

Tema: Evaluación de seguridad vial de puentes en Costa Rica
Eje temático: Infraestructura Vial y Equipamiento

Javier Zamora Rojas*

javier.zamorarojas@ucr.ac.cr

Tel. (506) 2511-4996

Unidad de Seguridad Vial y Transporte

PITRA - LanammeUCR

San José, Costa Rica

Diana Jiménez-Romero, Erick Acosta Hernández
diana.jimenez@ucr.ac.cr, erick.acostahernandez@ucr.ac.cr
Unidad de Seguridad Vial y Transporte – LanammeUCR



RESUMEN

Los puentes son estructuras de gran importancia en una de carreteras. En Costa Rica, alrededor de 6.500 puentes forman parte de los 37.000 km de red vial del país. Desde el punto de vista de la seguridad vial, los puentes presentan condiciones particulares que pueden aumentar el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito. Dada la importancia a nivel nacional de realizar inventarios de puentes a nivel funcional y estructural, surge la necesidad de evaluar las condiciones de seguridad vial en el puente y sus accesos.

Con este fin, se elaboró la Guía de Evaluación de Seguridad Vial para Puentes en Costa Rica, para carreteras rurales y urbanas. Esta guía fue desarrollada como una herramienta, de fácil uso y comprensión, para llevar a cabo evaluaciones integrales de seguridad vial de los puentes y sus accesos, ya sean evaluaciones a nivel de red (con ayuda del equipo de imágenes georreferenciadas de alta resolución Geo-3D), así como auditorías de seguridad vial de proyectos específicos, con el fin de identificar aquellos aspectos en el puente y su entorno que sean un riesgo potencial para los diferentes usuarios de la vía.

En este artículo se presenta la guía, sus usos y aplicaciones. La guía incluye una lista de chequeo para facilitar el levantamiento de la información, incluyendo los siguientes aspectos: datos generales y ubicación del puente, señalización horizontal y vertical, sistemas de contención vehicular, alineamiento y geometría de la vía, configuración y superficie de rodamiento, iluminación, facilidades para peatones y ciclistas, entre otros aspectos. El objetivo no es únicamente identificar deficiencias o carencias, por lo que la guía cuenta con una sección donde el evaluador o auditor puede señalar las medidas correctivas específicas que se recomiendan para mejorar la seguridad vial en un determinado puente y sus accesos.

* Autor de correspondencia

Introducción

Costa Rica es un país con un territorio de tan sólo 51.100 km²; sin embargo, posee una red vial de carreteras cerca de 35.000 km, para una densidad de carreteras de aproximadamente 691 km por cada 1000 km² (0,691 km/km²), la densidad más alta del continente americano (sin considerar las islas del Caribe), según algunas estadísticas mundiales en internet [1]. En la Figura 1 se muestra la densidad de carreteras de varios países del continente americano a manera de referencia.¹

La red vial no sólo es extensa para el tamaño del territorio, sino que además la topografía del terreno y su gran riqueza hidrográfica, han generado la necesidad a través de las décadas de construir puentes para poder comunicar ciudades y poblados a lo largo de todo el territorio nacional. Es por ello que alrededor de 6.500 puentes conforman la red vial de Costa Rica, lo cual genera una gran necesidad de inspeccionar su condición, con el fin de planear cuidadosamente las inversiones para su conservación y mantenimiento. De estos puentes, cerca de 1.330 forman parte de la Red Vial Nacional, la cual tiene una longitud aproximada de 7.775 km.

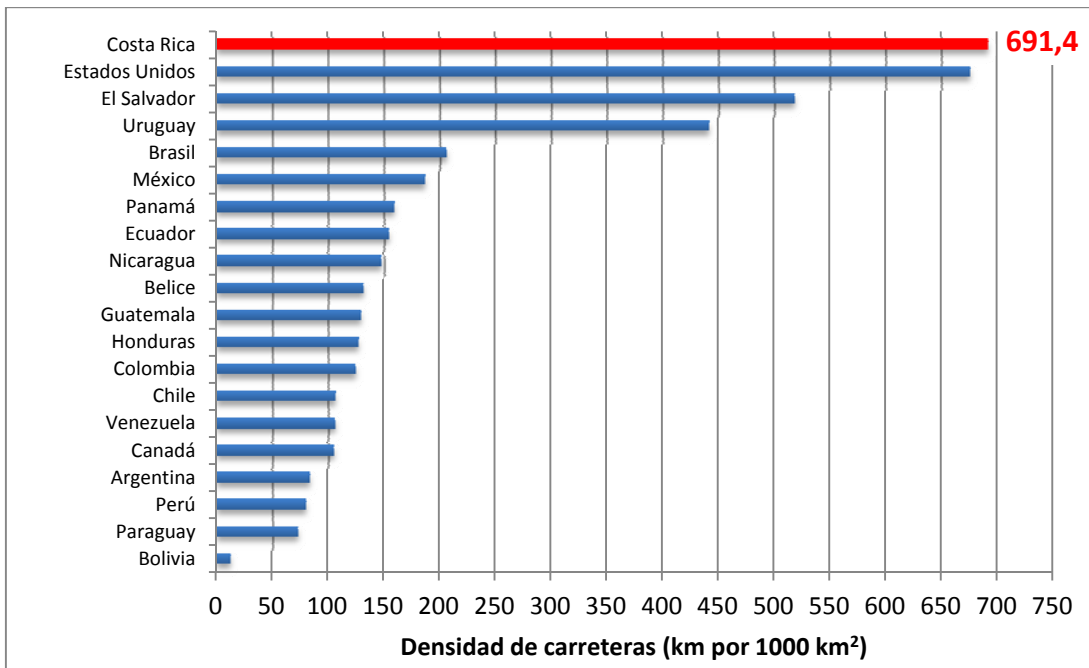


Figura 1. Densidad de carreteras de países del continente americano.
Fuente: Elaboración propia con datos tomados de [1].

Desde el punto de vista de la seguridad vial, los puentes presentan condiciones particulares que pueden aumentar el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito. Dada la importancia a nivel nacional de realizar inventarios de puentes, surge la necesidad de incorporar la evaluación de las condiciones de seguridad vial; y fue así como surgió la idea de elaborar una guía que permitiera detallar los aspectos de seguridad vial que deben ser evaluados en un puente y en sus accesos, considerando las características propias de las carreteras en Costa Rica, y el entorno en el cual se encuentran.

¹ Estas estadísticas fueron tomadas de internet y se desconoce el origen real y actualización de los datos.

I. La seguridad vial y los puentes en Costa Rica

La seguridad vial en Costa Rica tiene sus orígenes décadas atrás, y fue en el año 1979 que se conformó el Consejo de Seguridad Vial (COSEVI), ante un problema grave de aumento de heridos y muertos en carretera. Desde allí el COSEVI ha dirigido los esfuerzos en materia de seguridad vial en el país, junto con muchas otras instituciones que han asumido un compromiso en este tema.

