



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

PROGRAMA DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL

No. Informe: LM-PIE-UP-I01-2017

PROTOCOLO PARA INSPECCIÓN DE PUENTES DESPUÉS DE SISMO

Preparado por:
Unidad de Puentes
LanammeUCR

San José, Costa Rica
Julio, 2017



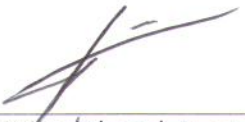
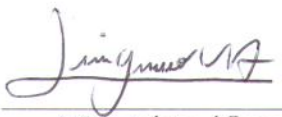
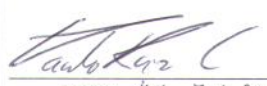
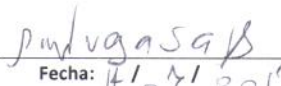

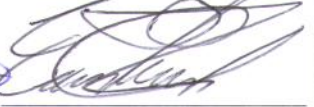
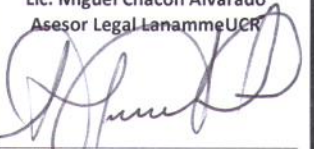
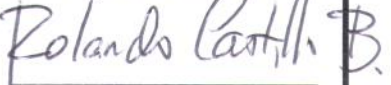
UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco

Información técnica del documento

1. Informe: LM-PIE-UP-I01-2017		2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE PUENTES DESPUÉS DE SISMO		4. Fecha del Informe Julio, 2017	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440			
8. Notas complementarias Ninguna			
9. Resumen <i>A lo largo de este documento se discuten aspectos relativos a la inspección post-sismo, protocolos de emergencia, riesgo sísmico y caracterización del daño estructural producido por sismos para estructuras de puentes. Se presentan resultados con orientación práctica como los cálculos cualitativos del riesgo sísmico en la red vial nacional primaria, el inventario de puentes de la red vial nacional de Costa Rica, formularios de inspección de puentes luego de sismo, herramientas para la evaluación de la condición de puentes por medio de inspección visual, simulaciones de escenario de daño, levantamiento de información de daño para el sismo de Sámara del 2012, y esquemas de atención de la emergencia en puentes para la respuesta inmediata, en el corto y mediano plazo.</i> <i>Los contenidos prácticos y teóricos incluidos en este trabajo son de ayuda para las instituciones encargadas de la gestión de infraestructura de puentes en nuestro país y para organizaciones encargadas e involucradas en la atención de emergencias luego de un sismo. Además, podrían ser utilizados como una base para estudios futuros que profundicen en algunos de los aspectos mencionados en este trabajo o como referencia de un procedimiento genérico modificable para evaluar otros tipos de estructuras civiles.</i> <i>En cooperación con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica, LIS, se implementa en su sitio web el cálculo automático del procedimiento descrito como SERIS-P (Sistema de Estimación Rápida de Impacto por Sismo - Puentes), procedimiento que forma parte del protocolo de atención de emergencia en puentes descrito en este documento.</i>			
10. Palabras clave Puentes, Protocolo, Inspección, Sismo, Curvas de Fragilidad, Estimación de Daño, Redes de Acelerógrafos		11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Número de páginas: 260
13. Preparado por:			
Ing. Jorge Muñoz Barrantes, Ph.D Unidad de Puentes  Fecha: 14/07/2017	Ing. Luis G. Vargas Alas Unidad de Puentes  Fecha: 14/07/2017	Geól. Paulo Ruiz Cubillo, Ph.D Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional  Fecha: 14/07/2017	Geóg. Paul Vega Salas, M.Sc Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional  Fecha: 14/07/2017
14. Revisado por:			
Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional  Fecha: 14/07/2017	Ing. Esteban Villalobos Vega Coordinador Unidad de Puentes  Fecha: 14/07/2017	Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR  Fecha: 14/07/2017	15. Aprobado por: Ing. Rolando Castillo Barahona, Ph. D Coordinador General Programa de Ingeniería Estructural  Fecha: 17/07/2017



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



TABLA DE CONTENIDOS

1. Introducción		
1.1	Antecedentes y Necesidades.....	3
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	Objetivo general	5
1.2.2	Objetivos específicos	5
1.3	Contenidos de este Documento.....	6
1.4	Alcances y Limitaciones.....	6
1.5	Créditos.....	8
2. Riesgo sísmico		
2.1	Propuesta para Priorización de Inspecciones.....	12
2.2	Amenaza Sísmica.....	14
2.2.1	Tectónica de Costa Rica	15
a)	<i>Interacción de placas Coco-Caribe, Coco-Nazca y Caribe-Nazca</i>	15
b)	<i>La zona de fractura de Panamá</i>	17
2.2.2	Cinturón deformado del norte de Panamá	17
2.2.3	Fallamiento cortical somero	17
2.2.4	Sismicidad	19
2.3	Redes Sismológicas.....	21
2.3.1	Proyecto para la densificación de la red LIS-INII	21
a)	<i>Ubicación de equipos</i>	22
2.4	Inventario y Estado de los Puentes en la Red Vial Nacional.....	28
2.4.1	Normativa	29
2.4.2	Deterioro y defectos en puentes	34
2.4.3	Aspectos del inventario de puentes	37
2.5	Vulnerabilidad Sísmica.....	46
2.5.1	Curvas de fragilidad estructural	47
2.5.2	Criterios de desempeño y grados de daños en puentes	50
a)	<i>Componentes estructurales del puente y su fragilidad a sismo</i>	53
2.5.3	Grupos de fragilidad estructural para puentes en Costa Rica	60
2.6	Susceptibilidad a Daños en Suelos Licuables.....	67
2.6.1	Potencial de daño por licuación en puentes	71
3. Priorización		
3.1	Importancia Operativa y Priorización.....	73
3.1.1	Priorización para inspección	75
3.1.2	Priorización para inversión	79
a)	<i>Curvas de vulnerabilidad para estimación de pérdidas directas</i>	81
b)	<i>Índices de daño para evaluación de la red vial</i>	83



3.2	Análisis para Priorización de Inversión en la Red Vial Nacional Primaria.....	86
3.2.1	Aspectos de exposición en la red vial nacional primaria	86
	a) <i>Definición de vínculos internodales</i>	88
	b) <i>Tránsito promedio diario y costo de remplazo</i>	89
3.2.2	Resultados para la red vial nacional primaria	91
3.2.3	Efecto de la susceptibilidad a licuación	97

4. Protocolo para la inspección post-sísmica de puentes

4.1	Actividades del Protocolo.....	103
4.2	Inspecciones.....	108
4.2.1	Equipo de inspección	109
4.2.2	Inspección exploratoria (<i>Nivel 0</i>)	109
	a) <i>Características</i>	110
4.2.3	Inspección de seguridad (<i>Nivel 1</i>)	115
	a) <i>Características</i>	115
4.2.4	Evaluación de Condición Estructural (<i>Nivel 2</i>)	122
	a) <i>Características</i>	122
4.2.5	Evaluaciones Detalladas	125
	a) <i>Ensayos no destructivos</i>	125
	b) <i>Evaluación Estructural</i>	126
	c) <i>Análisis y diseño estructural para rehabilitación del puente</i>	126
4.3	Partes Involucradas y Flujo de la Información.....	126
4.4	Priorización de Inspección Mediante el SERIS-P.....	129

5. Caso de estudio: Estimación de daños para el sismo de Samara del 2012

5.1	Sismo de Samara del 2012.....	131
5.2	Reportes de Daño en Puentes.....	134
5.3	Resultados de Daño Esperado y Correlación con el Daño Observado.....	140

6. Recomendaciones y trabajos complementarios

7. Referencias

Anexos

A.	Características de Puentes Utilizadas para Distribución de Acelerógrafos y Orden de Prioridad	165
B.	Definición de Importancia de Puentes por Tramos para la Red Vial Nacional	171
C.	Características Físicas y de Vulnerabilidad de los Puentes en la RVN	179
D.	Índice de Daño por Vínculo para la red Vial Nacional Primaria	195
E.	Formularios Propuestos para Uso en Campo	199
F.	Puentes en la Península de Nicoya y su Información Disponible	215
G.	Ficha de Puentes que Presentan Daño por Sismo en Península de Nicoya	221

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES Y NECESIDADES

Costa Rica se ubica en el denominado cinturón de fuego del Pacífico, una región con sismicidad alta, donde la convergencia entre tres placas tectónicas (Cocos, Caribe y Nazca) y las acciones interplacas generan frecuente e intensa actividad sísmica.

A lo largo de la historia costarricense, varios sismos han producido importantes afectaciones tanto económicas como en términos de pérdida de vidas. En los últimos años, se han experimentado en el país varios eventos que produjeron pérdidas económicas importantes en la infraestructura pública. Dentro de los daños reportados, las estructuras de puentes no han quedado exentas de colapsos y afectaciones severas. Algunos sismos recientes con reportes de daños importantes en viviendas y edificios, colapso de puentes y deslizamientos son Gofito (1983), Cóbano (1990), Piedras Negras (1990), Limón (1991), Damas (2004), Cinchona (2009) y Sámara (2012).

Para eventos sísmicos mayores, como los mencionados anteriormente, se debe prestar especial atención a las estructuras de puentes ya que estas funcionan en muchas ocasiones como eslabones críticos de conexión en líneas vitales de comunicación, necesarias en la logística de la atención de la emergencia. La disfuncionalidad de un puente podría generar retrasos en la llegada de la ayuda a las zonas afectadas, aumentando posiblemente las consecuencias del evento sobre las comunidades. Además, puentes con riesgo de colapso o ya colapsados, pueden representar un peligro para los usuarios que transitan por las rutas nacionales. Es, por lo tanto, necesario priorizar las evaluaciones de riesgo sísmico en estructuras de puentes con el fin de reducir efectos nocivos futuros de los terremotos mediante la identificación de las estructuras y vías con mayor riesgo.

En lo concerniente a la respuesta ante este tipo de amenaza natural para puentes en Costa Rica, si bien los entes responsables siguen políticas y procedimientos preestablecidos luego de una emergencia, no se tiene información de la existencia de lineamientos técnicos claros que permitan identificar las necesidades de atención de las estructuras dañadas como, por ejemplo, proporcionar refuerzo temporal de emergencia, o la exigencia de efectuar una reparación, readecuación o reconstrucción a mediano o corto plazo después de sismo.



En el procedimiento actual de respuesta inmediata, la atención de la emergencia inicia a los pocos minutos utilizando reportes de particulares, de organizaciones de primer impacto como bomberos y Cruz Roja, o por informes de comités locales o municipales para atención de emergencias. En estos reportes, se abarcan daños en estructuras y líneas vitales como carreteras, puentes y líneas de servicios públicos necesarios para la planificación de la atención de la emergencia, permitiendo así una visión macro de la afectación de una forma rápida. La priorización de inspecciones se realiza mediante el uso de esta información formal o informal de daño, enfocándose en las zonas que experimentaron mayor afectación. Normalmente, estos informes iniciales de daños de primera atención no siguen procedimientos estandarizados detallados y tienen la desventaja de tener poca profundidad en la evaluación y vacíos técnicos que podrían brindar a las autoridades información insuficiente para, por ejemplo, identificar si es necesario o no una reconstrucción de la estructura.

Es también común, debido a la urgencia de la situación, que las afectaciones reportados sean principalmente de daños peligrosos evidentes, dejando fuera posibles daños igualmente peligrosos pero no tan evidentes, o sin ser considerados puentes con daños moderados y leves que deberían ser reportados. Otra situación confusa en los reportes es la inclusión de deficiencias muchas veces no atribuibles a sismos, como socavación, que son luego incluidos en los planes de recuperación y reconstrucción después de la emergencia, distorsionando la afectación directa relacionada al evento. La ausencia de estos procedimientos normalizados dificulta la estimación de pérdidas y los costos asociados.

Debido a las necesidades identificadas y conforme a las labores asignadas por el artículo 6 de la Ley 8114 y su reglamento con respecto a proyectos de investigación aplicada sobre los problemas de la infraestructura vial del país, se realiza este estudio que incluye un resumen de los aspectos necesarios para la valoración del riesgo sísmico en estructuras de puentes como base para la elaboración de un protocolo de inspección de estructuras de puentes post-sismo.

1.2 OBJETIVOS

En función de las necesidades identificadas, se proponen una serie de objetivos que se explican y desarrollan a lo largo de este trabajo. La aplicación de las actividades relacionadas con estos objetivos se realizó tanto a puentes en una escala nacional, regional o enfocada en algunas vías nacionales según su importancia. A continuación, se presentan los objetivos de este trabajo.



1.2.1 Objetivo General

Presentar un protocolo estandarizado para priorizar inspecciones de puentes luego de un evento sísmico, proporcionando además las herramientas de inspección y determinación de la seguridad de la estructura.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Estimar en tiempo-real los daños potenciales en puentes con base en datos de intensidad sísmica interpolada al sitio del puente y sus características de fragilidad estructural como un método para priorizar la inspección de estructuras de puentes.
- b) Brindar una herramienta útil para las labores de los entes encargados e interesados en la prevención, mitigación y respuesta ante un sismo en las estructuras de puentes.
- c) Realizar un inventario geo-referenciado y verificado de puentes de la red vial nacional.
- d) Identificar características físicas y la vulnerabilidad sísmica en estructuras de puentes.
- e) Definir distintos niveles de daño por sismo en puentes, clarificando las posibles consecuencias relacionadas con cada grado de daño, tanto para el uso de la estructura durante la emergencia, como para definir la estrategia a seguir en actividades relacionadas con la repuesta a corto y mediano plazo.
- f) Identificar cualitativamente los puentes y vías en la red vial nacional primaria con mayor riesgo potencial por sismo, utilizando la zonificación sísmica propuesta por los Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013).
- g) Realizar un ejercicio de validación del método de daño esperado utilizando los datos del sismo de Sámara del 2012; simulando un escenario de daño que es comparado con el daño encontrado luego del sismo según los informes de la Comisión Nacional de Emergencia y las inspecciones de campo realizadas.
- h) Crear formularios de inspección, herramientas informáticas y planes de capacitación para facilitar la implementación eficaz de la propuesta.
- i) Definir distintos grados de inspección de acuerdo a la capacidad técnica y responsabilidad de los inspectores, y el grado de profundidad de la inspección.
- j) Definir actividades de inspección y atención de estructuras de puentes luego de sismo propuestas para la respuesta inmediata, en el corto plazo y en el mediano plazo.
- k) Densificar la red de acelerógrafos en las áreas cercanas a puentes importantes en la Red Vial Nacional con el fin de mejorar los resultados de interpolación de intensidad sísmica reportados por el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica.



1.3 CONTENIDOS DE ESTE DOCUMENTO

A lo largo de este documento se comentan aspectos relativos a la inspección, protocolos de emergencia, riesgo sísmico en términos de sus componentes de exposición, vulnerabilidad y amenaza, y la caracterización del daño estructural producido por sismos en puentes. Estos temas se discuten y plantean desde el punto de vista teórico a lo largo de los [capítulos del 2 al 4](#).

En el documento se presentan también resultados con una orientación práctica en los [capítulos del 2 al 5](#) como los cálculos cualitativos del riesgo sísmico en la red vial nacional primaria, inventario de puentes de la red vial nacional de Costa Rica, formularios de inspección de puentes luego de sismo, uso de herramientas para la evaluación de la condición de puentes por medio de inspección visual, simulaciones de escenario de daño, levantamiento de información de daño para el sismo de Samara del 2012, y esquemas de atención de la emergencia en puentes para la respuesta inmediata, en el corto y mediano plazo.

Estos contenidos prácticos y teóricos son una ayuda a las instituciones encargadas de la gestión de infraestructura de puentes en nuestro país, así como para organizaciones encargadas e involucradas en la atención de emergencias por sismo. Además, podrían ser utilizados como una base para estudios futuros que profundicen en algunos de los aspectos mencionados en este trabajo o como referencia de un procedimiento genérico modificable para evaluar otros tipos de estructuras civiles. Los contenidos de este documento fueron desarrollados durante los años 2015 y 2016 mediante un proceso de cuidadosa referenciación bibliográfica, giras de campo (tanto de inventario como de evaluación de daño), una capacitación preliminar de inspectores sobre el uso del protocolo propuesto, así como reuniones y presentaciones con entes involucrados en la atención de la emergencia en Costa Rica, como la Comisión Nacional de Emergencias y el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES

En este trabajo se hace énfasis en el análisis de los puentes de la red vial nacional de Costa Rica. No se incluyen por lo tanto los puentes de la Red Vial Cantonal en los resultados presentados ni en la información recabada para la priorización de inspecciones de puentes después de sismo. Con la



información sobre el inventario de puentes de la Red Vial Cantonal se podría ampliar el alcance de esta propuesta también a esta red.

Para este estudio, se utilizan criterios básicos relacionados al análisis de riesgo sísmico en puentes para priorizar las inspecciones de las estructuras. En el análisis interactúan los conceptos de vulnerabilidad, exposición y amenaza para determinar la priorización de inspección de puentes. Para la determinación de la vulnerabilidad, se siguen los lineamientos de FHWA (2006) y el reporte de la ODOT (2009), por lo que aplican las limitaciones relativas a estos procedimientos. No se proponen funciones de fragilidad específicas para puentes en Costa Rica ya que, en la práctica, el diseño de puentes en el país se ha realizado en su mayoría utilizando la normativa estadounidense. Estas funciones podrían modificarse posteriormente para tomar en cuenta el avanzado deterioro de algunas estructuras. Además, para los puentes que presenten una estructuración compleja, su material de construcción principal es la mampostería o la madera, o no cuentan con un diseño ingenieril, no les fue asignada alguna de las funciones de fragilidad utilizadas por las referencias mencionadas anteriormente.

En lo concerniente al modelo de exposición, los alcances y limitaciones respecto a las fuentes y la calidad de los datos son los mismos que los descritos en el informe de inventario de puentes que son parte o cruzan la red vial nacional costarricense elaborado por la Unidad de Puentes del LanammeUCR (Muñoz-Barrantes, Vega-Salas, Vargas-Alas, Barrantes-Jiménez, & Loria-Salazar, 2016). Para los puentes sin información clasificados como puentes cortos simplemente apoyados, esta designación parte de un análisis estadístico según se explica en el capítulo 2 y aplica solo para efectos de este estudio. Para algunas estructuras en la red vial nacional no fue posible, por su tamaño, la asignación en alguna tipología estructural por lo que quedaron fuera de análisis en este trabajo. Otro aspecto de exposición sobre el cual se deben profundizar los estudios es la caracterización de los tipos de suelos con el fin de mejorar los resultados, particularmente para la estimación de daño por licuación y para suelos descritos como tipo S4 según la clasificación del Código Sísmico de Costa Rica (CFIA, 2010).

Sobre las consideraciones relativas a la cuantificación de la magnitud de la intensidad sísmica, para el caso del procedimiento aplicado en la estimación del daño luego de un sismo, las intensidades utilizadas en los cálculos, las limitaciones y alcances son aquellos propios intrínsecos del proceso de interpolación y obtención de datos implementado por el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica. Estos cálculos se realizan para cada sitio de ubicación de los puentes. En lo concerniente a la estimación del riesgo sísmico para estructuras de puentes en la red vial nacional primaria, se realiza una evaluación cualitativa a nivel nacional utilizando los valores de intensidad sísmica de diseño según la zonificación propuesta por los Lineamientos de



Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013). Este escenario representa una situación determinada hipotética, utilizada solo con propósitos cualitativos para la identificación de las vías que podrían presentar mayor riesgo en caso de alcanzar la intensidad de diseño como una estructura nueva. A futuro, es ideal ampliar este trabajo mediante un estudio estocástico de la amenaza sísmica que incluya o permita el cálculo las curvas de amenaza a utilizar para cada sitio de ubicación de los puentes. Esto es de ayuda para la descripción cuantitativa del riesgo, ventajosa por ejemplo a la hora de evaluar la efectividad y viabilidad económica de programas de readecuación sísmica de estructuras.

Finalmente, los formularios de inspección después de sismo presentados en este documento fueron concebidos para evaluar principalmente puentes tipo viga de uno o varios tramos, ya que esta es la tipología más común en el país. Para puentes de otra tipología, se deben utilizar con discreción estos formularios, considerando esta limitación y valiéndose además del criterio ingenieril del inspector como insumo fundamental a la hora de realizar una evaluación.

1.5 CREDITOS

Este es un producto de la investigación liderada por la Unidad de Puentes del Programa de Ingeniería Estructural y la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del Programa de Infraestructura de Transporte, ambos programas pertenecientes al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, LanammeUCR. Para el proyecto se contó con la participación activa del Laboratorio de Ingeniería Sísmica, LIS, organización adscrita al Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica. Gracias a la cooperación con el LIS, se realizó la simulación de daño para el sismo de Samara del 2012 y se implementó en su sitio web el cálculo automático del procedimiento descrito como SERIS-P (Sistema de Estimación Rápida de Impacto por Sismo - Puentes), procedimiento que forma parte del protocolo de inspección de emergencia en puentes descrito en este documento.



RIESGO SÍSMICO

Los puentes son eslabón clave dentro del sistema de transporte terrestre, y por tanto, parte del conjunto de obras públicas denominadas como “*vitales*” que conforman el grupo de infraestructura esencial para el desarrollo económico y social de las comunidades y regiones. En caso de sismo, los puentes son críticos para facilitar las labores de emergencia entre las comunidades afectadas y para garantizar, en muchos casos, la continuidad de servicios públicos como suministro de agua, electricidad e hidrocarburos, por lo que su colapso o daños severos deben ser evitados. Bajo esta premisa inicial, es de importancia estimar cualitativa y cuantitativamente los daños que podrían experimentar estructuras de puentes en Costa Rica luego de un evento mayor, más evidente aún cuando en el país ya se tiene la experiencia de daños severos experimentados en este tipo de infraestructura como, por ejemplo, luego del sismo de Limón del año 1991 ([Santana, 1999](#)).

Para estimar el daño estructural en puentes luego de un sismo se pueden utilizar los mismos procedimientos y conceptos relativos a un estudio de riesgo sísmico típico, con la diferencia que la evaluación de los daños probables se realiza mediante el uso de registros de intensidad sísmica luego de un evento, y no de alguna modelación de un evento potencial o un registro histórico. Dado que esta estimación de daño podría analizarse como un caso particular de un estudio de riesgo, es útil en este trabajo enfocar este capítulo desde un punto de vista más amplio, aprovechando la amplia bibliografía y discusión internacional relativa a los conceptos y principios ingenieriles y sismológicos de los estudios de riesgo sísmico, sin ser el principal objetivo de este trabajo, realizar un análisis de riesgo detallado para estructuras de puentes en Costa Rica.

