



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-INF-0078-2023

INFORME DE REVISIÓN DOCUMENTAL

REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL MEJORAMIENTO DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES, PERTENECIENTE AL ANTEPROYECTO DE AMPLIACIÓN INTEGRAL DEL CORREDOR VIAL SAN JOSÉ - SAN RAMÓN, RUTA NACIONAL N.º 1



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

20 de enero, 2023



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 2 de 87
---------------------------	-------------------	----------------



1. Informe: EIC-Lanamme-INF-0078-2023		2. Copia N°: 1
3. Título: REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL MEJORAMIENTO DEL PUNTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES, PERTENECIENTE AL ANTEPROYECTO DE AMPLIACIÓN INTEGRAL DEL CORREDOR VIAL SAN JOSÉ - SAN RAMÓN, RUTA NACIONAL N.º 1		4. Fecha del Informe: 20 de enero, 2023
5. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen El anteproyecto denominado: "Estudios de Factibilidad Técnica, Ambiental, Social, Económica y Financiera del Corredor Vial San José - San Ramón y sus Radiales" incluye dentro de su alcance la determinación de las necesidades de mejoramiento de 9 estructuras existentes del Corredor Vial San José – San Ramón, de las cuales 6 corresponden a puentes sobre ríos y 3 corresponden a pasos superiores. Dentro del presente informe de revisión documental, primero se hace una revisión de los requerimientos especificados en los términos de referencia del contrato del anteproyecto en lo que respecta al mejoramiento de las estructuras existentes. Posteriormente, se revisa la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente sobre el río Rosales, la cual fue seleccionada tomando en cuenta las tipologías más comunes de las estructuras existentes que forman parte del anteproyecto. La revisión de la memoria de cálculo se centró en determinar si el procedimiento de diagnóstico y evaluación estructural utilizado para determinar las necesidades de mejoramiento del puente, fue aplicado de forma correcta y completa según lo establecido en la normativa vigente aplicable al tema. 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.		
8. Palabras clave Puente, río Rosales, memoria de cálculo, diseño estructural, evaluación estructural, mejoramiento, rehabilitación, reforzamiento, rehabilitación sísmica, Ruta 1, Fideicomiso, Anteproyecto, Corredor Vial, San José-San Ramón, auditorías técnicas de puentes, informe de revisión documental.		9. N° de páginas 87
10. Elaborado por: Ing. Daniel Johanning Cordero Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural	11. Revisado y aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona Coordinador Programa de Ingeniería Estructural	12. Revisión legal: Licda. Nidia María Segura Jiménez Asesoría Legal LanammeUCR



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 4 de 87
---------------------------	-------------------	----------------



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. DESCRIPCIÓN DEL ANTEPROYECTO Y EL PUENTE SELECCIONADO.....	11
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ANTEPROYECTO.....	11
3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PUENTE SOBRE RÍO ROSALES.....	12
3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES.....	14
4. ALCANCE DE LA REVISIÓN.....	15
5. NORMATIVA PARA EL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DE PUENTES EXISTENTES	16
6. REVISIÓN DEL CONTRATO PARA SERVICIOS DE CONSULTORÍA.....	18
7. REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL MEJORAMIENTO DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES.....	20
7.1. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA LA REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO	20
7.2. RESULTADOS DE LA REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO	21
7.2.1. <i>Revisión del procedimiento de evaluación estructural para cargas no sísmicas</i>	<i>21</i>
7.2.2. <i>Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada para cargas de sismo</i>	<i>28</i>
7.2.3. <i>Resumen de los resultados de la revisión</i>	<i>33</i>
8. CONCLUSIONES	34
9. RECOMENDACIONES.....	37
10. REFERENCIAS.....	40
ANEXO 1. ACCIONES DE INTERVENCIÓN PROPUESTAS POR LA EMPRESA CONSULTORA PARA EL MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES	43
ANEXO 2. ESPECIFICACIONES PARA EL ANTEPROYECTO DE MEJORAMIENTO DE ESTRUCTURAS EXISTENTES INCLUIDAS EN LOS DOCUMENTOS CONTRACTUALES	50
APÉNDICE A. LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES PARA CARGAS NO SÍSMICAS.....	55
APÉNDICE B. LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA REVISIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO PRELIMINAR Y EVALUACIÓN DETALLADA DEL PUENTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES PARA CARGAS SÍSMICAS	73



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 6 de 87
---------------------------	-------------------	----------------



RESUMEN EJECUTIVO

A partir de la revisión de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Rosales, perteneciente al anteproyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José – San Ramón, se encontró lo siguiente:

- El procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del puente existente sobre el río Rosales con respecto a la evaluación estructural y la determinación de las necesidades de mejoramiento estructural, cumple en un **66,3 %** con los requerimientos de la normativa aplicable vigente al momento de realizarse el anteproyecto.
- 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.
- Se detectaron casos en los que la normativa aplicable a la evaluación estructural de puentes existentes se pudo haber aplicado de forma incompleta o incorrecta. Esto incluye: omisión de pasos, procedimientos o revisiones que están especificados en la normativa; aplicación incorrecta de las definiciones o disposiciones establecidas en la normativa; y el uso de propiedades de materiales distintas a las que están especificadas en los planos.
- Al tratarse de un anteproyecto, se omitió la realización de algunas investigaciones previas a la evaluación estructural, específicamente en lo correspondiente a: investigaciones detalladas y ensayos de materiales, análisis de amenaza sísmica, investigación del sitio de cimentación y evaluación de la susceptibilidad a licuación del suelo de cimentación.

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

- Recomendar a la Administración que, en los documentos contractuales de la etapa de diseño final del proyecto, se especifiquen requerimientos mínimos con los que deban cumplir las memorias de cálculo del mejoramiento de las estructuras existentes, así como la entrega por parte del diseñador de un plan de control y aseguramiento de la calidad de todos los entregables y actividades relacionadas con el diseño estructural.
- Recomendar a la Administración que solicite a la empresa consultora de la etapa de anteproyecto la información faltante y aclaraciones necesarias que permitan verificar el cumplimiento de los requerimientos de la normativa aplicable.
- 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 y atendidos por la empresa consultora durante esta etapa de anteproyecto, o bien, por la empresa a la que se le adjudique el diseño final.
- Recomendar a la Administración que, en los documentos contractuales de la etapa de diseño final del proyecto, se solicite la realización de todas las investigaciones previas que no fueron realizadas como parte del anteproyecto del mejoramiento de los puentes.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 7 de 87
---------------------------	-------------------	----------------



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 8 de 87
---------------------------	-------------------	----------------



1. INTRODUCCIÓN

El anteproyecto denominado: “Estudios de Factibilidad Técnica, Ambiental, Social, Económica y Financiera del Corredor Vial San José - San Ramón y sus Radiales” incluye dentro de su alcance la determinación de las necesidades de mejoramiento de 9 estructuras existentes del Corredor Vial San José – San Ramón, de las cuales 6 corresponden a puentes sobre ríos y 3 corresponden a pasos superiores.

Dentro del presente informe de revisión documental, primero se hace una revisión de los requerimientos especificados en los términos de referencia del contrato del anteproyecto en lo que respecta al mejoramiento de las estructuras existentes. Posteriormente, se revisa la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente sobre el río Rosales, la cual fue seleccionada tomando en cuenta las tipologías más comunes de las estructuras existentes que forman parte del anteproyecto. La revisión de la memoria de cálculo se centró en determinar si el procedimiento de diagnóstico y evaluación estructural utilizado para determinar las necesidades de mejoramiento del puente, fue aplicado de forma correcta y completa según lo establecido en la normativa vigente aplicable al tema.

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 la Ing. Wendy Sequeira con fecha del 17 de mayo de 2022, y en respuesta al oficio UESR-07-2022-247 con fecha del 18 de abril de 2022, emitido por la Unidad Ejecutora del Corredor Vial San José- San Ramón.

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

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 9 de 87
---------------------------	-------------------	----------------



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Revisar una memoria de cálculo del mejoramiento estructural que sea representativa de la mayor parte de los puentes existentes que forman parte del anteproyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José – San Ramón en la Ruta Nacional n.º 1.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a. Verificar si en los términos de referencia del contrato del anteproyecto se solicitan requerimientos mínimos con respecto al contenido y formato de las memorias de cálculo del mejoramiento estructural.
- b. Verificar si los requerimientos incluidos en los términos de referencia del contrato del anteproyecto con respecto al mejoramiento de las estructuras existentes son consecuentes con la normativa vigente aplicable al tema.
- c. Seleccionar un puente cuya memoria de cálculo de mejoramiento estructural sea representativa de la mayor parte de los puentes existentes del proyecto.
- d. Revisar si el procedimiento de diagnóstico y evaluación estructural de puentes utilizado en la memoria de cálculo para determinar las necesidades de mejoramiento estructural fue aplicado de forma correcta y completa, según lo establecido en la normativa vigente aplicable al tema.
- e. Verificar si la información incluida en la memoria de cálculo de mejoramiento estructural del puente seleccionado se presenta de forma clara, congruente y ordenada, de forma que pueda ser seguida por parte de un revisor externo especializado.
- f. Obtener un porcentaje de cumplimiento del procedimiento de diagnóstico y evaluación estructural mostrado en la memoria de cálculo de mejoramiento estructural del puente seleccionado, con respecto a los requerimientos establecidos en la normativa relevante.
- g. Presentar conclusiones y recomendaciones con base en las observaciones realizadas que puedan ser de utilidad en la etapa de diseño final del proyecto.



3. DESCRIPCIÓN DEL ANTEPROYECTO Y EL PUENTE SELECCIONADO

3.1. Descripción general del anteproyecto

El desarrollo del anteproyecto “Estudios de Factibilidad Técnica, Ambiental, Social, Económica y Financiera del Corredor Vial San José - San Ramón y sus Radiales” viene a complementar los proyectos de las Obras Impostergables (OBIS) que están actualmente en ejecución, para así conformar la ampliación integral del Corredor Vial San José - San Ramón en la Ruta Nacional n.º 1, desde el Parque Metropolitano La Sabana en la provincia de San José, hasta la entrada de la ciudad de San Ramón en la provincia de Alajuela, con una longitud estimada de 55,63 km.

Como parte de este anteproyecto se propone, de forma preliminar, acciones para el mejoramiento de 9 estructuras existentes del Corredor Vial San José – San Ramón, de las cuales 6 corresponden a puentes sobre ríos y 3 corresponden a pasos superiores. El Cuadro 1 presenta un resumen del tipo de intervención propuesta para cada una de estas estructuras.

Cuadro 1. Acciones propuestas para el mejoramiento de estructuras existentes del Corredor Vial San José – San Ramón.

Tipo de estructura	Nombre	Ubicación (P.K.)	Tipo de intervención propuesta en anteproyecto
Puentes sobre ríos	Puente Río Virilla	7+650	Ampliación
	Puente Río Poás	29+300	Rehabilitación y ampliación
	Puente Río Rosales	33+200	Rehabilitación y ampliación
	Puente Río Colorado	36+300	Rehabilitación (por definir)
	Puente Río Grande II	49+550	Rehabilitación y ampliación
	Puente Río Grande I	56+250	Sustitución
Pasos superiores	Paso superior RN 3 (Manolos)	27+400	Rehabilitación de bastiones que permita la ampliación de la vía inferior
	Paso superior ruta cantonal	32+400	
	Paso superior calle marginal	51+600	

Es importante enfatizar que, al tratarse de un anteproyecto, los diseños, planos y acciones de mejoramiento que se proponen por parte de la empresa consultora no son definitivos, sino que fueron desarrollados con el objetivo de determinar de manera aproximada los costos de construcción, y de esta forma determinar la viabilidad del proyecto.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 11 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



3.2. Justificación de la selección del puente sobre río Rosales

El puente existente sobre el río Rosales (resaltado en negrita en el Cuadro 1) fue el puente que se seleccionó para realizar la revisión a profundidad de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural. A continuación, se presenta el análisis mediante el cual se realizó esta selección.

Dado que el anteproyecto del mejoramiento estructural de todos los puentes mostrados en el Cuadro 1 fue realizado por la misma empresa, existen muchas similitudes entre las memorias de cálculo, y su contenido varía principalmente según el tipo de estructura (puente sobre río o paso superior), del tipo de componentes y elementos estructurales del puente, así como del tipo de intervención propuesta. Tomando esto en consideración, se buscó seleccionar un único puente cuya memoria de cálculo fuera representativa de la mayor parte de los puentes existentes considerados en el anteproyecto, la cual es revisada a profundidad para determinar su calidad y nivel de cumplimiento con la normativa aplicable.

Para realizar esta selección, primero se agruparon todas las estructuras existentes que forman parte del anteproyecto (incluyendo los puentes sobre ríos y los pasos a desnivel) en diferentes categorías. Esta categorización se realizó con base en los siguientes factores:

- Tipo de estructura (Puente sobre río / Paso superior)
- Tipo de superestructura del puente (Concreto presforzado / Concreto reforzado / Acero)
- Tipo de acción propuesta en el anteproyecto (Rehabilitación / Ampliación / Sustitución)

De esta forma, fue posible clasificar las estructuras existentes en seis categorías, las cuales se muestran en el Cuadro 2.

La categoría correspondiente a los pasos superiores (Categoría 6) fue descartada de la selección, debido a que los pasos superiores no forman parte del trazado de la Ruta Nacional n.º 1, sino que la cruzan de forma transversal. Adicionalmente, las acciones de intervención que se proponen para estas estructuras se refieren únicamente a los bastiones del puente y no al resto de componentes, ya que tienen como único objetivo permitir la ampliación de la vía inferior (Ruta Nacional n.º 1). Por lo tanto, dentro de las posibles estructuras a seleccionar para realizar la revisión de la memoria de cálculo, solamente se consideraron los puentes sobre ríos.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 12 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



Cuadro 2. Categorización de las estructuras existentes pertenecientes al anteproyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José – San Ramón.

Categoría	Tipo de estructura	Tipo de superestructura	Tipo de intervención propuesta	Puentes con la categoría especificada
1	Puente sobre río	Vigas de concreto presforzado	Rehabilitación y ampliación	Río Rosales Río Poás
2	Puente sobre río	Vigas de acero	Rehabilitación y ampliación	Río Grande II
3	Puente sobre río	Vigas de concreto reforzado	Sustitución	Río Grande I
4	Puente sobre río	Vigas de acero	Ampliación	Río Virilla
5	Puente sobre río	Vigas / Banda tensada de concreto presforzado	Por definir	Río Colorado
6	Paso superior	No se tiene información	Rehabilitación de bastiones	P.S. 27+400 P.S. 32+400 P.S. 51+600

Como se puede observar en el Cuadro 2, la Categoría 1 (conformada por los puentes sobre ríos con superestructura de vigas de concreto presforzado para los que se proponen medidas de rehabilitación y ampliación) es la única que incluye dos puentes, equivalente a un 33% del total de puentes sobre ríos incluidos en el anteproyecto. Por lo tanto, se decidió seleccionar uno de los puentes en esta categoría.

La selección del puente específico se realizó tomando en cuenta el tipo de elementos de la subestructura del puente. Tanto el puente sobre el río Rosales como el puente sobre el río Poás presentan pilas tipo columna sencilla, aspecto que también comparten con los puentes sobre el río Grande (I y II). Por otra parte, a diferencia del puente sobre el río Poás, el puente sobre el río Rosales presenta bastiones tipo marco de concreto reforzado, aspecto que también comparte con los puentes sobre el río Colorado y el río Grande (I y II). Por esta razón, se decidió seleccionar la memoria de cálculo del puente sobre el río Rosales como la memoria de cálculo que se revisará a profundidad en el presente informe.



3.3. Descripción general del puente existente sobre el río Rosales

En el Cuadro 3, mostrado a continuación, se presentan las características generales del puente existente sobre el río Rosales. Como se explicó en la Sección 3.2, este fue el puente seleccionado para realizar la revisión a profundidad de la memoria de cálculo.

Cuadro 3. Características generales del puente existente sobre el río Rosales en la Ruta Nacional n.º 1.

