

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 1/55	VERSIÓN 07

Programa de Ingeniería Estructural

Proyecto: LM-PIE-UP-P03-2019

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO TIBÁS RUTA NACIONAL NO. 117

Preparado por:
Unidad de Puentes
LanammeUCR



San José, Costa Rica

Mayo, 2019

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 2/55	VERSIÓN 07

Página intencionalmente dejada en blanco

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 3/55	VERSIÓN 07

Información técnica del documento

1. Informe: LM-PIE-UP-P03-2019		2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO TIBÁS RUTA NACIONAL No.117		4. Fecha del Informe Mayo, 2019	
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 <i>Este informe de evaluación de la condición del puente sobre el Río Tibás, en la Ruta Nacional No.117, es un producto del programa de inspecciones de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural - LanammeUCR, para evaluar la condición estructural y funcional de puentes ubicados a lo largo de la Red Vial Nacional, en el marco de las competencias asignadas mediante el artículo 6 de la ley 8114. Según lo observado en el sitio, la condición del puente se valoró como ALARMANTE. Por lo tanto, con el propósito de contribuir a la atención de la estructura evaluada, se realizan recomendaciones generales relacionadas con cada aspecto evaluado en este informe.</i>			
8. Palabras clave Puentes, Ruta Nacional No. 117, Río Tibás, Evaluación de condición.		9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 55
11. Inspección e informe por: Ing. Hellen Garita Durán Unidad de Puentes	12. Inspección por: Ing. Sergio Álvarez González Unidad de Puentes	13. Inspección, revisión y aprobación por: Ing. Esteban Villalobos Vega Coordinador Unidad de Puentes	
14. Revisado y aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona Coordinador Programa de Ingeniería Estructural	15. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR		

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 4/55	VERSIÓN 07

Página intencionalmente dejada en blanco

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019		Página 5/55

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	7
3. ALCANCE DEL INFORME	8
4. DESCRIPCIÓN.....	10
5. ESTADO DE CONSERVACION Y SEGURIDAD VIAL DEL PUENTE.....	15
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
7. REFERENCIAS.....	38
ANEXO A GLOSARIO.....	40
ANEXO B CRITERIOS PARA CLASIFICAR EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL PUENTE.....	43
ANEXO C CONSERVACIÓN DE PUENTES DE ARCO DE MAMPOSTERÍA.....	52

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 6/55	VERSIÓN 07

Página intencionalmente dejada en blanco

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 7/55	VERSIÓN 07

1. INTRODUCCIÓN

Este informe de *evaluación* del puente sobre el Río Tibás en la Ruta Nacional No.117, es un producto del programa de inspecciones de la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural - LanammeUCR, que tiene como objetivo evaluar la condición estructural y funcional de puentes ubicados a lo largo de la Red Vial Nacional a partir de su *inspección*, en el marco de las competencias asignadas mediante el artículo 6 de la ley 8114. La *inspección* del puente se realizó el día 1 de noviembre del 2018.

2. OBJETIVOS

- a) Realizar el inventario del puente utilizando la información recopilada durante la inspección visual realizada en sitio.
- b) Efectuar una inspección visual de todos los componentes estructurales y no estructurales para evaluar su condición estructural.
- c) Inspeccionar y evaluar la seguridad vial del puente para reducir el riesgo de accidentes de tránsito y disminuir su severidad.
- d) Proporcionar recomendaciones generales para mantenimiento y/o reparación.
- e) Brindar una calificación de la condición del puente basado en la evaluación de la condición de sus componentes

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 8/55	VERSIÓN 07

3. ALCANCE DEL INFORME

Este informe de *evaluación* de la condición estructural y funcional del puente se limita a presentar recomendaciones generales para mejoras, mantenimiento y reparación del puente, así como de estructuras o elementos conexos a éste, con base en observaciones realizadas en el sitio durante la *inspección* de la estructura y los elementos de seguridad vial.

Como resultado de la *evaluación* se le asigna una condición al puente, de acuerdo con una metodología desarrollada por la Unidad de Puentes, la cual, se describe en el informe LM-PI-UP-05-2015 (Muñoz-Barrantes, et al., 2015). En el Anexo B se puede consultar un diagrama de flujo que resume los criterios, la metodología utilizada y una tabla donde se explica el significado de cada condición.

Las dimensiones de los elementos del puente se pueden obtener de los planos de diseño, si es que esta información está disponible. Las dimensiones obtenidas de los planos se pueden utilizar como referencia para completar formularios de inventario del puente si se considera necesario, ya que en muchas ocasiones el inspector no tiene acceso físico y/o visual a algunos componentes del puente. Para este puente en particular no se tuvo acceso a los planos de diseño. La información de planos es una guía para el proceso de inspección, pero no es determinante para establecer la condición del puente, pues esta solo puede determinarse a partir de la información que se recolecta y verifica en el sitio.

En el caso que se quisiera verificar la capacidad estructural o hidráulica del puente o la capacidad soportante del suelo, se recomienda realizar una evaluación estructural detallada complementada con ensayos no destructivos, un análisis hidrológico e hidráulico y un estudio geotécnico.

Se debe tener claro de que el presente informe de *evaluación* de la condición presenta el estado de un solo puente perteneciente a una ruta en específico y a la Red Vial Nacional, y como tal su atención debe ser vista de forma integral en conjunto con las necesidades de los demás puentes del inventario bajo un esquema de un sistema de gestión de puentes y no respondiendo solamente a un criterio de intervención de “el peor primero”.

Informe LM-PIE-UP-PN03-2019	Mayo, 2019	Página 8 de 55
-----------------------------	------------	----------------

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 9/55	VERSIÓN 07

Finalmente, se indica que en el Anexo A se incluye un glosario de términos importantes, los cuales son resaltados con letra cursiva en el cuerpo del informe para su identificación.

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 10/55
		VERSIÓN 07

4. DESCRIPCIÓN

Tabla No. A. Características básicas de ubicación del puente y de la ruta.

Ubicación	Provincia, Cantón, Distrito	Heredia, Santo Domingo, San Miguel
	Coordenadas (DMS.s) WGS84	9.0°59.0'8.70"N de Latitud / 84.0°3.0'28.1"O de Longitud
	Río que cruza	Río Tibás
Ruta Nacional en la que se ubica el puente	Número de ruta	117
	Tipo de ruta	Secundaria
	Sección de control	40430
TPD - Anuario de Tránsito (Zúñiga-Blanco, 2017)	Total	8791
	Porcentaje de vehículos pesados	24,89%
	Camiones de 5 ejes	0,29 %
	Año en que se realizó el conteo	2015

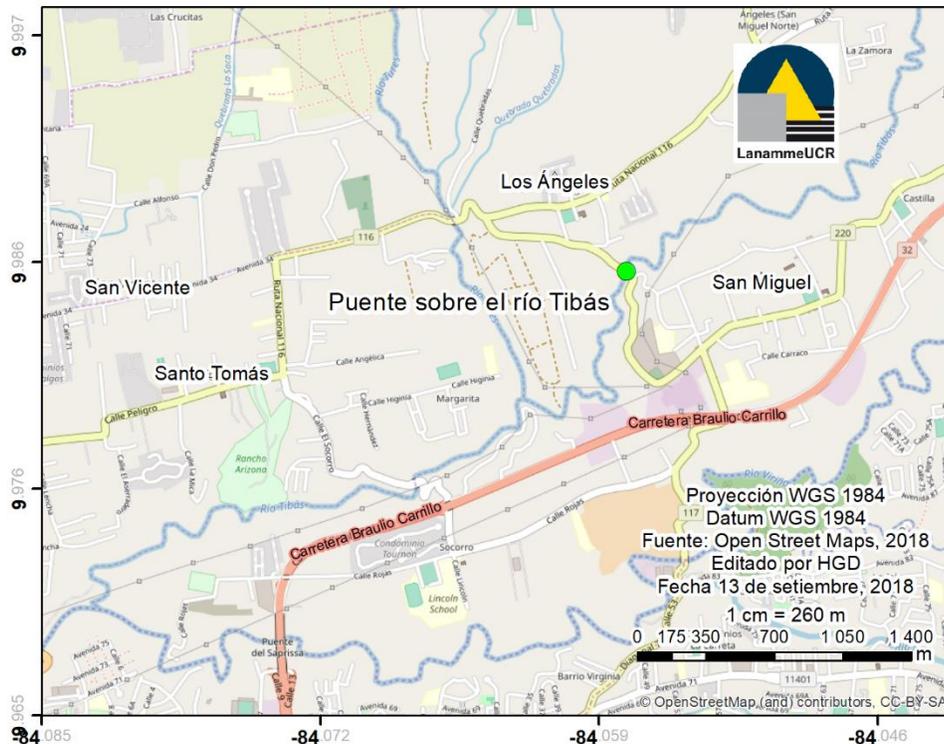


Figura A. Ubicación geográfica del puente sobre el Río Tibás.
(Adaptado de Open Street Maps, 2018)

Informe LM-PIE-UP-PN03-2019	Mayo, 2019	Página 10 de 55
-----------------------------	------------	-----------------

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 11/55
		VERSIÓN 07

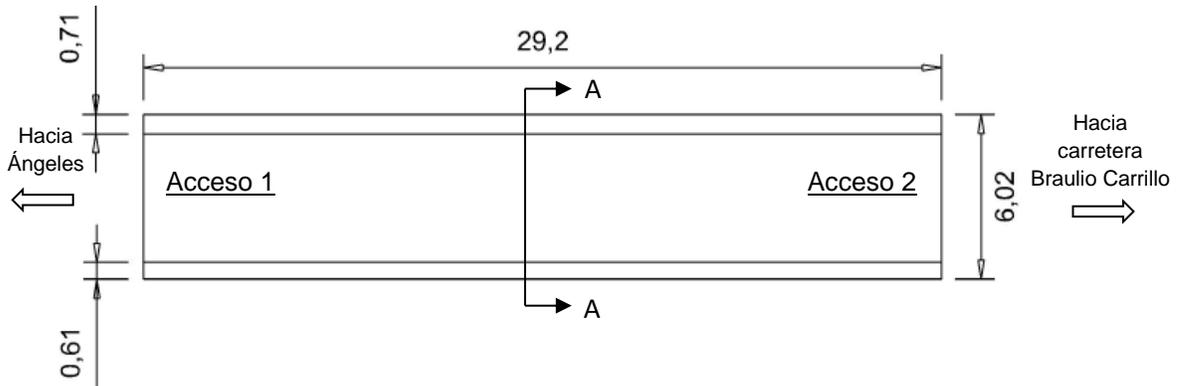


Figura B. Vista a lo largo de la línea de centro del puente desde el acceso sur.

