

Priorización de intervenciones en puentes utilizando indicadores

Indicators for Bridge Actions Prioritization

Giannina Ortiz-Quesada¹, César Garita-Rodríguez²,
Angel Navarro-Mora³, Gerardo Paez⁴

Fecha de recepción: 22 de abril de 2020

Fecha de aprobación: 17 de agosto de 2020

Ortiz-Quesada, G; Garita-Rodríguez, C; Navarro-Mora, A; Paez, G. Priorización de intervenciones en puentes utilizando indicadores. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-3 Julio-Setiembre 2021. Pág 134-142.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5120>

1 M.Sc. Ingeniera en Construcción. Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: gortiz@tec.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0001-7639-1499>

2 PhD. Ingeniero en Computación. Centro de Investigaciones en Computación. Escuela de Ingeniería en Computación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: cgarita@tec.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0003-4592-3266>

3 M.Sc. Ingeniero en Construcción. Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ahnavarro@tec.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-0539-7014>

4 M.Sc. Ingeniero Civil. Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción. Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: bpaez@tec.ac.cr

 <https://orcid.org/0000-0002-3961-2157>



Palabras clave

Evaluación puentes; priorización de puentes; indicadores en puentes; gestión de puentes.

Resumen

El artículo presenta algunos de los resultados generales del Proyecto de Extensión: Priorización de Estructuras de Puentes Utilizando Indicadores de Desempeño: Plan Piloto Municipalidad de El Guarco, este proyecto se ejecutó entre enero 2018 a diciembre 2019, por parte del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Se muestra en el artículo la importancia de contar con herramientas para priorizar las intervenciones a realizar sobre un grupo de puentes y se describe la metodología utilizada para dicha priorización.

La metodología propuesta se basa en el uso de 3 indicadores estratégicos: BCI, VAM y USO, definidos como indicadores técnicos, complementando este cálculo con un indicador socioeconómico, para tener finalmente una lista de intervenciones priorizada de forma integral.

Keywords

Bridge evaluation; bridge prioritization; bridge indicators; bridge management.

Abstract

This article present some of the general results of the Extension Project: Prioritization of Bridge Structures Using Performance Indicators: Pilot Plan Municipality of El Guarco, this project was executed between January 2018 to December 2019, by the Instituto Tecnológico de Costa Rica. The importance of having tools to prioritize the interventions to be carried out on a group of bridges is shown in the article and the methodology used for such prioritization is described.

The proposed methodology is based on the use of 3 strategic indicators: BCI, VAM and USO, defined as technical indicators, complementing this calculation with a socioeconomic indicator, to finally have a list of interventions prioritized in a comprehensive way.

Introducción

La Red Vial de Costa Rica se compone de aproximadamente 47 905 Km, de los cuales el 82% corresponde a la Red Vial Cantonal. Esta última cuenta con un número importante de puentes, de los cuales no se conoce el número total, por ejemplo, en el Inventario de Puentes de Rutas Nacionales, realizado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica, para el 2018 se contaba con 1670 puentes, sin embargo, estos números no incluyen los puentes de rutas cantonales [1].

Los principales datos que arrojan este inventario indican que de los puentes inventariados en rutas nacionales: el 37% de los puentes se encuentra en estado deficiente, el 60% en estado regular y solamente el 3% en estado satisfactorio [1]. Esta situación se espera no sea muy diferente en los puentes de las rutas cantonales, lamentablemente muy pocas municipalidades cuentan con datos actualizados de sus puentes.

Las municipalidades financian las inversiones en su infraestructura vial, principalmente, por medio de dos leyes: Ley 8114 – Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria y Ley Especial para Transferencia de Competencias: Atención Plena y Exclusiva de la Red Vial Cantonal, N.º 9329. Los recursos que recibe cada Municipalidad dependen de la extensión y características de su

red vial. Por otra parte, la Contraloría General de la República de Costa Rica ha expresado su preocupación debido a que los Índices de Gestión Municipal no han sido los adecuados, presentando algunas municipalidades sub-ejecución en dichas partidas presupuestarias.