En ingeniería civil, el aseguramiento de un comportamiento estructural aceptable ante un evento extraordinario se logra mediante la obtención de un adecuado nivel de desempeño, según la importancia y expectativa de vida de la obra. Un nivel de seguridad adecuado se consigue al cerciorarse que las amenazas, sean estas las normales del uso o las poco frecuentes, se mantengan bajo control, con un nivel de riesgo limitado a valores aceptables; la seguridad absoluta es inalcanzable ([Schneider, 1997](#)). De aquí se deduce que el riesgo es cualitativamente opuesto a la seguridad estructural.

El riesgo es medible en función de los valores expuestos y su coste en términos directos como pérdidas económicas y humanas, o indirectos como afectaciones al comercio, la ecología, la movilidad, y aspectos culturales, sociales o históricos. En la bibliografía existen muchas propuestas de definición de riesgo que varían en función de la disciplina ([Sperbeck, 2008](#)). Típicamente, el



riesgo es expresado en la mayoría de las áreas mediante algún tipo de función que relacione la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. Para el análisis del riesgo de una estructura civil, la intensidad de la amenaza es usualmente definida mediante el uso de estudios determinísticos o probabilísticos para el sitio de interés. La exposición, incluye aspectos como la definición de tipologías estructurales, determinación del tipo de suelo, población expuesta (cantidad y tipo de tránsito para puentes), valor histórico, importancia, etc. Finalmente, la vulnerabilidad se enfoca en analizar el comportamiento de determinado tipo estructural ante las cargas. En este estudio, los aspectos relativos al riesgo sísmico, desde el punto de vista explicado anteriormente para estimación del daño en puentes, se ven reflejados en una serie de actividades descritas en el esquema de la figura 2.1.

Formulaciones como la presentada en la figura 2.1 son útiles desde un punto de vista esquemático para la comprensión del problema. Desde el punto de vista práctico, para efectuar cálculos cuantitativos es útil asignar a los atributos relacionados comúnmente con el riesgo como la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, una probabilidad conjunta asociada, la cual, pueda ser relacionada directamente con alguna consecuencia, aspecto que no es evidente en la figura 2.1. Este enfoque corresponde con la definición de riesgo formulada por Einstein (1988):

*“Riesgo es la probabilidad de un evento multiplicada por las consecuencias si el evento ocurre;
Riesgo = Probabilidad*Consecuencias”*

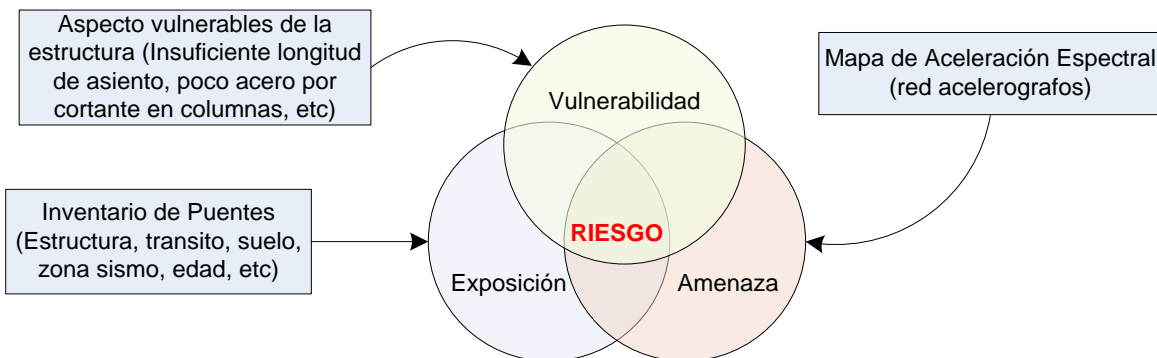


Figura 2.1. RELACIÓN ENTRE ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN ESTE TRABAJO Y EL ESQUEMA TÍPICO DE RIESGO EN FUNCIÓN DE LA VULNERABILIDAD, LA EXPOSICIÓN Y LA AMENAZA



Esta es la línea de definición que siguen actualmente organizaciones como la ISO/TC 262 (2009), que define el riesgo como: “la combinación de las consecuencias de un evento asociadas a la posibilidad o probabilidad de su ocurrencia”, o el Programa ISDR de las Naciones Unidas (ISDR-UN, 2004), que lo define como: “la probabilidad de consecuencias de daño, o la expectativa de pérdida de vidas, propiedad, bienes, personas heridas, o actividad económica interrumpida (o perdida al medio ambiente) resultante de la interacción entre las personas, amenazas naturales y condiciones vulnerables.

A diferencia del carácter cualitativo de la seguridad, la confiabilidad r es un parámetro cuantificable, opuesto a la probabilidad de falla p_f , utilizada en la formulación de Einstein (1988) para definir el riesgo. Estos términos son útiles en ingeniería estructural para reflejar la seguridad como $r = 1 - p_f$. Normalmente, los valores de probabilidad de falla aceptables para diseño estructural para eventos extremos o servicio son valores de $r \approx 1$, por lo que en la práctica ingenieril se hace uso del índice de confiabilidad β ; donde β es la división de la media entre la desviación estándar de la relación: resistencia menos demanda (R - D). Los valores de β se utilizan en la normativa indirectamente mediante el uso y calibración de factores sobre la resistencia y las cargas (LRFD), cuyos valores recomendables varían según la normativa del gobierno local y los requisitos de desempeño que definen las condiciones de falla (operativas/estructurales). La determinación de valores β mínimos para estructuras de puentes existentes es útil para el diseño de medidas de rehabilitación sísmica. La calibración de valores β para distintas medidas de mitigación del riesgo es útil, no solo desde el punto de vista del aseguramiento de un nivel mínimo de seguridad, sino que el comportamiento de los valores β mide la eficacia del efecto de distintas medidas de rehabilitación sobre el puente.

Diferenciable al concepto de probabilidad de falla, un análisis probabilístico de la amenaza por sismo (PSHA: Probabilistic Seismic Hazard Analysis) se basa en procedimientos de generación estocástica de eventos, relacionados a una falla sísmica específica o una región con múltiples fuentes, para evaluar mediante el uso de parámetros estadísticos la amenaza. Esta herramienta ha ganado popularidad para analizar regionalmente las consecuencias adversas de los sismos sobre la infraestructura civil y en la actualidad el uso de estas evaluaciones supone un apoyo importante en la gestión del riesgo sísmico; por ejemplo, como facilitador para la toma de decisiones al definir estrategias de mitigación y respuesta a la emergencia (Padgett & DesRoches, 2007a).

Metodologías y aspectos relacionados a la evaluación del riesgo sísmico en la infraestructura vial a escala regional son discutidas por autores como: Werner, Taylor, Moore III, Walton & Cho (2000); Kircher, Whitman & Holmes (2006); Kiremidjian et al. (2007); Enke, Tirasirichai & Luna (2008); Banerjee & Shinozuka (2009) y Jayaram & Baker (2010). Específicamente para puentes se cuentan en la bibliografía estudios como los de Mander, Dhakal, Mashiko & Solberg (2007),



Padgett, DesRoches & Nilsson (2010) y Lin, Chen, & Chung (2012). En estos estudios se proponen métodos para estimar los estados de daño, pérdidas económicas directas e inclusive, en algunos casos, pérdidas económicas indirectas relacionadas con la interrupción o restricción del uso de los puentes.

En este capítulo se discuten los aspectos relativos al riesgo sísmico, planteando un marco conceptual que incluye una descripción breve de la amenaza sísmica y la fragilidad estructural. En capítulos posteriores se discuten también aspectos relativos al riesgo para estructuras de puentes en términos del estado de daño esperado post-sismo como una herramienta para la priorización de atención de los puentes. Además, en el capítulo 3, se profundiza en aspectos relativos a la exposición y al uso de las curvas de vulnerabilidad para estimar pérdidas económicas directas relativas a la amenaza.

2.1 PROPUESTA PARA PRIORIZACIÓN DE INSPECCIONES

En el marco teórico general presentado en este trabajo intervienen los aspectos relativos a un estudio de riesgo como lo son la amenaza sísmica, la vulnerabilidad y la exposición de estructuras de puentes, planteando con estos criterios la generación de un listado priorización de la inspección luego de sismo. En la figura 2.2 se detalla, en forma de un diagrama de flujo, el marco conceptual utilizado como base la propuesta de este estudio. Este esquema de trabajo es congruente con otras propuestas encontradas en otros estudios como el realizado por Padgett et al. (2010), específicamente para puentes, o Kiremidjian et al. (2007) para la red vial en general. En este caso específico, se hace énfasis en el esquema de la estimación de daños por sismo dado y el valor de daño estimado, ya que este resultado se utiliza para el planteamiento de la priorización de la inspección. Los aspectos de la figura 2.2 se profundizan en este apartado y el capítulo 3.

Como se muestra en la figura 2.2, el procedimiento inicia luego de la activación por sismo con una estimación de la magnitud de la amenaza para cada puente planteada a partir de la generación de un mapa de intensidades en términos de aceleraciones espectrales. Este mapa se genera gracias a la cooperación con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS-INII) de la Universidad de Costa Rica. La generación del mapa de aceleraciones espectrales se realiza automáticamente mediante interpolación de los registros del sismo obtenidos en tiempo real por el LIS-INII. Además de un parámetro de intensidad, se toman en cuenta las condiciones locales del sitio donde se ubica el puente y las características físicas de la estructura.

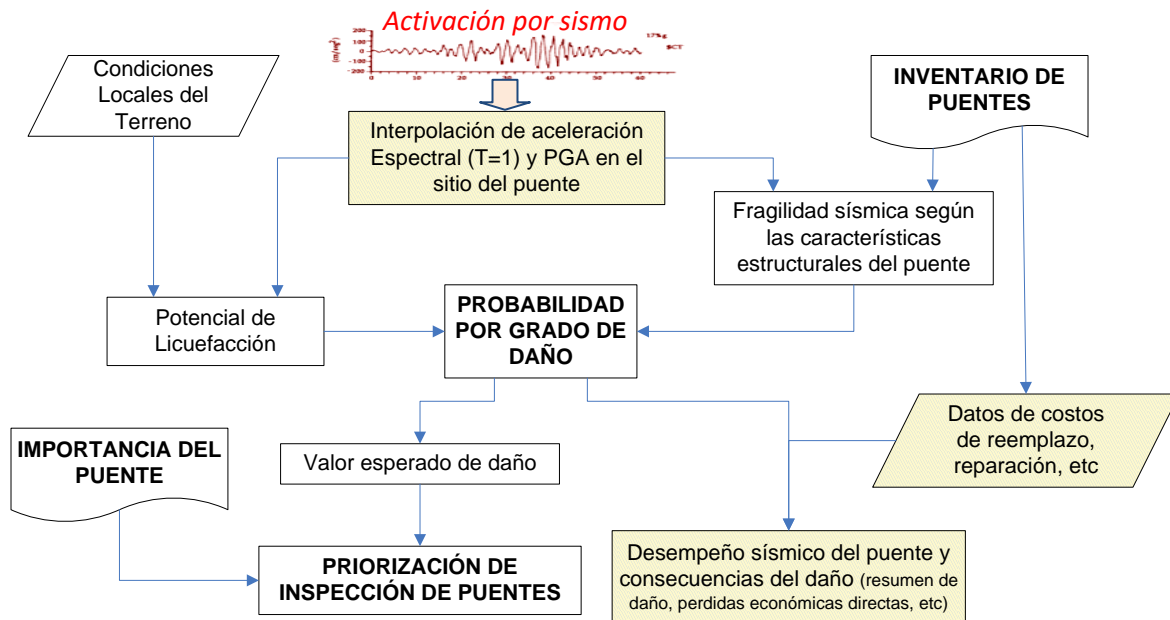


Figura 2.2. DIAGRAMA ESTIMACIÓN DEL GRADO DE DAÑO Y PRIORIZACIÓN DE INSPECCIÓN EN PUENTES LUEGO DE SISMO. ACHURADO LOS ÍTEMS DONDE NO PROFUNDIRA ESTE DOCUMENTO

Los atributos de inventario utilizados para la determinación de las características físicas son los provistos en el informe de inventario de la red vial nacional de Costa Rica (Muñoz-Barrantes et al., 2016). Según los datos provistos por el inventario se crean grupos de fragilidad. Para cada grupo taxonómico se asignan propiedades que, en conjunto con algunas características físicas de cada estructura, se utilizan para generar las curvas de fragilidad. Gracias al uso de estas curvas, se puede estimar el daño probable a partir del valor interpolado de aceleración sísmica para cada sitio de ubicación de los puentes y así realizar una evaluación a escala regional. Este procedimiento se le denomina como Sistema de Estimación Rápida de Impacto por Sismo, SERIS-P, donde “P” indica que la evaluación se realiza para puentes. Luego de establecido un estado de daño, se pueden asociar a estas consideraciones para la priorización de inspección, seguridad o limitaciones de uso del puente, y las consecuencias directas e indirectas.

El análisis de los ítems mostrados en la figura 2.2 no se desarrolla con la misma profundidad dentro del contexto de este estudio, esto debido a que el objetivo de trabajo está enfocado en priorizar inspecciones de emergencia y no un estudio de riesgo sísmico. Se presenta el esquema completo para proporcionar una adecuada visualización de los factores usuales que participan en un estudio de riesgo sísmico. Un aspecto que tampoco es el objetivo principal de este trabajo es analizar otras amenazas activadas luego de un evento sísmico (ej; deslizamientos o flujos de lodo).



Tampoco se incluye en este estudio la información de costos de remplazo y reparación de los puentes en Costa Rica, necesarios para estimar pérdidas económicas en detalle.

Es también de importancia recordar en este punto, que los procedimientos utilizados para la evaluación del riesgo sísmico se suelen clasificar en términos probabilísticos o determinísticos, en referencia a la técnica empleada para la estimación de la amenaza sísmica. El enfoque determinístico para la estimación de la amenaza sísmica, DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis), es el utilizado en este trabajo para la valoración de un estado de daño, esto debido a que son directamente los registros post-evento provenientes de las redes de acelerógrafos los aplicados para la estimación de un estado de daño. Los DSHA son utilizados típicamente para el diseño de obras especiales como plantas nucleares, puentes mayores o represas.

El camino probabilístico para la estimación de la amenaza sísmica, PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), es el enfoque frecuente en estudios de riesgo sísmico a escala regional y en la práctica habitual para estimar las cargas de diseño por sismo para puentes comunes. Siguiendo este enfoque, los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes, LDSP (CFIA, 2013), detallan una zonificación sísmica para Costa Rica con valores de aceleración máxima probable y coeficientes espectrales modificados según el terreno y la importancia (tabla 2.4-1 de los LDSP). Un enfoque probabilístico es útil a una escala regional, brindando información valiosa para la toma de decisiones. Un análisis cualitativo preliminar de riesgo para los puentes en la red vial nacional basado en los parámetros de amenaza propuestos por el LDSP se presenta en el [capítulo 3](#).

2.2 AMENAZA SÍSMICA

Costa Rica es un país de gran diversidad geológica, una geodinámica muy activa con sismos y volcanes, y un gran dinamismo hidrometeorológico. Estos elementos deben considerarse para el desarrollo de nuestra infraestructura, dentro de un marco de la reducción máxima posible del riesgo ante amenazas naturales y el impacto de éstas sobre el medio ambiente. En las últimas décadas, nuestro país ha experimentado daños importantes en su infraestructura de puentes por impacto directo o indirecto de huracanes y la estación lluviosa como Juana (1988), César (1996), Mitch (1998), Alba (2008), Otto (2016), y por eventos sísmicos como Pérez Zeledón (1983), Limón (1991), y recientemente Cinchona (2009) y Sámara (2012).

El término de amenaza sísmica es utilizado para caracterizar el movimiento sísmico, cuantificando

la ocurrencia de futuros acontecimientos sísmicos en términos de su intensidad y periodo de recurrencia. A continuación, se resume el panorama de la amenaza sísmica para Costa Rica.

2.2.1 Tectónica de Costa Rica

La sismicidad de Costa Rica está regida por la interacción entre varias placas tectónicas y corticales: las placas Coco, Caribe, microplaca de Panamá, Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica, el Cinturón Deformado del Norte de Panamá y la Zona de Fractura de Panamá (figura 2.3 y 2.4). Además, cerca de los edificios volcánicos se puede presentar actividad sísmica que se atribuye a procesos vulcano-tectónicos locales o ascenso de fluidos de muy baja intensidad. En las siguientes secciones se resume la actividad de estas estructuras y algunos de sus efectos.

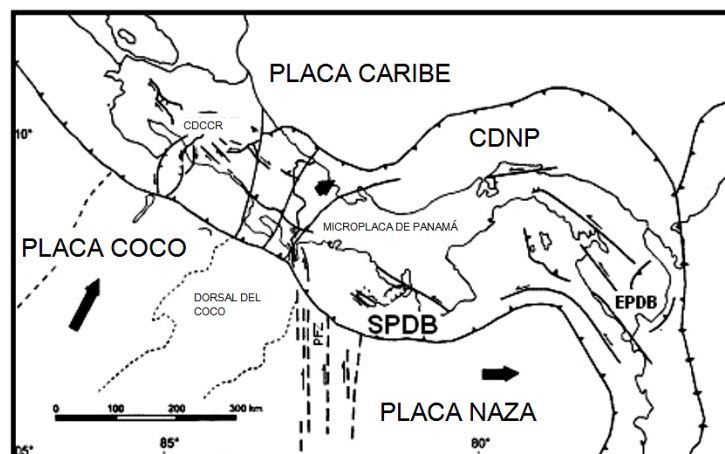


Figura 2.3. PRINCIPALES PLACAS Y ESTRUCTURAS TECTÓNICAS QUE INTERACTÚAN EN EL SECTOR SURESTE DE AMÉRICA CENTRAL Y SON RESPONSABLES DE LA SISMICIDAD. CDNP = CINTURÓN DEFORMADO DEL NORTE DE PANAMÁ, CDCCR = CINTURÓN DEFORMADO DEL CENTRO DE COSTA RICA (Montero 2001)

a) Interacción de placas Coco-Caribe, Coco-Nazca y Caribe-Nazca

La Fosa Mesoamericana es la expresión superficial del proceso de subducción, esta se extiende desde Guatemala hasta Panamá con dirección NW-SE, paralela al litoral pacífico de Centroamérica y Costa Rica (figura 2.4). La velocidad de subducción se ha estimado por DeMets, Gordon, & Argus (2010) en 8,3 cm/año, entre las placas Coco y Caribe. Las magnitudes máximas de los sismos registrados en la zona sismogénica interplaca son alrededor de 7,7 grados. Debido a la geometría de la subducción frente a Costa Rica, la sismicidad es muy somera cerca de la fosa, incrementándose en profundidad conforme se adentra en el arco centroamericano. Bajo la zona

central de Costa Rica, la zona de Wadati-Benioff se subduce con un ángulo de 60° . Frente al Golfo de Nicoya aproximadamente, la zona de subducción experimenta una rasgadura a una profundidad cercana a los 70 km, denominada Contorsión de Quesada, que delimita comportamientos diferentes en los dos segmentos. Las profundidades de los sismos de subducción decrecen en dirección sureste: bajo Nicaragua alcanzan profundidades de 200 km, 125 km bajo la zona central de Costa Rica, y más al este no se encuentran evidencias de la zona de Wadati-Benioff a profundidades mayores de 50 km.

La zona de subducción en el centro de Costa Rica está caracterizada por ser una zona de alta sismicidad donde se han generado sismos de hasta M 7.0 grados (Arroyo, Husen, & Flueh, 2014). La sismicidad por subducción cerca de la Dorsal del Coco, es menos activa que en partes más alejadas. Esta secuencia de montes submarinos interrumpe el proceso de subducción.

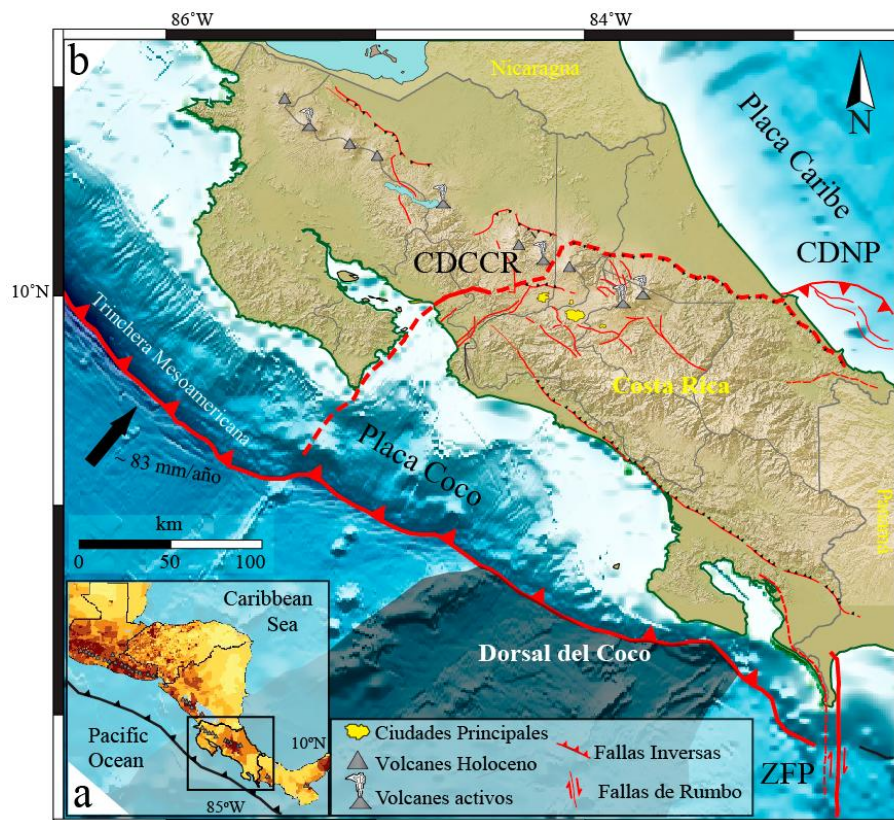


Figura 2.4. ARCO VOLCÁNICO DE AMÉRICA CENTRAL. DISTRIBUCIÓN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS TECTÓNICOS QUE AFECTAN COSTA RICA. SE OBSERVA LA ZONA DE SUBDUCCIÓN ENTRE LAS PLACAS COCO Y CARIBE, EL SISTEMA DE FALLAS CONOCIDO COMO EL CINTURÓN DEFORMADO DEL CENTRO DE COSTA RICA CDCCR, EL CINTURÓN DEFORMADO DEL NORTE DE PANAMÁ CDNP Y LA ZONA DE FRACTURA DE PANAMÁ ZFP (elaborado UGERV del LanammeUCR)



Los movimientos de la Placa de Nazca hacia el noroeste y el fenómeno de subducción de la dorsal del Coco, pueden ser los responsables de los regímenes compresivos en la costa Caribe de Panamá y Costa Rica y el fallamiento inverso asociado al norte de la llamada microplaca de Panamá (Cinturón Deformado del Norte de Panamá).