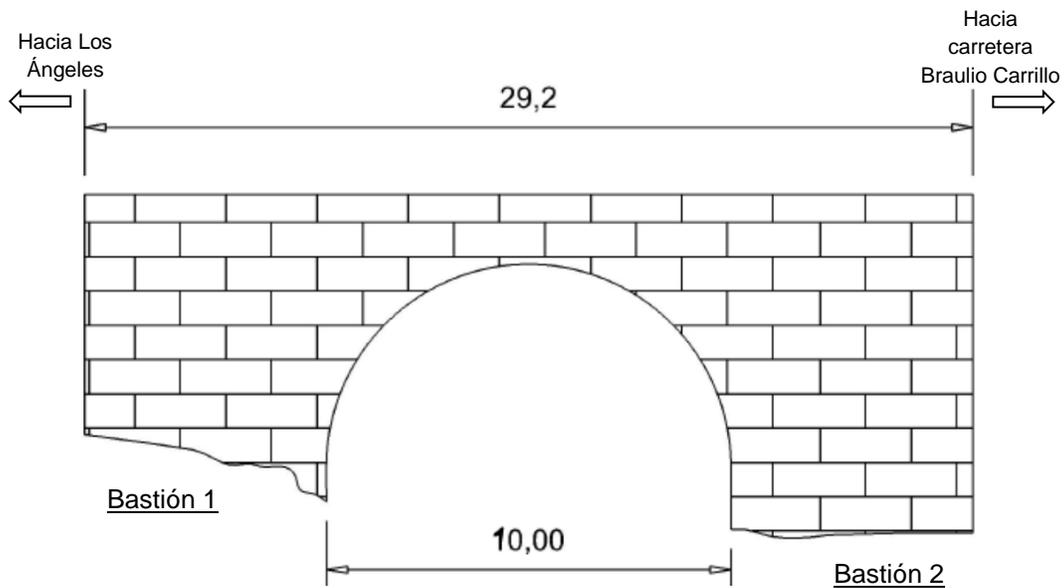


Figura C. Vista lateral costado aguas arriba del puente.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN	Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 12/55



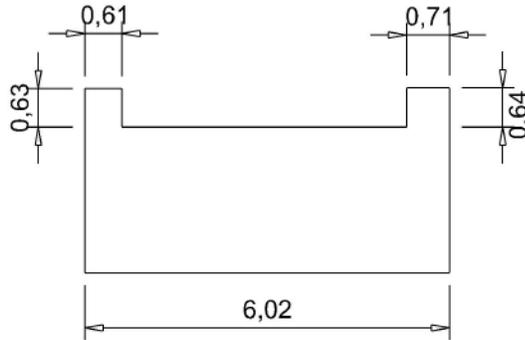
(a) Planta



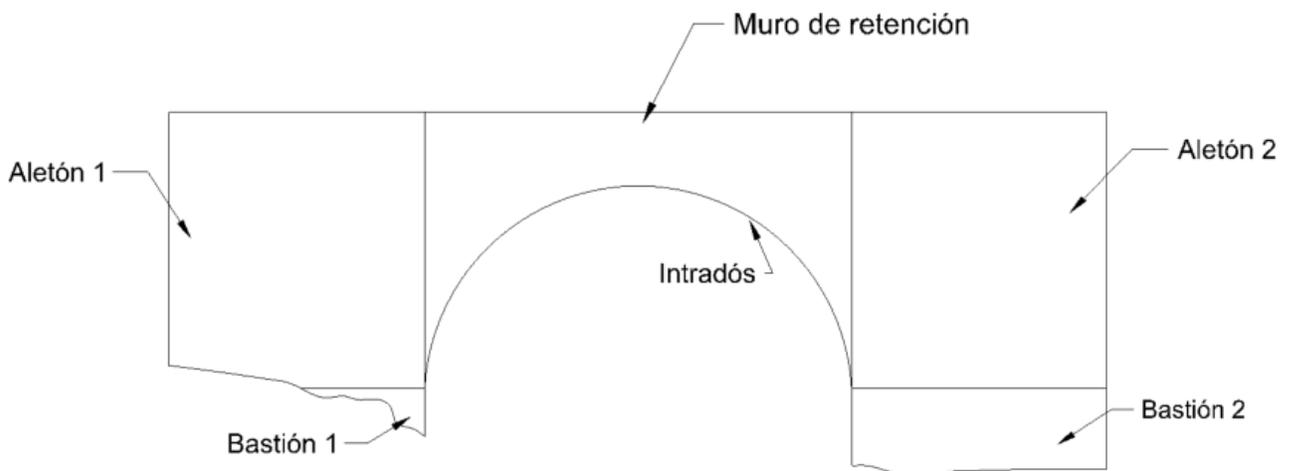
(b) Elevación

Figura D. Identificación utilizada para el puente sobre el Río Tibás, cotas en metros.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 13/55
		VERSIÓN 07



(c) Sección transversal A-A



(d) Identificación para secciones del puente

Figura D. (cont.) Identificación utilizada para el puente sobre el Río Tibás, cotas en metros.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019		Página 14/55
			VERSIÓN 07

Tabla No. B. Características básicas del puente.

Geometría	Tipo de estructura	Puente
	Longitud total del arco (m)	10,00
	Longitud total del puente (m)	29,20
	Ancho total (m)	6,02
	Ancho de calzada (m)	4,70
	Número de tramos	1
	Alineación del puente	Recta
	Número de carriles	1 (un sentido)
Superestructura	Número de superestructuras	1
	Tipo de superestructura (elementos principales)	Superestructura tipo arco de mampostería de piedra de paso superior
	Tipo de tablero	No aplica
Apoyos	Tipo de apoyo en bastiones	Apoyos rígidos
Subestructura	Número de elementos	Bastiones: 2
	Tipo de bastiones	Bastión de mampostería de piedra
	Tipo de pilas	No hay pilas
	Tipo de cimentación	Otros (Los bastiones de mampostería de piedra se apoyan directamente sobre la roca)
Diseño y construcción	Año de diseño	No se encontró información
	Año de construcción	No se encontró información
	Especificación de diseño original	No se encontró información
	Carga viva de diseño original	No se encontró información
	Año de reforzamiento/rehabilitación	No se encontró información
	Especificación utilizada para el reforzamiento/ rehabilitación	No se encontró información
	Carga viva de diseño utilizada para el reforzamiento/ rehabilitación	No se encontró información

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 15/55	VERSIÓN 07

5. ESTADO DE CONSERVACION Y SEGURIDAD VIAL DEL PUENTE

Los resultados de la evaluación del puente se presentan en 5 áreas: (a) Seguridad vial, (b) Superficie de rodamiento, accesorios, accesos y otros (c) Superestructura (d) Subestructura y (e) Elementos de protección sísmica e hidráulica. De esta manera, se describe la condición del puente de una manera simple y ordenada en las Tablas No.1 a No.5, las cuales se presentan a continuación.

En dichas tablas se presentan dos columnas llamadas RE y GD, las cuales corresponden, respectivamente, a la Relevancia Estructural (RE) y al Grado de Deficiencia (GD) para cada elemento del puente de acuerdo como se definen en el informe LM-PI-UP-05-2015 (Muñoz-Barrantes, et al., 2015) y en el Anexo B. El valor numérico de RE (varían entre 1 y 4) y se refiere a la importancia relativa del elemento respecto a todos los demás elementos en el sistema del puente. El valor numérico de GD (varían entre 0 y 3) y se refiere al estado de deterioro observado el día de la evaluación y se asigna de acuerdo con el componente más dañado que se observa en el respectivo elemento evaluado; sin embargo, la atención de la estructura se debe realizar haciendo un análisis integral de todos los deterioros detallados en la evaluación que se presenta en este informe. En las casillas correspondientes a RE y GD también podrían aparecer las siguientes expresiones: "NI" cuando el elemento no pudo ser inspeccionado por dificultades de acceso o "NA" cuando el elemento no se encontraba en el tipo de puente evaluado.

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 16/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 1. Estado de la seguridad vial.

