



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE PUENTES EN COSTA RICA MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

Publicación Especial



PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE
SAN JOSÉ, COSTA RICA / OCTUBRE 2015

Preparado por:



UP

Unidad de
Puentes

GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN DE PUENTES EN COSTA RICA MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

Muñoz-Barrantes Jorge ¹, Agüero-Barrantes Pablo ², Vargas-Barrantes Silvia ³, Villalobos-Vega Esteban ⁴, Vargas-Alas Luis Guillermo⁵, Barrantes-Jiménez Roy ⁶ y Loria-Salazar Guillermo ⁷

¹ Ingeniero Evaluador,

² Ingeniero Evaluador,

³ Ingeniera Evaluadora,

⁴ Ingeniero Evaluador,

⁵ Ingeniero Evaluador,

⁶ Coordinador Unidad de Puentes PITRA LANAMME UCR,

⁷ Coordinador General PITRA LANAMME UCR

Palabras Clave: *Puentes, evaluación, inspección, visual, metodología, deterioros.*

Resumen: La presente guía muestra la propuesta metodológica desarrollada por la Unidad de Puentes del LanammeUCR para la inspección visual de estructuras de puentes existentes. Para la elaboración de esta propuesta se analizaron los procedimientos utilizados en 12 países, en un esfuerzo de elaborar a partir de la experiencia internacional una metodología propia, adaptada a las condiciones del país y a las necesidades de la infraestructura nacional. Esto permite uniformizar los criterios y minimizar la subjetividad en las evaluaciones de puentes. De igual forma, esta metodología permite incorporar parámetros asociados a la vulnerabilidad sísmica, importancia estratégica de cada puente, grado del deterioro, antigüedad y el efecto de otras externalidades tales como el impacto hidráulico-hidrológico entre otros. Uno de los principales retos de esta metodología es definir una escala de calificación a las estructuras de puentes que permita comprender claramente, tanto la condición actual del puente, como su condición relativa, es decir, en comparación con otras estructuras de puentes existentes de la Red Vial Nacional. La presente guía pretende ser un documento de referencia y aplicación práctica para la evaluación de estructuras de puentes en Costa Rica.

Referencias:

1. **AASHTO 2010.** *AASHTO Bridge Element Inspection Guide Manual.* American Association of State Highway and Transport Officials. 1st Edition, USA, 2010.
2. **Bieñ, J. Rawa, P. Jakubowshi, T. Kamiñshi T. 2007.** *Sustainable Bridges Project, Possibilities of Unification of Bridge Condition Evaluation, Sustainable Bridges Project.* Background document SB3.3. WUT, 2007.
3. **BRIME 2001.** *Bridge Management in Europe, Final Report.* European Project under the coordination of TRL Ltd, UK. March 2001.
4. **Casas, J.R. 2007.** *Updated inventory on condition assessment procedures for bridges, Sustainable Bridges Project.* Background document SB3.2. Universidad Politécnica de Cataluña, 2007.
5. **CFIA 2013.** *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes.* Colegio Federado de Ingenieros de Costa Rica, San José, Costa Rica, Marzo 2013
6. **FHWA. 1995.** *Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges.* Department of Transport, Federal Highway Administration. Washington DC, USA.
7. **NCHRP 2014.** *Proposed Guideline for Reliability-Based Bridge Inspection Practices.* Report 782. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.

PREFACIO

Este documento bajo el nombre *Guía para la Determinación de la Condición de Puentes en Costa Rica Mediante Inspección Visual*, presenta el resumen del método utilizado por la Unidad de Puentes del LANAMME-UCR para la determinación de la condición de los puentes en Costa Rica por medio del uso de la técnica de inspección visual. Los resultados del método proporcionan una calificación de la condición general de los puentes a la cual se llegó luego de un análisis previo de varias metodologías ampliamente difundidas a nivel internacional y a la experiencia propia de años de evaluación de estructuras de puentes que posee la Unidad de Puentes del Lanamme-UCR. Con esto, se logra obtener un producto que se ajusta al contexto costarricense en materia de estructuras de puentes.

La propuesta contempla no solo aspectos estructurales enfocados a salvaguardar la integridad del puente, sino también aquellos relacionados con la seguridad de los usuarios, amenazas naturales y las labores de conservación que promueven puentes durables. La calificación de condición de las estructuras de puentes presente en esta guía conlleva además recomendaciones asociadas a la urgencia de atención de la estructura, labores de reparación y mantenimiento, o la necesidad de estudios adicionales.

Además de brindar una calificación global al puente, la metodología desarrollada posibilita el análisis específico para múltiples elementos del puente evaluando individualmente aspectos como su relevancia estructural dentro del sistema del puente, el grado o nivel de la deficiencia observada producto de daños ambientales, de uso o defectos en el puente, y finalmente las posibles consecuencias que la falla del elemento conlleva para los usuarios y en términos económicos para la restitución en servicio del puente. Al identificar por separado los elementos, se provee información útil para realizar un análisis individual 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.

Adicionalmente a los aspectos mencionados anteriormente, en el método se incluye el análisis de aquellos elementos de protección del puente que mitigan el impacto de amenazas naturales poco usuales, como sismos o crecidas de ríos, eventos que han sido causa histórica de graves daños en la infraestructura de puentes en nuestro país.

La metodología desarrollada es aplicable a una amplia gama de tipologías estructurales de puentes. Para realizar esto en estructuras con elementos complejos, como puentes colgantes, atirantados o de construcción segmentada, se deben analizar cuidadosamente los factores de relevancia estructural de cada elemento y determinar el grado de deficiencia basándose en alguna referencia o criterio experto donde se establezcan los tipos de daño más comunes en los elementos complejos que son evaluados.

TABLA DE CONTENIDO

PREFACIO	4
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EVALUACIÓN DE LOS PUENTES EN COSTA RICA	9
1.2 RESUMEN DE LOS MÉTODOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN EN PUENTES MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL	10
1.3 ELEMENTOS DEL PUENTE	15
1.4 ALCANCES	17
2. MÉTODO PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN	18
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA CALIFICACIÓN Y VARIABLES ASOCIADAS	19
2.2 PASOS PARA DETERMINAR LA CALIFICACIÓN	21
3. CASOS DE ESTUDIO	29
3.1 LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA	32
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS	33

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación visual de puentes mediante una descripción de su “estado o condición” es una herramienta básica para la Gestión de Puentes. Su principal objetivo es monitorear la integridad y segura operación de los puentes, alertando de forma temprana sobre deterioros observados. De esta forma se salvaguarda la seguridad de los usuarios del sistema de transporte y se optimizan las inversiones mediante el mejoramiento de las labores de mantenimiento y rehabilitación. Luego de una evaluación visual realizada por inspectores calificados, se pueden identificar deterioros que podrían afectar la capacidad de carga del puente o que constituyen evidencia de que un estado límite de diseño fue excedido, y detectar defectos constructivos o de diseño.

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 percibir en la Unidad de Puentes del LANAMMEUCR (denominada de aquí en adelante como UP) algunas limitaciones en la práctica que ha venido empleando en el país como criterio de evaluación visual. En esta evaluación, si bien se ha partido del grado de daño observado, usualmente no se ha tomado en cuenta por ejemplo aquellos aspectos relacionados con algunas amenazas naturales, la importancia del puente o su edad.

La propuesta planteada en esta guía 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.

La determinación inicial de la condición del puente es el primer paso para decidir si se deben realizar investigaciones más profundas por especialistas que incluyan otros ensayos no destructivos y destructivos, la generación de modelos estructurales, análisis hidrológicos e hidráulicos y estudios geotécnicos. La profundidad y tipo de estas investigaciones depende de la peligrosidad de los daños encontrados, la importancia del puente, la información requerida para el análisis de seguridad estructural o de la existencia de dudas luego de la evaluación visual inicial.

Esta publicación incluye un breve resumen bibliográfico de las técnicas de evaluación visual utilizadas a nivel internacional, el desarrollo y explicación de la metodología, ejemplos prácticos de aplicación y las limitaciones para su uso.

1.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA EVALUACIÓN DE LOS PUENTES EN COSTA RICA

En Costa Rica desde el año 2007 se promueve la implementación del SAEP (Sistema de Administración de Estructuras de Puentes), herramienta que tiene como fin compartir la información técnica, identificar el grado de deterioro y planificar el mantenimiento o la rehabilitación de puentes de forma eficiente (MOPT 2007). El SAEP nació a partir de una iniciativa de la Agencia para la Cooperación Internacional del Japón, JICA, y hasta la fecha no se tiene conocimiento de su implementación para la gestión de puentes en nuestro país.