Geometría	Longitud total (m)	129,00
	Ancho total (m)	10,10
	Número de tramos	4
	Alineación del puente	Tramo 1: Curvo Tramos 2, 3, 4: Rectos
Superestructura	Número de superestructuras	1
	Tipo de superestructura (elementos principales)	Tipo viga continua, conformada por 2 vigas principales tipo T de concreto presforzado
	Tipo de tablero	Tablero de concreto reforzado monolítico con las vigas
Subestructura	Número de bastiones y pilas	2 bastiones; 3 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 (lado San José): Apoyo móvil Bastión n.º 2 (lado San Ramón): Apoyo fijo
	Tipo de apoyo en pilas	Apoyo fijo
	Tipo de cimentación	Bastiones y pilas: Placa aislada (superficial)

Adicionalmente, el detalle de las medidas de intervención propuestas por la empresa consultora para el mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Rosales se puede consultar en el Anexo 1 de este informe.



4. ALCANCE DE LA REVISIÓN

Dentro del presente informe de revisión documental, primero se hace una revisión de los requerimientos especificados en los términos de referencia del contrato para servicios de consultoría del anteproyecto, denominado SP No. PIT-90-SBCC-CF-2018 “Estudios de factibilidad técnica, ambiental, social, económica y financiera del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales”, específicamente en lo que respecta al mejoramiento de las estructuras existentes. Posteriormente, se revisa la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente sobre el río Rosales, la cual fue seleccionada tomando en cuenta las tipologías más comunes de las estructuras existentes que forman parte del anteproyecto, como se explicó en la Sección 3.2 del informe.

La revisión de la memoria de cálculo del puente sobre el río Rosales se centró en los siguientes aspectos:

- La aplicación correcta y completa de la normativa aplicable a la evaluación estructural de puentes existentes para cargas no sísmicas vigente al momento de realizarse el anteproyecto, específicamente los documentos: *The Manual for Bridge Evaluation* (AASHTO, 2018) y *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (AASHTO, 2017).
- La aplicación correcta y completa de la normativa aplicable a la rehabilitación sísmica de puentes existentes vigente al momento de realizarse el anteproyecto, específicamente los documentos: *Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes de Costa Rica* (CFIA, 2013) y *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1 – Bridges* (FHWA, 2006).
- Facilidad para dar seguimiento al procedimiento utilizado para la determinación de las necesidades de mejoramiento del puente (pero sin la intención de revisar la exactitud de los cálculos).
- Justificación de las suposiciones realizadas por la empresa consultora para la evaluación estructural.
- Si se indica o no el nombre y número de carné del CFIA de los profesionales responsables de realizar el anteproyecto del mejoramiento estructural, así como de los profesionales que realizaron una revisión independiente de los cálculos y procedimientos realizados.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 15 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



Esta revisión se realizó con el propósito de identificar oportunidades de mejora e información faltante en el proceso de evaluación estructural y determinación de las acciones de intervención, de modo que puedan ser atendidas en la etapa de diseño final del proyecto.

Por último, cabe mencionar que 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 PARA EL 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 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.

Según Khan (2010), las necesidades de rehabilitación o sustitución de un puente se deben determinar a partir de una evaluación de todos sus elementos, al igual que su capacidad estructural, geometría del tablero y deficiencias actuales. A continuación, se presenta la normativa aplicable para el diagnóstico y evaluación estructural de puentes vehiculares, tanto para el caso de cargas no sísmicas como para el caso de cargas sísmicas, la cual puede ser aplicada a la determinación de las necesidades de mejoramiento del puente.

En el caso de la evaluación y rehabilitación estructural para cargas no sísmicas, la normativa aplicable y vigente al momento de realizarse el anteproyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José – San Ramón, es la siguiente:

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 16 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



- *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” 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.

Por otro lado, en lo que respecta a evaluación y rehabilitación sísmica, la normativa aplicable y vigente al momento de realizarse el anteproyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José – San Ramón, es la siguiente:

- *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. En el Capítulo 5 se presentan los requerimientos para la rehabilitación sísmica de puentes existentes. En dicho capítulo, se hace referencia al manual de FHWA (2006) que se presenta a continuación.
- *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1 – Bridges (FHWA, 2006)*: Se abreviará como “SRMHS” para efectos de este informe. Contiene lineamientos para la evaluación de la vulnerabilidad de estructuras de puentes existentes a los efectos de un sismo, así como la implementación de medidas de rehabilitación para mejorar su desempeño. Es el documento al que hacen referencia los LDSRP en el tema de rehabilitación sísmica.

La normativa presentada anteriormente se utilizó como base para realizar la revisión del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del puente sobre el río Rosales con respecto a la determinación de las necesidades de mejoramiento estructural del puente.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 17 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



6. REVISIÓN DEL CONTRATO PARA SERVICIOS DE CONSULTORÍA

En esta sección se presentan los resultados de la revisión del contrato para servicios de consultoría identificado como SP No. PIT-90-SBCC-CF-2018, del anteproyecto “Estudios de factibilidad técnica, ambiental, social, económica y financiera del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales”. La revisión se enfocó específicamente en la sección 7.4 del Apéndice A – Términos de referencia, titulada “Anteproyecto de Mejoramiento de Estructuras Existentes”. Adicionalmente, se consultó la sección 4. “Alcance de la consultoría” y la sección 14.4. “Presentación de la versión impresa del proyecto” del Apéndice A – Términos de referencia del contrato. En el Anexo 2 del presente informe se muestra la transcripción de estas secciones del contrato.

A partir de la revisión realizada de la sección 7.4 de los términos de referencia del contrato, se hacen las siguientes observaciones:

- 6.1. Se especificó que los anteproyectos de rehabilitación y obras de mejoramiento se debían entregar con sus respectivas memorias de cálculo, sin embargo, no se especificó el contenido mínimo que debía incluir este entregable.
- 6.2. No se indicó el nombre oficial de las normas que fueron especificadas, sino que se indicó el título traducido al español. El hecho de traducir el nombre de las normas podría dar lugar a malinterpretaciones o dificultades para identificar el documento correspondiente.
- 6.3. Se especificó normativa desactualizada que incluso ya fue discontinuada y reemplazada por otro documento. Este es el caso del “Manual de Evaluación de la Condición de Puentes de AASHTO” especificado en el contrato, refiriéndose al documento “*Manual for Condition Evaluation of Bridges*” (AASHTO, 1994). Este documento fue reemplazado por el manual AASHTO MBE, como se indica en el prólogo y en la sección C6.1 de AASHTO MBE (AASHTO, 2018).
- 6.4. Se especificó una carga viva vehicular de diseño desactualizada, concretamente la carga viva HS20-44+25%, que corresponde a la carga viva vehicular que se utilizaba con la especificación AASHTO Estándar. Esta carga es distinta a la carga viva vehicular HL-93, que es la requerida por la especificación de diseño AASHTO LRFD.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 18 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



- 6.5. Se especificó el uso de normativa que no es aplicable a estructuras de puentes, como es el caso del Código Sísmico de Costa Rica. En el inciso b) de la Sección 1.3 de este código se indica lo siguiente: *“Las especificaciones contenidas en este código no pueden ser aplicadas a otros tipos de estructuras, tales como puentes, silos y tuberías, cuya naturaleza y comportamiento sísmico es muy diferente al de las edificaciones.”* (CFIA, 2014).
- 6.6. Dentro de la sección 7.4 de los términos de referencia del contrato no se hace referencia a la especificación AASHTO LRFD, los LDSRP, ni el manual SRMHS, que como se explicó en la Sección 5 de este informe, forma parte de la normativa aplicable al mejoramiento de estructuras existentes.
- 6.7. La especificación AASHTO LRFD y los LDSRP sí se mencionan en la sección 4 de los términos de referencia del contrato (Sección 4. “Alcances de la consultoría”), en la cual se especifican los alcances generales del anteproyecto.

Por otra parte, como se indicó en la Sección 4 del presente informe, parte del alcance de la revisión incluyó verificar si en la memoria de cálculo se indica el nombre y número de carné del CFIA de los profesionales responsables del diseño del mejoramiento estructural y de la revisión independiente del diseño. Con respecto a este tema, a partir de la revisión de la sección 14.4 de los términos de referencia del contrato, se hacen las siguientes observaciones:

- 6.8. Se especificó que las portadas de los tomos deben incluir los nombres y firmas de los responsables de la elaboración de los estudios y anteproyectos. Esto se considera un aspecto positivo del contrato.
- 6.9. No se especificó que en los entregables se deba indicar el número de carné del CFIA de los profesionales responsables del diseño y de la revisión independiente del diseño. Esto se considera una oportunidad de mejora del contrato.
- 6.10. Se pudo verificar que en la portada de las memorias de cálculo del anteproyecto sí se indica el nombre de los profesionales responsables de la elaboración, revisión y aprobación de la memoria de cálculo, pero no se incluyen los números de carné del CFIA de cada profesional. Esto está en línea con lo que fue especificado en el contrato, según se mencionó en las Observaciones 6.8 y 6.9.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 19 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



7. REVISIÓN DE LA MEMORIA DE CÁLCULO DEL MEJORAMIENTO DEL PUEBTE EXISTENTE SOBRE EL RÍO ROSALES

7.1. Criterios considerados para la revisión de la memoria de cálculo

Se desarrollaron dos listas de verificación para revisar el procedimiento de evaluación estructural y determinación de las necesidades de rehabilitación que se muestra en la memoria de cálculo seleccionada. 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 en la revisión de la memoria de cálculo del puente sobre el río Rosales, se muestra en el Apéndice A de este informe.
2. La segunda lista de verificación se utilizó para revisar el procedimiento de diagnóstico y evaluación detallada del puente para cargas de sismo, según los requerimientos establecidos en los LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006). Esta lista de verificación, ya aplicada en la revisión de la memoria de cálculo del puente sobre el río Rosales, se muestra en el Apéndice B de este informe.

El propósito de las listas de verificación generadas es evaluar de manera sistemática que el procedimiento mostrado en la memoria de cálculo incluya todos los pasos y la información requerida por la normativa que se especificó en los documentos contractuales.

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:

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 20 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



- **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 totales y la cantidad total de criterios de ambas listas de verificación.

Las listas de verificación completas con la cantidad de puntos asignada a cada criterio para la memoria de cálculo del mejoramiento del puente sobre el río Rosales se muestran en el Apéndice A y el Apéndice B de este informe. 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.

7.2. 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 Rosales. Esta revisión consistió de dos partes: (1) revisión del procedimiento de evaluación estructural del puente para cargas no sísmicas (resultados presentados en la Sección 7.2.1 y Apéndice A del informe), y (2) revisión del procedimiento de diagnóstico y evaluación detallada del puente para cargas de sismo (resultados presentados en la Sección 7.2.2 y Apéndice B del informe).

7.2.1. Revisión del procedimiento de evaluación estructural para cargas no sísmicas

El Cuadro 4 presenta los pasos generales del procedimiento de evaluación estructural 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 del cuadro que el porcentaje de cumplimiento general obtenido fue de **61,3%**. El puntaje asignado a los criterios

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 21 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



correspondientes para cada paso del procedimiento se puede consultar en el Cuadro A.1 del Apéndice A de este informe.

Cuadro 4. Pasos generales y porcentaje de cumplimiento del procedimiento de evaluación estructural para cargas no sísmicas, de acuerdo con el manual AASHTO MBE y la especificación AASHTO LRFD.

Pasos generales del procedimiento de evaluación estructural	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
A. Aspectos generales:	3	4	75,0%
B. Evaluación estructural del tablero (concreto reforzado):	10,5	15	70,0%
C. Evaluación estructural de las vigas principales (concreto presforzado):	12,5	22	56,8%
D. Evaluación estructural de la subestructura (concreto reforzado):	14	24	58,3%
E. Selección y diseño de las medidas de rehabilitación:	3,5	6	58,3%
Total:	43,5	71	61,3%

A partir de esta revisión, se hacen las siguientes observaciones específicas para cada uno de los pasos mostrados en el Cuadro 4:

A. Aspectos generales:

7.A.1. No existe claridad con respecto a cuál fue la edición de la especificación de AASHTO LRFD que se utilizó en el análisis. En los planos y en la sección 8 de la memoria de cálculo se hace referencia a la especificación AASHTO LRFD 2017. Sin embargo, en el anexo 2 de la memoria donde se muestra la información relacionada con la evaluación estructural se hace referencia a la especificación AASHTO LRFD 2004.

7.A.2. Específicamente como parte del anteproyecto, no se realizó una inspección de la estructura para determinar su condición actual. La condición de los componentes estructurales del puente se determinó con base en informes de inspección de estudios anteriores, realizados entre los años 2003 y 2017. La empresa consultora además brindó una serie de recomendaciones con respecto al alcance de las inspecciones a realizar como parte de la etapa de diseño final de la rehabilitación.



B. Evaluación estructural del tablero de concreto reforzado:

- 7.B.1. La resistencia a la fluencia del acero de refuerzo que fue considerada para la evaluación estructural del tablero no es la misma que se especificó en los planos originales de diseño del puente. En el anexo 1 de la memoria de cálculo, se indica una resistencia a la fluencia del acero de refuerzo de 4200 kg/cm^2 . Sin embargo, en los planos originales de diseño del puente (Ministerio de Transportes, 1968), se especifica que el acero de refuerzo debe ser de grado intermedio, de acuerdo con la norma ASTM A15. Según FHWA (2016), el grado intermedio indicado en la norma ASTM A15 corresponde a un esfuerzo de fluencia de 40 ksi, equivalente a 2800 kg/cm^2 . Esto quiere decir que en la evaluación estructural del tablero se pudo haber considerado un esfuerzo de fluencia mayor al que tiene la estructura existente en la realidad y, por lo tanto, se pudo haber sobreestimado su resistencia.
- 7.B.2. En el modelo de análisis estructural del tablero se consideraron varios casos de carga viva vehicular, cada uno con un posicionamiento distinto de los ejes del camión de diseño, para uno y dos carriles cargados. Sin embargo, las figuras no incluyen dimensiones que muestren la ubicación exacta en la que se posicionaron los ejes, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 6A.2.3.2 de AASHTO MBE y el Artículo 3.6.1.3.1 de AASHTO LRFD.
- 7.B.3. En la memoria de cálculo no se indica de forma explícita cuáles fueron los factores de presencia múltiple (m) y el factor de amplificación dinámica (IM) aplicados a la carga viva vehicular para el análisis del tablero, lo cual dificulta la verificación del cumplimiento de los Artículos 3.6.1.1.2 y 3.6.2 de AASHTO LRFD con respecto a estos factores.
- 7.B.4. En la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento ni los resultados del cálculo de la resistencia a flexión positiva del tablero existente a partir de los cuales se determinó que es necesario reforzar la sección central de tablero.
- 7.B.5. En la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de cálculo de la resistencia a flexión negativa y resistencia a cortante del voladizo del tablero, únicamente se muestran los datos de entrada y los resultados obtenidos. Por lo tanto, no fue posible corroborar el



cumplimiento de los criterios especificados en los Artículos 5.6.3.2 y 5.7.3 de AASHTO LRFD con respecto al cálculo de estas resistencias.

7.B.6. No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el acero de refuerzo mínimo a flexión como parte de la evaluación estructural del tablero, lo cual es un requerimiento de acuerdo con la sección 6A.5.6 de AASHTO MBE.

C. Evaluación estructural de las vigas principales de concreto presforzado:

7.C.1. En la memoria de cálculo no se muestra con claridad el procedimiento de cálculo de la fuerza de frenado, fuerza centrífuga, cargas de viento, fuerzas por efectos térmicos, fuerzas por retracción y fuerzas de postensado que fueron consideradas en el modelo de análisis estructural, por lo que no fue posible verificar su conformidad con lo establecido en las secciones 3.6.3, 3.6.4, 3.8, 3.12.2, 3.12.3, 3.12.4 y 3.12.7 de AASHTO LRFD.

7.C.2. En la memoria de cálculo no se muestra información con respecto al número de carriles de diseño ni el posicionamiento transversal de los ejes de la carga viva vehicular HL-93, por lo que no fue posible verificar el cumplimiento del Artículo 6A.2.3.2 de AASHTO MBE y los Artículos 3.6.1.1.1 y 3.6.1.3.1 de AASHTO LRFD.

7.C.3. En la memoria de cálculo no se indica de forma explícita cuáles fueron los factores de presencia múltiple (m) y el factor de amplificación dinámica (IM) aplicados a la carga viva vehicular HL-93 para el análisis de las vigas, lo cual dificulta la verificación del cumplimiento de los Artículos 3.6.1.1.2 y 3.6.2 de AASHTO LRFD con respecto a estos factores.

7.C.4. En la memoria de cálculo no se muestran los resultados de las fuerzas internas en las vigas principales que fueron obtenidas por medio del software de análisis estructural para las diferentes combinaciones de carga consideradas.