1.1. Sistema de contención vehicular del puente:	RE = 2	GD = 2
<p>El puente cuenta con barreras de contención rígidas en cada uno de sus extremos. La altura de la barrera es 0,64 m en el costado aguas arriba y 0,63 m en el costado aguas abajo, y la sección transversal es rectangular.</p> <p>Las barreras podrían no cumplir en cuanto a altura, geometría y resistencia (conexión a los muros de mampostería del puente), con el nivel de contención vehicular establecido en la norma AASHTO LRFD (2017) en función del tipo de carretera, la velocidad y el tipo vehículos que circulan sobre la Ruta Nacional No. 116, debido a que no hay evidencia de que fueron construidas con base en los documentos: Reporte NCHRP 350 (1993) o MASH-2 (AASHTO, 2016). La razón para recomendar el uso de normativa en su versión más reciente, es para poder brindar seguridad a los usuarios acorde con la demanda vehicular más actualizada posible.</p>		
		
<p>Figura 1.1. Barrera de contención de concreto de sección rectangular.</p>		

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 17/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 1. Estado de la seguridad vial (*continuación*).

1.2. Sistema de contención vehicular de los accesos:	RE = 1	GD = 2
<p>Todos los guardavías se encuentran anclados en el centro de la sección de concreto que tiene un ancho de entre 0,60 m a 0,70 m (ver Figura 1.2). Esto hace que, en caso de un accidente, el guardavía redirija el auto hacia la barrera de concreto o que los vehículos impacten la terminal de la misma de manera frontal, las cuales son condiciones no deseadas. En el Manual SCV (Valverde, 2011) se presentan las uniones adecuadas entre barreras de accesos y del puente que permiten una transición más adecuada entre el elemento flexible y el rígido.</p>		
	<p>Figura 1.2. Unión entre guardavías en centro de la barrera del puente.</p>	
1.3. Aceras, ciclovías y sus accesos:	RE = 2	GD = 3
<p>El puente no contaba con aceras, bordillos o ciclovías (ver Figura 1.3). La estructura comunica sitios cercanos como el distrito de Los Ángeles con el Colegio Técnico Profesional del Este por lo que hay paso de peatones, lo cual se evidenció el día de la visita. Tampoco se tiene aceras en los accesos de la estructura.</p>		
	<p>Figura 1.3. Ausencia de aceras, bordillos o ciclovías en puente o accesos y evidencia de tráfico peatonal.</p>	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 18/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 1. Estado de la seguridad vial (*continuación*).

1.4. Señalización (<i>captaluces, demarcación horizontal, delineadores verticales, marcadores de objeto, rótulos de identificación</i>):	RE = 1	GD = 2
<p>No había rotulación del nombre del puente en ninguno de los sentidos de circulación.</p> <p>Se observaron señales (una vertical y otra horizontal) de CEDA en el acceso 2 (ver Figura 1.4(a)). El rótulo vertical se encuentra en buen estado, pero la demarcación horizontal es borrosa. No había marcadores de objeto en ninguno de los accesos a la estructura.</p> <p>Los captaluces y demarcación horizontal en el puente estaban cubiertos parcialmente con sedimentos (ver Figura 1.4 (b)), lo cual limita su funcionalidad.</p>		<p>Figura 1.4(a). Rotulación del nombre del puente inexistente y señalización horizontal y vertical en acceso 2 del puente.</p>
		<p>Figura 1.4(b). Obstrucción de sedimentos sobre demarcación horizontal y captaluces.</p>
1.5. Iluminación:	RE = 1	GD = 0
<p>El puente contaba con iluminación en el acceso 2. No fue posible verificar el funcionamiento de la iluminación ni comprobar la visibilidad nocturna. Se considera que con una adecuada y completa señalización vial, así como su mantenimiento, no es necesaria la iluminación en el puente debido a su longitud.</p>		<p>Figura 1.5. Poste de luz en acceso 2 a puente.</p>

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 19/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 2. Estado de conservación de la superficie de rodamiento, accesorios y accesos.

2.1. Superficie de rodamiento del puente:	RE = 1	GD = 2
<p>Se observó desgaste con exposición de agregado en la carpeta asfáltica colocada sobre las superestructuras del puente (ver Figura 2.1(a)). Además, se observó agrietamiento por fatiga o cuero de lagarto en la huella del tránsito, ubicado aproximadamente a la mitad del largo del puente, tal y como se presenta en la Figura 2.1(a) y (b).</p>	 <p>Figura 2.1(a). Desgaste, agrietamiento por fatiga en la superficie de rodamiento asfáltica</p>  <p>Figura 2.1(b). Acercamiento a agrietamiento en superficie de rodamiento del puente de Figura 2.1(a)</p>	
2.2. Bordillos y sistema de drenaje del puente:	RE = 1	GD = 3
<p>El puente no cuenta con bordillo o sistema de drenaje (ver Figura 2.2). Los costados de la estructura se encontraban con sedimentos.</p>	 <p>Figura 2.2. Faltante de drenaje y bordillo en el puente.</p>	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 20/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 2. Estado de conservación de la superficie de rodamiento, accesorios y accesos (continuación).

2.3. Juntas de expansión:		RE = NA	GD = NA
Por la tipología estructural, el puente no presentaba juntas de expansión.		No hay fotografía asociada	
2.4. Superficie de rodamiento de los accesos:		RE = 1	GD = 2
En la superficie de rodamiento del acceso 1 se observaba grietas por fatiga de media severidad en la zona destacada con rojo en la Figura 2.4.			
<p align="center">Figura 2.4. Desgaste y agrietamiento por fatiga en la superficie de rodamiento asfáltica del acceso 1</p>			
2.5. Rellenos de aproximación y taludes de accesos:		RE = NI	GD = NI
Por la tipología estructural, el puente no cuenta con rellenos de aproximación.		No hay fotografía asociada.	
2.6. Muros de retención de los accesos:		RE = NA	GD = NA
No hay muros de retención en los accesos ya que se trata de un puente integral apoyado sobre roca, por lo que no requiere de muros.		No hay fotografía asociada.	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 21/55 VERSIÓN 07

Tabla No. 2. Estado de conservación de la superficie de rodamiento, accesorios y accesos (continuación).

2.7. Losa de aproximación:	RE = NI	GD = NI
Aunque no se tuvo acceso visual a las losas de aproximación de los accesos por la existencia de la carpeta asfáltica, por la tipología de puente es muy probable que no existan ya que no son necesarias. <p style="text-align: center;">No hay fotografía asociada</p>		
2.8. Sistema de drenaje de los accesos:	RE = 1	GD = 1
En cuanto al sistema de drenaje de salida o de descarga, se observó que no hay una terminación adecuada en el drenaje aguas abajo del acceso 2. Esto se evidencia en la Figura 2.8 donde el sistema de drenaje finaliza en un punto y seguidamente lo que existe es un delantal de concreto lanzado no sobre roca sino sobre el suelo de la margen, lo cual ha provocado erosión y por lo tanto aumenta el riesgo de que eventualmente colapse.	 <p style="text-align: center;"> Figura 2.8. Erosión en delantal del drenaje aguas abajo del acceso 2. </p>	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 22/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 3. Estado de conservación de las superestructuras tipo arco de mampostería.

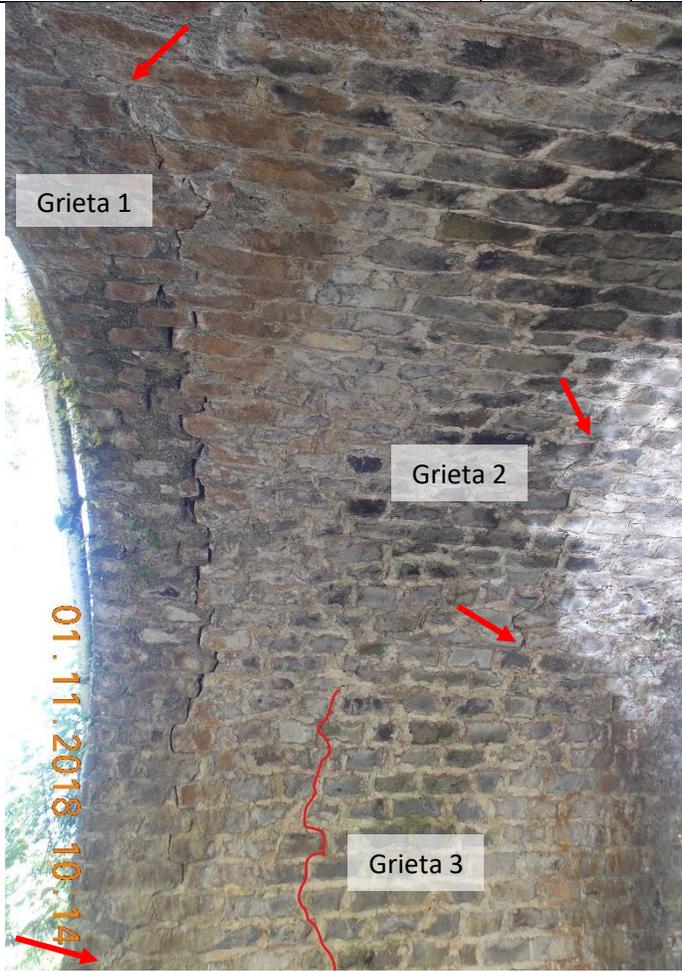
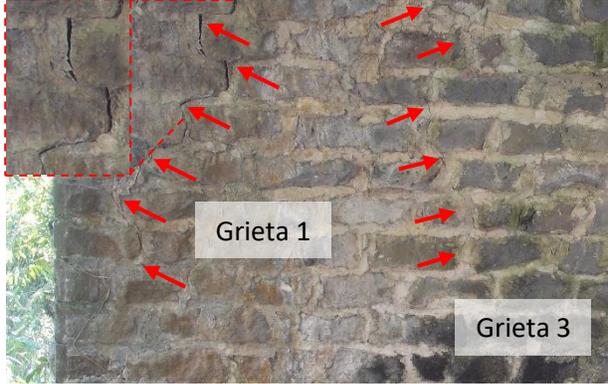
3.1. Tablero (losa de concreto):	RE = NA	GD = NA
Por la tipología estructural, el puente no presentaba tablero.	No hay fotografía asociada	
3.2. Arco (intradós)	RE = 4	GD = 2
<p>El intradós presentaba dos grietas de extensión importante y otra de espesor menor. Las grietas observadas se muestran en la Figura 3.2(a) y en la Figura 3.2(b). En los tres casos, las grietas eran coincidentes con las sisas de la mampostería y se localizaban en el extremo del intradós aguas arriba (grieta 1), a un tercio del costado aguas abajo (grieta 2) y en el centro del puente cerca del bastión 1 (grieta 3).</p> <p>La grieta 1 es la de mayor espesor y longitud (aproximadamente un 60 % de la circunferencia total del arco). Este tipo de agrietamiento generalmente es asociado a movimientos inapreciables en el muro de retención lateral (costado aguas arriba en este caso): las cargas verticales llevan al desarrollo de presiones horizontales en el relleno que provocan efectos fuera del plano en los muros laterales y por lo tanto fuerzas de tensión transversal en el arco (Costa et al., 2018; Proske y Gelder, 2009).</p> <p>La grieta 2 es la siguiente en severidad y está cerca de la zona que presenta manchas de humedad; la filtración continua de agua puede provocar que se extienda el daño y consecuentemente habría pérdida de rocas y exposición o pérdida del material de relleno.</p> <p>En la Figura 3.2(c) se aprecia que había manchas de humedad en el intradós del costado del acceso 1 en la grieta 1.</p> <p>Cabe mencionar que durante la inspección se</p>		