Como en muchas instituciones, las municipalidades no tienen suficientes recursos para atender todas sus necesidades de una vez y, por lo tanto, se hace de vital importancia contar con herramientas que permitan una adecuada priorización de las intervenciones que se deban realizar en la infraestructura vial y, específicamente el tema de puentes, debido a que los costos de intervención son más elevados que otros componentes de la red vial.

Actualmente, el país cuenta con herramientas para la inspección y mantenimiento de puentes, como lo son: el Manual de Inspección de Puentes y los Lineamientos para el Mantenimiento de Puentes; ambos emitidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y confeccionados con apoyo de la cooperación japonesa JICA. Estos documentos son una importante guía para la realización de los inventarios, evaluación visual de daños e inspecciones detalladas de puentes, pero, tienen un enfoque hacia una evaluación básicamente de la condición estructural, quedando fuera algunos otros elementos como el entorno, la seguridad vial y la importancia socioeconómica. Es por ello que en este artículo se resumirá la experiencia y los principales resultados de un proyecto de extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), realizado en la Municipalidad de El Guarco, durante los años 2018 y 2019, denominado "Priorización de estructuras de puentes utilizando indicadores de desempeño. Plan piloto Municipalidad de El Guarco".

Metodología de trabajo

El primer punto que se abordó fue la revisión del modelo de evaluación propuesto por el grupo de investigación eBridge, el cual consiste en realizar una evaluación con tres enfoques: i) Condición Estructural, ii) Variables Ambientales y iii) Uso. Estos enfoques se explican en las siguientes subsecciones.

Evaluación de condición estructural

Para evaluar la condición estructural, se tomó como base el Manual de Inspección de Puentes del MOPT [2], modificando en la evaluación de la superestructura el término de viga principal de acero y arriostre por elementos principales y secundarios, de igual forma se utilizó para las vigas de concreto, esto con el fin de ampliar el uso a otro tipo de estructuras. En la subestructura se modificó la tabla de evaluación de apoyos, de forma tal que se amplió la evaluación a otros tipos de apoyo. La escala de valoración utilizada es de 1 a 5, donde 1 es una condición satisfactoria y 5 una condición deficiente.

En resumen, la condición estructural se evaluó mediante tres componentes principales del puente: i) Accesorios, ii) Superestructura y iii) Subestructura. En la evaluación de los accesorios se incluyó el pavimento, barandas y juntas; para la superestructura se evaluó la losa, los elementos principales y secundarios de acero, así como los elementos principales y secundarios de concreto (de acuerdo al material de cada puente); mientras que, en la subestructura, se evaluaron los apoyos, bastiones y pilas.

Finalmente, para obtener una calificación de la condición estructural, se propuso un Índice de Condición Estructural que se denominó Índice de Condición Estructural (BCI, por sus siglas en inglés), este indicador muestra la condición general del puente considerando los daños principales en sus accesorios, superestructura y subestructura. Para su cálculo se ponderaron las calificaciones de los daños obtenidos en cada uno de los elementos evaluados (Ver cuadro 1).

La fórmula para el cálculo del BCI se muestra a continuación:

$$BCI = 5\% BCI_{Accesorios} + 45\% BCI_{Superestructura} + 50\% BCI_{Subestructura}$$

Donde $BCI_{Accesorios}$, $BCI_{Superestructura}$ y $BCI_{Subestructura}$ es la peor de las calificaciones obtenidas en los accesorios, superestructura y subestructura, respectivamente. Los porcentajes asignados a cada componente se obtuvieron en talleres con expertos aplicando la metodología Delphi.

Finalmente, el índice BCI será un valor de 1 a 5, el cual se mostrará acompañado de una escala de colores de acuerdo a su valor, tal y como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Escala de valoración para los indicadores.

Evaluación de variables ambientales

La evaluación de las variables ambientales, debe entenderse como la evaluación del entorno en el cual se encuentra el puente, llega a convertirse en una valoración del posible riesgo al que se encuentra expuesta la estructura.

Para definir este indicador, adicional a la información tomada de acuerdo al Manual de Inspección de Puentes del MOPT, se generaron formularios de campo que permitieron evaluar el cauce del río (dimensiones, contaminación), las condiciones de los márgenes del río, el ángulo de ataque del agua a los bastiones, el uso del suelo en la zona cercana al puente, entre otros.

