



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

Informe: EIC-Lanamme-INF-0587-2024

INFORME DE INSPECCIÓN ESPECIAL

PUENTE SOBRE EL RÍO TEMPISQUE RUTA NACIONAL N.º 21



Preparado por:
Unidad de Puentes
Programa de Ingeniería Estructural



San José, Costa Rica
18 de abril de 2024



Página intencionalmente dejada en blanco



1. Informe: EIC-Lanamme-INF-0587-2024		2. Versión n.º 1
3. Título y subtítulo: INFORME DE INSPECCIÓN ESPECIAL PUENTE SOBRE EL RÍO TEMPISQUE RUTA NACIONAL N.º 21		4. Fecha del Informe 18 de abril de 2024
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		
6. Palabras clave Puentes red vial nacional, Informe de inspección especial, EIC-Lanamme-INF-0587-2024 Ruta Nacional n.º 21, Puente río Tempisque, Unidad de Puentes.		
7. Información general Este informe de <i>inspección especial</i> del puente sobre el río Tempisque en la Ruta Nacional n.º 21 es un producto de las inspecciones de puentes existentes que realiza la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural – LanammeUCR. Este informe se realiza, en el marco de las competencias asignadas al LanammeUCR según se indica en el artículo 6 de la Ley n.º 8114. Esta inspección se desarrolló de acuerdo con el alcance de acreditación n.º OI-045, alcance disponible en www.eca.or.cr . Este informe de inspección de puentes tiene validez únicamente en su forma íntegra y original. No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización del director del LanammeUCR. La firma n.º 11 no se encuentra dentro del proceso de acreditación.		
8. Inspección e informe por: Inspector nivel 2 - Unidad de Puentes	9. Inspección y revisión por: Inspector nivel 3 - Unidad de Puentes	10. Revisado y aprobado por: Coordinador Unidad de Puentes y del Programa de Ingeniería Estructural
11. Revisión legal por: Asesor Legal LanammeUCR		



Página intencionalmente dejada en blanco



RESUMEN EJECUTIVO

Este informe presenta la inspección especial del puente sobre el río Tempisque, ubicado en el kilómetro 18,008 de la Ruta Nacional n.º 21.

Durante la inspección, se observaron deficiencias en condición Alarmante (5). Lo anterior, corresponde a que la estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en varios elementos estructurales primarios del puente específicamente, ya que se detectó que el puente presenta inclinación en los apoyos del bastión n.º.1, así como grietas en una y dos direcciones, en conjunto con áreas reparadas deterioradas en el tablero de concreto reforzado (ver tablas 5.1 a la 5.6).

Con base en los resultados obtenidos de la inspección, se recomienda incluir la estructura en un programa de atención que incluya actividades de rehabilitación (ver tablas 8.1 a la 8.4).

Previo a la ejecución de los trabajos se deben valorar los escenarios de costos al usuario que implicarían el cierre parcial y total del paso en el puente. Se determinó que el costo total para los usuarios de un cierre parcial del puente (utilizando un puente temporal de una vía) asciende a ₡ 1 983 millones y el de un cierre total del puente asciende a ₡ 22 709 millones (\$ 3,81 millones y \$ 43,67 millones respectivamente). Dichas cifras evidencian el alto costo que tiene para la economía del país la intervención de este puente en particular, sin considerar la afectación al comercio y al turismo, por lo cual se debe procurar que se seleccione aquella que provea la mejor relación costo/beneficio.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-INF-0587-2024

Código: RC-471 – Vers.: 04 - vigente desde 15/12/2021

Página 6 / 50

Página intencionalmente dejada en blanco



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
3. ALCANCE DEL INFORME	12
4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PUENTE	14
5. PRINCIPALES OBSERVACIONES DE LA INSPECCIÓN ESPECIAL	19
5.1. DEFICIENCIAS EN EL ELEMENTO: JUNTAS DE EXPANSIÓN, DEL COMPONENTE: ACCESORIOS [100].....	19
5.2. DEFICIENCIAS EN EL ELEMENTO: SUPERFICIE DE DESGASTE DEL PUENTE, DEL COMPONENTE: ACCESORIOS [100]	20
5.3. DEFICIENCIAS EN EL ELEMENTO: TABLERO, DEL COMPONENTE: SUPERESTRUCTURA [400].....	21
5.4. DEFICIENCIAS EN EL ELEMENTO: ELEMENTOS PRINCIPALES, DEL COMPONENTE: SUPERESTRUCTURA (CERCHA DE ACERO) [410].....	23
5.5. DEFICIENCIAS EN EL ELEMENTO: APOYOS, DEL COMPONENTE: SUBESTRUCTURA [500].....	24
5.6. DEFICIENCIAS EN EL ELEMENTO: SISTEMAS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA, DEL COMPONENTE: SISTEMAS DE PROTECCIÓN [600].....	25
6. OBSERVACIONES RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL PUENTE.....	26
7. CONCLUSIONES.....	29
8. RECOMENDACIONES	31
8.1. RECOMENDACIONES INMEDIATAS:.....	31
8.2. EN EL MEDIANO PLAZO:.....	33
9. REFERENCIAS.....	34



ANEXO 1 GLOSARIO	37
ANEXO 2 CRITERIOS PARA CALIFICAR LA CONDICIÓN DE LOS ELEMENTOS EVALUADOS EN EL PUENTE.....	43
ANEXO 3 CRITERIO DE ANÁLISIS HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO DE LOS PUENTES SOBRE EL RIO TEMPISQUE, EN RUTA NACIONAL N°.21	47
ANEXO 4 CÁLCULO DE COSTOS AL USUARIO POR CIERRE PARCIAL Y TOTAL DEL PUENTE SOBRE EL RÍO TEMPISQUE, EN RUTA NACIONAL N°.21	49



1. INTRODUCCIÓN

Este informe de inspección especial del puente sobre el río Tempisque en la Ruta Nacional n.º 21, es un producto de las inspecciones de puentes en servicio que realiza la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural – Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) y se realiza en el marco de las competencias asignadas al LanammeUCR según el artículo 6 de la Ley n.º 8114.

Con respecto a la facultad que posee el LanammeUCR para realizar evaluación de los puentes colocados en las vías nacionales, el inciso d) del artículo 6 de la Ley 8114 establece:

“Artículo 6º-Fiscalización para garantizar la calidad de la red vial nacional. Para lograr la eficiencia de la inversión pública, la Universidad de Costa Rica podrá celebrar convenios con el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) a fin de realizar, por intermedio de su Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, las siguientes tareas:

(...) c) Evaluación bienal de toda la red nacional pavimentada (...).”

A su vez, el artículo 6 del Reglamento específico al artículo 6 de la Ley 8114, Decreto Ejecutivo No. 37016, emitido por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), señala:

“Artículo 6.- Consideraciones para la auscultación y diagnóstico de puentes.

La evaluación de los puentes de la Red Vial Nacional Pavimentada responderá a una programación anual desarrollada por el LanammeUCR, de acuerdo con su capacidad instalada y tomando en consideración la lista de priorización que se generará en forma conjunta entre el LanammeUCR, CONAVI y MOPT a través de las Direcciones de Planificación Sectorial y de Puentes. La priorización se llevará a cabo con base en criterios técnicos sobre el tipo de estructura e importancia de las rutas, entre otros.”

En el caso de puentes que exhiben daños significativos y que ameriten una intervención inmediata, la Unidad de Puentes realiza una inspección especial con el fin de informar sobre



los daños observados que pongan en peligro la seguridad de los usuarios y la continuidad del servicio público.

La inspección especial se realizó con base en la norma técnica “Manual de Puentes de Costa Rica 2020 Tomo I (MP-2020)” que la Unidad utiliza con el fin de cumplir con las responsabilidades legales que le han sido encomendadas.

En dicho Manual, en el punto “vi” de la sección 3.2, se define la Inspección Especial de la siguiente forma:

“Es una inspección no programada que se realiza a discreción de la Organización, para monitorear deficiencias conocidas, confirmar sospechas o notificaciones de daños, o para monitorear detalles especiales o características inusuales de un puente que no necesariamente tiene defectos. En algunas ocasiones se realiza porque personas ajenas a la Organización, notifican sobre alguna irregularidad observada en la estructura de puente. La Inspección especial es realizada por un(a) Inspector(a) Nivel III junto con otro(a) ya sea Inspector(a) Nivel I, Inspector(a) Nivel II o Inspector(a) Nivel III, o un(a) experto(a) en el uso de algún equipo o método en particular.”

La inspección especial del puente se llevó a cabo el día 22 de febrero del 2024, esto a raíz de una solicitud hacia el director del LanammeUCR por parte de la diputada Melina Ajoy Palma. Adicionalmente, la necesidad también surge producto de que el día 19 de febrero del 2024, mediante una publicación en redes sociales, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) anunció el inicio de los trabajos de rehabilitación en el puente La Amistad sobre el río Tempisque, ubicado en la ruta nacional n°.18. En dicha publicación se indica que el puente permanecerá cerrado del 1 de abril hasta el 24 de julio del 2024. Esta situación, implica que el tránsito vehicular que circula en el puente La Amistad tendrá que desviarse hacia rutas alternas. Siendo que, una de las principales rutas que absorberá dicho impacto vial corresponde precisamente a la ruta nacional n°.21.



