

**CONGRESO ESTRUCTURAS 2017 y XIV SEMINARIO DE INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMICA  
SAN JOSE, COSTA RICA 10 y 11 de AGOSTO 2017**

**GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN EN PUENTES MEDIANTE  
INSPECCIÓN VISUAL**

**Ing. Jorge Muñoz Barrantes**

Costa Rica

email: [jorge.munozbarrantes@ucr.ac.cr](mailto:jorge.munozbarrantes@ucr.ac.cr)

Teléfono: 25114189

Unidad de Puentes, LanammeUCR

Ciudad de la investigación Universidad de Costa Rica

**RESUMEN**

La evaluación visual de puentes mediante una descripción de su “estado o condición”, es una herramienta importante para la gestión de puentes. Su principal objetivo es monitorear la funcionalidad y segura operación de los puentes, alertando de forma temprana sobre los deterioros observados. De esta forma, se salvaguarda la seguridad de los usuarios y se ayuda a la Administración a identificar la necesidad de labores de mantenimiento, rehabilitación, reparación o recambio de puentes.

Una inspección visual realizada por inspectores calificados, es la técnica inicial básica en toda evaluación que permite identificar deterioros que podrían afectar la capacidad estructural, detectar defectos constructivos o de diseño que podrían afectar el desempeño, señalar la necesidad de profundizar la evaluación mediante el uso de estudios específicos y reportar daños riesgosos que requieran la atención inmediata de la estructura. El ejercicio continuo de la evaluación visual de puentes y el estudio de diversas metodologías para la clasificación de su estado de deterioro, ha permitido identificar, a la Unidad de Puentes del LanammeUCR, algunas limitaciones prácticas en el uso actual en nuestro país de las evaluaciones basadas en una inspección visual como la falta de una calificación cualitativa del estado de la estructura, una carencia de uniformidad en los reportes de evaluación, una limitada evaluación de los elementos de protección ante eventos extremos y de seguridad vial en el puente, y una desconexión directa entre los resultados de la inspección y recomendaciones uniformizadas en función del estado de la estructura.

Esta propuesta busca resolver las carencias mencionadas anteriormente mediante una guía de evaluación que califica la condición de los puentes en Satisfactorio, Suficiente, Deficiente, Serio, Alarmante o Riesgo Inaceptable. Esta calificación se basa en aspectos de seguridad estructural, seguridad vial, durabilidad y vulnerabilidad ante eventos extremos como amenazas por sismo o crecidas de los ríos. Todos estos aspectos se analizan en un contexto donde la importancia económica y operativa del puente es también tomada en cuenta.

En este artículo, se incluyen una serie de modificaciones no publicadas a la primera versión de la guía de evaluación del año 2015. Estos cambios se enfocan en facilitar el uso de la guía.

## INTRODUCCIÓN

La Unidad de Puentes (denominada de aquí en adelante como UP) del Programa de Ingeniería Estructural del LanammeUCR tiene como competencia establecida mediante el artículo 6 de la Ley N°8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias la evaluación de la condición estructural y funcional de puentes ubicados a lo largo de la red vial nacional y de la red vial concesionada. Esta tarea se ha venido ejecutando por medio de la evaluación visual de estructuras de puentes, así como de evaluaciones detalladas en los puentes considerados de mayor importancia para la infraestructura vial del país. A raíz de esta experiencia y en búsqueda de la mejora continua, la UP decidió desarrollar e implementar una metodología propia para evaluar visualmente las estructuras de puentes y reforzar los criterios de evaluación utilizados hasta la fecha en nuestro país.

Una inspección visual periódica y estandarizada realizada por inspectores calificados, propicia la pronta atención de daños incipientes, identifica deterioros que podrían afectar o afectan el adecuado desempeño del puente e indica también la necesidad de que se realicen investigaciones con un mayor grado de profundidad. La profundidad de la investigación detallada depende de la peligrosidad de los daños encontrados, la importancia del puente, la información requerida para el análisis de seguridad estructural o en función del tipo de incertidumbre que se identifique luego de la inspección visual inicial.

La propuesta metodológica desarrollada en esta publicación busca calificar la condición de los puentes no solo desde el punto de vista estructural, sino incluyendo también temas de suma importancia como la seguridad vial, la durabilidad de los elementos y su vulnerabilidad ante amenazas sísmicas e hidrológicas. Todos estos aspectos se analizan en un contexto donde la importancia económica y operativa del puente es también tomada en cuenta. Busca además brindar recomendaciones a la administración sobre las posibles acciones administrativas basado en su estado de condición descrito como: Satisfactorio, Suficiente, Deficiente, Serio, Alarmante o Riesgo Inaceptable.

### *Situación actual de la evaluación de puentes en Costa Rica*

Luego de años de pobres prácticas de conservación en puentes, Costa Rica presenta un escenario donde muchas de estas estructuras exhiben deficiencias serias que requieren de una atención pronta. Para enfrentar esta situación se debe conocer, entre otras cosas, el estado de la integridad estructural y funcional de cada puente. Esto, es insumo fundamental de cualquier sistema de gestión de puentes.

Desde el año 2007, el país cuenta con el denominado Sistema de Administración de Estructuras de Puentes, SAEP; este nace de un proyecto de cooperación con la Agencia para la Cooperación Internacional del Japón, JICA (MOPT, 2007). El SAEP, ha tenido algunas dificultades para su implementación, y a la fecha no cuenta con la totalidad de la información de los puentes en la red vial nacional. Si bien el uso del SAEP constituye un avance en la forma en que se gestionan los puentes en Costa Rica, este presenta algunas limitaciones, las cuales, podrían ser solucionadas mediante el uso paralelo de un análisis específico descriptivo de la condición para cada puente.

Una de las limitaciones importantes del SAEP es que, si bien reporta al administrador información de inventario y daño, esta información no da explícitamente una calificación que describa cualitativamente su condición (por ejemplo mediante la definición de rangos para los índices calculados). Esta es una carencia importante, en particular para puentes con daños estructurales serios o alarmantes que requieran atención inmediata y para los cuales otros aspectos que pondera el SAEP, como funcionalidad y obsolescencia, no tienen relevancia desde el punto de vista específico de la seguridad estructural del puente.

Por otra parte, el sistema de asignación de pesos del programa puede no priorizar una condición peligrosa que ocurre en uno o pocos elementos cuando los demás componentes del puente están en buen estado. Otra carencia importante de señalar es que incluye de forma muy limitada y en ocasiones omite aspectos de gran importancia para evaluar puentes como la seguridad vial, algunas consideraciones propias del diseño sísmico, y que no brinda una descripción cualitativa de la condición de la estructura, sino resultados de las evaluaciones en términos de índices que son de difícil comprensión y computo para profesionales fuera de los administradores expertos del SAEP, lo que lo hace poco transparente y comunicativo a otros entes externos que también administran puentes como las municipalidades o el sector privado.

## MÉTODOS UTILIZADOS INTERNACIONALMENTE PARA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN EN PUENTES MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

A nivel internacional, se pueden encontrar una gran variedad de Sistemas de Gestión de Puentes (BMS, por las siglas *Bridge Management Systems*). Estos sistemas incluyen herramientas informáticas para el análisis y almacenamiento de datos, sistemas de calificación de daños y herramientas para ayudar en la toma de decisiones. Los BMS más difundidos son aquellos desarrollados principalmente en los países europeos, los Estados Unidos (PONTIS, BRIDGIT) y Japón (Gatulli 2005). Uno de los principales insumos de principales de los BMS es la evaluación de la condición estructural del puente y su entorno. Una evaluación visual, es el primer paso para el diagnóstico de la condición actual de una estructura (que contempla tanto aspectos de seguridad estructural como de servicio) y la predicción de su deterioro a futuro. Estos son insumos esenciales para definir estrategias de mantenimiento periódico, reparación, readecuación o, si fuera el caso, de remplazo del puente.