La Dorsal del Coco se levanta 2 km sobre el fondo oceánico y provoca una corteza anómalamente engrosada (20 km, el doble de lo normal según Montero, 2003) al subducirse bajo Costa Rica hacia el sureste. Esta dorsal ha originado las principales estructuras tectónicas desde el Pacífico central hacia el sureste, incluidas las deformaciones de la Fila de Costeña, Talamanca y en parte del Cinturón Deformado del Norte de Panamá.

b) La Zona de Fractura de Panamá

La Zona de Fractura de Panamá es parte de la frontera transcurrente entre las Placas de Coco y Nazca. Se trata de una falla transformada con dirección norte-sur de tipo dextral. Se localiza cerca del punto triple entre las placas de Coco, Caribe (o Microplaca de Panamá) y Nazca.

2.2.2 Cinturón Deformado del Norte de Panamá

El Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP) es un sistema de fallas inversas que se extiende en forma curvilínea desde el Golfo de Urabá, cerca del norte del límite colombiano con Panamá, atravesando la margen caribeña hacia el oeste y bordeando paralelo a la costa de Costa Rica para finalizar cerca de Puerto Limón. Un evento sísmico asociado con una falla inversa de este cinturón es el de Limón del 22 de abril de 1991 de $M 7,7 M_w$. Este sismo generó un levantamiento cosísmico de la corteza de 0,5 - 1,5 m, medidos en varios sitios de la costa desde Puerto Viejo de Limón a la frontera con Panamá. La existencia de paleo-arrecifes levantados 60 metros, indican actividad sísmica previa muy importante en esta falla o sus paralelas en el sistema de deformación (Denyer, 1994). La destrucción y afectación de varios puentes en la provincia de Limón fue uno de los efectos directos de este sismo en la infraestructura vial.

2.2.3 Fallamiento cortical somero

De acuerdo con Montero (2001), las principales fallas activas del territorio nacional son por lo general someras y representan estilos tectónicos suplementarios al del proceso de subducción. Son estructuras controladas por fases compresivas regionales y rasgos tectónicos locales, originando un juego estructural muy complejo, de grandes fallas regionales locales. Estas producen

eventos sísmicos importantes, pero por lo general de magnitudes menores a 7 grados.

Con datos neotectónicos de sismicidad y sismotectónica, Montero (2001) define el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (figura 2.5). Este atraviesa la región central de Costa Rica, desde la Fosa Mesoamericana (margen pacífico) hasta el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (margen Caribe). Adicionalmente hay otras fallas que generan sismos someros en las cordilleras volcánicas y alrededores. Según White (1991), los mecanismos focales de los sismos generados en estas zonas son evidencia de esfuerzos extensivos en la dirección E-W. Generalmente las estructuras transversales a la cadena son de desplazamiento de rumbo siniéstrales y las paralelas son dextrales. Las estructuras paralelas son fallas normales que generalmente producen depresiones, como por ejemplo las del noroeste de Costa Rica. El rumbo de estas fallas cambia con los alineamientos de los cinturones volcánicos.

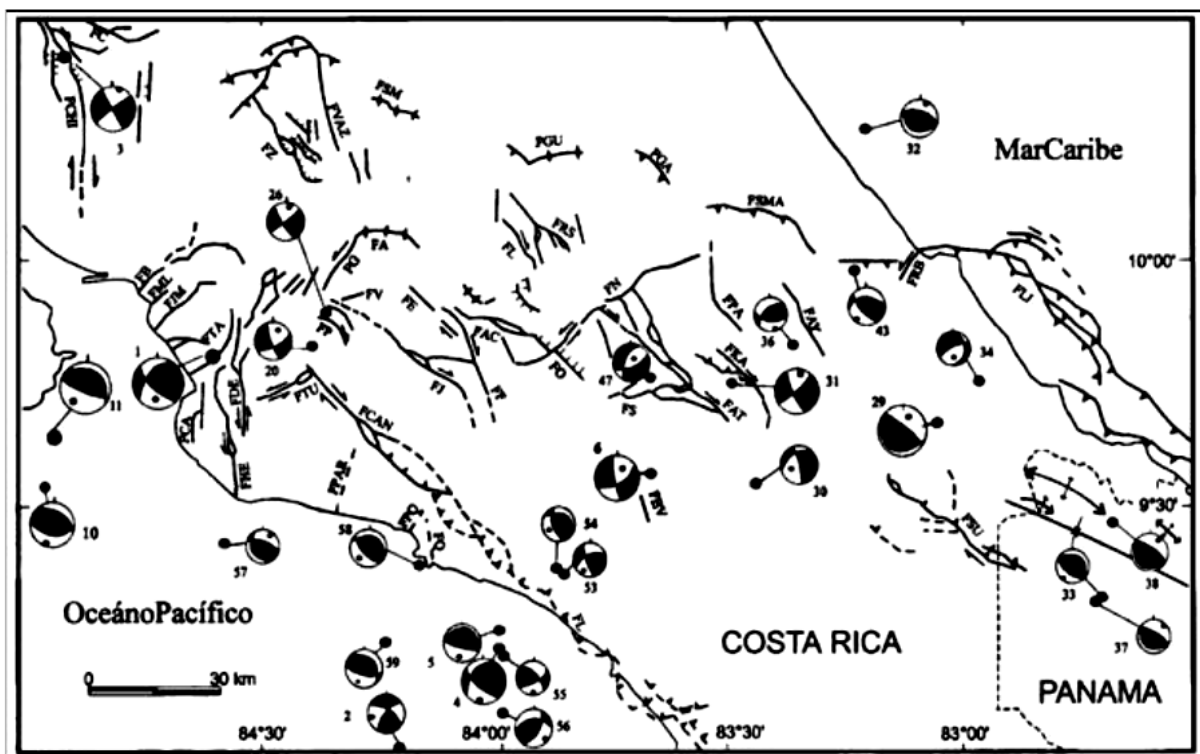


Figura 2.5. FALLAS NEOTECTÓNICAS QUE DEFINEN EL CDCCR: FC FALLA COTE, FCH FALLA CHIRIPA, FSM FALLA SAN MIGUEL, FVAZ FALLA VOLCÁN VIEJO-AGUAS ZARCAS, FZ FALLA ZARCERO, FA FALLA ALAJUELA, FG FALLA GARITA, FE FALLA ESCAZÚ, FV FALLA VIRILLA, FJ FALLA JARIS, FCAN FALLA CANDELARIA, FF FALLA FRAILES, FALLA ATIRRO, FB, FALLA BARRANCA, FML FALLA MATA DE LIMÓN, FJM FALLA JESÚS MARÍA, FTA FALLA TARCOLES, FDE FALLA DELICIAS, FHE FALLA HERRADURA, FTU FALLA TULÍN, FP FALLA PICAGRES, FGU FALLA GUAPILES, FRS FALLA RÍO SUCIO, FL FALLA LARA, FAC FALLA AGUA CALIENTE, FN FALLA NAVARRO, FO FALLA OROSÍ Y FAT FALLA ATIRRO (tomado de Montero (2001))



2.2.4 Sismicidad

La sismicidad generada por la zona de subducción y la que se atribuye a otras fallas someras corticales generalmente se analizan por separado debido a diferencias fundamentales en su naturaleza. Sin embargo, la sismicidad generada en la zona de subducción, por su alto potencial opaca y se confunde con la sismicidad generada por los otros tipos de fuentes. La zona de subducción puede generar sismos a profundidades someras cerca de la fosa, por lo tanto, muchos sismos someros corticales van a ser incluidos en esta clasificación.

Los eventos sísmicos corticales por su cercanía a los centros de población, su profundidad y su alta frecuencia de ocurrencia, son los que ocasionan más daños para la región centroamericana. Algunos de estos eventos son: Terremoto de Managua, Nicaragua (23 de diciembre de 1972, Guatemala (4 de febrero de 1976), El Salvador (10 de octubre de 1986, 13 de enero 2001, 13 de febrero 2001), Cartago, Costa Rica (4 de mayo de 1910), Piedras Negras (22 de diciembre 1990), Cinchona (8 de enero 2009), entre otros.

La zona Sur de Costa Rica es una de las regiones sísmicamente más activas del país. En esta zona, existen tres grandes fuentes sísmicas que han generado sismos con afectación a la red vial nacional y cantonal de la zona: 1.) La zona de subducción del Coco bajo la placa Caribe, 2.) La Zona de Fractura de Panamá (ZFP) y 3.) el fallamiento local dentro de la placa Caribe. Dentro de los sismos fuertes asociados a la zona de subducción en el sur del país, están los de los años 1579, 1854, 1945, 1979 y 1983, este último con magnitud de 7,3 grados (RSN, 2017).

La Zona de Fractura de Panamá (ZFP), es una de las fallas más extensas que afecta a Costa Rica con unos 700 km. Hay varios sismos históricos asociados con la Zona de Fractura de Panamá, ocurridos en los años 1933, 1934, 1957, 1974, 1982 y 2003, todos ellos con magnitudes entre 6 y 6,9 grados (Camacho, 1991 y Fernandez & Barquero, 2004).

Estudios neotectónicos, sugieren que existen al menos 6 fallas activas y potencialmente activas en la Zona Sur, las cuales, en su mayoría han generado históricamente sismos relativamente pequeños, con excepción del sismo del año 1934, con una magnitud de 6,7 grados (RSN, 2017).

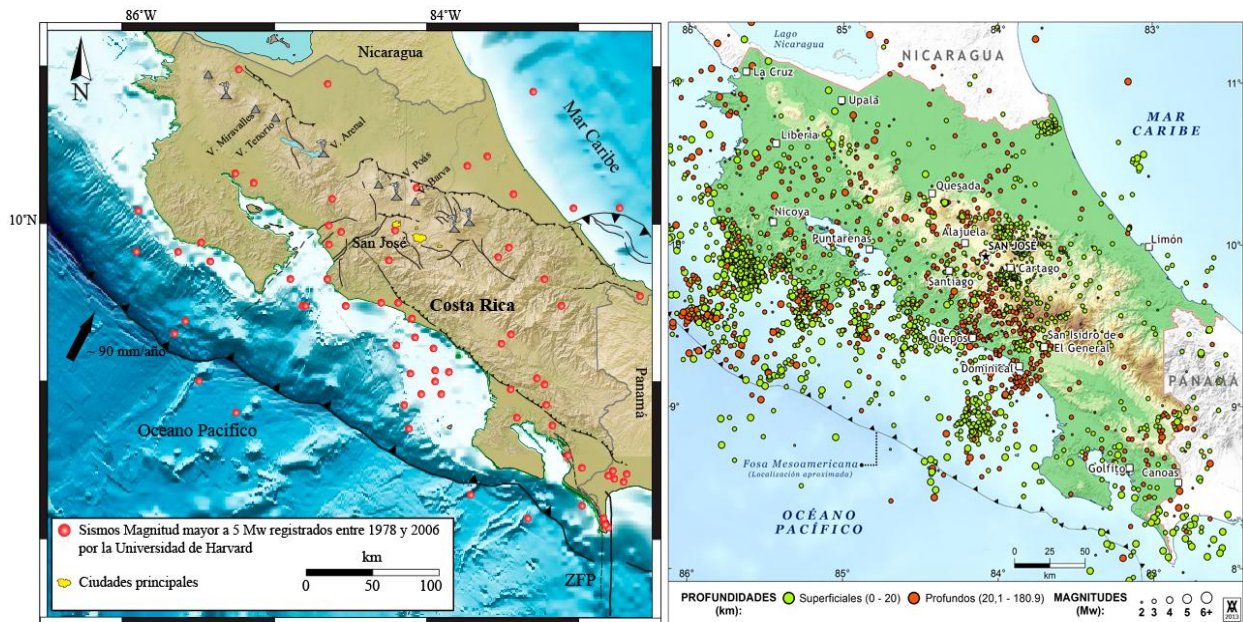


Figura 2.6. EL MAPA DE LA IZQUIERDA PRESENTA LOS SISMOS REGISTRADOS POR LA UNIVERSIDAD DE HARVARD ENTRE 1978 Y 2006 CON MAGNITUD SUPERIOR A 5 MW, EL MAPA DE LA DERECHA PRESENTA TODOS LOS SISMOS REGISTRADOS POR LA RED SISMOLÓGICA NACIONAL EN EL AÑO 2012 (RSN, 2017)

Algunos de los efectos geotécnicos que podrían desencadenar con la ocurrencia de un sismo de magnitud importante son los siguientes

- *Deslizamientos*: las zonas más vulnerables para verse afectadas por este tipo de amenaza presentan pendientes altas y muy altas y la meteorización de las rocas presentes podrían propiciar el disparo de deslizamientos.
- *Licuefacción*: las zonas más vulnerables para verse afectadas por este tipo de amenaza se ubican cerca de la costa y en zonas de depósitos aluviales.

Existen varias escalas de magnitud que dependen del tipo de ondas que se utilizaron para su cálculo. Esto resulta en que diferentes tipos de ondas arrojarán diferentes valores de magnitudes para un mismo evento. La magnitud momento, M_w , es considerada por gran cantidad de expertos como la mejor manera de medir el tamaño de los sismos ya que es calculada con base en el momento sísmico del evento, que es proporcional a la energía liberada.

2.3 REDES SISMOLÓGICAS

En la década de los 80's, inician su operación en Costa Rica dos redes de sismógrafos en el territorio nacional: la Red Sismológica Nacional (RSN) (operada en conjunto entre la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)), y la red de la Universidad Nacional (OVSICORI). La RSN fue creada en 1982 mediante convenio entre la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica de la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR y el Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica del Instituto Costarricense de Electricidad. Actualmente la RSN cuenta en total con 199 estaciones (RSN, 2017).

Adicional a la RSN y el OVSICORI, el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS), cuenta con una red de más de 90 acelerómetros. El LIS, forma parte del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la Universidad de Costa Rica (INII-UCR). A diferencia de la RSN y el OVSICORI, cuyo énfasis es el área de la sismología, el LIS persigue objetivos enfocados en área de la ingeniería sísmica y el impacto de los sismos en los centros de población (estructuras, suelos, líneas vitales, etc). Siguiendo esta línea, el LIS lleva a cabo estudios y productos relacionados con temas como efectos de sitio, intensidad sísmica, espectros de respuesta y espectros de diseño en sus informes y reportes luego de sismos significativos (LIS, 2015). La figura 2.9 muestra la distribución actual de las estaciones por parte del LIS. El listado actualizado con la ubicación de las estaciones del LIS se puede consultar en el sitio <http://www.lis.ucr.ac.cr/?id=1654>.

2.3.1 Proyecto para la densificación de la red LIS-INII

Cada año se registran cientos de eventos sísmicos en Costa Rica de los cuales algunos de ellos podrían generar efectos perjudiciales sobre la infraestructura de puentes. La determinación de las aceleraciones experimentadas en la cercanía de los puentes es de ayuda para comprender la repuesta del mismo luego de un sismo importante. Entre más cercano sea el registro a la vecindad del puente y mayor sea la densidad de estaciones que se utilice para realizar las interpolaciones, aumenta la precisión en la estimación de la intensidad experimentada por la estructura. Actualmente el LIS cuenta con una amplia cobertura de estaciones de acelerógrafos que registran continuamente los datos de cada evento sísmico. Sin embargo, debido a los efectos locales (como tipo de suelo o topografía) y a la ubicación muchas veces de puentes importantes en zonas rurales poco pobladas y con poca densidad de equipos, es recomendable ampliar el número de estaciones en función de la densidad de puentes y no necesariamente la densidad de población. El LIS junto a la Unidad de Puentes del LanammeUCR, han identificado algunas áreas en las cuales se podría



ubicar nuevos equipos que permitirían recolectar datos más precisos y mejorar los resultados de las interpolaciones de intensidad sísmica experimentada, con énfasis en los puentes de mayor importancia para el país. Los objetivos de investigación o de uso práctico de los nuevos equipos a colocar, se resumen a continuación:

- 1) Investigar la respuesta dinámica ante acciones sísmicas para puentes seleccionados por su importancia, valor económico, tipo de estructura o alguna otra característica especial, y por lo tanto, se busca ubicar el equipo lo más cercano a la estructura del puente. Puentes como el de La Amistad (río Tempisque) o Rafael Yglesias (río Colorado), son sitios en donde se busca colocar los equipos lo más próximo a los bastiones.
- 2) Ubicar equipos en zonas donde se encuentren concentrados puentes importantes y que no cuenten con estaciones cercanas a su ubicación. Esto es ayuda no solo para mejorar la cobertura de acelerógrafos actual del LIS-INII, sino que también brinda datos importantes para optimizar los resultados que se obtienen de la implementación del protocolo de inspección post-sismo de puentes desarrollado por la UP, ya que en dicha metodología se utilizan pseudo-aceleraciones interpoladas para estimar los daños en puentes y así priorizar las inspecciones.
- 3) Buscar ubicar los equipos tomando en cuenta distintas tipologías estructurales de puentes para analizar la respuesta sísmica de diversas estructuras.
- 4) Procurar ubicar los equipos en sitios donde el tipo de suelo sea representativo para puentes circundantes; esto ayuda a mejorar la estimación respecto a los efectos de sitio.

A continuación, se presenta de forma resumida el procedimiento que se sigue para determinar los nuevos sitios donde se colocarían los equipos. En total el LIS cuenta con 20 estaciones disponibles, y se proponen 21 posibles sitios para su colocación. De estos, 4 equipos ya fueron colocados en el año 2016 en Parrita, Bagaces, Proyecto Hidroeléctrico el General y San Pablo de Turrúcares, por lo que no se incluyen en los listados.

a) Ubicación de equipos

Según los objetivos de investigación mencionados anteriormente, se definen una serie de variables con las cuales es posible generar criterio para seleccionar las regiones donde ubicar los acelerógrafos. Las variables son las siguientes:

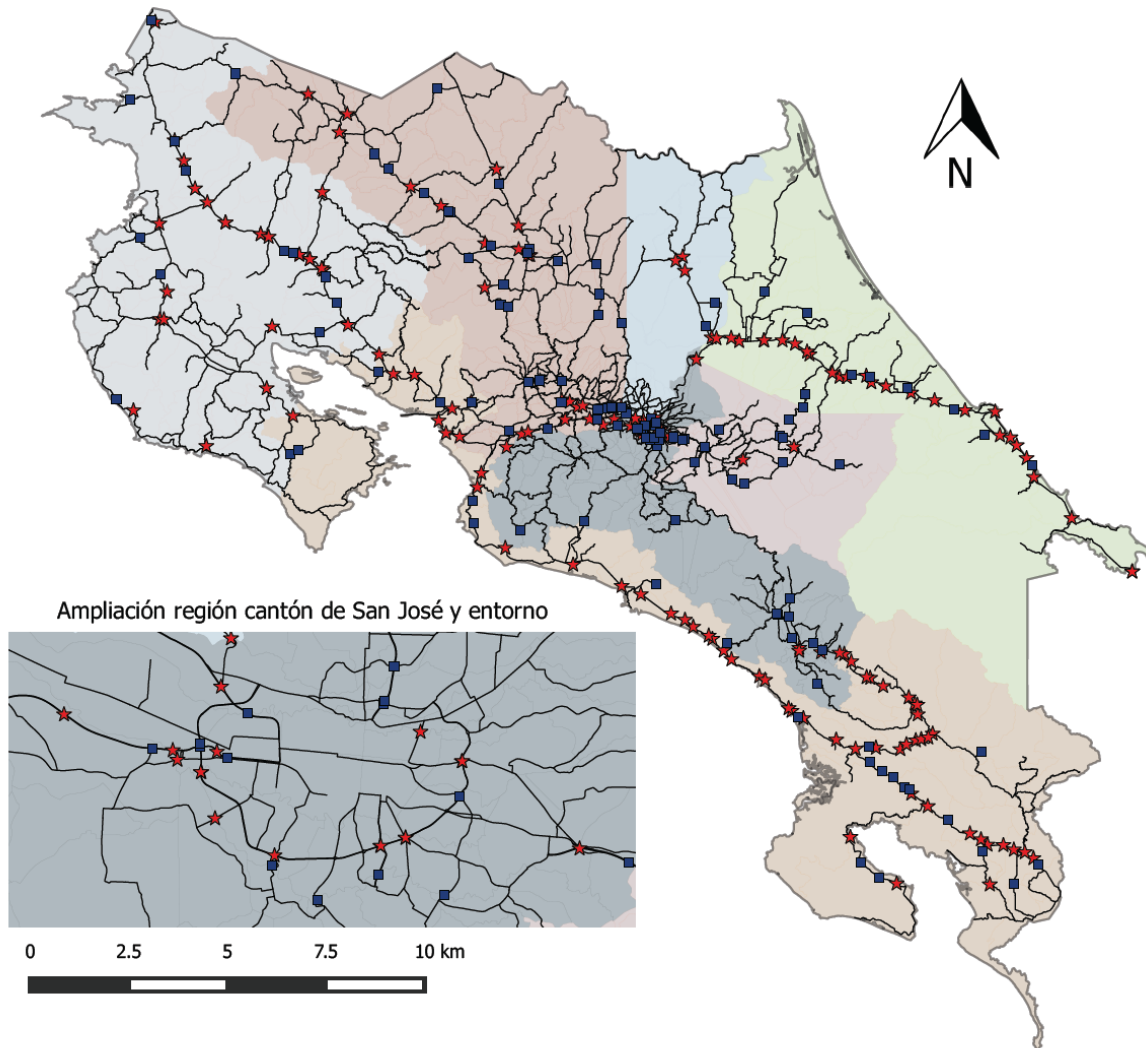
- *Puentes de importancia especial:* son 3 puentes: puente sobre el río Tempisque (Puente la Amistad), puente sobre el río Colorado (Puente Rafael Iglesias) y puente sobre el río Sixaola en la frontera con Panamá.