Si bien el uso del SAEP constituye un avance en la forma en que se gestionaban los puentes en Costa Rica, es importante señalar algunas limitaciones y dificultades de uso identificadas y que vienen a ser solucionadas mediante un análisis específico de la condición para cada puente. Como ejemplo de esto, en la campaña de inspección de puentes que se realiza en la actualidad para alimentar de datos al SAEP se ha observado que si bien los datos se introducen al sistema, esta información también se utilizan directamente para la toma de decisiones, más cuando son requeridas labores prontas de rehabilitación. Este tipo de acción es propia de una evaluación de condición y no el resultado de una priorización previa para la atención de puentes tal como es el caso de lo que se efectúa con el uso del SAEP. Cabe mencionar aquí que la utilidad de un sistema como el SAEP para priorizar inversión es mayor cuando existe un buen

conocimiento del estado de los puentes, situación que no corresponde con la realidad actual de Costa Rica en donde apenas se cuenta con información en detalle de pocas estructuras.

Retomando el punto anterior, una de las limitaciones importantes del SAEP es que si bien reporta al administrador información de inventario y daño, no da explícitamente una calificación que describa la condición de suficiencia estructural del puente. 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 seria o alarmante 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 importancia para evaluar puentes como la seguridad vial y algunas consideraciones propias del diseño sísmico.

Tomando en cuenta estas observaciones, la Unidad de Puentes del LANAMME-UCR desarrollo un método estándar para la determinación de la condición de los puentes para uso en sus informes de fiscalización de puentes en la Red Vial Nacional. Con esto se busca también proporcionar a la administración de información adicional útil que beneficie la gestión de puentes en nuestro país.

1.2 RESUMEN DE LOS MÉTODOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN EN PUENTES MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL

A nivel mundial se pueden encontrar una gran variedad de Sistemas de Gestión de Puentes (Bridge Management Systems BMS). Estos sistemas incluyen herramientas informáticas para 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 estos BMS es la evaluación de la condición estructural del puente y su entorno. La 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 aquí diferenciar entre una evaluación de condición y una evaluación de seguridad estructural. En la evaluación de condición estructural se indica el estado de conservación del puente y se califica según ese estado. Por otro lado, una evaluación de la seguridad estructural constituye en cambio un análisis en donde se parte de la resistencia actual de los componentes del puente y las condiciones actuales de carga. La seguridad se evalúa en términos de factores parciales de seguridad o índices de confiabilidad. 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 del 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 su reparación y definir estrategias 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 dan recomendaciones sobre las medidas de reparación y 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) y se realiza una comparación de los métodos según el número de niveles de calificación (*rating*), el uso de catálogos de daño y de índices que aplican tanto para la evaluación de condición del puente como para su priorización de atención.

En la columna “variables y observaciones” del Cuadro 1 se detallan aquellos aspectos relevantes sobre las consideraciones de cada procedimiento para calificar un puente dentro de alguna categoría. Es importante destacar que para muchos de los procedimientos se analizan múltiples componentes del puente individualmente y luego se pondera su peso para calificar con base en el componente más crítico.

Las metodologías que se presentan en el Cuadro 1 muestran varias diferencias de un país a otro. En algunos 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.

Para los casos de Japón y Taiwán, 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 método utilizado en California y el método propuesto por Hearn (Yanev 2007) están fundamentados en un análisis de la progresión del deterioro en los componentes y los costos de reparación relacionados con las distintas etapas de deterioro. Esto es congruente con criterios utilizados en la metodología de ciclo de vida (*life cycle*), técnica que va ganando relevancia entre los administradores de puentes. Para el caso del *CoRe element method* utilizado por CALTRANS y detallado por la AASTHO (2010), 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 condiciones de carga distintas, principalmente en el caso de 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 de los puentes analizados.

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	5 niveles 5 - 1 1 es 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). Se toma el valor máximo obtenido en el 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 elements 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 100 a 0	5 niveles	-	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 (usa análisis por 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.

También, es de interés analizar cuáles componentes del puente se evalúan en cada metodología. En el Cuadro 2 se detallan los componentes principales que son evaluados para algunas de las metodologías expuestas en el Cuadro 1. El Cuadro 2 fue elaborado en algunos casos filtrando elementos particulares para el análisis de alcantarillas y siguiendo la información proporcionada por AASTHO (2010), Yanev (2007), Casas (2007), Tamakoshi & Kobayashi (2006), FHWA (1995) y el formulario BE11/07 (HA 2007). Además están resaltados aquellos componentes del puente que han sido nombrados en tres o más ocasiones como elementos de valoración explícitos con el fin de observar con facilidad mayor cuales son más frecuentes. En ocasiones, el uso de términos como superestructura o subestructura contempla evidentemente una serie de elementos que, al pertenecer todos al mismo componente, no requieren de un análisis especial por separado.

En el Cuadro 2 se puede observar una amplia gama de elementos que se analizan de forma distinta en cada método. Esto indica que si bien los tipos de puentes que se construyen a nivel mundial siguen características y técnicas constructivas similares, el enfoque específico e importancia que se le da a cada uno de los elementos son distintos, según la experiencia propia de cada país.

Por ejemplo, para países del norte de Europa como Suecia o Dinamarca, donde la cantidad de puentes a evaluar no es grande y las condiciones de mantenimiento son buenas, el enfoque del método profundiza en aspectos y labores de mantenimiento antes que en reparaciones o sustituciones. Por otro lado, el método utilizado por el CALTRANS se enfoca principalmente en la estructura del puente y toma en cuenta por aparte aspectos circundantes como el estado de los rellenos de aproximación, obras de protección de impacto o erosión y drenajes.

Los métodos de Japón, Suecia, Finlandia y Taiwán sugieren 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 (factor de relevancia estructural), que tiene como objetivo dar un mayor peso en el método a aquellos componentes cuya falla pueda incurrir en graves consecuencias desde el punto de vista estructural.

Cuadro 2. Listado de elementos principales evaluados por metodologías

Elemento	Elementos principales evaluados por país									Factor SSE ^Y 1-4
	USV CoRe	DK	GB ^I	JP ¹ 0-1	JP ² 0-1	SE* 1-4	DE	FI* 0-1	TW* 2-8	
Relleno aproximación			X							3
Losa aproximación	X									
Barrera aproximación										2
Subestructura	X			0.2	1.0		X	0.7		
Aletones y muros		X	X			3			5	2
Protección de talud		X				3			3	
+ Bastiones	X		X						6	2
- Cuerpo		X								
- Pedestales		X				4				
- Cimiento	X	X							6	
+ Pilas	X	X	X							4
- Protección pilas									6	
- Cimiento pilas	X								8	
- Columna	X		X							
- Viga cabezal	X						X			4
+ Tablero	X	X		0.6	0.2	4			7	3
- Losa concreto	X		X							
- Placas o rejilla	X		X							
Cimientos general	X		X			4	X			2
Anclajes							X			
Cuerdas y cables	X						X			
Apoyos	X	X	X	0.2	0.8	4	X		5	3
Superestructura	X						X	1.0		
Impermeabilización	X	X	X			1	X			
Elemento 1 ^{er} de carga						4				
Cerchas superiores	X		X							
Placas Gusset	X									
Elemento 2 nd de carga						4				
+ Vigas										4
- Principales	X	X	X	1.0	0.4				8	
- Vigas de piso	X	X		0.2	0.2					
Diafragmas	X	X	X						6	
Arriostres	X	X	X	0.2	0.2					
Refuerzo sísmico									5	
Viga de borde						4		0.2		
Elementos Preesforzados	X						X			
Barreras vehiculares	X	X		1.0 ^I		2		0.4	3	1
Superficie de ruedo	X	X	X			1	X	0.3	3	
Otras obras superficiales								0.5		
Acera y bordillo		X							2	1
Juntas de expansión	X	X	X	0.8 ^I		1		0.2	6	1
Sistema de drenaje		X	X			1	X		4	
Obras de protección			X				X			
Obras canalización									4	
Ductos de servicio			X							
Ubicación puente								0.1		
Otros		X					X	0.2		

*: indica el peso o relevancia asignada al elemento, Y: Structural Significance Factor propuesto por Rashidi & Gibson (2011); I: No incluye información sobre arcos y mampostería; V: No incluye todos los elementos, 1 2: Para Japón se incluyen los componentes analizados para Load Resistance (1) y Resistance to Disaster (2)

1.3 ELEMENTOS DEL PUENTE

Luego de un análisis de los elementos del puente como el realizado mediante el uso del cuadro 2 y observando aquellos de los aspectos del puente en que se busca enfatizar mediante el uso de esta metodología, se presenta en los cuadros 3 y 4 un listado de elementos del puente que se evalúan en este método. También, muchos de los elementos nombrados en los cuadros se muestran en la figura 1. En los cuadros se clasifican los elementos según estos formen parte de la superestructura, subestructura, seguridad vial/accesorio/acceso, o si su función es de protección ante eventos como sismos o crecidas de los cuerpos de agua.