2. OBJETIVOS

El objetivo general es realizar una calificación de la condición de los elementos y componentes del puente considerando las principales deficiencias identificadas, con el fin de que este sea incluido en un programa de intervención.

Los objetivos específicos son:

- a) Describir de manera general el puente con base en la información de inventario disponible.
- b) Identificar, presentar y analizar las principales deficiencias, encontradas a partir de la visita al sitio, en distintos elementos del puente según se enlistan en el alcance de este informe.
- c) Realizar observaciones acerca de la gestión del puente.
- d) Proporcionar recomendaciones generales en el corto y mediano plazo, para la intervención de los elementos con deficiencias en el puente evaluado, con base en su calificación de la condición.



3. ALCANCE DEL INFORME

Este informe de *inspección especial* en el puente sobre el río Tempisque en la Ruta Nacional n.º 21 se realizó a partir de una inspección visual en sitio de todos los elementos accesibles del puente. La inspección especial realizada por la Unidad de Puentes se desarrolló de acuerdo con el alcance de acreditación n.º OI-045, alcance disponible en www.eca.or.cr. En el presente informe se presentan las principales deficiencias encontradas en los siguientes elementos:

- Elementos pertenecientes al componente Accesorios:
 - Juntas de expansión.
 - Superficie de desgaste del puente.
- Elementos pertenecientes al componente Superestructura:
 - Tablero.
 - Elementos principales.
- Elementos pertenecientes al componente Subestructura:
 - Apoyos.
- Elementos pertenecientes al componente Sistemas de protección:
 - Sistemas de protección hidráulica.

El informe contempla la revisión de información relevante incluida en los planos de diseño disponibles del puente, (MOPT, 1975). La validez de los planos fue verificada por medio de comparación entre mediciones directas e indirectas, realizadas en sitio, de algunos elementos del puente y la dimensión reportada en planos de dichos elementos. También se dispuso de los formularios de inspección de inventario e inspección rutinaria (SAEP, 2023) del Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP), así como de un Informe que recopila las deficiencias que posee actualmente el puente titulado “Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta nacional No. 21” (Camacho y Mora, 2021).

Se destaca que, de manera adicional a las labores realizadas de inspección enfocadas a nivel estructural, en el presente informe se brinda un criterio técnico sobre la situación hidrológica e



hidráulica actual del puente. Esto se debe a que la Unidad de Puentes del LanammeUCR tiene conocimiento de que el río Tempisque en la ruta nacional n°.21 ha experimentado crecidas de caudal, las cuales han sido lo suficientemente grandes para rebalsar el nivel inferior de los elementos de la superestructura del puente antiguo y del puente de paso principal de la Ruta Nacional n.º 21. El criterio técnico que se brinda con respecto a la situación hidrológica e hidráulica del puente y las recomendaciones se incluyen en el Anexo 3 del presente informe, que no se encuentran dentro del alcance de acreditación.



4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PUENTE

En esta sección se recopila la siguiente información del puente inspeccionado: características generales del puente y de la ruta en la que se ubica (Ver Tabla 4.1), ubicación geográfica (ver Figura 4.1), vista desde línea centro y vista lateral (ver Figura 4.2 y Figura 4.3 respectivamente) e identificación utilizada para elementos del puente en vista en planta y vista en elevación (ver Figura 4.4).

Tabla 4.1. Características generales del puente y de la ruta en la que se ubica

Adaptado de: SAEP (2023).

Ubicación	Provincia, Cantón, Distrito	Guanacaste, Liberia, Nacascolo
	Coordenadas (WGS84)	10°33'43.77" de latitud / 85°35'26.52"O de longitud
	Río que cruza	Río Tempisque
Ruta Nacional en la que se ubica el puente	Número de ruta	21
	Kilómetro de ubicación	18,008
	Tipo de ruta	Primaria
	Sección de control	50082



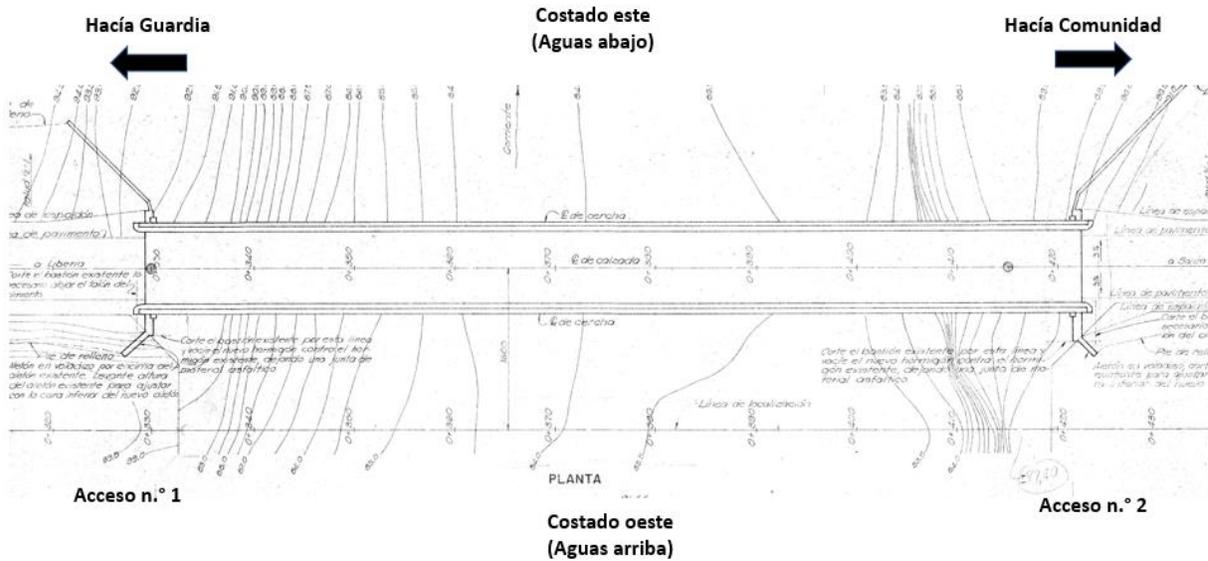
Figura 4.1. Ubicación geográfica del puente
Adaptado de: Open Street Maps, (2024)



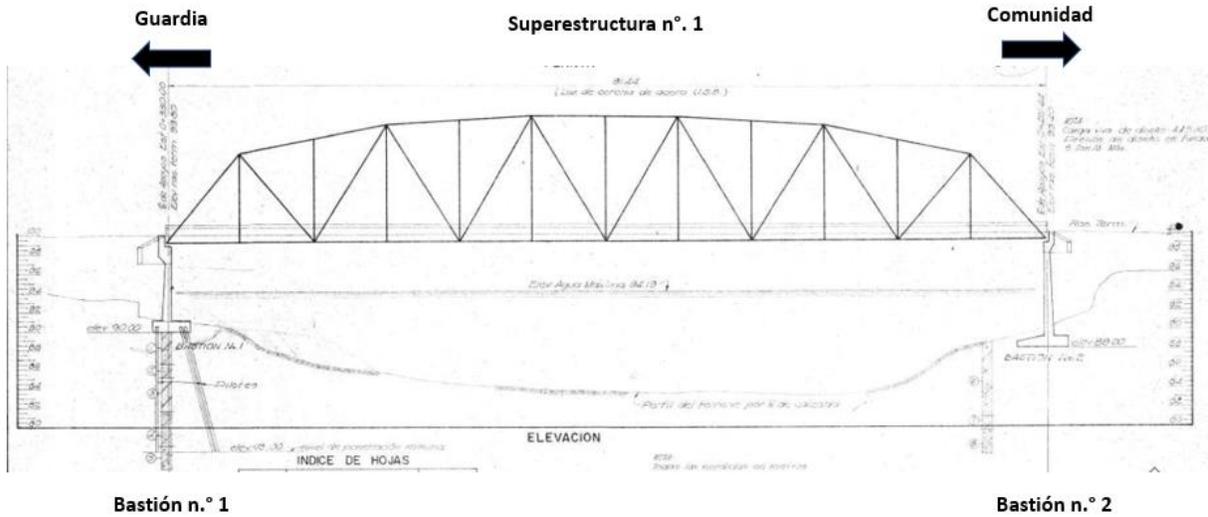
Figura 4.2. Vista a lo largo de la línea de centro del puente hacia Comunidad



Figura 4.3. Vista lateral del costado aguas arriba del puente



(a) Vista en planta



(b) Vista en elevación

Figura 4.4. Identificación utilizada para el puente, la cual coincide con lo indicado en la herramienta (SAEP)

Adaptado de: MOPT (1975)



Tabla 4.2. Características generales del puente

Adaptado de: MOPT (1975).