- *Puentes importantes:* definidos así por su longitud total y la importancia de la ruta. Son en total 169 puentes incluyendo puentes de importancia crítica con tramo máximo mayor a 50 metros y puentes con longitud mayor a 100 metros para puentes esenciales y convencionales (definición de importancia en [capítulo 3](#)). Los 50 metros corresponden a la longitud máxima práctica para la cual es posible colocar un puente modular en caso de emergencia sin necesidad de construcción de pilas entre tramos.
- *Puentes relevantes:* son puentes mayores a 30 metros de varios tramos en ruta nacional primaria (denominados en este proyecto como puentes de tamaño medio), y puentes con longitudes mayores a 50 metros para rutas nacionales secundarias y terciarias; en total son 125 estructuras.
- *Densidad de puentes:* cantidad de estructuras calificados como importantes y relevantes en un área de 30 km alrededor del puente.
- *Densidad de acelerógrafos:* estaciones de la red del LIS en un área de 30 km alrededor del puente seleccionado (total equipos del LIS:90 acelerógrafos).
- *Distancia del puente al equipo LIS más cercano.*
- *Tipo de suelo.*
- *Estructura:* tipo de estructura del puente según la clasificación de la NBI (National Bridge Inventory) ([FHWA, 1995](#)).
- *El transito promedio diario, TPD* (Según base de datos de planificación del MOPT ([2013](#))).

Para el caso de los puentes de importancia especial, los equipos deberán ser instalados en las proximidades de las tres estructuras anotadas anteriormente. Si fuera posible, se busca ubicar dos estaciones para el puente sobre el Río Tempisque, una en cada uno de los extremos. Además de estos cuatro sitios ya definidos, se proponen otros diecisiete sitios posibles de ubicación de acelerógrafos en las áreas cercanas a los puentes descritos como importantes. En la [figura 2.7](#) se muestra un mapa de puentes importantes y relevantes.

Para la selección de los sitios restantes, se realiza un análisis de las variables de la densidad de puentes y estaciones, del tipo estructural y del tipo de suelo para ubicar estos equipos. Un radio de 30 km para los cálculos de densidad fue escogido en este estudio basándose en los daños observados en puentes para el terremoto de Limón del 1991, en donde muchas estructuras ubicadas en un radio de 30 km del epicentro sufrieron daños severos o de colapso total. La tabla con los cálculos de las variables mencionadas y el orden de priorización obtenido se adjunta en el [anexo A](#) para cada uno de los 169 puentes definidos como importantes. En la [figura 2.8](#) se muestra la ubicación de los puentes importantes, y los tipos de suelos para el país según la descripción realizada por el Código de Cimentaciones de Costa Rica CCCR 2009 ([ACG, 2009](#)).



- Leyenda**
- Puentes relevantes
 - ★ Puentes importantes

25 0 25 50 75 100 km



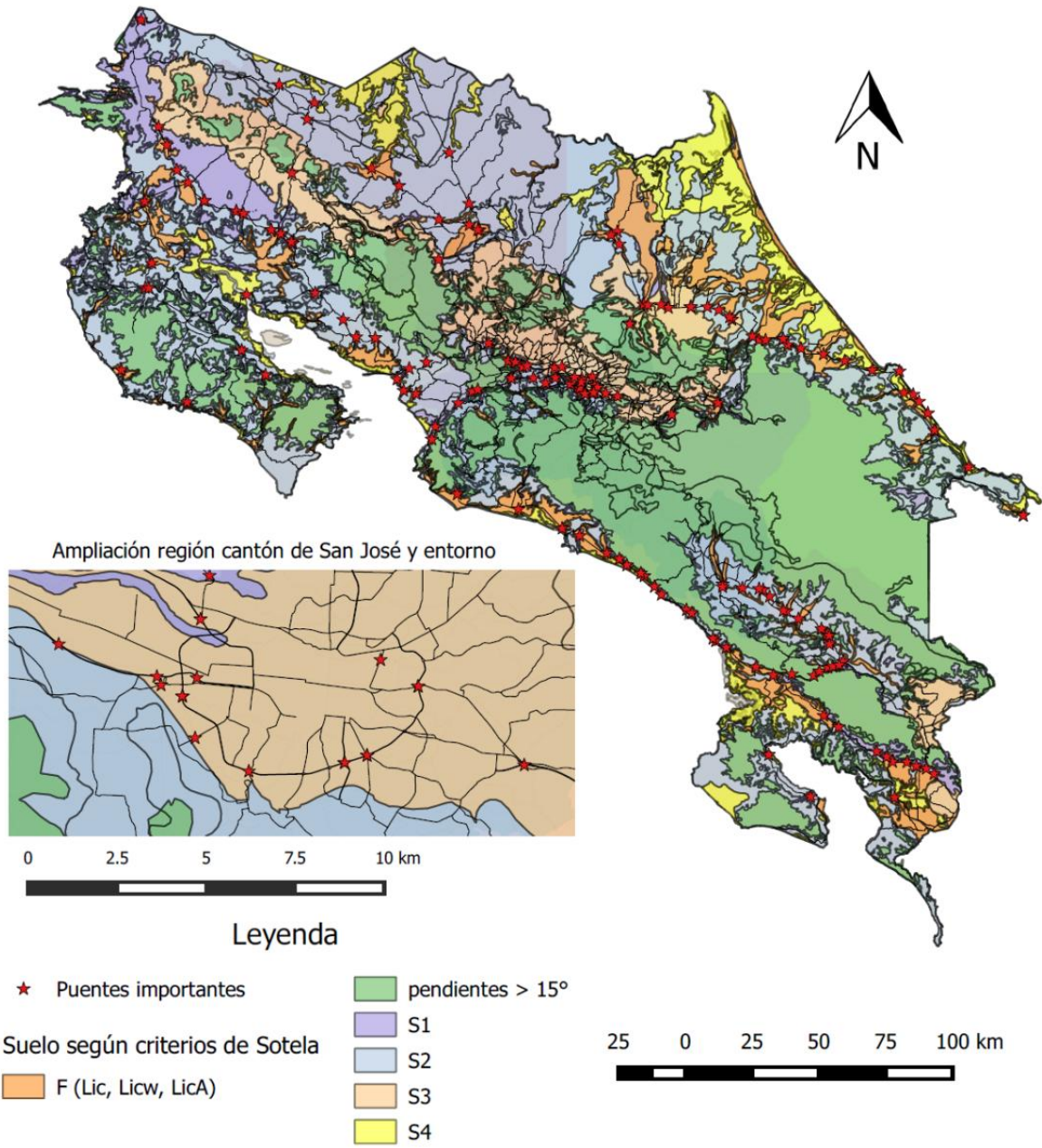
Mapa de puentes de mayor importancia y relevancia por longitud total en la RVN

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 12.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 2.7. UBICACIÓN DE PUENTES IMPORTANTES Y RELEVANTES EN LA RVN DE COSTA RICA



Mapa de tipo de suelo mejorado siguiendo el procedimiento de Sotela (2012)

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 12.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 2.8. TIPO DE SUELOS SEGÚN SOTELA-SOBRADO (2011) Y UBICACIÓN DE PUENTES IMPORTANTES



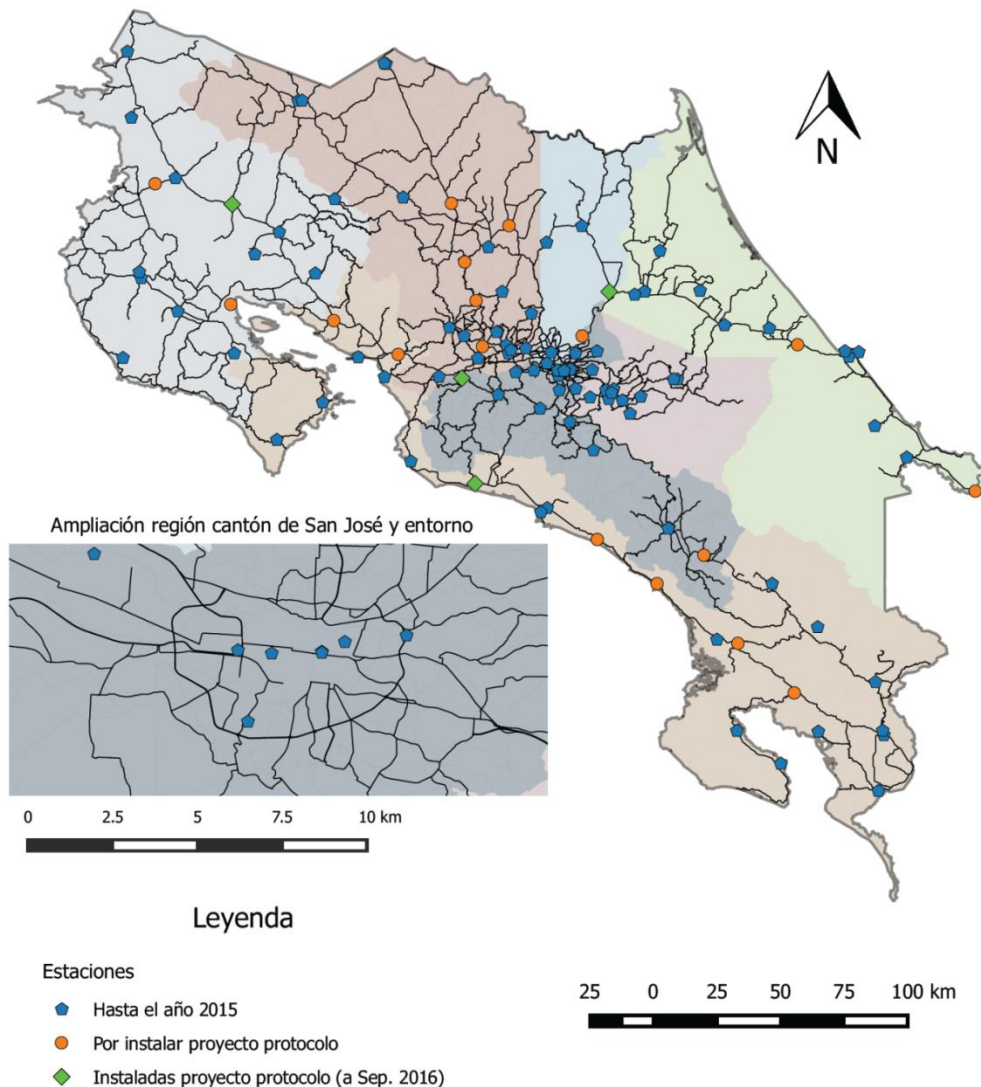
Tabla 2.1. PARAMETROS DE PRIORIZACIÓN PREVIO Y POSTERIOR DE COLOCACIÓN DE NUEVAS ESTACIONES (en azul los parámetros que registran mejora)

Orden Prioridad	Ruta	Nombre del Río o Paso a Desnivel	Densidad de Puentes	Sin Nuevos Equipos		Con Nuevos Equipos	
				Distancia a estación LIS (km)	Cantidad de estaciones LIS	Distancia a est. LIS (km)	Cantidad de est. LIS
1	34	R. Coronado	24	12,98	1	12,98	4
2	34	R. Tortuga	22	18,98	1	13,39	4
3	34	R. Balso	22	17,64	1	14,72	4
4	35	R. Chimurría	13	21,86	1	21,86	2
5	21	R. Tempisque	12	15,64	1	7,63	2
7 y 8	36	R. Sixaola B/A	3	29,97	1	0,49	2
12	2	R. Terraba	30	8,08	2	0,33	4
14	34	R. Balzar	29	2,03	2	2,03	3
16	2	R. General	26	13,97	2	5,95	4
18	34	R. Uvita	25	22,52	2	1,09	4
19	34	R. Higerón	25	21,68	2	1,25	5
33	1	Paso Liberia	14	1,99	2	1,99	3
35	34	R. Portalón	11	19,74	2	3,46	3
52	2	R. Zapote	27	14,82	3	6,58	5
59	2	R. Unión	24	20,05	3	2,82	5
60	2	R. Salama Viejo	23	23,52	3	5,57	5
61	35	R. San Carlos	23	17,33	3	3,06	6
68	1	R. Colorado	13	5,74	3	5,74	4
80	2	R. Piedras Blancas	26	17,05	4	1,96	5
87	23	R. Barranca	17	5,90	4	5,90	6
90	18	R. Tempisque	15	13,45	4	8,76	5
91	34	Q. Matapalo	14	23,32	4	0,20	6
92	32	R. Cuba	14	15,59	4	2,96	5
106	27	R. Jesús María	18	4,95	5	4,95	6
112	32	R. Chirripó	15	7,48	5	5,41	6
125	1	R. Barranca	17	9,86	6	3,00	8

Con las variables mencionadas anteriormente, se generó una lista de priorización de ubicación de acelerógrafos como ayuda para seleccionar la ubicación de futuros equipos que proveerá el LIS. El resultado de esta priorización se describe en la [tabla 2.1](#) y se muestra gráficamente en la [figura 2.9](#). Para generar esta tabla se toman en cuenta las siguientes variables ordenadas por importancia: menor cantidad de estaciones LIS en un radio de 30 km, mayor cantidad de puentes importantes y relevantes en un radio de 30 km del puente, mayor distancia a estaciones existentes del LIS, y el tránsito promedio diario. Además, se buscó en lo posible que el sitio donde se ubique



el equipo presente la misma clasificación de tipo de suelo representativo para la zona. Como se observa en la [tabla 2.1](#), la ubicación de los equipos no responde directamente a la priorización para ubicar los equipos, sino el mejoramiento en términos de distancia puente-estación y número de estaciones cercanas.



Mapa de estaciones de acelerógrafos del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS)

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 12.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 2.9. UBICACIÓN ACTUAL DE LA RED DE ACELEROGRAFOS DEL LIS Y PROPUESTA DE UBICACIÓN DE NUEVOS EQUIPOS SEGÚN LA TABLA 2.1



2.4 INVENTARIO Y ESTADO DE LOS PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL

En nuestro país, la información sobre los puentes existentes en la red vial nacional (RVN) y municipal es limitada. Como referencia inicial, el documento elaborado en el año 2007 por la Agencia de Cooperación Japonesa “JICA”, contabiliza unos 1330 puentes en toda la RVN de Costa Rica (JICA, 2007). Esto corresponde a un poco más de 36 kilómetros de puentes construidos. Para la red vial cantonal, se estima que la cantidad de puentes podría superar las 5000 unidades, aunque no existe un inventario físico para todos los cantones (Ramírez, 2010).

Para determinar el comportamiento de los puentes ante un sismo, uno de los pasos es conocer aspectos como las características estructurales, el estado de conservación y las normativas de diseño con las que fueron concebidas las estructuras. Debido a las limitaciones del inventario existente proporcionado por el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), la unidad de puentes del LanammeUCR realizó un trabajo de inventariado de puentes para la RVN (Muñoz-Barrantes et al., 2016). Este trabajo se enfocó en la determinación de aspectos estructurales básicos y geo-referencia de las estructuras, sin incluir su estado de condición. Gracias a la recopilación de información en este inventario, se obtienen los datos necesarios para describir y sustentar estadísticamente las tipologías de puentes comunes en Costa Rica, incluyendo en muchos casos las consideraciones sísmicas de diseño, según el año de la norma utilizada.

En este trabajo no se incluye dentro del análisis el estado actual de la estructura, ya que en el país no existe un estudio reciente que indique el estado de deterioro y obsolescencia de las estructuras de puentes. El estado puede afectar el comportamiento como se comenta adelante en el apartado 2.4.2. En el 2015, el LanammeUCR publicó una encuesta de percepción de la población costarricense sobre la condición de los puentes en las vías nacionales; los resultados se muestran en la tabla 2.2 (Barrantes-Jiménez, Sanabria-Sandino, & Loría-Salazar, 2015). La encuesta se realizó a 1215 adultos con perfil educativo y económico variado.

Tabla 2.2. CALIFICACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE PUENTES POR REGIÓN
(Barrantes-Jiménez et al., 2015)

Región	Estado de Condición de los puentes % (encuesta a la población)					
	Muy Mala	Mala	Regular	Buena	Muy Buena	No Responde
Metropolitana	31,2	33,3	25,1	8,4	0,9	1,1
Valle Central	25,8	34,0	30,4	8,2	0,0	1,6
Resto del País	22,6	29,0	33,7	11,5	0,8	2,4



Los resultados de la [tabla 2.2](#) muestran una percepción negativa de la población costarricense sobre la condición de este tipo de estructuras en el país, siendo evidente que los escándalos producto de malas decisiones del gobierno en torno a reparaciones de puentes importantes y el abandono en que se encuentran muchas estructuras por parte de la administración afecta su imagen ([Barrantes-Jiménez et al., 2015](#)).

En este informe, se presentan de forma resumida los datos del inventario elaborado por la Unidad de Puentes del LanammeUCR que consta de 1433 unidades de puentes que son parte o cruzan la red vial nacional costarricense ([Muñoz-Barrantes et al., 2016](#)). En la [tabla 2.3](#) se muestran los puentes inventariados según el obstáculo que cruzan y administrador. También, dentro de los aspectos incluidos en este inventario se realizó una clasificación por importancia operacional en caso de sismo elaborada según los parámetros establecidos por los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes de Costa Rica ([CFIA, 2013](#)), los detalles de importancia por puente se muestran en el [anexo B](#). Esta clasificación establece la magnitud de las cargas de sismo para las cuales debe ser diseñado o readecuado un puente. La [figura 2.10](#) muestra la distribución de puentes por importancia en el país, incluyendo un recuadro con el detalle para el área capitalina.

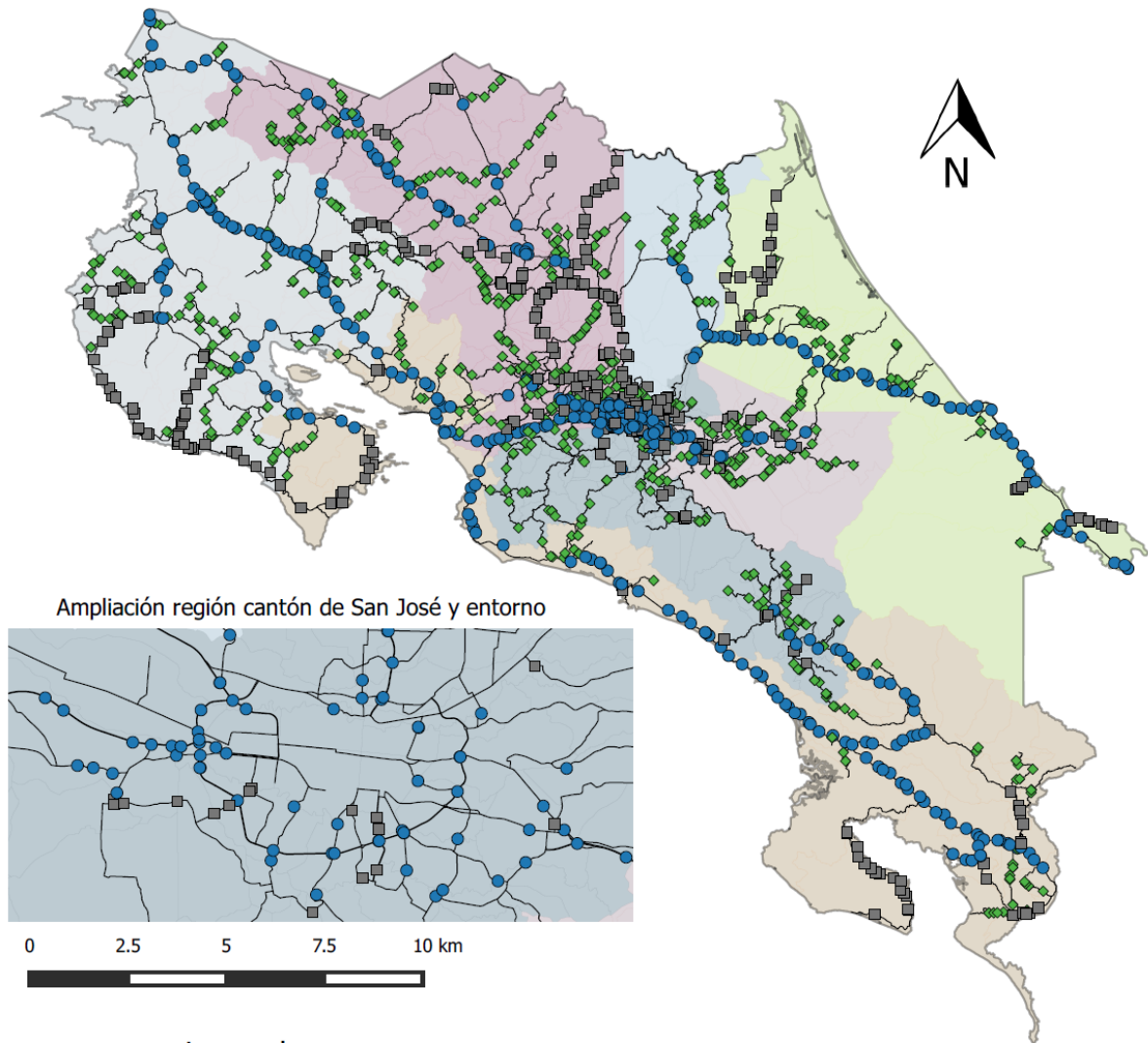
Tabla 2.3. PUENTES SEGÚN EL OBSTÁCULO QUE CRUZAN Y ADMINISTRADOR

Total de puentes	Puentes Red Vial Nacional (1395 unidades)					Pasos del Ferrocarril	Paso en Camino Municipal
	Quebrada o Río	Canal o Caño	Estero	Paso a Desnivel	Desuso Reciente		
1433	1277	41	12	62	3	9	29
100%	89,11%	2,86%	0,84%	4,33%	0,21%	0,63%	2,02%

2.4.1 Normativa

Tradicionalmente en el país se ha utilizado normativa extranjera para tratar temas relativos a puentes y no es hasta hace pocos años que se ha elaborado normativa local específica para este tema. Para aspectos constructivos, la práctica actual se regula mediante el uso del Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010), la demanda sísmica para puentes nuevos y rehabilitación esta normada mediante los recientes Lineamientos para el diseño Sismorresistente de Puentes (LDSP-2013), y actualmente se trabaja en el Manual de Puentes para Costa Rica.

La norma estadounidense de la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte (AASHTO-por sus siglas en inglés) ha sido, y sigue siendo, la guía de uso usual para la mayoría de los aspectos de diseño en puentes públicos en el país.