Figura 3.2 (a). Agrietamiento longitudinal en el intradós (Las flechas indican el inicio y final de la grieta, y en el caso de la grieta 3 esta se marca por medio de la línea mostrada).

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 23/55 VERSIÓN 07

Tabla No. 3. Estado de conservación de las superestructuras tipo arco de mampostería (continuación).

3.2. Arco (intradós) (continuación)	RE = 4	GD = 2
<p>observaron algunos faltantes de mampuestos en la línea horizontal de transición entre los bastiones y el arco de mampostería; sin embargo, por la distribución simétrica de los faltantes, su ubicación y la aparición de este patrón en otros puentes de igual tipología en el país, se puede inferir que están relacionadas al proceso de construcción (ver Figura 3.2 (d)).</p> <p>Algunos segmentos de material se habían desprendido en las zonas cercanas a la grieta longitudinal 1 (ver Figura 3.2 (e)).</p>	 <p>Figura 3.2 (b). Detalle de agrietamiento longitudinal cerca de muro de aguas arriba y del bastión 1.</p>  <p>Figura 3.2(c). Manchas de humedad en intradós.</p>	

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 24/55 VERSIÓN 07

Tabla No. 3. Estado de conservación de las superestructuras tipo arco de mampostería (continuación).

3.2. Arco (intradós) (continuación)	RE = 4	GD = 2
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p data-bbox="760 940 1479 968">Figura 3.2(d). Falta de rocas producto del método constructivo.</p>  <p data-bbox="748 1381 1495 1444">Figura 3.2(e). Falta de segmentos de roca en zonas cercanas a las grietas.</p> </div>		

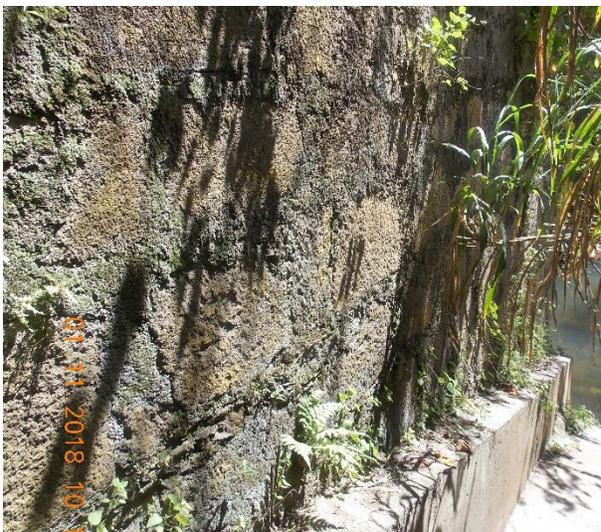
	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 25/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 3. Estado de conservación de las superestructuras tipo arco de mampostería (continuación).

3.3. Muro de retención lateral.	RE = 2	GD = 2
<p>El muro del costado aguas arriba poseía deterioro del mortero de relleno y vegetación en las sisas tal y como se aprecia en la Figura 3.3(a). En algunos sitios puntuales, la vegetación estaba provocando que las rocas se desplazaran (ver Figura 3.3(b)). De darse pérdida de rocas, el material de relleno quedaría expuesto o podría perderse, lo cual podría paulatinamente incrementar el nivel de deterioro. No se observaron movimientos anormales del muro del costado aguas arriba.</p> <p>El muro del costado aguas abajo también presentaba vegetación, en este caso abundante, en las sisas (ver Figura 3.3(c)). No se observaron movimientos anormales del muro, fuera de su plano.</p>	 <p>Figura 3.3(a). Vegetación en juntas en muro del costado aguas arriba.</p>  <p>Figura 3.3(b). Desplazamiento de rocas producto de crecimiento de vegetación en las juntas en muro del costado aguas arriba.</p>  <p>Figura 3.3(c). Vegetación abundante en juntas en el muro del costado aguas abajo.</p>	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 26/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 4. Estado de conservación de la subestructura.

4.1. Apoyos en bastiones y pilas:	RE = NA	GD = NA
El puente no cuenta con apoyos ya que, por su tipología estructural, hay continuidad entre el arco (muro de retención e intradós) y el bastión.		
4.2. Bastiones:	RE = 3	GD = 1
<p>La parte del bastión 1 bajo el aletón (aguas abajo y aguas arriba) presentaba poca vegetación; no se observó que hubiera pérdida de material de las sisas (ver Figura 4.2(a). La sección del bastión que se encuentra bajo el intradós, no presentaba vegetación en la sisas ni pérdida de material de las sisas o desgaste de las rocas relevante.</p> <p>Las partes del bastión 2 bajo el aletón, tanto la de aguas abajo y como la de aguas arriba, presentaban poca vegetación, sin embargo, no se observó que hubiera pérdida de material de las sisas (ver Figura 4.2(b)). La sección del bastión que se encontraba bajo el intradós, no presentaba vegetación en la sisas ni pérdida de material de las sisas o desgaste de las rocas relevante.</p>		
		
	<p>Figura 4.2(a). Vista del bastión 1 ubicado bajo aletón de aguas abajo.</p>	
		
	<p>Figura 4.2(b). Vegetación en bastión 2 ubicado bajo aletón de aguas abajo.</p>	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 27/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 4. Estado de conservación de la subestructura (*continuación*).

4.3. Aletones:	RE = 2	GD = 1
<p>La parte de los aletones cercana a los accesos del puente no tenían material de relleno como mortero en las sisas. Esto se considera una situación que se planteó y ejecutó desde la construcción, por la colocación de rocas pequeñas como calzas que se observa tanto en la Figura 4.3(a) como en la Figura 4.3(b).</p> <p>En la primera figura se observa que había crecimiento de vegetación, sin embargo, no es abundante y no ha llegado a desestabilizar alguna sección del aletón o provocar el movimiento de rocas importantes. Esta es la condición más representativa de los aletones del costado aguas arriba, sin embargo, hay sitios puntuales donde la vegetación está provocando que las rocas se desplacen (ver Figura 4.3(c)). En caso de darse pérdida de rocas, el material de relleno quedaría expuesto o podría perderse. Además, estos puntos están cerca del muro de retención por lo que las consecuencias podrían ser más graves.</p> <p>Los aletones del costado aguas abajo sí presentaban vegetación abundante como se muestra en la Figura 4.3(d).</p>	<div data-bbox="824 533 1430 871" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="743 877 1511 934" data-label="Caption"> <p>Figura 4.3(a). Vegetación en aletón ubicado en el acceso 2, costado aguas arriba.</p> </div> <div data-bbox="824 947 1430 1327" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="743 1339 1511 1396" data-label="Caption"> <p>Figura 4.3(b). Vegetación en aletón ubicado en el acceso 2, costado aguas abajo.</p> </div> <div data-bbox="824 1409 1430 1797" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="743 1801 1511 1858" data-label="Caption"> <p>Figura 4.3(c). Desplazamiento de rocas producto de crecimiento de vegetación en las juntas en aletón de costado aguas arriba.</p> </div>	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 28/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 4. Estado de conservación de la subestructura (*continuación*).

4.3. Aletones (<i>continuación</i>):	RE = 2	GD = 1
		
<p>Figura 4.3(d). Vegetación en muro de retención y aletón del costado aguas abajo.</p>		
4.4. Cimentaciones (<i>pilas y bastiones</i>):	RE = 4	GD = 0
<p>Ambos bastiones se encontraban cimentados directamente sobre el afloramiento de roca (Ver figura 4.4(a) y (b)). No se observaron daños.</p>		
		
<p>Figura 4.4(a). Cimentación del bastión 2, vista de la sección ubicada bajo el intradós.</p>		
		
<p>Figura 4.4(b). Cimentación del bastión 1, vista de la sección ubicada bajo el intradós.</p>		

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 29/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 5. Estado de conservación de elementos de protección sísmica e hidráulica

5.1. Longitud de asiento en bastiones y pilas:	RE = NA	GD = NA
Por la tipología de la estructura no hay apoyo y, por ende, longitud de asiento tampoco pues el puente es integral.		
No hay fotografía asociada.		
5.2. Dispositivos para prevención de colapso (llaves de corte, cadenas, anclajes, aislamiento sísmico):	RE = NA	GD = NA
Por la tipología, el puente no tiene dispositivos especiales como aislamiento de base o amortiguamiento.		
No hay fotografía asociada.		
5.3. Protección de taludes de relleno de aproximación:	RE = NA	GD = NA
Por las características del puente y del entorno, no hay rellenos de aproximación.		
5.4. Protección de taludes frente al bastión:	RE = NA	GD = NA
No existe protección frente a ninguno de los bastiones. Esto obedece a la tipología estructural del puente, más que a una deficiencia.		
No hay fotografía asociada.		