7.C.5. En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se indica que se utilizaron los factores de reducción de resistencia establecidos en el Artículo 5.5.4.2 de la especificación AASHTO LRFD. Sin embargo, no se muestran explícitamente los valores considerados, por lo que no fue posible verificar su conformidad con lo establecido en este artículo de la norma.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 24 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



- 7.C.6. En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se menciona que se consideró un factor de modificación de carga por redundancia igual a 1, a falta de información más precisa. Sin embargo, de acuerdo con los Artículos 6A.4.2.4 de AASHTO MBE y 1.3.4 de AASHTO LRFD, podría ser aplicable un valor distinto de 1 debido a que la superestructura del puente cuenta solamente con dos vigas principales.
- 7.C.7. En la evaluación estructural de las vigas principales no se consideró el estado límite de servicio, lo cual es un requerimiento de acuerdo con el Artículo 6A.5.4.1 de AASHTO MBE para componentes de concreto presforzado. En la evaluación estructural de las vigas principales para cargas no sísmicas solamente se consideró el estado límite de resistencia.
- 7.C.8. En la memoria de cálculo no se indican por separado los valores de capacidad y demanda a partir de los cuales se obtuvieron las relaciones capacidad/demanda para flexión positiva, flexión negativa y cortante en las vigas principales, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente. Por lo tanto, no fue posible revisar si estas capacidades se calcularon en conformidad con los procedimientos establecidos en las secciones 5.6.3.2 y 5.7.3 de AASHTO LRFD.
- 7.C.9. No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el acero de refuerzo mínimo por flexión como parte de la evaluación estructural de las vigas principales, lo cual es un requerimiento de acuerdo con la sección 6A.5.6 de AASHTO MBE.

D. Evaluación estructural de la subestructura de concreto reforzado:

- 7.D.1. En la memoria de cálculo no se muestra con claridad el procedimiento de cálculo de las cargas permanentes, fuerza de frenado y fuerza centrífuga que fueron consideradas en la evaluación estructural de la subestructura, por lo que no fue posible verificar su conformidad con lo establecido en las secciones 3.5, 3.6.3, 3.6.4, 3.11.5 y 3.11.6 de AASHTO LRFD.
- 7.D.2. En la memoria de cálculo no se muestran los resultados obtenidos del modelo de análisis estructural con respecto a las reacciones transmitidas por la superestructura a la

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 25 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



subestructura, así como las fuerzas internas en los elementos de la subestructura, para las diferentes combinaciones de carga consideradas.

- 7.D.3. 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, de acuerdo con el Artículo 5.6.4.3 de AASHTO LRFD.
- 7.D.4. En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se indica que se utilizaron los factores de reducción de resistencia establecidos en el Artículo 5.5.4.2 de la especificación AASHTO LRFD. Sin embargo, no se muestra explícitamente los valores considerados, por lo que no fue posible verificar su conformidad con lo establecido en este artículo de la norma.
- 7.D.5. En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se menciona que se consideró un factor de modificación de carga por redundancia igual a 1, a falta de información más precisa. Sin embargo, de acuerdo con los Artículos 6A.4.2.4 de AASHTO MBE y 1.3.4 de AASHTO LRFD, podría ser aplicable un valor distinto de 1 debido a que las pilas del puente son de tipo columna sencilla.
- 7.D.6. En la memoria de cálculo no se indican por separado los valores de capacidad y demanda a partir de los cuales se obtuvieron las relaciones capacidad/demanda para las conexiones pila-tablero, los pernos de anclaje, los efectos de flexión y cortante en las columnas y cimentaciones de pilas y bastiones, así como deslizamiento y volcamiento de las cimentaciones de pilas y bastiones, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente. Por lo tanto, no fue posible revisar si estas capacidades se calcularon en conformidad con los procedimientos establecidos en las secciones 5.6.4, 5.7.3, 5.7.5 y 10.6.3 de AASHTO LRFD.
- 7.D.7. No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el acero de refuerzo mínimo por flexión como parte de la evaluación estructural de los elementos de la subestructura, lo cual es un requerimiento de acuerdo con la sección 6A.5.6 de AASHTO MBE.



E. Selección y diseño de las medidas de rehabilitación:

- 7.E.1. Para la determinación de la resistencia a flexión negativa del nuevo voladizo del tablero, se consideró en el análisis una resistencia de concreto mayor a la que se especificó para los nuevos materiales tanto en la sección 4 de la memoria de cálculo como en los planos del mejoramiento del puente, lo cual podría implicar una sobreestimación de la resistencia a flexión del nuevo voladizo del tablero. Concretamente, en el anexo 1 de la memoria de cálculo se consideró una resistencia de concreto de $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, mientras que la resistencia especificada para los nuevos materiales es de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$.
- 7.E.2. Para la determinación de la resistencia a flexión positiva de la sección reforzada del tablero, se consideró una resistencia a la fluencia del acero de refuerzo existente mayor a la que se especificó en los planos originales de diseño del puente, lo cual podría implicar una sobreestimación de la resistencia a flexión del tablero reforzado. Concretamente, en el anexo 1 de la memoria de cálculo se consideró una resistencia a la fluencia de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ para la totalidad del acero de refuerzo, incluyendo el acero de refuerzo existente del tablero, mientras que las propiedades especificadas en los planos originales de diseño del puente (Ministerio de Transportes, 1968) corresponden a una resistencia de $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ (ver Observación 7.B.1).
- 7.E.3. Aunque en la memoria de cálculo se indica cuál es el acero de refuerzo requerido en los elementos de reforzamiento transversal del tablero (nervios), esta información no se muestra en los planos correspondientes del mejoramiento estructural del puente.
- 7.E.4. En la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para las vigas principales, apoyos, bastiones y pilas, ni se demuestra de forma numérica que las medidas propuestas cumplen con las especificaciones actuales de diseño.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 27 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



7.2.2. Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada para cargas de sismo

El Cuadro 5 presenta los pasos generales del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada para cargas de sismo que fueron revisados con la lista de verificación del Apéndice B, así como el porcentaje de cumplimiento para cada uno de estos pasos. Se puede observar que el porcentaje de cumplimiento general obtenido fue de **73,5 %**. El puntaje asignado a los criterios correspondientes para cada paso del procedimiento se puede consultar en el Cuadro B.1 del Apéndice B de este informe.

Cuadro 5. Pasos generales y porcentaje de cumplimiento del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada para cargas de sismo, de acuerdo con los LDSRP y el manual SRMHS.

Pasos generales del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada	Puntaje obtenido	Puntaje máximo posible	Porcentaje de cumplimiento
F. Aplicabilidad de las especificaciones:	1,5	2	75,0%
G. Determinación de la categoría de rehabilitación sísmica (CRS):	6	7	85,7%
H. Diagnóstico preliminar (método de índices):	11,5	13	88,5%
I. Evaluación detallada del puente (método C):	13	21	61,9%
J. Selección de la estrategia y diseño de las medidas de rehabilitación:	4	6	66,7%
Total:	36	49	73,5%

A partir de esta revisión, se hacen las siguientes observaciones específicas para cada uno de los pasos mostrados en el Cuadro 5:

F. Aplicabilidad de las especificaciones:

7.F.1. Como parte del procedimiento para determinar la demanda sísmica (mostrado en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo), se utilizó la ecuación para el cálculo del coeficiente sísmico que establece el Código Sísmico de Costa Rica. Sin embargo, este código no es aplicable a estructuras de puentes, como se indica en el inciso b) de la sección 1.3 del mismo (CFIA, 2014).



G. Determinación de la categoría de rehabilitación sísmica (CRS):

- 7.G.1. Parece haber una inconsistencia en la clasificación del sitio de cimentación que se reporta en la memoria de cálculo, ya que para el diagnóstico preliminar (sección 9.1 de la memoria) se consideró un suelo de cimentación S3, mientras que para la evaluación detallada (sección 5 del anexo 2 de la memoria) se reporta más bien un suelo de cimentación S1.
- 7.G.2. En relación con la observación anterior, en la memoria de cálculo no se menciona con claridad la referencia de dónde se obtuvo la clasificación del sitio de cimentación S3.
- 7.G.3. En la sección 6 de la memoria de cálculo se muestra un procedimiento para estimar la vida útil esperada del puente, utilizando como referencia el reporte NCHRP 713 "*Estimating Life Expectancies of Highway Assets*". Sin embargo, no está claro de qué forma se utilizó el resultado obtenido de este análisis, puesto que, para efectos de la determinación de la categoría de rehabilitación sísmica, lo que se consideró como vida de servicio remanente fue simplemente la diferencia entre la vida útil de diseño (75 años) y la edad del puente.

H. Diagnóstico preliminar (método de índices):

- 7.H.1. En la sección 9.1 de la memoria de cálculo no se indica con claridad el criterio que se utilizó para seleccionar el valor de vulnerabilidad al movimiento transversal $V_T = 5$ (puente parcialmente vulnerable al colapso o pérdida de acceso debido al movimiento transversal) que se consideró dentro del procedimiento del método de índices.
- 7.H.2. Los parámetros de altura (H), longitud (L) y ancho de tablero (B) que fueron considerados en el cálculo de la longitud de asiento mínima requerida (N) del puente como parte del procedimiento del método de índices (mostrado en la sección 9.1 de la memoria de cálculo), no coinciden con las definiciones establecidas en la sección 4.2.1.1(a) del manual SRMHS, como se detalla a continuación:
- La altura (H) de bastiones que se consideró en el cálculo es menor a la altura que establece el manual SRMHS, correspondiente a la altura promedio de las pilas que soportan el tablero entre juntas de expansión.

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 29 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



- La longitud (L) que se consideró en el cálculo corresponde a la longitud de los tramos individuales, y no a la longitud entre juntas de expansión como lo establece el manual SRMHS.
- El ancho de tablero (B) se consideró igual a 0, sin incluir una justificación de por qué se consideró de esta forma.

A partir de los cálculos realizados en la memoria de cálculo se determinó una vulnerabilidad $V_L = 0$ (el puente no es vulnerable al colapso o pérdida de acceso debido a movimiento longitudinal excesivo). Sin embargo, este podría no ser el caso si se utilizan las definiciones de altura, longitud y ancho de tablero que establece la Sección 4.2.1.1(a) del manual SRMHS.

7.H.3. En relación con la observación anterior, la longitud de asiento real que se consideró en la memoria de cálculo aparentemente se obtuvo de los planos originales de diseño del puente, pero no hay evidencia de que esta longitud haya sido verificada con mediciones tomadas en sitio.

7.H.4. En la sección 9.1 de la memoria de cálculo se seleccionó un índice de vulnerabilidad de las columnas $CVR = 0$ al considerar que se cumple la condición de falla probable de las conexiones en los apoyos, de acuerdo con la Sección 4.2.1.1(b)-A del manual SRMHS. Sin embargo, en la memoria de cálculo no se indica con claridad el criterio que se consideró para hacer esta suposición.

7.H.5. En la memoria de cálculo se consideró que el suelo tiene baja susceptibilidad a licuación, supuesto que no fue corroborado como parte del anteproyecto y deberá ser corroborado en la etapa de diseño final. En la sección 9.2 de la memoria de cálculo se menciona lo siguiente: *"Se advierte que la evaluación anterior se efectúa suponiendo que el terreno de apoyo no es susceptible a licuefacción. Este supuesto se deberá corroborar en el futuro y, si se confirmara lo contrario, se propondrán medidas de refuerzo o remedio"*.



I. Evaluación detallada del puente (método C):

- 7.1.1. En la memoria de cálculo no se hace referencia a ninguno de los métodos de evaluación detallada que están definidos en la sección 5.14.5 de los LDSRP y la sección 5.1.1 del manual SRMHS. El procedimiento seguido en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se asemeja al método de evaluación detallada C: "Método capacidad/demanda de los componentes" que se especifica en los LDSRP y en el manual SRMHS, el cual consiste en calcular las relaciones capacidad/demanda para varios elementos del puente. Por lo tanto, se revisó si la información mostrada en la memoria de cálculo cumple con las disposiciones mínimas establecidas en la normativa con respecto a este método.
- 7.1.2. En la memoria de cálculo no se muestra con claridad el procedimiento de cálculo de las fuerzas y desplazamientos laterales asociados a cargas no sísmicas que deben ser consideradas en la evaluación detallada del puente, de acuerdo con la Sección 5.4.3 del manual SRMHS. Por lo tanto, no fue posible verificar su conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de la normativa de diseño.
- 7.1.3. En la memoria de cálculo se hace referencia a un estudio de amenaza sísmica elaborado por María Laporte Pirie con fecha de octubre de 2005, a partir del cual se obtuvo el espectro de respuesta utilizado en el análisis. Sin embargo, no hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que para este espectro se haya considerado el límite inferior de 2/3 del espectro de diseño desarrollado por el procedimiento general, según establece el Artículo 2.5 de los LDSRP.
- 7.1.4. En la sección 6.2 (1.1.5) de la memoria de cálculo se indica que para la categoría de vida de servicio ASL 2 se permite utilizar un 80% del sismo de diseño, cuando en realidad lo permitido por el Artículo 5.4 de los LDSRP es un 90%. A partir de la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, no fue posible identificar cuál fue el porcentaje del sismo de diseño que finalmente se consideró en los cálculos.
- 7.1.5. En la memoria de cálculo no se muestran los resultados obtenidos del modelo de análisis estructural con respecto a las fuerzas internas y desplazamientos de la estructura, para las diferentes combinaciones de carga sísmicas consideradas.



- 7.1.6. No está claro si en el análisis de demanda sísmica de la estructura se consideró la condición del puente que se reporta en los informes de inspección utilizados como referencia, como lo establece la Sección 5.4.3 del manual SRMHS. Cabe mencionar que no se realizó una inspección de la estructura específicamente como parte de la etapa de anteproyecto (ver Observación 6.A.2).
- 7.1.7. En la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de cálculo ni los resultados obtenidos de la estimación de capacidad que se utilizaron para calcular las relaciones capacidad/demanda de los diferentes elementos de la estructura. Por lo tanto, no fue posible verificar que se hayan seguido los diferentes procedimientos establecidos en la Sección 5.4 y el Apéndice D del manual SRMHS.
- 7.1.8. No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan revisado las disposiciones que establece el Apéndice D.5 del manual SRMHS con respecto al acero de refuerzo de las columnas, específicamente: la longitud de anclaje del acero longitudinal, los empalmes por traslape del acero longitudinal, y el acero transversal de confinamiento.
- 7.1.9. No se consideró la licuación de suelos en la evaluación detallada realizada como parte del anteproyecto. Al respecto, en la sección 9.2 de la memoria de cálculo se menciona lo siguiente: *"Se advierte que la evaluación anterior se efectúa suponiendo que el terreno de apoyo no es susceptible a licuefacción. Este supuesto se deberá corroborar en el futuro y, si se confirmara lo contrario, se propondrán medidas de refuerzo o remedio"*.

J. Selección de la estrategia de rehabilitación y diseño de las medidas de rehabilitación:

- 7.J.1. Aunque como parte del anteproyecto se plantea anclar el bastión fijo al terreno para asegurar las comprobaciones de estabilidad, la información mostrada en la memoria de cálculo no es clara con respecto a si esta medida también solventaría la insuficiencia en la resistencia del bastión ante los efectos de flexión y cortante producidos por la acción sísmica longitudinal, detectada mediante la evaluación detallada de la estructura.
- 7.J.2. En la sección 11.5 de la memoria de cálculo erróneamente se indica que el bastión fijo corresponde al bastión Este (lado San José), ya que en realidad corresponde al bastión Oeste (lado de San Ramón).

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 32 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



- 7.J.3. Como parte del anteproyecto no se plantean medidas de rehabilitación para el bastión con apoyos móviles, a pesar de que para este bastión también se obtuvieron relaciones capacidad/demanda menores a 1 en las comprobaciones de deslizamiento y vuelco, según la información mostrada en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo.
- 7.J.4. En la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación sísmica propuestas para los diferentes componentes de la estructura, ni se demuestra de forma numérica que las medidas propuestas cumplen con las especificaciones actuales de diseño sismorresistente.

7.2.3. Resumen de los resultados de la revisión

En el Cuadro 6 se presenta el porcentaje de cumplimiento obtenido para cada una de las listas de verificación utilizadas en la revisión del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Rosales. El porcentaje de cumplimiento global obtenido para la memoria de cálculo al considerar la calificación alcanzada con cada lista de verificación fue de **66,3 %**. El detalle de los criterios específicos que fueron evaluados y el puntaje asignado a cada uno se pueden consultar en los Apéndices A y B de este informe.