Leyenda

Importancia

- Crítico
- ◆ Convencional
- Esencial



Mapa de puentes por importancia operativa según los LDSP (CFIA 2013)

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 12.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 2.10. PUENTES POR IMPORTANCIA ELABORADO SEGÚN LOS CRITERIOS LDSP-2013



La [tabla 2.4](#) señala hitos importantes de cambio en la Norma AASHTO respecto al diseño sísmico de puentes así como los cambios en la normativa para estimación de la demanda por sismo para edificaciones y puentes en Costa Rica. Desde el punto de vista del diseño sismo resistente, la norma AASHTO no incluía aspectos suficientes de diseño apropiados para sismo previo a la normativa de 1977 por lo que los puentes antes de este año deben ser considerados de alto riesgo ([Santana, 1999](#) y [ODOT, 2009](#)). Por otra parte, no es hasta los puentes diseñados con normativa posterior a 1992, que los puentes son sísmicamente adecuados según la FHWA ([2006](#)).

Otra consideración importante de diseño es la de vida útil de servicio. Se utilizó una vida útil servicio de 50 años para el diseño de puentes por sismo hasta la norma AASHTO del 2002 ([AASHTO, 2002b](#)). Desde la normativa AASHTO-LRFD del 2007 ([AASHTO, 2007](#)), se debe realizar el diseño de puentes para una vida de servicio de 75 años, lo cual quiere decir que aspectos importantes del diseño fueron realizadas como la modificación de cargas de tránsito, consideraciones de durabilidad de los materiales y un aumento en la magnitud de las cargas de sismo (probabilidad de excedencia pasa al 7%). En los nuevos Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes en Costa Rica del 2013, LDSP-2013, se toma en cuenta este cambio de vida útil de servicio para determinar las cargas de sismo para nuestro país ([CFIA, 2013](#)).

Los LDSP-2013 nacen debido a la necesidad del país de tener reglas claras para el diseño, rehabilitación y procesos de licitación en Costa Rica, en el ámbito de la sismo resistencia de puentes. Si bien las normas AASHTO siguen siendo la base del diseño de puentes en el país, los nuevos lineamientos brindan parámetros importantes para adaptar de forma apropiada el uso normativa estadounidense, específicamente para la estimación de cargas de sismo. Las cargas sísmicas en los lineamientos se estiman con un procedimiento distinto a lo indicado en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 ([CFIA, 2010](#)), ya que se calculan los espectros de respuesta para el puente y no se utiliza el *FED* (factor espectral dinámico). Además, se utilizan escenarios de amenaza con periodos de retorno *PR* distintos y los espectros de diseño no son modificados por ductilidad.

La [tabla 2.5](#) y la [figura 2.11](#) muestran la cantidad de puentes construidos para distintos periodos de tiempo en Costa Rica. Las fechas límites tienen relación aproximada con la entrada en vigencia de aspectos importantes de diseño sismorresistente de la norma AASHTO. Esta información se obtiene del inventario de la Unidad de Puentes del LanammeUCR para 1433 puentes identificados en la red vial nacional ([Muñoz-Barrantes et al., 2016](#)).



Tabla 2.4. RESUMEN DE CAMBIOS MAYORES EN LA NORMA DE DISEÑO SISMORRESISTENTE DE LA AASHTO Y LA ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN COSTA RICA

Período o Año	Normativa AASHTO (Caltrans, 2003; ODOT, 2009 y Penzien, 2001)	Estimación amenaza sísmica en Costa Rica
Antes 1958	De la AASHTO 1949 a AASHTO 1957, las cargas por sismo son mencionadas pero sin lineamientos. Cargas laterales típicamente por presión de viento (ej: Clark, 1947)	-
1958-1974	Especificaciones del AASHTO 1961 a AASHTO 1973 puentes diseñados para cargas lateral de sismo entre el 2-6% del peso propio	-
1971	<i>Terremoto de San Fernando, California USA.</i>	
1973	<i>Terremoto de Tilarán, Costa Rica</i>	
1974	Primer Código sísmico de Costa Rica para edificaciones CSCR-1974	
1975-1990	En 1975, la AASHTO adopta especificación interina. En normas estándar AASHTO 1977 a AASHTO 1989 puentes diseñados para cargas de sismo entre el 8-12% del peso propio; opcional uso de LFD o WSD**. Desde la AASHTO 1983 se aconseja el uso de la guía AASHTO 1983 para diseño sismorresistente de puentes (guía basada en la ATC-6 del 1981)	
1986	CSCR-1986 (mapas amenaza con PR de 50, 100, 500 y 1000 años)	
1989	<i>Terremoto de Loma Prieta, California USA</i>	
1991	<i>Terremoto de Limón, Costa Rica</i>	
1992 - 1996	Incorporación en la norma estándar de la AASHTO 1992 y 1996 de la mayoría de los aspectos de la guía AASHTO 1983 para diseño sismorresistente de puentes	
1994	Primera especificación AASHTO LRFD**, división en 3 clasificaciones de puentes: críticos, esenciales y otros	Primer Código de Cimentaciones de Costa Rica (incluye procedimiento de análisis para licuefacción)*
2002	CSCR 2002 (aceleración pico efectiva con PR de 500 años)	
2004	Incluye efectos por licuefacción de forma rutinaria para el diseño (ODOT, 2009) (no vinculante en Costa Rica*)	
2010	CSCR 2010 (aceleración pico efectiva con PR de 500 años)	
2012	<i>Terremoto de Samara, Costa Rica</i>	
2013	LDSP (2013): amenaza con periodos de retorno de 500, 1000, 2500 años	

*En Costa Rica el profesional responsable debe verificar si sitio elegido presenta riesgo a licuefacción (CFIA, 2013)

**LFD: load factor design, WSD: working stress design, LRFD: load & resistance factor design

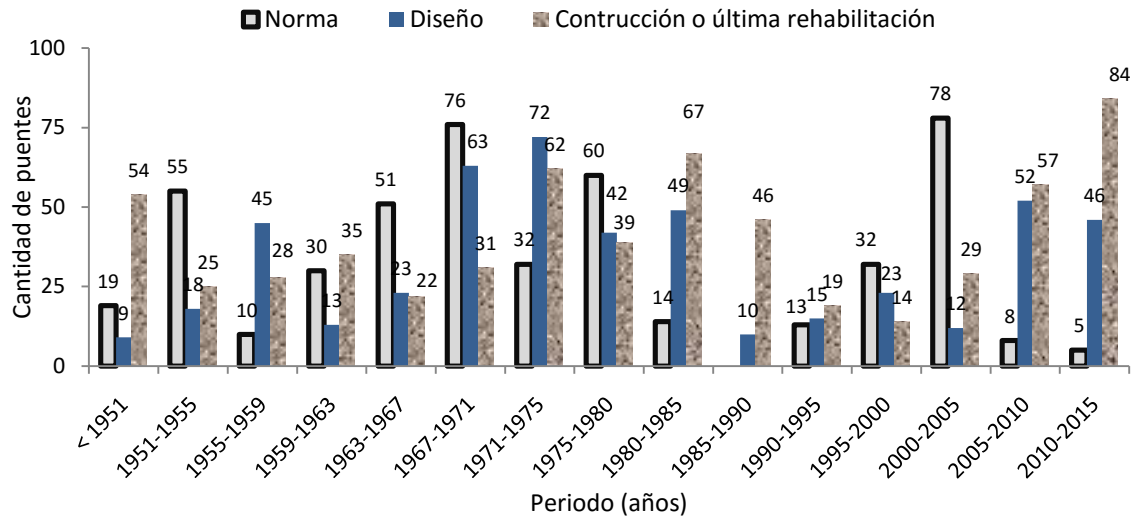


Figura 2.11. PUENTES POR PERÍODO DEL AÑO DE DISEÑO, NORMA Y CONSTRUCCIÓN

Tabla 2.5. VULNERABILIDAD DE PUENTES SEGÚN SU NORMATIVA Y AÑO DE CONSTRUCCIÓN

Año de normativa AASHTO	Cantidad de puentes (por norma 441 + por construcción/rehabilitación 294 = 829 puentes)	Vulnerabilidad del puente a sismo (ODOT, 2009)
Antes de 1977	261 + 163 = 424	Significativa
1977 y 1983	63 + (87+27) = 177	Moderada
1992-2002	99 + (27+15) = 141	Baja
2007-presente	18 + (25+44) = 87	Muy baja

Se observa en la [tabla 2.5](#) que más de un 50% de los puentes con información de norma o año de construcción, presentan una vulnerabilidad por sismo significativa, según la clasificación del Departamento de Transporte de Oregon, ya que muchas estructuras fueron diseñados con normas anteriores a 1977 (ODOT, 2009). Por otra parte, también solo por aspectos de fechas de diseño y construcción, se puede inferir que la cantidad de puentes diseñados o rehabilitados tomando en cuenta consideraciones por licuación de suelos es muy poca (según se observa en la [tabla 2.4](#)). Adicional a esto, para una importante cantidad de estructuras no se cuenta con información suficiente como para estimar su año de diseño o construcción. Estos puentes corresponden a más del 40% del total de unidades en la red vial nacional. Es posible que muchas de estas unidades se traten de puentes antiguos o puentes pequeños sin planos particulares (de planos estándar del MOPT), para los cuales se ha dificultado encontrar información.



2.4.2 Deterioro y defectos en puentes

Respecto al comportamiento sísmico de los puentes, los factores de daño o defectos que afectan negativamente el desempeño sísmico de los puentes son muchos y de origen variado. Entre uno de los defectos que se encuentra comúnmente en puentes diseñados previo a la vigencia de las normativas sismorresistentes es una insuficiente longitud de apoyo de la superestructura sobre pilas o bastiones, insuficiente cantidad de acero de refuerzo por cortante en columnas y muros, o la ausencia de topes sísmicos (ODOT, 2009). Hay también aspectos relacionados con defectos que presenta el puente que no corresponden a su concepción en la etapa de diseño relacionada al uso códigos antiguos, sino más bien a aspectos como errores constructivos, el desconocimiento de una amenaza o de la magnitud de su posible intensidad, el diseño inadecuado basado en estudios preliminares mal realizados, estructuras sin un diseño realizado por profesionales capacitados o la negligencia del profesional responsable.

Los puentes, como cualquier otro tipo de estructura civil, sufren deterioros a lo largo de su vida útil debido a sus condiciones de uso y ambientales. La progresión del deterioro con el tiempo va reduciendo los márgenes de desempeño estructural y funcional originales de diseño, hasta que la estructura cumple con su vida de servicio (Woodward, Vassie, & Godart, 2000). En Costa Rica, los puentes experimentan un deterioro acelerado debido a la falta de trabajos de mantenimiento y labores de rehabilitación oportuna (JICA, 2007). Además, estos están constantemente expuestos a los efectos negativos del clima tropical y a la incidencia de múltiples amenazas naturales, tales como sismos y crecidas de ríos, que dañan las estructuras y cuyos efectos en ocasiones fueron remediados temporalmente o siguen sin recibir un tratamiento adecuado, lo que podría reducir la vida de servicio del puente y aumenta su posibilidad de sufrir daños ante sismos.

Desde el punto de vista sísmico, un daño es de importancia cuando se modifica la resistencia, la ductilidad o rigidez de elementos o sistemas estructurales del puente aumentando su fragilidad. Un daño común en puentes se da en los apoyos; estos suelen presentar problemas como corrosión que reduce su efectividad para transmitir las cargas y cumplir así con las demandas de desplazamiento o rotaciones de diseño. Otro daño común se da por socavación en los cimientos; esta condición modifica el comportamiento de la estructura facilitando, por ejemplo, la generación de rotulas plásticas en pilotes y cabezales del pilote, lo cual también puede aumentar la magnitud de los desplazamientos laterales incrementando el riesgo a colapso de la superestructura.

Otro aspecto que afecta negativamente la estructura es la existencia de daño previo por sismo. Típicamente, estos efectos se evidencian mediante agrietamiento y desprendimientos del concreto, corrimientos y rotaciones en los componentes de la subestructura (columnas, pedestales, apoyos, llaves de corte y cimientos), y desplazamientos o golpes sobre de la superestructura (evidentes en



las juntas de expansión) en puentes simplemente apoyados (ver [figura 2.12](#)). Para el caso específico de un deterioro relacionado a un sismo anterior, la magnitud de los daños esperados depende de la intensidad sísmica a la que estuvo sujeta la obra, a las normas sismorresistentes de la época para la cual fueron diseñados y la tipología del puente. Un puente que presenta ya daños relacionados a eventos anteriores es más riesgoso ya que los daños existentes posiblemente se acentúen. En el [apartado 2.5.2](#) se presenta mayor detalle sobre los grados y tipos de daños por sismo en puentes. Los efectos adversos observados luego de sismo en las estructuras de puentes evidencian los puntos principales donde, de existir deterioro o defectos constructivos, los puentes verían reducida en mayor cuantía su capacidad original de resistir las cargas por sismo. La fragilidad estructural de los puentes dañados (particularmente por sismos anteriores) debería modificarse según su estado de deterioro ya que el deterioro inicial podría llevar a una reducción de su capacidad de diseño original inclusive superior al 50% ([Banerjee & Chi, 2013](#)); sin embargo, esto queda fuera del alcance actual de este estudio.



a) rotación en bastión



b) abertura en junta



c) cemento dañado

Figura 2.12. DETERIORO POST-SISMO EN PUENTES DE LA RUTA 32. a) ROTACIÓN DE BASTIONES (RÍO BLANCO), b) ABERTURA DE JUNTAS (RÍO CUBA) Y c) CIMIENTO DAÑADO (RÍO TORO) ([Unidad de Puentes-LanammeUCR, 2014](#))



El daño en puentes por falta de mantenimiento o reparaciones oportunas incrementan su vulnerabilidad a sismo y otros eventos por lo que en el país es urgente el uso de herramientas que con base al estado de deterioro y durabilidad de las estructuras se conviertan en instrumentos útiles de gestión a la hora de tomar decisiones de cómo invertir eficientemente los recursos. Uno de los métodos que ayudan en la gestión de puentes es vincular labores administrativas a un análisis de ciclo de vida; siendo útiles los resultados para establecer, por ejemplo, los momentos en la vida de la estructura cuando es óptimo realizar trabajos de rehabilitación, readecuación o recambio de puentes y para evaluar el costo total del proyecto, incluyendo los costos en el tiempo, del tipo de puente que se decida construir en proyectos nuevos. Varios conceptos provenientes de un análisis por ciclo de vida se muestran de forma esquemática en la [figura 2.13](#).

Es importante también dar a conocer y promover en la empresa privada y la administración pública aspectos relativos a conocimientos sobre prácticas para la construcción de puentes en función, no solo de aspectos estructurales/funcionales relacionados con resistencia de materiales y la seguridad vial, sino que también con otros tópicos como durabilidad, facilidad de inspección, estética o consideraciones ambientales, para lo cual es necesario también redoblar esfuerzos en elaboración y revisión de normativa de diseño, controles de construcción y mantenimiento. En un ejemplo sobre las ventajas de tomar en cuenta aspectos de durabilidad desde el diseño, para 2099 obras de infraestructura de concreto analizadas por el PWRI en Japón, se encontró que el deterioro de la mayoría de las estructuras pudo ser evitado desde las etapas iniciales de construcción y diseño, ya que las causas predominantes de daño se dieron debido a un insuficiente recubrimiento y pobres propiedades del concreto ([Watanabe & Koga, 2006](#)).

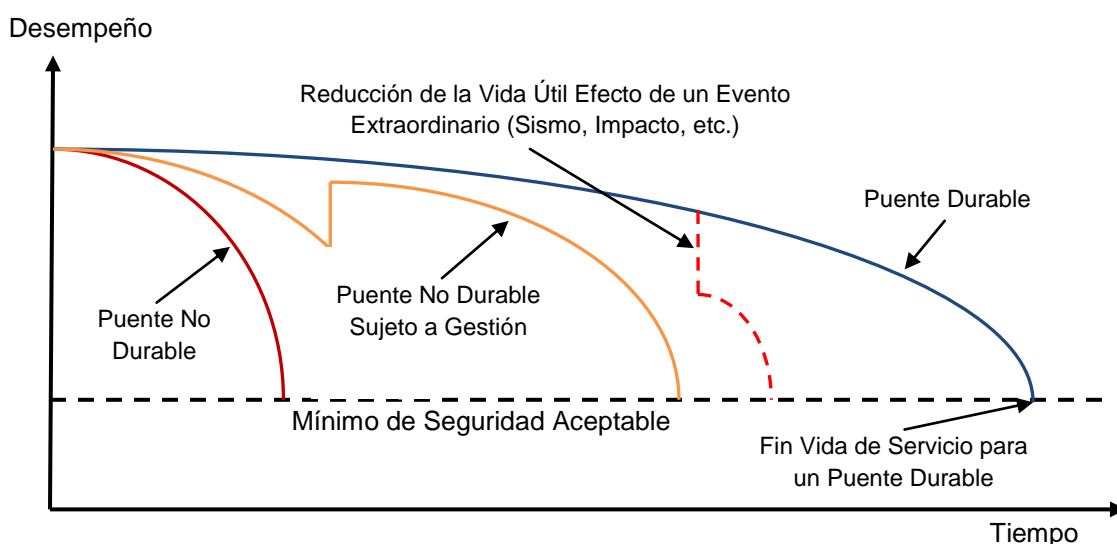


Figura 2.13: VARIACIONES DE DESEMPEÑO DE UN PUEBLES DURANTE SU CICLO DE VIDA (modificado de Woodward, Vassie, & Godart (2000))



2.4.3 Aspectos del inventario de puentes

Aquí se resumen los aspectos estructurales necesarios para caracterizar la fragilidad sísmica de los puentes haciendo uso de curvas de fragilidad en este estudio. Según la información recopilada en el inventario elaborado (Muñoz-Barrantes et al., 2016) y siguiendo la terminología del NBI (código “43” (FDOT, 2015)), en Costa Rica se identificaron 13 taxonomías según sus características estructurales. Se incluye una categoría de *otros*, generando así una decimocuarta clasificación con código 00. Los 13 tipos encontrados se detallan en la [tabla 2.6](#). La clasificación por tipo se pudo realizar para un total de 861 puentes en este estudio y se detalla en la [tabla 2.7](#). Se distingue en la tabla entre puentes de acero (A), de concreto reforzado (RC), de concreto preforzado (PC), y las distintas condiciones de apoyo.

Examinando la [tabla 2.7](#), es evidente que la tipología más frecuente en Costa Rica es la de puentes tipo viga múltiple con 471 unidades de puentes contabilizadas, cuyas longitudes del tramo máximo van desde los 6 metros para vigas con apoyos simples (largo mínimo de puente inventariado siguiendo el procedimiento propuesto por la NBI) hasta los 80 metros en puentes con superestructura continua de acero.

Luego de la taxonomía tipo viga, los puentes tipo cercha con viga de piso (pony/bailey) o cercha de paso medio son los más frecuentes. Es importante poner especial atención en este tipo estructural, principalmente los ubicados en rutas secundarias y terciarias, dado que muchas estructuras es posible hayan sido colocadas bajo circunstancias de emergencia como obras temporales para substituir puentes dañados. En Costa Rica, el uso de este tipo estructural podría ser permanente, aunque fueran colocados como una medida temporal.

La caracterización de los puentes por tipologías estructurales, materiales y tramos es de mucha utilidad tanto en términos administrativos, así como también para estimar la respuesta de la estructura ante solicitaciones impuestas por un evento sísmico, indicando posibles niveles de daño esperados. Los puentes pueden ser agrupados por facilidad según las características más relevantes que afectan su fragilidad ante el embate de un terremoto. Esta clasificación se detalla en el [apartado 2.5.3](#). La incidencia de determinadas características estructurales de cada tipo estructural de puentes ha sido analizada por múltiples autores para la determinación de su vulnerabilidad sísmica, esto será discutido en los siguientes capítulos.

Tabla 2.6. TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE PUENTES EN OBSERVADOS EN LAS RUTAS NACIONALES DE COSTA RICA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN NBI (FHWA, 1995)

Código NBI	Tipología	Elevación y sección típica	Puente en red nacional
01	Losa		<p>Q. Fierro Ruta 2</p>
02	Viga múltiple		<p>Savegre Ruta 34</p>
03	Viga principal con vigas de piso (incluye cercha de paso medio)		<p>Diría Ruta 21</p>
04	Viga Te O Doble Te		<p>Rosales Ruta 1</p>
05	Cajón Múltiple		<p>Salto Ruta 1</p>

Tabla 2.6. TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE PUENTES EN OBSERVADOS EN LAS RUTAS NACIONALES DE COSTA RICA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN NBI (FHWA, 1995) (continuación)

Código NBI	Tipología	Elevación y sección típica	Puente en red nacional
06	Cajón sencillo		 Reventazón Ruta 32
07	Marco o pórtico		 P. Aeropuerto R 1
09	Cercha inferior		 Virilla Ruta 1
10	Cercha superior		 Barranca Ruta 1
11	Arco inferior		 Salto Ruta 1
13	Colgantes		 Peñas Blancas Ruta 702



Tabla 2.6. TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE PUENTES EN OBSERVADOS EN LAS RUTAS NACIONALES DE COSTA RICA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN NBI (FHWA, 1995) (continuación)

Código NBI	Tipología	Elevación y sección típica	Puente en red nacional
14	Atirantados		 Tempisque Ruta 18
22	Viga canal		 María Aquilar Ruta 39

Tabla 2.7. PUENTES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LA NBI (FHWA, 1995) Y CONDICIÓN DE APOYOS

Tipología estructural según la NBI	Simplemente apoyados						Múltiples claros continuos (incluida junta tipo Gerber)			Total de Puentes
	Claro simple			Múltiples claros						
	RC	A	PC	RC	A	PC	RC	A	PC	
01 Losa	12		2	11			6		5	36
02 Viga múltiple	43	110	117	11	36	93	15	25	21	471
03 Pony y Bailey		97			25					122
04 Viga Te	8		22	3		4			6	41
05 Cajón múltiple			7							7
06 Cajón sencillo			2						6	8
07 Marco o pórtico	42						28		3	73
09 Cercha inferior		15			8			1		24
10 Cercha superior		19			16					35
11 Arco inferior	1			2						3
13 Colgantes		6			2					8
14 Atirantados								1		1
22 Viga canal			24			2			6	32
Suma	104	247	174	27	87	99	49	27	47	861



En la [figura 2.14](#) se presenta una gráfica detallando el número de tramos en estructuras con apoyo simple, tanto para puentes con superestructura de concreto y de acero. No se incluyen aquí puentes con superestructura continua. De la figura se concluye que para puentes de acero no se encontró ninguna estructura de puentes cortos (inferiores a 20 metros) con presencia de apoyo múltiple. Esto es indicador de que posiblemente muchos de los 197 puentes de acero sin información, con longitud total menor a 20 metros, sean puentes de un solo tramo con apoyo simple (ver [figura 2.16](#)). Además, para puentes de acero con largos totales entre 20 y 35 metros se encontró escasa presencia de estructuras con múltiples tramos y, analizando en detalle, estos son en su totalidad puentes antiguos con estructuras mixtas, inclusive con tramos de alcantarilla. Lo mismo se puede observar para el caso de las estructuras de puentes con superestructuras continuas de acero que se observa en la [figura 2.15](#), en donde solo 9 puentes con superestructuras continuas son menores a los 35 metros. Desde este punto de vista, es razonable y estadísticamente sustentada la conclusión de que la mayoría ($195/208 \approx 94\%$) de los puentes de acero con dimensiones menores a 35 metros podrían categorizarse como de un solo tramo; esto es de utilidad para su agrupación posterior en algún grupo de fragilidad. Siguiendo este criterio, a 222 puentes sin información de acero se les podría asignar este atributo, quedando solo 10 estructuras de acero sin clasificar.