Estos datos se complementaron con información existente, por ejemplo, la definición de riesgos de acuerdo a la Comisión Nacional de Emergencias y Prevención (CNE), Plan GAM 13-30, Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes [7] y capas de información nacional existentes en el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT).

Para el cálculo del Índice de Variables Ambientales, denominado VAM, se utilizaron 3 componentes o variables: i) Amenaza sísmica, ii) Riesgo hidrológico y iii) Fragilidad ambiental.

La selección de estas variables se realizó analizando las amenazas presentes en la zona, para ello durante las inspecciones se recopilaban datos que ayudarán con esta labor y se consultó la información disponible de la CNE. En el siguiente enlace puede observarse el mapa de amenazas para el cantón de El Guarco: https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/cartago.aspx. [4]

La fórmula para el cálculo del VAM se muestra a continuación:

$$VAM = 30\% \text{ Amenaza sísmica} + 30\% \text{ Riesgo hidrológico} \\ + 40\% \text{ Índice de fragilidad ambiental integrado}$$

Donde, para determinar el nivel de **Amenaza Sísmica**, se tomaron datos existentes en otras fuentes de información, tales como el Código de Cimentaciones de Costa Rica, Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes [7] y mapas de la comisión Nacional de Emergencias. En el caso del **Riesgo hidrológico**, se utilizaron 4 elementos de decisión: riesgo de inundación, estrechamiento del cauce, altura libre inferior y ángulo de ataque. Para el cálculo del indicador de riesgo hidrológico se toma el más crítico. Finalmente, para el índice de fragilidad ambiental (IFA), se utiliza la definición dada por la Secretaría Técnica Nacional del Ambiente (SETENA) y los datos disponibles en el Plan GAM 13-30 [3] (ver cuadro 1).

El IFA utiliza 4 ejes de información básicos como base para su desarrollo. Para cada uno de esos ejes de información ambiental fundamental, se establece una categoría de IFA en función de los datos específicos y estandarizados por la SETENA. La combinación de los IFA específicos para cada uno de los ejes, posibilita el establecimiento del IFA integrado, y por tanto, de las limitantes técnicas, restricciones y condicionantes para el desarrollo de actividades, obras o proyectos. Los ejes de información ambiental fundamental a tomar en cuenta son: la geoaptitud del terreno, los aspectos biológicos (bioaptitud), los aspectos edafológicos (edafoaptitud) y los aspectos de uso del suelo antrópico (antroaptitud). [5]

Finalmente, el índice VAM será un valor de 1 a 5, el cual se mostrará acompañado de una escala de colores de acuerdo a su valor, tal y como se muestra en la figura 1.

Par el caso de municipalidades fuera de la GAM, que no cuenten con un valor de IFA, se puede utilizar alguna de la valoraciones que utilice la municipalidad en su planes reguladores.

Evaluación de uso

El análisis de la condición de uso nos permitirá valorar la funcionalidad y operatividad de un puente, además de su importancia dentro de un entorno socioeconómico.

La funcionalidad se refiere a la capacidad que tiene el puente para cumplir su función, en cuanto a su geometría, cargas y la operatividad se refiere a la posibilidad de la interrupción del servicio.

Para valorar estos aspectos se propone un indicador denominado USO. Los componentes se observan en la figura 4.

Este indicador se calculará de la siguiente forma:

$$USO = 60\% \text{ Seguridad vial} + 40\% \text{ Operatividad} - \text{Funcionalidad}$$

Donde el componente de **Seguridad Vial** se evalúa con base en la información recopilada en el campo y el formulario generado para tal fin. En el caso de la **Funcionalidad y Operatividad** se analizaron: la reducción de carriles, la existencia de ruta alterna y la restricción de carga (Ver cuadro 1).

De igual forma, el índice USO será un valor de 1 a 5, el cual se mostrará acompañado de una escala de colores de acuerdo a su valor, tal y como se muestra en la figura 2.