Geometría	Tipo de estructura	Puente			
	Longitud total entre línea de centro de apoyos (m)	91,44			
	Ancho total (m)	9,09			
	Ancho de calzada (m)	7,10			
	Número de tramos	1			
	Alineación del puente	Recto			
	Número de carriles	2 (1 por sentido de circulación)			
Superestructura	Número de superestructuras	1			
	Tipo de superestructura (elementos principales)	Superestructura n.º 1, tipo cercha de paso inferior con elementos principales de acero			
	Tipo de tablero	Concreto reforzado			
Subestructura	Número de bastiones y pilas	2 bastiones			
	Tipo de bastiones	Bastión n.º 1, tipo muro en voladizo de concreto reforzado Bastión n.º 2, tipo muro en voladizo de concreto reforzado			
	Tipo de pilas	No aplica			
	Tipo de apoyo en bastiones	Bastión n.º 1: apoyo móvil Bastión n.º 2: apoyo fijo			
	Tipo de apoyo en pilas	No aplica			
	Tipo de cimentación	Bastión n.º 1: superficial Bastión n.º 2: profunda			
Diseño y construcción	Planos disponibles	<input checked="" type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> De diseño (MOPT, 1975)	<input checked="" type="checkbox"/> Completos <input type="checkbox"/> Incompletos	<input type="checkbox"/> No
			<input checked="" type="checkbox"/> Levantamiento de obra actual (Camacho y Mora, 2020)	<input checked="" type="checkbox"/> Completos <input type="checkbox"/> Incompletos	
			<input checked="" type="checkbox"/> De rehabilitación (Camacho y Mora, 2021)	<input checked="" type="checkbox"/> Completos <input type="checkbox"/> Incompletos	
	Año de diseño	1975			
	Año de construcción	1986 - 1990			
	Especificación de diseño original	Especificaciones Estándar para Puentes de Carreteras AASHTO 1969			
Carga viva de diseño original	HS 15-44				
Rehabilitación	Año de diseño de rehabilitación	2022			
	Año de ejecución de la rehabilitación	No se ha realizado			
	Especificación de diseño de la rehabilitación	AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th Edition, 2016			
	Carga viva de rehabilitación	HL-93			



5. PRINCIPALES OBSERVACIONES DE LA INSPECCIÓN ESPECIAL

5.1. Deficiencias en el elemento: Juntas de expansión, del componente: Accesorios [100]

En la Tabla 5.1, se presentan las deficiencias observadas en el elemento: Juntas de expansión, del componente: Accesorios [100].

Tabla 5.1 Deficiencias identificadas en el elemento: Juntas de expansión, del componente: Accesorios [100]

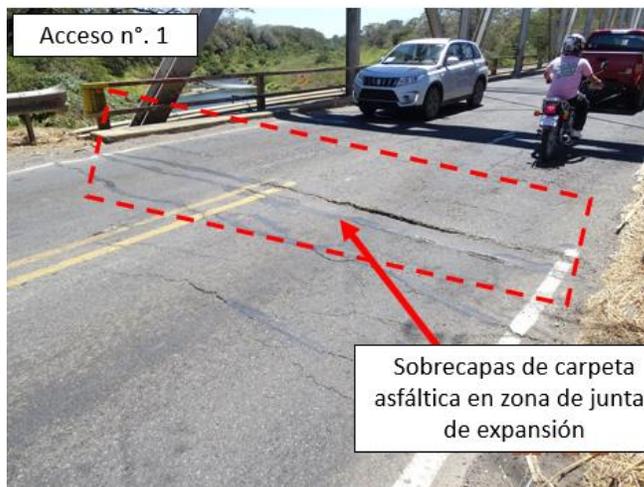
Elemento	Deficiencia o aspecto evaluado	Calificación de la condición debida a la deficiencia
Junta de expansión	Obstrucción	Deficiente (4)

Observaciones

El 100 % de las juntas n.º 1 y n.º 2 se encontraban cubiertas con sobrecapas de asfalto, lo que ha conllevado a la generación de agrietamientos en la superficie producto de un inadecuado funcionamiento.

Esta deficiencia puede afectar la durabilidad de los elementos circundantes.

Evidencia fotográfica





5.2. Deficiencias en el elemento: Superficie de desgaste del puente, del componente: Accesorios [100]

En la Tabla 5.2, se presentan las deficiencias observadas en el elemento: Superficie de desgaste del puente, del componente: Accesorios [100].

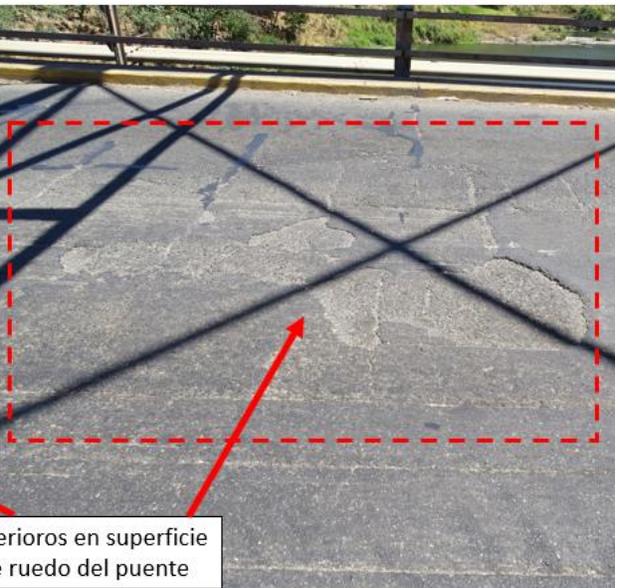
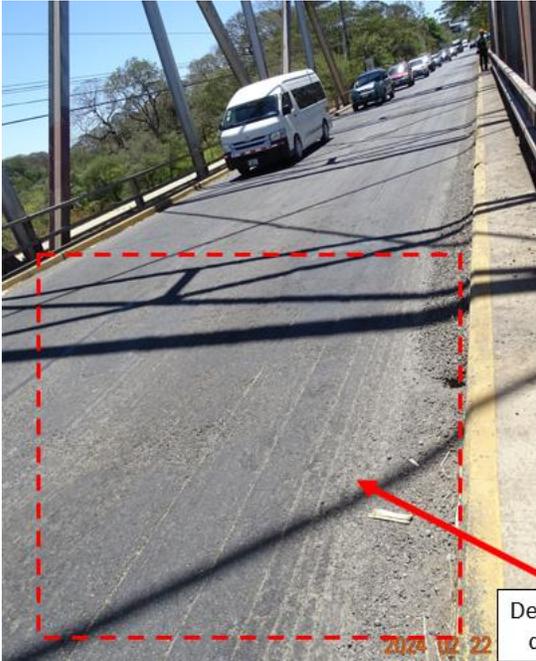
Tabla 5.2 Deficiencias identificadas en el elemento: Superficie de desgaste del puente, del componente: Accesorios [100]

Elemento	Deficiencia o aspecto evaluado	Calificación de la condición debida a la deficiencia
Superficie de desgaste del puente	Deterioro general	Deficiente (4)

Observaciones

Deterioro significativo con baches, deformaciones, surcos, agrietamiento y desprendimientos de la superficie de ruedo en el puente. Se destaca esta deficiencia dado el posible aumento de tránsito vehicular en la zona ante el inminente cierre de paso vehicular del puente La Amistad en Ruta nacional n.º18.

Evidencia fotográfica



Deterioros en superficie de ruedo del puente



5.3. Deficiencias en el elemento: Tablero, del componente: Superestructura [400]

En la Tabla 5.3, se presentan las deficiencias observadas en el elemento: Tablero del componente: Superestructura.

Tabla 5.3 Deficiencias identificadas en el elemento: Tablero del componente: Superestructura.

Elemento	Deficiencia o aspecto evaluado	Calificación de la condición debida a la deficiencia
Tablero	Grietas en una y dos direcciones Desprendimientos	Alarmante (5)

Observación n°.1

En aproximadamente el 50 % del tablero de concreto reforzado de la superestructura se observaron grietas en una y dos direcciones con anchos mayores a 1,0 mm. Adicionalmente, en aproximadamente el 50 % del tablero de concreto reforzado de la superestructura se observaron grietas en una y dos direcciones de ancho moderado (entre 0,3 mm y 1,0 mm) sin sellar con espaciamiento entre 0,3 m y 0,9 m.

Estas deficiencias pueden llegar a afectar la capacidad de carga del puente.