El LanammeUCR comenzó desde el año 2002 a generar conocimiento y experiencia en esta área, comenzando así con Auditorías de Seguridad Vial a carreteras en operación principalmente. En forma paralela, se comenzaron a dar muchos cursos especializados en diferentes temas de seguridad vial, incluso trayendo expertos internacionales. Hacia finales del año 2011, después de haberse realizado un diagnóstico interno en la institución y considerando las prioridades del país, se vio la necesidad de conformar una unidad que se especializara en este tema, y fue así como nació la Unidad de Seguridad Vial y Transporte, tomando como líneas de acción la elaboración de especificaciones y manuales, la investigación aplicada, la capacitación, las evaluaciones y auditorías a proyectos de carretera. La construcción de un tercer edificio para el LanammeUCR finalizará en este año 2012, y con ello la creación del nuevo Laboratorio de Seguridad Vial, para lo cual se han destinado 375 m² de construcción. Parte de las funciones de la Unidad de Seguridad Vial y Transporte es equipar e impulsar el desarrollo de este laboratorio, para que sea de referencia a nivel nacional y regional.



Tal como se mencionó anteriormente, la seguridad vial en los puentes no ha sido evaluada en forma particular, sino como parte de las evaluaciones generales de seguridad vial en la red vial del país. Es importante mencionar que una gran cantidad de puentes en el país han sido diseñados y construidos muchas décadas atrás, siguiendo normativas desactualizadas y obsoletas de diseño. Por ejemplo, muchos puentes sobre la Carretera Interamericana, conformado por la Ruta Nacional 1 (de San José a la frontera con Nicaragua) y la Ruta Nacional 2 (de San José a la frontera con Panamá), fueron diseñados y construidos por el gobierno de los Estados Unidos, siguiendo parámetros de diseños que han sido mejorados a lo largo de las décadas, dado que las dimensiones y cargas de los vehículos han variado mucho, así como los volúmenes vehiculares, las velocidades de operación y el entorno vial. La mayor de las rutas nacionales solían ser rutas rurales para conectar pueblos y ciudades; sin embargo, con el paso de los años el crecimiento urbano fue surgiendo entorno a estas vías, combinando así el ambiente rural con el urbano en muchos puntos sobre estas rutas. Las velocidades de operación han generado la necesidad de proteger zonas peligrosas en los márgenes de la vía y en las aproximaciones a los puentes, y el crecimiento de zonas urbanas ha generado la necesidad de proveer facilidades para peatones y ciclistas; ambos aspectos que no eran considerados en la época cuando estos puentes fueron diseñados y construidos.

Algunos de los principales elementos de seguridad vial que deben mejorarse en los puentes de Costa Rica e integrarse a los planes de mantenimiento son: la visibilidad debido al alineamiento vertical y horizontal, así como por motivo de la vegetación y otros obstáculos visuales; la demarcación vial horizontal; las señales verticales; los sistemas de contención vehicular en el puente y sus accesos; las facilidades para peatones y ciclistas donde sean requeridas; el estado de la superficie de rodamiento del puente y sus accesos; la iluminación en los casos en donde se justifique; los drenajes; la publicidad comercial; y las facilidades para el transporte público cercanas a un puente.

II. Hacia una evaluación integral de puentes en Costa Rica

La metodología de evaluación de puentes que se utiliza en Costa Rica se detalla en el *Manual de Inspección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica* del año 2007 [2], con base en el estudio efectuado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón² (JICA) a solicitud del MOPT, titulado “*Estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes, basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica*” [3]. El estudio fue efectuado entre el mes de setiembre del 2005 y enero del 2007, y además, se efectuó el reforzamiento y diseño de la rehabilitación de 10 puentes seleccionados dentro del área de estudio.

El *Manual de Inspección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica* tiene como objetivo principal “*describir los procedimientos y métodos para realizar el inventario de puentes y evaluar su deterioro*” [2]. Dicho manual está dividido en 6 capítulos: introducción, responsabilidades del inspector de puentes, información general sobre el inventario e inspección periódica de puentes, descripción de los formularios, guía de recopilación de datos, y lineamientos para la calificación del grado de deterioro del puente. Este inventario e inspección de puentes comprende: la superestructura (piso, vigas, cercha, arco, diafragmas, sistemas de arriostramiento, portales, aceras, etc.), la subestructura (apoyos, bastiones, pilas), accesorios (superficie de rodamiento, barandas y juntas de expansión), y los accesos de aproximación (los rellenos y sus protecciones, y la losa de aproximación en algunos puentes). [2]

Desde el año 2010, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), a través de la Unidad de Puentes, ha asumido un compromiso mayor precisamente para atender la gran necesidad del país de inspeccionar sus puentes, y generar así investigación y mayor experiencia en esta área para apoyar y recomendar mejoras a las acciones de la Administración, ya que los puentes cumplen funciones vitales en el desarrollo económico y social del país.

Como parte de un diagnóstico inicial, se identificó que la seguridad vial no es un punto a considerar dentro de las inspecciones de puentes. Fue así como la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del LanammeUCR trabajó en la *Guía de evaluación de seguridad vial para puentes en Costa Rica* [4], contando con la colaboración, conocimiento y experiencia de los expertos en la Unidad de Puentes.

El objetivo de la guía no se restringe únicamente al uso interno en el LanammeUCR para la evaluación de puentes; sino que a partir de este año 2012 comenzó a formar parte de los cursos de capacitación que imparte la Unidad de Puentes, con el fin de dar a conocer la guía, y así generar mayor conciencia sobre la importancia de evaluar los puentes desde una perspectiva integral, que incluya todos los elementos de seguridad vial para beneficio de todos los usuarios.

² Japan International Cooperation Agency (JICA)



III. Guía de evaluación de seguridad vial de puentes en Costa Rica

La *Guía de evaluación de seguridad vial para puentes en Costa Rica* [4] es un documento preliminar, aún no oficial, el cual está disponible para ser utilizado como referencia para la evaluación de la seguridad vial en los puentes de la red vial nacional y cantonal de Costa Rica. Para estas evaluaciones, se requiere de inspectores que cuenten con cierto conocimiento técnico y con experiencia, ya que se deben evitar las subjetividades evaluando los diferentes elementos de seguridad vial. Asimismo, la guía fue diseñada con un formato simple y de fácil comprensión, para no limitar su uso a ingenieros especializados en el área, sino que también pueda ser utilizada por otras personas con una debida capacitación.