Cuadro 6. Porcentaje de cumplimiento global del procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del puente existente sobre el río Rosales.

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	43,5	71	61,3 %
2. Procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada para cargas de sismo	- LDSRP - SRMHS	36	49	73,5 %
Total:		79,5	120	66,3 %



8. CONCLUSIONES

En línea con los objetivos planteados en la Sección 2 del presente informe, dentro de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Rosales, se revisó la aplicación correcta y completa del procedimiento de diagnóstico y evaluación estructural utilizado para determinar las necesidades de mejoramiento del puente. Adicionalmente, se revisaron las disposiciones de los términos de referencia del contrato para servicios de consultoría del anteproyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José-San Ramón correspondientes al anteproyecto de mejoramiento de las estructuras existentes.

A partir de las revisiones realizadas, se llega a las conclusiones que se presentan en el Cuadro 7, mostrado a continuación. Para cada conclusión se indican las observaciones asociadas de la Sección 6 y la Sección 7.2 de este informe.

Cuadro 7. Resumen de conclusiones derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Conclusión		Observaciones asociadas
1.	Dentro del contrato para servicios de consultoría no se especificó el contenido mínimo que debían incluir las memorias de cálculo del mejoramiento de las estructuras existentes.	6.1
2.	La normativa que se especificó en el contrato para servicios de consultoría con respecto al mejoramiento de estructuras existentes se encuentra desactualizada, es insuficiente o no es aplicable a estructuras de puentes.	6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6., 6.7
3.	El procedimiento mostrado en la memoria de cálculo del puente existente sobre el río Rosales con respecto a la evaluación estructural y la determinación de las necesidades de mejoramiento estructural, cumple en un 66,3 % con los requerimientos de la normativa aplicable vigente al momento de realizarse el anteproyecto.	General



Cuadro 7 (cont.). Resumen de conclusiones derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

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.	7.G.1, 7.G.2, 7.H.1, 7.H.4
4.2.	Procedimiento de cálculo de las cargas consideradas en el modelo de análisis estructural y la forma en que fueron aplicadas a la estructura.	7.B.2, 7.B.3, 7.C.1, 7.C.2, 7.C.3, 7.D.1
4.3.	Resultados obtenidos del análisis estructural para las diferentes combinaciones de carga consideradas.	7.C.4, 7.D.2, 7.I.2, 7.I.5, 7.I.6
4.4.	Procedimiento de cálculo y resultados obtenidos de la estimación de capacidad que se utilizaron para calcular las relaciones capacidad/demanda de los diferentes elementos de la estructura.	7.B.4, 7.B.5, 7.C.5, 7.C.8, 7.D.4, 7.D.6, 7.I.7
4.5.	Procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para las vigas principales, apoyos, bastiones y pilas.	7.E.4, 7.J.4
5.	Se detectaron casos en los que la normativa aplicable a la evaluación estructural de puentes existentes se pudo haber aplicado de forma incompleta o incorrecta. Específicamente, se detectó lo siguiente:	-
5.1.	Omisión de pasos, procedimientos o revisiones que están especificados en la normativa.	7.B.6, 7.C.7, 7.C.9, 7.D.3, 7.D.7, 7.I.3, 7.I.8
5.2.	Aplicación incorrecta de las definiciones o disposiciones establecidas en la normativa.	7.F.1, 7.H.2, 7.I.4



Cuadro 7 (cont.). Resumen de conclusiones derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Conclusión		Observaciones asociadas
5.3.	Uso de propiedades de materiales que son distintas a las propiedades especificadas en los planos estructurales, lo cual podría implicar una estimación inadecuada de la resistencia.	7.B.1, 7.E.1, 7.E.2
5.4.	Omisión de factores modificadores de la resistencia asociados a la redundancia de la estructura.	7.C.6, 7.D.5
5.5.	Omisión de medidas de rehabilitación para el bastión con apoyos móviles (lado de San José), a pesar de obtenerse relaciones capacidad/demanda menores a 1 para deslizamiento y vuelco.	7.J.3
6.	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:	-
6.1.	En algunas secciones de la memoria de cálculo existe ambigüedad con respecto a cuál fue la normativa considerada.	7.A.1, 7.I.1
6.2.	La memoria de cálculo incluye o menciona cierta información sin explicar de qué forma fue utilizada dentro del análisis.	7.G.3, 7.J.1
6.3.	Existen pequeñas inconsistencias en la identificación y descripción de las medidas de rehabilitación propuestas.	7.E.3, 7.J.2
7.	Al tratarse de un anteproyecto, se omitió la realización de algunas investigaciones previas a la evaluación estructural, las cuales deberán ser realizadas para la etapa de diseño final de las medidas de mejoramiento de los puentes existentes. Específicamente:	-
7.1.	Inspecciones detalladas y ensayos de materiales para determinar la condición actual de la estructura.	7.A.2, 7.H.3
7.2.	Análisis de amenaza sísmica de sitio específico e investigación del tipo de sitio de cimentación.	7.G.1, 7.G.2, 7.I.3
7.3.	Evaluación de la susceptibilidad a licuación del suelo de cimentación de la estructura.	7.H.5, 7.I.9



9. RECOMENDACIONES

Con base en la revisión de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente sobre el río Rosales, así como las disposiciones de los términos de referencia del contrato para servicios de consultoría del anteproyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José-San Ramón correspondientes al anteproyecto de mejoramiento de las estructuras existentes, se recomienda a la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR ejecutar las acciones que se presentan en el Cuadro 8, mostrado a continuación. Para cada recomendación se indican las observaciones asociadas de la Sección 6 y la Sección 7.2 de este informe.

Cuadro 8. Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Recomendación		Observaciones asociadas
1.	Recomendar a la Administración que en los documentos contractuales de la etapa de diseño final del proyecto de ampliación integral del Corredor Vial San José – San Ramón, se especifique lo siguiente:	-
1.1.	Requerimientos mínimos con los que deben cumplir las memorias de cálculo del mejoramiento de las estructuras existentes en cuanto a contenido técnico, formato y presentación, de modo que la información presentada pueda ser fácilmente comprendida por revisor independiente y le permita verificar la conformidad del diseño estructural con la normativa aplicable.	6.1
1.2.	Normativa que esté vigente y que sea aplicable a la evaluación estructural y mejoramiento de estructuras de puentes existentes. Además, que se indique el nombre oficial de cada norma en el idioma original.	6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7
1.3.	Solicitar que se incluya en los entregables el nombre y número de carné del CFIA de los profesionales responsables del diseño del mejoramiento estructural, así como de los profesionales responsables de los procesos de revisión independiente del diseño.	6.8, 6.9, 6.10



Cuadro 8 (cont.). Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Recomendación		Observaciones asociadas
1.4.	Solicitar la entrega por parte del diseñador de 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. Este plan debe ser revisado y aprobado por la Administración antes del inicio de los trabajos. Se recomienda consultar el documento titulado <i>“Guidance on Quality Control and Quality Assurance (QC/QA) in Bridge Design”</i> (FHWA, 2011).	General
1.5.	Solicitar la realización de todas las investigaciones previas a la evaluación estructural que no fueron realizadas como parte del anteproyecto del mejoramiento de los puentes existentes (ver Conclusión 7 en el Cuadro 7).	Observaciones asociadas a la Conclusión 7 (ver Cuadro 7)
2.	Reportar a la Administración las observaciones brindadas en este informe con respecto a la posible aplicación incompleta o incorrecta de la normativa (ver Conclusión 5 en el Cuadro 7), para que estos aspectos sean revisados y atendidos por la empresa consultora durante esta etapa de anteproyecto, o bien, por la empresa a la que se le adjudique el diseño final.	Observaciones asociadas a la Conclusión 5 (ver Cuadro 7)
3.	Recomendar a la Administración que solicite a la empresa consultora de la etapa de anteproyecto, la entrega de la siguiente información:	-
3.1.	El detalle del procedimiento de cálculo de las diferentes cargas que fueron consideradas en el modelo de análisis estructural y la forma en que fueron aplicadas a la estructura.	7.B.2, 7.B.3, 7.C.1, 7.C.2, 7.C.3, 7.D.1
3.2.	Los resultados obtenidos del análisis estructural para las diferentes combinaciones de carga consideradas, así como el procedimiento de cálculo y resultados obtenidos de la estimación de capacidad, a partir de los cuales se obtuvieron las relaciones capacidad/demanda que se presentan en la memoria de cálculo para los diferentes elementos de la estructura.	7.B.4, 7.B.5, 7.C.4, 7.C.5, 7.C.8, 7.D.2, 7.D.4, 7.D.6, 7.I.2, 7.I.5, 7.I.6, 7.I.7
EIC-Lanamme-INF-0078-2023		Página 38 de 87



Cuadro 8 (cont.). Recomendaciones finales derivadas de la revisión de la memoria de cálculo.

Recomendación		Observaciones asociadas
3.3.	El detalle del procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para las vigas principales, apoyos, bastiones y pilas, así como la demostración correspondiente de que las medidas propuestas cumplen con las especificaciones actuales de diseño.	7.E.4, 7.J.4
4.	Recomendar a la Administración que solicite a la empresa consultora de la etapa de anteproyecto, una aclaración de los siguientes aspectos con respecto a las medidas de rehabilitación propuestas:	-
4.1.	Si la medida propuesta de anclar el bastión fijo al terreno con el fin de asegurar las comprobaciones de estabilidad, también solventaría la insuficiencia en la resistencia a flexión y cortante que se detectó mediante la evaluación detallada. En ese caso, aplicaría también lo indicado en la Recomendación 3.3.	7.J.1.
4.2.	El motivo por el cual no se proponen medidas de rehabilitación para el bastión con apoyos móviles (lado de San José), a pesar de haberse obtenido relaciones capacidad/demanda menores a 1 para deslizamiento y vuelco.	7.J.3



10. 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 LRFD 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>

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, CFIA. (2014). *Código Sísmico de Costa Rica 2010 (Revisión 2014)*. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Federal Highway Administration, FHWA (2016). Summary Report. *FHWA LTBP Summary—National Changes in Bridge Practices for Reinforcing Bars*. Publication No. FHWA-HRT-16-012. U.S. Department of Transportation. McLean, Virginia: FHWA.

Federal Highway Administration, FHWA (2006). *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1 – Bridges*. Publication No. FHWA-HRT-06-032. U.S. Department of Transportation. McLean, Virginia: FHWA.

IDOM Consulting, Engineering, Architecture. (2020a). Proyecto Integral – Informe Final. *Memorias E14-PI-IFI-MEM-09-Mejoramiento estructural*. Documentos proporcionados por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

IDOM Consulting, Engineering, Architecture. (2020b). Proyecto Integral – Informe Final. *E14-PI-IFI-02 Planos. 07.02 Rehabilitación Estructuras*. Documentos proporcionados por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR

Khan, M.A. (2010). *Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair. 1st Edition*. New York: McGraw-Hill.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT. (2019). *Contrato SP No. PIT-90-SBCC-CF-2018. Proyecto: Estudios de factibilidad técnica, ambiental, social, económica y financiera*

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 40 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



del Fideicomiso Corredor Vial San José-San Ramón y sus Radiales. Documento proporcionado por la Unidad de Auditoría Técnica del LanammeUCR.

Ministerio de Transportes (1968). Puente sobre el río Rosales Carretera El Coco – San Ramón. Diseño: Franz Sauter & Asociados Ltda. Dirección General de Vialidad, División de Puentes, Ministerio de Transportes, Gobierno de Costa Rica.



Página intencionalmente dejada en blanco



Anexo 1.

Acciones de intervención propuestas por la empresa consultora para el mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Rosales

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 43 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------

A continuación, se presenta la transcripción de la sección 11 de la memoria de cálculo del mejoramiento estructural del puente existente sobre el río Rosales (IDOM, 2020a). En esta sección, titulada “Definición de la solución adoptada”, se describen las medidas de intervención propuestas por la empresa consultora para el mejoramiento estructural del puente.

11. DEFINICIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Por tanto, a la vista del análisis previo se ha considerado más conveniente la reparación del tablero existente, procediendo a su ampliación para dotarle de espaldones y barreras de seguridad adaptadas a la normativa.

Por otra parte, se procederá a la rehabilitación sísmica de la estructura, considerando que la vida útil remanente se encuadra en la categoría ASL-2, con la reducción del sismo de diseño considerada en los Lineamientos para el Diseño Sísmico de Puentes (LDSP-2013)

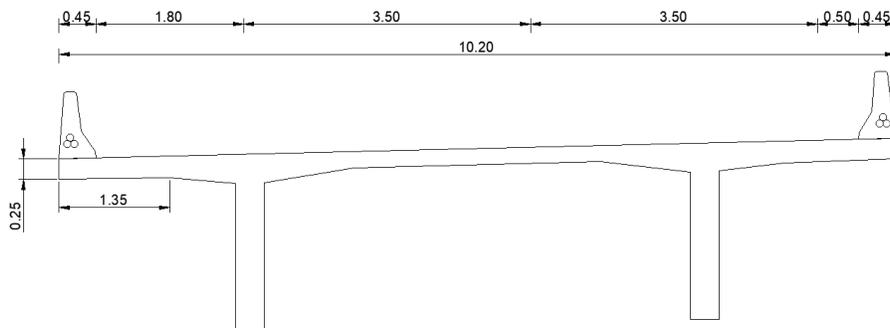


Figura 1. Sección transversal de la estructura ampliada

En consecuencia, se amplía el ancho de tablero considerando la siguiente distribución:

Calzada	Barrera seguridad	Espaldón	Carriles	Espaldón	B. seguridad+ Junta
B=10,20 m	0,45	1,80	2 x 3,50	0,50	0,45

Para ello se precisa la demolición de la acera sobreelevada existente en la actualidad (aproximadamente 1,30m), lo que permitirá la ampliación del tablero con la ampliación de la zona de tránsito vehicular.

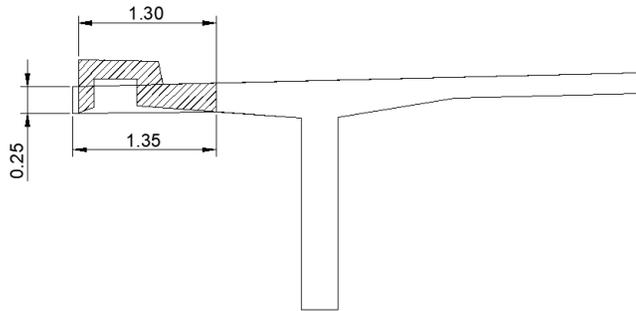


Figura 2. Zona de demolición de voladizo

11.1. INSPECCIÓN EN DETALLE Y ANÁLISIS DE MATERIALES

La inspección aportará y actualizará la información sobre el estado de la estructura. Este reconocimiento tendrá como objetivos:

- *Inspección de detalle del tablero, con el fin de completar y actualizar el alcance de los defectos observados, así como verificar la inexistencia de una fisuración generalizada en las vigas, caras inferior y superior de la losa, y en las traviesas de apoyo. Se identificarán en un mapa todas las fisuras de apertura superior a 0,20 mm, así como cualquier defecto relevante.*

Durante la inspección de las traviesas de apoyo en pila se reconocerán también los tres metros superiores de los fustes, en la zona de las rótulas Freyssinet. Será necesario contar medios auxiliares debido a las dificultades de acceso, como puede ser una pasarela articulada sobre camión, que permita el acceso a la cara inferior desde la superior del tablero.

- *Inspección detallada de la base de las pilas, con el mismo alcance que para el tablero. Puesto que se considera necesario reforzar los fustes, es conveniente inspeccionarlos en detalle y descartar reparaciones complementarias.*
- *La Inspección de apoyos tiene por objeto comprobar en detalle el estado de conservación de los mismos. Se deberá observar la presencia o ausencia de defectos típicos de los apoyos metálicos, que afecten a su comportamiento estructural.*



- *Para efectuar una Caracterización de Materiales que permita ajustar los parámetros resistentes de los materiales reales para el desarrollo del proyecto ejecutivo de Reparación, Ampliación y Rehabilitación de puente del río Rosales, se propone obtener cuando menos los siguientes testigos, que serán sometidos posteriormente a ensayo en laboratorio:*

Dos testigos en el hormigón de las vigas.

Dos testigos en el hormigón de la losa.

Tres testigos en el hormigón de los fustes de pilas.

Tres testigos en el hormigón de los plintos de pilas.

Dos testigos en el hormigón de los bastiones.

