

**CONGRESO ESTRUCTURAS 2019 y XIIV SEMINARIO DE INGENIERIA
ESTRUCTURAL Y SISMICA.
SAN JOSE, COSTA RICA 8 y 9, AGOSTO 2019.**

**CONDICIÓN ESTRUCTURAL Y DE CONSERVACIÓN DE LOS PUENTES
EN RUTAS ESTRATÉGICAS DE LA RED VIAL NACIONAL
COSTARRICENSE: ESTADO, CAUSAS Y ENFOQUES PARA ATENDER EL
PROBLEMA**

Luis Guillermo Vargas-Alas

Costa Rica, luisguillermo.vargas@ucr.ac.cr,
(506)2511-2730, Universidad de Costa Rica,
Ingeniero de la Unidad de Puentes
Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR

Esteban Villalobos-Vega

Costa Rica, esteban.villalobos@ucr.ac.cr,
(506)2511-4974, Universidad de Costa Rica,
Ingeniero Coordinador de la Unidad de Puentes,
Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR

RESUMEN

La importancia de la conservación de puentes existentes radica en que estos son estructuras con una importancia estratégica en la infraestructura de un país, ya que son líneas vitales de comunicación para el tránsito de personas y el comercio, son indispensables para la atención oportuna de emergencias. Adicionalmente, representan el mayor costo unitario de construcción en un proyecto de carreteras.

A pesar de su importancia, de que en Costa Rica existen 1480 puentes en la Red Vial Nacional y que de esos puentes, un 25% se encuentra en la Red Vial Nacional Primaria y Estratégica de Alta Capacidad (INECO, 2011), se ha evidenciado un deficiente o nulo mantenimiento, que tiene como consecuencia el deterioro de las estructuras. Esto, se debe principalmente a la ausencia de un Sistema de Gestión de Puentes en la Administración que permita organizar los esfuerzos de mantenimiento de estas estructuras, lo cual, implica consecuencias como el aumento del costo de reparación conforme avanza el deterioro, el corte de vías de comunicación y la posibilidad de pérdida de vidas ante un eventual colapso.

Por esto, se muestra un enfoque de evaluación de la condición de estructuras de puentes en Rutas Estratégicas de la Red Vial Nacional de Costa Rica, basado en una evaluación visual. Como ejemplo se muestra la evaluación de puentes realizada por la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR en tres corredores viales estratégicos como lo son las Rutas Nacionales No. 1 (tramo San José - San Ramón), No. 32 (tramo Cruce de Río Frío – Limón) y No. 36 (Tramo Limón-Sixaola). De esta forma se muestra, que estos puentes tienen tipos de daño similares entre sí, que pueden ser atendidos por programas de intervención de estructuras dentro de un sistema de gestión. Estos daños en general son: deterioro de juntas de expansión, corrosión de elementos de acero de apoyos, deterioro de almohadillas de apoyo, deficiencias en seguridad vial, corrosión por deficiencia en el sistema de protección de pintura. Lo anterior, permite también obtener un indicador del estado de condición de cada estructura.

Este indicador, permite utilizar criterios de priorización por solamente daño, los cuales, se pueden combinar con criterios de importancia operacional para plantear enfoques de conservación para atender el problema, ya sea recomendando actividades de mantenimiento cíclico o basado en la condición, actividades de rehabilitación o la sustitución de las estructuras. Lo anterior, representa entonces un primer paso para articular los proyectos de intervención de puentes dentro de un sistema de gestión funcional.

INTRODUCCIÓN

Los puentes son estructuras con una importancia estratégica dentro del portafolio de infraestructura de un país, no sólo porque son líneas vitales de comunicación sobre ríos y pasos a desnivel que permiten el tránsito de personas y comercio, sino que además son muy importantes en situaciones de emergencia para atender rápida y adecuadamente las necesidades que se presenten. Adicional a lo anterior, el costo por metro cuadrado de construcción de un puente es el más alto dentro de un proyecto de carretera, por lo que es necesario hacer una adecuada conservación de las inversiones realizadas.

La Red Vial Nacional costarricense está compuesta de 1480 estructuras de puentes, de las cuales aproximadamente el 25 % se ubican en rutas estratégicas, ya sean estas primarias o pertenecientes a la denominada “Red de Alta Capacidad” según el Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035 (INECO, 2011). En las últimas décadas, es evidente que estos puentes han recibido deficiente o nulo mantenimiento. Una de las principales causas es la ausencia de un Sistema de Gestión de puentes por parte de la Administración, que vele de manera continua, sistemática y proactiva por la evaluación, análisis, priorización e intervención de los puentes. En el 2007, el gobierno de Japón por medio de su agencia de cooperación internacional (JICA, por sus siglas en inglés) realizó en el país un estudio donde reveló brechas en la capacidad individual y organizacional de las instituciones de la Administración (MOPT, CONAVI) para implementar la atención de puentes, revelando así la causa del problema principal que llamaron “mantenimiento inapropiado” (JICA, 2007).

Como solución a este problema se desarrollaron herramientas de gestión, entre ellas: un manual para inspección de puentes, un manual de metodologías para toma de decisiones, inspecciones detalladas y metodologías de atención y un sistema informático para recolección de información (JICA, 2007). Lamentablemente, entre el 2007 y el 2014 solamente se realizaron mejoras estéticas y de funcionalidad en el ambiente de trabajo del sistema informático y la recolección de datos se inició hasta el 2014. Actualmente, se trabaja en la implementación de los indicadores de priorización para tomar decisiones de gestión, pero aún se perciben limitaciones para utilizar estas herramientas en la Administración.

Dentro de las labores asignadas al LanammeUCR en la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributaria y su reglamento, se encuentra la evaluación de puentes existentes en la Red Vial Nacional, por lo cual, la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural (PIE) ha realizado evaluaciones de puentes en rutas nacionales estratégicas, permitiéndoles conocer el estado de la condición de los puentes en carreteras nacionales de Costa Rica. Además, este mismo marco normativo faculta al LanammeUCR a proponer mejoras a las herramientas de gestión que utiliza la Administración.