Cabe destacar que esta guía fue realizada principalmente para evaluar la seguridad vial en puentes a nivel de red, con el fin de identificar las principales deficiencias que puedan aumentar el riesgo de ocurrencia de accidentes de tránsito, y así priorizar las medidas de mitigación correspondientes a través de las mismas listas de chequeo. En el caso de evaluar la seguridad vial a mayor detalle en un puente específico, dada una necesidad particular, la inspección deberá ser realizada a un nivel más técnico, utilizando equipo especializado para mediciones de diferentes parámetros, así como criterios de diseño y buenas prácticas con base en referencias y especificaciones nacionales e internacionales. Por ejemplo, a nivel de red, se puede evaluar el estado de la señalización vertical de manera visual, clasificándolo en bueno, regular y malo; sin embargo, a nivel de proyecto, habría que medir la retroreflexión de cada una de las señales verticales, para contrastar los resultados con especificaciones vigentes, y así determinar si una determinada señal debe o no ser remplazada.

Al ser el *Manual de Inspección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica* [2], el manual de referencia para Costa Rica en este tema, se sugiere que se sigan las mismas responsabilidades del inspector, la lista de herramientas que se deben utilizar, las prácticas de seguridad y demás aspectos relacionados que allí se detallan.

Debido a que ciertos aspectos de seguridad vial deben ser evaluados en la noche, estos se han señalado con el símbolo “☾” en la lista de chequeo, con el fin de recordarle al inspector aquellos ítems para los cuales se recomienda una inspección nocturna. Algunos ítems se han señalado con los símbolos “☼” y “☾” en los casos en que se recomienda que la inspección sea tanto diurna como nocturna.

A continuación se detallan las diferentes secciones de la guía, sus conceptos principales y el formato de la lista de chequeo.

a.- Datos generales

La primera sección de la guía se refiere a “Datos generales” (Sección 1 de la guía), que se describen en la Tabla 1.



Tabla 1. Datos generales de la guía de evaluación de seguridad vial en puentes. [4]

| DATOS GENERALES | |
|------------------------------------|---|
| Información | Descripción |
| Número de ruta nacional | Según la clasificación de rutas utilizada en Costa Rica. (Las vías cantonales o municipales no están numeradas) |
| Ubicación geográfica | Latitud norte y longitud este, en grados, minutos y segundos (coordenadas geográficas) |
| División territorial de Costa Rica | Provincia, cantón y distrito |
| Sección de Control | Las secciones de control fueron establecidas por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) para dividir la red vial de Costa Rica en tramos homogéneos de acuerdo con ciertos parámetros. |
| Tipo de puente | Clasificación incluida en el <i>Manual de Inspección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica</i> . Tipos de puentes: simple (de vigas), cercha paso inferior, cercha paso superior, suspendido o colgante, tipo Bailey, arco paso inferior o arco paso superior. |
| Entorno del puente | Es importante considerar el tipo de entorno del puente ya que se relaciona con el uso del suelo en sus cercanías, velocidad de operación de ese tramo, así como las necesidades de movilización de los vehículos, ciclistas y peatones. El entorno podría ser: zona rural, zona urbana, autopista, o cualquier otro que se requiera considerar. |
| Límite de velocidad | Límite de velocidad del tramo en el cual se encuentra el puente. Si existe una restricción de velocidad para el ingreso al puente, esto será tomado en cuenta en la sección de señalización vertical. |
| Horario de la evaluación | Se recomienda la evaluación tanto diurna como nocturna; sin embargo, debido a posibles limitaciones de tiempo o recursos, se deberán priorizar las visitas nocturnas. |



b.- Seguridad vial en los accesos al puente

Después de los datos generales, se evalúan los accesos del puente, ya que son una parte fundamental en la evaluación de seguridad vial. En muchos casos la seguridad vial se vuelve más crítica en los accesos que en el propio puente.

Los aspectos más importantes a considerar son:

- **Sentido del acceso**

Los accesos deben ser muy bien identificados, ya sea en un mapa o croquis, con coordenadas de GPS, con puntos cardinales, secciones de control, o puntos de referencia, de manera que sea claro para la persona o personas que utilicen esta información.

- ***Distancia de visibilidad***

Distancia medida en línea recta desde el punto donde el conductor visualiza el inicio del puente. Al ser una línea de observación, esta distancia no sigue necesariamente el alineamiento de la vía. En términos de seguridad, es importante que el puente tenga una distancia de visibilidad apropiada según las características del puente, de la ruta y la velocidad reglamentada. Entre mayor sea la distancia, el conductor puede prever ciertas acciones, tal como una reducción de la velocidad por presencia de obstáculos, peatones, ciclistas, o cualquier otra situación que se presente. Debido a la dificultad de medir la distancia exacta, esta podrá determinarse en forma aproximada según los siguientes rangos de opciones: < 50 m, 50-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300-400 m, y > 400 m.

- ***Condición de la visibilidad***

La condición de la visibilidad se evalúa en forma visual, y se recomienda que se haga tanto de día como de noche. La evaluación nocturna es más crítica debido a la capacidad visual del ojo humano que se ve reducida en horas de la noche. En esta evaluación, la señalización vertical tiene gran relevancia, ya que sirve para alertar al conductor sobre la presencia de un puente. En una evaluación más detallada, se recomienda medir la retrorreflexión de las señales. El alineamiento vertical y horizontal de los accesos, y la presencia de obstáculos, son factores importantes a considerar para evaluar la condición de visibilidad, con tres clasificaciones: buena, regular y mala.

- ***Condición de línea de centro y de borde***

La condición de estas líneas se evalúa en forma visual, por lo que se recomienda hacer la inspección tanto de noche como de día. La condición se evalúa en buena, regular o mala, y en la guía se muestran ejemplos concretos para ejemplificar estas condiciones.

- ***Condición de los captaluces***

Los captaluces son de gran importancia para guiar a los conductores principalmente en horas de la noche, por lo que se debe evaluar visualmente su condición. Es importante destacar que la evaluación debe llevarse a cabo en forma general; por lo tanto, se debe realizar una ponderación visual de la condición de todos los captaluces de un determinado acceso, y no cada dispositivo en forma individual.

- ***Tipo y estado general del sistema de contención vehicular***

Los sistemas de contención vehicular están clasificados comúnmente en rígidos y flexibles. Los sistemas rígidos son usualmente utilizados en puentes, pasos a desnivel o cualquier otra situación en donde se requiera que el sistema no sufra deflexiones, sino que contenga al vehículo en su totalidad. Los sistemas flexibles son utilizados con el fin de que ocurra una deflexión dinámica, y así redireccionar a los vehículos que se salgan de la vía. También hay sistemas semi-rígidos que se utilizan en las transiciones entre



sistemas y otros usos. El estado general del sistema será evaluado visualmente en tres categorías: bueno, regular o malo. Esta evaluación se limita a la apariencia general del sistema en cuanto a no presentar daños y que sea continuo en el tramo evaluado. Al ser una evaluación general, no se tomarán en cuenta elementos específicos del diseño y construcción de los sistemas, tales como: longitud de la barrera, distancia de trabajo, altura de la barrera, escogencia del sistema, dirección de empalme de las vigas, uso de separadores, tornillería, empotramiento de los postes; sin embargo, dichos aspectos sí deberán ser tomados en cuenta en un análisis más detallado de un puente en particular.