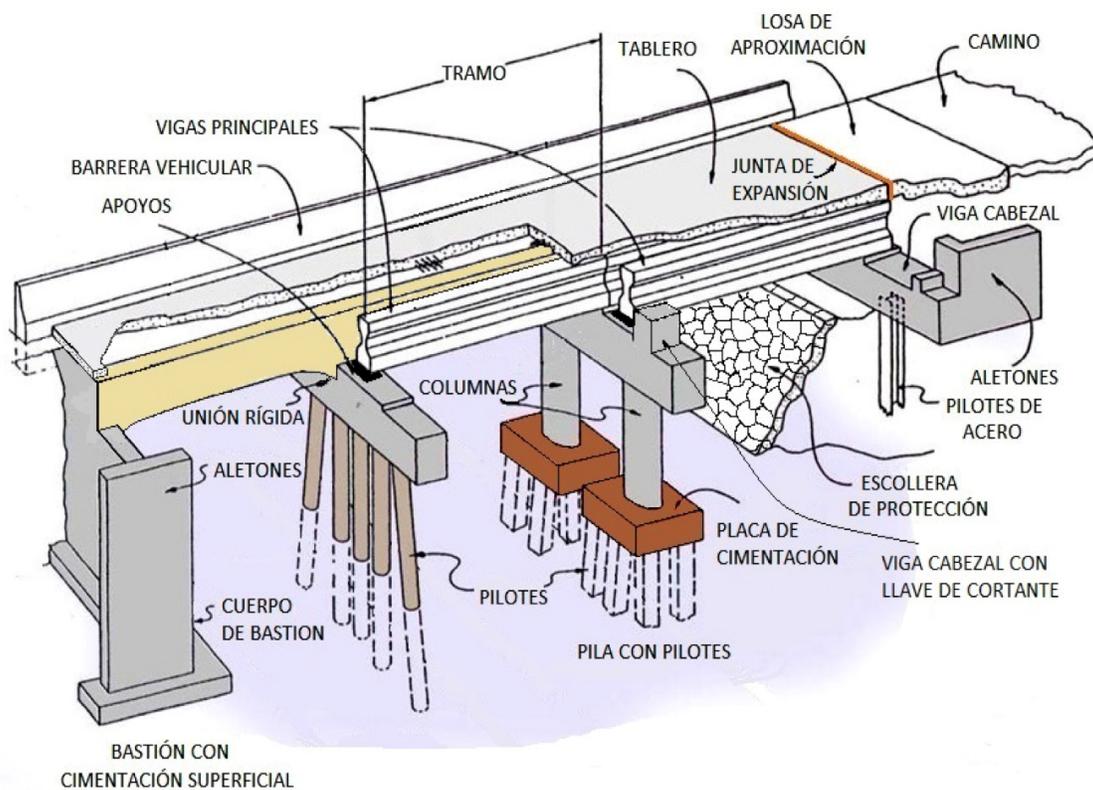
El análisis de los elementos en esta metodología se debe realizar para cada unidad de subestructura y superestructura en concordancia con el Manual de Inspección y Evaluación de Puentes del MOPT (2007) o de acuerdo con la especificación más actualizada y vigente.

Cuadro 3. Listado de componentes de los puentes

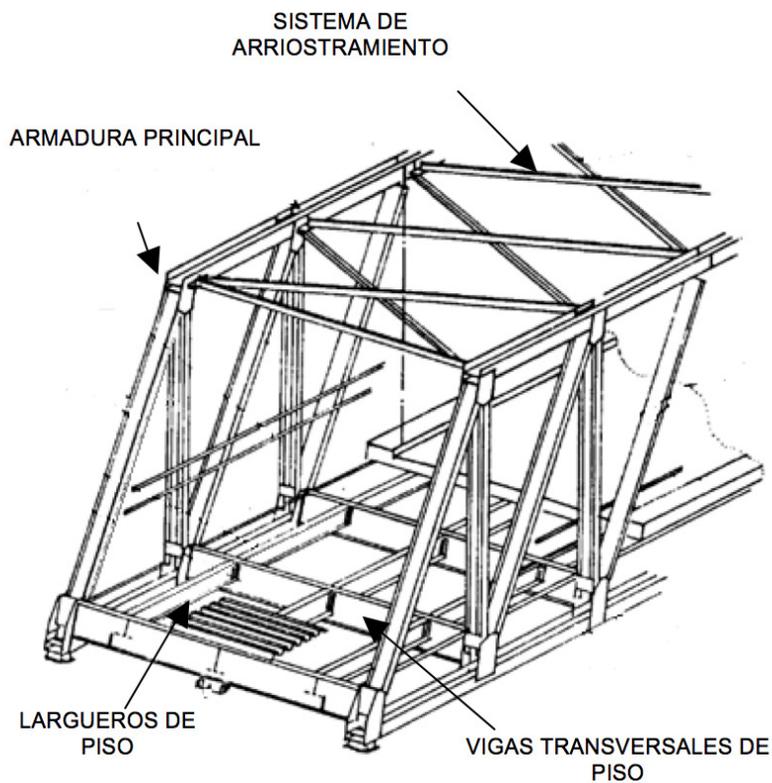
Seguridad Vial, Accesorios y Accesos	Superestructura	Subestructura
<i>Seguridad Vial</i>	<i>Elementos primarios</i>	<i>Apoyos</i>
- Señalización	- Tablero	- Elastomérico
- Iluminación	- Puente con vigas de concreto o acero	- Apoyo Expansivo (rodillo, pin, etc)
- Rotulación altura y carga máxima	- Puente tipo cajón	- Apoyo fijo
- Barreras vehiculares (en puente y en accesos)	- Arcos de mampostería, concreto o acero	
- Aceras	- Unión rígida (puente tipo marco)	<i>Bastiones</i>
	- Estructura de madera	- Cabezal/Pared del cabezal
<i>Accesorios</i>	- Puente tipo cercha	- Cuerpo
- Juntas de Expansión	- Cables, anclajes y torres	- Cimiento
- Sistema de drenaje en Puente	<i>Elementos secundarios</i>	<i>Pilas</i>
- Superficie de ruedo del puente	- Diafragma	- Cimientos
	- Arriostres (superior o inferior)	- Viga cabezal
<i>Accesos</i>	- Vigas transversales y largueros de piso	- Cuerpo: Muro o marco con pantalla, marco y columna
- Relleno de aproximación	- Armadura/viga rigidizadora (colgantes o atirantados)	
- Losa de aproximación		
- Muros de contención		

Cuadro 4. Elementos de protección del puente contra amenazas naturales

Aspectos sísmicos	Aspectos hidráulicos
Cadenas/anclajes/post-tensión externa	Protección de taludes de rellenos
Dispositivos especiales (ej.: aislamiento sísmico)	Escollera de protección del bastión
Pedestales (Longitud de asiento)	Protección de socavación en pilas
Llaves de corte	Llaves de corte



Fuente: http://mac.blog.construim-romania.ro/wp-content/uploads/2015/07/Elemente_Pod.jpg (Modificada por autores)



Fuente: <https://wiryanto.files.wordpress.com/2010/11/austrian.gif> (Modificado por autores)

Figura 1. Esquema de algunos de los componentes de puentes

1.4 ALCANCES

Los criterios para calificar el estado de los puentes que se desarrollan en esta guía son aplicables a evaluaciones visuales y por ende están sujetos a las limitaciones que este tipo de valoración conlleva. Por una evaluación visual se entiende como el reconocimiento de los elementos estructurales y no estructurales accesibles del puente por parte de un ingeniero calificado con el fin de evaluar su estado de deterioro al día de la visita al sitio. El resultado de la calificación de la condición del puente depende de una apropiada inspección visual objetiva en donde obviar daños importantes o sobrevalorar los daños durante la inspección conlleva a calificaciones erróneas, en donde son más sensibles aquellos elementos de mayor importancia estructural del puente.

Como parte del alcance de la evaluación visual se incluye la revisión de los planos de diseño del puente para comprender su sistema estructural. No obstante, no se realizan otros análisis específicos utilizados para evaluar la seguridad estructural tales como realizar una verificación de la capacidad de carga, capacidad hidráulica, o las condiciones portantes de los terrenos adyacentes.