Por esto, en este artículo se busca: mostrar los resultados de la evaluación de puentes en tres corredores viales que forman parte de la Red Vial de Alta Capacidad de Costa Rica utilizando un indicador propuesto por la UP, correlacionar los resultados de las evaluaciones con las necesidades de mantenimiento, rehabilitación o sustitución y proponer una metodología de priorización basada en las metodologías desarrolladas por JICA para Costa Rica.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE PUENTES

JICA desarrolló dos indicadores que ponderan las deficiencias en los puentes. El primero utiliza un proceso de jerarquización de los daños, los elementos y los componentes del puente para establecer indicadores que permitan ordenar relativamente las estructuras de acuerdo con el grado de deterioro que presenten. El segundo, es una ponderación de características de cada puente, que busca una priorización de las estructuras para reparación de acuerdo con el daño que presentan y con características relacionadas con la importancia operativa de los puentes (MOPT, 2007).

El indicador de jerarquización, brinda un valor numérico a la condición de los puentes, pero no muestra una categorización que permita relacionar conceptualmente el estado del puente con labores posibles de atención. El indicador de ponderación muestra una relación relativa entre puentes que tampoco se puede relacionar con labores de atención. Entonces, como se puede observar, estos indicadores de JICA pueden funcionar para ordenar una lista de puentes de acuerdo a su daño y características prioritarias, pero no para definir su estado de condición global.

Por esta razón, la Unidad de Puentes del PIE-LanammeUCR desarrolló una propuesta de indicador en la “Guía para la determinación de la condición en puentes en Costa Rica mediante inspección visual” (Muñoz-Barrantes, Vargas-Alas, Vargas-Barrantes, et al, 2015) que permite relacionar la evaluación de cada elemento y asignarle una condición de deterioro al puente en general, la cual, está relacionada con labores posibles de atención. En la figura 1 se muestra el proceso de calificación de la condición para un puente y en el cuadro 1, se muestra la descripción de las categorías de condición con que se puede evaluar un puente y de las opciones posibles de atención que están relacionadas con cada categoría de condición.

RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES EN CORREDORES ESTRATÉGICOS

La Red Vial Estratégica está definidas en el Plan Nacional de Transportes 2011-2035 como: “las rutas troncales de ámbito nacional y los ejes básicos de conexión regional” (INECO, 2011). Adicionalmente, la Red Vial Estratégica está jerarquizada en Red de Alta Capacidad y “un conjunto de rutas de mediana capacidad para la distribución de los tráficos hacia los principales centros de población, producción o turismo” (INECO, 2011). Todas las rutas primarias se encuentran dentro de la Red Vial Estratégica y la mayoría de estas se encuentran en la Red Vial de Alta Capacidad.

De acuerdo con lo anterior, se toma como ejemplo para este artículo las evaluaciones de los puentes en los tramos: San José-San Ramón de la Ruta Nacional No. 1, Cruce Ruta 4 –Limón de la Ruta Nacional No. 32 y Limón-Sixaola de la Ruta Nacional No. 36. Las evaluaciones de los puentes en estas rutas se realizaron con la metodología propuesta por Muñoz-Barrantes, Vargas-Alas, Vargas-Barrantes, et al (2015), descrita en la figura 1.

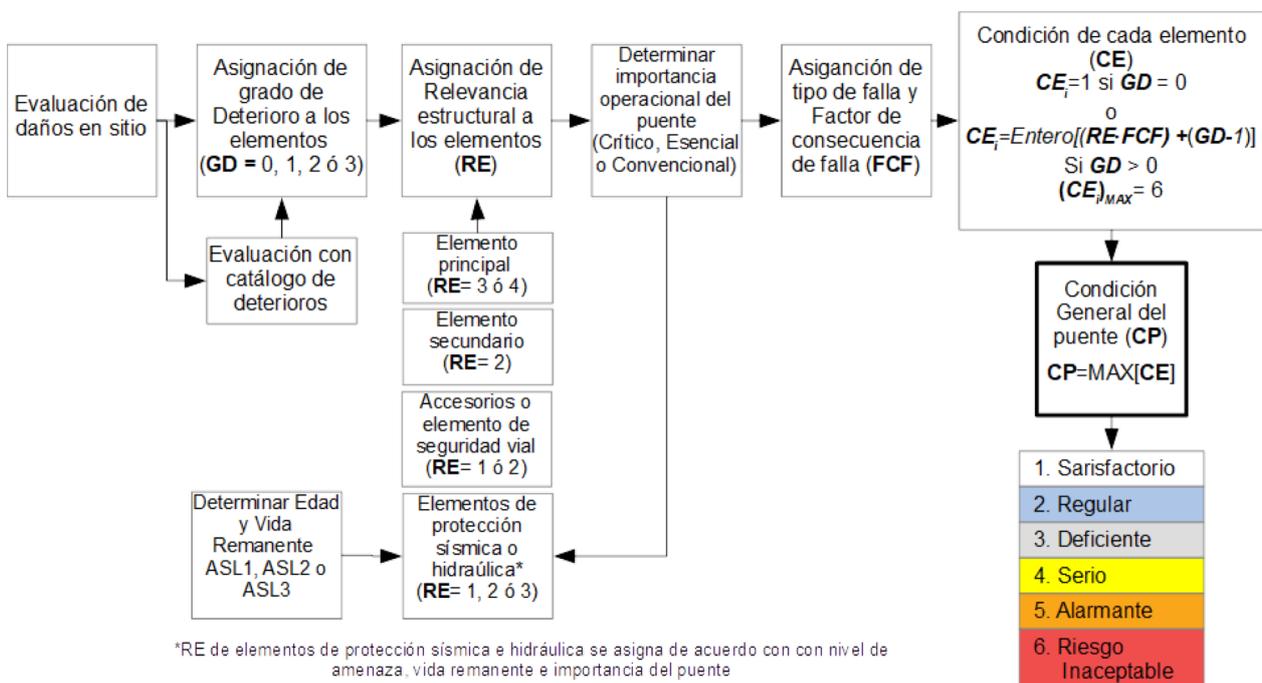


Figura 1.- Esquema de la metodología de calificación de la condición para puentes (Muñoz-Barrantes, Vargas-Alas, Vargas-Barrantes, et al, 2015)

Cuadro 1.- Categorías de estado de la condición de puentes (Muñoz-Barrantes, et al, 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

La experiencia de la Unidad de Puentes evaluando estos corredores viales ha demostrado que se encuentran daños comunes entre los distintos puentes evaluados. En el cuadro 2 se muestran los resultados generales de las evaluaciones de los puentes en cada corredor, haciendo énfasis en los daños comunes. Además, los resultados obtenidos de la condición general para cada puente evaluado en las rutas 1, 32 y 36 se pueden consultar, respectivamente, en las figuras 2, 3 y 4.