- **Alineamiento vertical y horizontal**

El alineamiento de una carretera es un aspecto muy importante en cuanto a seguridad vial, por ello es importante evaluar este aspecto en los accesos a los puentes. Al ser una evaluación visual, el alineamiento podrá ser suave, moderado o abrupto, tanto el vertical como el horizontal.



- **Diferencia entre la calzada del acceso y la calzada del puente**

En muchos puentes existe una diferencia entre la calzada del acceso y la calzada del puente, la cual puede ser por una junta, o bien, superficies de material diferente. Por ejemplo, pavimento asfáltico en los accesos, pero la calzada del puente de madera. En estos casos y a cierta velocidad, los vehículos podrían desestabilizarse, por lo que es un aspecto importante en la seguridad vial en el momento de atravesar el puente.

En la Figura 1 se muestra una parte de la sección de accesos de la lista de chequeo.

| | | | |
|--|--|--|--|
| 2. ACCESO A | | 2.1. Ubicación del acceso (indicarlo en el croquis): | |
| General | | | |
| 2.2. Ancho de la calzada (m): | | 2.3. N° de carriles (totales): <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 | |
| 2.4. Distancia de visibilidad del acceso A desde la cual se observa el inicio del puente: | | <input type="checkbox"/> < 50 m <input type="checkbox"/> 50-100 m <input type="checkbox"/> 100-200 m <input type="checkbox"/> 200-300 m <input type="checkbox"/> 300-400 m <input type="checkbox"/> > 400 m | |
| 2.5. ¿Condición de la visibilidad? (☺ y ☹) | | <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala | |
| 2.6. ¿Existe medianera? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No | | 2.7. Ancho de la medianera: _____ m <input type="checkbox"/> NA | |
| Señalización Horizontal (☺ y ☹) | | | |
| 2.8. ¿Hay línea de centro? <input type="checkbox"/> Sí (completa) <input type="checkbox"/> Sí (incompleta) <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> NA (un carril) | | 2.9. Condición de la línea de centro: <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/> NA | |
| 2.10. ¿Hay líneas de borde de carril? <input type="checkbox"/> Sí (completas) <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sí (incompletas) | | 2.11. Condición de la línea de borde de carril: <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/> NA | |
| 2.12. ¿Hay captaluces de centro y de borde? <input type="checkbox"/> Sí (todos) <input type="checkbox"/> Sí (faltan) <input type="checkbox"/> No | | 2.13. Condición promedio de los captaluces: <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/> NA | |

Figura 2. Parte inicial de la sección de accesos de la lista de chequeo. [4]

c.- Señalización vertical

La señalización vertical es de gran importancia para el nivel de seguridad vial de una carretera y, por lo tanto, en un puente. Es por ello que es muy importante levantar la información de cada señal en los accesos a un puente, y valorar visualmente su estado.

Se recomienda realizar esta evaluación tanto diurna como nocturna, con el fin de evaluar visualmente la capacidad retrorreflectiva de las señales verticales. Se deben tomar otros factores en consideración: la señal no debe estar dañada, quebrada, rayada o doblada; además las letras y símbolos deben ser legibles.



| 4. Señalización Vertical (⚙ y Ⓢ) | | | | | |
|---|---------------------------------|---|--|--------------------------|--|
| Señales más comunes: | | | | | |
| (Nota: si hay alguna señal diferente de las siguientes, favor dibujarla en la página 8) | | | | | |
| | | | | | |
| R-1-2 | R-2-1 | R-12-1 | R-12-3 | R-13-1 | |
| | | | | | |
| P-1-9 | P-1-4 | P-5-6 | P-5-7 | P-12-1 | |
| a. Señal vertical (código) | b. Ubicación (Acceso "A" o "B") | c. Distancia al inicio del puente (en metros) | d. Estado de la señal (bueno, regular, malo) | e. Descripción adicional | |
| 4.1. | | | | | |
| 4.2. | | | | | |
| 4.3. | | | | | |

Figura 3. Sección de señalización vertical de la lista de chequeo. [4]

d.- Seguridad vial en el puente

Una vez analizada la condición de seguridad vial en los accesos al puente, incluyendo la señalización vertical, se procede a evaluar la seguridad vial propiamente en el puente. Algunos conceptos que se incluyeron en la sección de accesos al puente, aplican de igual forma para el puente en sí, incluyendo la demarcación horizontal, y el tipo y estado del sistema de contención vehicular.

La siguiente tabla resume los aspectos de evaluación de seguridad vial en el puente.

Tabla 2. Elementos de evaluación de seguridad vial en el puente.

| Configuración del puente | |
|--|---|
| Información | Descripción |
| Ancho total del puente | El ancho total incluye la calzada (espacio destinado al flujo vehicular), el bordillo y el pretil, así como zonas exclusivas para peatones y/o ciclistas. |
| Zona para peatones | Se refiere a aceras o pasos exclusivos para el tránsito de peatones. |
| Zona para ciclistas | Se refiere a ciclovías o pasos exclusivos para el tránsito de ciclistas. |
| Superficie de rodamiento del puente | |
| Información | Descripción |
| Estado de la superficie | El estado de la superficie se relaciona directamente con la fricción entre las llantas del vehículo y la superficie de la calzada; lo cual afecta las condiciones de seguridad vial. Una superficie con bajo coeficiente de fricción donde transite un vehículo a alta velocidad, aumenta el riesgo de pérdida de control en caso de una eventualidad, o bien, tener que efectuar maniobras peligrosas ante la presencia de un hueco o cualquier espacio abierto. |
| Sistema de contención vehicular | |
| Información | Descripción |
| Altura del sistema | Esta distancia será medida desde la superficie de rodamiento hasta la parte superior de la viga flexible o pretil del puente. |
| Altura del bordillo | El bordillo se acostumbra construir junto a la baranda o pretil del puente; sin embargo, su altura máxima debe ser de 10 cm en carreteras con una velocidad mayor a 65 km/h. Un bordillo de mayor altura puede provocar que el vehículo sobrepase la baranda de seguridad en caso de un accidente. Este bordillo no es una acera, por lo que no se considera conveniente para el paso de peatones. |
| Continuidad en los sistemas | En las aproximaciones a los puentes, es necesario que exista una adecuada continuidad en los sistemas. La manera recomendable de realizar esta transición es disminuir el espaciado de los postes del sistema flexible, con el fin de ir rigidizando el sistema, y que este último tramo quede anclado al pretil rígido del puente. |
| Terminal adecuada del sistema | Es importante verificar que el terminal del sistema de contención sea adecuado, o al menos que no se evidencie un peligro potencial para los usuarios de la vía. La llamada "cola de pez" no es permitida según las regulaciones nacionales e internacionales; a menos que se encuentre alejada de los carriles de circulación y que no quede de frente a la dirección de los vehículos. Lo más recomendado es que la terminal se entierre en el terreno o bien en un talud cercano, y que esté desviada del flujo vehicular para disminuir el riesgo de volcamiento. |