Para el caso de puentes con superestructura de concreto, se tiene que para puentes cortos con longitudes totales menores a 20 metros es altamente probable que se traten de puentes con solamente un tramo ($142/150 \approx 95\%$). Además, para este rango de longitudes es también razonable asumir que se tratan de puentes de un solo tramo según la [figura 2.14](#) ya que solo se encontraron 7 puentes continuos de concreto en este rango de longitudes. Al igual que para puentes descritos anteriormente como de acero, se asume entonces al realizar clasificaciones en grupos de vulnerabilidad sísmica que 225 puentes de concreto con longitudes inferiores a 20 metros corresponden a puentes de un solo tramo. Restan para el caso de puentes de concreto 42 estructuras sin clasificar. La [figura 2.16](#) presenta la población total de los puentes según su largo total, el material, la disponibilidad de información y tipo de apoyo, indicando también el largo total de los puentes con superestructura continua.

Adicionalmente a la clasificación administrativa de los puentes en Costa Rica, es de utilidad realizar un análisis de estas estructuras basándose en su importancia operativa en caso de sismo. Una propuesta de clasificación de puentes por su importancia enfocada al diseño y rehabilitación sísmica de puentes se describe en los LDSP-2013 (CFIA, 2013). La clasificación que se realizó en este estudio con los detalles de los criterios utilizados se muestran en el [anexo B](#). Según su



importancia, se tienen 481 unidades de puentes descritos como *críticos*, 342 *esenciales* y 610 *convencionales*. Estos resultados se observan gráficamente en la [figura 2.17](#), donde además se indica para cuantos de los puentes se tiene información en detalle según su importancia operativa en caso de sismo.

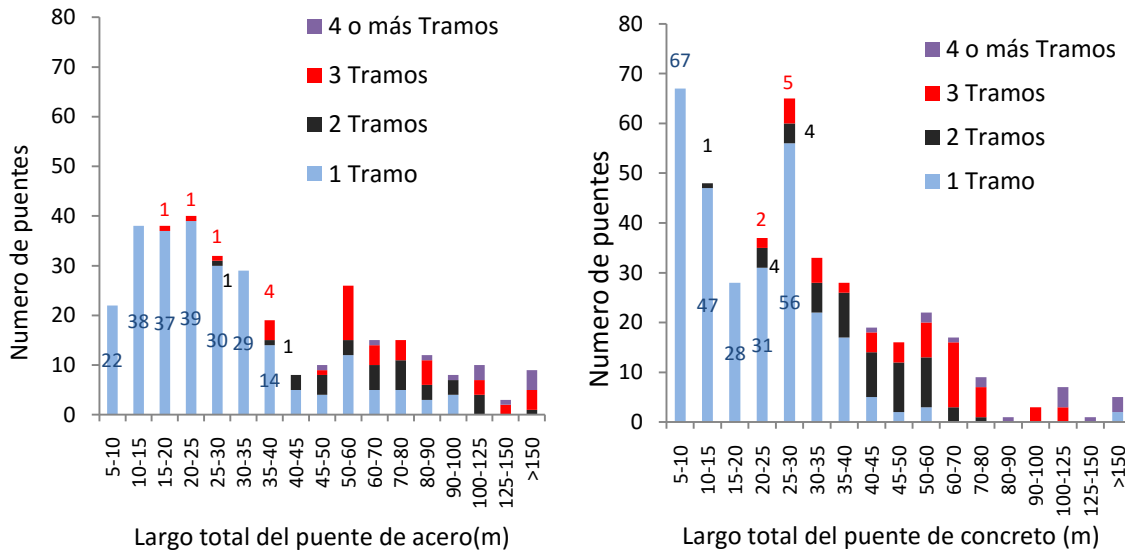


Figura 2.14. DISTRIBUCIÓN DEL NUMERO DE TRAMOS EN PUENTES CON APOYO SIMPLE

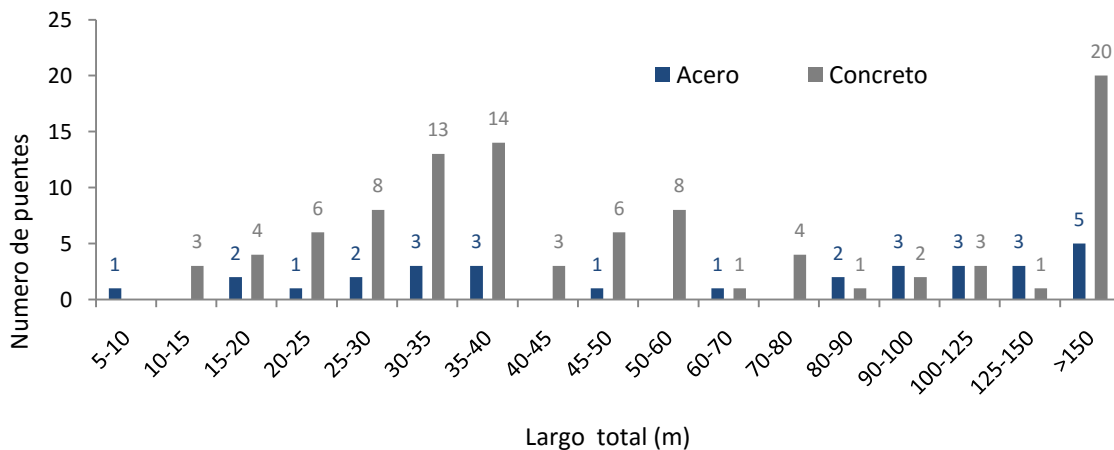


Figura 2.15. DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL PARA PUENTES CON SUPERESTRUCTURAS CONTINUAS

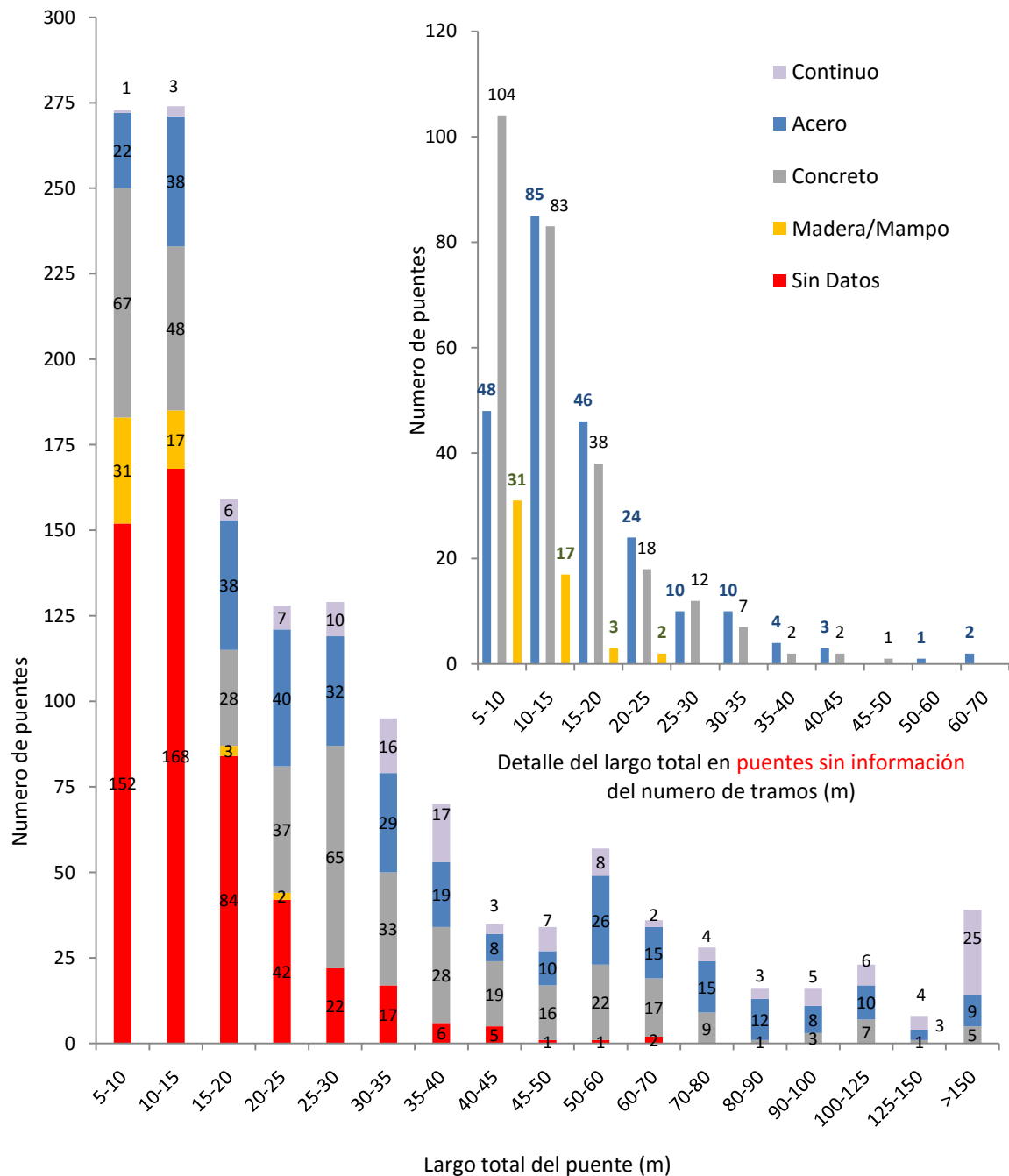


Figura 2.16. PUENTES SEGÚN SU MATERIAL, DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN, LONGITUD TOTAL Y APOYO (EN CONTINUO SE INCLUYEN AMBOS MATERIALES ACERO Y CONCRETO)

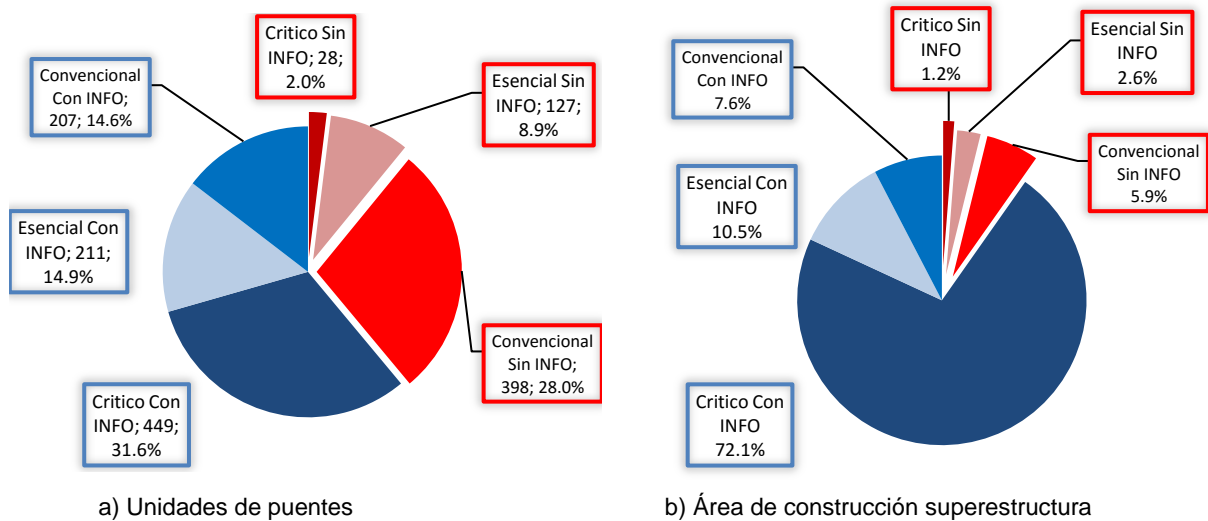


Figura 2.17. PUENTES DE LA RED VIAL NACIONAL CLASIFICADOS SEGÚN IMPORTANCIA

Diferente al número de unidades de puentes, también se puede realizar el cálculo de la disponibilidad de información en función del área de construcción en planta de la estructura. Para la clasificación por importancia, los resultados de disponibilidad de información según el área de construcción se muestran en la figura 2.17b. En la figura 2.17 no se incluyen los datos de 13 puentes en mampostería de los cuales se tiene información. De la figura 2.17 se puede concluir que, aunque no se tienen datos en detalle para aproximadamente el 40% de las estructuras de puentes en el país, estos representan en términos del área en planta de construcción un 10% del total.

Además de los puentes cuya estructura principal de soporte de la superficie de ruedo es acero o concreto analizados anteriormente, en el inventario se registran 22 puentes con superestructura de mampostería y 44 de madera. Las estructuras de mampostería fueron construidas en su mayoría previo al año 1930 y muchas se ubican en rutas secundarias. Se tiene que 4 de estas obras fueron ya declaradas como patrimonio nacional (MCJ, 2017): R. Grande RN3, R. Jesús María RN131, P. Ferrocarril Atlántico RN10 y R. Barranca RN742 (fuera de uso, al lado de puente actual). La mayoría de estos puentes han sido sujetos a ampliaciones, ya que en su mayoría fueron construidos con un ancho útil que permite un solo carril (ej: R. María Aguilar RN221). Muchos de estos puentes son cortos, diseñados para el paso de carretas pero que debido a la robustez estructural del arco y la vida útil que permite los mampuestos de calidad, han logrado sobrevivir



hasta nuestra época trabajando bajo las nuevas condiciones de carga. Un estudio en detalle de este tipo de estructuras es de importancia para conservar adecuadamente este patrimonio y estimar los niveles de seguridad para estas estructuras bajo las actuales condiciones de carga.

Los puentes de madera se encuentran ubicados en zonas alejadas del área metropolitana, principalmente en la zona norte, y normalmente son de construcción reciente. En su mayoría se trata de puentes cortos con importancia operacional *convencional*.

Tanto los puentes de mampostería como de madera quedan fuera del análisis elaborado en este trabajo. La [figura 2.18](#) muestra la distribución de los puentes con superestructura de mampostería y madera en el país.

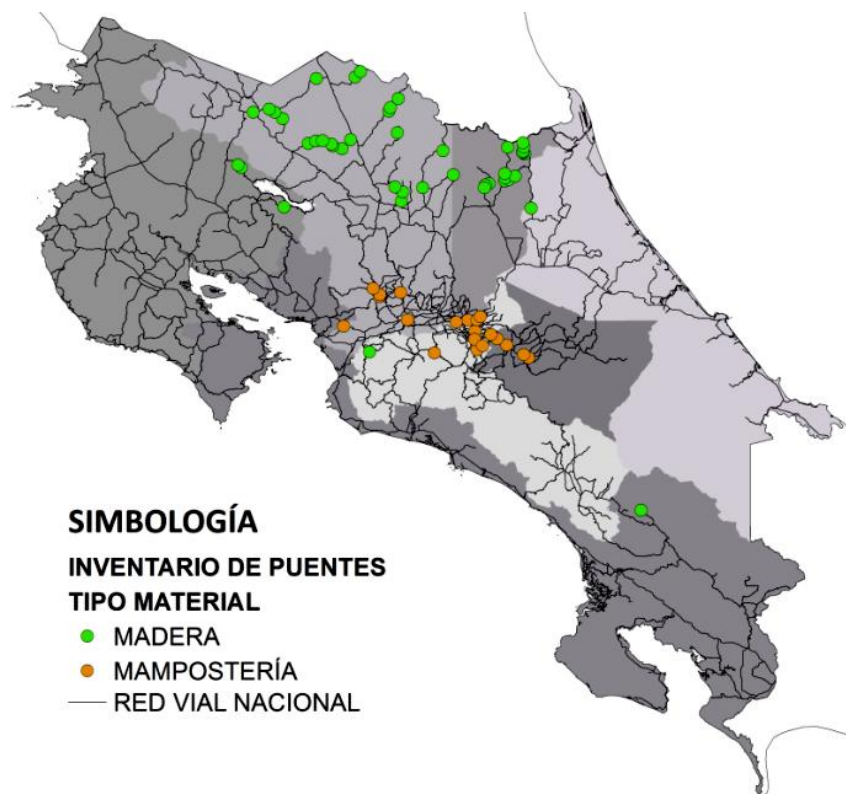


Figura 2.18. MAPA CON UBICACIÓN DE LOS PUENTES DE MAMPOSTERÍA Y MADERA



2.5 VULNERABILIDAD SISMICA

Existe en la bibliografía una amplia gama de metodologías para determinar cuantitativa o cualitativamente la vulnerabilidad sísmica en estructuras de puentes, un estado del arte completo sobre los distintos métodos es presentado en el trabajo de Soberón-Gómez, Barbat, & Oller (2000). Para la escogencia de la técnica adecuada, se deben tomar en consideración el objetivo específico de los resultados que se buscan con el estudio, la disponibilidad de recursos, y las características de los datos insumo. Específicamente para el caso de la guía de la FHWA (2006) para la rehabilitación de puentes, esta propone para priorizar la intervención de las estructuras un método tipo ranking (basado en índices de vulnerabilidad) y uno basado en el cálculo del daño esperado mediante el uso de curvas de fragilidad. Los métodos de índices o ratings son utilizados por muchos manuales de inspección a nivel internacional para caracterizar el estado de daño de los puentes como se detalla en el estudio de la NCHRP (2007). Un estudio reciente sobre la aplicación del método de índices para priorización de rehabilitación sísmica en puentes, es el presentado para la región de Provenza en Francia y describe paso a paso el método que se propone utilizar en ese país para evaluar la vulnerabilidad sísmica (Denis, 2011).

En este estudio se prefiere el uso de funciones de fragilidad debido a que no se cuenta con la información suficiente en muchos de los puentes para el uso del método por índices, a la imposibilidad del método de índices de realizar una comparación entre estructuras que hayan alcanzado los puntajes máximos, la imposibilidad de relacionar los puntajes con una aceleración espectral específica, y a que el uso de curvas de fragilidad es el método clásico utilizado por metodologías y proyectos nacionales/regionales como HAZUS (FEMA, 2003), RADIUS (IDNDR, 1999), RISK-EU (Mouroux & Le Brun, 2008) o GEM (2017) para describir escenarios de riesgo sísmico.

El uso de curvas de fragilidad sísmica es útil para el cálculo del riesgo, ya que estas describen matemáticamente la relación entre la probabilidad de excedencia de un nivel específico de daño con un parámetro de la intensidad del sismo (Chang, Shinozuka, & Moore, 2000 y Ellingwood, Galambos, MacGregor James G., & Cornell, 1980); esto se explica con mayor detalle en el apartado 2.5.1. Estas curvas pueden ser definidas en función de distintos parámetros límites de daño como lo son las derivas, la capacidad lateral, etc. Un aspecto importante de estas funciones es que pueden tomar en cuenta las incertidumbres relacionadas con la resistencia de los materiales, capacidad estructural, la definición de los estados límites y los registros de aceleraciones del terreno (Hwang & Huo, 1994; Jaw & Hwang, 1988 y Barron-Corvera, 2000).



Es importante mencionar que el uso de funciones de fragilidad no es nuevo en Costa Rica. Esta herramienta ya fue utilizada para evaluación de estructuras de puentes en el informe de evaluación del impacto ingenieril de un terremoto en la península de Nicoya ([Santana, 1999](#)) y un estudio de riesgo sísmico para puentes seleccionados en la gran área metropolitana ([Santana, 2006](#)).

Específicamente para el objetivo de este proyecto, la utilización de curvas de fragilidad puede llevar a la identificación rápida de las estructuras con daños importantes y a una posible reducción de la cantidad de puentes que deben ser inspeccionados luego de sismo como fue demostrado en el estudio de Ranf, Eberhard, & Malone ([2007](#)). Según Ranf et al. ([2007](#)), el uso de las curvas para priorizar las labores de inspección reduce de forma significativa la cantidad de puentes a inspeccionar gracias a que se da énfasis en las estructuras donde, por sus características de vulnerabilidad, el daño es más probable, produciendo un ahorro significativo de recursos a la administración, garantizando la seguridad de los usuarios e intervención oportuna de los puentes antes que los daños se profundicen por acciones ambientales, de uso u otro sismo.

Dentro de la definición tradicional de riesgo en función de la amenaza y vulnerabilidad, las curvas de fragilidad son una herramienta también utilizada para describir la vulnerabilidad del sistema estructural en términos de su capacidad a través de una curva de vulnerabilidad. Una curva de vulnerabilidad estructural corresponde comúnmente a la ponderación en una sola curva de las curvas de fragilidad. Esta se utiliza para comparar comportamientos globales entre estructuras y facilitar algunos cálculos en estudios de riesgo, como el cálculo de pérdidas económicas directas o indirectas como el que se realiza en el [apartado 3.1.2](#). Su uso es más limitado ya que no corresponde a un nivel de daño específico.

2.5.1 Curvas de fragilidad estructural

Desde una perspectiva regional, la posibilidad de la evaluación del comportamiento estructural de puentes se ha visto beneficiada por los avances en el desarrollo de las curvas de fragilidad ([Ghosh & Padgett, 2010](#); [Basöz & Mander, 1999](#); [Basöz & Kiremidjian, 1998](#); [Chang et al., 2000](#); [Mackie & Stojadinović, 2001](#); [Nielson & DesRoches, 2007](#) y [Straub & Kiureghian, 2008](#)). Las curvas de fragilidad describen la probabilidad de determinado tipo de daño en función de la intensidad del sismo. El uso de este modelo de confiabilidad condicional en el contexto de la evaluación del riesgo sísmico regional proporciona la posibilidad de detectar puentes sísmicamente vulnerables que deben ser cambiados o readecuados, estimar la magnitud de los daños y las pérdidas, o dar soporte a las actividades de inspección post-sismo ([Ghosh & Padgett, 2010](#)).