Del cuadro 2, se puede observar que la mayor parte de los puentes evaluados tienen una condición Seria. En consecuencia, los puentes donde la calificación fue Seria o Alarmante, tienen daños donde generalmente se requieren mayores esfuerzos de análisis que inciden en el costo de las reparaciones.

ENFOQUES PARA DEFINIR LAS ACTIVIDADES DE ATENCIÓN

En el cuadro 1 se puede observar que la condición evaluada de un puente está relacionada con actividades posibles de atención. Estas actividades se pueden definir como lo hace la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos dentro del ámbito de la gestión de puentes (FHWA, 2018) (ver figura 5):

- **Mantenimiento Cíclico:** Actividades realizadas en un intervalo preestablecido y que buscan preservar las condiciones existentes de los componentes de un puente. La condición de los componentes no siempre es directamente mejorada como resultado de estas actividades, pero se espera que el deterioro sea retrasado (FHWA, 2018).
- **Mantenimiento Basado en la Condición:** Actividades realizadas en los componentes de un puente según sea necesario e identificado por medio del proceso de inspección de puentes. Este tipo de acciones mejora la condición de esa porción específica de los elementos, pero podría o no resultar en un incremento en su estado de condición (FHWA, 2018).

Cuadro 2.- Descripción de los daños y condición de los puentes en los tramos de ejemplo de las rutas 1, 32 y 36

CORREDOR	DESCRIPCIÓN	DAÑOS COMUNES	OTROS DAÑOS DE IMPORTANCIA	CONDICIÓN GENERAL
Ruta 1 Tramo San José-San Ramón (Muñoz-Barrantes, Vargas-Alas, Villalobos-Vega, Castillo-Barahona, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • 15 estructuras de puentes. • Construcción entre 1953 y 1970. • 6 puentes tipo losa sobre vigas de concreto. • 2 puentes tipo losa sobre vigas de acero. • 1 puente tipo cercha de acero. • 2 estructuras de paso tipo cajón. • 3 puentes tipo marco de concreto. • 1 Puente especial tipo losa tensada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamiento en losa de concreto de puentes tipo viga • Grietas por flexión y cortante en puentes tipo marco de concreto. • Deterioro de almohadillas de apoyos elastoméricos. • Corrosión de elementos de acero de apoyos. • Obstrucción de apoyos con sedimentos. • Deterioro del sello de juntas de expansión. • Corrosión en extremos de vigas de acero. • Juntas de expansión obstruidas con asfalto • Ausencia de elementos para protección sísmica 	<ul style="list-style-type: none"> • Cables con corrosión y desprendimientos de concreto en el puente Rafael Iglesias (Tipo losa-tensada). • Deterioro del concreto en el bastión este y desniveles en superestructura del puente sobre el río Poás. • Maleza en unión tipo Gerber del puente sobre el río Grande (km 47+640) 	<p>Condición más común de los puentes en el tramo:</p> <p>SERIA</p> <p>Se evaluaron algunos puentes en condición Deficiente y otros en condición Alarmante debido al deterioro que presentan.</p>
Ruta 32 Tramo Cruce Ruta 4 –Limón (Agüero-Barrantes, Villalobos-Vega, Castillo-Barahona, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • 34 estructuras de puentes. • Construcción: 1974 tramo Siquirres-Limón, 1986 tramo Cruce Ruta 4-Siquirres. • 27 Puentes tipo losa sobre vigas simple-mente apoyadas de concreto preesforzado. • 2 Puentes tipo losa sobre vigas continuas de concreto preesforzado. • 2 puentes tipo viga continua tipo cajón de concreto preesforzado. • 2 puente tipo viga de acero simplemente apoyada. • 1 puente de 415 m de vigas continuas de acero (Puente Río Chirripó). 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro del sello de juntas de expansión • Corrosión con pérdida de sección en placas de acero de los apoyos elastoméricos. • Abultamiento y envejecimiento de almohadillas elastoméricas de los apoyos. • Puentes con características sísmica-mente vulnerables: Longitud de asiento insuficiente, apoyos vulnerables y sesgo. • Ausencia de elementos de protección sísmica • Ausencia de elementos de protección hidráulica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tramo Siquirres-Limón: Desprendimientos de concreto en pedestales de apoyo y deformación de pernos de apoyos (Daños por sismo de 1991) • Rotación de bastiones por sismo de 1991 (Principalmente en puentes sobre ríos Cuba, Toro y Blanco) • Socavación de cimentaciones con pilotes en puentes dentro del tramo Siquirres-Limón • Agrietamiento en la losa de los puentes • Deformación permanente en puentes tipo cajón de concreto. • Deformación lateral permanente en puente sobre río Chirripó debido al sismo de 1991. 	<p>Condición más común de los puentes en el tramo:</p> <p>SERIA</p> <p>Se evaluaron algunos puentes en condición Deficiente y otros en condición Alarmante debido al deterioro que presentan.</p> <p>Los puentes calificados en condición Alarmante tienen daños producto del sismo de 1991 o tienen socavación.</p>
Ruta 36 Tramo Limón-Sixaola (Agüero-Barrantes, Rodríguez-Roblero, Álvarez-González, Villalobos-Vega, Castillo-Barahona, 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • 21 estructuras de puentes • Años de construcción variable por cada puente: 1974, 1990, 2002. • 10 Puentes tipo losa sobre vigas simple-mente apoyadas de concreto preesforzado. • 5 Puentes tipo losa sobre vigas simple-mente apoyadas de acero. • 1 Puente de viga continua de concreto preesforzado. • 2 Puentes tipo marco rígido de concreto reforzado. • 1 puente tipo cercha de paso inferior • 1 puente tipo cercha de paso superior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Agrietamiento de losa de concreto. • Agujeros en losa de concreto de varios puentes. • Corrosión con pérdida de sección en elementos de acero. • Pérdida de sello en juntas de expansión. • Corrosión de placas y elementos de acero en apoyos. • Deformaciones permanentes, envejecimiento y rotura de almohadillas elastoméricas de apoyos. • Ausencia de elementos de protección sísmica. • Ausencia de elementos de seguridad vial. • Puentes de 1 carril. 	<ul style="list-style-type: none"> • Socavación de cimentaciones con pilotes. • Cercha de paso inferior incrustada en bastión producto de sismo. • Rotación de bastiones en puente sobre el río Tuba, por ejemplo. • Corrosión con pérdida de sección en elementos de la cercha del puente sobre el río Estrella. • Elementos de concreto con acero de refuerzo expuesto en ambiente marino. 	<p>Condición más común de los puentes en el tramo:</p> <p>SERIA</p> <p>Se evaluaron algunos puentes en condición Deficiente y otros en condición Alarmante debido al deterioro que presentan.</p>