Tabla 2. Elementos de evaluación de seguridad vial en el puente. (cont.)

| Iluminación | |
|-------------------------------------|--|
| Información | Descripción |
| Iluminación en el puente | La iluminación en un puente es un elemento importante de seguridad vial; sin embargo, no es indispensable en la mayoría de los puentes. La iluminación mejora significativamente la visibilidad de los conductores y en algunos puentes se justifica su instalación a criterio de los diseñadores. Según referencias internacionales, un puente cuyos accesos no están iluminados generalmente tampoco requieren de iluminación. Puentes muy extensos pueden ser la excepción, siempre y cuando se diseñe una transición de luminosidad en los accesos del puente. No es prudente que haya cambios drásticos de luminosidad, ya que el ojo humano requiere de cierto tiempo para adaptarse a la nueva condición. |
| Condición general de la iluminación | En caso de que hubiese iluminación, se recomienda realizar una visita nocturna, con el fin de evaluar visualmente su condición. Se deben considerar los siguientes aspectos: número de luminarias y su espaciamiento, intensidad y homogenización de la iluminación, y si cubre la totalidad del puente o únicamente en forma parcial. Con base en esto se define si es buena, regular o mala. |
| Peatones y ciclistas | |
| Información | Descripción |
| Flujo de peatones y de ciclistas | No es parte del alcance de la evaluación realizar conteos de peatones ni de ciclistas; sin embargo, por medio de observación se puede clasificar el flujo de peatones y/o ciclistas en bajo, medio o alto. Durante una hora representativa del día entre las 7 a.m. y las 7 p.m., se pueden tomar los siguientes criterios de referencia: <ul style="list-style-type: none"> • Flujo alto: 30 o más peatones o ciclistas por hora • Flujo medio: de 5 a 30 peatones o ciclistas por hora • Flujo bajo: de 1 a 5 peatones o ciclistas por hora Se deberá marcar "NA" en caso de que el flujo de peatones o ciclistas sea prácticamente nulo en un determinado puente. |
| Condición de la acera peatonal | La condición de una acera peatonal es adecuada si cuenta con un ancho mínimo de 1,2 m [5], si está protegida del flujo vehicular por medio de un sistema rígido y si cuenta con buenos accesos en los extremos. |
| Condición de la ciclo vía | La condición de una ciclo vía es adecuada si cuenta con un ancho mínimo de 2,4 m [5] para doble vía de flujo de ciclistas, si está protegida del flujo vehicular por medio de un sistema rígido, y si cuenta con buenos accesos en los extremos. |



Tabla 2. Elementos de evaluación de seguridad vial en el puente. (cont.)

| Otros aspectos | |
|----------------------------|---|
| Información | Descripción |
| Drenajes | El empozamiento de agua puede generar pérdida de fricción entre el vehículo y la calzada, por lo que el puente debe contar con drenajes apropiados. |
| Publicidad comercial | La publicidad comercial es una fuente de distracción, especialmente si se encuentra muy cercana al flujo de los vehículos, por lo que es un elemento importante de una evaluación de seguridad vial. |
| Flujo de vehículos pesados | Un flujo alto de vehículos pesados es aquel que supera en promedio el 20% del total del flujo vehicular por dicho puente. Este ítem puede ser evaluado visualmente, observando el movimiento vehicular incluso por un corto periodo de tiempo. En un estudio más detallado sí se recomienda realizar conteos vehiculares. |
| Transporte público | Es importante observar si hay rutas de transporte público que pasan por el puente y si hay paradas de autobús en sus cercanías, ya que eso generalmente se asocia con flujo de peatones en los alrededores del puente. |



La Figura 4 muestra una sección de la guía de evaluación de seguridad vial en el puente.

| 8. Sistema de Contención Vehicular (SCV) en el puente | |
|--|---|
| 8.1. ¿Hay sistema de contención vehicular? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No | 8.2. Altura del sistema desde la superficie de rodamiento: _____ cm |
| 8.3. Tipo de sistema: <input type="checkbox"/> Flexible <input type="checkbox"/> Rígido <input type="checkbox"/> Otro: _____ <input type="checkbox"/> NA | |
| 8.4. Estado general del sistema (visualmente): <input type="checkbox"/> Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> NA | |
| 8.5. ¿Cuál es la altura del bordillo? <input type="checkbox"/> menor a 10 cm <input type="checkbox"/> mayor a 10 cm <input type="checkbox"/> No hay bordillo | |
| 8.6. ¿Existe continuidad con los sistemas de contención de los accesos? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> NA | |
| 8.7. ¿Existe un terminal adecuado del sistema de contención del puente? <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> NA | |
| 8.8. Espaciamiento entre los postes (si el sistema es flexible): _____ (en metros) <input type="checkbox"/> NA | |

Figura 4. Sección de sistema de contención en el puente de la lista de chequeo. [4]

e.- Recomendaciones de medidas de mitigación

Quizás una de las secciones más importantes de la guía es la de recomendaciones. Una vez realizado el levantamiento de la información es indispensable recomendar medidas para mejorar el nivel de seguridad vial en el puente y sus accesos, considerando a todos los usuarios de la vía. Una serie de recomendaciones se enlistaron con el fin de facilitar y homogenizar la labor de los inspectores.

Cada recomendación debe estar asociada a una justificación, para lo cual se deberá hacer referencia al ítem o ítems que demuestren el aspecto de seguridad vial que se recomienda mejorar.