Adicionalmente, dadas las condiciones de los puentes municipales, en el uso de materiales o tipologías constructivas inadecuadas para un puente vehicular, se definieron alertas para cada puente por no uso de elementos adecuados, las alertas se pueden presentar en: apoyos, superestructura y subestructura.

La unión de estos tres indicadores estratégicos permite hacer una **valoración técnica** a la estructura de puente y darle una valoración integral, para ello se propone:

$$\text{Valoración técnica} = 50\% \text{ BCI} + 40\% \text{ VAM} + 10\% \text{ USO}$$

Evaluación Socioeconómica

La decisión de intervenir una estructura, su plazo y orden de prioridad no depende sólo de su valoración técnica, sino, que se hace mandatorio analizar la importancia de esa estructura en cuanto a condiciones socioeconómicas, para ello se propone el uso de otro indicador que hemos denominado índice socioeconómico (SoEc).

Para este cálculo se dispondrá de información ya existente en las municipalidades, como lo son los inventarios viales (Requisito de la Ley 8114), utilizando el índice de viabilidad técnico social (IVTS) y la importancia de la ruta (asignada por el municipio).

El cálculo de este indicador se realizará de la siguiente forma:

$$\text{SoEc} = 50\% \text{ Importancia socioeconómica} + 50\% \text{ Importancia ruta}$$

Donde la Importancia Socioeconómica se calcula con base en el IVTS este índice es calculado por cada municipalidad de acuerdo con lo establecido en Manual de especificaciones técnicas para realizar el inventario y evaluación de la Red Vial Cantonal. (Decreto No. 38578-MOPT-21-10-2014). El IVTS sirve para determinar la importancia relativa de una calle o camino dentro de un cantón, distrito o región, de condiciones similares. El IVTS se calcula con base en la información recopilada mediante el inventario socioeconómico. La cuantificación de cada uno de los criterios ahí considerados permite la obtención de un índice relativo entre 0 y 100, que indica el grado de importancia de la vía. Entre mayor es el índice, mayor importancia revisten el camino o calle en estudio.

La importancia de la ruta fue un elemento de gran interés para la Municipalidad de El Guarco, debido a que la municipalidad desarrolló una metodología para asignar ese nivel de importancia, basada en las actividades principales de la municipalidad y su importancia. [6]

Finalmente, este indicador se muestra no sólo en una escala de 1 a 5, sino que se utiliza un esquema de colores de acuerdo a la figura 2.



Figura 2. Escala de valoración para los indicadores socioeconómicos.

En el cuadro 1 se muestra el resumen de los indicadores propuestos

Cuadro 1. Resumen de los indicadores propuestos.

Indicador	Componente	Peso porcentual	Elementos	Fuente
Condición estructural (BCI)	Accesorios	5	Pavimento, barandas y juntas	Manual de Inspección de Puentes del MOPT
	Superestructura	45	Los, elementos principales y secundarios de acero y concreto	
	Subestructura	50	Apoyos, bastiones y pilas	
Evaluación de variables ambientales (VAM)	Amenaza sísmica	30	Zona Sísmica, cercanía de fallas y suelo predominante	Código de cimentaciones de Costa Rica 2010, Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes y mapas de la Comisión Nacional de Emergencias
	Riesgo hidrológico	30	Más crítico: amenaza por inundación, estrechamiento del cauce, altura libre inferior y ángulo de ataque	Formularios de campo
	Fragilidad ambiental	40	Índice de fragilidad ambiental de SETENA	Plan GAM 2030 (solo disponible para la GAM)
Evaluación de uso del puente (USO)	Seguridad vial	60	Elementos de seguridad vial existentes en el puente	Información recopilada en el campo
	Funcionalidad / Operatividad	40	Reducción de carriles, existencia de ruta alterna y restricción de carga	Información recopilada en el campo
Evaluación socioeconómica (SoEc)	Importancia socioeconómica	50	Inventarios viales, índice de viabilidad técnico social (IVTS) e importancia de ruta (asignada por el municipio)	Manual de Especificaciones Técnicas para realizar el inventario y evaluación de la Red Vial Cantonal
	Importancia de la ruta	50		

Resultados

El proceso de priorización de las intervenciones de los puentes podemos visualizarlo den la figura 3.