Es importante diferenciar entre una evaluación de condición y una evaluación de seguridad estructural. En la evaluación de condición estructural, se indica el estado, basado en las deficiencias observadas, del grado de conservación del puente en términos de una calificación descriptiva (ej: excelente, mal estado, suficiente, etc). Por otro lado, una evaluación de la seguridad estructural es un análisis en donde se realiza una comparación cuantitativa entre la resistencia actual de los componentes del puente evaluados y las condiciones de carga. La seguridad, se evalúa en términos de si la estructura *cumple o no cumple* con un mínimo aceptable según los factores parciales de seguridad utilizados, o el índice de confiabilidad requerido. Una evaluación de condición estructural puede incluir un análisis de seguridad. Comúnmente, una evaluación de condición brinda información sobre la severidad y extensión de los daños y defectos observados, incluyendo, en algunos casos, las posibles causas de las deficiencias, los procesos de deterioro y el impacto de estos en la seguridad y servicio de las estructuras. Los principales objetivos de un informe de evaluación de condición en puentes se pueden resumir en los siguientes (Casas 2007, BRIME 2001):

- *Detectar procesos de deterioro, indicando la severidad y extensión de las deficiencias observadas.*
- *Indicar la condición global del puente y sus componentes.*
- *Calificar el puente tomando en cuenta la urgencia de reparación y la necesidad de mantenimiento.*

Existe en la bibliografía diversidad de metodologías para describir la condición estructural de un puente. La mayoría de estos métodos brindan no solo un grado de deterioro de la estructura sino que también recomendaciones sobre las medidas de reparación y la urgencia de atención. La descripción de 15 metodologías utilizadas en 12 países se resume en el Cuadro 1 (tomadas de BRIME, 2001; COST-345, 2002; Yanev, 2007; Casas, 2007; NCHRP, 2007; Gattulli, 2005 y Tamakoshi & Kobayashi 2006), donde se realiza una comparación de los métodos según los niveles de calificación (*rating*), los grados de daño y el uso de índices que aplican tanto para la evaluación de la condición del puente como para su priorización de atención. Las metodologías que se presentan en el Cuadro 1, muestran una gran variación de un país a otro, lo que significa que si bien las causas de deterioro y los tipos estructurales de puentes son universales, la forma de su evaluación, y el enfoque específico e importancia que se le da a cada uno de los elementos del puente son distintos, según la experiencia propia de cada país.

En países como Alemania, Noruega y Suecia se establecen ítems de calificación no solo para la seguridad estructural, sino también para la seguridad vial, la durabilidad e inclusive, en el caso de Noruega, para aspectos ambientales y estéticos. En estos países, por lo general, los puentes son sujetos a buenas prácticas de mantenimiento por lo que la evaluación da mayor enfoque a aspectos como la seguridad vial e inclusive la estética.

En Japón, Suecia, Finlandia y Taiwán, se sugiere un peso que destaca la relevancia del elemento dentro del sistema estructural del puente. Estos índices se pueden comparar con algunas propuestas como la de Rashidi & Gibson (2011) con su *Structural Significance Factor*, que da un mayor peso a aquellos componentes cuya falla pueda incurrir en graves consecuencias. Para los casos de Japón y Taiwán, es relevante destacar que se introducen en las calificaciones aspectos relacionados con la protección de las estructuras contra los efectos adversos de las amenazas naturales; en particular, consideraciones sísmicas.

El *Health Index*, utilizado en California, está fundamentado en un análisis de la progresión del deterioro en los componentes y los costos de reparación relacionados con las distintas etapas de deterioro; las etapas de deterioro son: protegido, expuesto, atacado, dañado y falla/colapso. Finalmente Gattulli (2005) propone una calificación basada en probabilidad de falla de los elementos. Este tipo de análisis por confiabilidad puede ser de utilidad cuando se tienen que ponderar los efectos de riesgos de distinto origen, de utilidad para eventos extremos con largos periodos de retorno para los cuales es posible asociar probabilidades anuales de ocurrencia de un daño en función de las características de vulnerabilidad del puente analizado.

**Cuadro 1.** Características de metodologías de análisis de condición estructural en puentes

REGIÓN O AUTOR	ÍNDICE O INSTITUCIÓN	NIVELES DE RATING	GRADOS DE DAÑO	VARIABLES Y OBSERVACIONES
ALEMANIA	RIEBW-PRUF Índice $Z_{ges}$ 1,0 a 4,0	6 niveles	5 grados de daño 0 - 4	Evalúa el daño estructural por componente, seguridad vial y durabilidad. Ecuación incluye factor por extensión del daño y número de ocurrencias de este.
AUSTRIA	Índice S	6 niveles 1 - 6	-	Incluye tipo, extensión e intensidad del daño. Destaca la importancia del componente o elemento estructural y urgencia de intervención.
DINAMARCA	DANBRO	6 niveles 0 - 5	-	Análisis por componente. La evaluación global no puede ser mayor al componente en peor estado.
FINLANDIA	FINNRA Índice KTI	5 niveles 0 - 4	4 grados de daño 1 - 4	Da un peso a cada componente estructural. Variables comprendidas: coeficientes de condición estructural, urgencia de reparación, clase de daño. Toma en cuenta todos los componentes para el cálculo del KTI con peso mayor del peor elemento. Utiliza un catálogo de daños para la inspección.
FRANCIA	LCPC SETRA	6 niveles 1, 2, 2E, 2S, 3, 3U	2 a 3 (dependiendo del elemento)	Uso de catálogo de daños y rating asignado a cada parte del puente (3 partes). La condición final depende del elemento crítico evaluado en cada parte.
NORUEGA	-	4 niveles 1 - 4	-	Catálogo de daños "Inspection Handbook for Bridges". 4 niveles aplicables para 4 condiciones: capacidad de carga (letra B), seguridad vial (T), incremento costo mantenimiento (V) y ambiente/estética (M)
REINO UNIDO	Índice TA valores entre 8 a 50	5 niveles 5 - 1 1 es la peor condición	4 grados A, B, C, D extensión y 1, 2, 3, 4 severidad	4 grados de daños para evaluar severidad y extensión del daño. Evalúa 33 elementos. Da recomendaciones de reparación (código por tipo, ej. P = pintura) y priorización (H, M, L; ej. L = Low)
SUECIA	-	4 niveles 0 - 3	-	Evaluación por componentes para capacidad de carga (BC), seguridad vial (S) y durabilidad (D). El valor máximo se obtiene por componente
SUIZA	-	5 niveles 1 - 5	-	Nivel 6: cuando el componente no se inspeccionó. La misma escala se utiliza tanto para todo el puente como para cada elemento.
USA	NBI - FHWA	10 niveles 9 - 0 0= colapso (CoRe : 5 niveles)	3 Condiciones (Bueno, Regular, Pobre)	Escala de 9 - 0 para la condición general del puente, condición del tablero, de la superestructura y la subestructura. Análisis por CoRe elementos que da 5 niveles de condición de los elementos ( <i>Protegido, Expuesto, Atacado, Dañado y Falla</i> ). Sistema de banderas para puentes riesgosos.
CALIFORNIA	CALTRANS Health Index "HI": de 100 a 0	5 niveles (variable)	-	Deterioro en términos de la pérdida económica. Evalúa valor inicial y actual del componente, número de componentes por condición estructural, costo de la falla del componente (análisis: CoRe element).
JAPÓN	MLIT Índice con valor de 0 a 100	6 niveles A, B, C, E1, E2, M	5 grados de daño 1 - 5	Nivel adicional S: se requiere profundizar investigación. La condición está basada en la urgencia del mantenimiento o atención inmediata del puente. La evaluación se realiza en 3 ejes: resistencia a carga, seguridad vial y resistencia a desastres.
TAIWÁN	Taiwán Central University	4 niveles	-	Da peso a los componentes y relaciona su condición con la extensión y relevancia del daño, así como con la urgencia de atención.
Propuesta "HEARN"	-	5 niveles	-	Describe 5 estados de avance del deterioro en la vida de servicio: <i>Protegido, Expuesto, Vulnerable, Atacado y Dañado</i> .
Propuesta "GATTULLI"	-	5 niveles I - V	-	Presenta índices de probabilidad de ocurrencia asociada a cada nivel de deficiencia.