Estas recomendaciones se enlistan a continuación:

- Restringir la velocidad en el puente.
- Modificar el límite de velocidad establecido.
- Demarcar o volver a demarcar la línea de centro.
- Demarcar o volver a demarcar la línea de borde.
- Colocar o reemplazar captaluces.
- Colocar, reemplazar o reubicar señales verticales en los accesos al puente.
- Colocar o reemplazar las barreras de contención vehicular.
- Colocar o reemplazar el sistema de contención del puente de tal forma que sea un sistema rígido adecuado.
- Diseñar adecuadamente la transición de rigidez entre los sistemas de contención de los accesos y del puente de tal forma que haya una continuidad entre los sistemas.
- Modificar el terminal del sistema de contención vehicular.
- Mejorar la entrada al puente de tal manera que se elimine el ingreso abrupto (grada) entre los accesos y el puente.
- Eliminar o recortar vegetación que dificulta la visibilidad del puente.
- Eliminar o trasladar postes que sean un peligro potencial para los usuarios.
- Proteger alcantarillas que sean un peligro potencial para los usuarios.
- Modificar o reemplazar la superficie de rodamiento en el puente para corregir inclinaciones, deformaciones y/o espacios abiertos.
- Colocar o mejorar la iluminación en el puente.
- Construir una acera peatonal o mejorar sus condiciones.
- Construir una ciclovía o mejorar sus condiciones.
- Mejorar o dar mantenimiento a los drenajes en el puente para evitar obstrucciones y agua empozada.
- Establecer restricción de peso o de altura en el puente.
- Eliminar o reubicar publicidad comercial o turística que limite la visibilidad de los conductores o de las señales de tránsito.
- Reubicar paradas de autobús cercanas al puente que se consideren un riesgo potencial para los usuarios.



Cabe destacar que el inspector o evaluador podrá incluir otras recomendaciones particulares para un puente, según sea el caso, por lo que el listado que se incluye en la guía es de referencia, e incluye las principales recomendaciones para mejorar el nivel de seguridad vial en un determinado puente y en su entorno. La Figura 5 muestra una de las secciones de recomendaciones que se incluye en la guía de evaluación.

| Medida correctiva de seguridad vial | | Justificación y comentarios |
|---|--|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> 13.10. Mejorar la entrada al puente de tal manera que se elimine el ingreso abrupto (grada) entre los accesos y el puente. | | |
| <input type="checkbox"/> 13.11. Eliminar o recortar vegetación que dificulta la visibilidad del puente. | <input type="checkbox"/> en el acceso A <input type="checkbox"/> en el acceso B | |
| <input type="checkbox"/> 13.12. Eliminar o trasladar postes que sean un peligro potencial para los usuarios. | <input type="checkbox"/> en el acceso A <input type="checkbox"/> en el acceso B | |
| <input type="checkbox"/> 13.13. Proteger alcantarillas que sean un peligro potencial para los usuarios. | <input type="checkbox"/> en el acceso A <input type="checkbox"/> en el acceso B | |
| <input type="checkbox"/> 13.14. Modificar o reemplazar la superficie de rodamiento en el puente para corregir inclinaciones, deformaciones y/o espacios abiertos. | | |

Figura 5. Sección de recomendaciones de la lista de chequeo. [4]



IV. Validación y usos de la guía de evaluación

En coordinación con la Unidad de Puentes del LanammeUCR, se realizaron varias giras para inspección de puentes a inicios del año 2012, con el fin de validar la *Guía de evaluación de seguridad vial para puentes en Costa Rica*. Con el aporte del equipo de puentes y de seguridad vial, se le han hecho mejoras a la guía.

Esta guía fue hecha de manera simple para agilizar el levantamiento de la información en campo, tal como se mencionó anteriormente; sin embargo, es considerable el tiempo que se requiere poder levantar y procesar toda la información en el caso de un análisis de seguridad vial de puentes de una red vial. Es así como nuevas tecnologías facilitan el levantamiento, procesamiento y análisis de esta información.

En el año 2009, el LanammeUCR adquirió el equipo GEO-3D (ver Figura 6), el cual consiste en un vehículo especialmente adaptado, con cámaras de alta resolución en la parte superior con diferentes posiciones y ángulos de inclinación (ángulos de observación), así como un sistema de posicionamiento geográfico de la más alta tecnología. Este equipo cuenta con un software especializado y con un equipo de cómputo de alta capacidad de almacenamiento de datos, que permiten recopilar todas las fotografías, así como analizar toda la información de acuerdo con lo que el usuario requiera. La Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR cuenta con la mayor experiencia en el uso de este equipo y está brindando capacitaciones internas para que otras unidades utilicen también esta valiosa herramienta.

Uno de los usos de este equipo es el análisis de deterioros en pavimentos, así como la realización de inventarios de los elementos de una carretera. En términos de seguridad vial, el equipo permite analizar las condiciones de la vía, con la capacidad de poder inventariar la demarcación vial, la señalización vertical, los sistemas de contención vehicular, las facilidades peatonales y de ciclistas, las distancias de visibilidad, la sección transversal de la vía, las cunetas, los postes, los árboles, y demás obstáculos y elementos de la vía y su entorno.



Figura 6. Equipo Geo-3D con cámaras de alta resolución, LanammeUCR.



En el caso particular de puentes, una inspección siguiendo el manual del MOPT-JICA [2] implica necesariamente ir al sitio, ya que muchos de los aspectos que se inspeccionan están debajo del puente, tal como los elementos de la subestructura. Por otra parte, en términos de evaluaciones de seguridad vial en puentes, el uso del Geo-3D es una excelente herramienta para agilizar el levantamiento de la información, ya que la mayor parte de la información puede ser extraída por medio de este equipo.

Gracias a la alta resolución de las cámaras y a las diferentes vistas y ángulos de observación, se pueden detallar los siguientes aspectos del puente y sus accesos:

- Nombre del puente y/o río (en caso de estar visible)
- Coordenadas geográficas
- Tipo de puente
- Entorno del puente
- Límite de velocidad
- Demarcación horizontal
- Señalización vertical
- Sistemas de contención vehicular
- Alineamiento y curvatura de los accesos
- Vegetación aledaña y obstáculos
- Configuración del puente
- Superficie de rodamiento
- Iluminación
- Facilidades para peatones y ciclistas
- Drenajes
- Publicidad comercial

En la Figura 7 se observa el software del Geo-3D "Trimble Trident Analyst 2010". El ambiente de este software ha sido diseñado con menús y herramientas que facilitan su uso, y que permite al usuario manejar los espacios en la pantalla a su gusto. En este ejemplo en particular, se muestra la sección de archivos del proyecto, el analizador 2D, el mapa 3D, y el registro de acciones realizadas y errores registrados, tal como se observa en la figura.

