



04 de abril de 2022
EIC-Lanamme-303-2022

Señor
Josué Calderón Chaves
Asistente técnico
División de Fiscalización Operativa y Evaluativa
Área de Fiscalización para el Desarrollo de la Ciudades
Contraloría General de la República

Asunto: Criterio sobre los ensayos, estudios técnicos y análisis mínimos requeridos para el puente sobre el estero Boca Vieja Ruta Nacional n.° 235

Estimados(as) señores(as):

En respuesta al oficio N.° 05493 (DFOE-CIU-0183) y en cumplimiento de los mandatos que le otorga la Ley n.° 8114 y su reforma mediante la Ley n.° 8603 al LanammeUCR, se brinda el criterio del Programa de Ingeniería Estructural del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) acerca de los ensayos, estudios técnicos y análisis mínimos recomendables para el Puente sobre el estero Boca Vieja en la Ruta Nacional n.° 235, solicitados por medio del oficio citado.

En función de las deficiencias reportadas en el informe de inspección especial LM-PIE-UP-P03-2020 denominado "*Inspección especial del puente sobre el estero Boca Vieja, Ruta Nacional No. 235: Evaluación de la afectación por corrosión*", donde se emitieron recomendaciones para la atención de las deficiencias del puente, a continuación, se presentan recomendaciones complementarias acerca de los ensayos, estudios técnicos y análisis mínimos requeridos:

1. Realizar una inspección detallada del puente, en la que se identifiquen los elementos que se encuentran afectados por corrosión, y se realice una medición de los espesores de los elementos en las zonas críticas del puente. Para ello, se recomienda seguir lo especificado en las siguientes referencias como mínimo:





- a. Inspección detallada por corrosión: Parte I del documento “*Guidelines for evaluating corrosion effects in existing steel bridges - NCHRP Report 333*” (Kulicki, J. et al., 1990) denominada “*Field Inspection Guidelines*” (ver Tabla 1 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
 - b. Medición de espesores de los elementos: Práctica estandarizada ASTM E797/E797M-21 denominada “*Standard practice for measuring thickness by manual ultrasonic pulse-echo contact method*” (ASTM, 2021) (ver Tabla 2 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
 - c. Medición de espesores de los elementos y documentación mediante esquemas: Presentación de webinar denominado “*Calculating section loss in steel members*” organizado por el Departamento de Transportes de Illinois (Cima, 2012) (ver Tabla 3 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
2. Cuantificar la pérdida de sección para las áreas críticas de los distintos elementos del puente para los cuales se midió el espesor de acuerdo al punto anterior. Para ello, se recomienda seguir lo especificado en la siguiente referencia como mínimo:
 - a. Cuantificación de pérdida de sección: Presentación de webinar denominado “*Calculating section loss in steel members*” organizado por el Departamento de Transportes de Illinois (Cima, 2012) (ver Tabla 3 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
 3. Realizar una evaluación estructural de la afectación por corrosión, contemplando la pérdida de sección actual cuantificada mediante el punto anterior, para determinar si existe una pérdida en la capacidad de los elementos o mecanismos de falla distintos a los considerados en el diseño original y que puedan afectar la capacidad de carga viva del puente. Para ello, se recomienda seguir lo especificado en la siguiente referencia como mínimo:
 - a. Evaluación estructural: Parte II del documento “*Guidelines for evaluating corrosion effects in existing steel bridges - NCHRP Report 333*” (Kulicki, J. et al., 1990) denominada “*Office evaluation of corrosion effects*” (ver Tabla 1 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
 - b. Cálculo de capacidad de carga viva: Sección 6 del documento “*The Manual for Bridge Evaluation*” (AASHTO, 2018) denominada “Load



Rating” (ver Tabla 4 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).

4. Estimar la vida útil remanente del puente mediante la proyección de la tasa de pérdida de sección por corrosión a partir de los espesores actuales de los elementos estructurales de acero del puente. Esto realizado para el caso en el que se demuestre, con base en el punto anterior, que el puente tiene suficiente capacidad de carga en su condición actual y para asegurar que la tendrá durante su vida de servicio, sin necesidad de rehabilitar las vigas principales, pero sin limitar su conservación. Para ello, se recomienda seguir lo especificado en la siguiente referencia como mínimo:
 - a. Estimación de vida útil remanente: Documento denominado “*Capacity loss due to corrosion in steel girder bridges*” (Kayser et al., 1989) (ver Tabla 5 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
5. Evaluar la condición del sistema de protección contra la erosión de los rellenos de aproximación en ambos accesos del puente. Para esto se debe seguir lo especificado en la normativa nacional aplicable correspondiente al Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura vial de Centroamérica (SIECA, 2016). Adicionalmente, se recomienda seguir lo especificado en la siguiente referencia como mínimo:
 - a. Atención de sistema de protección contra la erosión: Documento denominado “*Highways in the coastal environment, Hydraulic Engineering Circular No. 25*” (Douglass et al., 2020) (ver Tabla 6 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
6. Evaluar la condición de las almohadillas elastoméricas del sistema de apoyos del puente. Para esto se recomienda seguir lo especificado en la siguiente referencia como mínimo:
 - a. Evaluación de almohadillas elastoméricas: Documento denominado “*Bridge Inspector’s Reference Manual*” (FHWA, 2012) (ver Tabla 7 del Apéndice A para información adicional de esta referencia).
7. Elaborar un informe detallado en el cual se presenten y analicen los resultados de los puntos anteriores, y se brinden recomendaciones de las acciones de intervención requeridas en los elementos del puente, las cuales deberían estar