Dos muestras de barras de armadura transversal de la losa de tablero

Dos muestras de barras de armadura transversal de las vigas

Dos muestras de barras de armadura transversal de las pilas

Dos muestras de barras de armadura de los bastiones

11.2. REPARACIONES/AMPLIACIÓN EN TABLERO

- *Se considera que el tablero y las vigas principales tiene suficiente capacidad estructural, presentando daños superficiales motivados principalmente por el ruedo directo sobre la losa.*
- *Para reducir la deformación por distorsión de la sección, se vaciarán diafragmas intermedios a los existentes en el vano que presenta curvatura en planta.*
- *Se deberá realizar un sellado y reparación de las grietas existentes en la losa superior de rodamiento. Se sellarán todas las grietas y fisuras con una apertura superior a 0,30mm.*
- *Reparaciones localizadas en superficie de losa y vigas, consistente en la eliminación de la capa de concreto degradado, reparación de roturas localizadas e inyección de fisuras., con la aplicación posterior de mortero de reparación. En este informe se ha considerado que no existe una fisuración generaliza de la losa de tablero.*
- *Demolición de aceras a distinto nivel de la plataforma. Se emplearán medios poco enérgicos para evitar la fisuración de la losa, a la que se ha trasferido compresión desde las vigas; se empleará preferiblemente medios manuales o chorro de agua a presión. A*



continuación, se dispondrá la formaleta, el refuerzo de acero, y se vaciará el concreto para completar el voladizo con el ancho necesario para la ampliación de calzada.

- *Refuerzo transversal de la losa de tablero por su cara inferior, dado que no cumple con la seguridad normativa. Se ha previsto la ejecución de nervios de 40cm de ancho entre las almas de la sección, de 45cm de canto total, con una separación máxima del orden de 1,50m.*
- *Se deberá disponer posteriormente una carpeta asfáltica de rodadura uniforme tanto por el tablero actual como en la ampliación.*
- *Se deberá hacer una sustitución de las juntas en bastiones, así como de los tramos de losa en mal estado que pudieran producir filtraciones. Se repondrán las bajantes o tragantes en el contacto con la barrera de seguridad.*
- *En aquellas armaduras visibles debido a procesos de corrosión y rotura del recubrimiento, o debidos a deterioros o impactos será necesario realizar una reparación mediante una pintura anticorrosión de las armaduras y un mortero pasivizante hasta recuperar la geometría inicial.*

11.3. REPARACIONES/REHABILITACIÓN EN APOYOS

- *Los daños observados en los apoyos corresponden a la corrosión severa en los elementos metálicos. Los apoyos expansivos se encuentran bloqueados por la suciedad acumulada y falta de mantenimiento. La inspección previa al proyecto ejecutivo determinará la posibilidad de regeneración de apoyos (limpieza profunda con chorro de agua y posterior aplicación de pintura), o la necesidad de sustitución por apoyos expansivos.*
- *Se ha detectado falta de capacidad en los anclajes de los apoyos bajo la actuación de la fuerza sísmica considerada, aunque no bajo las cargas de servicio. Se precisa la disposición de topes sísmicos, que resuelvan esta insuficiencia.*
- *Los diafragmas del tablero sobre bastiones deberán repararse pues presentan daños localizados en la zona de apoyos. La intervención consistirá en el saneo y restitución de las zonas de concreto alterado o desprendido, y la reconstrucción de la sección mediante un mortero de reparación.*



11.4. REPARACIONES/REHABILITACIÓN EN PILAS

- *En estos elementos será preciso realizar reparaciones localizadas en las paredes de concreto, consiste en eliminar la zona degradado, reparar roturas localizadas e inyectar posibles fisuras, restituyendo posteriormente la sección mediante un mortero de reparación. El alcance final vendrá determinado por la inspección de las pilas que se ha indicado anteriormente.*
- *La inspección detallada de la coronación de las pilas determinará la gravedad del deterioro que se aprecia en esta zona. Las rótulas Freyssinet están formadas por una estricción en la sección de hasta 10cm de canto y 2.50m de ancho, con armadura vertical pasante. Esta unión permite el giro longitudinal de flexión del tablero, pero impide la torsión de la sección, empotrándola.*
- *Se precisa la rehabilitación sísmica de todas las pilas, que se reforzará frente a flexión transversal. El refuerzo se limitará a la unión del fuste con el plinto de arranque, donde se realizará un recrecido perimetral con concreto reforzado, conectado al plinto y al fuste de la pila. Para ello se actuará sobre el fuste, provocando la rugosidad superficial mediante chorro de arena o abujardado mecánico; así mismo se dispondrán conectores de acero entre el concreto de diferentes edades, de forma que se consiga el trabajo conjunto de la sección.*
- *En la pila P-D, además del recrecido, se debe bloquear la rótula Freyssinet existente entre el plinto y el fuste. Para ello se actuará en la zona de estricción, en la que se limpiará y preparará su superficie, taladrará y colocarán barras de refuerzo, procediéndose posteriormente al bloqueo de la rótula mediante el vaciado con mortero sin retracción.*

11.5. REPARACIONES/REHABILITACIÓN EN BASTIONES

- *Se deberán reparar las fisuras observadas en los alzados de los muro.*
- *Es precisa la rehabilitación sísmica del bastión este, fijo frente a las acciones horizontales del tablero, para asegurar las comprobaciones de estabilidad (vuelco y deslizamiento). Se ha estimado que mediante el anclaje del bastión existente al terreno se pueden solucionar la estabilidad frente al diseño con las fuerzas sísmicas indicadas por la normativa vigente.*



- *Se ha considerado la colocación de topes longitudinales y transversales en ambos bastiones, de forma que durante la embestida sísmica la fuerza se transmita por contacto directo entre tablero-tope-bastión-terreno. Estos elementos-tope funcionarían únicamente a compresión, y se diseñarían con el concepto de ménsula corta.*
- *Finalmente se procederá a la colocación de juntas de calzada, para permitir los movimientos de acciones lentas en cada extremo del tablero. Estas juntas deberán ser estancas para evitar el paso de agua y deterioro de riostras y bastiones*



Anexo 2.

Especificaciones para el anteproyecto de mejoramiento de estructuras existentes incluidas en los documentos contractuales

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 50 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



A continuación, se presenta un extracto del contrato para servicios de consultoría SP No. PIT-90-SBCC-CF-2018 del proyecto “Estudios de factibilidad técnica, ambiental, social, económica y financiera del fideicomiso Corredor Vial San José – San Ramón y sus radiales” (MOPT, 2019). Específicamente, se muestra un extracto de las secciones 4. “Alcances de la consultoría”, 7.4. “Anteproyecto de Mejoramiento de Estructuras Existentes” y 14.4. “Presentación de la versión impresa del proyecto” del Apéndice A – Términos de referencia del contrato.

4. ALCANCES DE LA CONSULTORÍA

“El Consultor debe elaborar los estudios y los anteproyectos de ingeniería, en apego a los términos de referencia descritos en el presente documento y a la normativa, manuales y especificaciones vigentes y aplicables en nuestro país, debiendo considerar como mínimo, los siguientes documentos:

- *Especificaciones de Diseño de Puentes de Carreteras AASHTO LRFD 2012 ó última versión vigente.*
- *Normas del Departamento de Diseño de Puentes del CONAVI.*
- *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial (SIECA).*
- *A Policy on Geometric Design of Highways and States (AASHTO)*
- *Manual de construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica (MC-2002) ó última versión vigente.*
- *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA).*
- *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas (SIECA).*
- *Valoración y aprobación de los diseños estructurales de sobrecapas de refuerzo, emitidos por el Dr. Pedro Luis Castro Fernández, ex Ministro del MOPT, mediante los oficios Nos. DVOP-5170-07 y DVOP-6152-07 de fechas 10 de setiembre de 2007 y 29 de octubre de 2007.*
- *Código de cimentaciones de Costa Rica (CCCR), edición 2009 o última versión vigente.*
- *Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR) o última versión vigente.*
- *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes, Edición 2014 o última versión vigente.*

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 51 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



- *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010) ó última versión vigente.*
- *Decreto Ejecutivo No. 31363-MOPT del 02 de junio de 2003 (Reglamento de Circulación por Carreteras con base en el peso y las Dimensiones de los Vehículos de Carga).*
- *Las normas para la colocación de dispositivos de seguridad para el control del tránsito (SIECA).*
- *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control de tránsito (SIECA).*
- *Decreto N°38799-MOPT Reglamento de Dispositivos de Seguridad y Control Temporal de Tránsito para la Ejecución de Trabajos en las Vías.*
- *Especificaciones de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).*
- *Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial, en la formulación y ejecución de la obra pública pertinente, contratadas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y por el Estado costarricense (Decreto Ejecutivo No. 37347-MOPT).*
- *Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras, Universidad de Costa Rica. Valverde G. (2011).*
- *Decreto Ejecutivo N°40632-MOPT referente a “la incorporación obligatoria del componente de seguridad vial en todas las labores de planificación y construcción de obras viales y su eventual conservación, mejoramiento y/o rehabilitación”.*
- *Guía integrada para la Verificación de la Accesibilidad al Entorno Físico del Consejo Nacional de Rehabilitación y Educación Especial (CNREE) y del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA).*
- *Recomendaciones técnicas para el diseño estructural de pavimentos flexibles con la incorporación de criterios mecánico empírico. LM-PI-GM-INF-22-14, del Lanamme.*
- *Consideraciones técnicas para la instalación de infraestructura de telecomunicaciones, en el proceso de construcción, ampliación, mejoramiento, conservación o rehabilitación de las carreteras primarias, del MICITT.*
- *Manual de Diseños Estándar para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica (DE-2010) o última versión.*
- *Normas y Diseños para la Construcción de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Plan Vial.*



- Última versión de las circulares relacionadas con ingeniería hidráulica de la Administración Federal de Carreteras (FHWA), Departamento de Transportes de los Estados Unidos e Instituto Nacional de Carreteras (NHI). Cabe mencionar las circulares HEC-11, HEC-14, HEC-18, HEC-20, HEC-23, HDS-1, HDS-2, HDS-4, HDS-5, entre otras, las cuales son de libre acceso en la página web de dicha entidad (www.fhwa.dot.gov).
- Reglamentación Técnica para Diseño y Construcción de Urbanizaciones, Condominios y Fraccionamientos, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, con fecha de julio del 2007 o última versión vigente.
- Manual de Consideraciones Técnica Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura Vial en Centroamerica (SIECA), en su versión vigente.
- Las especificaciones técnicas contenidas en el presente documento de requerimientos.

En caso de encontrarse alguna diferencia de criterio entre lo que se indique en una especificación extranjera con respecto a una nacional que sea de uso oficial, deberá aplicar lo establecido por esta última, siempre que aplique exactamente para el caso en estudio y acotarse, según corresponda, en el estudio o plano respectivo con la anotación a dicha valoración.”

7.4 Anteproyecto de Mejoramiento de Estructuras Existentes

“El Consultor deberá realizar las tareas necesarias para evaluar, diagnosticar y realizar el anteproyecto de las obras necesarias para reforzar, mejorar y ampliar las estructuras existentes, o la demolición y construcción de nuevas estructuras, que formarán parte del anteproyecto técnicamente viable, de conformidad con lo establecido en los presentes términos de referencia y la siguiente normativa vigente:

- a) Las normas especificadas en el Manual de Evaluación de la Condición de Puentes de AASHTO.
- b) El Código Sísmico de Costa Rica.
- c) Especificaciones de Guía para Evaluar la Resistencia de Puentes Existentes de Acero y Concreto de AASHTO.
- d) Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.
- e) Y demás normativa aplicable.



Las estructuras existentes en el Corredor Vial y que quedarán formando parte del proyecto, deberán ser reforzadas y mejoradas, según corresponda, de forma que cumplan con la normativa y estándares técnicos vigentes, correspondientes a las mejores prácticas en este ámbito y los presentes términos de referencia. La carga viva de diseño debe ser HS 20-44+25%, equivalente a un tractocamión de tres ejes de 40.82 toneladas de peso.

Todos aquellos elementos que deban sustituirse, así como todas las obras conexas deben incluirse en los anteproyectos, de conformidad con la normativa antes descrita.

Los anteproyectos de rehabilitación y obras de mejoramiento deberán acompañarse de sus respectivas memorias de cálculo, descripción de su caracterización y método de análisis aplicado.”

14.4 Presentación de la Versión Impresa del Proyecto

“En las portadas o carátulas de tomos y cajas deberá constar, como mínimo, lo siguiente:

- Logo del Ministerio de Obras Públicas y Transporte
- Logo del Consejo Nacional de Vialidad
- Título entre Logos “REPÚBLICA DE COSTA RICA, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE, CONSEJO NACIONAL DE VIALIDAD”
- Logo de la empresa que realiza el proyecto.
- Nombre del Proyecto, Ruta Nacional y Sección.
- Ubicación del Proyecto en un mapa de Costa Rica y en un mapa local.
- Longitud del proyecto en km.
- Indicación de inicio y fin del proyecto, con sus respectivas coordenadas, en el mapa local.
- Nombres y firmas de los responsables de la elaboración de los estudios y anteproyectos.”



Apéndice A.

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

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 55 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



Página intencionalmente dejada en blanco



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
A. Aspectos generales					3 / 4
A.1. Aplicabilidad de las especificaciones y filosofía de diseño					
1.3 6.1	1.1	¿Las especificaciones de diseño y evaluación estructural utilizadas son aplicables al tipo de puente considerado?	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> En los planos y en la sección 8 de la memoria de cálculo se hace referencia a la especificación AASHTO LRFD 2017. Sin embargo, en el anexo 2 de la memoria donde se muestran los resultados de la evaluación estructural se hace referencia a la especificación AASHTO LRFD 2004. No existe claridad con respecto a cuál fue la edición de la especificación de AASHTO LRFD que se utilizó. En la memoria de cálculo no se hace referencia explícitamente al documento <i>The Manual for Bridge Evaluation</i> de AASHTO. Es importante mencionar que en la sección 7.4 del contrato del anteproyecto se especificó uno de los antecedentes de este manual de AASHTO como parte de la normativa a utilizar para la evaluación y diagnóstico de las estructuras existentes. 	0,5
6A.1.1	1.1	¿La metodología utilizada para la evaluación estructural es consistente con la filosofía de diseño LRFD?	Sí	Se utilizó la filosofía de diseño LRFD.	1
A.2. Determinación de la condición del puente					
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	Específicamente como parte del anteproyecto, no se realizó una inspección de la estructura para determinar su condición actual. La condición de los componentes estructurales del puente se determinó con base en informes de inspección de estudios anteriores, realizados entre los años 2003 y 2017. La empresa consultora brindó además una serie de recomendaciones con respecto al alcance de las inspecciones a realizar como parte de la etapa de diseño final de la rehabilitación.	0,5



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
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	Se dan recomendaciones de ensayos de materiales a realizarse durante la etapa final de diseño con el fin de ajustar este parámetro. Para efectos del anteproyecto, se utilizó la resistencia de concreto especificada en los planos originales de diseño del puente.	1
B. Evaluación estructural del tablero de concreto reforzado					10,5 / 15
B.1. Propiedades de los materiales					
6.1.1	5.4.	¿Se definen todas las propiedades de los materiales que fueron consideradas en la evaluación estructural del tablero?	Sí	Se muestra la información en el anexo 1 de la memoria de cálculo.	1
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?	Parcialmente	En anexo 1 de la memoria de cálculo, se indica una resistencia a la fluencia del acero de refuerzo de 4200 kg/cm ² . Sin embargo, en los planos originales de diseño del puente se especifica que el acero de refuerzo debe ser de grado intermedio, de acuerdo con la norma ASTM A15. Según FHWA (2016), el grado intermedio indicado en la norma ASTM A15 corresponde a un esfuerzo de fluencia de 40 ksi, equivalente a 2800 kg/cm ² . Esto quiere decir que en la evaluación estructural del tablero se pudo haber considerado un esfuerzo de fluencia mayor al que tiene la estructura existente en la realidad y, por lo tanto, se pudo haber sobreestimado su resistencia.	0,5
B.2. Definición de cargas permanentes:					
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	Como parte de las medidas de rehabilitación se plantea la ampliación de la sección transversal del tablero para acomodar espaldones y barreras vehiculares que cumplan con la normativa de diseño actual. Las cargas permanentes utilizadas en el análisis se obtuvieron considerando la nueva geometría propuesta del tablero.	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
B.3. Aplicación de carga viva vehicular:					
6A.2.3.1	3.6.1.3.3	¿Se verifica la carga viva vehicular (LL) aplicable según el caso de estudio?	Sí	Se realiza la evaluación estructural del tablero para la carga viva vehicular de diseño HL-93.	1
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 el modelo de análisis estructural del tablero se consideraron varios casos de carga viva vehicular, cada uno con un posicionamiento distinto de los ejes del camión de diseño, para uno y dos carriles cargados. Sin embargo, las figuras no incluyen dimensiones que muestren la ubicación exacta en la que se posicionaron los ejes, por lo que no fue posible corroborar el cumplimiento de los criterios establecidos en la normativa.	0,5
6A.1.4	3.6.1.1.2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados?	Parcialmente	En la memoria de cálculo no se indica de forma explícita cuáles fueron los factores de presencia múltiple considerados en el análisis, lo cual dificulta la verificación del cumplimiento de la normativa. Al revisar los valores de carga viva mostrados en la memoria de cálculo, se pudo determinar que el valor mostrado para el caso de un carril cargado es aproximadamente 1.2 veces mayor que el valor mostrado para el caso de dos carriles cargados, lo cual parece indicar que sí se utilizaron los factores de presencia múltiple establecidos en la normativa.	0,5
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?	Parcialmente	En la memoria de cálculo no se indica de forma explícita cuál fue el factor de amplificación dinámica (IM) considerado en el análisis, lo cual dificulta la verificación del cumplimiento de la normativa. A partir de la información mostrada en la memoria de cálculo, no es posible afirmar con certeza que se haya aplicado este factor.	0,5