	<p>Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR</p> <p>INFORME DE EVALUACIÓN</p>	<p>Código: RC-444</p>
	<p>CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019</p>	<p>Página 30/55</p>

Tabla No. 5. Estado de conservación de elementos de protección sísmica e hidráulica (continuación).

5.5. Cauce del río:	RE = NA	GD = NA
<p>En la Figura 5.5(a) se observa el cauce bajo el puente, al momento de la inspección. Además, en la Figura 5.5(b) se muestra el cauce aguas abajo del puente.</p> <p>El lecho del río era rocoso por lo que la probabilidad de que ocurra socavación en los bastiones del puente, es muy baja.</p> <p>No se logró obtener información sobre el comportamiento del río en la ubicación del puente en la estación lluviosa durante los últimos años.</p>	 <p>Figura 5.5(a). Vista del cauce bajo el puente, fotografía tomada desde aguas abajo</p>  <p>Figura 5.5(a). Vista del cauce del río aguas abajo</p>	

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 31/55	VERSIÓN 07

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este informe se presentan las observaciones realizadas durante la evaluación visual de la condición del puente río Tibás ubicado en la Ruta Nacional No. 117. Las Tablas No. 1 a No. 5 resumen la condición de deterioro del puente.

Con base en lo observado y la metodología descrita en el ANEXO B, se concluye que el estado de conservación del puente es considerado como ALARMANTE:

CATEGORÍA	CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	
		Integridad Estructural y Seguridad Vial	Necesidad de Atención
5	ALARMANTE	Situación crítica. La estabilidad del puente puede estar comprometida en un periodo de tiempo corto gracias a la progresión del daño. Procurar reparación o tratamiento inmediato para asegurar estabilidad y evitar daños irreversibles en los elementos	<u>Atención prioritaria.</u> Se debe señalar la condición estructural peligrosa del puente y los trabajos de reparación son prioritarios. Evaluar la capacidad estructural residual del puente para juzgar si es necesario restringir la carga permitida

La calificación anterior se brinda por las siguientes razones:

- a. Existen grietas de longitud y ancho importante en el intradós, que terminan en rompimiento de mampuestos. Además, se observó presencia de humedad.

Por lo tanto, con el propósito de contribuir a la atención de la estructura según las observaciones de las Tablas No.1 a No.5, se recomienda realizar las siguientes acciones en los elementos que fueron inspeccionados, especificando en donde aplique el *Manual de especificaciones generales para la conservación de carreteras, caminos y puentes MCV-2015* (MOPT, 2015) y el *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010* (MOPT, 2010). Dadas las características específicas de este tipo de puente de mampostería antiguo, cuya conservación no se incluye en la mayoría de los manuales modernos de puentes, en el Anexo C se muestra bibliografía que puede ser usada como referencia en el tema.

Informe LM-PIE-UP-PN03-2019	Mayo, 2019	Página 31 de 55
-----------------------------	------------	-----------------

	<p>Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR</p> <p>INFORME DE EVALUACIÓN</p>	<p>Código: RC-444</p>
	<p>CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019</p>	<p>Página 32/55</p>

Tabla No. 6 - Mantenimiento cíclico o programado:

Nota: Se incluyen sólo las deficiencias observadas y se asume que se llevan a cabo las restantes tareas necesarias de mantenimiento cíclico de los componentes del puente

Elementos	Recomendaciones
<p>1.1. Sistema de contención vehicular del puente.</p> <p>1.2. Sistema de contención vehicular de los accesos:</p> <p>1.4. Señalización</p>	<p>Una vez sean mejoradas las condiciones de estos elementos según lo 7indicado en las Tablas No. 7 y 8, establecer un programa de verificación y reparación de daños y reposición de elementos de los sistemas de contención vehicular del puente, de los sistemas de contención vehicular de los accesos y de señalización vertical.</p>
<p>1.4 Señalización</p>	<p>Demarcar periódicamente las líneas de centro y de borde del puente y renovar captaluces de acuerdo con el periodo de vida útil de servicio que recomiende el fabricante de estos dispositivos.</p>
<p>2.2. Bordillos y sistema de drenaje del puente</p>	<p>Limpiar periódicamente los bordillos para permitir el rápido tránsito del agua de escorrentía hacia los accesos, ya que el puente no cuenta con ductos de drenaje.</p>
<p>3.2. Intradós</p> <p>3.3. Muros de retención</p> <p>4.2. Bastiones</p> <p>4.4. Aletones</p>	<p>Limpiar el intradós, muros de retención, aletones y bastiones regularmente (por lo menos una vez al año) para evitar que la vegetación crezca en las sisas de la mampostería. Hacerlo la primera vez en el corto plazo, ya que postergarlo aumenta el riesgo de deterioro en las sisas de mampostería del puente.</p>

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 33/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 7 - Mantenimiento basado en la condición:	
Elementos	Recomendaciones
1.2. Sistema de contención vehicular de los accesos	<p>Se recomienda realizar una revisión detallada de si los sistemas de contención vehicular actuales cumplen con lo dispuesto en normas y manuales del fabricante, en cuanto a separación de elementos verticales, longitudes, ángulos, anclajes, uniones y principalmente transiciones con la barrera rígida.</p> <p>Además se debe revisar si la longitud de los guardavías es la adecuada para la visibilidad que hay en ambos accesos del puente.</p>
1.4. Señalización	<p>Colocar rotulación con el nombre del puente en ambos accesos. Colocar delineadores verticales.</p>
2.8. Sistema de drenaje	<p>Se recomienda seguir las disposiciones del AASHTO LRFD 2017 (sección 2.6) y los manuales HEC 14 (FHWA, 2006) y HEC 21 (FHWA, 1993), en cuanto a las correctas estructuras de descarga final de los sistemas pluviales.</p>
3.2. Intradós 3.3. Muros de retención 4.2. Bastiones 4.3. Aletones	<p>Realizar reparaciones por la pérdida de segmentos o mampuestos enteros, o por deterioro o pérdida del mortero de las sisas.</p> <p>Darles seguimiento a las grietas longitudinales del intradós y documentarlas, de preferencia sin extenderse un período mayor a un año. Sellar las grietas longitudinales para evitar la pérdida de material del relleno y evitar filtraciones de agua, en el entendido de que esta no es necesariamente una reparación estructural integral sino una medida de intervención temporal (ver Tabla No. 8 y Tabla No. 9).</p>

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 34/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 8 - Rehabilitación:	
Elementos	Recomendaciones
1.1. <i>Sistema de contención vehicular del puente</i>	<p>Evaluar si las barreras vehiculares existentes cumplen en resistencia, altura y geometría con los niveles de contención especificados en la Norma AASHTO LRFD 2017 para las características del tránsito del sitio del puente. Usar para ello como guía la Guía de Diseño de Márgenes de Carreteras (AASHTO, 2011), la Guía Recomendada para la Selección de Barreras de Contención de Puentes TL-2 hasta TL-4 (NCHRP, 2014), así como el Manual SCV: Guía para el Análisis y Diseño de Seguridad Vial de Márgenes de Carretera (Valverde-González, 2011). En cuanto a este último documento, en la Tabla III-11 de niveles de contención, se recomienda que para accidentes muy graves (puentes), velocidades mayores a 60 km/h, TPD mayor a 2000 y tránsito diario de vehículos pesados entre 500 y 2000, el nivel de contención sea equivalente a TL-4 o TL-5.</p> <p>En caso de no cumplir, proveer de barreras con un nivel adecuado de contención de acuerdo con las condiciones de la ruta, ubicación y características geométricas del puente, y acordes con la Norma AASHTO LRFD 2017, siempre que esto sea práctico. La razón para recomendar el uso de normativa en su versión más reciente, es para poder brindar seguridad a los usuarios acorde con la demanda vehicular más actualizada posible.</p> <p>De acuerdo con la Guía de Diseño de Márgenes de Carreteras (AASHTO, 2011), para barreras diseñadas con normativa y criterios anteriores al AASHTO LRFD, es posible, por medio de un análisis de seguridad a los usuarios y costo-efectividad, mantener el sistema de contención actual, siempre y cuando se evalúe de manera estricta que durante su vida de servicio haya tenido un desempeño adecuado; si no existiera tal registro para hacer dicha evaluación, no se recomienda seguir esta opción. De este mismo análisis se puede determinar también si la readecuación se debe realizar en el corto plazo, o si aun no cumpliendo con la normativa, es posible esperar hasta la próxima rehabilitación del puente.</p>
1.3. <i>Aceras, ciclovías y sus accesos</i>	<p>De acuerdo con la demanda de tránsito peatonal en el puente que se genera en la zona, decidir si es necesario colocar una estructura adicional para el paso peatonal, así como en sus accesos, que cumpla con lo establecido en la Ley 7600 y normativa técnica como AASHTO.</p>

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019		Página 35/55 VERSIÓN 07