## MÉTODO PROPUESTO PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN

El método propuesto sintetiza las consideraciones de interés para el contexto costarricense según el análisis realizado de los métodos extranjeros estudiados y la experiencia propia de la UP obteniendo un método propio, capaz de describir el estado de progresión del deterioro y sus posibles consecuencias sobre la estructura. El conjunto de aspectos incluidos en el desarrollo del procedimiento se resumen en la [Figura 1](#). En la [Figura 1](#), se puede observar que en muchos casos existe una interrelación entre distintos elementos evaluados; por ejemplo, un tipo de deterioro particular puede afectar a un componente del puente y recíprocamente la mala conceptualización o funcionamiento del componente puede promover la ocurrencia de daño en el mismo componente o en otros.

El método propuesto busca también profundizar en consideraciones particulares para condiciones de carga distintas a aquellas de uso (como el tránsito) y de deterioro ambiental, tomando en cuenta los aspectos sísmicos e hidrológicos que continuamente han afectado a los puentes de Costa Rica. En el esquema se introduce el concepto de consecuencia de falla, gracias al cual se incorporan modificaciones relacionadas con la importancia estructural de los componentes del puente en función del tipo de falla, sus repercusiones (ej: económicas y pérdidas de vidas) y su importancia funcional.

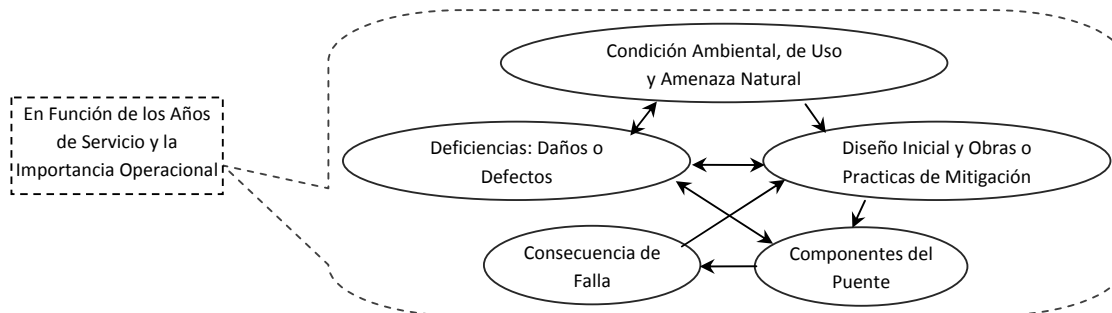
La valoración de la condición del puente depende inicialmente de una apropiada inspección visual objetiva, llevada a cabo siguiendo un procedimiento estandarizado. Obviar daños importantes durante la inspección o sobrevalorar los daños conlleva calificaciones erróneas. Adicionalmente, la práctica de labores de inspección periódicas ayuda a detectar daños incipientes y propiciar su pronta atención. Las inspecciones periódicas efectivas afectan de forma positiva la condición del puente y ayudan a comprender las necesidades de conservación y las causas del deterioro.

En la metodología se debe determinar la importancia operacional de la estructura según las recomendaciones de los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013) y se debe investigar o estimar la fecha de construcción de la estructura. Estos dos aspectos son de importancia, ya que la intensidad con que se evalúan eventos como sismos o inundaciones varía según la vida útil remanente de la estructura y su importancia operativa según el nivel de desempeño mínimo requerido para la emergencia. También, el deterioro ambiental y por tránsito guarda una relación incremental relacionada con el envejecimiento del puente.

En esta calificación de condición se incluyen recomendaciones asociadas a la urgencia de atención de la estructura, labores de reparación y mantenimiento, o estudios adicionales necesarios de realizarse. Dentro del alcance de la metodología propuesta se contempla, como se detallará posteriormente, una serie de recomendaciones generales mínimas necesarias según el estado en que se encuentra la estructura.

A manera de respuesta a la problemática que se comenta en los apartados anteriores, los siguientes aspectos vienen a mejorarse mediante el uso de la metodología propuesta:

- 1) Procedimiento transparente y claro que relaciona la condición de forma directa con los daños.
- 2) Método de sencilla aplicación, que evalúa la condición tanto de los puentes como de los componentes.
- 3) Se da una descripción de la condición, aspecto útil para la comunicación del estado de la estructura a las autoridades gestoras interesadas (gobierno, sector privado o municipalidades), como para el público en general.



**Figura 1.** Aspectos involucrados en esta propuesta de calificación de la condición de puentes

### Descripción de la calificación y variables sus asociadas

La calificación propuesta consta de 6 niveles como se muestra en el Cuadro 2. Luego del estudio de otras metodologías internacionales como las descritas en el Cuadro 1 y un análisis profundo sustentado en los años de experiencia acumulados en la Unidad de Puentes del LanammeUCR, se determinó que el uso de 6 niveles es apropiado para reflejar la condición general de los puentes en Costa Rica. En cada uno de estos niveles se parte del supuesto que para todo puente en la Red Vial Nacional se cuenta con programas de mantenimiento rutinario. La decisión de aumentar los grados de daño con respecto a los 4 niveles que se utilizaban anteriormente por parte de la Unidad de Puentes responde al hecho de que muchos de los puentes eran evaluados como críticos desde el punto de vista de conservación debido a que requieren de una atención pronta para evitar futuros daños, pero no necesariamente presentan una condición muy riesgosa, desde el punto de vista estructural o funcional, lo que puede llevar a incorrectas interpretaciones del estado del puente. Esta situación se solventó incrementando a tres, el nivel que correspondía aproximadamente al estado crítico que se utilizaba en las calificaciones anteriores.

Para calificar el puente dentro de alguna de las categorías de condición mostradas en el Cuadro 2, se evalúan tres variables. Estas variables son la base del método y su obtención se explica en la en los siguiente apartados. Las 3 variables son las siguientes:

- **Grado de Daño (GD):** esta variable cuantifica el daño observado en una escala del 0 al 3. En este ítem se incluyen una serie de deficiencias que pueden ser causadas por efecto de las cargas ordinarias o de eventos extremos, condiciones ambientales, defectos constructivos comunes (como insuficiente recubrimiento) o defectos de diseño del puente. Se puede calcular mediante el uso de un catálogo de daños.

- **Relevancia Estructural (RE):** relacionado con el nivel de importancia del elemento en el sistema del puente. Aplica a todos los componentes del sistema del puente y su entorno, y no solo a aquellos con una función estructural explícita. Los valores para esta variable *RE* van del 1 al 4. El método de cálculo del *RE* varía según se trate de componentes regulares del puente o de aquellos cuya función es la protección de la estructura en caso de impacto vehicular, sismos o eventos hidrológicos. Su valor depende no solo de la función del componente, sino también de las consecuencias para la estructura de los daños o falla del elemento en la estructura.
- **Factor de Consecuencia de Falla (FCF):** esta variable toma en cuenta los efectos de la falla de los elementos en términos económicos, de pérdida de vidas o lesiones a los usuarios y de la importancia operacional del puente para el funcionamiento adecuado de la carretera. El valor de esta variable se determina tomando en cuenta la importancia operacional del puente, el tipo de falla probable de los elementos y el grado de daño.