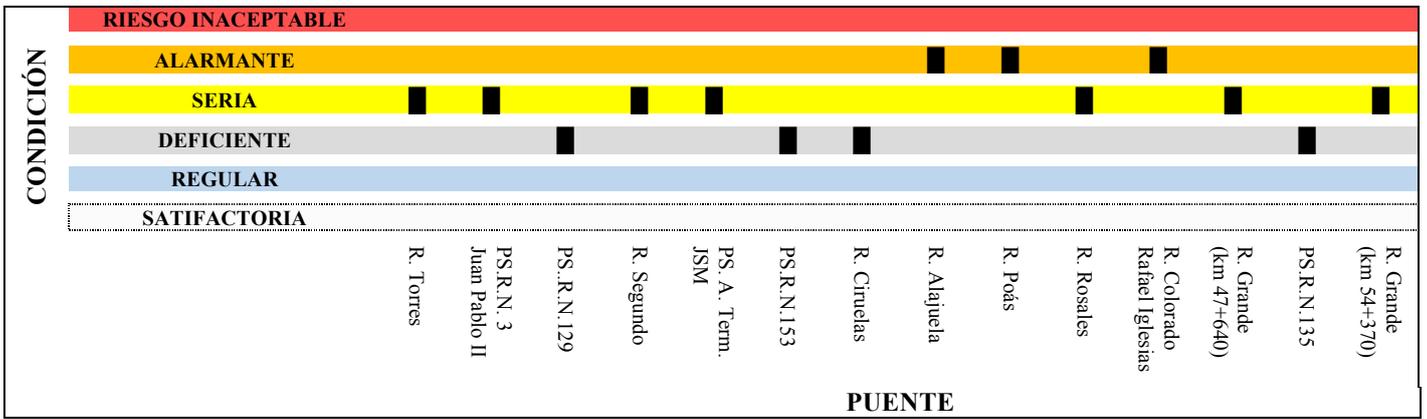


Figura 2.- Condición evaluada para cada puente en la Ruta Nacional No. 1 (San José – San Ramón) (Muñoz-Barrantes, Vargas-Alas, Villalobos-Vega, Castillo-Barahona, 2017)