Para la priorización de estructuras, la FHWA ([2006](#)) presenta el uso de curvas de fragilidad como



una opción para evaluar y priorizar labores de rehabilitación de puentes. El procedimiento para la generación de curvas de fragilidad que proporciona la FHWA son basadas en las propuestas por la HAZUS para puentes en Estados Unidos (FEMA, 2003). Según lo detallado en el apartado 2.4.1, en Costa Rica se han seguido las pautas de las normativas estadounidenses para el diseño de puentes por lo que el uso de la propuesta de la FHWA se justifica y se considera adecuado para las estructuras de puentes para nuestro país.

Una curva de fragilidad describe la probabilidad condicional de excedencia de un límite de desempeño requerido ($P_i/Daño$) en función de un parámetro que describa la intensidad sísmica, en este caso, la aceleración pico efectiva PGA o la aceleración espectral S_{pa} . Una de las ventajas del uso de curvas de fragilidad es que no están limitadas a describir el posible comportamiento de la estructura para un escenario sísmico determinado, sino que capturan el comportamiento en un rango de intensidades, describiendo el comportamiento estructural ante cargas incrementales (Padgett & DesRoches, 2008). Los distintos grados de daño se relacionan con los diferentes niveles de desempeño esperados para la estructura según su importancia como se describe en la sección 2.5.2.

Las curvas de fragilidad se elaboran a partir de las curvas de demanda sísmica y la capacidad estructural como se observa en la figura 2.19a, donde la curva de capacidad, generada comúnmente mediante el método del *pushover*, es superpuesta en un espectro de demanda aceleración-desplazamiento. En un análisis determinístico, la intersección entre las dos curvas corresponde al llamado punto de desempeño. Si se asignan distribuciones probabilísticas a ambas curvas, lo que describe de una mejor manera la incertidumbre relacionada al problema, es evidente que existe un amplio rango de salidas de respuesta; en otras palabras, no hay un solo punto de desempeño.

Si la capacidad estructural y la demanda sísmica son variables aleatorias que corresponden aproximadamente a distribuciones normales o log-normales, se puede utilizar el *teorema del límite central* para demostrar que el comportamiento conjunto muestra un comportamiento coherente con distribución log-normal. Para las curvas de fragilidad, esta distribución probabilista se puede mostrar gráficamente mediante el uso de funciones distribución log-normal acumulada (ver figura 2.19b).

La función de densidad acumulativa se puede obtener de forma aproximada mediante la siguiente expresión (FHWA, 2006):

$$P[D > DS_i | S_a] = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_a}{A_i}\right)^{\frac{-1,7}{\beta c}}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

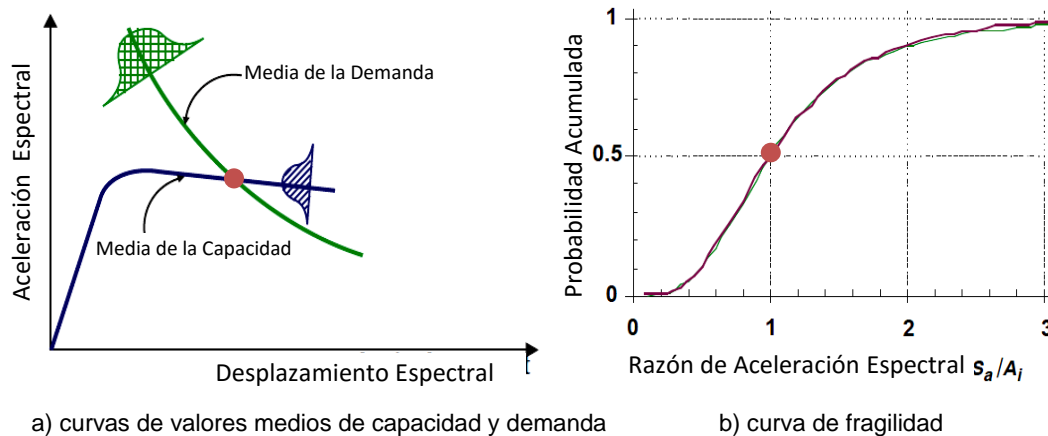


Figura 2.19. ESPECTRO DE CAPACIDAD-DEMANDA ACCELERACIÓN-DESPLAZAMIENTO Y CURVA DE FRAGILIDAD NORMALIZADA (distribución lognormal con $\beta_C = 0,6$ (FHWA, 2006))

En donde $P[D > DS_i | S_a]$ es la probabilidad de sufrir un daño D que es igual o mayor que DS_i para una aceleración espectral S_a para un periodo $T = 1,0$ segundos. DS_i corresponde a un estado de daño específico (apartado 2.5.2). Tanto A_i como β_C son los dos parámetros que definen la forma de la curva, en donde A_i corresponde al punto medio del daño (50% de daño) y β_C la desviación logarítmica normalizada. A_i corresponde al punto de desempeño en la figura 2.19, en otras palabras, cuando se intersecan la media de la demanda y la capacidad, y β_C incorpora aspectos de incertidumbre y aleatoriedad tanto de la capacidad estructural como la demanda sísmica. Un valor de $\beta_C = 0,6$ se ha propuesto por varios autores para describir las características de dispersión en puentes (Basöz & Mander, 1999). Teniendo en cuenta que al parámetro β_C le es comúnmente asociada una constante, la variable única que describe la ubicación de las curvas es A_i . La obtención de los valores de A_i se detalla en el apartado 2.5.3.

Para facilidad de comprensión del significado de las curvas de fragilidad, se muestra en la figura 2.20 una comparación entre dos tipos de estructuras. El comportamiento estructural distinto de dos estructuras se ve claramente reflejado mediante la gráfica desplazamiento-aceleración espectral de la cual se derivan las curvas. Se observa, por ejemplo, que para la línea discontinua verde en la figura 2.20a (que podría corresponder a un límite predefinido de deriva, correspondientes al mismo estado de daño en ambas estructuras) el valor del punto de desempeño A_i , que corresponde al 50% de probabilidad de excedencia en figura 2.20b, muestra una diferencia considerable en los valores de intensidades sísmicas necesarios para llegar a esos desplazamientos espectrales.

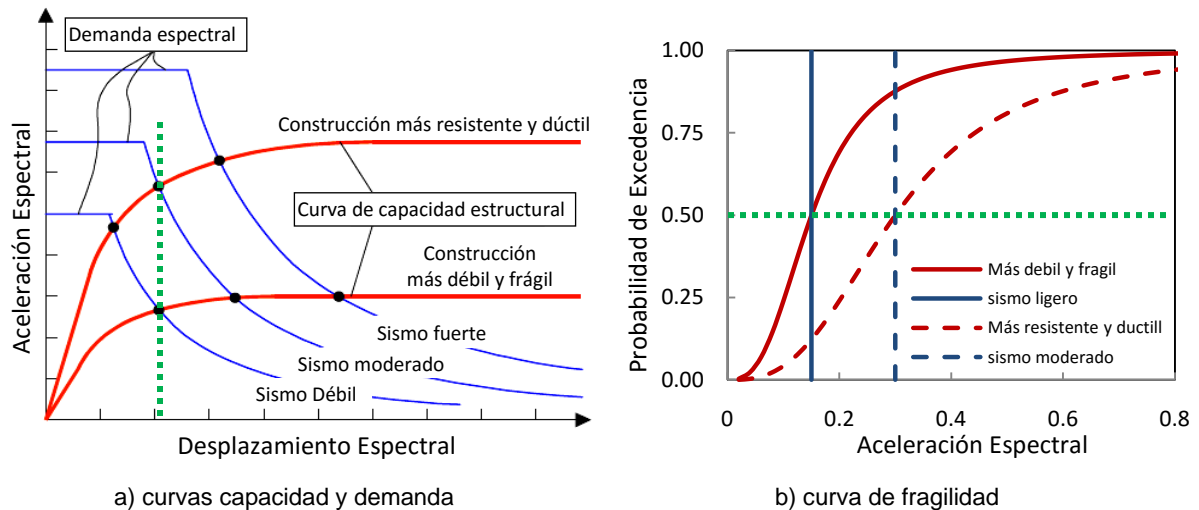


Figura 2.20. ESPECTRO ACCELERACIÓN-DESPLAZAMIENTO PARA DOS ESTRUCTURAS DISTINTAS Y TRES GRADOS DE DEMANDA (FEMA, 2003) Y SU EFECTO EN LA CURVAS DE FRAGILIDAD

2.5.2 Criterios de desempeño y grados de daños en puentes

Es importante conceptualizar una matriz de desempeño para conocer cuál es el daño estructural aceptable que podría darse en el puente para diversas intensidades de sismo. Los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes de Costa Rica (CFIA, 2013), describen distintos grados de desempeño tanto para obra nueva en los objetivos de la norma (sección 1.3, LDSP-2013), como para rehabilitación de puentes (sección 5.7, LDSP-2013). Los distintos niveles de desempeño dependen exclusivamente de la importancia del puente en obra nueva, y de la importancia del puente y la vida de servicio remanente para los puentes en donde se realicen trabajos de rehabilitación. Para rehabilitación se definen 4 niveles de desempeño desde el PL0 hasta el PL3 (tabla 5.2, LDSP-2013).

A partir de la descripción de la importancia, se generó la matriz de desempeño mostrada en la figura 2.21. Los niveles de desempeño descritos se basan en los utilizados por la FHWA (2006) (a excepción del nivel de prevención de colapso). Información sobre el diseño y evaluación de estructuras con criterios de desempeño se detallan en estudios de la SEAOC (1995) y las guías de la NEHRP (ATC, 1997). La clasificación de los puentes por desempeño se relaciona con grados de daño determinados, siendo estos los utilizados para priorizar inspecciones según la tabla 3.2.

Las curvas de fragilidad se pueden utilizar para describir límites entre los distintos estados de daño. Esto quiere decir que encontrando los puntos de desempeño relativos a distintos estados de daño, estos constituyen disparadores entre grados de deterioro; en donde, se asume que un grado de daño se mantiene hasta que se dé el siguiente estado (FEMA, 2003). Gráficamente, lo descrito

anteriormente se resume en la [figura 2.22](#), en donde se observa que las curvas de fragilidad funcionan como límites entre las regiones de estados de daños: ligero, moderado, severo y completo.

En la [figura 2.22](#), los grados de daño se muestran esquemáticamente mediante los efectos de la aplicación incremental de una carga lateral en una casa de una planta. Para puentes, la generación de las curvas de fragilidad analíticas se puede realizar siguiendo los pasos descritos por Choi, DesRoches, & Nielson (2004). Los distintos grados de daños para puentes según el procedimiento de la HAZUS se muestran en la [tabla 2.8](#) (FEMA, 2003; FHWA, 2006 y ODOT, 2009).

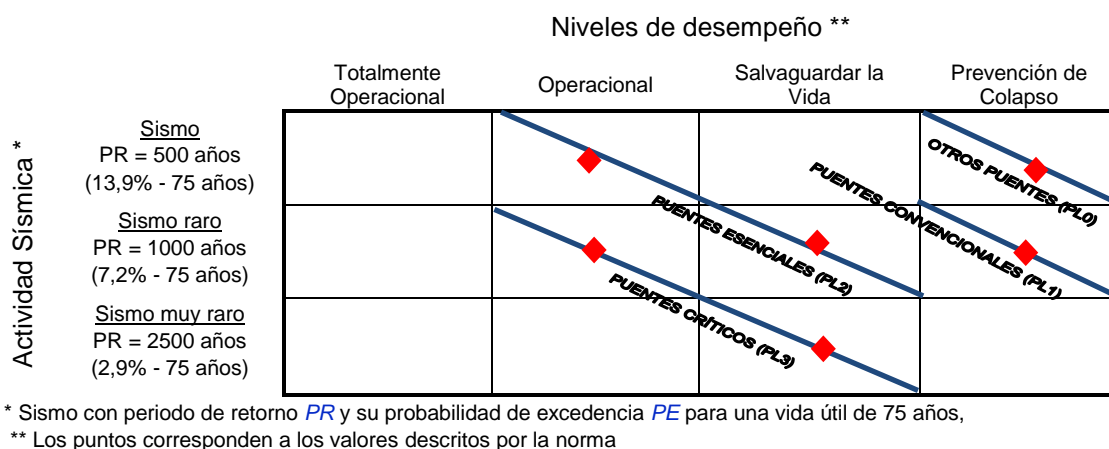


Figura 2.21: CRITERIO DE DESEMPEÑO PROPUESTA PARA PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL SEGÚN SU CLASIFICACIÓN POR IMPORTANCIA

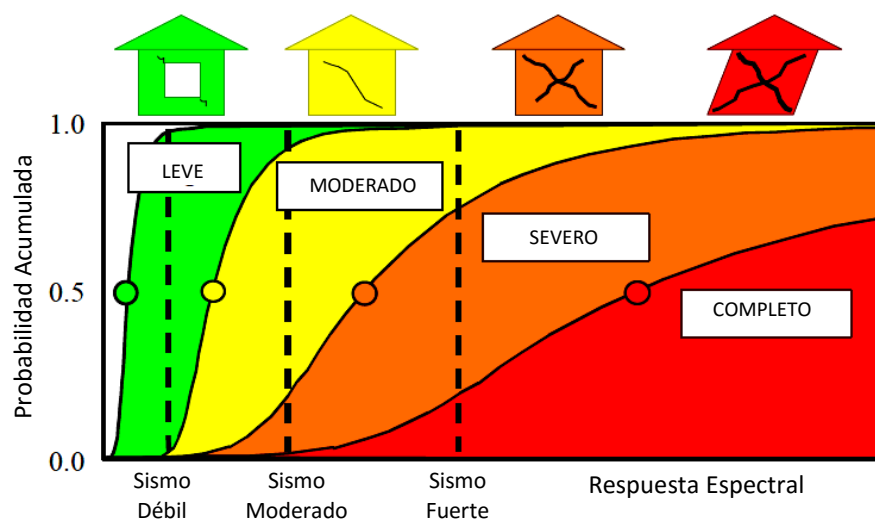


Figura 2.22: CURVAS DE FRAGILIDAD PARA DISTINTOS GRADOS DE DAÑO (FEMA, 2003)



Tabla 2.8: DEFINICIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO Y SUS CONSECUENCIAS DE DESEMPEÑO

Grado de Daño (DL)	Descripción de Daño (FEMA, 2003)	Estado Post-sismo	Reparación requerida	Tiempo de restauración
0 Ninguno	Hasta esfuerzo de cedencia	Normal	Ninguna	-
1 Ligero	Agrietamiento y descascaramiento menor en el bastión, grietas en las llaves de corte del bastión, agrietamiento y descascaramiento menor en las uniones, descascaramiento menor en las columnas que requiere no más que una reparación, agrietamiento menor en el tablero.	Daños ligeros	Inspección, ajustes, parcheo	< 3 días
2 Moderado	Cualquier columna que experimente agrietamiento y descascaramiento moderado (columna aún con integridad estructural), movimiento moderado del bastión (< 5.1 cm), agrietamiento y descascaramiento severo en las llaves de corte, conexiones con llaves de corte agrietadas o pernos doblados, falla de barra o cadena para control de desplazamientos sin pérdida de asiento, falla del apoyo, asentamiento moderado en los rellenos de aproximación.	Daño reparable	Reparar componentes dañados	< 3 semanas
3 Severo	Cualquier columna con resistencia degradada sin colapso (ex. falla de corte) pero estructuralmente insegura, movimiento residual significativo en las conexiones, asentamientos significativos en los rellenos de aproximación, movimiento vertical o falla de corte en el bastión, asentamientos diferenciales	Daño irreparable	Cambiar o reconstruir componentes dañados	< 3 meses
4 Completo / Colapso	Colapso de cualquier columna o pérdida de asiento del tablero haciendo que este colapse. Rotación de la subestructura debido a falla en la cimentación.	Daño irreparable	Reconstruir la estructura	> 3 meses

La descripción de los daños de la [tabla 2.8](#), está asociada con límites de desplazamientos totales, derivas, rotaciones, etc., relacionados directamente con la curva de capacidad de puentes; esto se muestra esquemáticamente en la [figura 2.23](#). La [tabla 2.8](#), relaciona también los distintos grados de daño con las consecuencias que estas conllevan sobre las estructuras. La correlación entre las curvas de daño y los grados operativos se determina de forma compleja y podría ser de mayor o menor gravedad en función del componente del puente que esté dañado. Por ejemplo, algunos tipos de daños como agrietamiento o rotación en bastiones con grado de deterioro completos o severos en la subestructura de un puente permiten la utilización de la misma, inclusive bajo condiciones de tránsito ordinario, como se puede observar en varios puentes de la ruta 32 dañados luego del sismo de Limón. Similar situación ocurre con los estados de daño severos en los apoyos

de la superestructura (Unidad de Puentes-LanammeUCR, 2014). Si bien estos puentes son operacionales, inclusive con grados importantes de daño, su uso bajo estas circunstancias debe ser por tiempo limitado dada su vulnerabilidad ante la ocurrencia de otro evento sísmico y a la posible introducción de esfuerzos no contemplados en el diseño original, situación que podría generar daños en algunos componentes del puente reduciendo la vida útil de la obra.

Con el propósito de realizar una priorización de inspección post-sismo de puentes, en este trabajo se indica que la curva de daño moderado describe el límite para una condición de desempeño operacional del puente, y las curvas de daño severo y completo las condiciones de salvaguardar la vida y prevención de colapso respectivamente. Esto se refleja indirectamente en los formularios de inspección del capítulo 4.

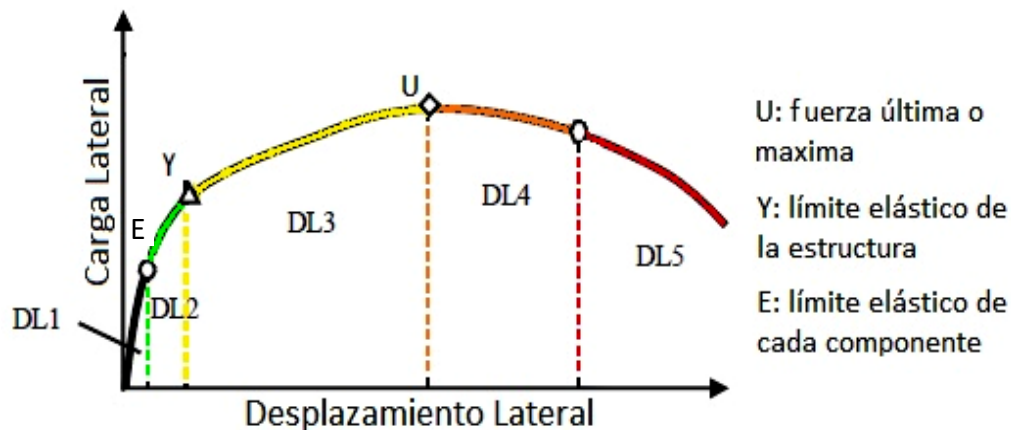


Figura 2.23. CURVA DE CAPACIDAD DEL PUENTE Y NIVELES DE DAÑOS SEGÚN SU DESPLAZAMIENTO LATERAL (MODIFICADO DE AFPS (2010))

a) Componentes estructurales del puente y su fragilidad a sismo

Al igual que en edificaciones comunes, en puentes la respuesta estructural perjudicial por sismo se da mayormente por movimientos en su componente horizontal. La magnitud de los desplazamientos horizontales de la estructura se correlaciona con el grado de daño observado en puentes, evidente también en la curva de capacidad lateral. Es entonces de esperar que los daños por sismo se concentren en aquellos componentes del puente frágiles a movimientos laterales.

Un puente se divide usualmente en dos elementos estructurales principales: la superestructura y la subestructura. Su diferenciación es importante para caracterizar el daño potencial por sismo en cada elemento y al definir estrategias de rehabilitación y reparación luego de un terremoto. También, la unión superestructura-subestructura y su entorno es uno de los sitios comunes donde

se concentra daño luego de un sismo. Esta unión puede ser rígida (como en puentes tipo marco), o más comúnmente se utilizan tipos de apoyos expansivos/fijos con el fin de evitar momentos negativos en los extremos de las vigas y los esfuerzos generados por cambios de temperatura. En la [figura 2.24](#), se muestran los componentes de un puente tipo vigas de concreto. En ésta, se muestra también la condición de unión tipo rígida y con apoyos flexibles, donde típicamente se utilizan almohadillas de neopreno reforzadas con láminas de acero. La unión entre subestructura y superestructura es también uno de los sitios comunes para ubicar dispositivos de aislamiento sísmico, disipadores de energía o amortiguadores, ya que su ubicación en este punto es de ayuda para controlar de mejor manera la respuesta estructural o la reducción de la demanda.

Normalmente los sismos causan daños leves o moderados en los componentes de la superestructura como lo son las vigas principales, el tablero y la barrera de protección vehicular, ya que habitualmente las conexiones entre los elementos son robustas (ODOT, 2009). Los daños en estos elementos podrían darse por movimiento lateral entre la interface superestructura-subestructura, que puede hacer que ésta colapse por completo si no hay una suficiente longitud de apoyo o algún dispositivo de restricción de movimiento, o que ésta se dañe producto del impacto con el bastión o las llaves de corte. El daño también se puede incrementar en ausencia de elementos rigidizadores entre vigas principales, que promueva un comportamiento conjunto entre los elementos de la superestructura (Villalobos-Vega, Santana-Barboza, & Barrantes-Jiménez, 2016). En la [tabla 2.9](#) se describen los grados de daños observados en superestructuras de puentes tipo viga de concreto, uno de los tipos más comunes en nuestro país.