**Cuadro 2.** Niveles de calificación cualitativa de la condición propuestos para puentes en Costa Rica

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	NECESIDAD DE ATENCIÓN
1 SATISFACTORIA	Buen estado. Sin daño o los daños son leves. La estabilidad estructural, seguridad vial y durabilidad están aseguradas.	Labores de mantenimiento rutinario preventivo
2 ADECUADA	Deficiencias no afectan el funcionamiento adecuado del puente, en donde los elementos principales <sup>1</sup> pueden presentar deterioros que afecten únicamente por durabilidad. Deterioros deben ser tratados por aspectos de durabilidad, evitar la progresión del daño en elementos secundarios <sup>2</sup> , o procurar un adecuado nivel de seguridad vial a los usuarios	Reparaciones menores que se programan en conjunto con el siguiente mantenimiento periódico del puente.
3 DEFICIENTE	Deterioro significativo que podría afectar aspectos funcionales pero los componentes estructural del puente funcionan aún de forma adecuada, sin impacto en los márgenes de seguridad estructural. Daño o defecto en seguridad vial riesgoso para los usuarios	Es necesario programar una intervención no rutinaria en conjunto con el siguiente mantenimiento periódico
4 SERIA	Puente estable, pero con deterioro en uno o varios elementos estructurales primarios, o falla en secundarios, que reducen significativamente los márgenes de seguridad estructural. Si no se trata la progresión del deterioro, este podría conducir a una situación inestable a futuro. Deficiencia en seguridad vial muy riesgosa para los usuarios	<b>Atención pronta.</b> Se recomienda atender pronto el puente para evitar la progresión del daño. Se debe atender una situación peligrosa en la seguridad vial de forma prioritaria incluyendo el señalamiento al usuario de la condición de tránsito riesgosa
5 ALARMANTE	La estabilidad de la estructura puede estar comprometida en un periodo de tiempo corto debido a la progresión activa del daño, o la deficiencia compromete (o podría comprometer en el corto plazo) parcial o totalmente el tránsito vehicular sobre el puente	<b>Atención prioritaria.</b> Las trabajos de rehabilitación son prioritarios y se recomienda colocar señales visibles al usuario indicando la condición riesgosa del puente. Según el tipo de daño, es posible que sea necesaria una evaluación de la capacidad estructural actual de la estructura para juzgar si es necesario restringir su uso
6 RIESGO INACEPTABLE	Condición de deterioro inaceptable en puentes de importancia muy alta o situación de puente inestable con riesgo alto de colapso. Daño severo en un elemento crítico <sup>3</sup> o daños severos extendidos sobre varios elementos principales. Daño irreversible que posiblemente requiera el cambio del puente o una rehabilitación mayor	<b>Atención inmediata.</b> Cerrar el puente o restringir su uso inmediatamente. Evaluar la necesidad de colocación de soportes temporales o un puente temporal. Realizar una evaluación estructural con propuesta para rehabilitación o cambio del puente, e iniciar proceso de rehabilitación o de construcción de una estructura nueva

<sup>1</sup> **Elementos principales:** elementos estructurales que transfieren las cargas por tránsito vehicular desde el tablero hasta el terreno: tablero, vigas principales de superestructura, torres, cables, apoyos, pilas, bastiones, cimentaciones, y elementos de refuerzo o rehabilitación estructural sobre elementos principales

<sup>2</sup> **Elementos secundarios:** Elementos estructurales no principales, dispositivos y señalamiento de seguridad vial, elementos de los accesos y obras/dispositivos/señalamiento/tratamientos de protección contra eventos extraordinarios (impacto vehicular, sismo, avenida) o por durabilidad

<sup>3</sup> **Elemento crítico:** elemento principal no redundante cuya falla lleva al colapso de la estructura

### Pasos para determinar la calificación

Para determinar la calificación de la condición estructural del puente mediante la inspección visual se propone seguir los siguientes seis pasos.

#### 1) *Información preliminar e inspección visual del puente*

Se realiza una búsqueda de información básica del puente como los planos constructivos, la fecha de construcción, el historial de inspecciones y mantenimiento y características varias del tránsito como el valor del tránsito promedio diario TPD. Con estos datos se determina la importancia operacional (crítico *CR*, esencial *E* y convencional *CO*) y el rango de vida remante del puente, *ASL*, según la clasificación definida en los Lineamientos de Diseño Sismorresistentes de Puentes (CFIA 2013). Los aspectos relacionados con la importancia y vida residual del puente se detallan en el Cuadro 3. Información preliminar sobre el puentes en la red vial nacional se puede encontrar en siguiente vínculo: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/visor/visorPantallaCompleta.html>

**Cuadro 3.** Calificativos del puente según su importancia operacional y vida residual (CFIA 2013)

<b>IMPORTANCIA OPERATIVA Y ECONÓMICA DEL PUENTE</b>	<b>VIDA REMANENTE DEL PUENTE ASL</b> (vida útil entre 50 y 75 años)
Convencionales (CO)	ASL 1 (menor a 15 años)
Esenciales (E)	ASL 2 (de 15 a 50 años)
Críticos (CR)	ASL 3 (mayor a 50 años)

## 2) Identificación de componentes del puente y asignación de la relevancia estructural RE

Con la inspección visual e información de planos se realiza un listado de los componentes del puente para cada uno de los tramos de la superestructura y subestructura. A cada uno de estos elementos se le asigna un valor de Relevancia Estructural RE, que es una variable que incorpora la importancia de un componente según sea su función en el sistema global del puente y la consecuencia de la falla del elemento sobre la estructura. Aquí se sopesa no solo el aspecto estructural sino también aspectos de seguridad vial, durabilidad y protección del entorno, como se puede observar en el Cuadro 4. La designación de la categoría de cada elemento se determinó con base en un análisis de los pesos atribuidos en la bibliografía internacional descritos en el Cuadro 1 y en la experiencia adquirida de las inspecciones de puentes existentes en la UP.

La importancia de incorporar aspectos relacionados con la mitigación del efecto de las amenazas naturales en los BMS es discutida en estudios como el de Mayet (2002) y Minchin et al. (2006). Los elementos del puente que cumplen la labor específica de proteger la estructura de eventos sísmicos o hidrológicos, están incluidos en el cuadro 4. Para evaluar los sistemas de protección, se toma en cuenta que la magnitud de estos eventos varía en función del tiempo, por lo que se incluye la variable ASL (vida remanente de la estructura), siguiendo los parámetros de desempeño definidos por los LDSP-2013. Para sismos, la magnitud de la intensidad está asociada al concepto de periodo de retorno, aplicado en la práctica común de diseño de estructuras sismorresistentes. En el caso de eventos hidrológicos, se puede utilizar algún parámetro, como la frecuencia de overtopping, para estimar preliminarmente la peligrosidad de la amenaza para la estructura. El overtopping se da cuando el agua rebalsa o golpea la superestructura del puente, situación que ocurre cuando el área hidráulica es insuficiente. Este fenómeno se puede correlacionar con la probabilidad de que la cimentación sufra daños por socavación (NCHRP 2006). A diferencia del cálculo de avenidas para el cauce del río en un determinado periodo de retorno, el overtopping puede ser aproximado con base en el conocimiento de los pobladores del entorno del puente, lo cual lo convierte en un parámetro útil para la evaluación.

Los elementos en puentes para la protección contra inundaciones y sismo son, en esta metodología, únicamente aquellos componentes o aspectos geométricos de diseño se activen en caso del evento. En caso de protección hidráulica, ejemplos de este tipo de elementos son las escolleras, que podrían no ser necesarias en sitios montañosos o pasos a desnivel, y, en caso de sismo, las llaves de cortante, la longitud de asiento o amortiguadores. Los grados de daño GD en estos elementos podrían ser evaluados mediante el uso del catálogo de daños.

## 3) Determinación de grados de daño GD

Luego de identificados los elementos, se catalogan los daños observados por elemento y se asigna un valor de grado de daño, GD. La caracterización de la magnitud y peligrosidad del daño se ve reflejada en el valor de GD, que se calcula tomando en cuenta la extensión y la severidad del daño. Los detalles para la determinación del GD pueden estar previamente definidos en un catálogo de daños, aunque, si este catálogo no existiera se puede utilizar el criterio del inspector basado en la experiencia y contrastación con otros inspectores.

Tomando como referencia los parámetros iniciales observados en la práctica internacional (ver Cuadro 1), se propone para este estudio una escala de daño del 0 al 3, donde 0 corresponde a ningún daño o un daño muy leve, 1 a un daño ligero, 2 a un daño moderado y 3 a un daño severo. Esta clasificación es acorde con los estados de progresión del deterioro comentados anteriormente: protegido, atacado (o expuesto para durabilidad), dañado y fallado, cuyo uso es práctico en la definición de estrategias de intervención (AASHTO, 2010). Por ejemplo, para un elemento muy dañado o fallado (GD = 3) es muy posible que sea necesario un cambio o reconstrucción del elemento. Los daños sobre la estructura del puente se pueden clasificar como daños que afectan la durabilidad, la operación o la capacidad estructural del puente. Los daños en componentes no estructurales, es decir que no afectan la capacidad o estabilidad estructural del puente directamente sino que perjudican su adecuado servicio/uso, se clasifican como funcionales y corresponden a todo tipo de daños o defectos sobre los siguientes componentes específicos: superficie de ruedo, junta de expansión, seguridad vial, accesos y drenajes. Un daño que afecte la estructura del puente y que tenga consecuencias funcionales se clasifica como estructural; por ejemplo un agujero en losa del puente.