Evidencia fotográfica



Grietas en una y dos direcciones en sector inferior del tablero



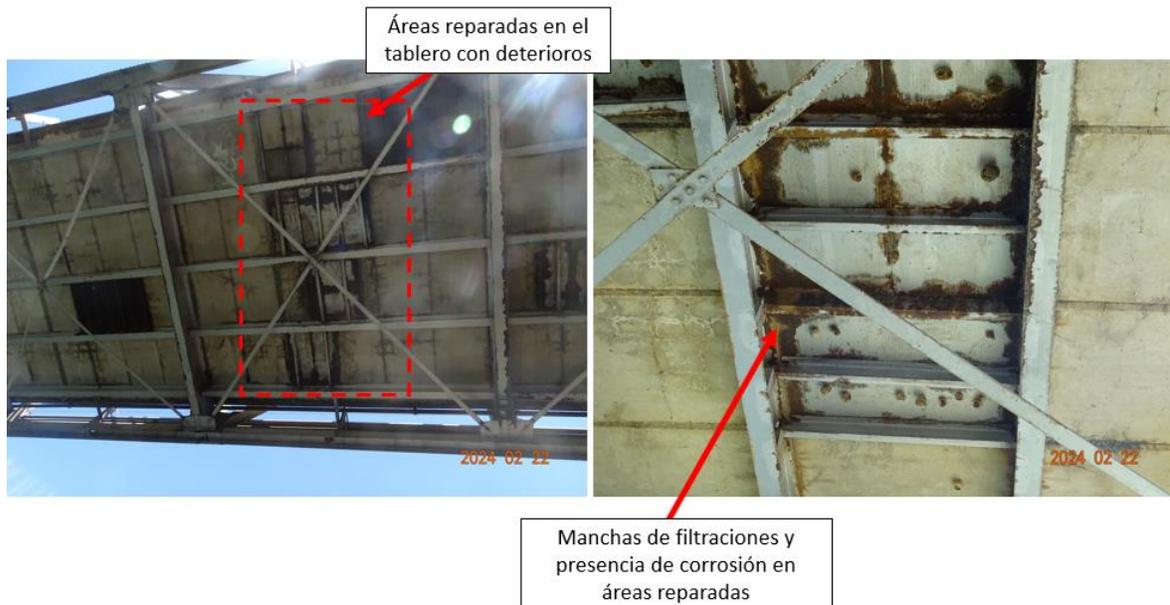
Tabla 5.3 Deficiencias identificadas en el elemento: Tablero del componente:
Superestructura (Cont.)

Observación n°.2

En aproximadamente el 20 % del tablero de concreto reforzado de la superestructura se observaron áreas con reparaciones. Dado que los elementos utilizados como obra temporal (formaleta) presentan deterioros (manchas de filtraciones y presencia de corrosión) es razonable considerar que el tablero en dichas zonas presenta grietas que permiten el paso del agua.

Estas deficiencias pueden llegar a afectar la capacidad de carga del puente.

Evidencia fotográfica





5.4. Deficiencias en el elemento: Elementos principales, del componente: Superestructura (Cercha de acero) [410]

En la Tabla 5.4, se presentan las deficiencias observadas en el elemento: Elementos principales, del componente: Superestructura (Cercha de acero) [410].

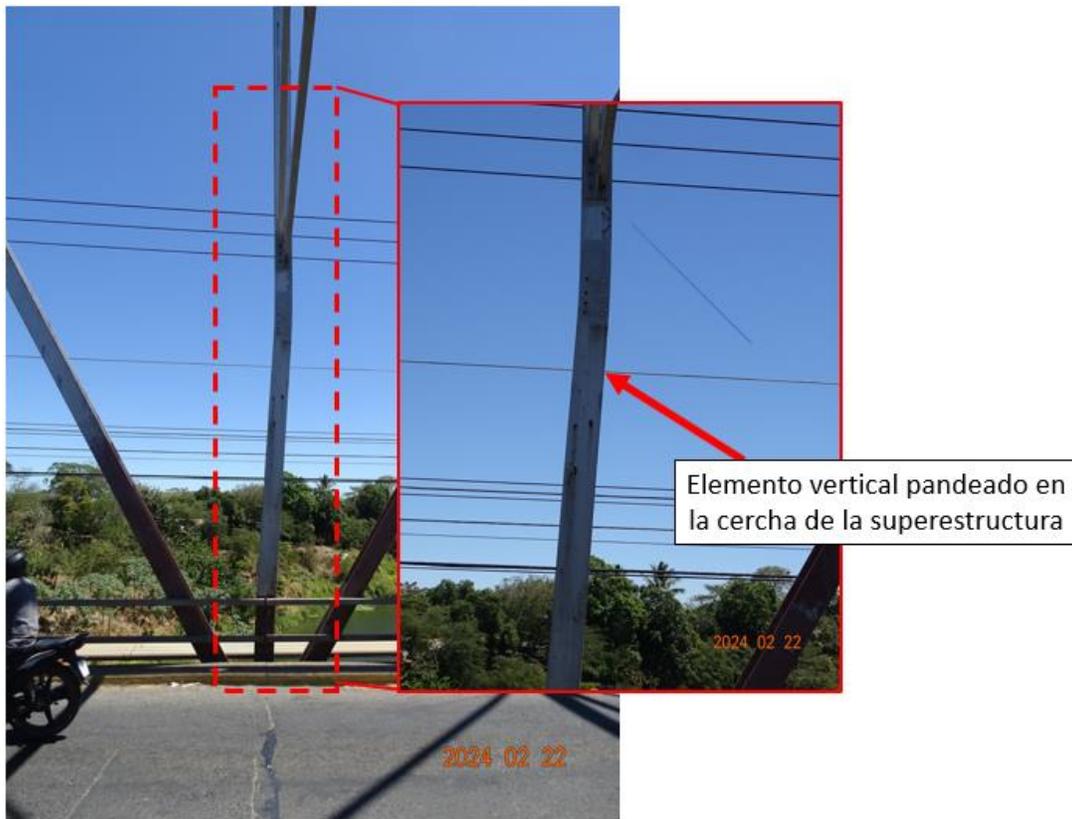
Tabla 5.4 Deficiencias identificadas en el elemento: Elementos principales, del componente: Superestructura (Cercha de acero) [410].

Elemento	Deficiencia o aspecto evaluado	Calificación de la condición debida a la deficiencia
Elementos principales	Deformación	Deficiente (4)

Observaciones

Se detectaron dos elementos verticales (10% de la totalidad) de la cercha de la superestructura, los cuales se encuentran pandeados, producto de impactos en dichos elementos. Esta deficiencia puede llegar a afectar la capacidad de carga del puente.

Evidencia fotográfica





5.5. Deficiencias en el elemento: Apoyos, del componente: Subestructura [500]

En la Tabla 5.5, se presentan las deficiencias observadas en el elemento: Apoyos, del componente: Subestructura.

Tabla 5.5 Deficiencias identificadas en el elemento: Apoyos, del componente:
Subestructura.

Elemento	Deficiencia o aspecto evaluado	Calificación de la condición debida a la deficiencia
Apoyos	Alineamiento	Alarmante (5)

Observaciones

Los dos apoyos móviles del bastión n.º1 han excedido los límites de expansión del apoyo, lo que ha provocado que estos se encuentren totalmente inclinados.

Esta deficiencia puede llegar a afectar la durabilidad de los elementos, e inclusive, si no llegan a atenderse oportunamente, afectar la estabilidad estructural del puente.

Evidencia fotográfica





5.6. Deficiencias en el elemento: Sistemas de protección hidráulica, del componente: Sistemas de protección [600]

En la Tabla 5.6, se presentan las deficiencias observadas en el elemento: Sistemas de protección hidráulica, del componente: Sistemas de protección [600].

Tabla 5.6 Deficiencias identificadas en el elemento: Sistemas de protección hidráulica, del componente: Sistemas de protección [600].

Elemento	Deficiencia o aspecto evaluado	Calificación de la condición debida a la deficiencia
Sistemas de protección hidráulica	Desbordamiento	Deficiente (4)

Observaciones

Es de conocimiento por parte de la Unidad de Puentes del LanammeUCR que el río Tempisque, que pasa bajo el puente, ha experimentado crecidas de caudal lo suficientemente grandes que han logrado rebalsar el nivel inferior de los elementos de la superestructura de los puentes (Ver Evidencia Fotográfica). A partir del análisis hidráulico e hidrológico, el cual se adjunta en el anexo 3 del presente informe, se determinó que esta deficiencia puede afectar la durabilidad de los elementos, e inclusive, si no llegan a atenderse oportunamente, afectar la integridad estructural del puente.

Evidencia fotográfica



Crecida del cuerpo de agua en el puente sobre el río Tempisque, en ruta nacional n.º 21

Adaptado de: Sociedad para la Cooperación Internacional Alemana (2020)



6. OBSERVACIONES RELACIONADAS CON LA GESTIÓN DEL PUENTE

En la Tabla 6.1 se mencionan otros aspectos, distintos a las deficiencias identificadas a través de la inspección especial realizada, relacionados con la gestión del puente.

Tabla 6.1 Aspectos identificados relacionados con la gestión del puente desde su puesta en funcionamiento

Aspecto identificado de gestión n°.1
Diseño de rehabilitación del puente sobre el río Tempisque, en ruta nacional n°.21
Observaciones
<p>En marzo de 2020, el CONAVI contrató a la empresa Camacho y Mora S.A. para llevar a cabo un estudio en el puente, esto con el fin de realizar un diagnóstico de la condición actual en aras de generar un diseño de rehabilitación.</p> <p>El puente, según consta en los planos de diseño originales, fue concebido para soportar cargas de tipo HS 15-44. Adicionalmente, en la época de los 70, como se explica en CFIA (2014), se estaban dando apenas los primeros pasos hacia una normativa de diseño sísmico de puentes en los Estados Unidos, por ende, es muy probable que el puente fuese diseñado para cargas sísmicas que no representan la amenaza real a la que está expuesta para esta estructura.</p> <p>Por ello, en el estudio realizado por Camacho y Mora (2021) se realizó una evaluación de carga de los elementos del puente bajo cargas vehiculares tipo HL-93 [vigente según la última versión de AASHTO LRFD (2020)] y un análisis sísmico según los Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes (2014). Una vez realizado el análisis, la empresa estableció recomendaciones de intervención en los elementos del puente según la relación demanda/capacidad obtenida. A partir de dicho estudio, se recomendaron las siguientes acciones de intervención y mantenimiento al puente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reforzamiento de los elementos de acero en la armadura principal. • Sustitución de elementos de acero en la cercha. • Sustitución de la losa. • Sustitución de apoyos. • Sellado de fisuras en bastiones. • Reforzamiento del bastión 1. • Reforzamiento del bastión 2. <p>A la fecha de publicación y emisión del presente informe, los trabajos de rehabilitación y mantenimiento recomendados no se han realizado en su totalidad.</p>



Tabla 6.1 Aspectos identificados relacionados con la gestión del puente desde su puesta en funcionamiento (Cont.)