Tabla No. 8 – Rehabilitación (continuación):	
Elementos	Recomendaciones
Puente en general	<p>Debido a que el puente es de un solo carril perteneciente a una Ruta Nacional Secundaria que conecta a la ciudad de Heredia con la Ruta Nacional Primaria No. 32, se recomienda llevar a cabo un análisis de tránsito para determinar si se justifica ampliar el puente a dos carriles, tomando en cuenta el nivel de servicio que debe brindar a futuro, así como para el porcentaje de camiones que transitan por la misma (aproximadamente 25 % actualmente).</p> <p>Aunque no se ha logrado identificar la fecha de construcción del puente, por la tipología utilizada es muy probable que tenga cerca de 100 años o más, ya que es del tipo de puente de arco de mampostería que se construyó principalmente para poder sacar el café de exportación del valle central durante la segunda mitad del siglo XIX o principios del siglo XX y coincide con otros puentes de igual tipología ubicados en rutas aledañas, y es evidente por lo tanto de que las cargas para las cuales fue construido son mucho menores que las de la demanda actual.</p> <p>Si bien es cierto el puente no presenta daños estructurales que impliquen un riesgo inaceptable o de falla inminente en el corto plazo, las grietas longitudinales observadas si implican una condición que podría ser alarmante si no se tratan a tiempo y de manera adecuada. Tal y como se indicó en la Tabla No. 3, este tipo de grietas están asociadas a esfuerzos de tensión transversales al puente principalmente por presiones laterales excesivas en los rellenos debido a la carga vehicular y no a deficiencias en la capacidad de carga del arco, pero su progresión si podría llevar a la inestabilidad de la estructura.</p> <p>Dado lo anterior, se recomienda que, independientemente de la decisión que se tome en cuanto a si la estructura debe ser rehabilitada, ampliada o sustituida, se analice si es necesario colocar una restricción de carga sobre el puente hasta que se lleven a cabo los trabajos finales.</p> <p>Debido a la posible edad, método constructivo, relación con el entorno, dimensiones y contexto en el cual fue erigido, la estructura podría poseer un valor histórico patrimonial, tanto local como nacional, que debe determinarse y analizarse con detalle según criterios como los que se presentan en la bibliografía sugerida en el Apéndice C.</p>

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN	Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 36/55

Tabla No. 8 – Rehabilitación (continuación):	
Elementos	Recomendaciones
Puente en general	<p>Si se determina que se justifica su conservación, se recomienda llevar a cabo un análisis de las medidas de intervención estructurales necesarias para que el puente soporte las cargas actuales de forma segura y ejecutar estas medidas en el mediano plazo. Además, si se determina que la estructura tiene un valor histórico, se debe procurar que los aspectos que lo hacen histórico no se vean alterados con las medidas de reforzamiento o reparación. Como parte de las intervenciones a realizar, se recomienda sellar las grietas y segmentos de roca que se han desprendido para evitar el progreso del daño. No se considera conveniente realizar inyecciones de material debido a que se podrían incrementar las presiones en el relleno, pero esa decisión está sujeta al análisis más exhaustivo que se realice como parte del estudio de la rehabilitación.</p> <p>Si se justifica una ampliación y se determina que el puente posee características de importancia histórica, se debe procurar respetarlas. En este caso, se recomienda analizar si se justifica utilizar el tratamiento realizado con otros puentes similares en otras rutas nacionales en donde la nueva estructura de dos carriles se coloca sobre el arco de mampostería (por ejemplo, el puente sobre el río Colorado en Ruta Nacional No. 709), porque la estructura queda oculta por la ampliación.</p> <p>Otro análisis necesario para determinar si se justifica su conservación, es un estudio hidrológico-hidráulico que tome en cuenta la rápida impermeabilización que está ocurriendo en los terrenos aguas arriba debido a la construcción de una gran cantidad de proyectos urbanísticos, así como incluir factores de cambio climático a futuro, para determinar si la capacidad hidráulica del puente es suficiente para un periodo de retorno adecuado que determine la Administración.</p>

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 37/55	VERSIÓN 07

Tabla No. 9 - Sustitución:
<p>En caso de que se decida sustituir el puente porque su valor histórico no justifica su conservación en comparación con su capacidad de carga, estado de conservación, de volumen de tránsito y costos de preservación (análisis costo-beneficio y de ciclo de vida que deben ser llevados a cabo para tomar la decisión), aun así se recomienda documentar exhaustivamente su estado actual, debido al valor histórico e ingenieril asociado a este tipo de estructuras antiguas, para así mantener un archivo digital disponible del mismo.</p> <p>En caso de que sea sustituido, se debe realizar el análisis de tránsito para determinar la cantidad de carriles requeridos. Se recomienda como mínimo colocar un puente con dos carriles y con aceras que cumplan con la Ley 7600.</p>

Se asume que estas recomendaciones serán evaluadas por los profesionales que la Administración asigne como responsables de la conservación, rehabilitación o sustitución 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.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 38/55	VERSIÓN 07

7. REFERENCIAS

1. AASHTO (2008). *Guidelines for Historic Bridge Rehabilitation and Replacement*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., USA.
2. AASHTO (2017). *LRFD Bridge Design Specifications. 8th Edition*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., USA.
3. AASHTO (2016). *Manual for Assessing Safety Hardware*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., USA.
4. AASHTO (2017). *LRFD Bridge Design Specifications. 8th Edition*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., USA. American Concrete Institute (2011). *RAP-4: Surface Repair Using Form-and-Pour Techniques*. ACI Committee E706. Michigan, USA.
5. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos [CFIA] (2013). *Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes*. Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
6. Costa, A., Arêde, A. & Varum, H. (2018). Strengthening and Retrofitting of Existing Structures. En *Building Pathology and Rehabilitation*. Portugal: Springer.
7. FHWA. (1993). *Design of Bridge Deck Drainage*. Hydraulic Engineering Circular Number 21.
8. FHWA. (2006). *Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels* (tercera ed.). Hydraulic Engineering Circular Number 14.
9. FHWA (2018). *Bridge Preservation Guide: Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility*. Publication No. FHWA-HIF-18-022. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Virginia, USA.
10. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.

Informe LM-PIE-UP-PN03-2019	Mayo, 2019	Página 38 de 55
-----------------------------	------------	-----------------

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 39/55	VERSIÓN 07

11. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2015). *Manual de especificaciones generales para la conservación de carreteras, caminos y puentes MCV-2015*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
12. Muñoz-Barrantes, J., Vargas-Alas, L. G., Vargas-Barrantes, S., Agüero-Barrantes, P., Villalobos-Vega, E., Barrantes-Jiménez, R., et al. (2015). *Actualización de los criterios para la evaluación visual de puentes LM-PI-UP-05-2015*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
13. NCHRP (1993). *Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features. NCHRP Report 350*. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board.
14. Pennsylvania Department of Transportation (2010). Stone Masonry Arch Condition Rating Guidelines. En *Bridge Safety Inspection Manual* (2 ed.). Pennsylvania.
15. Proske, D., Gelder, P. (2009). *Safety of Historical Stone Arch Bridges*. Springer.
16. United States Department of Agriculture (2000). *Identifying and Preserving Historic Bridges*.
17. United States Department of Agriculture (2000). *Identifying and Preserving Historic Bridges*.
18. Tilly, G., Frost, A., Wallsgrove, J. (2002). *Conservation of Bridges*. Spon Press: New York.
19. Valverde-González, G. (2011). *Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carretera*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
20. Zúñiga-Blanco, J. C. (2017). *Anuario de Información de Tránsito 2017*. MOPT-01-06-21-001-2017. Secretaría de Planificación Sectorial. Proceso de Planificación Estratégica Multimodal de Servicios de Infraestructura y de Transporte. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 40/55	VERSIÓN 07

ANEXO A

Glosario.

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 41/55	VERSIÓN 07

- **Inspección:** Es el reconocimiento visual de todos los elementos estructurales y no estructurales del puente a los cuales se tiene acceso por parte de un ingeniero calificado con el fin de evaluar su condición el día de la visita al sitio.
- **Evaluación:** Es la determinación de la condición del puente a partir de las observaciones realizadas durante la inspección.
- **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).
- **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 o Programado:** 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

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 42/55	VERSIÓN 07

elementos, pero podría o no resultar en un incremento en su estado de condición (FHWA, 2018).

- **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 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 43/55	VERSIÓN 07

ANEXO B

Criterios para clasificar el estado de conservación del puente.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 44/55	VERSIÓN 07

Página intencionalmente dejada en blanco

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 45/55	VERSIÓN 07

La evaluación de la condición de un puente a partir de los deterioros observados en sus elementos se realiza de acuerdo con la metodología definida en el informe LM-PI-UP-05-2015. El proceso de evaluación se realiza para cada uno de los elementos del puente y posteriormente se asigna la condición al puente de acuerdo con el elemento más deteriorado.