**Cuadro 4.** Relevancia estructural ,RE, sugerida para varios componentes del puente

TIPO DE FALLA DEL ELEMENTO	RE = 1	RE = 2	RE = 3	RE = 4
<b>A:</b> Servicio, Seguridad Vial y Durabilidad	<b>+Juntas de Expansión</b> <b>+Seguridad Vial:</b> - Señalización - Iluminación - Drenaje en Puente <b>+Superficie de ruedo</b> <b>+Durabilidad</b> - Pintura estructura	<b>+Seguridad Vial*:</b> - Barreras vehiculares en puente - Aceras - Juntas de expansión**		
<b>B:</b> Falla elemento secundario, de entorno o de Protección	<b>+Accesos:</b> - Barrera vehicular - Drenaje en Acceso - Manejo de aguas	<b>+Protección:</b> - Altura o carga máxima <b>+Accesos:</b> - Relleno y losa de aproximación - Muros de contención <b>+Aletones y muros</b> <b>+Superestructura:</b> - Diafragma - Arriostres (superior o inferior)	<b>+Superestructura:</b> - Diafragma (sesgo > 30°) - Vigas transversales y largueros de piso - Armadura/viga rigidizadora (colgantes o atirantados) <b>+Rehabilitación:</b> - Postensión externa - Recalce o pilas adicionales	
<b>C:</b> Redundante: Falla del elemento principal de forma individual no causaría necesariamente colapso del puente		<b>+Rehabilitación:</b> - Refuerzo con fibra en vigas y losas - Refuerzo con fibra en pilas - Refuerzo/adición de vigas <b>+Apoyos:</b> - Elastomérico sencillo - Elastomérico reforzado	<b>+Tablero</b> <b>+Superestructura:</b> - 4 o más vigas de concreto o acero - Puente tipo cajón - Cuerpo arco de concreto - Elemento secundario en cercha <b>+Unión rígida</b> (puente tipo marco) <b>+Bastión:</b> - Cabezal/Backwall y cuerpo - Cimiento sobre pilotes <b>+Pila:</b> - Cuerpo muro o marco con pantalla - Viga cabezal - Pilotes múltiples de acero <b>+Colgantes y atirantados</b> - Cables secundarios y sus anclajes	<b>+Superestructura</b> - Estructura de madera - Elemento primario en cercha <b>+Pila:</b> - Cimiento sobre pilotes
<b>D:</b> No redundante: Falla de elemento principal podría causar colapso total, o una falla grave para funcionamiento del puente			<b>+Apoyos:</b> - Apoyo en cerchas metálicas Expansivo (rodillo, pin, etc) - Apoyo fijo en cerchas metálicas - Apoyos tipo pot bearing, de disco, esféricos y cilíndricos - Aislamiento sísmico <b>+Bastión:</b> - Cimiento superficial	<b>+Pila:</b> - Columna - Cuerpo tipo marco - Cimiento superficial o desconocido <b>+Superestructura</b> - Puente con 3 o menos vigas de concreto o acero - Puente de arco de mampostería o acero <b>+Colgantes y atirantados</b> - torres - Cables primarios y sus anclajes
<b>PS:</b> Elemento entra en función en caso de Sismo	Puentes ASL1	Puentes ASL2	Puentes ASL3	
<b>PH:</b> Elemento entra en función solo en caso flujos de detritos, lahares o crecida del río <sup>Y</sup>	O° V° R°	Puentes ASL2 y Puentes ASL1 <sup>‡</sup>  Puentes ASL3	Puentes ASL3	
	Puentes ASL2 y Puentes ASL1 <sup>‡</sup> Puentes ASL3			

NOTAS:

\*\*cuando se tenga una gran apertura peligrosa a usuarios o el tránsito deba reducir la velocidad

° Amenaza hidrológica (evidenciada por ejemplo mediante la recurrencia de "overtopping" sobre la estructura): O = Ocasional (acurre cada 10 años o menos), V = Una vez en la vida (se estima un evento importante ocurre al menos una vez en la vida, ≈ 50 años), R= Remota (≈ cada 100 años). Consultar para su estimación a vecinos y los estudios hidrológicos con los que cuente la estructura

‡ Vida de servicio remanente: ASL1 (Menor a 15 años )/ ASL2 (Entre 15 años y 50 años) / ASL3 (Mayor que 50 años)

<sup>Y</sup> No Aplica en pasos a desnivel



Un daño estructural se asocia como mínimo con un  $GD = 1$  ya que los daños generan afectaciones estructurales evidentes, como destrucción del material, discontinuidad (usualmente asociados a agrietamiento  $> 0,3$  mm de espesor), desplazamientos o deformaciones excesivas, ruptura de elementos o pérdida de sección por mencionar algunos casos. La valoración del agrietamiento del concreto requiere de atención particular para valorar si se considera un daño estructural o una afectación a la durabilidad, tomando en cuenta, por ejemplo, de si se trata de concreto reforzado o preesforzado.

Los daños a la durabilidad son aquellos que afectan la protección o tienden a incrementar la exposición al daño. Un daño que afecta la durabilidad puede estar vinculado con daños estructurales como agrietamiento, corrosión o pérdida de sección por descascaramiento, sin embargo el efecto debe ser evaluado por separado. Daños comunes que afectan la durabilidad son: recubrimiento insuficiente (inclusive con acero expuesto), pintura deteriorada o inapropiada, nidos de piedra, micro agrietamiento y oxidación. El puntaje máximo para defectos por durabilidad es de  $GD = 1$ , regla que aplica para todos los componentes del puente; el valor máximo de  $GD = 1$  previene que un defecto severo de durabilidad no sea sobrevalorado cuando aún no se derivan consecuencias estructurales. El rango del valor posible de  $GD$ , según las consecuencias estructurales, funcionales o por durabilidad se resumen en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Rango de valores de  $GD$  según las consecuencias estructurales, funcionales o de durabilidad.

CONSECUENCIA DEL DAÑO	$GD = 0$	$GD = 1$	$GD = 2$	$GD = 3$
DURABILIDAD				
FUNCIONAL				
ESTRUCTURAL				

#### 4) Grado de consecuencia de falla $FCF$

Una vez identificados los elementos y asignados los valores de  $RE$  y  $GD$ , sería solo necesario determinar el valor del denominado Factor de Consecuencia de Falla  $FCF$ . Este factor se escoge para cada elemento según sean las consecuencias de su falla y relevancia sobre el puente (según el tipo de falla Cuadro 4) y la importancia de la estructura en términos del consecuencias en caso de colapso, o una prohibición/restricción del uso (ver cuadro 6). El Cuadro 7 establece la relación entre los grados de daño y la relevancia estructural en función de la importancia.

En el Cuadro 6 y Cuadro 7 se introduce un nivel de importancia adicional denominado como  $CR+$ , específicamente ideado para los puentes de la red vial nacional de importancia estratégica, con gran importancia económica y cuyo colapso presenta un alto riesgo de pérdida de vidas humanas debido a su alta ocupación ( $TPD > 50\ 000$ ). Para este caso de puentes calificados como  $CR+$ , se utiliza un factor  $FCF$  de 1,15 para algunos componentes del puente según su relevancia estructural (ver Cuadro 7). Para estos elementos, inclusive un grado de deterioro moderado se considera como una situación riesgosa e inaceptable tomando en cuenta las consecuencias económicas y posible pérdida de vidas humanas que se derivan de su falla.