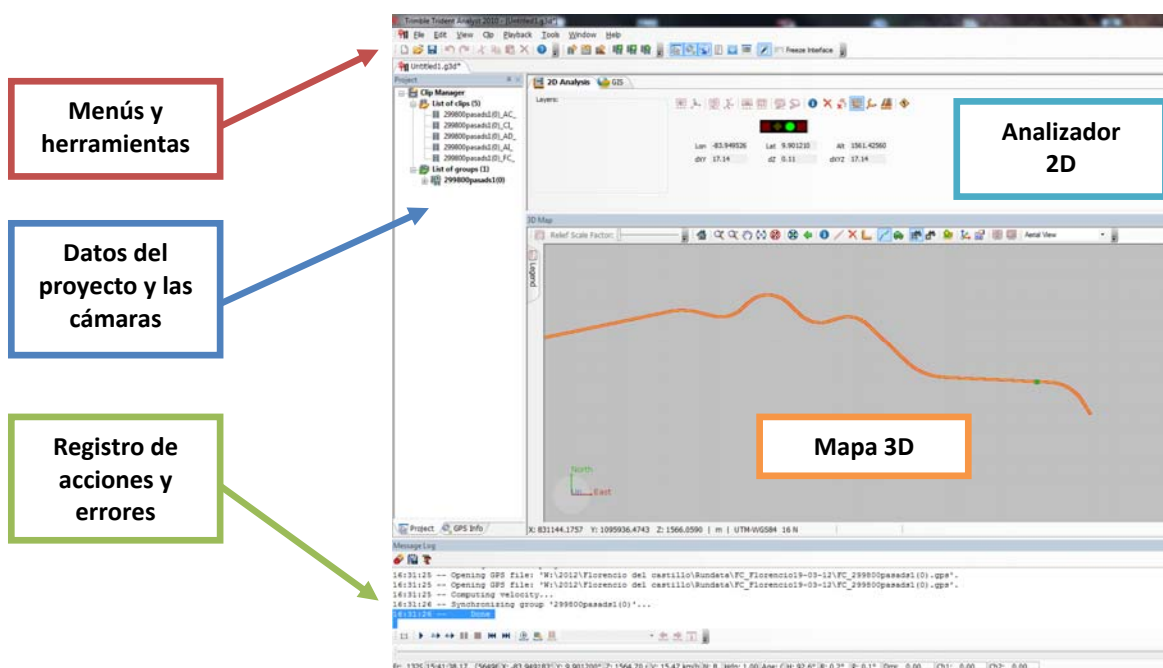


Figura 7. Software Trimble Trident Analyst 2010 (UGERVN, LanammeUCR, 2012).

El analizador permite medir distancias y tomar otras medidas con gran precisión, por lo cual se puede levantar y extraer la siguiente información de seguridad vial en puentes:

- Longitud del puente
- Ancho de la calzada en el puente y en los accesos
- Distancias de visibilidad
- Ancho de la medianera (en caso de existir)
- Longitud de la demarcación horizontal
- Distancia de las señales verticales al borde de la calzada y al inicio del puente
- Dimensiones de las señales verticales
- Distancia de los obstáculos al borde de la calzada
- Dimensiones de los obstáculos (postes, árboles, etc.)
- Ancho total del puente
- Ancho de cada carril
- Altura del bordillo (en caso de existir)
- Espaciamiento entre los postes de los sistemas de contención
- Ancho de aceras y ciclovías (en caso de existir)

En la Figura 8 se muestra un ejemplo de la configuración de 4 de las cámaras del equipo Geo-3D. En la parte superior se aprecia la vista frontal, y en la parte inferior las vistas de atrás: izquierda, central y derecha. Además se observa la medición de la altura del bordillo y la longitud de la calzada, a manera de ejemplo. El programa permite tomar mediciones entre las diferentes fotografías, sin comprometer la precisión en la medición, tal como el ancho de la calzada del puente que se presenta en la figura.

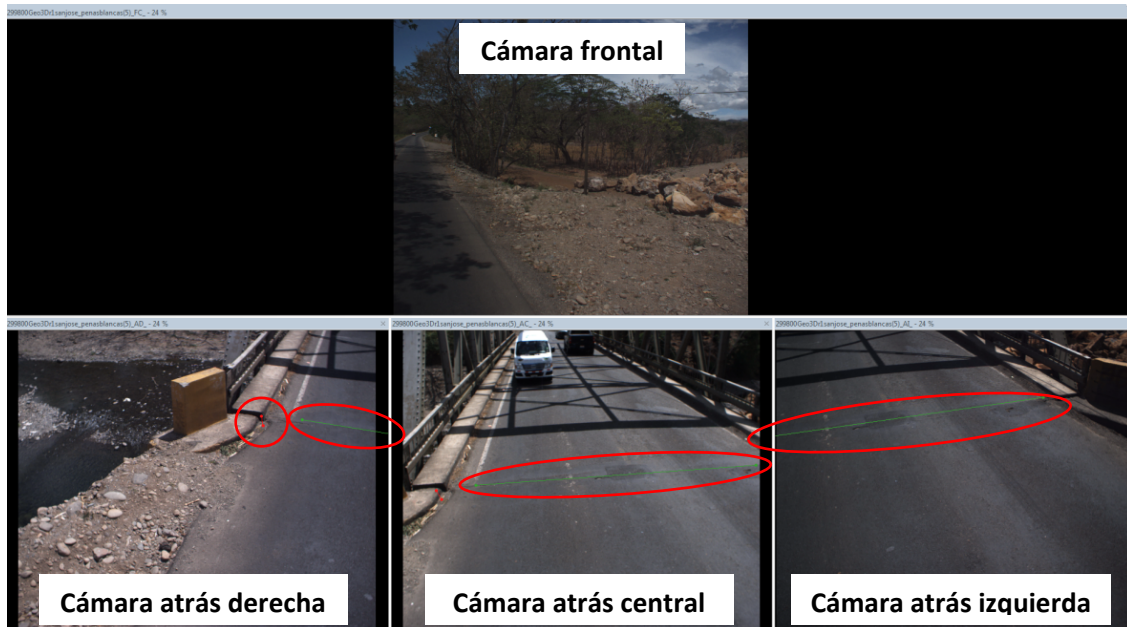


Figura 8. Ejemplo de la configuración de las cámaras del Geo-3D, y la medición de elementos. (UGERVN, LanammeUCR, 2012)

En la Figura 9, se aprecian varias vistas obtenidas con el equipo Geo-3D, en donde se pueden observar múltiples aspectos relacionados con la seguridad vial. Se enlistan los siguientes:

- Peligro potencial para los vehículos por salida de la vía en accesos al puente no debidamente protegidos.
- Presencia y estado de la demarcación vial. Con cámaras de alta resolución fácilmente se puede ampliar cada fotografía, se puede incluso determinar el estado de los captaluces.
- Condiciones a la entrada del puente en términos de superficie de rodamiento, obstáculos, zonas desprotegidas, inicio de la baranda del puente, etc.
- Pendientes peligrosas próximas al puente
- Tipo de sistema de contención vehicular, altura del sistema, altura del bordillo, y estado general del sistema
- Deterioros en la superficie de rodamiento
- Señalización vertical
- Anchos de calzada y de carril



Figura 9. Varias vistas obtenidas con el equipo Geo-3D, a través de las cuales se pueden evaluar los elementos y condiciones de seguridad vial de un puente y sus accesos. (UGERVN, LanammeUCR, 2012)

El uso de este equipo es de gran ayuda, principalmente si se requiere el levantamiento de información de muchos puentes; no obstante, también tiene sus limitaciones. Por ejemplo, este equipo se utiliza de día por la calidad de las fotografías con luz natural. Aún si de noche la iluminación no fuese un problema, la perspectiva de noche a través de fotografías no es igual a la percepción directa del ojo humano, en términos de visibilidad, iluminación, retroreflexión de la demarcación vial y de las señales verticales, y el entorno en general. Es por ello que para efectos de condición nocturna, se deben realizar visitas al sitio. Pese a esta limitación, a través de las fotografías de alta resolución del equipo Geo-3D, se está cubriendo aproximadamente un 90-95% del inventario y de las condiciones de seguridad vial en un puente y en sus accesos. En forma adicional al trabajo de extracción y análisis de toda esta información de las fotografías, se recomienda realizar un recorrido nocturno por los puentes con el fin de complementar la evaluación. El tiempo requerido para estas giras sería considerablemente menor que hacer todo el inventariado y levantamiento de la información directamente en el sitio.