Los criterios de calificación del método propuesto se fundamentan en un análisis integral de los deterioros observados en cada elemento del puente para determinar su condición; esto se basa en el tipo, la severidad y la extensión de los daños en cada elemento y las consecuencias de la falla del elemento sobre el sistema del puente. La caracterización del daño se puede homogenizar mediante un catálogo de daños para puentes. El desarrollo o implementación de dicho catálogo de daños está fuera de los alcances de esta metodología. Sin embargo, este catálogo de deterioro está en desarrollo por parte de la UP.

A partir de la calificación asignada al puente se dan lineamientos generales sobre la urgencia de atención y medidas de mantenimiento, reparación, readecuación o remplazo que se recomiende para un puente específico. Los resultados son útiles para apoyar decisiones administrativas sobre las labores que se requieran realizar para cada puente.

Finalmente, un análisis de la condición brinda parámetros iniciales valiosos para realizar estudios de ciclo de vida, no obstante, este tipo de estudios no son el objetivo prioritario de esta propuesta por lo que no se profundiza en aspectos como estimación de la progresión del daño, tema que requiere el uso de modelos de deterioro y muy posiblemente un análisis de causas del mismo.

2. MÉTODO PARA LA CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN

La metodología que se presenta a continuación para evaluar puentes en la Red Vial Nacional toma en cuenta los muchos aspectos mencionados en las secciones anteriores. El método sintetiza las consideraciones de interés en el contexto costarricense según el análisis realizado de los métodos extranjeros estudiados y la experiencia propia de la UP para obtener 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 2.

En la Figura 2 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 comúnmente 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 (económicas y pérdidas de vidas) y la importancia funcional del puente.

En la metodología se debe determinar la importancia estratégica del puente según las recomendaciones de los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (2013) y se debe investigar o estimar la fecha de construcción de la estructura. Estos dos aspectos son de importancia ya que la magnitud de eventos como sismos o inundaciones varía según la vida útil remanente de la estructura y su importancia describe el nivel de desempeño mínimo requerido.

También, desde el punto de vista del impacto ambiental y el impacto por cargas de tránsito, el deterioro guarda una relación incremental lógica relacionada con el envejecimiento del puente. Para el caso de la importancia del puente, ésta categorización podría indicar también una mayor o menor exposición a fenómenos como la fatiga ya que los puentes de mayor relevancia están sujetos a un mayor número de ciclos de carga por su condición de operación.

La propuesta contempla no solo aspectos estructurales enfocados a salvaguardar la integridad de la estructura, sino también aspectos relacionados con la seguridad de los usuarios (seguridad vial) y labores de conservación que promueven puentes durables. En la metodología se ponderan en conjunto aspectos estructurales con otros ítems mediante la consideración de las consecuencias de falla o funcionamiento inapropiado del componente; por ejemplo un aspecto de seguridad vial grave para los usuarios, como la ausencia de barreras vehiculares en el puente, se califica de forma severa tomando en cuenta el riesgo alto de pérdida de vidas.

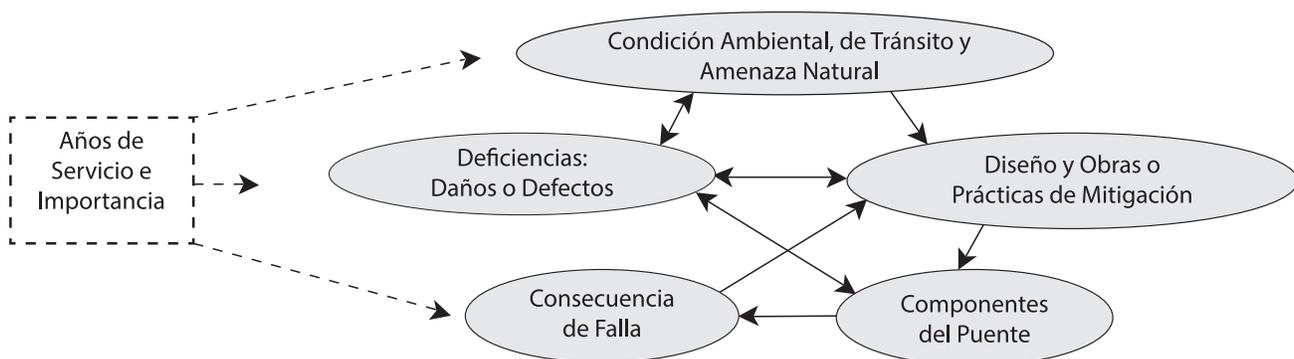


Figura 2. Aspectos involucrados en esta propuesta de calificación de la condición de puentes

Es importante señalar aquí que otras variables que se podrían tomar en cuenta para la calificación del puente y que no se incluyen en este estudio son la idoneidad de las labores de inspección y las prácticas de mantenimiento. 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. La práctica de labores de inspección periódicas ayuda a detectar daños incipientes y propiciar su atención. Las inspecciones periódicas efectivas afectan de forma positiva la condición del puente ayudando a comprender las necesidades de conservación y causas del deterioro.

En esta calificación de condición se incluyen recomendaciones asociadas a la urgencia de atención de la estructura, labores de reparación y mantenimiento, o la necesidad de realizar estudios adicionales. 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. Es preciso profundizar en este aspecto a futuro con el fin de generar una serie de prácticas estandarizadas y codificadas (ej: evaluación en Reino Unido (HA 2007)) vinculadas a un manual de conservación de estructuras de puentes.

A continuación se detallan los niveles de calificación propuestos en este estudio para los puentes costarricenses. Esta calificación se obtiene sintetizando los conceptos mencionados en la Figura 2 a través del uso de una serie de variables. Es importante señalar, previo a la explicación detallada de la calificación, que si bien esta busca brindar información útil a la administración para la toma de decisiones, no está concebida como una herramienta suficiente para la formulación de términos de referencia o carteles de licitación.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA CALIFICACIÓN Y VARIABLES ASOCIADAS

La calificación propuesta consta de 6 niveles como se muestra en el Cuadro 5. Luego del estudio de otras metodologías internacionales como las descritas en el Cuadro 1 y un análisis profundo sustentando en los años de experiencia acumulados en la Unidad de Puentes del LANAMME-UCR, 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 hecho que para todo puente en la Red Vial Nacional se cuenta con programas de mantenimiento rutinario.

Cuadro 5. Niveles de calificación propuestos para puentes en Costa Rica

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 (Debe estar 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	Atención pronta. 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	Atención prioritaria. 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	Situación de puente inestable. Riesgo alto de colapso de la estructura. Daño severo en un elemento crítico o daños severos extendidos sobre varios elementos principales del puente. Daño irreversible que posiblemente requiera el cambio del puente o la sustitución de elementos dañados. Condición de deterioro inaceptable en puentes de importancia muy alta	Atención inmediata. 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

Cabe mencionar que los sistemas de evaluación modernos tienden a reducir los niveles de calificación a 4 o 5 (ej. CoRe element method (FHWA 2005)). Esto ocurre debido a que en países como los Estados Unidos el principal enfoque de la Gestión de Puentes ha evolucionado hacia labores de mantenimiento y conservación. De forma separada, para daños potencialmente peligrosos, algunos estados Estadounidenses utilizan el sistema de banderas, como el utilizado por el New York State DOT (Yanev 2007), donde se etiquetan los puentes según el nivel de riesgo de colapso en Naranja o Rojo, y en donde existen además banderas para valorar condiciones peligrosas de seguridad vial.

Para calificar el puente dentro de alguna de las categorías de condición mostradas en el Cuadro 3, se evalúan una serie de características que se resumen en tres variables, las cuales son:

- **Grado de Daño (GD):** Esta es posiblemente la variable de mayor importancia en la metodología. Ésta 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, condiciones ambientales, defectos constructivos comunes (como insuficiente recubrimiento) o defectos de diseño del puente.
- **Relevancia Estructural (RE):** Relacionado con el nivel de importancia del elemento respecto en el sistema del puente. Aplica a todos los componentes del sistema del puente 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 sismos o eventos hidrológicos, como crecidas o inundaciones. Su valor depende no solo de la función del componente, sino también de las posibles consecuencias de la falla del elemento.
- **Factor de Consecuencia de Falla (FCF):** Esta variable toma en cuenta los efectos de la falla de alguno de los componentes del puente en términos económicos, de pérdida de vidas o lesiones a los usuarios y de la importancia del puente para el funcionamiento adecuado de la carretera a la cual pertenece. El valor de esta variable se determina tomando en cuenta la importancia operacional del puente, la Relevancia Estructural (*RE*) y el tipo de falla probable de los elementos. El uso de parámetros como el *FCF* es consistente con la filosofía de diseño e inspección de estructuras basado en análisis de confiabilidad (*reliability-based*) propuesta por la NCHRP (2014).

2.2 PASOS PARA DETERMINAR LA CALIFICACIÓN

Para determinar la calificación de la condición estructural del puente mediante la inspección visual se propone seguir una serie de seis pasos sencillos con el propósito de uniformizar y estandarizar criterios a la hora de determinar la condición del puente.