**Cuadro 6.** Definición de niveles de consecuencias de falla

CONSECUENCIA	$FCF$	DESCRIPCIÓN
Nivel 1: BAJA	0,70	Consecuencias leves sin riesgo de pérdida de vidas o lesiones, molestias a usuarios, servicio puede ser afectado en periodos cortos (Puentes Convencionales "CO").
Nivel 2: MODERADA	0,85	Consecuencias moderadas. Riesgo leve de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica considerable (Puentes Esenciales "E").
Nivel 3: ALTA	1,00	Consecuencias altas. Riesgo moderado de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica alta (Puentes Críticos "CR").
Nivel 4: SEVERA	1,15	Consecuencias muy altas. Riesgo alto de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica muy alta (Puentes Críticos con $TPD > 50000$ vehículos "CR+").

**Cuadro 7.** Relación entre la Relevancia Estructural  $RE$  y los grados de daño niveles de consecuencias

$RE$	$CO$			$E$			$CR$			$CR+$		
	$GD=1$	$GD=2$	$GD=3$	$GD=1$	$GD=2$	$GD=3$	$GD=1$	$GD=2$	$GD=3$	$GD=1$	$GD=2$	$GD=3$
1	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,85	0,70	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,70	0,70	0,85	0,70	0,70	0,85	0,85	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,70	0,85	0,85	0,70	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,15
4	0,70	0,85	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,15	1,15

5) *Calificación de los elementos del puente CE*

Los tres factores calculados anteriormente se combinan para determinar la calificación de cada uno de los elementos del Cuadro 5 y 6. El valor de  $CE$ , que se encuentra en el rango de 1 a 6, se obtiene al redondear a un número entero el valor calculado mediante la siguiente ecuación:

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

Como se puede observar, si  $GD = 0 \rightarrow CE_i = 1$ ,  $CE_{min} = 1$  y  $CE_{max} = 6$ .  $CE_i$  corresponde a la calificación de un componente "i" del puente.

La deducción de esta Ecuación 1 corresponde a un simple arreglo en la escala de 1 a 6 de la suma de efectos  $RE + GD$ , el cual presenta un apropiado ajuste a los resultados esperados para el puente según el criterio de la UP. La variable  $GD$  se asume independiente del factor de consecuencia de falla  $FCF$ , no obstante este último sí modifica el peso del factor  $RE$  en la ecuación. Aquí cabe recalcar la importancia del cálculo adecuado de un valor de  $GD$ . En particular, el grado  $GD = 3$  corresponde específicamente a un estado en que el tipo de deterioro tiene implicaciones serias en el elemento o que el mismo inclusive ya ha fallado (por ejemplo, la ruptura de arriostres en un puente de cercha).

En el Cuadro 8 se resumen todas las posibles permutaciones resultantes del uso de la Ecuación 1 para los cuatro grados de importancia propuestos. Allí se observa con mayor claridad el efectos de tomar en cuenta los valores de  $FCF$  para calificar el elemento. Además, en el Cuadro 8 se evidencia de forma clara el aumento de la calificación en relación con el incremento tanto del daño como de los valores de relevancia estructural.

**Cuadro 8.** Calificación por componente  $CE_i$  según los valores de  $FCF$ ,  $RE$  Y  $GD$

RE	CO				E				CR				CR +			
	GD=0	GD=1	GD=2	GD=3	GD=0	GD=1	GD=2	GD=3	GD=0	GD=1	GD=2	GD=3	GD=0	GD=1	GD=2	GD=3
1	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3
2	1	1	2	4	1	1	2	4	1	2	3	4	1	2	3	4
3	1	2	4	5	1	2	4	5	1	3	4	5	1	3	4	5
4	1	3	4	6	1	3	5	6	1	4	5	6	1	4	6	6

6) *Clasificación global del puente para el mayor CP*

En esta metodología la calificación global del puente se asigna en función del elemento con mayor puntaje obtenido. Lo cual se describe también mediante la Ecuación 2:

$$CP = \max (CE_i) \quad \text{Ecuación 2.}$$

Al hacer este tipo propuesta, se asume que el puente está formado por elementos independientes entre sí y se concibe el sistema global del puente como un sistema en serie. En una formulación en serie se asume que la falla del elemento más débil provoca la falla de todo el sistema, por lo que es considerada una formulación conservadora siempre y cuando (desde un punto de vista probabilístico), la probabilidad de falla total esté gobernada por la probabilidad de falla de ese elemento específico. No obstante, se debe mencionar que al tomar en cuenta la redundancia para algunos elementos de la superestructura se alcanza en algún grado el efecto indirecto de una formulación en paralelo del sistema, en donde la falla se da luego de la falla del componente más fuerte.

La formulación del sistema como elementos mutuamente independientes, si bien no corresponde con la situación real, es una simplificación conveniente. Encontrar las matrices de correlación entre los elementos es una tarea difícil, ya sea que se enfrente desde el punto de vista estadístico, empírico o mediante simulaciones numéricas, debido a que las matrices son diferentes para distintos niveles de daño y tipos de puentes. Un ejemplo sobre la obtención de matrices de correlación para puentes de concreto simplemente apoyados se explica en Song y Kang (2009).

Con un valor asignado de  $CP$ , se obtiene finalmente la condición del puente a utilizar en el Cuadro 2 para calificar el estado del puente. Vale la pena recordar que esta metodología provee información tanto de la condición global del puente como de los grados de daño específicos de los elementos. Esta información es de utilidad para realizar un análisis estadístico de los componentes del puente que presentan mayores problemas con el fin de enfocar los esfuerzos de conservación, rehabilitación e inclusive consideraciones de diseño hacia la prevención del daño; más aún en componentes clave para asegurar la integridad estructural del puente.

## EJEMPLO DE APLICACIÓN

Una vez definida la metodología de evaluación, conviene mostrar un de ejemplo de aplicación. Se eligió el puente sobre el río Blanco de Limón en la ruta nacional número 32, inspeccionado visualmente por parte del personal de la Unidad de Puentes del LanammeUCR y cuyo informe se puede encontrar en el siguiente vínculo: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/productos-PITRA/Informes/2015/LM-PI-UP-PN09-2015.pdf>

El resumen de los resultados obtenidos para el puente analizado se muestra en la **Figura 2**. Se identificaron para esta estructura 26 elementos, de los cuales 2 no pudieron ser inspeccionados (No Insp.). Se debe indicar cuándo elementos como los cimientos, pilas, losas de aproximación u otros no pudieron ser inspeccionados visualmente, ya que queda constancia en el informe de que no fueron evaluados pero que existen; incluyendo además si fuera el caso, una indicación de la necesidad de solicitar una inspección especial para los elementos no inspeccionados, que requiera la utilización de una grúas o buzos.

En la **figura 2**, para cada elemento se muestran los valores de *RE*, *GD* y *FCF*. Para el *RE* se utilizan los valores sugeridos en el **cuadro 4** y para el *GD* el criterio del profesional evaluador, donde al lado se incluye una observación relativa al daño al que corresponde a la calificación brindada. La condición, *CP*, determina para esta estructura es: Alarmante.