Otros aspectos que deben ser evaluados necesariamente en el sitio son: flujo de vehículos pesados, flujo de peatones y ciclistas, y las rutas de transporte público. Dependiendo del tipo de evaluación que se esté llevando a cabo, su alcance y objetivos, se podrán programar giras únicamente para evaluar estos aspectos, pero contando con el resto de la información ya levantada y procesada preferiblemente.

V. Conclusiones y recomendaciones

Los puentes son estructuras de gran importancia que le brindan conectividad y continuidad a una red vial de transporte terrestre. En Costa Rica, no menos de 6.500 puentes conforman la red vial, la cual figura dentro de las más extensas del continente en relación con el tamaño del territorio (densidad de carreteras). La Unidad de Puentes del LanammeUCR realiza inspecciones de puentes, dada la gran necesidad del país de brindar un mantenimiento y reforzamiento adecuado a estas estructuras a las que no se les brindó la atención necesaria durante décadas. El objetivo es apoyar la iniciativa de la Administración de priorizar las medidas necesarias, a partir de un diagnóstico general y de las inspecciones particulares de puentes de la red vial del país.

Estas inspecciones se concentran en la estructura del puente como tal, y es por ello que surgió la necesidad de incorporar el componente de seguridad vial en las evaluaciones. Por lo tanto, se presenta así en este artículo la *Guía de evaluación de seguridad vial de puentes en Costa Rica*, como un documento de referencia para ser utilizado en campo. La guía fue realizada en un lenguaje sencillo y con un formato simple, de manera que su uso no se restrinja a ingenieros de transportes. Las tareas del inspector, el equipo y herramientas necesarias, y las normas de seguridad, se especifican en el *Manual de Inspección de Puentes*, el cual fue un trabajo en conjunto entre el MOPT y JICA.

La guía cubre los datos generales del puente y su localización geográfica, y posteriormente realiza un levantamiento detallado de las condiciones de seguridad vial, primero en los accesos y luego propiamente en el puente. Tal como fue mencionado, en muchos casos la seguridad vial en los accesos es más crítica que en el mismo puente. Dentro de los aspectos que se evalúan están: distancias de visibilidad, demarcación vial horizontal, sistemas de contención vehicular, alineamiento geométrico de los accesos, superficies de rodamiento, señalización vertical, iluminación, zonas para peatones y ciclistas, drenajes, publicidad comercial, tránsito de vehículos pesados, entre otros aspectos.

Uno de los aspectos más importantes no es sólo identificar los aspectos que podrían y deberían ser mejorados para mejorar las condiciones de seguridad vial de todos los usuarios, sino que es indispensable poder recomendar medidas de mitigación apropiadas para cada puente en particular. Es así como la guía brinda un listado de recomendaciones típicas, para facilitar la tarea del evaluador; sin embargo, podrán hacerse otras recomendaciones adicionales.

En el caso de evaluaciones de puentes en toda una red vial, o bien, en una sección grande de la red, se puede recurrir a diversas tecnologías para agilizar el proceso de recopilación de la información. Es así como el equipo Geo-3D con cámaras georreferenciadas de alta resolución, es un equipo muy valioso con el cual se pueden realizar las evaluaciones de seguridad vial de puentes desde la oficina, con la capacidad de medir distancias de visibilidad, anchos de carril y de calzada, altura de barandas y bordillos, longitud del puente, distancia de las señales verticales con respecto al puente y a la calzada, entre muchos otros aspectos. Las cámaras están colocadas con diferentes ángulos de observación, con lo cual fácilmente se pueden detallar todos los elementos que deben ser incluidos en la evaluación. La mayor limitación del uso de esta tecnología es en el caso de los elementos de seguridad vial que deberían ser evaluados de noche, ya que difícilmente se puede reemplazar la percepción del ojo humano; por lo que se recomienda en este caso realizar visitas para evaluar la condición nocturna.



Al ser los puentes estructuras de tanta importancia en la red vial de Costa Rica, se recomienda incorporar la evaluación de seguridad vial dentro de los planes de mantenimiento. Las diferentes medidas de mitigación se pueden priorizar, de tal manera que se atiendan aspectos en forma inmediata a un bajo costo y con una mejora significativa en las condiciones de seguridad vial para los usuarios, y que posteriormente se puedan ejecutar otras medidas de mitigación complementarias. Aspectos tales como señalización vertical, demarcación horizontal y sistemas de contención vehicular, son aspectos que no deben esperar.

A largo plazo, la Unidad de Seguridad Vial y Transporte del LanammeUCR llevará a cabo un manual de seguridad vial para Costa Rica. Es factible que haya un capítulo de este manual dedicado a la seguridad vial en puentes, donde se detallen aún más todos los aspectos que deben considerarse tanto en la fase de diseño de un puente, así como para realizar evaluaciones a puentes ya existentes. Es así como esta guía formará parte de este manual, por lo que continuará en revisión, de manera que se puedan identificar aspectos para mejorarla.



Referencias

- [1] Estadísticas mundiales en línea, Worldstat. Sitio web <http://es.worldstat.info>
- [2] MOPT-JICA (2007). Manual de Inspección de Puentes. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT) y la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA). San José, Costa Rica.
- [3] MOPT-JICA (2007). The Study on Capacity Development in Bridge Rehabilitation Planning, Maintenance and Management based on 29 Bridges of National Highway Network in Costa Rica: Final Report. Ministry of Public Works and Transport of Costa Rica (MOPT) and Japan International Cooperation Agency (JICA). San José, Costa Rica.
- [4] LanammeUCR (2012). *Guía de evaluación de seguridad vial para puentes en Costa Rica*. Unidad de Seguridad Vial y Transporte, Pitra-LanammeUCR. Versión 02-2012. San José, Costa Rica.
- [5] American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO (1999). Guide for the Development of Bicycle Facilities. Washington, D.C., USA.