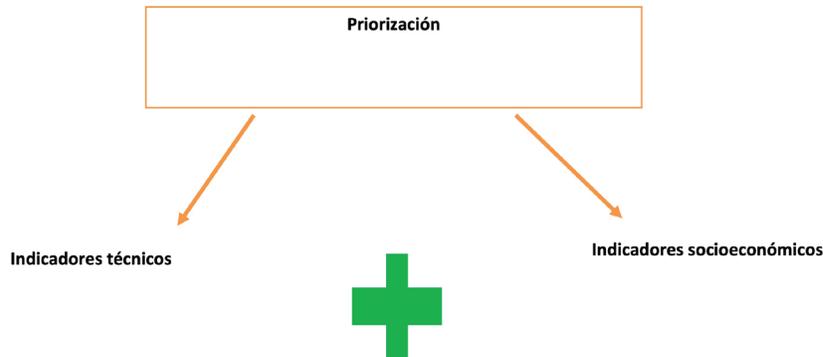


Figura 3. Esquema de priorización.

Esa valoración integral que nos permitirá priorizar se puede calcular de la siguiente forma:

Valoración integral = 70% Indicadores técnicos + 30% Indicadores socioeconómicos

Los porcentajes se han definido con base en criterios de expertos y los intereses de la municipalidad, es importante indicar que esta valoración puede ir cambiando con el tiempo, dependiendo del nivel en que se encuentre la infraestructura. Por ejemplo, para el caso de la Municipalidad del Guarco, no contaba con un inventario ni una evaluación visual de daños, por lo tanto, esta es la primera vez que se realizan los cálculos, de allí que la ponderación de los factores técnicos y especial la condición estructural debe ser la de mayor valor, pensando en resguardar la seguridad de los usuarios de la infraestructura.

El hecho de unir ambos tipos de indicadores permite hacer una valoración integral de estas estructuras y con esa valoración se puede tener un listado de las estructuras donde las que tengan un valor cercano a 5 serán las que se deben intervenir de primero. Esto permitirá generar rangos en los cuales se deba intervenir la estructura, por ejemplo podemos tener que puentes con valores mayores o iguales a 4 se deban intervenir a corto plazo, puentes con valores entre 2 y 4 a mediano plazo y puentes menores a 2 a más largo plazo.

El tipo de intervención dependerá de un análisis específico de cada uno, considerando los valores obtenidos en el índice de condición estructural.

Conclusiones y trabajo futuro

La evaluación integral de las variables condición estructural, ambientales y de uso, permite priorizar y planear de forma estratégica de administración de los activos viales, permitiendo a las municipalidades tener los insumos para una mejor gestión de los recursos económicos que le permita implementar programas de atención a las estructuras.

La metodología de evaluación ha permitido saber la condición actual y el entorno de las estructuras, para la toma de decisiones de los entes encargados para su administración estableciendo sus intereses e importancias, y normativas técnicas nacionales.

La metodología es versátil y libre al poder adoptar herramientas y sistemas técnicos establecidos según las condiciones, necesidades y realidades en las que se encuentre las municipalidades. Al acoger insumos, información, variables, capas, datos, y parámetros que satisfacen las necesidades del usuario.

A futuro queda el reto para esta y otras municipalidades, el poner en práctica estos indicadores en la gestión de activos de puentes, fomentando la evaluación de los trabajos que se realicen con estos mismos indicadores, incluso incursionando en la contratación del mantenimiento y conservación bajo estos mismos parámetros.

Referencias

- [1] Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Inventario de puentes rutas nacionales de Costa Rica. 2014-2018.
- [2] Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Manual de Inspección de Puentes MOPT. 2007.
- [3] Plan de la Gran Área Metropolitana - conocido como Plan GAM 2013 – 2030
- [4] Comisión Nacional de Emergencias. Mapas de Amenazas Cantón del Guarco. 2019.
- [5] Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (Manual de EIA) Parte III. N° 32967 – SETENA
- [6] Municipalidad del Guarco. Inventario vial. 2017.
- [7] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes. 2013.