Nombre del puente		Rio blanco limon ruta 32	Importancia Operacional (LDSP 2013)	Critico	Código Importancia	CR	
Fecha Evaluación		10/03/2015	TPD (veh/día)	17500	Edad (años)	47	
Año de construcción o diseño		1968	Vida de diseño según código (años)	50	Vida de servicio remanente (LDSP 2013) TIPO DE	3 ASL1	
ELEMENTO	RE	GD	DESCRIPCIÓN DE DAÑOS	FALLA	FCF	CE <sub>i</sub>	
SEGURIDAD VIAL	Barrera vehicular (puente)	2	2	Posiblemente no es adecuada para el tránsito actual, hundida, presenta impacto vehicular	B	0,85	3
	Barrera vehicular (accesos)	1	3	No hay	A	0.7	3
	Aceras	2	2	Ancho insufiente, hay peatones	A	0.85	3
	Señalización Vial	1	3	Muy borrosa, sin capitaluces, barreras sin pintar en accesos	A	0.7	3
	Rotulación Carga/Altura Máxima	1	3	Se recomienda evaluar la capacidad de carga maxima del puente dado el daño observado	A	0.7	3
	Iluminación	1	1	No hay, evaluar necesidad	A	0.7	1
ACCESORIOS	Superficie de rodamiento (puente)	1	3	Aberturas en juntas son un peligro para bicicletas y motos	A	0.7	3
	Sistema de drenaje del puente	1	2	obstruidos, sin extención	A	0.7	2
	Juntas de expansión	1	3	Ya no existe, aberturas, ext	A	0.7	3
ACCESOS	Superficie de rodamiento (acceso)	1	1	Baches y agrietamiento	A	0.7	1
	Relleno de aproximación	2	0		B	0.85	1
	Losas de aproximación	No Insp.					
SUPERESTRUCTURA TIPO VIGAS	Tablero	3	3	Sobrecapa severa de asfalto > 20 cm, grietas en 2 direcciones	C	1	5
	Vigas principales de concreto o acero	3	3	Sobrecapa severa de asfalto > 20 cm, apoyo directamente sobre bastión	C	1	5
	Vigas diafragma de concreto o acero	3	0		C	1	1
SUBESTRUCTURA	Apoyos	3	3	Daños severos en bastion y pilas, ver informe	C	1	5
	Aletones	2	2	Agrietamiento mayor a 1 mm	B	0.85	3
	Bastiones: Viga cabezal	3	2	Agrietamiento > a 1 mm, golpes de la vigas por sismo	C	1	4
	Bastiones: Cimentación	3	3	Daños severos, ver informe	C	1	5
	Pilas: Viga cabezal	3	0	filtraciones de agua y vegetación	C	1	1
	Pilas: Cuerpo tipo muro o marco con pantalla	3	0	filtraciones de agua y vegetación	C	1	1
	Pila: Cimentación	No Insp.					
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	Longitud de asiento (pedestales)	1	3	muy inferior al minimo, situación peligrosa en pila		1	3
	Llaves de corte	1	3	Inexistentes		1	3
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA	Protección de taludes de rellenos	1	1	No hay, sin embargo el talud no esta aún socavado		0,7	1
	Escollera de protección	1	3	Ya no existen, habían según planos		1	3
					<b>CP =</b>		<b>5</b>
							<b>Condición Alarmante</b>

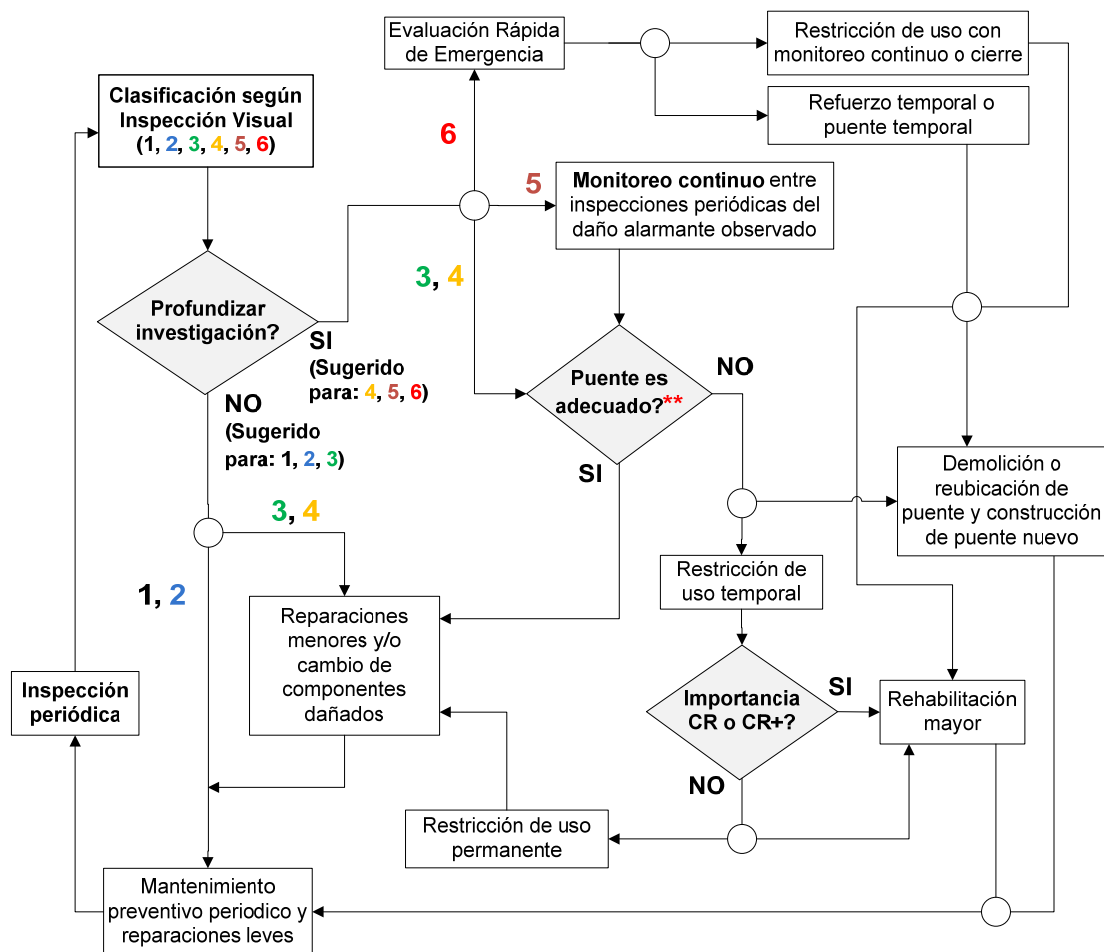
Figura 2. Ejemplo de hoja de cálculo resumen del método propuesto

## USOS DE LA CALIFICACIÓN

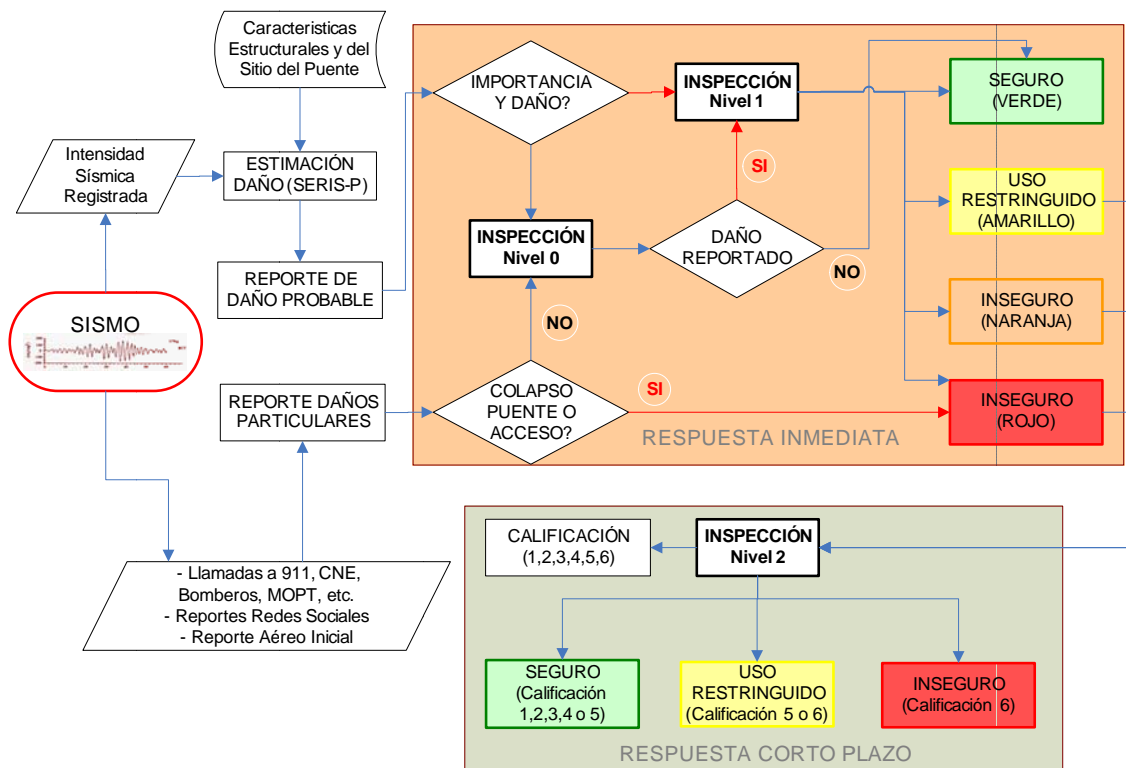
Una vez establecida la condición del puente, se pueden seguir las indicaciones para la atención del puente resumidas en el cuadro 2. El esquema de la figura 4 podría permitir tomar acciones de forma sistemática y objetiva, empezando por responder a la pregunta si es necesario o no profundizar en la investigación. Para el caso específico de calificación grado 4, profundizar los estudios cuando la deficiencia sea de carácter de seguridad vial requiere de un análisis distinto, no necesariamente relacionado directamente con un aspecto de la seguridad estructural.