EIC-Lanamme-303-2022
Página 4 de 13

enmarcadas en el programa de mejoramiento de puentes (lo cual involucra rehabilitación o sustitución y no acciones de conservación).

Los criterios mínimos establecidos en el presente oficio corresponden a una recomendación por parte del LanammeUCR, sin embargo, estos deberán ser evaluados por los profesionales que la Administración, representada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), designe como responsables de la evaluación e intervención del puente en cuestión. Estos últimos serán finalmente los responsables de definir los trabajos y estudios por realizar, respaldados en los documentos técnicos o normativa que consideren oportunos para el puente en cuestión.

Atentamente,

UCR | Firmado
digitalmente

Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director

MAC/LVA/RCB

- C. Alejandra Morice Sandoval, Fiscalizadora, Contraloría General de la República
- Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph. D. Coordinador Programa de Ingeniería Estructural, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
- Ing. Luis Guillermo Vargas Alas, Unidad de Puentes, Programa de Ingeniería Estructural, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
- Ing. Mauricio Araya Con, Unidad de Puentes, Programa de Ingeniería Estructural, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
- Archivo

Adjunto: No aplica



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-303-2022
Página 5 de 13



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

LanammeUCR

Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

EIC-Lanamme-303-2022
Página 6 de 13

Apéndice A. Referencias técnicas



EIC-Lanamme-303-2022
Página 7 de 13

Tabla 1. Referencia recomendada para: Inspección por corrosión y evaluación estructural

Título	Guidelines for evaluating corrosion effects in existing steel bridges – Report 333
Año de publicación	1990
Disponible en	Documento de descarga gratuita en: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_333.pdf
Autores	Kulicki, J.; Purcz, Z.; Sorgenfrei, D.; Mertz, D.; Young, W. / National Cooperative Highway Research Program
Resumen	Guía práctica con las labores que hay que realizar en campo y oficina para la evaluación de la afectación por corrosión en puentes, desarrollado por el <i>National Cooperative Highway Research Program</i> (NCHRP por sus siglas en inglés). Comenta acerca de los efectos de la pérdida de sección en elementos de acero (posible pérdida de resistencia, estabilidad, rigidez o posible incremento de la susceptibilidad a fatiga).
Utilidad	<ul style="list-style-type: none">➤ Procedimiento recomendado para la inspección en campo ("<i>Part I Field Inspection Guidelines</i>"), en donde se establecen consideraciones para realizar la inspección de corrosión en el puente, junto con algunos requisitos mínimos para el informe de inspección.➤ Procedimiento recomendado para realizar la evaluación de la afectación por corrosión ("<i>Part II Office Evaluation of corrosion effects</i>") en donde se establece un procedimiento de tres etapas para la evaluación de afectación por corrosión (preparativos para la evaluación, evaluación cualitativa inicial y evaluación cuantitativa), junto con las consideraciones mínimas para cada etapa. Se deben tener en consideración los distintos modos de falla que pueden gobernar la capacidad de un puente con afectación por corrosión.



Tabla 2. Referencia recomendada para: Medición de espesores de los elementos

Título	ASTM E797/E797M-21 Standard practice for measuring thickness by manual ultrasonic pulse-echo contact method
Año de publicación	2021
Disponible en	Documento disponible para compra en: https://compass.astm.org/
Autores	American Society for Testing and Materials
Resumen	Práctica estandarizada que corresponde a una guía para medir el espesor de materiales utilizando el método manual de eco ultrasónico de pulso y contacto, en cualquier material en donde se puedan propagar ondas ultrasónicas a una velocidad constante.
Utilidad	➤ Práctica estandarizada o procedimiento para medir el espesor de los distintos elementos estructurales del puente, necesario para cuantificar la pérdida de sección. Incluye los aspectos básicos para la aplicación del método, características del equipo y consideraciones del procedimiento a utilizar.