El procedimiento de evaluación considera las siguientes variables:

- Grado de Deficiencia (GD):** Considera una serie de deficiencias que pueden ser causadas por efecto de las cargas que actúan sobre el puente, condiciones ambientales, defectos constructivos o defectos en el diseño del puente. Esta variable permite cuantificar la severidad y extensión de los deterioros observados en un elemento. Tiene los siguientes valores: 0 para deficiencias mínimas o nulas, 1 para deficiencias leves, 2 para deficiencias moderadas y 3 para deficiencias graves
- Relevancia Estructural (RE):** Esta variable considera la importancia relativa del elemento respecto a todos los demás elementos en el sistema del puente, tomando en cuenta incluso a los que no tienen una función estructural explícita. La RE se obtiene considerando la función del elemento dentro del flujo principal de las cargas gravitacionales del puente. También considera si la ausencia o falla del elemento implica la salida de operación del puente, y si la ausencia o falla del elemento implica un riesgo para la seguridad de vida de los usuarios del puente. La forma de obtener la RE es diferente si la función del elemento es de protección ante sismos o ante eventos hidrológicos como crecidas o inundaciones, considerando en este caso: la importancia operacional del puente, la frecuencia de los eventos extremos y la vida de servicio remanente del puente. La RE tiene valores enteros entre 1 y 4, de menor a mayor relevancia estructural respectivamente.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 46/55	VERSIÓN 07

- Factor de Consecuencia de Falla (FCF):** Esta variable considera los efectos de la falla de alguno de los elementos del puente en términos económicos, de pérdida de vidas o lesiones a los usuarios, y de la importancia del puente para el funcionamiento de la vía a la cual pertenece. El valor de la variable se determina tomando en cuenta el tipo de falla probable del puente como sistema ante la falla del elemento en evaluación, la importancia operacional y la Relevancia Estructural (RE) del elemento. Tiene distintos valores según el nivel de consecuencia obtenido para el elemento, los cuales, son 0,60; 0,80; 1,00 y 1,25 para los niveles de consecuencia 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

Al combinar estas variables se obtiene la Condición Evaluada (CE) y la Condición Global del Puente (GP) las cuales se definen a continuación:

- Condición Evaluada (CE):** Esta variable representa la condición del elemento en evaluación. Se obtiene al combinar el GD, la RE y el FCF en la siguiente ecuación:

$$CE = \begin{cases} 1 & \text{si } GD = 0 \\ Entero\{[(FCF * RE) - 1] + GD\} \leq 6 & \text{si } GD \neq 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Con esta ecuación se obtienen valores enteros entre 1 y 6. Cada uno de estos valores representa una condición para el elemento que se describe en la tabla A-1.

- Condición Global del Puente (CP):** Corresponde con el máximo valor de Condición Evaluada (CE) que se obtiene después de evaluar todos los elementos del puente. Al igual que la CE, tiene valores entre 1 y 6, los cuales corresponden a las condiciones descritas en la tabla A-1.

En el diagrama de flujo de la figura A-1 se esquematiza el proceso para obtener la Condición Evaluada (CE) de cada elemento del puente y la Condición Global del Puente (GP) a partir del Grado de Deficiencia (GD) observado en la evaluación realizada, tal como se define en el informe *Actualización de los criterios para la evaluación visual de puentes LM-PI-UP-05-2015* (Muñoz-Barrantes et al., 2015).

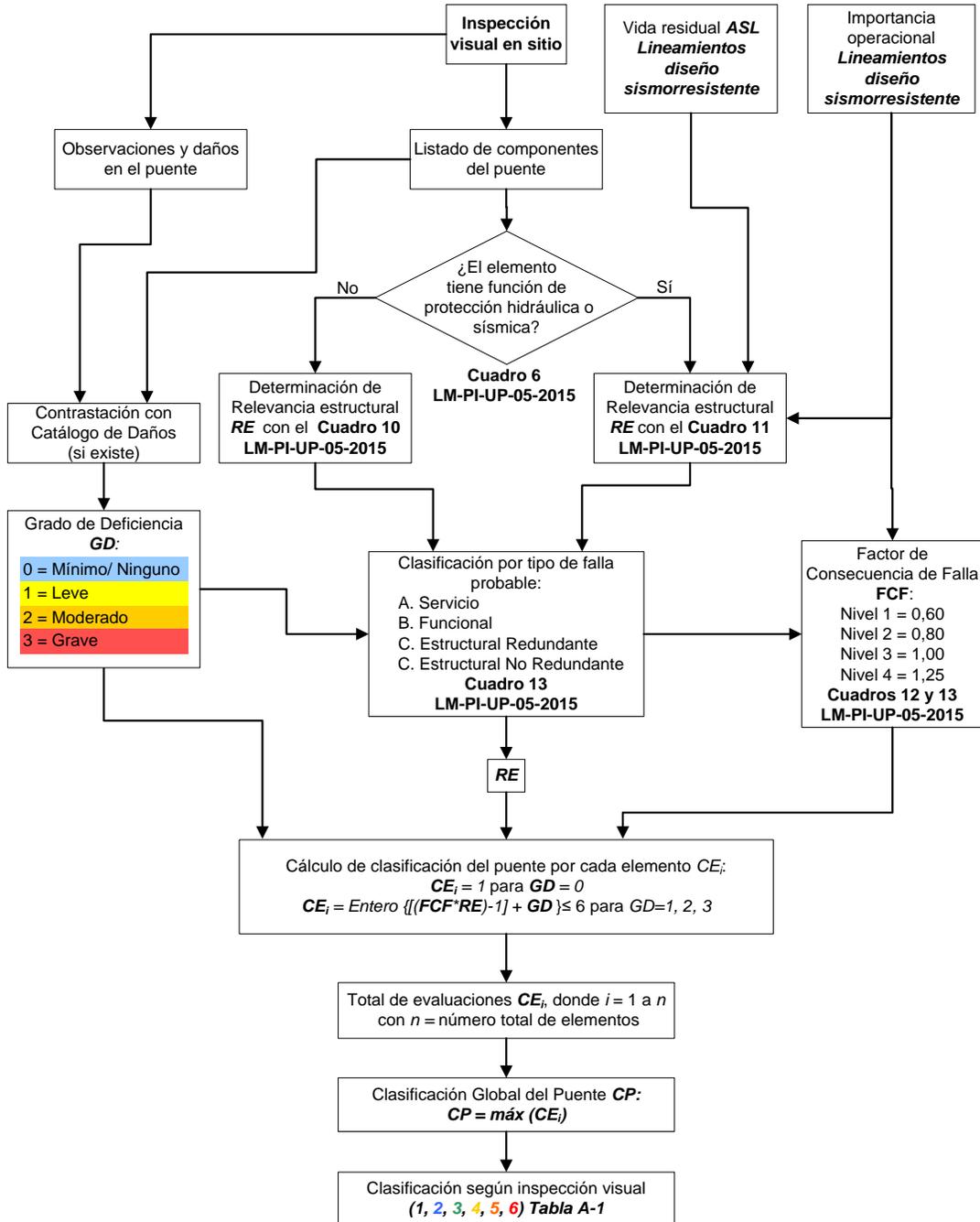


Figura B-1. Diagrama de flujo con metodología para calificar cualitativamente la condición del puente de acuerdo con informe LM-PI-UP-05-2015.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 48/55	VERSIÓN 07

Tabla B-1. Descripción de los niveles de calificación cualitativa de la condición del puente de acuerdo con informe LM-PI-UP-05-2015.

CATEGORÍA	CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	
		Integridad Estructural y Seguridad Vial	Necesidad de Atención
1	SATISFACTORIA	Estado bueno. Sin daño o daños son leves. La estabilidad estructural, seguridad vial y durabilidad están asegurados	Mantenimiento rutinario (Se asume que está programado para todos los puentes de la Red Vial Nacional)
2	REGULAR	Deterioros ligeros que deben ser tratados por aspectos de durabilidad o progresión del daño. Deficiencias en aspectos de seguridad vial	Reparaciones se programan en conjunto con el siguiente mantenimiento rutinario del puente
3	DEFICIENTE	Deficiencia importante pero los componentes del puente funcionan aún de forma adecuada. Daño o defecto en seguridad vial peligroso	Es necesario programar la reparación previo al próximo mantenimiento rutinario
4	SERIA	Puente estable, pero con deterioro significativo en uno o varios elementos estructurales primarios, o falla en secundarios. Si no se trata la proliferación del deterioro, este podría conducir a una situación inestable a futuro. Deficiencia en seguridad vial muy riesgosa para los usuarios	<u>Atención pronta.</u> Se debe atender pronto el puente para detener la progresión del daño. Se debe atender una situación peligrosa en la seguridad vial de forma prioritaria incluyendo el señalamiento de la situación vial riesgosa
5	ALARMANTE	Situación crítica. La estabilidad del puente puede estar comprometida en un periodo de tiempo corto gracias a la progresión del daño. Procurar reparación o tratamiento inmediato para asegurar estabilidad y evitar daños irreversibles en los elementos	<u>Atención prioritaria.</u> Se debe señalar la condición estructural peligrosa del puente y los trabajos de reparación son prioritarios. Evaluar la capacidad estructural residual del puente para juzgar si es necesario restringir la carga permitida
6	RIESGO INACEPTABLE o FALLA INMINENTE	Condición de deterioro inaceptable en puentes de importancia muy alta o situación de puente inestable con riesgo alto de colapso de la estructura. Daño severo en un elemento crítico o daños severos extendidos sobre varios elementos principales. Daño irreversible que posiblemente requiera el cambio del puente o la sustitución de elementos dañados	<u>Atención inmediata.</u> Cerrar el puente o restringir el paso de vehículos pesados (según criterio de la Administración). Evaluar necesidad de colocación de soportes temporales o un puente temporal. Estudio estructural del puente y propuesta de reparación o cambio del puente

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR	Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN	
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 49/55
		VERSIÓN 07

 LanammeUCR	RC-451 Calificación de la condición del puente según la evaluación visual	Versión: 01 Página: 1/1			
	Nombre del puente y Ruta Puente río Tibás, RN 117	Importancia Operacional (LDSP 2013) Esencial			
Fecha Evaluación 1/11/2018	TPD (veh/día) 8791				
Año de construcción o diseño No hay información	Vida de diseño según código (años) No hay información				
	DESCRIPCIÓN DE DAÑOS O REFERENCIA A TABLA DE INFORME	TIPO DE FALLA			
ELEMENTO	RE	GD	FCF	CE_i	
SEGURIDAD VIAL	Barrera vehicular (puente)	2	2	0.8	3
	Barrera vehicular (accesos)	1	2	0.6	2
	Aceras	2	3	0.8	4
	Señalización Vial	1	2	0.6	2
	Rotulación Carga/Altura Máxima	1	No Aplica	0.6	
	Iluminación	1	0	0.6	1
ACCESORIOS	Superficie de rodamiento (puente)	1	2	0.6	2
	Sistema de drenaje del puente	1	3	0.6	3
	Juntas de expansión	1	No Aplica	0.6	
ACCESOS	Superficie de rodamiento (acceso)	1	2	0.6	2
	Relleno de aproximación	2	No Insp.	0.8	
	Losa de aproximación	2	No Insp.	0.8	
	Muros de contención en accesos	2	No Aplica	0.8	
SUPERESTRUCTURA	Tablero	3	No Aplica	0.8	
	Arco (intradós)	4	2	1	5
	Muros de retención del puente	2	2	0.8	3
SUBESTRUCTURA	Apoyos	3	No Aplica	0.8	
	Aletones	2	1	0.8	2
	Bastiones	3	1	0.8	2
	Cimentaciones	3	0	0.8	1
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	Protección de taludes de rellenos	2	0	1	1
	Escollera de protección	2	No Aplica	1	
				CP =	5 Condición Alarmante

Figura B-2. Metodología para evaluar la condición del puente.