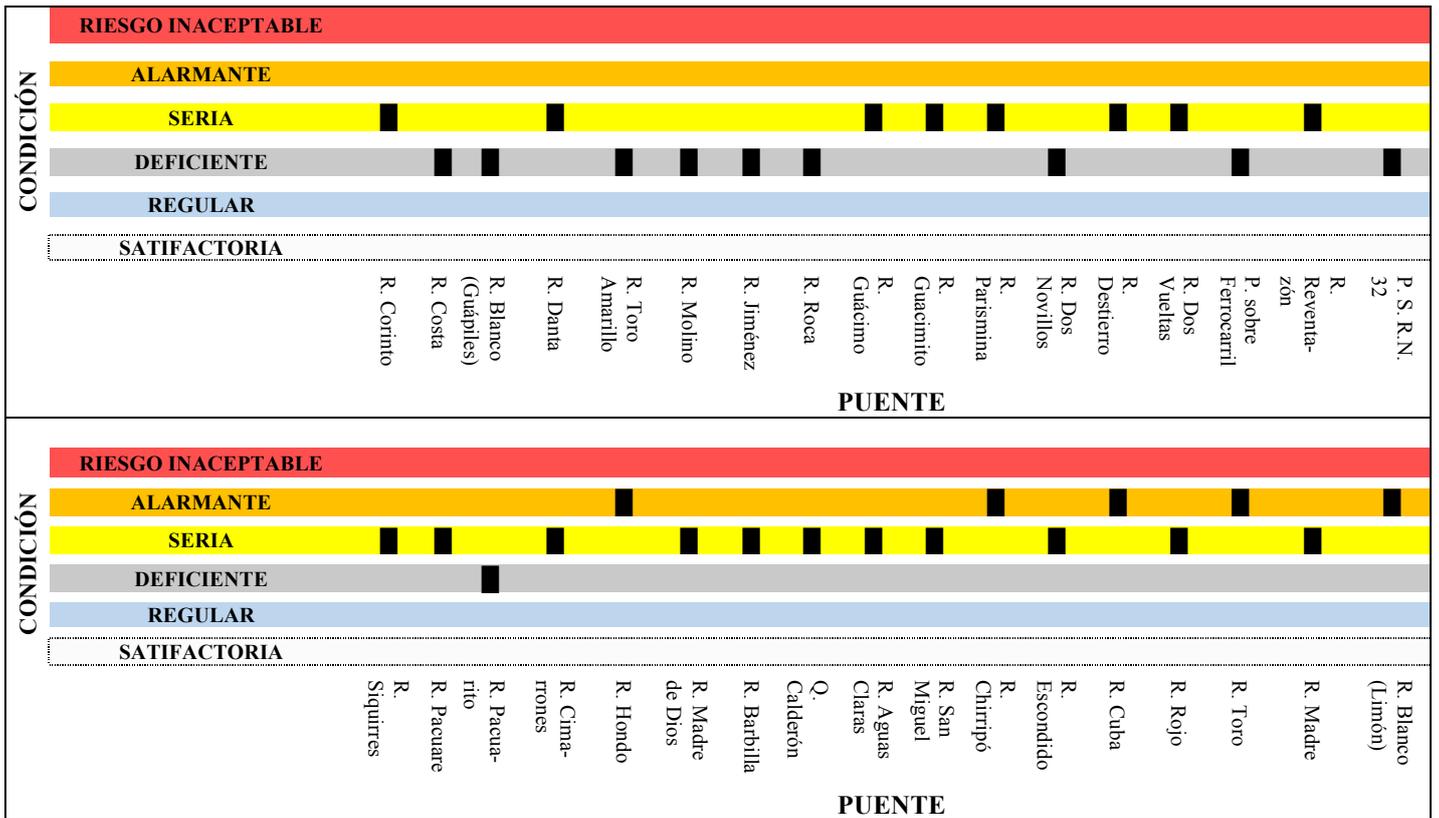


Figura 3.- Condición evaluada para cada puente en la Ruta Nacional No. 32 (Cruce Ruta 4 – Limón) (Agüero-Barrantes, Villalobos-Vega, Castillo-Barahona, 2018)

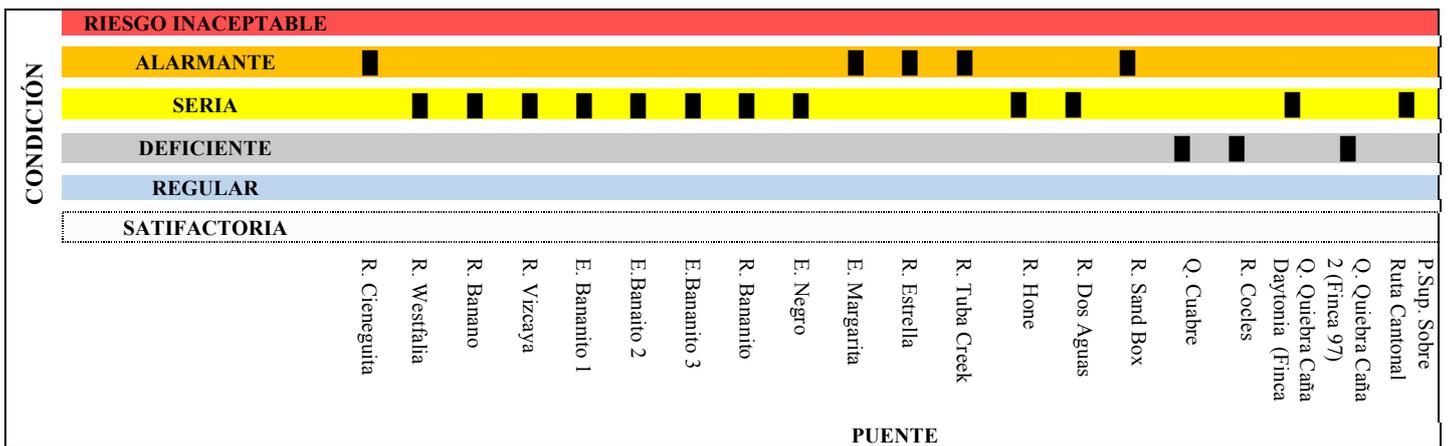


Figura 4.- Condición evaluada para cada puente en la Ruta Nacional No. 36 (Limón-Sixaola) (Agüero-Barrantes, Rodríguez-Roblero, Álvarez-González, Villalobos-Vega, Castillo-Barahona, 2018)

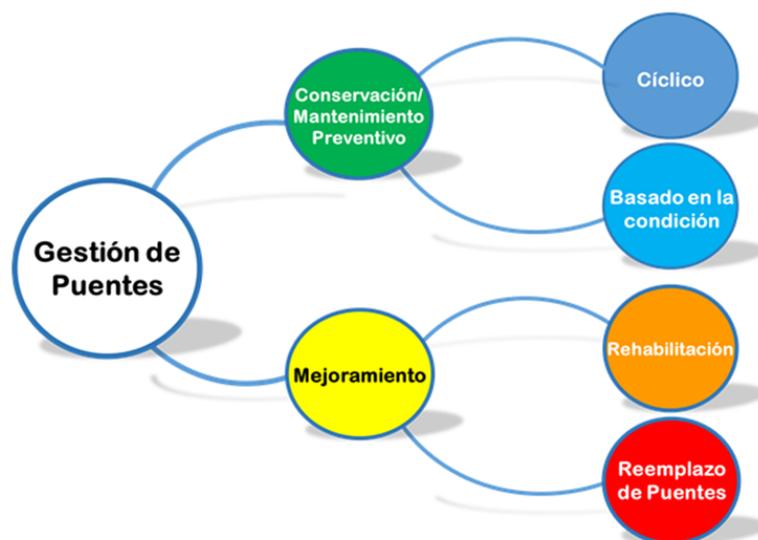


Figura 5.- Diagrama de un programa de gestión de puentes enfocado en las actividades de atención.
(Adaptado de FHWA, 2018)

- **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).

Considerando estas definiciones, las condiciones y necesidades de atención descritas en el cuadro 1 se pueden relacionar con las actividades posibles de atención como se muestra en el cuadro 3.

Es importante mencionar que el enfoque de atención no solo debe estar basado en empezar con “el puente más dañado de primero”, sino buscando las soluciones que sean más efectivas desde el punto de vista de inversión. Por eso, es primordial que la decisión se tome en el ámbito de un Sistema de Gestión de Puentes organizado, con objetivos y metas, pero, sobre todo con una estructura organizacional comprometida con la planificación y ejecución de las actividades de conservación de puentes.

Cuando se encuentran daños que podrían afectar la seguridad estructural o la funcionalidad de un puente es necesario determinar si la atención requerida es de mantenimiento basado en la condición, de rehabilitación o de sustitución. La decisión, se debe tomar determinando con precisión las causas de los deterioros y definiendo si estos se pueden atender con reparaciones superficiales o si requieren de restitución o mejora de la capacidad estructural, respectivamente, para cada necesidad de atención. Para determinar estas causas se pueden realizar: inspecciones detalladas, análisis de capacidad de carga viva, análisis de capacidad estructural de cada componente, análisis hidráulicos, estudios de tránsito, monitoreo de deformaciones o vibraciones, pruebas de carga.