Tabla 3. Referencia recomendada para: Medición de espesores de los elementos, documentación mediante esquemas y cuantificación de pérdida de sección

Título	Calculating section loss in steel members
Año de publicación	2012
Disponible en	Documento de descarga gratuita en: https://idot.illinois.gov/Assets/uploads/files/Doing-Business/Pamphlets-&-Brochures/Highways/Bridges/Calculating%20Section%20Loss%20in%20Steel%20Members%20Course.pdf
Autores	Cima, M. / Illinois Department of Transportation
Resumen	Webinario con el objetivo principal de refrescar los conocimientos del personal encargado de realizar inspecciones de puentes, específicamente en el proceso de documentar y calcular la pérdida de sección en miembros estructurales de puentes, impartido por el Departamento de Transportes de Illinois (IIDot por sus siglas en inglés).
Utilidad	➤ Conceptos y prácticas recomendadas para la cuantificación de la pérdida de sección de acuerdo a las áreas críticas de los distintos elementos estructurales del puente. Establece recomendaciones para realizar las mediciones, junto los requerimientos mínimos para documentar, a través de esquemas, los hallazgos de la inspección de corrosión.



Tabla 4. Referencia recomendada para: Cálculo de capacidad de carga viva

Título	AASHTO The Manual for Bridge Evaluation
Año de publicación	2018
Disponible en	Documento disponible para compra en: https://store.transportation.org/item/collectiondetail/179
Autores	American Association of State Highway and Transportation Officials
Resumen	Manual para realizar evaluaciones de puentes, incluyendo los procedimientos para realizar inspecciones, ensayos destructivos y no destructivos, evaluación de la capacidad de carga (denominado en inglés como “ <i>Load Rating</i> ”) y evaluación con pruebas de carga en puentes.
Utilidad	➤ Procedimiento para evaluación de la capacidad de carga en puentes utilizando la metodología LRFR (“Section 6 – Load Rating”) en donde se indica la necesidad de considerar la pérdida de sección por corrosión de los elementos al hacer la evaluación. Adicionalmente, se establece que para evaluar la capacidad de carga deben considerarse los efectos de flexión, cortante y de reacción en el apoyo.



Tabla 5. Referencia recomendada para: Estimación de vida útil remanente

Título	Capacity loss due to corrosion in steel girder bridges
Año de publicación	1989
Disponible en	Documento disponible para compra en: https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:6(1525)
Autores	Kayser, J.R; Nowak, A.S. / American Society of Civil Engineers
Resumen	<p>Documento con información acerca de la pérdida de capacidad en elementos de acero debido a la corrosión, tal como:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Modelo de deterioro por corrosión para vigas de acero simplemente apoyadas.➤ Modelos de estimación de la penetración promedio de la corrosión o pérdida de espesor en mils para acero al carbón y acero autapanible (conocido como weathering steel).➤ Cálculos de capacidad de distintas vigas estándar a flexión, cortante y reacción en el apoyo, considerando distintas pérdidas por corrosión.➤ Curvas de capacidad de distintas vigas estándar variando con respecto a la pérdida de sección por corrosión.➤ Ejemplo de cálculo para el factor de capacidad de carga de puentes con la variación de la pérdida de sección por corrosión.
Utilidad	<ul style="list-style-type: none">➤ Conceptos e información que podría ser relevante para el cálculo de la vida útil remanente mediante las proyecciones de la pérdida de sección por corrosión y pérdida de capacidad del elemento estructural en el tiempo.



EIC-Lanamme-303-2022
Página 12 de 13

Tabla 6. Referencia recomendada para: Atención de sistema de protección contra la erosión

Título	Highways in the coastal environment, Hydraulic Engineering Circular No. 25, Third Edition
Año de publicación	2020
Disponible en	Descarga gratuita en: https://www.fhwa.dot.gov/engineering/hydraulics/coastal/coastal.cfm
Autores	Douglass, S.; Webb, B. / Federal Highway Administration
Resumen	Manual para la planificación, diseño y operación de infraestructura en zonas cercanas a la costa. Incluye aspectos sobre el análisis de la naturaleza hidrológica e hidráulica de la socavación por influencia de las mareas y el oleaje, junto con información acerca de la exposición y vulnerabilidad de esta infraestructura.
Utilidad	➤ Consideraciones para la evaluación del análisis hidrológico e hidráulico realizado en la etapa de estudios preliminares al diseño del puente, o en su defecto para realizar un nuevo análisis que será requerido para la reparación o construcción del sistema de protección contra la erosión en ambos accesos del puente. Se incluyen recomendaciones para seleccionar un sistema de protección para evitar la afectación de infraestructura en una zona costera.



EIC-Lanamme-303-2022
Página 13 de 13

Tabla 7. Referencia recomendada para: Evaluación de almohadillas elastoméricas

Título	Bridge Inspector's Reference Manual, Publication No. FHWA NHI 12-049
Año de publicación	2012
Disponible en	Descarga gratuita en: https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis/pubs/nhi12049.pdf
Autores	Federal Highway Administration
Resumen	Manual con procedimientos, criterios y técnicas para la inspección y evaluación de los distintos componentes y elementos de un puente, entre ellos, la evaluación de los apoyos con almohadillas elastoméricas.
Utilidad	➤ Consideraciones para la evaluación de las almohadillas elastoméricas del puente.