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 se determina la importancia operacional (crítico *CR*, esencial *E* y convencional *CO*) y el rango de vida remanente del puente ASL según la clasificación definida en los Lineamientos de Diseño Sismorresistentes de Puentes (2013) para el diseño y rehabilitación sísmica de puentes. Los aspectos relacionados con la importancia y vida residual del puente se detallan en el Cuadro 6. Esta información se puede encontrar disponible en el sitio web del LanammeUCR: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>

Cuadro 6. Calificativos del puente según su importancia operacional y vida residual (LDSP 2013)

Importancia Operativa y Económica del Puente	Vida Remanente del Puente ASL (vida útil entre 50 y 75 años)
Convencionales (<i>CO</i>)	ASL 1 (menor a 15 años)
Esenciales (<i>E</i>)	ASL 2 (15-50 años)
Críticos (<i>CR</i>)	ASL 3 (mayor a 50 años)

2) Componentes del puente y grado de daño *GD*

Con la inspección visual e información de planos se realiza un listado de los componentes del puente basados en la información de los Cuadros 3 y 4. Para cada uno de los tramos de la superestructura y subestructura se catalogan los daños 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. La severidad responde a la ubicación, tipología e intensidad (nivel de progresión) del deterioro en el elemento.

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 comparación con otros inspectores. En el catálogo se buscará incluir deficiencias relativas a defectos constructivos, de diseño y fabricación, daños típicos producto de incidentes no ordinarios como eventos hidrológicos, sísmicos e impacto vehicular, y finalmente deterioros producto del uso y envejecimiento de la estructura como corrosión del acero, carbonatación, agrietamiento, desprendimientos, etc. Las deficiencias a su vez se pueden agrupar según su efecto en la estructura del puente, los cuales se pueden resumir en siete tipos básicos de daño descritos por Bien (2007) en la práctica europea (resumidos en el Cuadro 7). Esta división es útil ya que evidencia, según sea el efecto, la influencia del daño desde el punto de vista estructural.

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 (Ref. CoRE, Hearn). 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 función/operación o la capacidad estructural del puente.

Los daños en componentes no estructurales, es decir que no afectan la capacidad estructural del puente directamente sino que afectan 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.

Un daño estructural se asocia como mínimo con un $GD = 1$ ya que los daños generan afectaciones estructurales evidentes, como destrucción del material o discontinuidad (típicamente asociados a agrietamiento $> 0,3$ mm de espesor), desplazamientos o deformaciones excesivas y pérdida de sección. 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 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 si aún no se derivan consecuencias estructurales evidentes. Los rangos de valores posibles de *GD* según las consecuencias estructurales, funcionales o por durabilidad en la estructura del puente se resumen en el Cuadro 8.

Cuadro 7. Daños y defectos típicos en puentes definidos por la Bieñ (2007) en la práctica europea

Tipo de Efecto (Daño)	Descripción
Deformación	Cambio geométrico incompatible con el diseño o condiciones de servicio, ej.: deflexión, torsión, dilatación o vibración.
Destrucción del Material	Cambio desfavorable de las características físicas o químicas del material como una reducción de la resistencia, pérdida de tenacidad por endurecimiento (fragilidad) e incremento de la permeabilidad.
Discontinuidad del Material	Corte en la continuidad del material incompatible con el diseño, ej.: grietas, fracturas, delaminación, etc.
Perdida de Sección	Deterioro que produce la pérdida de sección transversal del elemento
Daños en Protección	Pérdida o mal funcionamiento de la protección, ej.: pérdida/insuficiencia del recubrimiento, reflexividad en pinturas, desprendimiento de pintura, etc.
Desplazamiento/Rotación	Cambio permanente de la ubicación del componente no asociado a una deformación.
Contaminación	Impurezas o contaminantes no deseados como vegetación, sales, aceites, etc.

Cuadro 8. Rango de posibles valores de GD según las consecuencias estructurales, funcionales o de durabilidad en la estructura del puente.

Consecuencia del daño	GD			
	0	1	2	3
Durabilidad				
Funcional				
Estructural				

3) Asignación de la relevancia estructural *RE*

La Relevancia Estructural *RE* es una variable que incorpora la importancia de un componente o elemento según su función en el sistema global del puente. Sopesa no solo el aspecto estructural sino también aspectos de seguridad vial, durabilidad, protección del entorno y accesibilidad, como se puede observar en el Cuadro 9. 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 2 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 son sujetos a una evaluación especial en este método. Tomando en cuenta que la frecuencia y la magnitud de estos eventos varía en el tiempo, evaluar un puente antiguo, pronto a cumplir su vida útil, como si fuera nuevo no es correcto. Los requisitos de desempeño son distintos en cada caso, por lo tanto para estos elementos se incluye además la variable de importancia. La designación del *RE* en estos casos se obtiene mediante el uso del Cuadro 10.

En el Cuadro 10 se introducen primero parámetros de ocurrencia. Para sismo se utiliza el concepto de periodo de retorno, aplicado en la práctica común de diseño de estructuras sismorresistentes. En el caso de eventos hidrológicos, se utiliza la frecuencia de *overtopping*. El *overtopping* se da cuando el agua sobrepasa 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 para 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.

Cuadro 9. Relevancia Estructural (RE) recomendados para los componentes del puente

<i>RE = 1</i>	<i>RE = 2</i>	<i>RE = 3</i>	<i>RE = 4</i>
Juntas de Expansión*	+Superestructura: - Diafragma ^t - Arriostres (superior o inferior)	Tablero +Superestructura: - Puente con 4 o más vigas de concreto o acero - Puente tipo cajón - Vigas transversales y largueros de piso - Armadura/viga rigidizadora (colgantes o atirantados) - Cuerpo de arco mampostería	+Superestructura: - Estructura de madera - Puente con 3 o menos vigas de concreto o acero - Puente tipo cercha - Arco de concreto o acero
+Seguridad Vial*: - Señalización - Iluminación - Rotulación de altura y carga máxima	+Seguridad Vial*: - Barreras vehiculares (en puente) - Aceras	+Pila: - Cuerpo Muro o marco con pantalla - Viga cabezal	+Pila: - Columna - Cuerpo tipo marco - Cimientos
+Accesos*: - Barrera vehicular	+Accesos*: - Relleno de aproximación - Losa de aproximación - Muros de contención	+Bastión: - Cabezal/Backwall - Cuerpo - Cimiento	Cables, anclajes y torres (puentes colgantes y atirantados)
Superficie de ruedo*	Aletones y muros	Unión rígida (puente tipo marco)	-
+Protección Durabilidad - Sistema de drenaje* - Pintura estructura	+Rehabilitación: - Refuerzo con fibras - Refuerzo/adición de vigas - Postensión externa - Recalce o pilas adicionales	+Apoyos: - Elastomérico - Apoyo Expansivo (rodillo, pin, etc) - Apoyo fijo	-

*Componentes no estructurales del puente cuyos daños afectan su operación

^t En puentes con curvas o sesgos pronunciados los diafragmas podrían calificarse como RE = 3

El Cuadro 4 presenta los elementos típicos en puentes para la protección contra inundaciones y sismo. La consideración de los elementos del Cuadro 4 debe ser definida por el inspector con ayuda del Cuadro 10 ya que, por ejemplo, en ocasiones las escolleras podrían no ser necesarias en sitios montañosos o, en caso de los elementos sísmicos, no todos los componentes detallados en el cuadro son aplicables para el puente. Los grados de daño *GD* en estos elementos podrían ser evaluados mediante el uso del catálogo de daños. La longitud de asiento se puede determinar mediante el uso de las ecuaciones provistas por la FHWA (2006) ó AASHTO LFRD (2014).

La Relevancia Estructural *RE* para elementos de protección sísmica e hidrológica se define en el Cuadro 10 de la siguiente manera: primero se determina cuáles elementos aplican para el puente (inclusive cuando estos no existan) y la frecuencia de overtopping (Cuadro 10). Seguidamente se busca la importancia operacional del puente (Crítico *CR*, Esencial *E* ó Convencional *CO*) y la vida de servicio remanente (ASL 1, ASL 2 o ASL 3). Cuando se han definido estos parámetros se busca la casilla correspondiente con la frecuencia, la importancia y la ASL y se encuentra en la columna de la izquierda la relevancia estructural *RE* asignada para esas condiciones. Para la amenaza por sismo no es necesario encontrar el período de retorno dado a que este trabajo ya se realizó en la elaboración del Cuadro 10.