Cuadro 3.- Actividades de conservación de puentes relacionadas con cada grado de condición

CATEGORÍA	CONDICIÓN	ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN
1	SATISFACTORIA	Mantenimiento Cíclico
2	REGULAR	Mantenimiento Cíclico
3	DEFICIENTE	Mantenimiento Cíclico Mantenimiento basado en la condición
4	SERIA	Mantenimiento basado en la condición o Rehabilitación
5	ALARMANTE	Rehabilitación o Sustitución
6	RIESGO INACEPTABLE o FALLA INMINENTE	Sustitución

De los resultados de las evaluaciones mostrados en el cuadro 2 y las figuras 2, 3 y 4, se puede observar que la mayor parte de los puentes de las tres rutas evaluadas requieren rehabilitación, al ser calificados con una condición “Seria”. En pocos casos, los puentes en las rutas evaluadas requieren mantenimiento basado en la condición, debido a una calificación “Seria”.

En las tres rutas, pero principalmente en la ruta 32 y la ruta 36, los puentes calificados como “Alarmantes” pueden ser evaluados con un análisis de costo en el ciclo de vida que permita determinar si cualquier intervención de rehabilitación es efectiva desde el punto de vista presupuestario o si se deben sustituir. No obstante, estos análisis se pueden realizar de forma posterior a la definición de una prioridad de atención.

También, se debe observar que la necesidad de atención corresponde con un primer filtro de priorización. De esta forma se pueden plantear programas de intervención a grupos de puentes que estén clasificados en las distintas categorías. No obstante, es claro que la atención de puentes no es posible realizarla sin definir prioridades de intervención, ya que no se dispone de todos los recursos para atender todas las estructuras con necesidades. Por ejemplo, posiblemente el país puede que no tenga los recursos suficientes para atender los 69 puentes de estas rutas que requieren rehabilitación, por eso, resulta importante determinar una priorización.

METODOLOGÍAS DE PRIORIZACIÓN PARA PUENTES

El estudio de JICA (2007) presentó una metodología de priorización que permite asignar pesos de a distintas características de importancia operativa de los puentes. No obstante, según análisis realizados en la Unidad de Puentes del PIE-LanammeUCR, la metodología de JICA da mayor relevancia a características de los puentes relacionadas con la capacidad funcional que con el daño evaluado en sitio. Además, debido al mal estado de condición actual de los puentes, es muy sencillo obtener el valor máximo de la escala propuesta por JICA. En el cuadro 4, se muestran los parámetros de priorización de JICA.

Por otra parte, un sistema de priorización, debe estar desarrollado para ser adaptado a las necesidades que requiera la Administración. Por ejemplo, si la Administración requiere realizar un programa de atención a puentes para determinar si deben ser sustituidos o rehabilitados por su estado de condición, debe tener un sistema de priorización capaz de reducir el impacto de las variables relacionadas con capacidad funcional y dar más peso al estado de deterioro. Por consiguiente, el sistema de priorización desarrollado por JICA (MOPT, 2007) debería ser capaz de recibir modificaciones en las ponderaciones para mostrar los resultados que la Administración requiera visualizar, de acuerdo con los objetivos de atención que ella misma defina.

Por esta razón, se presenta una propuesta de priorización, modificando los indicadores de JICA (MOPT, 2007), buscando el objetivo de priorizar los puentes que requieren iniciar un proceso para decidir entre rehabilitar o sustituir la estructura, considerando también su importancia operativa.

Cuadro 4.- Indicadores de priorización propuestos por JICA (MOPT, 2007)

ITEM DE EVALUACIÓN	GRUPOS	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
Daño estructural	Losa	20		
	Superestructura	50	70	
	Subestructura	50		
	Accesorios	10		
Obsolescencia Funcional	Capacidad de carga	70		
	Geometría de la losa	15	70	
	Claro superior	15		100
	Claro inferior	15		
Características Prioritarias	TPD	20		
	Tipo de Ruta	10	20	
	Longitud de desvío	20		
	Servicios	5		
Características Estructurales	Puente de Madera	10	10	
	Alcantarilla Corrugada	10		

Cuadro 5.- Indicadores de priorización modificados por la UP-Lanamme para priorización de puentes en rutas estratégicas.

ITEM	GRUPOS	NIVEL 1	NIVEL 2	CRITERIOS	
				Parámetro	Puntaje
Daño estructural	Condición general del puente	50		1	0
				2	10
				3	20
				4	30
				5	40
				6	50
Obsolescencia funcional	Geometría de la losa (MOPT, 2007)	15		$EP = EPM \left(1 - \frac{BW}{AW}\right) \cdot 2$	
Características Prioritarias	TPD en el puente (MOPT, 2007)	20	100	0-5000	0
				5000-10000	5
				1000-20000	10
				20000-5000	15
				>50000	20
	Longitud de desvío (LD) (MOPT, 2007)	5		LD ≤ 5 km	0
				5 km < LD ≤ 15 km	1
				15 km < LD ≤ 30 km	3
				> 30 km	4
				No hay LD	5
Longitud total del puente	10	< 25 m	0		
		25 m – 75 m	5		
		< 75 m	10		
Características Estructurales (MOPT, 2007)	Puente de Madera (PM)	10	No es PM	0	
			Es PM	10	
	Alcantarilla Corrugada (ACR)	10	No es ACR	0	
			Es ACR	10	

EP: Puntaje asignado, EPM: Puntaje de evaluación máximo, BW: Ancho de calzada del puente AW: Ancho de calzada de la carretera a la que pertenece el puente

En el cuadro 5 se muestran los indicadores modificados a partir de los desarrollados por JICA (MOPT, 2007) y los cambios mostrados se mencionan a continuación:

1. Se elimina el nivel 2 (valores máximos de cada ítem), ya que debido al daño que se puede encontrar en los puentes, se obtienen muchos puentes que alcanzan el valor máximo del ítem, evitando que se pueda priorizar efectivamente.

