas y cada una de las superestructuras.	0	1
<b>Puntaje total obtenido para el diseño sismorresistente:</b>					<b>36,5</b>	<b>46</b>
					<b>79,3%</b>	