4) Tipo de falla y grado de consecuencia de falla *FCF*

Una vez identificados los elementos y asignados los valores de *RE* y *GD*, es 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 sobre el puente (según lo descrito en el Cuadro 11) y la forma en que se esperaría ocurra la falla del puente como sistema, debido a los daños en el elemento (como se denota en el Cuadro 12). Este tipo de análisis es propio del diseño y evaluación de estructuras por factores de confiabilidad (consultar Schneider (1997)).

Cuadro 10. Determinación de RE para elementos de protección sísmica e hidráulica según la frecuencia de amenaza, la vida remanente y la importancia operacional

RE	Amenaza hidrológica Frecuencia de amenaza natural "Overtopping"				Amenaza por sismo Periodo de retorno (PR) de amenaza natural		
	Frecuente (F)	Ocasional (O)	Una vez en la vida (V)	Remota (R)	Ocasional (O)	Una vez en la vida (V)	Remota (R)
	< 3 años	≈ 10 años	≈ 50 años	≈ 100 años	PR = 500 años	PR = 1000 años	PR = 2500 años
1	CO: ASL 1 y 2	E: ASL 1 CO: ASL 1 y 2	CR: ASL 1 E: ASL 2 CO: ASL 3	CR: ASL 3	E: ASL 1 CO: ASL 2		
2	CR: ASL 1 y 2 E: ASL 1, 2 y 3 CO: ASL 3	CR: ASL 1, 2 y 3 E: ASL 2 y 3 CO: ASL 3	CR: ASL 2 y 3 E: ASL 3			CR: ASL 1 y 2 E: ASL 2 y 3 CO: ASL 3	
3	CR: ASL 3						CR: ASL 3

Según Lineamientos para diseño sismorresistente de puentes 2013 :

- 1) Importancia operacional: CR= Crítico / E= Esencial / CO= Convencional
- 2) Vida de servicio remanente: ASL1 (Menor a 15 años) / ASL2 (Entre 15 años y 50 años) / ASL3 (Mayor que 50 años)

Características particulares de falla están asociadas a distintos tipos de estructuras de puentes; por ejemplo, la estructuración de los puentes de dos cerchas de acero es no redundante ya que ante la falla de una de las cerchas es muy posible que colapse todo el puente. Diverso es el caso de puentes con 4 o más vigas en donde la falla de un elemento difícilmente conlleva el colapso total del sistema. Para los componentes del Cuadro 10, los valores de FCF son constantes, iguales a 1.

En el Cuadro 12 se introduce un nuevo nivel de importancia denominado $CR+$, específicamente ideado para los puentes de la red vial nacional de importancia estratégica con importancia económica crítica y cuyo colapso presenta un alto riesgo de pérdida de vidas humanas debido a su alta ocupación ($TPD > 50\,000$). Para este caso, se pondera con un factor FCF de 1,25 únicamente para aquellos componentes del puente que además de tener un grado de Relevancia Estructural de $RE = 4$ también podrían presentar un tipo de falla no redundante. 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. Es recomendable mantener para estos puentes prácticas de conservación adecuadas y un plan de monitoreo continuo.

Cuadro 11. Definición de niveles de consecuencias de falla.

Consecuencia	Descripción
Nivel 1: BAJA	Consecuencias leves sin riesgo de pérdida de vidas o lesiones, molestias a usuarios, servicio puede ser afectado en periodos cortos.
Nivel 2: MODERADA	Consecuencias moderadas. Riesgo leve de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica considerable.
Nivel 3: ALTA	Consecuencias altas. Riesgo moderado de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica alta.
Nivel 4: SEVERA	Consecuencias muy altas. Riesgo alto de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica muy alta.

Cuadro 12. Relación entre la Relevancia Estructural RE, tipos de falla y niveles de consecuencias

Tipo de falla probable del puente como sistema	Consecuencias según tipo de Falla							
	Nivel 1 FCF=0,6		Nivel 2 FCF=0,8			Nivel 3 FCF=1,0		Nivel 4 FCF=1,25
	Todos	CO	E	CR	E	CR	CR +	CR +
A: Servicio	RE=1	-	-	-	-	-	-	-
B: Falla elemento secundario o de entorno	-	RE=2	RE=2	RE=2	-	-	RE=2	-
C: Redundante: Falla de elemento no causaría colapso del puente	-	RE=3 o 4	RE=3	-	RE=4	RE=3 o 4	RE=3 o 4	-
D: No redundante: Falla de elemento causaría colapso del puente	-	RE=3 o 4	RE=3	-	RE=4	RE=3 o 4	RE=3	RE=4

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 3 y 4. El valor de CE , que se encuentra en el rango de 1 a 6 y se determina mediante el uso de la Ecuación 1 y redondeando al valor entero más próximo.

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

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 corresponde a un simple arreglo en la escala de 1 a 6 de la suma de efectos $RE + GD$, el cual presenta un buen ajuste a los resultados esperados para el puente según el criterio experto 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 es importante recalcar de nuevo la importancia del cálculo de un adecuado valor de GD . En particular, el grado $GD = 3$ corresponde específicamente a un estado en que el deterioro tiene implicaciones serias en el elemento o que inclusive ya ha fallado (por ejemplo el desprendimiento de arriostres en cercha).

En el Cuadro 13a y Cuadro 13b se resumen todas las posibles permutaciones resultantes del uso de la Ecuación 1. Allí se observa con mayor claridad que los valores de FCF se aplican de forma distinta y no para todos los valores de RE . En los cuadros se evidencia de forma clara que la calificación aumenta con el incremento tanto del daño como de los valores de relevancia estructural. Por facilidad,

Cuadro 13a. Calificación por componente CEi según los valores de FCF, RE Y GD

FCF	RE	GD			
		0	1	2	3
0,6	1	1	1	2	3
	2	1	2	3	4
0,8	3	1	2	3	4
	4	1	3	4	5
1	2	1	2	3	4
	3	1	3	4	5
1,25	4	1	4	5	6
	4	1	5	6	6

Cuadro 13b. Calificación por componente CEi según los valores de REY GD. FCF = 1

RE	GD			
	0	1	2	3
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	1	3	4	5
4	1	4	5	6

se puede utilizar conservadoramente un valor de FCF igual a 1 para todos los puentes menos los $CR+$; los resultados se muestran para este caso específico en el Cuadro 13b.

6) Clasificación global del puente 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, por lo menos para el caso de falla total, el sistema global 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, ya que estas 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 detalla en Song y Kang (2009).

Con un valor asignado de CP , se obtiene finalmente la condición del puente a utilizar en el Cuadro 5 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.

La secuencia de la metodología propuesta, con los pasos del 1 al 6, se resume esquemáticamente en la Figura 3.