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
B.4. Análisis estructural:					
6A.3.2	4.6.2.1	¿Se utiliza un método aproximado para el análisis estructural del tablero (método de franjas)?	NA	No se utilizaron métodos aproximados.	NA
6A.3.2	4.6.2.1	¿Se verifica la aplicabilidad del método aproximado implementado para el análisis estructural?	NA		NA
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 método refinado de análisis estructural haciendo uso de software.	1
B.5. Selección de factores de carga y factores de resistencia:					
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	Se muestran los factores de carga que fueron considerados en el análisis, los cuales coinciden con los especificados en la normativa.	1
6A.5.3 6A.5.4	5.5.4.2 5.6.2.1	¿Se definen los factores de reducción de resistencia (ϕ) para el estado límite de resistencia, tomando en cuenta si la sección es controlada por tracción o por compresión?	Sí	Se muestran los factores de reducción de resistencia que fueron considerados en el análisis, los cuales coinciden con los especificados en la normativa.	1
6A.4.2.3	No hay Art.	¿Se define el factor de condición (ϕ_c) para tomar en cuenta la incertidumbre en la resistencia de elementos deteriorados?	NA	Como parte de las medidas de rehabilitación del tablero se incluye el sellado y reparación de las grietas existentes y concreto degradado en la superficie de rodamiento, por lo que no se consideró el factor de condición en el análisis.	NA
B.6. Evaluación del estado límite de resistencia:					
6A.1.4	5.6.3.2	¿Se determina la resistencia nominal (R_n) a flexión positiva del tablero considerando su condición existente?	Parcialmente	En la memoria de cálculo se menciona que es necesario reforzar la sección central de tablero para poder soportar los nuevos esfuerzos de diseño. Sin embargo, no se muestra el procedimiento ni los resultados del cálculo de la resistencia a flexión positiva del tablero existente que llevaron a esta conclusión. Únicamente se muestra el análisis correspondiente a la nueva sección reforzada.	0,5



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
6A.1.4	5.6.3.2	¿Se determina la resistencia nominal (R_n) a flexión negativa del tablero considerando su condición existente?	Parcialmente	Se determinó la resistencia a flexión negativa del voladizo del tablero considerando la nueva geometría propuesta. Sin embargo, en la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de cálculo de esta resistencia, únicamente se muestran los datos de entrada y los resultados obtenidos. Por lo tanto, no fue posible corroborar el cumplimiento de los criterios especificados en la normativa.	0,5
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por flexión, y en caso de no cumplirse, se reduce la resistencia a flexión del tablero por el factor de reducción correspondiente?	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por flexión como parte de la evaluación estructural del tablero.	0
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	Se determinó la resistencia a cortante del voladizo del tablero aportada por el concreto, considerando la nueva geometría propuesta. Sin embargo, en la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de cálculo de esta resistencia, únicamente se muestran los datos de entrada y los resultados obtenidos. Por lo tanto, no fue posible corroborar el cumplimiento de los criterios especificados en la normativa.	0,5
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?	Sí	Aunque en la memoria de cálculo no se utilizó explícitamente la ecuación general de capacidad de carga para evaluar los efectos de flexión en el tablero, las necesidades de rehabilitación se determinaron por medio de una comparación entre las cantidades de acero existente y acero requerido.	1
C. Evaluación estructural de las vigas principales de concreto presforzado					12,5 / 22
C.1. Propiedades de los materiales:					
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	Se muestra la información en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo.	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
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?	Sí	Las propiedades de los materiales que se indican en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo coinciden con las propiedades especificadas en los planos originales de diseño del puente.	1
C.2. Definición de cargas permanentes:					
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	Según la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, dentro del modelo de análisis estructural sí se consideraron las cargas por peso propio y las cargas muertas.	1
6A.2.2.2 6A.5.9	3.12.7	¿Se consideran los efectos secundarios del postensado como una carga permanente?	Parcialmente	Según la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, dentro del modelo de análisis estructural sí se consideraron las cargas del postensado. Sin embargo, no se muestra con claridad el procedimiento seguido para el cálculo de estas cargas.	0,5
C.3. Aplicación de carga viva vehicular:					
6A.2.3.1	3.6.1.3.3	¿Se verifica la carga viva vehicular (LL) aplicable según el caso de estudio?	Sí	Se realiza la evaluación estructural del puente para la carga viva vehicular de diseño HL-93.	1
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?	No	En el Anexo 2 de la memoria de cálculo, correspondiente al modelo de análisis estructural del puente, no se muestra información con respecto al número de carriles de diseño considerados ni el posicionamiento transversal de los ejes de la carga viva HL-93.	0
6A.1.4	3.6.1.1.2	¿Se definen los factores de presencia múltiple a aplicar según el número de carriles cargados?	Parcialmente	En el Anexo 2 de la memoria de cálculo, correspondiente al modelo de análisis estructural del puente, se indica la frase (IMPACTO+m) (LL+IM) como parte de la envolvente de la carga viva vehicular, lo cual sugiere que sí se aplicó el factor de amplificación dinámica (IM) y el factor de presencia múltiple (m). Sin embargo, no se indica de forma explícita cuáles fueron los valores considerados en el análisis para estos factores, por lo que no fue posible evaluar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5
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?	Parcialmente		0,5



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
C.4. Cálculo de los efectos por otras fuerzas:					
6A.2.3.4 - 6A.2.3.8	Sección 3	¿Se realiza el cálculo de los efectos de otras fuerzas adicionales, según se requiera?	Parcialmente	Según la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, en el modelo de análisis estructural se tomaron en cuenta las siguientes cargas: retracción (SH), efectos térmicos (TU y TG), empuje de tierras (EH), empuje por carga viva (LS), fuerza de frenado (BR), fuerza centrífuga (CE) y carga de viento (WS y WL). Sin embargo, no se muestra con claridad el procedimiento seguido para el cálculo de estas cargas ni la forma en la que fueron aplicadas al modelo, por lo que no fue posible evaluar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5
C.5. Análisis estructural:					
6A.3.2	4.6.2.2.2	¿Se calculan los factores de distribución para el momento producido por la carga viva vehicular?	NA	No se utilizaron métodos aproximados.	NA
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
6A.3.2	4.6.2.2	¿Se verifica la aplicabilidad del método aproximado implementado para el análisis estructural?	NA		NA
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?	Parcialmente	Se utilizó un método refinado de análisis estructural haciendo uso de software. Sin embargo, en la memoria de cálculo no se muestran los resultados de demanda (fuerzas internas) que fueron obtenidos de este análisis.	0,5
C.6. Selección de factores de carga y factores de resistencia:					
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	Se muestran los factores de carga que fueron considerados en el análisis. Los factores de carga utilizados para la carga de viento corresponden a los de la especificación AASHTO LRFD 2004, y no a los de la especificación AASHTO LRFD 2017 a la que se hace referencia en los planos y en la sección 8 de la memoria de cálculo.	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
6A.5.3 6A.5.4	5.5.4.2 5.6.2.1	¿Se definen los factores de reducción de resistencia (ϕ) para el estado límite de resistencia, tomando en cuenta si la sección es controlada por tracción o por compresión?	Parcialmente	En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se indica que se utilizaron los factores de reducción de resistencia establecidos en el artículo 5.5.4.2 de la norma de diseño. Sin embargo, no se muestran explícitamente los valores considerados, por lo que no fue posible verificar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5
6A.4.2.3	No hay Art.	¿Se define el factor de condición (ϕ_c) para tomar en cuenta la incertidumbre en la resistencia de elementos deteriorados?	NA	Como parte de las medidas de rehabilitación del tablero se incluye la reparación localizada del concreto degradado en las vigas, por lo que no se consideró el factor de condición en el análisis.	NA
6A.4.2.4	1.3.4	¿Se define el factor de sistema (ϕ_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?	Parcialmente	En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se menciona que se consideró un modificador de redundancia igual a 1, a falta de información más precisa. Sin embargo, podría ser aplicable un valor distinto de 1 debido a que la superestructura del puente cuenta solamente con dos vigas principales.	0,5
C.7. Estado límite de servicio:					
6A.1.4	5.9.3	¿Se definen las pérdidas de presfuerzo que fueron consideradas en los cálculos?	Parcialmente	En la memoria de cálculo se indican pérdidas de presfuerzo del 15%. Sin embargo, no se incluye una justificación de por qué se consideró este valor ni se hace referencia a un artículo de la normativa.	0,5
6A.5.2.3	5.9.2.2	¿Se verifican los límites de esfuerzos de tensión en los tendones de presfuerzo?	No	En la evaluación estructural no se consideró el estado límite de servicio, únicamente se consideró el estado límite de resistencia (evaluación para cargas no sísmicas) y el estado límite de evento extremo (evaluación para cargas sísmicas)	0
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?	No		0



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
C.8. Estado límite de resistencia:					
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	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para flexión positiva en los tramos centrales y en los tramos laterales, siendo todas satisfactorias. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
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	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para flexión negativa sobre la pila central y sobre las pilas laterales, siendo todas satisfactorias. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por 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 hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por flexión como parte del análisis de las vigas principales.	0
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	Para obtener las relaciones capacidad/demanda se utilizó una ecuación ligeramente distinta a la establecida en AASHTO MBE, en el sentido de que la demanda por cargas permanentes se sumó a la demanda por carga viva vehicular, en vez de restarse a la capacidad.	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?	Parcialmente	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para cortante, siendo todas satisfactorias. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, no se indica la ubicación exacta de las secciones en las que se calculó el cortante, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
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	Para obtener las relaciones capacidad/demanda se utilizó una ecuación ligeramente distinta a la establecida en AASHTO MBE, en el sentido de que la demanda por cargas permanentes se sumó a la demanda por carga viva vehicular, en vez de restarse a la capacidad.	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
D. Evaluación estructural de la subestructura de concreto reforzado					14 / 24
D.1. Propiedades de los materiales:					
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	Se muestra la información en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo.	1
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	Las propiedades de los materiales que se indican en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo coinciden con las propiedades especificadas en los planos originales de diseño del puente.	1
D.2. Cálculo de fuerzas:					
6.1.5.2 6A.1.4	3.5 3.6	¿Se obtienen las reacciones transmitidas por la superestructura hacia la subestructura?	Parcialmente	Se utilizó un método refinado de análisis estructural haciendo uso de software. Sin embargo, en la memoria de cálculo no se muestran las reacciones transmitidas por la superestructura a la subestructura que fueron obtenidas de este análisis.	0,5
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	Según la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, en el modelo de análisis estructural se tomaron en cuenta las siguientes cargas permanentes: peso propio de estructura y componentes (DC), peso de pavimento (DW), peso de tierras en bastiones (EV), empuje de tierras (EH). Sin embargo, no se muestra con claridad el procedimiento seguido para el cálculo de estas cargas ni la forma en la que fueron aplicadas al modelo, por lo que no fue posible evaluar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5
6.1.5.2 6A.1.4	3.6.4	¿Se calcula la fuerza debida al frenado de vehículos (BR)?	Parcialmente	Según la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, en el modelo de análisis estructural se tomó en cuenta la fuerza de frenado (BR) y la fuerza centrífuga (CE). Sin embargo, no se muestra con claridad el procedimiento seguido para el cálculo de estas cargas ni la forma en la que fueron aplicadas al modelo, por lo que no fue posible evaluar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5
6.1.5.2 6A.1.4	3.6.3	En el caso de puentes curvos, ¿se calcula la fuerza centrífuga (CE)?	Parcialmente	Según la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, en el modelo de análisis estructural se tomó en cuenta la fuerza de frenado (BR) y la fuerza centrífuga (CE). Sin embargo, no se muestra con claridad el procedimiento seguido para el cálculo de estas cargas ni la forma en la que fueron aplicadas al modelo, por lo que no fue posible evaluar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
D.3. Análisis estructural:					
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?	Parcialmente	Se utilizó un método refinado de análisis estructural haciendo uso de software. Sin embargo, en la memoria de cálculo no se muestran los resultados (fuerzas internas, deformaciones) que fueron obtenidos de este análisis.	0,5
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 hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan revisado los efectos de esbeltez de las columnas como parte del análisis.	0
D.4. Selección de factores de carga y factores de resistencia:					
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	Se muestran los factores de carga que fueron considerados en el análisis. Los factores de carga utilizados para la carga de viento corresponden a los de la especificación AASHTO LRFD 2004, y no a los de la especificación AASHTO LRFD 2017 a la que se hace referencia en los planos y en la sección 8 de la memoria de cálculo.	1
6A.5.3	5.5.4.2 5.6.2.1	¿Se definen los factores de reducción de resistencia (ϕ) para el estado límite de resistencia, tomando en cuenta si la sección es controlada por tracción o por compresión?	Parcialmente	En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se indica que se utilizaron los factores de reducción de resistencia establecidos en el artículo 5.5.4.2 de la norma de diseño. Sin embargo, no se muestran explícitamente los valores considerados, por lo que no fue posible verificar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5
6A.4.2.3	No hay Art.	¿Se define el factor de condición (ϕ_c) para tomar en cuenta la incertidumbre en la resistencia de elementos deteriorados?	NA	Como parte de las medidas de rehabilitación de las pilas y bastiones del puente se incluye la reparación localizada del concreto degradado y fisuras en las paredes de concreto, por lo que no se consideró el factor de condición en el análisis.	NA
6A.4.2.4	1.3.4	¿Se define el factor de sistema (ϕ_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?	Parcialmente	En la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se menciona que se consideró un modificador de redundancia igual a 1, a falta de información más precisa. Sin embargo, podría ser aplicable un valor distinto de 1 debido a que las pilas del puente son de tipo columna sencilla.	0,5