- El daño estructural se evalúa con la condición general del puente y no con daños en los elementos, planteando así un enfoque general. Esta evaluación tiene que ver con las 6 categorías que se indican en el cuadro 1 y tiene la mayor ponderación en la puntuación.
- En las características funcionales solo se mantiene la Geometría de la losa que relaciona el ancho de la calzada del puente con el ancho de la carretera. En este caso mantiene el puntaje relativo ya que este parámetro definirá el grado de restricción a tránsito que genera el puente.
- En las características prioritarias se mantiene el TPD, la Longitud de desvío y se agrega la longitud total del puente. El TPD mantiene el puntaje, el puntaje máximo de la longitud de desvío se reduce a 5 debido a la incertidumbre existente en la determinación de este dato por los inspectores de puentes y se define el puntaje de la longitud total del puente (ver cuadro 5).
- Se mantienen los puntajes de las características estructurales, ya que no se debería aceptar que existan puentes de madera o alcantarillas corrugadas (ambos con alta probabilidad de colapso) en rutas estratégicas.

En el cuadro 5 se puede observar que no se utilizará la evaluación de capacidad de carga, aunque en el cuadro 4 se puede observar que JICA (2007) le da un peso importante. En esta evaluación, JICA solamente propone comparar la carga de diseño del puente con la carga de diseño requerida en la carretera. No obstante, esto no es adecuado, ya que pueden existir puentes que tengan suficiente capacidad para cargas de diseño actuales, aunque hayan sido diseñados para cargas de menor magnitud. Una solución a este problema, puede ser la implementación de los análisis de capacidad de carga en los puentes, los cuales, investigan si los puentes tienen capacidad estructural suficiente para resistir las cargas actuales de diseño y las cargas operativas. La metodología para realizar estos análisis se encuentra en el Manual para Evaluación de Puentes de AASHTO.

Sin embargo, aunque en esta evaluación no se utilice el análisis de capacidad de carga viva, no debe dejarse de lado y se debería incluir como una tarea por realizar al decidir la solución final por implementar en la fase de estudios básicos y anteproyecto de cada puente. Estos análisis, complementados con la evaluación de la condición permiten determinar, por ejemplo, si un puente requiere ser rehabilitado o sustituido.

Con el método definido en el cuadro 5, es posible obtener la priorización de los 69 puentes en las rutas estratégicas evaluadas. En la figura 6 se muestran de forma gráfica el resultado de la priorización y en el cuadro 6, se muestra la lista de puentes priorizados en las rutas 1, 32 y 36.

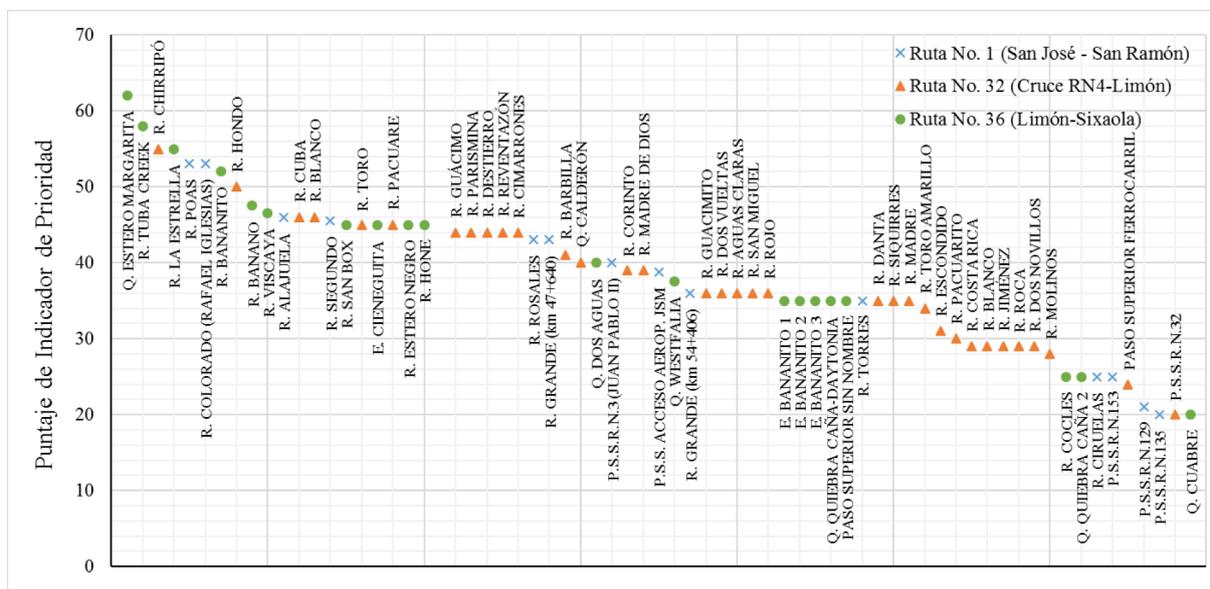


Figura 6.- Representación gráfica de la priorización realizada a los puentes en las rutas estratégicas analizadas

Se puede observar en esta priorización que, como se definió en el cuadro 5, la condición del puente es el aspecto que más influye en los resultados. Esto significa que el orden de los puentes sigue el orden descendente de la calificación de condición, lo cual, era esperable al plantear como objetivo de la priorización obtener los puentes que requieren rehabilitación o sustitución.