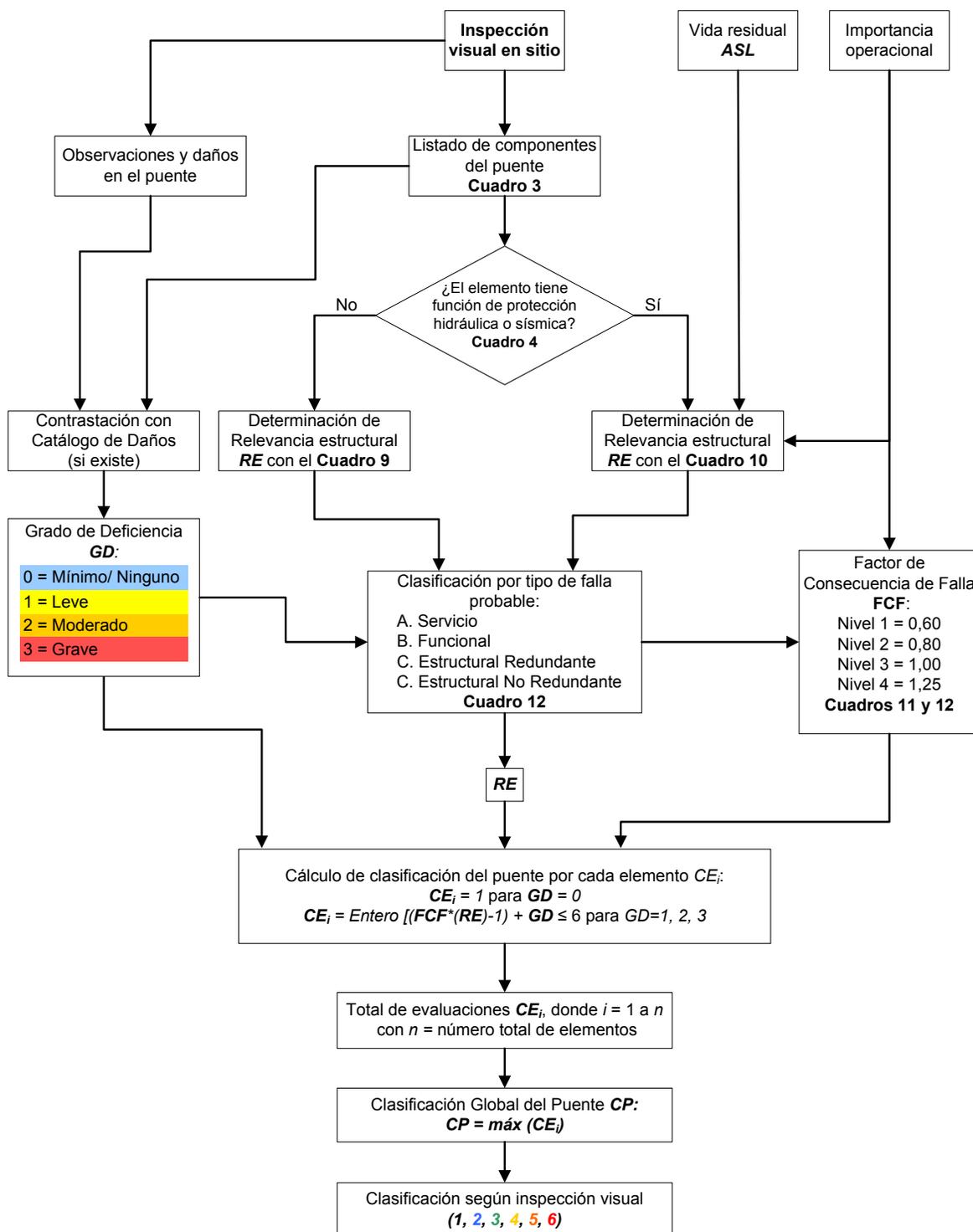


Figura 3. Esquema de la metodología propuesta de evaluación de condición de puentes en Costa Rica

3. CASOS DE ESTUDIO

Una vez definida la metodología de evaluación conviene realizar ejemplos de aplicación a distintos casos de estudio. Como casos de estudio se eligieron dos puentes que fueron inspeccionados visualmente en el pasado por parte de la Unidad de Puentes del LanammeUCR. Para cada puente evaluado existe un informe de inspección visual donde se pueden consultar los detalles de las observaciones realizadas en el momento de la inspección y los deterioros registrados en los elementos. En el Cuadro 14 se muestran los informes relacionados con los puentes elegidos.

El puente sobre el Río Conte en la Ruta Nacional No. 245 tiene 52,0 m de largo y 10,0 m de ancho. Posee dos superestructuras con losa de concreto reforzado como tablero sobre 5 vigas tipo I de concreto preesforzado con acero post-tensado. La subestructura está compuesta de dos bastiones tipo marco de concreto reforzado y una pila de columna sencilla y cabeza de martillo de concreto reforzado. Fue diseñado en el año 2006 con la Especificación AASHTO Standard 17th Edition 2002 y construido en 2011.

El puente sobre el Río Toro en la Ruta Nacional No. 32 tiene 26,7 m de largo y 10,4 m de ancho. Posee una superestructura con losa de concreto reforzado como tablero sobre 4 vigas tipo I de acero. La subestructura está compuesta de dos bastiones tipo cabezal de concreto reforzado sobre pilotes de concreto reforzado. Fue diseñado en el año 1968 con la Especificación AASHTO Standard 9th Edition 1965 y construido en 1974.

En las figuras 4 y 5 se pueden encontrar imágenes que contienen la evaluación de los puentes utilizados como ejemplos de aplicación siguiendo la metodología desarrollada en la sección 2 de esta guía. Se muestra además una columna con un resumen de los deterioros observados el día de la inspección y que están registrados en el informe respectivo, los cuales permiten justificar el valor de *GD* utilizado por el inspector.

Partiendo de un análisis breve de los resultados mostrados en las figuras 4 y 5 se pueden obtener las siguientes observaciones:

- La metodología es sensible a la determinación del grado de deterioro *GD*. El evaluador debe prestar especial atención a la determinación de esta variable con base en lo observado en sitio. Una ayuda para reducir el riesgo de asignar un *GD* erróneo es desarrollar un catálogo de deterioros en puentes donde se definan claramente los rangos de aplicación de cada valor de *GD*.
- A partir de la metodología se pueden determinar los elementos con mayores daños en el puente, independientemente del resultado final asignado. Lo anterior puede servir como evaluación preliminar para tomar decisiones de intervención en los elementos que presentaron daños más significativos.
- La metodología podría cubrir una amplia variedad de tipos de puentes. En puentes con elementos complejos (como puentes colgantes, atirantados o de construcción segmentada) se debe evaluar detalladamente el valor de la Relevancia Estructural *RE* para cada componente del puente, determinar cuidadosamente los grados de daño aplicables y definir los tipos de falla y los niveles de consecuencia aplicables según lo definido en la sección 2 de esta guía.

Cuadro 11. Definición de niveles de consecuencias de falla.

Nº	Puente	Nº de Informe
1	Puente sobre el Río Conte - Ruta Nacional No. 245	LM-PI-UP-PN19-2014
2	Puente sobre el Río Toro - Ruta Nacional No. 32	LM-PI-UP-PN08-2015

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PUENTE SEGÚN LA EVALUACIÓN VISUAL

Nombre del puente	Puente Río Conte - RN 245	Importancia Operacional (LDSP 2013)	Esencial	Código importancia	E
Fecha Evaluación	08/10/2014	TPD (veh/día)	1400	Edad (años)	3
Año de construcción o diseño	2011	Vida de diseño según código (años)	50	Vida de servicio remanente (LDSP 2013)	47 ASL 2

	ELEMENTO	RE	GD	DESCRIPCIÓN DE DAÑOS	TIPO DE FALLA	FCF	CE _i
SEGURIDAD VIAL	Barrera vehicular (puente)	2	1	Agrietamiento de barrera y cambio en barrera incluida en el diseño	B	0,8	2
	Barrera vehicular (accesos)	1	2	Guardavías no ligado a barrera	A	0,6	2
	Aceras	1	2	No cumplen con ancho requerido y aparentemente si existe tránsito peatonal	A	0,6	2
	Señalización Vial	1	1	Demarcación en estado regular, con obstrucciones	A	0,6	1
	Rotulación Carga / Altura Máxima	No Aplica		No se observó rotulación ni aparenta ser requerida			
	Iluminación	1	1	Anclaje a la barrera aparentemente inadecuado. Iluminación no indicada en planos	A	0,6	1
ACCESORIOS	Superficie de rodamiento (puente)	1	0	No se observaron daños	A	0,6	1
	Sistema de drenaje del puente	1	1	Obstruido con escombros y longitud insuficiente, lo cual, está afectando las vigas	A	0,6	1
	Juntas de expansión	1	2	Acumulación de sedimentos. Deterioro de sellos e ingreso de agua	A	0,6	2
ACCESOS	Superficie de rodamiento (acceso)	1	1	Grieta transversal en acceso 2	A	0,6	1
	Relleno de aproximación	2	0	No se observaron daños	B	0,8	1
	Losa de aproximación	No insp.		No se tuvo acceso visual			
	Muros de contención en accesos	No Aplica		No se observaron muros en los accesos			
SUPERESTRUCTURA TIPO VIGAS	Tablero	3	0	Grietas aisladas en la cara inferior del tablero	C	0,8	1
	Vigas principales de concreto o acero	3	0	No se observaron daños	C	0,8	1
	Vigas diafragma de concreto o acero	2	0	Nidos de piedra superficiales	B	0,8	1
	Sistema de arriostamiento de acero	No Aplica		El puente no posee estos elementos			
SUBESTRUCTURA	Apoyos	3	1	Obstrucciones con escombros. Grietas en neopreno aparentemente superficiales	B	0,8	2
	Aletones	2	0	No se observaron daños	B	0,8	1
	Bastiones: Viga cabezal	3	0	No se observaron daños	C	0,8	1
	Bastiones: Cuerpo	3	0	No se observaron daños	C	0,8	1
	Bastiones: Cimentación	No Insp.		No se tuvo acceso visual			
	Pilas: Viga cabezal	4	0	No se observaron daños	C	1	1
	Pilas: Cuerpo tipo columna	4	0	No se observaron daños	C	1	1
	Pilas: Cuerpo tipo marco	4	0	No se observaron daños	C	1	1
	Pilas: Cuerpo tipo muro o marco con pant...	4	0	No se observaron daños	C	1	1
	Pila: Cimentación	No Insp.		No se tuvo acceso visual			
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	Longitud de asiento (pedestales)	2	0	La longitud de asiento actual es mayor que la requerida	C	1	1
	Llaves de corte	2	0	No se observaron daños	C	1	1
	Cadenas / anclajes / postensión externa	No Aplica		El puente no posee estos elementos			
	Dispositivos especiales	No Aplica		El puente no posee estos elementos			
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA	Protección de taludes de rellenos	2	0	No se observaron daños	C	1	1
	Escollera de protección	2	0	No se observaron daños	C	1	1
	Protección de socavación en pilas	No Aplica		No se observaron obras de protección ni aparentan requerirse			