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
D.5. Estado límite de resistencia:					
D.5.1. Apoyos:					
6A.1.4	5.7.5	¿Se verifica la resistencia factorizada en la zona de los elementos de apoyos?	Parcialmente	Se muestran las relaciones capacidad/demanda ante acciones verticales (sin sismo) para las siguientes conexiones: · Las conexiones pila-tablero, siendo ligeramente menores a 1 las relaciones obtenidas para las tres pilas. · Los pernos de anclaje de los apoyos en bastiones, siendo menor a 1 la relación obtenida para los apoyos fijos. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
D.5.2. Columnas de pilas y bastiones:					
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?	Parcialmente	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para flexión en las columnas de las pilas y de los bastiones ante acciones sin sismo, siendo todas satisfactorias. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestran los diagramas de interacción utilizados, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por flexión, y en caso de no cumplirse, se reduce la resistencia a flexión de las columnas por el factor de reducción correspondiente?	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por flexión como parte del análisis de los elementos de la subestructura.	0
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	Para obtener las relaciones capacidad/demanda se utilizó una ecuación ligeramente distinta a la establecida en AASHTO MBE, en el sentido de que la demanda por cargas permanentes se sumó a la demanda por carga viva vehicular, en vez de restarse a la capacidad.	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
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?	Parcialmente	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para cortante en las columnas de las pilas y de los bastiones ante acciones sin sismo, siendo ligeramente menor a 1 la relación obtenida para el bastión A. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
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	Para obtener las relaciones capacidad/demanda se utilizó una ecuación ligeramente distinta a la establecida en AASHTO MBE, en el sentido de que la demanda por cargas permanentes se sumó a la demanda por carga viva vehicular, en vez de restarse a la capacidad.	1
D.5.3. Cimentaciones superficiales de pilas y bastiones:					
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	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para flexión en las cimentaciones de las pilas y de los bastiones ante acciones sin sismo, siendo todas satisfactorias. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
6A.5.6	5.6.3.3	¿Se verifica el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por flexión, y en caso de no cumplirse, se reduce la resistencia a flexión de las placas de cimentación por el factor de reducción correspondiente?	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el requerimiento de acero de refuerzo mínimo por flexión como parte del análisis de los elementos de la subestructura.	0
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?	Sí	Para obtener las relaciones capacidad/demanda se utilizó una ecuación ligeramente distinta a la establecida en AASHTO MBE, en el sentido de que la demanda por cargas permanentes se sumó a la demanda por carga viva vehicular, en vez de restarse a la capacidad.	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
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	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para cortante en las cimentaciones de las pilas y de los bastiones ante acciones sin sismo, siendo todas satisfactorias. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
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?	Sí	Para obtener las relaciones capacidad/demanda se utilizó una ecuación ligeramente distinta a la establecida en AASHTO MBE, en el sentido de que la demanda por cargas permanentes se sumó a la demanda por carga viva vehicular, en vez de restarse a la capacidad.	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 estado límite de resistencia?	Parcialmente	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para volcamiento en las cimentaciones de las pilas y de los bastiones ante acciones sin sismo, siendo menor a 1 la relación obtenida para el bastión A. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
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?	Parcialmente	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para deslizamiento en las cimentaciones de pilas y bastiones ante acciones sin sismo, siendo menores a 1 las relaciones obtenidas para ambos bastiones. Sin embargo, no se indican por separado los valores de resistencia y de demanda, ni se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5
E. Selección y diseño de las medidas de rehabilitación					3,5 / 6
E.1. Rehabilitación del tablero de concreto reforzado:					
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	<ul style="list-style-type: none"> ·Se plantea la ampliación de la sección del voladizo del tablero con el fin de acomodar espaldones y barreras vehiculares que cumplan con la normativa de diseño actual. ·Se plantea reforzar la sección central de tablero mediante la construcción de elementos transversales (nervios) entre las almas de las vigas principales, con el fin de resolver la insuficiencia en la resistencia a flexión positiva del tablero. 	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
6A.1.4	Secciones 5 y 9	¿Se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para el tablero de concreto reforzado?	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> · En el anexo 1 de la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de cálculo utilizado para la determinación de la resistencia a flexión del voladizo del tablero, únicamente se muestran los datos de entrada y los resultados obtenidos. · Para la determinación de la resistencia a flexión negativa del nuevo voladizo del tablero, se consideró en el análisis una resistencia de concreto mayor a la que se especificó para los nuevos materiales tanto en la sección 4 de la memoria de cálculo como en los planos del mejoramiento del puente, lo cual podría implicar una sobreestimación de la resistencia a flexión del nuevo voladizo del tablero. Concretamente, en el análisis se consideró una resistencia de concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, mientras que la resistencia especificada para los nuevos materiales es de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. · En el anexo 1 se muestra el análisis para flexión positiva de la sección del tablero reforzada con nervios entre las almas de las vigas principales. En este análisis se consideró un esfuerzo de fluencia de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ para la totalidad del acero de refuerzo, incluyendo el acero de refuerzo de la sección existente del tablero. Sin embargo, en los planos originales de diseño del puente de 1968, el esfuerzo de fluencia especificado es de $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$. · En los planos del mejoramiento del puente no se especifica el refuerzo requerido en los elementos transversales (nervios), únicamente se especifican sus dimensiones. 	0,5
E.2. Rehabilitación de las vigas principales de concreto presforzado:					
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	A partir de la evaluación estructural se determinó que la resistencia de las vigas principales es satisfactoria. Sin embargo, con el fin de reducir la deformación por distorsión de la sección, se propone construir nuevos diafragmas intermedios a los existentes en el tramo del puente que presenta curvatura en planta.	1



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

Art. AASHTO MBE	Art. AASHTO LRFD	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
6A.1.4	Sección 5	¿Se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para las vigas principales de concreto presforzado?	No	No se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para las vigas principales, ni se demuestra de forma numérica que las medidas propuestas cumplen con las especificaciones actuales de diseño.	0
E.3. Rehabilitación de los elementos de la subestructura:					
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	<ul style="list-style-type: none"> · Se plantea una inspección detallada de las conexiones pila-tablero para determinar la gravedad del deterioro en esa zona, y con ello determinar si se requieren o no medidas de rehabilitación. · Se plantea anclar el bastión fijo al terreno para asegurar las comprobaciones de deslizamiento y vuelco. Erróneamente se indica que el bastión fijo corresponde al bastión Este (lado San José), ya que en realidad corresponde al bastión Oeste (lado de San Ramón). · No se plantean medidas de rehabilitación con respecto al bastión con apoyos móviles, para el cual se obtuvo una relación capacidad/demanda menor a 1 en las comprobaciones de deslizamiento para cargas no sísmicas. Sin embargo, se incluye una justificación de por qué la relación capacidad/demanda obtenida en este caso podría no considerarse crítica. · No se plantean medidas de rehabilitación para los pernos de anclaje de los apoyos fijos ante cargas no sísmicas. Sin embargo, se incluye una justificación de por qué la relación capacidad/demanda obtenida en este caso no se considera crítica. 	1
6A.1.4	Secciones 5, 10 y 11	¿Se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para los elementos de la subestructura?	No	No se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para los apoyos, bastiones y pilas, ni se demuestra de forma numérica que las medidas propuestas cumplen con las especificaciones actuales de diseño.	0
Puntaje total obtenido:					43,5 / 71



Apéndice B.

Lista de verificación para la revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 73 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



Página intencionalmente dejada en blanco

EIC-Lanamme-INF-0078-2023	20 de enero, 2023	Página 74 de 87
---------------------------	-------------------	-----------------



Cuadro B.1. Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
F. Aplicabilidad de las especificaciones					1,5 / 2
1.2 5.1	1.1	¿Las especificaciones de rehabilitación sísmica utilizadas son aplicables al tipo de puente considerado?	Sí	En la sección 9 de la memoria de cálculo se hace referencia a los Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes de Costa Rica (CFIA, 2013) y el documento <i>Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures - Part 1: Bridges</i> (FHWA, 2006), que son ambos aplicables al tipo de puente.	1
1.2	Rigen los LDSRP	¿Las especificaciones utilizadas para la estimación de la demanda sísmica son aplicables al tipo de puente considerado?	Parcialmente	En la sección 9 de la memoria de cálculo se hace referencia a los Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes de Costa Rica (CFIA, 2013). Sin embargo, en la sección 5 del anexo 2 de la memoria donde se muestra el procedimiento de evaluación estructural, se utiliza la ecuación del coeficiente sísmico que establece el Código Sísmico de Costa Rica, el cual no es aplicable a estructuras de puentes, como se indica en el inciso b) de la sección 1.3 del mismo. Se debe mencionar que en el contrato del anteproyecto se especificó el Código Sísmico de Costa Rica como parte de la normativa a utilizar para el anteproyecto del mejoramiento de estructuras existentes.	0,5
G. Determinación de la categoría de rehabilitación sísmica (CRS)					6 / 7
3.1 5.5	Rigen los LDSRP	¿Se establece la clasificación de importancia operacional del puente?	Sí	Se consideró como puente crítico.	1
2.3	Rigen los LDSRP	¿Se establece la clasificación del sitio de cimentación a partir de la información obtenida de la investigación geotécnica?	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> · Parece haber una inconsistencia en la clasificación del sitio de cimentación que se reporta en la memoria de cálculo, ya que para el diagnóstico preliminar (sección 9.1 de la memoria) se consideró un suelo de cimentación S3, mientras que para la evaluación estructural (sección 5 del anexo 2 de la memoria) se reporta más bien un suelo de cimentación S1. · En la memoria de cálculo no se menciona con claridad la referencia de dónde se obtuvo la clasificación del sitio de cimentación S3. 	0,5



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
5.6	1.4.4	¿Se estima la vida de servicio remanente del puente tomando en cuenta la edad, la condición estructural, la especificación de diseño y la capacidad para soportar tráfico actual y futuro?	Parcialmente	En la sección 6 de la memoria de cálculo se muestra un procedimiento para estimar la vida útil esperada del puente, utilizando como referencia el reporte NCHRP 713 "Estimating Life Expectancies of Highway Assets". Sin embargo, no está claro de qué forma se utilizó el resultado obtenido puesto que, para efectos de la determinación de la categoría de rehabilitación sísmica, lo que se consideró como vida de servicio remanente fue simplemente la diferencia entre la vida útil de diseño (75 años) y la edad del puente.	0,5
5.6	1.4.4	¿Se asigna al puente la categoría de vida de servicio (ASL 1, ASL 2 o ASL 3) correspondiente a la vida de servicio remanente estimada?	Sí	Se asignó una categoría de vida de servicio ASL 2.	1
5.7	Rigen los LDSRP	¿Se selecciona correctamente el nivel de desempeño asociado a la clasificación de importancia operacional del puente y la categoría de vida de servicio?	Sí	Se seleccionó un nivel de desempeño PL2 (operacional).	1
2.1 5.9	Rigen los LDSRP	¿Se asigna correctamente el nivel de riesgo sísmico asociado a la zona de amenaza sísmica y la ubicación geográfica del puente?	Sí	Se consideró un nivel de riesgo sísmico III, el cual se deriva de la zona de amenaza sísmica y la ubicación del puente correspondiente.	1
5.10	Rigen los LDSRP	¿Se asigna correctamente la categoría de rehabilitación sísmica (CRS B, CRS C, o CRS D) correspondiente al nivel de desempeño y el nivel de riesgo sísmico?	Sí	Se asignó una categoría de rehabilitación sísmica CRS C.	1
H. Diagnóstico preliminar (Método de índices)					11,5 / 13
H.1. Determinación del índice de vulnerabilidad de las conexiones, apoyos y longitudes de asiento, V_1					
5.13	4.2.1.1(a) Paso 1	¿Se evalúa si el puente tiene condiciones de apoyo satisfactorias?	Sí	Se determinó que el puente no cumple con todas las condiciones de apoyo satisfactorias.	1
5.13	4.2.1.1(a) Paso 2	¿Se determina la vulnerabilidad al colapso de la estructura o la pérdida de acceso al puente debido a movimiento transversal (V_T)?	Parcialmente	Se determinó $V_T = 5$ (el puente es parcialmente vulnerable al colapso o pérdida de acceso debido al movimiento transversal). Sin embargo, en la memoria no se indica con claridad el criterio o justificación que se consideró para seleccionar este valor.	0,5



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
5.13	4.2.1.1(a) Paso 3	¿Se determina la vulnerabilidad al colapso de la estructura o la pérdida de acceso al puente debido a movimiento longitudinal excesivo (V_L)?	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> · Se determinó $V_L = 0$ (el puente no es vulnerable al colapso o pérdida de acceso debido a movimiento longitudinal excesivo). Sin embargo, los parámetros de altura (H), longitud (L) y ancho de tablero (B) que fueron considerados en el cálculo de la longitud de asiento mínima requerida (N) no coinciden con las definiciones establecidas en el manual SRMHS, como se detalla a continuación: <ul style="list-style-type: none"> - La altura (H) de bastiones que se consideró es menor a la altura que establece el manual SRMHS, correspondiente a la altura promedio de las pilas que soportan el tablero entre juntas de expansión. - La longitud (L) que se consideró corresponde a la longitud de los tramos individuales, y no a la longitud entre juntas de expansión como lo establece el manual SRMHS. - El ancho del tablero (B) se consideró igual a 0, sin incluir una justificación de por qué se consideró de esta forma. · La longitud de asiento real que se muestra en la memoria de cálculo aparentemente se obtuvo de los planos originales de diseño del puente, y no hay evidencia de que esta longitud haya sido verificada con mediciones tomadas en sitio. 	0,5
5.13	4.2.1.1(a) Paso 4	¿Se determina el índice de vulnerabilidad V_1 como el mayor valor entre V_T y V_L ?	Sí	Se determinó $V_1 = 5$, correspondiente a V_T .	1
H.2. Determinación del índice de vulnerabilidad de las columnas, CVR					
5.13	4.2.1.1(b) A. Pasos 1, 2, 3	¿Se revisa si el puente cumple con alguna de las condiciones para asignar $CVR = 0$ (categoría de rehabilitación sísmica CRS B, falla probable de conexiones en apoyos, o refuerzo transversal de columnas y cimentaciones que cumple con los requerimientos de AASHTO)?	Parcialmente	Se consideró $CVR = 0$ debido a la falla probable de las conexiones en los apoyos, lo cual evitaría la transferencia de carga lateral hacia las columnas. Sin embargo, en la memoria de cálculo no se indica con claridad el criterio o justificación que se consideró para hacer esta suposición.	0,5



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
5.13	4.2.1.1(b) A. Paso 4a	¿Se revisa la vulnerabilidad de la columna debido a falla por cortante?	NA	No fue necesario revisar estos pasos ya que en la memoria de cálculo se asumió como válida una de las condiciones que permite tomar $CVR = 0$.	NA
5.13	4.2.1.1(b) A. Paso 4b	¿Se revisa la vulnerabilidad de la columna debido a falla por flexión en empalmes?	NA		NA
5.13	4.2.1.1(b) A. Paso 4c	¿Se revisa la vulnerabilidad de la columna debido a deficiencias en cimentaciones?	NA		NA
5.13	4.2.1.1(b) A. Paso 4d	¿Se determina el índice de vulnerabilidad de las columnas, CVR, como el mayor valor calculado de los pasos 4a, 4b y 4c?	NA		NA
H.3. Determinación del índice de vulnerabilidad de los bastiones, AVR					
5.13	4.2.1.1(b) B. Paso 1	Para el caso de puentes clasificados dentro de la categoría de rehabilitación sísmica CRS B, ¿se asigna $AVR = 0$?	NA	En este caso la categoría de rehabilitación sísmica corresponde a CRS C, por lo que este criterio no aplica.	NA
5.13	4.2.1.1(b) B. Paso 2	¿Se evalúa la vulnerabilidad de la estructura al asentamiento del relleno del bastión para determinar el valor de AVR?	Sí	A partir del cálculo del asentamiento del relleno se determinó $AVR = 5$.	1
5.13	4.2.1.1(b) B. Paso 3	Para el caso de puentes clasificados dentro de la categoría de rehabilitación sísmica CRS D, ¿se evalúan las condiciones adicionales de vulnerabilidad para determinar el valor de AVR?	NA	En este caso la categoría de rehabilitación sísmica corresponde a CRS C, por lo que este criterio no aplica.	NA



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
H.4. Determinación del índice de vulnerabilidad por licuación, LVR					
5.13	4.2.1.1(b) C. Paso 1	¿Se determina la susceptibilidad de los suelos de cimentación a la licuación?	Sí	Se consideró que el suelo tiene baja susceptibilidad a licuación, supuesto que no fue corroborado como parte del anteproyecto. En la sección 9.2 de la memoria de cálculo se menciona lo siguiente: "Se advierte que la evaluación anterior se efectúa suponiendo que el terreno de apoyo no es susceptible a licuefacción. Este supuesto se deberá corroborar en el futuro y, si se confirmara lo contrario, se propondrán medidas de refuerzo o remedio".	1
5.13	4.2.1.1(b) C. Paso 2	¿Se determina el potencial de daño asociado a la licuación, considerando el coeficiente sísmico para períodos de vibración largos, C_v ?	Sí	Se consideró un potencial de daño bajo, lo cual está asociado al supuesto de baja susceptibilidad de licuación.	1
5.13	4.2.1.1(b) C. Pasos 3, 4, 5, 6	¿Se asigna el valor de LVR asociado a la severidad del daño potencial asociado a licuación?	Sí	Se determinó $LVR = 0$, lo cual está asociado al supuesto de baja susceptibilidad de licuación.	1
5.13	4.2.1.1(b) C. Pasos 3, 4, 5	Para los casos donde el potencial de daño asociado a licuación es moderado, mayor o severo, ¿se revisa si el puente cumple con alguna de las condiciones para reducir o incrementar el valor de LVR asociado a la severidad del daño potencial asociado a licuación?	NA	En la memoria de cálculo se consideró que el potencial de daño es bajo, por lo que este criterio no aplica.	NA
H.5. Determinación del índice de vulnerabilidad para columnas, bastiones y potencial de licuación, V_2					
5.13	4.2.1.1(b)	¿Se determina el índice de vulnerabilidad V_2 como la suma de los índices de los componentes individuales ($CVR + AVR + LVR$)?	Sí	Se determinó $V_2 = 5$, correspondiente a la suma de CVR , AVR y LVR .	1
H.6. Determinación de los índices finales de vulnerabilidad (V), amenaza sísmica (E)					
5.13	4.2.1.1	¿Se determina el índice de vulnerabilidad global V como el mayor valor entre V_1 y V_2 ?	Sí	Se determinó $V = 5$, ya que este corresponde al valor obtenido tanto para V_1 como para V_2 .	1