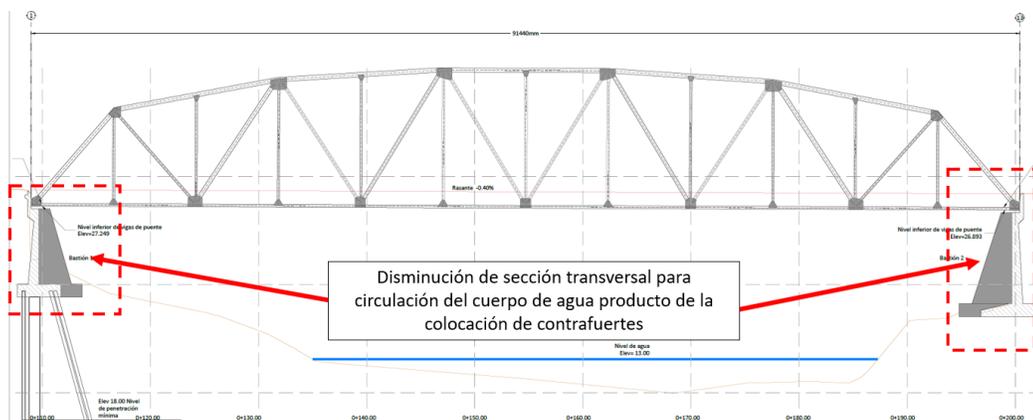
Aspecto identificado de gestión n°.2

Análisis del diseño de rehabilitación del puente sobre el río Tempisque, en ruta nacional n°.21, según los hallazgos detectados en la inspección especial realizada

Observaciones

En el presente informe se destacó que se encontró un pandeo en los elementos de la cercha rigidizora vertical (Ver sección 5.4), esta deficiencia no fue detectada en los estudios elaborados por Camacho y Mora (2021), por lo que el daño detectado pudo deberse a un impacto vehicular posterior a la realización de dicho estudio. Según se ha mencionado previamente en esta sección del informe, este tipo de elementos requieren de un reforzamiento como parte de los trabajos de rehabilitación que se deben realizar en el puente, sin embargo, se debe realizar un nuevo análisis, para el elemento con codificación V-03 eje 3 según los planos de rehabilitación, en el cual se determine si el elemento pandeado requiere más bien, ser ahora sustituido.

Además, es importante destacar que en el diseño de la rehabilitación de los bastiones se consideró el aumento de la sección hacia el cauce del río para brindar estabilidad estructural, como se muestra en la figura adjunta. No obstante, esta condición podría generar un estrangulamiento del cauce cuando se producen crecidas en el río Tempisque. En el informe hidrológico e hidráulico elaborado por Oreamuno (2020), se recomienda aumentar el nivel inferior del puente 1,5 m para garantizar el borde libre. A pesar de esto, los planos de diseño de la rehabilitación, elaborados por Camacho y Mora (2021) no modifican el nivel del puente. Por lo tanto, las recomendaciones dadas en el informe hidrológico e hidráulico realizado para la contratación no aparentan haber sido consideradas para la conceptualización de la rehabilitación en la zona de los bastiones, al presentar estos ahora un aumento de sección hacia el cauce del río.



Adaptado de: Camacho y Mora (2021)



Tabla 6.1 Aspectos identificados relacionados con la gestión del puente desde su puesta en funcionamiento (Cont.)

Aspecto identificado de gestión n°.3
Costos al usuario por cierre parcial y total del puente
Observaciones
<p>Con el fin de tomar decisiones de tipo costo-efectivas, se insta a la Administración a realizar análisis pertinentes como el análisis de costos en el ciclo de vida de los puentes, mencionado en el Manual de Puentes de Costa Rica – 2020 (MP-2020), siendo un componente de gran relevancia el costo para el usuario de cada intervención analizada.</p> <p>A partir de lo anterior, se realiza un análisis el cual se basa en el supuesto de que se decidan realizar trabajos para rehabilitar completamente el puente que brinda el paso principal sobre el río Tempisque en ruta nacional n.º 21, y donde es factible colocar un puente temporal. Para ello se tienen las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se asume que la afectación en la velocidad promedio de las rutas de desvío reduce el nivel de servicio a la categoría D según el SIECA (2011). • La velocidad máxima en zona de trabajo en Costa Rica es de 30 km/h y se asume esta velocidad para el tránsito durante los trabajos de rehabilitación. • El tránsito promedio diario se proyecta al 2024. Los porcentajes de distribución de vehículos se mantienen de acuerdo con la última medición disponible realizada, la cual fue proporcionada por la Secretaría de Planificación Sectorial, MOPT (2015). • Se asumen 120 días de cierre total del puente de paso principal debido a los trabajos requeridos para la rehabilitación. • Se asume un escenario de paso regulado por un puente de 1 carril paralelo al puente en servicio, y otro con el cierre total del paso vehicular en la zona. • Los costos para los usuarios incluyen el costo operativo de los vehículos y el costo del tiempo de traslado, mientras que no se incluyen otros costos como afectaciones económicas al comercio y al turismo de la zona. <p>Con fundamento en el Informe LM-PIE-UP-A01-2020_Versión n.º 2, se debe indicar que el costo total para los usuarios de un cierre parcial del puente (utilizando un puente temporal de una vía) asciende a ₡ 1 983 millones y el de un cierre total del puente asciende a ₡ 22 709 millones (\$ 3,81 millones y \$ 43,67 millones respectivamente, considerando un tipo de cambio de ₡520/\$). Dichas cifras equivalen al 138 % y 1578 % del costo de reposición del puente por una estructura de las mismas dimensiones en planta, estimando el costo de reposición del puente por unidad de área en \$ 3300 /m². La memoria de cálculo se adjunta en el anexo 4 del presente informe. Dichas cifras evidencian el alto costo que tiene para la economía del país la intervención de este puente en particular, sin considerar la afectación al comercio y al turismo.</p>



7. CONCLUSIONES

En la Tabla 7.1 se enlistan las principales deficiencias por elemento que fueron identificadas a través de la inspección especial del puente sobre el río Tempisque en la Ruta Nacional n.º 21. Asimismo, se presenta la condición resultante del elemento (CE) debido a esas deficiencias

Tabla 7.1. Elementos con deficiencias y condición resultante del elemento

Elemento	Deficiencias observadas	Calificación de la condición del elemento (CE)
Junta de expansión [10001]	Obstrucción con sobrecapas de asfalto	Deficiente (4)
Superficie de desgaste del puente [10004]	Deterioro general con baches, deformaciones, surcos, agrietamiento y desprendimientos de la superficie de ruedo en el puente	Deficiente (4)
Tablero [40001]	Áreas con reparaciones que presentan deterioros, donde se destaca la presencia de manchas de filtraciones y grietas en una y dos direcciones que demuestran la reducción de la capacidad del tablero.	Alarmante (5)
Elementos principales [41001]	Elemento deformado que puede reducir la capacidad de carga del puente	Deficiente (4)
Apoyos [50006]	Desalineamiento con inclinación severa	Alarmante (5)
Sistemas de protección hidráulica [60005]	Desbordamiento que ha ocurrido en el puente hasta rebalsar el nivel inferior de los elementos estructurales	Deficiente (4)

A partir de las deficiencias observadas en el puente, se le otorga una calificación de la condición global de Alarmante (5). Lo anterior, corresponde a que la estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en varios elementos estructurales primarios del puente, como se resaltaron en la Tabla 7.1.

Las deficiencias detectadas mediante la presente inspección especial coinciden con las que se detectaron en el informe n.º 1 de la contratación 2019CD-000007-0006000001 para el diseño de la rehabilitación del puente (Camacho y Mora, 2020). A partir de la revisión documental realizada de la información contenida en dicha contratación, se coincide con el criterio de que se requieren realizar labores de rehabilitación, con la salvedad de que se debe



analizar si los elementos de la cercha rigidizadora vertical requieren ser sustituidos, producto del pandeo detectado en la inspección especial realizada. Previo a la ejecución de los trabajos se deben valorar los escenarios de costos al usuario que implicarían el cierre parcial y total del paso en el puente, y procurar que se seleccione aquella que provea la mejor relación costo/beneficio.