Con el uso de los resultados obtenidos en estudios más detallados para la estructura, en donde pueden estar involucrados el uso de otros ensayos no destructivos y destructivos, el criterio de otros evaluadores especialistas, o una evaluación de capacidad de carga u algún otro tipo de análisis que la administración defina (por ejemplo el usos del manual de evaluación de puentes de la AASHTO (2011)), se puede definir si el puente es o no adecuado. Con adecuado se entiende que cumple con los requisitos mínimos que requiere la administración o la normativa nacional para las condiciones de uso seguro de la estructura. Para puentes en donde la evaluación resulte en estructuras no adecuadas se debe como mínimo advertir temporalmente a los usuarios sobre las limitaciones de uso que presenta el puente hasta que se realicen los trabajos de rehabilitación, se cambie la estructura o se decida restringir permanentemente el uso. Para el caso de puentes CR y CR+, es muy posible no sea factible en la práctica restringir su uso de forma permanente, por lo que no se recomienda como estrategia aplicable a este caso particular.

Al fin del ciclo en todos los casos, los puentes vuelven las actividades de mantenimiento e inspecciones periódicas. La administración debe definir los periodos de inspección visual básicas e inspecciones en detalle de los puentes así como los intervalos de mantenimiento.



**Figura 4.** Esquema de atención de puentes sugerido según la calificación obtenida siguiendo el método propuesto (\*\* Adecuado o no según los criterios de evaluación que utilice la administración)



**Figura 5.** Procedimiento de etiquetado de puentes en la respuesta inmediata y en el corto plazo (Muñoz et al., 2017)

Aparte de la evaluación cotidiana de la condición de la estructura luego de una inspección visual periódica, también la metodología propuesta puede ser utilizada para evaluar daño luego de la ocurrencia de eventos no ordinarios como crecidas de los ríos, impacto vehicular o sismos. Para el caso específico de las inspecciones post-sismo, la evaluación del estado de la condición se incluyó como uno de los tipos de inspecciones a realizar según el protocolo de inspección de puentes luego de sismo, propuesto por la Unidad de Puentes del LanammeUCR, como se observa en el esquema de la figura 5. En el protocolo, este tipo de evaluación se propone como una forma de corroboración del tipo de etiqueta otorgado al puente durante la etapa de la respuesta inmediata a la emergencia, incorporando no solo el daño producido por el sismo, sino que también otros tipos de daños y deficiencias. Esta es información útil para entes como el administrador de la estructura y la Comisión Nacional de Emergencias.

## ASPECTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y MEJORAMIENTO FUTURO

Para el usuario de esta metodología se comentan puntualmente a continuación una serie de aspectos importantes para la correcta implementación del método, y observaciones varias sobre elementos que se podrían incorporar en la actualización de esta guía para su mejoramiento y aceptación:

1) La metodología es sensible a la correcta determinación del GD: el evaluador debe prestar especial atención a su determinación con base en lo observado en sitio. Una ayuda para reducir el riesgo de asignar un GD erróneo es desarrollar o utilizar un catálogo de deterioros para puentes donde se definan claramente los rangos de aplicación de cada valor de GD según se trate de daños que afecten la durabilidad, la función o directamente aspectos de seguridad estructural. La Unidad de Puentes trabaja en el desarrollo de un catálogo de deterioros para puentes.

2) La metodología identifica condición por componente: al calificar por separado grados de daño y condición de los elementos, se provee información útil para realizar un análisis individual de los componentes del puente. Esto es de ayuda para esfuerzos de conservación, rehabilitación e inclusive consideraciones de diseño hacia la prevención del daño; más aún en componentes claves para asegurar la integridad estructural del puente.

3) La metodología no fue desarrollada para la priorización de intervención en puentes: sin embargo, se puede utilizar como punto de partida para identificar los elementos de un puente que requieran atención y tomar acciones basadas en la condición e importancia del puente, ya que permite obtener recomendaciones de intervención basadas en una calificación individual de la estructura.

4) Evaluaciones de un par: para resultados más estables, es recomendable que la evaluación sea revisada por al menos por otro evaluador con el fin de reducir errores por interpretación, omisión o descuidos. Así mismo, se recomienda también fijar inicialmente los valores sugeridos de *RE* con el fin de evitar errores a la hora de introducir este parámetro.

5) Relación con el SAEP: Evaluar en conjunto con los entes públicos de administración de puentes una propuesta de interacción con del sistema SAEP, donde se podrían incorporar los aspectos de una evaluación de la condición como ayuda adicional a la toma de decisiones.

6) Capacitaciones sobre el uso de la metodología: Realizar capacitaciones sobre el uso del método con el fin de reducir la variabilidad de los resultados, procurar dar una calificación adecuada y realista, y asegurarse de que el evaluador comprenda los aspectos evaluados, la filosofía y consideraciones utilizadas en el desarrollo del método.

7) Determinación de un índice de condición: este índice busca realizar comparaciones entre estructuras con un mismo estado de condición tomando en cuenta todos los daños observados. Además, este es independiente de la importancia operacional de la estructura.

## REFERENCIAS

- AASHTO. (2010).** *Bridge Element Inspection Guide Manual*. 1st Edition. American Association of State Highway and Transport Officials, USA.
- AASHTO. (2011).** *The Manual for Bridge Evaluation*. American Association of State Highway and Transport Officials. 2nd Edition, USA.
- BRIME. (2001).** *Bridge Management in Europe, Final Report*. European Project under the coordination of TRL Ltd, UK.
- Casas, J.R. (2007).** *Updated inventory on condition assessment procedures for bridges, Sustainable Bridges Project*. Background document SB3.2. Universidad Politécnica de Cataluña.
- CFIA. (2013).** *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes*. Colegio Federado de Ingenieros de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- COST-345. (2002).** *Procedures Required for Assessing Highway Structures*. European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research "COST", European Commission. United Kingdom.
- Gattulli, V. & Chiaramonte, L. (2005).** "Condition Assessment by Visual Inspection for a Bridge Management System". *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. Vol. 20, pp. 95-107.
- Mayet, J. & Madanat, S. (2002).** "Incorporating of Seismic Considerations in Bridge Management Systems". *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. Vol. 17, pp. 185-193.
- Minchin, R.E. Zayed, T. Boyd, A.J. & Mendoza, M. (2006).** "Best Practices of Bridge System Management – A Synthesis". *Journal of Management in Engineering*, Vol 22, No. 4.
- MOPT. (2007).** *Manual de Inspección de Puentes*. Dirección de Puentes. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.
- NCHRP. (2006).** *Risk-Based Management Guidelines for Scour at Bridges with Unknown Foundations. Report-107*. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Virginia, USA.
- NCHRP. (2007).** *Bridge Inspection Practices. A Synthesis of Highway Practice*. Synthesis 375. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Colorado, USA.
- Rashidi, M & Gibson, P. (2011).** "Proposal of a Methodology for Bridge Condition Assessment". *Australasian Transport Research Forum 2011, Proceedings 28-30*, Adelaide, Australia.
- Song, J & Kang, W. (2008).** "System reliability and sensitivity under statistical dependence by matrix-based system reliability method". *Structural Safety*. Vol. 31, pp. 148-156.
- Tamakoshi, T. & Kobayashi, H. (2006).** "Study of Efficiency Strategies for Road Bridge Maintenance". *22th US-Japan Bridge Engineering Workshop*. Seattle, United States, 23-25.
- Yanev, B. (2007).** *Bridge Management*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.