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
5.13	4.2.1.2	¿Se determina el índice de amenaza sísmica E como 10 veces el coeficiente sísmico para períodos de vibración largos, $E = 10 \cdot C_v$?	Sí	Se determinó $E = 6.05$.	1
5.13	4.2.1	¿Se determina la clasificación del puente por método de índices, R, como el producto de $V \cdot E$?	Sí	Se determinó $R = 30.25$.	1
I. Evaluación detallada del puente (Método C: capacidad/demanda de los componentes)					13 / 21
I.1. Aplicabilidad y restricciones del método					
5.14.5	5.1.1 5.4.3 (1) 5.4.4	¿El método de evaluación detallada seleccionado es apropiado para la categoría de rehabilitación sísmica CRS, la regularidad y complejidad del puente, y el comportamiento esperado del puente ante el sismo de diseño?	Parcialmente	En la memoria de cálculo no se hace referencia a ninguno de los métodos de evaluación detallada que están definidos en los LDSRP y el manual SRMHS. El procedimiento seguido en la sección 5 del anexo 2 de la memoria de cálculo se asemeja al método de evaluación detallada C: "Método capacidad/demanda de los componentes" que se especifica en los LDSRP y en el manual SRMHS, el cual consiste en calcular las relaciones capacidad/demanda para varios elementos del puente. Por lo tanto, se revisó si la información mostrada en la memoria de cálculo cumple con las disposiciones mínimas establecidas en la normativa con respecto a este método.	0,5
5.14.5	5.4.2 5.4.3 (1)	¿Se selecciona un método de análisis de demanda (ULM, MM, TH) apropiado para la regularidad y complejidad del puente?	Sí	El análisis estructural se realizó mediante el uso de software. En apariencia se utilizó un método de análisis dinámico multimodal, lo cual no se dice explícitamente en la memoria.	1



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
I.2. Análisis de demanda para cargas laterales					
5.14.5	5.4.3 (3)	¿Se determina la suma de las fuerzas y desplazamientos laterales asociados a cargas no sísmicas para cada una de las combinaciones de carga de la especificación AASHTO Estándar o especificación AASHTO LRFD?	Parcialmente	En el anexo 2 de la memoria de cálculo se mencionan los siguientes casos de cargas laterales no sísmicas: retracción (SH), acciones térmicas (TU y TG), frenado (BR), fuerza centrífuga (CE) y cargas de viento (WS y WL). Sin embargo, no se muestra con claridad el procedimiento seguido para el cálculo de estas cargas ni la forma en la que fueron aplicadas al modelo, por lo que no fue posible evaluar su conformidad con lo establecido en la normativa.	0,5
2.4 2.5.1 2.5.2	Rigen los LDSRP	¿Se determina el espectro de respuesta del sismo de diseño mediante el procedimiento general o mediante un análisis de amenaza de sitio específico?	Sí	En la memoria de cálculo se hace referencia a un estudio de amenaza sísmica elaborado por María Laporte Pirie con fecha de octubre de 2005, a partir del cual se obtuvo el espectro de respuesta utilizado en el análisis.	1
2.5	Rigen los LDSRP	Para espectros de respuesta del sismo de diseño determinados por medio de un procedimiento específico, ¿se considera el límite inferior de 2/3 del espectro de respuesta desarrollado por medio del procedimiento general?	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya considerado el espectro de diseño del procedimiento general que establecen los Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes de Costa Rica.	0
5.4 5.14.2	Rigen los LDSRP	¿Se modifica el sismo de diseño por el porcentaje correspondiente a la categoría de vida de servicio ASL del puente?	Parcialmente	En la sección 6.2 (1.1.5) de la memoria de cálculo se indica que para la categoría de vida de servicio ASL 2 se permite utilizar un 80% del sismo de diseño, cuando en realidad lo permitido por los Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes de Costa Rica es un 90%. A partir de la información mostrada en el anexo 2 de la memoria de cálculo, dónde se muestran los datos del modelo y el procedimiento de la evaluación estructural del puente, no fue posible identificar cuál fue el porcentaje del sismo de diseño que finalmente se consideró en los cálculos.	0,5



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
5.14.5	5.4.3 (4)	¿Se realiza un análisis elástico para determinar la demanda sísmica en cada uno de los componentes de interés?	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> En la sección 5 del anexo 2 memoria de cálculo (correspondiente al procedimiento de evaluación estructural) no se muestran los resultados obtenidos del análisis de demanda de la estructura ni el procedimiento de cálculo correspondiente, únicamente se muestran las relaciones capacidad/demanda obtenidas para cada elemento. El análisis estructural se realizó mediante el uso de software. En la memoria de cálculo no se menciona de forma explícita cuál fue el programa utilizado. 	0,5
5.14.5	5.4.3 (4)	¿El análisis de demanda refleja la condición anticipada de la estructura y la cimentación al momento del sismo?	Parcialmente	Aunque en la memoria de cálculo se hace referencia a informes de inspección y otros estudios del puente que se realizaron en el pasado, no está claro si la condición del puente reportada en estos informes fue tomada en cuenta en el análisis de demanda de la estructura. Cabe mencionar que no se realizó una inspección de la estructura específicamente como parte de la etapa de anteproyecto, pero sí se dan recomendaciones con respecto al alcance de las inspecciones que deberán realizarse en el futuro como parte de la etapa de diseño final de la rehabilitación.	0,5
I.3. Estimación de capacidad y relaciones capacidad/demanda					
5.14.5	5.4.3 (2)	¿Se determina la capacidad de los componentes relevantes del puente que fueron considerados en la evaluación estructural?	Parcialmente	En la memoria de cálculo no se muestra el procedimiento de cálculo de la capacidad de los diferentes elementos de la estructura, ni se muestran los resultados obtenidos de la estimación de capacidad. En la sección 5 del anexo 2 de la memoria (correspondiente al procedimiento de evaluación estructural) únicamente se muestran las relaciones capacidad/demanda obtenidas para cada elemento y se mencionan algunos supuestos considerados, pero sin mostrar el procedimiento de cálculo correspondiente.	0,5



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
5.14.5	5.4.3 (5) Apéndice D	¿Se determina la relación capacidad/demanda de los componentes relevantes del puente que fueron considerados en la evaluación estructural?	Parcialmente	Se muestran las relaciones capacidad/demanda obtenidas para varios elementos del puente asociadas a acciones sísmicas. Sin embargo, no se muestra el procedimiento de cálculo correspondiente. No existe evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se hayan seguido los diferentes procedimientos establecidos en la Sección 5.4 y el Apéndice D del manual SRMHS.	0,5
5.12 5.14.5	5.4.1 1.11	¿La evaluación estructural consideró todos los componentes requeridos según la categoría de rehabilitación sísmica CRS? Específicamente:			
5.12 5.14.5	D.3 D.4.2	a. Longitud de asiento (CRS B, C o D)	Parcialmente	La longitud de asiento se evaluó únicamente como parte del diagnóstico preliminar por medio del método de índices. A partir de esta revisión se determinó que el puente no es vulnerable al colapso o pérdida de acceso debido a movimiento longitudinal excesivo, sin embargo, los parámetros que fueron considerados en el cálculo de la longitud de asiento mínima requerida parecen no coincidir con las definiciones establecidas en el manual SRMHS.	0,5
5.12 5.14.5	D.2 D.4.3	b. Fuerzas de conexión (CRS B, C o D)	Sí	Se muestran las relaciones capacidad/demanda ante acciones horizontales para las siguientes conexiones: <ul style="list-style-type: none"> Las conexiones pila-tablero, siendo menores a 1 las relaciones obtenidas para las pilas B y D (pilas de menor altura). La articulación en la unión entre la base de la columna y la placa de cimentación de la pila D, siendo menores a 1 las relaciones obtenidas para flexión y para cortante. Los pernos de anclaje de los apoyos dispuestos en bastiones, siendo menores a 1 las relaciones obtenidas para ambos tipos de apoyo (apoyos fijos y apoyos móviles). 	1



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
		c. Columnas y muros (CRS C o D):			
5.12 5.14.5	D.5 Pasos 1, 2, 3	c.1. Momento en columnas	Sí	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para los siguientes casos: · Flexión biaxial en las columnas de las pilas, siendo menores a 1 las relaciones obtenidas para las pilas B y D (pilas de menor altura). · Flexión en sentido longitudinal en las columnas de los bastiones, siendo menor a 1 la relación obtenida para el bastión A (bastión con apoyos fijos, lado de San Ramón).	1
5.12 5.14.5	D.5.1	c.2. Longitud de anclaje	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado la longitud de anclaje del acero de refuerzo de las columnas hacia los elementos adyacentes, ni se incluye una justificación al respecto.	0
5.12 5.14.5	D.5.2	c.3. Resistencia de empalmes por traslape	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado la resistencia de los empalmes por traslape en el acero de refuerzo de las columnas, ni se incluye una justificación al respecto.	0
5.12 5.14.5	D.5.3	c.4. Cortante en columnas	Sí	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para los siguientes casos: · Fuerza cortante en las columnas de las pilas, siendo todas satisfactorias. · Fuerza cortante en sentido longitudinal en las columnas de los bastiones, siendo menor a 1 la relación obtenida para el bastión A (bastión con apoyos fijos, lado de San Ramón).	1
5.12 5.14.5	D.5.4	c.5. Acero de confinamiento	No	No hay evidencia dentro de la memoria de cálculo de que se haya revisado el acero de refuerzo transversal de confinamiento de las columnas, ni se incluye una justificación al respecto.	0



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
		d. Cimentaciones (CRS C o D):			
5.12 5.14.5	D.5 Pasos 1, 2, 3	d.1. Momento en cimentación	Sí	<ul style="list-style-type: none"> · Se muestran las relaciones capacidad/demanda para flexión y cortante en sentido longitudinal en las cimentaciones de las pilas, siendo todas satisfactorias. · En la memoria de cálculo se menciona que se comprobaron las relaciones capacidad/demanda para flexión y cortante en las cimentaciones de los bastiones y que estas fueron satisfactorias, sin embargo, no se muestra cuáles fueron los valores obtenidos. 	1
5.12 5.14.5	D.5.5	d.2. Rotación de cimentación	Sí	<p>Se muestran las relaciones capacidad/demanda para los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Deslizamiento y vuelco en las cimentaciones de las pilas, siendo todas satisfactorias. · Deslizamiento y vuelco en las cimentaciones de los bastiones, siendo menores a 1 las relaciones obtenidas para ambos aspectos en ambos bastiones. 	1
5.12 5.14.5	D.6	e. Desplazamiento en bastiones (CRS C o D)	Sí	Se muestran las relaciones capacidad/demanda para deslizamiento en las cimentaciones de los bastiones, siendo menores a 1 las relaciones obtenidas para ambos bastiones.	1
5.12 5.14.5	D.7	f. Potencial de licuación (CRS B, C o D)	Sí	No se consideró la licuación de suelos en el análisis. Como justificación, en la sección 9.2 de la memoria de cálculo se menciona lo siguiente: <i>"Se advierte que la evaluación anterior se efectúa suponiendo que el terreno de apoyo no es susceptible a licuefacción. Este supuesto se deberá corroborar en el futuro y, si se confirmara lo contrario, se propondrán medidas de refuerzo o remedio"</i> .	1



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
J. Selección de la estrategia de rehabilitación y diseño de las medidas de rehabilitación					4 / 6
5.1 5.2	5.4.3 (5)	¿Se proponen medidas de rehabilitación que incrementan la capacidad de desplazamiento, resistencia o ductilidad de los componentes del puente para los que se obtuvo una relación capacidad/demanda menor a 1, y estas son consistentes con los resultados obtenidos de la evaluación detallada? Específicamente:			
5.1 5.2	8.4	a. Longitud de asiento (CRS B, C o D)	NA	La longitud de asiento se había considerado satisfactoria, por lo que no se proponen medidas al respecto. Sin embargo, es importante revisar el cálculo de la longitud de asiento mínima requerida, ya que los parámetros que fueron considerados en el cálculo parecen no coincidir con las definiciones establecidas en el manual de la FHWA.	NA
5.1 5.2	8.2 8.3	b. Fuerzas de conexión (CRS B, C o D)	Sí	<ul style="list-style-type: none"> · Se plantea una inspección detallada de las conexiones pila-tablero para determinar la gravedad del deterioro en esa zona, y con ello determinar si se requieren o no medidas de rehabilitación. · Se plantea la eliminación de la articulación en la unión entre la base de la columna y la placa de cimentación de la pila D para resolver la insuficiencia ante acciones sísmicas transversales. · Se plantea la disposición de topes sísmicos en ambos bastiones para resolver la insuficiencia en la capacidad de los anclajes de los apoyos. 	1
5.1 5.2	9.2 9.3	c. Columnas y muros (CRS C o D)	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> · Se plantea el recrecido en la base del fuste de todas las pilas para resolver la insuficiencia en la resistencia a flexión. · Aunque en la memoria se plantea anclar el bastión fijo al terreno para asegurar las comprobaciones de estabilidad, la información mostrada en la memoria de cálculo no es clara con respecto a si esta medida también solventaría la insuficiencia del bastión ante los efectos de flexión y cortante producidos por la acción sísmica longitudinal. 	0,5



Cuadro B.1 (cont.). Revisión del procedimiento de diagnóstico preliminar y evaluación detallada del puente existente sobre el río Rosales para cargas sísmicas, según la normativa: LDSRP (CFIA, 2013) y el manual SRMHS (FHWA, 2006).

Art. LDSRP	Art. SRMHS	Criterio	Cumplimiento	Comentarios	Puntaje obtenido
5.1 5.2	10.3 10.4	d. Cimentaciones (CRS C o D)	Parcialmente	<ul style="list-style-type: none"> Se plantea anclar el bastión fijo al terreno para asegurar las comprobaciones de deslizamiento y vuelco. Erróneamente se indica que el bastión fijo corresponde al bastión Este (lado San José), ya que en realidad corresponde al bastión Oeste (lado de San Ramón). No se plantean medidas de rehabilitación con respecto al bastión con apoyos móviles, a pesar de que para este bastión también se obtuvieron relaciones capacidad/demanda menores a 1 en las comprobaciones de deslizamiento y vuelco. 	0,5
5.1 5.2	10.2	e. Desplazamiento en bastiones (CRS C o D)	Sí	Se plantea anclar el bastión fijo al terreno para asegurar las comprobaciones de deslizamiento y vuelco. Erróneamente se indica que el bastión fijo corresponde al bastión Este (lado San José), ya que en realidad corresponde al bastión Oeste (lado de San Ramón).	1
5.1 5.2	11.4	f. Licuación (CRS B, C o D)	NA	No se consideró la licuación de suelos en el análisis. Como justificación, en la sección 9.2 de la memoria de cálculo se menciona lo siguiente: "Se advierte que la evaluación anterior se efectúa suponiendo que el terreno de apoyo no es susceptible a licuefacción. Este supuesto se deberá corroborar en el futuro y, si se confirmara lo contrario, se propondrán medidas de refuerzo o remedio". Es importante que se evalúe el potencial de licuación como parte de la etapa del diseño final de la rehabilitación.	NA
3.2	Rigen los LDSRP	¿Se define la estrategia de diseño sismorresistente (Tipo 1, 2 o 3) considerada para el diseño de las medidas de rehabilitación del puente?	Sí	Se consideró una estrategia de diseño sismorresistente Tipo 1: subestructura dúctil con superestructura esencialmente elástica.	1
5.1 5.2	Capítulos 8, 9, 10, 11	¿Se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para cada componente específico?	No	No se muestra el procedimiento de diseño de las medidas de rehabilitación propuestas para cada componente específico, ni se demuestra de forma numérica que las medidas propuestas cumplen con las especificaciones actuales de diseño sismorresistente.	0
Puntaje total obtenido:					36 / 49