En cuanto a la situación hidráulica e hidrológica, se determina que el afloramiento rocoso ubicado aguas abajo del puente puede contribuir a efectos de remanso en el sitio del puente. Adicionalmente, existe evidencia de contacto entre el puente y el cauce durante crecientes de manera frecuente. Cualquier contacto entre un puente y el cauce ejerce fuerzas laterales sobre la estructura que pueden poner en riesgo la integridad estructural. Además, un colapso del puente paralelo, que estuvo declarado como patrimonio histórico arquitectónico y cuya condición es de falla inminente, como se indica en el informe EIC-Lanamme-INF-0588-2024, durante una creciente puede generar una afectación adversa al puente de paso principal sobre la ruta nacional n.º 21, porque sus restos serían arrastrados en dirección aguas abajo, hacia donde se encuentra el puente de paso principal.

Adicionalmente, se destaca que los planos del proyecto de diseño de la rehabilitación del puente muestran la inclusión de contrafuertes en ambos bastiones y mantiene el nivel del puente existente. Los contrafuertes implican una reducción del área hidráulica disponible, aumentando el grado de obstrucción del cauce a la altura del puente, por lo cual se debe estudiar la viabilidad de dicha solución o, en caso contrario, realizar un rediseño.



8. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los responsables de la atención del puente por parte del MOPT y CONAVI, realizar las acciones mencionadas posteriormente, para evitar el avance de las principales deficiencias observadas. Las recomendaciones se dividen en acciones por realizar de forma inmediata, en el corto y el, mediano plazo, por cada elemento evaluado, o se coloca “general” para recomendaciones que no están asociadas a un elemento del puente.

Estas recomendaciones deben ser evaluadas por los profesionales que la Administración asigne como responsables del mantenimiento y rehabilitación de la estructura. En caso de ser requerido, se recomienda procurar la asesoría profesional específica en los aspectos que se mencionaron en los puntos anteriores.

8.1. Recomendaciones inmediatas:

Las recomendaciones por realizar de forma inmediata se incluyen en la Tabla 8.1. El periodo inmediato se recomienda que sea aproximadamente dentro los primeros 3 meses después de recibido este informe.

Tabla 8.1. Recomendaciones y referencias bibliográficas de respaldo para la atención del puente de forma inmediata

Elemento	Recomendación	Referencias bibliográficas
	Programa de conservación:	
Superficie de desgaste del puente [10004]	Valorar la rehabilitación de la superficie de ruedo asfáltica del puente que actualmente brinda el principal paso vehicular en la zona, antes de que se genere el cierre del puente sobre ruta n.º 18, con el fin de hacer más fluido el paso por el puente. Considerar que no se debería aumentar el espesor existente de superficie de ruedo, ya que en varios elementos de la cercha y en el tablero la capacidad ha sido excedida por las demandas de cargas actuales, de acuerdo con el análisis estructural realizado para la rehabilitación (Camacho y Mora, 2020 y 2021)	Manual CR-2020 (MOPT, 2020) – División 400: Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales. Manual MCV-2015 (MOPT, 2015) – Sección 612: Reparación de superficie de desgaste de concreto asfáltico de puentes.



Tabla 8.1. Recomendaciones y referencias bibliográficas de respaldo para la atención del puente de forma inmediata (Cont.)

Elemento	Recomendación	Referencias bibliográficas
General	<p>Programa de <i>rehabilitación</i>:</p> <p>Se recomienda elaborar una nueva versión de los planos y especificaciones de rehabilitación en las que se considere lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El nivel inferior de la superestructura del puente se encuentre a 1,5 metros por sobre el nivel máximo de creciento del cuerpo de agua de los que se tiene registro. • Se evite realizar un estrangulamiento del cauce como actualmente se plantea en los planos de diseños en la zona de los bastiones, al requerir estos unos contrafuertes. <p>Determinar si se requiere sustituir, las cerchas rigidizadoras verticales, producto del pandeo detectado, en lugar de la solución actual planteada de reforzamiento, en la zona. La Administración debe analizar si los productos obtenidos como parte de la Contratación 2019CD-000007-0006000001, cuentan aún con garantía contractual. En caso de ser así, se recomienda actualizar el estudio hidráulico/hidrológico considerando la nueva solución de bastiones que se llegue a replantear, así como considerar la topografía actual del cauce (donde se encontraron bancos de arena que en el estudio no fueron considerados), esto con el fin de que se determinen los efectos que produciría la nueva sección hidráulica del puente rehabilitado.</p>	<p>Contratación 2019CD-000007-0006000001 “Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta nacional No. 21”</p> <p>Estudio hidrológico e hidráulico del puente sobre el río Tempisque en la Ruta Nacional 21 (Oreamuno, 2020).</p> <p>Informe estructural (Camacho y Mora, 2021) “Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta nacional No. 21”.</p>



Tabla 8.1. Recomendaciones y referencias bibliográficas de respaldo para la atención del puente de forma inmediata (Cont.)

Elemento	Recomendación	Referencias bibliográficas
Sistemas de protección hidráulica [60005]	<p>Situación hidráulica/hidrológica del puente:</p> <p>Establecer un plan de atención integral para la rehabilitación o sustitución del puente antiguo paralelo a ejecutarse antes de los meses de setiembre y octubre, periodo en el cual se presentan las crecidas que ponen en riesgo el tránsito por la zona. Además, considerar dentro de dicho plan el costo en que incurren los usuarios según se plantee un cierre parcial o total de la vía.</p>	<p>Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica (SIECA, 2016).</p> <p>Informe LM-PIE-UP-A01-2020_Versión n.º 2</p>

8.2. En el mediano plazo:

Las recomendaciones por realizar en el mediano plazo se incluyen en la Tabla 8.3. El periodo de mediano plazo se recomienda que sea aproximadamente entre 12 y 24 meses después de recibido este informe.

Tabla 8.3. Recomendaciones y referencias bibliográficas de respaldo para la atención del puente en el mediano plazo

Elemento	Recomendación	Referencias bibliográficas
General	<p>Programa de rehabilitación:</p> <p>Ejecutar las labores de rehabilitación de los elementos del puente con el fin de recuperar la condición satisfactoria de los mismos.</p>	<p>Contratación 2019CD-000007-0006000001</p> <p>“Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta nacional No. 21”</p> <p>Informe estructural (Camacho y Mora, 2021)</p> <p>“Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta nacional No. 21”.</p>



9. REFERENCIAS

1. AASHTO (2018). *The Manual for Bridge Evaluation. 3th Edition*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., USA.
2. ACI (2007). *Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures*. American Concrete Institute. Committee 224. Farmington Hills, U.S.A.
3. Araya Con, M., Villalobos Vega, E., Castillo Barahona, R. (2020). “Asesoría al CONAVI para el denominado Programa de intervención de Puentes en Estado Deficiente. Parte 2: Análisis de Costos de Ciclo de Vida”. Proyecto: LM-PIE-UP-A01-2002_Versión n.º 2. Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.
4. Camacho y Mora. (2020). Informe de Avance I: Puente sobre el Río Tempisque, Liberia. Proyecto: N° 2019CD-000007-0006000001, “Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta Nacional No. 21”
5. Camacho y Mora. (2021). Informe de Avance II: Propuesta de intervención, Puentes sobre el Río Tempisque, Liberia. Proyecto: N° 2019CD-000007-0006000001, “Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta Nacional No. 21”.
6. Camacho y Mora. (2021). Planos de diseño: DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO TEMPISQUE, RUTA NACIONAL No.21. Proyecto: N° 2019CD-000007-0006000001, “Diseño de rehabilitación del puente sobre el Río Tempisque, Ruta Nacional No. 21”.
7. CFIA. (2014). Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. Comisión permanente de estudio y revisión del Código Sísmico de Costa Rica.
8. CFIA. (2014). Comentarios a los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes. Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. Comisión permanente de estudio y revisión del Código Sísmico de Costa Rica.



9. MOPT (1975). Puente sobre el río Tempisque, Camino Liberia - Guardia. Versión: Planos finales de diseño. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Vialidad, División de Puente.
10. MOPT (2015). Listado TPDA Total. Documento proporcionado por la Secretaría Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
11. MOPT. (2015). *Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes_MCV-2015*. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Disponible en: <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/847/Manual%20MCV-2015%20Oficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
12. MOPT. (2020a). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes_CR-2020*. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
13. MOPT. (2020b). *Manual de Puentes de Costa Rica – 2020_MP-2020*. Documento no publicado. San José: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
14. MOPT (2023a). Puente sobre río Tempisque Nuevo. Reporte de inspección inventario [PDF]. Sistema de Administración de Puentes. Dirección General de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Costa Rica. Disponible, accediendo como usuario invitado o con usuario y contraseña en: https://saep.conavi.go.cr/SAEP_CONAVI_Web/login.faces [Consulta del catorce de marzo del 2024].
15. MOPT (2023b). Puente sobre río Tempisque Nuevo. Reporte de inspección rutinaria [PDF]. Sistema de Administración de Puentes. Dirección General de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Costa Rica. Disponible, accediendo como usuario invitado o con usuario y contraseña en: https://saep.conavi.go.cr/SAEP_CONAVI_Web/login.faces [Consulta del catorce de marzo de 2024].
16. Oreamuno, R. (2020). Estudio hidrológico e hidráulico del puente sobre el río Tempisque en la Ruta Nacional 21. Diseños Hidráulicos de Centroamérica (dhica).