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 50/55	VERSIÓN 07

Tabla B-2. Descripción de los ítems considerados en la determinación del grado de daño.

SEGURIDAD VIAL			
#	Ítem	GD	Comentarios
1	Demarcación horizontal	2	Falta de demarcación horizontal en los accesos y se encuentra deteriorada en el puente.
2	Captaluces	0	
3	Guardavías	3	Solo hay guardavías en un costado del puente.
4	Marcadores de objetos	2	No hay marcadores de objetos.
5	Rótulos de identificación	2	No hay rótulos identificación.
6	Iluminación	1	Solo hay una luminaria cerca del acceso 1.
7	Barrera vehicular puente	2	No cumple con especificaciones técnicas.
8	Superficie de rodamiento (puente)	1	Desgaste en superficie de rodamiento.
9	Superficie de rodamiento (acceso)	1	Grietas en dos direcciones en acceso 2.
INTRADÓS			
#	Ítem	GD	Comentarios
1	Cambios desde la última inspección	N/A	
2	Pandeo	0	
3	Grietas transversales	0	
4	Grietas longitudinales y sesgadas	3	Grietas longitudinales de longitud importante. Fractura de rocas al final de las grietas.
5	Pérdida de rocas	0	
6	Pérdida de mortero	0	
7	Filtración	2	Hay manchas de humedad.
8	Delaminación	0	
9	Desalineamiento	0	
MUROS DE RETENCIÓN			
#	Ítem	GD	Comentarios
1	Cambios desde la última inspección	N/A	
2	Pérdida de relleno	0	
3	Fuera de plomo	0	
4	Desalineamiento	0	
5	Pandeo	0	
6	Pérdida de rocas	0	Faltan pocas rocas aleatorias.
7	Agrietamiento	0	
8	Falta de mortero	1	Vegetación en las juntas.

Informe LM-PIE-UP-PN03-2019	Mayo, 2019	Página 50 de 55
-----------------------------	------------	-----------------

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019		Página 51/55
			VERSIÓN 07

Tabla B-2. Descripción de los ítems considerados en la determinación del grado de daño (continuación)

BASTIONES			
#	Ítem	GD	Comentarios
1	Cambios desde la última inspección	N/A	
2	Pérdida de relleno	0	
3	Fuera de plomo	0	
4	Pandeo	0	
5	Pérdida de rocas	0	Bastión 1 y 2: Las rocas faltantes se atribuyen a parte del proceso constructivo y no a desprendimientos de material.
6	Agrietamiento	0	
7	Falta de mortero	1	Hay vegetación.
8	Desgaste o abrasión	0	
9	Socavación	0	
ALETONES			
#	Ítem	GD	Comentarios
1	Cambios desde la última inspección	N/A	
2	Pérdida de relleno	0	
3	Fuera de plomo	0	
4	Pandeo	0	
5	Pérdida de rocas	0	
6	Agrietamiento	0	
7	Falta de mortero	1	Vegetación en las juntas.
8	Desgaste o abrasión	0	
9	Socavación	0	

La información presentada en las tablas anteriores se basa principalmente en el apéndice IE 03-C Métodos para la Inspección Visual de Arcos de Mampostería de Piedra (*Stone Masonry Arch Methods for Visual Inspection*) del Manual de Inspección de Puentes de Pennsylvania (Pennsylvania Department of Transportation, 2010).

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 52/55	VERSIÓN 07

ANEXO C

Conservación de puentes de arco de mampostería.

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 53/55	VERSIÓN 07

Existen documentos que muestran técnicas de reforzamiento o reparación de puentes de arco de mampostería. El capítulo 6 del libro *Safety of Historical Stone Arch Bridges* (Proske & Gelder, 2009) aborda tipos de daños y reparaciones en puentes históricos de arco. El libro *Strengthening and Retrofitting of Existing Structures* (Costa, Arêde & Varum, 2018), en el capítulo 10, trata sobre reforzamiento en puentes de mampostería. Además, el libro *Conservation of Bridges* (Tilly, Frost y Wallsgrove, 2002) habla sobre mantenimiento y reforzamiento de puentes de mampostería.

En cuanto al tema de la importancia patrimonial de este tipo de puentes, el documento *Guidelines for Historic Bridge Rehabilitation and Replacement* (AASHTO, 2008) en el capítulo 3 incluye una guía para tomar decisiones sobre rehabilitaciones y reemplazos de puentes históricos. Establece que los cuatro pasos para para tomar decisiones balanceadas y apropiadas son:

1. Entender qué hace al puente histórico.
2. Tomar en cuenta consideraciones funcionales y estructurales que resultan inadecuadas ante problemas históricos y ambientales.
3. Tomar en cuenta consideraciones históricas y ambientales, no evaluadas en el punto anterior.
4. A partir de la información anterior, definir y justificar cuando es prudente o no rehabilitar el puente.

Se menciona en ese documento que la necesidad de las guías de rehabilitación y reemplazos de puentes históricos es debido a que, en muchas ocasiones, la decisión sobre el tratamiento para una estructura no sigue un protocolo definido por ingenieros, tomadores de decisión, ambientalistas e historiadores. Por otra parte, también se argumenta que es importante tener un criterio de elección de puentes históricos que sea bien articulado y entendido para tomar decisiones apropiadas de cómo preservar y mantener lo que hace el puente significativo o asegurar que toda planeación se enfoque en minimizar el impacto al aspecto significativo del puente.

Informe LM-PIE-UP-PN03-2019	Mayo, 2019	Página 53 de 55
-----------------------------	------------	-----------------

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR		Código: RC-444
	INFORME DE EVALUACIÓN		
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019	Página 54/55	VERSIÓN 07

El documento Identificación y Preservación de Puentes Históricos (United States Department of Agriculture, 2000) establece algunos criterios para identificar puentes que deben de ser preservados por su valor histórico. Los puentes elegibles deben cumplir con al menos una de las siguientes características:

1. La estructura está asociada con eventos que deben tener una significativa contribución a los patrones de la historia.
2. La estructura debe estar asociada con vidas de personas significativas del pasado.
3. La estructura debe tener una característica distintiva de un tipo, periodo, método constructivo, representar el trabajo de un especialista, poseer un alto valor histórico o representar una significativa y distinguible entidad cuyos componentes pueden carecer de distinción individual.
4. La estructura debe mostrar información importante para la historia o la prehistoria.

El puente debe conservar un alto nivel de integridad, por lo que debe cumplir con al menos 5 de las siguientes características de su diseño original:

1. Colocación: la característica de la locación y como el puente fue situado en relación con caminos y accidentes geográficos.
2. Materiales: de los elementos que fueron originalmente utilizados para construir la estructura.
3. Diseño: reflejo de la función histórica y tecnológica.
4. Locación: el lugar donde el puente fue originalmente colocado o donde un evento histórico ocurrió. La integridad de la locación puede ser extremadamente importante y la gran mayoría de los edificios pierden su importancia histórica si son movidos. En el caso de un puente, la localización no es un parámetro descalificador porque tradicionalmente han sido movidos de localización.
5. Mano de obra: evidencia de habilidades artesanales y tecnológicas del constructor.
6. Sentimiento: la expresión del sentido estético o histórico de un periodo en particular.

Informe LM-PIE-UP-PN03-2019	Mayo, 2019	Página 54 de 55
-----------------------------	------------	-----------------

 LanammeUCR	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR INFORME DE EVALUACIÓN		Código: RC-444
	CONSECUTIVO: LM-PIE-UP-PN03-2019		Página 55/55

7. Asociación: la relación entre un evento histórico o una persona con el puente. La asociación requiere de presencia de características físicas para transmitir la relación.

Según el texto, generalmente las propiedades con más de 50 años califican en el Registro Nacional Histórico de los Estados Unidos.

En el documento Paisaje y Diseño en Torno a la Construcción del Templo de San Miguel Arcángel (Vargas, 2018), se logra contextualizar la construcción de algunos puentes de arco de mampostería en el distrito de Santo Domingo de Heredia y alrededores, incluido el puente sobre el río Tibás de la Ruta Nacional No. 117. En el documento se indica que para los puentes de arco del cantón de Santo Domingo se contrató el ingeniero José Riggiono a mediados del siglo XIX, gracias al auge cafetalero de la zona.