Para la atención de los puentes se pueden utilizar los resultados de la priorización agrupando las estructuras por ruta, se pueden agrupar por calificaciones o agruparlas de acuerdo con las actividades de atención definidas en el cuadro 3. Como se puede observar, la priorización es adaptable a las

Cuadro 6.- Resultados de la priorización de los puentes en las rutas estratégicas evaluadas

ORDEN	NOMBRE	RUTA	PUNTOS PRIORIZ.	ÍNDICE CONDIC.	ORDEN	NOMBRE	RUTA	PUNTOS PRIORIZ.	ÍNDICE CONDIC.
1	Q. ESTERO MARGARITA	36	62	5	36	Q. WESTFALIA	36	38	4
2	R. TUBA CREEK	36	58	5	37	R. GRANDE (km 54+406)	1	36	4
3	R. CHIRRIPO	32	55	5	38	R. GUACIMITO	32	36	4
4	R. LA ESTRELLA	36	55	5	39	R. DOS VUELTAS	32	36	4
5	R. POAS	1	53	5	40	R. AGUAS CLARAS	32	36	4
6	R. COLORADO (RAFAEL IGLESIAS)	1	53	5	41	R. SAN MIGUEL	32	36	4
7	R. BANANITO	36	52	4	42	R. ROJO	32	36	4
8	R. HONDO	32	50	5	43	E. BANANITO 1	36	35	4
9	R. BANANO	36	48	4	44	E. BANANITO 2	36	35	4
10	R. VISCAYA	36	47	4	45	E. BANANITO 3	36	35	4
11	R. ALAJUELA	1	46	5	46	Q. QUIEBRA CAÑA-DAYTONIA	36	35	4
12	R. CUBA	32	46	5	47	PASO SUP. SIN NOMBRE	36	35	4
13	R. BLANCO	32	46	5	48	R. TORRES	1	35	4
14	R. SEGUNDO	1	46	4	49	R. DANTA	32	35	4
15	R. SAN BOX	36	45	5	50	R. SIQUIRRES	32	35	4
16	R. TORO	32	45	5	51	R. MADRE	32	35	4
17	E. CIENEGUITA	36	45	5	52	R. TORO AMARILLO	32	34	3
18	R. PACUARE	32	45	4	53	R. ESCONDIDO	32	31	4
19	R. ESTERO NEGRO	36	45	4	54	R. PACUARITO	32	30	3
20	R. HONE	36	45	4	55	R. COSTA RICA	32	29	3
22	R. GUÁCIMO	32	44	4	56	R. BLANCO	32	29	3
23	R. PARISMINA	32	44	4	57	R. JIMÉNEZ	32	29	3
24	R. DESTIERRO	32	44	4	58	R. ROCA	32	29	3
25	R. REVENTAZÓN	32	44	4	59	R. DOS NOVILLOS	32	29	3
26	R. CIMARRONES	32	44	4	60	R. MOLINOS	32	28	3
27	R. ROSALES	1	43	4	61	R. COCLES	36	25	3
28	R. GRANDE (km 47+640)	1	43	4	62	Q. QUIEBRA CAÑA 2	36	25	3
29	R. BARBILLA	32	41	4	63	R. CIRUELAS	1	25	3
30	Q. CALDERÓN	32	40	4	64	P.S.S.R.N.153 PASO SUPERIOR	1	25	3
31	Q. DOS AGUAS	36	40	4	65	FERROCARRIL	32	24	3
32	P.S.S.R.N.3 (JUAN PABLO II)	1	40	4	66	P.S.S.R.N.129	1	21	3
33	R. CORINTO	32	39	4	67	P.S.S.R.N.135	1	20	3
34	R. MADRE DE DIOS	32	39	4	68	P.S.S.R.N.32	32	20	3
35	P.S.S. ACCESO AEROP. JSM	1	39	4	69	Q. CUABRE	36	20	3

necesidades de gestión que requiera el Administrador. Por eso, es importante conocer a fondo los procedimientos de evaluación y priorización para tomar mejores decisiones y obtener resultados con criterio.

Por otra parte, la metodología de priorización se puede adaptar a otros objetivos de gestión, lo cual, puede implicar la utilización de otros indicadores como el factor de capacidad de carga o indicadores del costo estimado de las actividades de mantenimiento o de mejoramiento que se puedan aplicar a los puentes.

CONCLUSIONES

Se presentó una metodología de evaluación de puentes existentes que permite determinar la condición de los elementos y a la vez, determinar la condición general de la estructura analizada.

Esta metodología también permite la relación entre la condición general de la estructura y las actividades de intervención que se pueden realizar para mejorar esta condición. Se puede demostrar que esta metodología de evaluación está alineada con las actividades de intervención en puentes descritas por FHWA (2018) como mantenimiento cíclico, mantenimiento basado en la condición, rehabilitación o sustitución de la estructura.

Por último, aún cuando la condición de un puente puede definir la necesidad de intervención, es importante recordar que estas actividades deben ser parte de un programa de gestión y este programa normalmente tiene recursos limitados. Por eso, es necesario realizar procesos de priorización con indicadores que sean ajustables a los objetivos de intervención de la Administración para los puentes. De esta forma, y con un análisis crítico de los resultados se puede mejorar la gestión de recursos para intervención de puentes y evitar el abandono en que estas estructuras han estado en los últimos años.

REFERENCIAS

JICA (2007). *El 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.* Japón: Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA).

Agüero-Barrantes, P.; Rodríguez-Roblero, M. J.; Álvarez-González, S.; Villalobos-Vega, E.; Castillo-Barahona, R. (2018) *Informe Ejecutivo de la Evaluación de la condición de los puentes y alcantarilla sobre Ruta Nacional N° 36 LM-PIE-UP-07-2018.* San José, Costa Rica: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.

Agüero-Barrantes, P.; Villalobos-Vega, E.; Castillo-Barahona, R. (2018) *Informe Ejecutivo de la Evaluación de la Condición de 34 puentes ubicados en el tramo Cruce de Río Frio- Limón, Ruta Nacional N° 32. LM-PIE-UP-01-2018.* San José, Costa Rica: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.

FHWA (2018). *Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility, Bridge Preservation Guide.* Federal Highway Association, National Highway Institute, USA.

INECO (2011). *Plan Nacional de Transportes de Costa Rica 2011-2035. Volumen 2: Carretera, Propuesta de desarrollo Vial y Jerarquía Funcional.* MOPT: San José, Costa Rica.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2007). *Lineamiento para Mantenimiento de Puentes. Primera Edición.* Dirección de Puentes. San José, Costa Rica

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.

Muñoz-Barrantes, J.; Vargas-Alas, L. G.; Villalobos-Vega, E., Castillo-Barahona, R. (2017). *Monitoreo de la condición de 14 puentes ubicados en el tramo La Sabana - San Ramón, Ruta Nacional N° 1 LM-PIE-UP-20-2017.* San José, Costa Rica: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.