17. SIECA (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. Tercera Edición. Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
18. SIECA (2016). *Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica*. Primera Edición. Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
19. Sociedad para la Cooperación Internacional Alemana. (2020). Evaluación de riesgo de la infraestructura ante el cambio climático. Puente sobre Río Tempisque, Ruta 21, Liberia, Guanacaste. San José, Costa Rica.



ANEXO 1

Glosario



- **Calificación de la condición:** Es un indicador de desempeño que se utiliza como una herramienta para comunicar a los responsables de la Administración, las partes interesadas y los demás tomadores de decisiones sobre el estado de los elementos y componentes de los puentes y de los puentes de forma global y sobre aquellas estructuras que representan un peligro a la seguridad de los usuarios o a la continuidad del servicio brindado. Está directamente relacionada con los programas de intervención que pueden ser necesarios en los elementos y componentes de los puentes y en los puentes de forma global.
- **Conservación de puentes:** Son las acciones o estrategias que previenen, retrasan o reducen el deterioro de los puentes o de los componentes de puentes, restablecen la función de puentes existentes, mantienen a los puentes en buena condición y extienden su vida útil. Acciones de conservación efectivas de puentes son necesarias para retrasar la necesidad de costosas rehabilitaciones o acciones de sustitución, por medio de la aplicación de estrategias de conservación en los puentes mientras estos están en una condición satisfactoria, regular o deficiente (ver tabla B-1) y antes del comienzo de deterioro serio. Conservación de puentes incluye actividades de mantenimiento preventivo tanto cíclico como basado en la condición (FHWA, 2018).
- **Evaluación:** Es la determinación de la condición del puente a partir de las observaciones realizadas durante la inspección rutinaria con el fin de brindar una calificación.
- **Inspección de inventario:** Tiene como propósito obtener un registro de las características de gestión básicas del puente, tales como las dimensiones y características de los elementos de la superestructura, subestructura, los accesos y accesorios, las características funcionales, el registro fotográfico, los planos y otros aspectos relacionados con la ubicación y la documentación relacionada con el puente. Se realiza una vez y se repite únicamente si el puente es rehabilitado o sustituido (MP-2020 Tomo I).
- **Inspección rutinaria:** Consiste en realizar observaciones y mediciones en elementos estructurales y no estructurales, accesorios, aspectos hidrológicos-hidráulicos, aspectos



de seguridad vial, aspectos geotécnicos, aspectos sísmicos, accesos, entre otros. Se realiza para determinar la condición estructural y funcional del puente, para identificar cualquier cambio con respecto a la condición inicial del puente, inmediatamente después de construido o con respecto a la condición registrada en inspecciones anteriores, para determinar si la estructura satisface los requisitos vigentes de servicio y para determinar las necesidades de conservación y mejoramiento para los distintos elementos y componentes del puente y para el puente de forma global. Se realiza regularmente cada 2 años, a menos que la Administración justifique otro intervalo de inspección (MP-2020 Tomo I).

- **Inspección detallada:** Es una inspección que se realiza a profundidad (“close-up” como se conoce en inglés) y al alcance de la mano de un inspector (“hands on” como se conoce en inglés), de alguno o de la totalidad de los elementos del puente, que tiene como objetivo identificar cualquier deficiencia no detectable a través de los procedimientos de Inspección rutinaria o donde se necesite ahondar más en detalle en lo observado. Se requiere de técnicas, equipo, métodos de acceso y análisis especializados para asegurar o profundizar en la existencia, el tipo, la extensión, la severidad o la causa de las deficiencias (MP-2020 Tomo I).
- **Inspección de urgencia:** Inspección que se efectúa tras el acontecimiento de un desastre natural, accidente, evento extraordinario o colapso. Por la naturaleza urgente de este tipo de inspecciones, se realiza una inspección general de la estructura, con el fin de detectar algún problema estructural que pueda poner en peligro el puente o el paso por el mismo y que permita emitir un criterio sobre la condición del puente (CONAVI, 2015).
- **Inspección especial:** Inspección no programada usada para monitorear una deficiencia en particular ya conocida o de la cual se sospecha. Esta también puede ser usada para monitorear detalles especiales o características inusuales de un puente que no necesariamente tenga defectos (AASHTO, 2018).
- **Mantenimiento preventivo:** Es la estrategia planificada de tratamientos costo-efectivos a los elementos de un puente existente para extender su vida útil de servicio. Estas



actividades retardan futuros deterioros y evitan grandes gastos en rehabilitación o sustitución de puentes. Mantenimiento preventivo incluye actividades cíclicas o programadas y actividades basadas en la condición (FHWA, 2018).

- **Mantenimiento cíclico:** Actividades realizadas en un intervalo preestablecido y que buscan preservar las condiciones existentes de los componentes de un puente. La condición de los componentes no siempre es directamente mejorada como resultado de estas actividades, pero se espera que el deterioro sea retrasado (FHWA, 2018).
- **Mantenimiento basado en la condición:** Actividades realizadas en los componentes de un puente según sea necesario e identificado por medio del proceso de inspección de puentes. Este tipo de acciones mejora la condición de esa porción específica de los elementos, pero podría o no resultar en un incremento en su estado de condición (FHWA, 2018).
- **Mejoramiento de puentes:** Acción de intervención como parte de la gestión de puentes correspondiente a las actividades de rehabilitación o sustitución de puentes (MP-2020 Tomo I).
- **Principales deficiencias:** Aquellas deficiencias que se considera que representan un riesgo para los usuarios del puente.
- **Rehabilitación:** Involucra trabajos mayores requeridos para restablecer la integridad estructural de un puente, así como los trabajos necesarios para corregir la mayoría de defectos de seguridad. La rehabilitación no es considerada una tarea de conservación de puentes, pero se pueden combinar actividades de conservación en varios elementos mientras se lleva a cabo una rehabilitación. Estos proyectos requieren recursos significativos de ingeniería para el diseño, un extenso cronograma de ejecución, y un costo considerable (FHWA, 2018).
- **Sustitución:** Es el reemplazo total de un puente estructural o funcionalmente obsoleto, por medio de una estructura construida en el mismo corredor vial. La estructura de reemplazo deberá cumplir los estándares más actuales de geometría, estructurales y



constructivos, requeridos para los tipos y volumen proyectado de tránsito en el puente para su vida de diseño. Al igual que la rehabilitación, la sustitución no es considerada una actividad de conservación de puentes, y requiere recursos de ingeniería para el diseño, un sustancial y complejo cronograma de ejecución, y considerables costos. Costos de ciclo de vida y otros factores económicos deberán usualmente ser considerados cuando se sopesen ambas alternativas de rehabilitación y sustitución (FHWA, 2018).



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-INF-0587-2024

Código: RC-471 – Vers.: 04 - vigente desde 15/12/2021

Página 42 / 50

Página intencionalmente dejada en blanco



ANEXO 2

Criterios para calificar la condición de los elementos evaluados en el puente



La calificación de la condición de los elementos de puente se realiza a partir de la severidad y extensión de las deficiencias observadas, de acuerdo con la metodología definida en el capítulo 8 y el Apéndice F del Manual de Puentes de Costa Rica 2020, Tomo I (conocido como MP-2020 Tomo I), el cual, está en proceso de aprobación y oficialización por parte del MOPT. El proceso de evaluación se realiza para los elementos del puente que fueron objeto de evaluación en la inspección especial con el siguiente procedimiento, el cual, no se encuentra dentro del alcance acreditado para la inspección especial:

1. Recopilación de información de deficiencias: Se recopila información de las deficiencias en los elementos del puente que fueron objeto de evaluación en la inspección especial, registrando el tipo, la severidad y la extensión de cada deficiencia observada.
2. Clasificación de los elementos de acuerdo con su función: Los elementos que fueron evaluados se clasifican en una de cuatro categorías, de acuerdo con la función que tengan en el sistema del puente y las posibles consecuencias de una deficiencia severa en el elemento. Esta clasificación define la calificación de condición máxima a la que puede llegar el elemento. Las categorías en las que se clasifican los elementos son las siguientes:

Categoría del elemento	Importancia relativa	Calificación de condición máxima
1- Elemento funcional secundario	1 (menor)	4 – Deficiente.
2- Elemento funcional primario	2	5 – Alarmante.
3- Elemento estructural secundario	3	5 – Alarmante.
4- Elemento estructural primario	4 (mayor)	6 – Falla inminente.