CP =	2
	Condición Regular

Figura 4. Evaluación del puente sobre el Río Conte en la Ruta Nacional No.245 con base en el informe LM-PI-UP-PN19-2014 aplicada por inspector 1

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PUENTE SEGÚN LA EVALUACIÓN VISUAL

Nombre del puente	Puente Río Toro - RN 32	Importancia Operacional (LDSP 2013)	Crítico	Código importancia	CR
Fecha Evaluación	11/11/2014	TPD (veh/día)	8135	Edad (años)	40
Año de construcción o diseño	1974	Vida de diseño según código (años)	50	Vida de servicio remanente (LDSP 2013)	10 ASL 1

	ELEMENTO	RE	GD	DESCRIPCIÓN DE DAÑOS	TIPO DE FALLA	FCF	CE _i
SEGURIDAD VIAL	Barrera vehicular (puente)	2	1	Desplazamiento lateral de barrera 4 cm	B	0,8	2
	Barrera vehicular (accesos)	1	3	Ausente	A	0,6	3
	Aceras	1	2	Muy angostas, se observan peatones en la vía	A	0,6	2
	Señalización Vial	1	2	Borrosa y con escombros obstruyendo. Barreras sin pintar	A	0,6	2
	Rotulación Carga / Altura Máxima	No Aplica		No se observó rotulación ni aparenta ser requerida			
	Iluminación	No Aplica		No se observó iluminación, ni aparenta ser requerida			
ACCESORIOS	Superficie de rodamiento (puente)	1	0	La superficie de rodamiento es la cara superior de la losa	A	0,6	1
	Sistema de drenaje del puente	1	1	Obstruido con escombros y longitud insuficiente, lo cual, está afectando las vigas	A	0,6	1
	Juntas de expansión	1	3	Obstruidas, faltante de sello, permiten ingreso de agua. Daños en sello y abertura de hasta 9 cm	A	0,6	3
ACCESOS	Superficie de rodamiento (acceso)	1	1	Exudación y deformaciones	A	0,6	1
	Relleno de aproximación	2	3	Asentamiento visible en la superficie. Socavación	B	0,8	4
	Losa de aproximación	No Insp.		No se tuvo acceso visual			
	Muros de contención en accesos	No Aplica		No se observaron muros de retención			
SUPERESTRUCTURA TIPO VIGAS	Tablero	3	1	Agrietamiento en 2 direcciones, ancho > 0.2 mm espaciadas a menos de 50 cm	C	1	3
	Vigas principales de concreto o acero	3	1	Corrosión en los extremos, pintura desprendida	C	1	3
	Vigas diafragma de concreto o acero	No Aplica		El puente no posee vigas diafragma	B	0,8	
	Sistema de arriostamiento de acero	2	2	Corrosión con algunos puntos con pérdida de sección			3
SUBESTRUCTURA	Apoyos	3	2	Presión no uniforme en almohadillas, desplazamientos mayores que 5 cm pero sin pérdida de contacto, pernos deformados, concreto de pedestales desprendido, corrosión con pérdida de sección de placas y pernos	B	1	4
	Aletones	2	2	Socavación pero estructuralmente bien	B	0,8	3
	Bastiones: Viga cabezal	3	2	Rotación mayor a 4° debido a sismo	C	1	4
	Bastiones: Cuerpo	3	2	Rotación mayor a 4° debido a sismo	C	1	4
	Bastiones: Cimentación	3	3	Socavación de todas las filas de pilotes, cabezal de pilotes agrietado y con desprendimientos, pilotes agrietados	C	1	5
	Pilas: Viga cabezal	No Aplica		El puente no posee pilas			
	Pilas: Cuerpo tipo columna	No Aplica		El puente no posee pilas			
	Pilas: Cuerpo tipo marco	No Aplica		El puente no posee pilas			
	Pilas: Cuerpo tipo muro o marco con pant...	No Aplica		El puente no posee pilas			
	Pila: Cimentación	No Aplica		El puente no posee pilas			
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	Longitud de asiento (pedestales)	2	0	La longitud de asiento actual es mayor que la requerida	C	1	1
	Llaves de corte	2	3	No existe ni transversal ni longitudinalmente	C	1	4
	Cadenas / andajes / postensión externa	No Aplica		El puente no posee este elemento			
	Dispositivos especiales	No Aplica		El puente no posee este elemento			
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA	Protección de taludes de rellenos	2	2	Sin protección colapso parcial de talud. Pero no se ha afectado el tránsito	C	1	3
	Escollera de protección	2	3	No se construyó escollera aún cuando las crecientes del río son comunes en la zona	C	1	4
	Protección de socavación en pilas	No Aplica		El puente no posee pilas			

CP =	5
	Alamante

Figura 5. Evaluación del puente sobre el Río Toro en la Ruta Nacional No.32 con base en el informe LM-PI-UP-PN08-2015 aplicada por inspector 1

3.1 LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA

El método de evaluación visual no se puede desvincular enteramente del criterio del evaluador. La ponderación de aspectos descrita mediante el conjunto de variables propuesto es un recurso para aumentar la objetividad, sin embargo, puede ser necesario que el evaluador recurra al criterio experto propio o de otro evaluador con más experiencia en deterioro de elementos de puentes para determinar con certeza el grado de deterioro. La variabilidad a la hora del cálculo del grado de daño se puede disminuir mediante el uso de un catálogo de deterioros que proporcione una guía en la detección y calificación de daños.

Por otra parte, es importante reforzar la idea de que las calificaciones globales del puente no son lo mismo que una evaluación de la capacidad de carga o un análisis de seguridad estructural. Tal y como se indicó en el alcance, el resultado de la condición puede tomarse como insumo para realizar investigaciones para determinar aspectos como la seguridad estructural del puente evaluando la capacidad de carga viva y otras condiciones de carga.

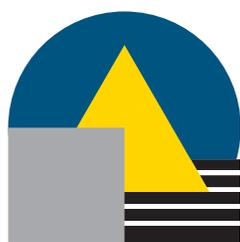
Además es importante recordar en este punto que si bien este método da recomendaciones sobre acciones de atención de puentes como las descritas en la tabla 4 y figura 4, esto no significa que se provee con un método de priorización de atención de puentes o que este procedimiento sugerido deba ser seguido estrictamente ya que las circunstancias que envuelven a las estructuras de puentes son muy variables.

Finalmente también hay que mencionar que si bien se realiza una estimación de la condición tomando en cuenta algunas consideraciones sísmicas e hidráulicas, esto no significa que se esté realizando una evaluación rigurosa de riesgo para estas amenazas naturales. Sin embargo, las deficiencias generales encontradas en estos aspectos para el puente podrían justificar la necesidad de profundizar en este tipo de estudios para la estructura, más aún cuando se estén analizando puentes con importancia crítica, diseñados con normas sismorresistentes obsoletas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **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.
- **Bieñ, J. Rawa, P. Jakubowshi, T. Kamiñshi T. (2007).** *Sustainable Bridges Project, Possibilities of Unification of Bridge Condition Evaluation, Sustainable Bridges Project.* Background document SB3.3. WUT, 2007.
- **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. Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), 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.
- **FHWA. (1995).** *Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges.* Department of Transport, Federal Highway Administration. Washington DC, USA.
- **FHWA. (2006).** *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1 Bridges.* U.S. Department of Transport, Federal Highway Administration. Virginia, USA.
- **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.
- **HA. (2007).** *Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 3 Highway Structures: Inspection and Maintenance Inspection, Part 4: Formulary BE11/07.* The Highways Agency, United Kingdom.
- **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.
- **NCHRP. (2014).** *Proposed Guideline for Reliability-Based Bridge Inspection Practices.* Report 782. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington D.C., USA.
- **Rashidi, M & Gibson, P. (2011).** "Proposal of a Methodology for Bridge Condition Assessment". *Australasian Transport Research Forum 2011, Proceedings 28-30,* Adelaide, Australia.
- **Schneider, J. (1997).** *Introduction to Safety and Reliability of Structures.* International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), Zürich, Switzerland.
- **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.





LanammeUCR

**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

C.P. 11501-2060, San José, Costa Rica

Tel.: (506) 2511-2500 • Fax: (506) 2511-4440

E-mail: direccion.lanamme@ucr.ac.cr • Web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>