3. Clasificación de las deficiencias de acuerdo con el nivel de afectación a los elementos del puente: Las deficiencias que se observan en cada elemento se clasifican de acuerdo con el efecto que producen en el elemento donde se encuentren. Esta clasificación también determina la calificación de condición máxima que puede llegar a tener un elemento. Las categorías en las que se clasifican las deficiencias son las siguientes:



Categoría de la deficiencia	Importancia relativa	Calificación de condición máxima
1- Deficiencias que afectan la durabilidad del elemento	1 (menor)	4 – Deficiente
2- Deficiencias que pueden afectar la capacidad estructural u operativa del elemento	2 (mayor)	6 – Falla inminente

4. Calificación de la condición de cada deficiencia (Cd): Se asigna una calificación de condición a cada conjunto compuesto por severidad y extensión, teniendo en cuenta las dos clasificaciones que se definieron en los puntos 2 y 3 (función del elemento y efecto de la deficiencia) y la acción de intervención más recomendable para cada grado de daño de la deficiencia que se observó en un elemento particular. La extensión se puede categorizar en rangos, para determinar la calificación de la condición. En la Tabla B-1 se describe cada calificación de la condición y la acción de intervención recomendada a la que está relacionada.
5. Calificación de la condición de los elementos (CE): Para obtener la calificación de la condición de un elemento en particular, se comparan las calificaciones de condición obtenidas para todas las deficiencias que afectan a ese elemento, y se selecciona la calificación mayor. Esto se realiza para cada uno de los elementos del puente que fueron evaluados en la inspección especial.

En el informe de inspección especial no se busca obtener la calificación de la condición global del puente, sino, solamente de los elementos evaluados. Lo anterior, debido a que no se evalúan todos los elementos que componen el puente.



Tabla A2.1. Descripción de los niveles de calificación de la condición para elementos y programa de trabajo recomendado para su intervención

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA DE TRABAJO RECOMENDADO PARA LA INTERVENCIÓN
1 SATISFACTORIA	Elementos sin deficiencias o con deficiencias leves que afectan únicamente la durabilidad del elemento. La estabilidad estructural y la seguridad vial están aseguradas.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
2 ACEPTABLE	Elementos con deterioros ligeros. Se observan deficiencias leves en elementos funcionales o estructurales que pueden afectar su capacidad estructural u operativa, o deficiencias moderadas que afectan únicamente la durabilidad del elemento.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente. - Mantenimiento basado en la condición de elementos aplica si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como aceptables.
3 REGULAR	Deficiencias importantes, pero los componentes del puente aún funcionan de forma adecuada. Se observan deficiencias moderadas en elementos funcionales o estructurales que pueden afectar su capacidad estructural u operativa, o deficiencias significativas que afectan únicamente la durabilidad del elemento.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento basado en la condición de elementos.
4 DEFICIENTE	Deficiencias serias, pero, que no llegan a comprometer la estabilidad del puente. Se observan deficiencias moderadas en elementos estructurales primarios o deficiencias significativas en elementos estructurales secundarios o elementos funcionales que pueden afectar su capacidad estructural u operativa. O bien, se observan deficiencias severas que afectan únicamente la durabilidad del elemento.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento basado en la condición de elementos. - Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
5 ALARMANTE	La estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en uno o varios elementos estructurales primarios del puente, o a deficiencias severas extendidas en uno o varios elementos estructurales secundarios o elementos funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> - Rehabilitación de elementos. - Sustitución de elementos aplica si se considera que las acciones de rehabilitación no son efectivas para mejorar la condición de los elementos.
6 FALLA INMINENTE	Inestabilidad estructural del puente o de sus componentes. Riesgo alto de colapso de la estructura debido a deficiencias severas extendidas en uno o varios elementos estructurales primarios del puente. Daño irreversible que posiblemente requiera la sustitución del puente o al menos la sustitución de los elementos dañados.	<ul style="list-style-type: none"> - Sustitución de elementos. - Sustitución del puente aplica solo si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican con falla inminente.



ANEXO 3

Criterio de análisis hidráulico e hidrológico de los puentes sobre el río Tempisque, en ruta nacional n°.21



El memorando en relación al criterio de análisis hidráulico e hidrológico de los puentes sobre el río Tempisque, en ruta nacional n°. 21, se puede consultar en el siguiente enlace:

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/cloud/index.php/s/tpBYd1YAtgApQdF>



ANEXO 4

Cálculo de costos al usuario por cierre parcial y total del puente sobre el río Tempisque, en ruta nacional n°.21



CÁLCULO DE COSTOS DEL USUARIO POR CIERRE O TRABAJOS EN PUENTES																									
Metodología de cálculo de acuerdo con el informe sobre Análisis de costos en el ciclo de vida emitido por el Lanamme en 2020 (LM-PIE-UP-A01-2020_Versión n°. 2)																									
Longitud normal sin desvíos (L _n)	88.6 km	Velocidad promedio en zona de trabajos (V _z)	30 km/h	Velocidad promedio en ruta sin trabajos o cierres (V _r)		NOMBRE DEL PUENTE	Río Tempisque			KM DE UBICACIÓN DEL PUENTE EN LA RUTA															
				60 km/h	70 km/h		NUMERO DE RUTA	18+008																	
Longitud de desvío por clausura del puente (L _d)	121 km	Velocidad promedio en ruta de desvío (V _d)	60 km/h	Días de regulación por trabajos		Días de cierre total	Días de regulación por trabajos	Días de cierre total	Días de regulación por trabajos	Días de cierre total															
Longitud afectada por trabajos (L _t)	4 km	Número de ruta	50082	120	120						120														
Transito promedio diario anual en la ruta (TPDA)	21,491 veh/día	TPD por tipo de vehículo	21	Año de obtención del TPDA		Año de obtención del TPDA	Sección de control	VOC (€/km)	VOC (€/km)	VOC (€/km)															
Porcentaje de distribución diario según el tipo de vehículo	67.76 %	14562	4225	681	1433						320	269													
Vehículo liviano	67.76 %	14562	100.92	166.39	174.31	190.68	75.82	107.76	150.56	219.84															
Carga liviana	19.66 %	4225	166.39	174.31	190.68	75.82	107.76	150.56	219.84	219.84															
Bus	3.17 %	681	130.68	174.31	190.68	75.82	107.76	150.56	219.84	219.84															
Carga pesada 2 ejes	6.67 %	1433	174.31	190.68	219.84	75.82	107.76	150.56	219.84	219.84															
Carga pesada 3 ejes	1.49 %	320	190.68	219.84	269	75.82	107.76	150.56	219.84	219.84															
Carga pesada 4, 5 y 6 ejes	1.25 %	269	219.84	269	269	75.82	107.76	150.56	219.84	219.84															
<p>Nota: Información de TPD y distribución de vehículos obtenida de la Secretaría de Planificación Sectorial del MOPR (Informe de tránsito)</p> <p>Nota: VOC obtenido de Planificación Sectorial del MOPR con datos de mayo de 2010. VTI obtenido con metodología de informe de actualización del valor del tiempo MOPR-01-08-01-008-2018 (MOPR, 2018) del cual solo se actualizaron salarios e ingresos de usuarios al 2024.</p>																									
EQUACIONES PARA CÁLCULOS																									
<p>COSTOS UNITARIOS ANTE CIERRE TOTAL DEL PUENTE</p> $COV_{operativo} = TPD \times VOC_{C_1} + \left(L_d - \frac{L_d}{V_d} \times L_{r_1} \right)$ <p>COSTOS UNITARIOS POR CIERRE PARCIAL DEL PUENTE POR</p> $COV_{parcial} = TPD \times VOC_{C_1} \times \left(L_{r_1} - \frac{L_d}{V_d} \times L_{r_1} \right)$ <p>COSTOS UNITARIOS ANTE CIERRE PARCIAL DEL PUENTE POR</p> $COV_{parcial} = \left(\frac{L_d - L_{r_1}}{V_d} \right) \times VTT_{T_0} \times TPD$																									
<p>SUBTOTALES COSTOS OPERATIVOS Y DE TIEMPO DE TRASLADO</p> <table border="1"> <tr> <td>Costos operativos de vehículos por cierre total</td> <td>87,331,798</td> <td>101,917,474</td> <td>6,185,301</td> <td>10,340,390</td> </tr> <tr> <td>Costos de tiempo de traslado de vehículos por cierre total</td> <td>189,249,271</td> <td>16,525,691</td> <td>134,985</td> <td>43,543</td> </tr> <tr> <td>TOTALES COSTO SOCIAL (AL USUARIO) POR DÍA DE CIERRES TOTALES O PARCIALES</td> <td>276,581,069</td> <td>118,443,165</td> <td>141,986</td> <td>53,883</td> </tr> </table>											Costos operativos de vehículos por cierre total	87,331,798	101,917,474	6,185,301	10,340,390	Costos de tiempo de traslado de vehículos por cierre total	189,249,271	16,525,691	134,985	43,543	TOTALES COSTO SOCIAL (AL USUARIO) POR DÍA DE CIERRES TOTALES O PARCIALES	276,581,069	118,443,165	141,986	53,883
Costos operativos de vehículos por cierre total	87,331,798	101,917,474	6,185,301	10,340,390																					
Costos de tiempo de traslado de vehículos por cierre total	189,249,271	16,525,691	134,985	43,543																					
TOTALES COSTO SOCIAL (AL USUARIO) POR DÍA DE CIERRES TOTALES O PARCIALES	276,581,069	118,443,165	141,986	53,883																					
<p>COSTO SOCIAL TOTAL DEL USUARIO POR EL CIERRE O LOS TRABAJOS EN EL PUENTE</p> <p>22,709,912,570 €</p>																									