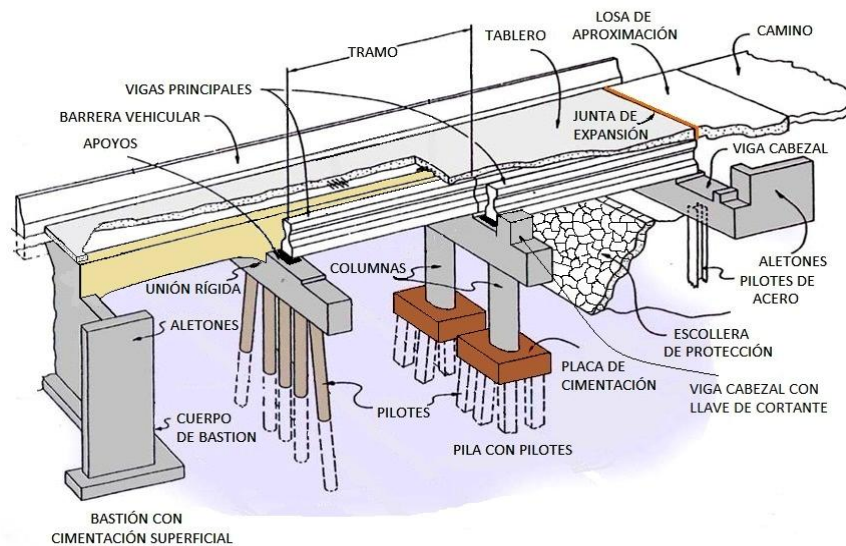


Figura 2.24: COMPONENTES DE UN PUENTE TÍPICO DE VIGAS DE CONCRETO

(modificado de [Mihai, 2015](#))

Tabla 2.9: DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN VIGAS PRINCIPALES DE CONCRETO

Grado de Daño	Descripción propuesta de Daño	Imagen representativa del daño
0 Ninguno	Hasta esfuerzo de cedencia,	
1 Ligero	Se observan ligeras grietas a flexión/cortante y se observa descascaramiento menor (imágenes: Saini & Saiidi, 2013)	
2 Moderado	Se tiene descascaramiento moderado y grietas estructurales gruesas (imágen: Saini & Saiidi, 2013)	
3 Severo	Descascaramiento severo del concreto de recubrimiento con presencia de acero longitudinal expuesto (imágen: Saini & Saiidi, 2013). En ambas figura el daño se dio luego del golpe con la llave de corte transversal.	
4 Completo/ Colapso	Falla en la viga con fractura del tendón del post-tensado o colapso de las vigas por posible insuficiente longitud de apoyo (imagen: colapso del puente sobre el río Biobío en Chile2011 (Yen et al., 2011))	

Otro componente de la subestructura que se utiliza para restringir el movimiento de la superestructura son las llaves de cortante. Si bien su nivel de daño no conlleva consecuencias de restricción vehicular o estructurales, estas deben ser reparadas o substituidas luego de un evento y las consecuencias de su daño sobre otros elementos de la estructura del puente deben ser analizados. Daños de consideración en llaves de corte se observan en la [figura 2.25](#).

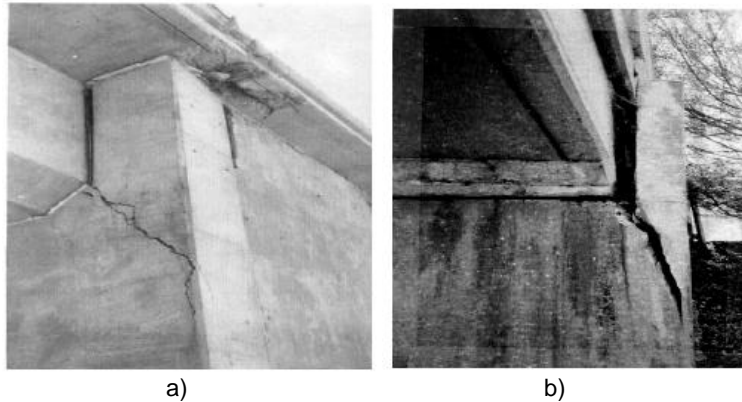


Figura 2.25. a) GRADOS DE DAÑO SEVERO Y b) COMPLETO, EN LLAVES DE CORTE
(Saini & Saiedi, 2013)

Los daños comúnmente observados en puentes luego de sismo se concentran en su subestructura, la cual, está compuesta típicamente por los apoyos, viga cabezal, bastiones/pilas, y un sistema de cimentación. La falla, desplazamiento lateral excesivo o subsidencias que experimenten estos elementos puede causar el colapso de la superestructura como se muestra en la figura para daño completo de la [tabla 2.9](#). En particular, los daños en los apoyos pueden resultar en grandes brechas observables en las juntas de expansión que dificultan el tránsito vehicular (ej. [figura 2.12b](#) puente sobre el río Cuba), o como se menciona anteriormente inclusive provocar el colapso total.

La capacidad estructural de puentes con apoyos expansivos, como el mostrado en la [figura 2.24](#), es afectada principalmente por el comportamiento de los elementos de la subestructura. Esto se puede explicar gráficamente en la [figura 2.26](#), para la cual, se muestran las fragilidades de cada uno de los componentes del puente para daños moderados que se elaboró según los criterios de daño mostrados en la [tabla 2.8](#). La probabilidad de daño global para el puente (también observada en la figura) se obtiene gracias a la suma probabilística de eventos no excluyentes. Este tipo de análisis paramétrico por componentes es de utilidad, no solo para obtener la fragilidad a cada grado de daño de los puentes, sino que también muestra cuáles componentes son de mayor importancia y en dónde se deben enfocar las labores de rehabilitación para un efecto más provechoso en la reducción de la fragilidad sísmica. Es importante señalar que la participación de los componentes para cada grado de daño es distinta, por lo que se debe conocer el criterio de desempeño exigido al puente previo del análisis para escoger que tipo de solución de rehabilitación sísmica es la más adecuada para la estructura.

Los daños descritos en la [tabla 2.9](#) para vigas, son comunmente producidos luego de excederse los rangos de daño para los componentes de la subestructura como los mostrados en la [tabla 2.10](#). Los datos mostrados en la [tabla 2.10](#) fueron obtenidos luego de un estudio paramétrico para puentes simplemente apoyados de vigas de concreto con claros múltiples construidos previo a 1990 (Nielson & DesRoches, 2007b). Estos parámetros de daño podrían también ser útiles para estimar grados de daño cuando es limitado el acceso para una inspección detallada de componentes del puente y se tenga que dar estimaciones con base a los desplazamientos observados, por ejemplo, en las juntas de expansión del puente.

Tabla 2.10. PARÁMETROS DE LÍMITES DE DAÑO MEDIOS PARA PUENTES DE CLAROS MÚLTIPLES SIMPLEMENTE APOYADOS CON VIGAS DE CONCRETO (Nielson & DesRoches, 2007b)

Componentes del Puente	Grado de Daño			
	Ligero	Moderado	Severo	Completo
Columna (ductilidad curvatura μ_ϕ)	1,3 ± 0,6	2,1 ± 0,5	3,5 ± 0,6	5,2 ± 0,7
Apoyo elastomérico – longitudinal (mm)	29 ± 0,6	104 ± 0,6	136 ± 0,6	187 ± 0,7
Apoyo elastomérico – transversal (mm)	29 ± 0,8	91 ± 0,7	142 ± 0,7	195 ± 0,7
Bastión acción pasiva (mm)	37 ± 0,5	146 ± 0,5	-	-
Bastión acción activa (mm)	10 ± 0,7	38 ± 0,9	77 ± 0,9	-
Bastión dirección transversal (mm)	10 ± 0,7	38 ± 0,9	77 ± 0,9	-

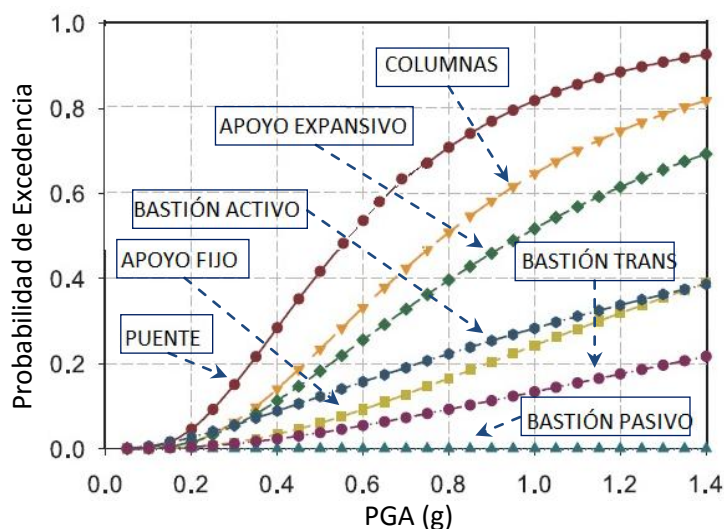


Figura 2.26. FRAGILIDAD DE LOS COMPONENTES DE UN PUENTE MULTICLARO SIMPLEMENTE APOYADO Y PILAS TIPO MARCO CON 3 COLUMNAS PARA DAÑO MODERADO (modificado de Nielson & DesRoches (2007b))

Otro aspecto indicador de daño sobre los componentes del puente o que determina su condición de servicio luego de un sismo son los movimientos del terreno en el entorno del puente como en las zonas del relleno de aproximación, los bastiones, y en las cimentaciones. En suelos no licuables, las brechas o asentamientos entre los componentes del puente son factores que indican la magnitud del movimiento relativa entre los elementos. Evidencia de movimientos severos podría significar daños importantes en los elementos no visibles en una inspección visual típica, como por ejemplo una cimentación con pilotes. La probabilidad de excedencia de un nivel de daño determinado según el movimiento del terreno en sus alrededores para suelos no licuables se puede aproximar según la [tabla 2.11 \(Padgett & DesRoches, 2007b\)](#). Ejemplos de daños causados por movimientos del terreno se observan en la [figura 2.27](#). Para el caso de desplazamientos del terreno producto de licuefacción de suelos, el tema será profundizado en la [sección 2.6](#).

Tabla 2.11. PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA PARA DIVERSOS GRADOS DE DAÑO PRODUCTO DE MOVIMIENTO DEL TERRENO CIRCUNDANTE AL PUENTE (Padgett & DesRoches, 2007b)

Parámetro de daño	Grado de Daño (Probabilidad de ocurrencia del daño)			
	Ligero	Moderado	Severo	Completo
Asentamiento Aproximación-Bastión				
Menor a 2,5 cm	0,29	0,04	-	-
Entre 2,5 y 15 cm	0,89	0,15	-	-
Mayor a 15 cm	1,00	0,46	0,25	0,07
Separación Suelo-Cimiento	Ligero	Moderado	Severo	Completo
Menor a 7,5 cm	0,35	0,12	0,08	0,04
Mayor a 7,5 cm	0,69	0,31	0,19	0,15



a)



Source: MOP

b)

Figura 2.27. a) BRECHA MAYOR A 15 cm EN EL PUENTE CHADA,-CHILE (se dio colapso total de la superestructura), Y b) FALLA DEL TALUD DE RELLENO EN LA APROXIMACIÓN EN PUENTE DE FERROCARRIL-CHILE (Yen et al., 2011)

Además de parámetros como desplazamientos laterales, ductilidad o asentamientos, el grado de daño de la estructura también puede ser estimado por análisis de los tipos de daños observados en los elementos. Por ejemplo, cuando se observen daños por extracción o fractura del acero de refuerzo en columnas de concreto, representa seguramente esta una condición de daño completo o severo para el puente. Por otro lado, la presencia únicamente de algunas grietas por cortante en las columnas tiene una menor probabilidad de reflejar un daño severo en la columna. Esto se explica claramente de forma gráfica según la tipología de daño en la [tabla 2.12](#). Daños esquematizados para otro elementos se presentan en el trabajo de Saini & Saiidi (2013).

Es importante finalmente en esta sección mencionar que las consecuencias para el tránsito vehicular son distintas según el componente del puente dañado ya que, por ejemplo, el daño severo en los bastiones o en otros elementos como las llaves de corte y los rellenos de aproximación podría no ser una limitante para el tránsito vehicular en el corto plazo o para los vehículos de emergencia. En el caso de las vigas principales del puente o columnas, daños de grado moderado o superior podrían limitar o inhabilitar completamente el uso del puente luego del sismo.

Tabla 2.12: PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA PARA DIVERSOS GRADOS Y TIPO DE DAÑO DE DAÑO EN PUEBLES CON PILAS TIPO COLUMNA ÚNICA (Padgett & DesRoches, 2007b)

Daños estructurales en columnas	Esquema típico del daño	Grado de Daño (Probabilidad de ocurrencia del daño)			
		Ligero	Moderado	Severo	Completo
Agrietamiento por flexión y/o cortante		0,52	0,19	0,15	0,15
Descascaramiento del recubrimiento del concreto		0,93	0,61	0,27	0,25
Pandeo/extracción/fractura del acero de refuerzo		0,96	0,93	0,79	0,75



2.5.3 Grupos de fragilidad estructural para puentes en Costa Rica

La respuesta de un puente ante las solicitaciones impuestas por un evento sísmico depende de las características estructurales propias del sistema; esto indica que los niveles de daño esperados, explicados en los apartados anteriores, serán diferentes ante una misma sollicitación actuando sobre sistemas estructurales con diferentes características. La incidencia de determinadas características estructurales de cada tipo de puente ha sido analizada por múltiples autores para la determinación del riesgo sísmico. Estos son agrupados por facilidad en familias para estudios de riesgo en ciudades o regiones, según las características relevantes que afecten su fragilidad ante el embate de terremotos.

En Costa Rica, tradicionalmente se han utilizado los códigos de diseño estadounidenses para la construcción y diseño de puentes, es por esta razón que para este trabajo se plantea utilizar los grupos y parámetros de fragilidad estructural recomendados por estudios realizados por entidades como la FEMA (2003), la FHWA (2006) y la MCEER (Werner et al., 2006). La obtención de fragilidades estructurales para puentes tomando en cuenta características particulares de los puentes costarricenses podría constituir una segunda etapa o continuación de este trabajo para el mejoramiento de los resultados presentados en este estudio.

Para una caracterización de la fragilidad sísmica de los puentes, es necesario obtener información sobre una serie de atributos básicos del puente. Desde el punto de vista de la determinación de la amenaza sísmica e importancia de la estructura. Los atributos de mayor importancia son los descritos en la [tabla 2.13](#). La obtención de estos atributos para cada puente de la red vial nacional se realizó mediante la información en bases de datos para puentes con las que cuenta el Lanamme-UCR, tomando en cuenta una revisión y actualización de los datos según los resultados obtenidos del inventario de puentes del [apartado 2.4.3](#). La clasificación por importancia se realiza siguiendo los criterios descritos en el [capítulo 3](#).

Los aspectos particulares de cada estructura, importantes para una caracterización sísmica por curvas de fragilidad de acuerdo con lo descrito por la FHWA (2006), se presentan en la [tabla 2.14](#). La información necesaria para cada uno de estos atributos fue incluida en el inventario de puentes descrito en el [apartado 2.4.3](#) de este trabajo.



Tabla 2.13: ASPECTOS RELACIONADOS A LA AMENAZA SÍSMICA E IMPORTANCIA DE LOS PUENTES

Atributo	Observaciones
Coordenadas geográficas	Detalla ubicación exacta del puente
Clasificación de la importancia del puente (requiere valor del TPD y criterios descritos apartado 3.1)	Para priorización (importancia) de puentes y asignar el desempeño requerido
Aceleraciones espectrales (S_a para $T=1,0$) y pico (PGA)	Viene del estudio de amenaza sísmica o en el caso de inspección de puentes post-sismo proviene directamente de la información suministrada por estaciones acelerográficas
Tipo de suelo en el sitio inmediato de cimentación del puente (S1, S2, S3, S4)	Necesario para estimar fragilidad estructural, amenaza por sismo (CFIA, 2013) y licuefacción
Zona de amenaza Sísmica (Z I, Z II, Z III y Z IV)	Refleja intensidad sísmica probable en la zona

Tabla 2.14. ATRIBUTOS ESTRUCTURALES PARA DETERMINAR CURVAS DE FRAGILIDAD EN PUENTES

Atributo	Observaciones
Normativa de diseño	Definir si el puente fue concebido con o sin criterio sismorresistente
Sesgo	Afecta negativamente el comportamiento del puente ante sismo, modifica curvas de fragilidad
Tipología estructural	Para seleccionar la curva de fragilidad, se realiza al tramo más largo del puente y especifica el tipo de material y estructura
Número de tramos	Para seleccionar la curva de fragilidad
Largo y ancho total del puente	Para estimar área total y número de carriles
Longitud del claro máximo	Para definir el tramo representativo del puente y definir puentes con $L_{max} > 150$ m

Con la información de las tablas 2.13 y 2.14, es posible obtener los parámetros para la elaboración de las curvas de fragilidad de referencia según el procedimiento y los supuestos asumidos por la FHWA en su apartado 4.3.3 (FHWA, 2006). Según este procedimiento, el primer paso es la definición de los grupos o familias de fragilidad estructural. Éstos están agrupados de acuerdo a algunas de las características descritas en la tabla 2.14. Los grupos se resumen en la tabla 2.15 y corresponden aproximadamente a los mismos grupos que definió la FHWA (2006), con excepción de dos cambios: la ubicación de las tipologías estructurales 309 y 310 dentro de las familias MS1 y MS2, siguiendo las recomendaciones de la MCEER (Werner et al., 2006), y el cambio en el corte del año de la norma para el cual se consideran las estructuras de puentes como sismorresistente, donde el año pasa del 1990 sugerido por la FHWA a el de 1977 utilizado por Santana (1999) y que contempla el grupo de estructuras con potencial más alto de colapso según la ODOT (ODOT, 2009).



Tabla 2.15. CLASIFICACIÓN DE PUENTES SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS DE FRAGILIDAD SÍSMICA (FHWA, 2006 y Werner et al., 2006)

Grupo	Clasificación	Clase NBI	Diseño	Observaciones	
MAS1	Multi-columna simplemente apoyada	101-106, 301-306, 309 y 310 501-506	Previo 1977	Norma de diseño anterior a AASTHO 1977	
MAS2	Multi-columna simplemente apoyada	101-106, 301-306, 309 y 310, 501-506	Sísmico	Norma de diseño posterior a AASTHO 1977	
Múltiples claros	MVC1*	Columna única con viga cajón*	205*,206*, 605,606	Previo 1977	Norma de diseño anterior a AASTHO 1977
	MVC2*	Columna única con viga cajón*	205,206, 605,606	Sísmico	Norma de diseño posterior a AASTHO 1977
	MCC1	Continua de Concreto	201-206* 601-607	Previo 1977	Norma de diseño anterior a AASTHO 1977
	MCC2	Continua de Concreto	201-206* 601-607	Sísmico	Norma de diseño posterior a AASTHO 1977
	MCA1	Continua de Acero	402-410	Previo 1977	Norma de diseño anterior a AASTHO 1977
	MCA2	Continua de Acero	402-410	Sísmico	Norma de diseño posterior a AASTHO 1977
	CLSA	Claro único, apoyo simple	Todos	Previo 1977/ Sísmico	Todos los puentes de claro único sin importar tipología estructural
	OP	Otros puentes	207, 313, 622	Previo 1977/ Sísmico	Otros puentes comunes en Costa Rica
PM1	Puentes mayores	Todos	Previo 1977	Puentes con un claro máximo mayor a 150 m	
PM2	Puentes mayores	Todos	Sísmico	Puentes con un claro máximo mayor a 150 m	

* En el caso de los tipo cajón, es necesario profundizar si se tienen pilas tipo columna o muro

El cambio en el corte del año de diseño, se justifica desde el punto de vista del protocolo de inspección de puentes porque el grupo de los puentes diseñados en Costa Rica con norma previa al año 1977, constituye un grupo prioritario de análisis por la cantidad de puentes con esta antigüedad. El año de 1977 también es considerado por el departamento de puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT, como un hito relevante para el diseño por sismo de las estructuras de puentes en Costa Rica (M. Ramirez, 2016). Además, la fecha coincide aproximadamente con la entrada en vigencia de la primera norma sismorresistente de Costa Rica en el año 1974 y la formulación de las curvas por la FHWA para la región de California en USA.

Para la tabla 2.15, al asignar las fragilidades se asumen una serie de condiciones estructurales. Por ejemplo, para los grupos de MAS y MVC se estima que el daño ocurrirá en columnas, en tanto para CLSA, MCC y MCA los fusibles de daño se plantean en los apoyos del puente. Además, para los grupos MAS y MVC, se asume conservadoramente como columnas aquellos elementos que por geometría y dimensiones podrían considerarse muros estructurales.



La caracterización presentada en la [tabla 2.15](#) se realizó para puentes basándose únicamente en la clasificación estructural de la NBI, debido a que la del MOPT no detalla algunos de los aspectos requeridos en la [tabla 2.14](#) por la FHWA. Los parámetros de referencia para elaborar las curvas de fragilidad de los grupos descritos en la [tabla 2.15](#) se detallan en la [tabla 2.16](#). El valor de referencia corresponde a aceleraciones medias espectrales a_i (puntos [figura 2.19](#)) para un periodo de $T=1$ del espectro de respuesta estructural. Algunas de las respuestas para el grado de daño ligero deben ser corregidas por el valor de S_a a $T=0,3$, ya que el comportamiento del puente en este rango es gobernado por periodo cortos (FHWA, 2006). Este factor de corrección se denomina K_{shape} (uso de K_{shape} en ítems con asterisco en [tabla 2.16](#)). Otros factores de corrección que se utilizan para captar las características particulares de cada puente son las relacionadas con el efecto del sesgo K_{skew} y el número de tramos total del puente K_{3D} . Estos últimos no aplican para la condición de daño leve.

Tabla 2.16. VALORES DE ACELERACIÓN MEDIA ESPECTRAL DISPARADORAS DE ESTADO DE DAÑO PARA LA GENERACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD (FHWA, 2006) (* implica uso de K_{shape})

Grupo de Fragilidad Sísmica	Clase NBI	Daño	Aceleración Media Espectral para T = 1 s. (g)	
			Convencional "1"	Sísmico "2"
MAS	101-106, 301-306, 309 y 310 501-506,522	Ligero a_2	0,25	0,45
		Moderado a_3	0,35	0,76
		Severo a_4	0,45	1,05
		Completo a_5	0,70	1,53
MVC	205,206, 605,606	Ligero a_2	0,35	0,54
		Moderado a_3	0,42	0,88
		Severo a_4	0,50	1,22
		Completo a_5	0,74	1,45
MCC	201-206 601-607	Ligero a_2	0,6*	0,91*
		Moderado a_3	0,79	0,91
		Severo a_4	1,05	1,05
		Completo a_5	1,38	1,38
MCA	402-410	Ligero a_2	0,76*	0,91*
		Moderado a_3	0,76	0,91
		Severo a_4	0,76	1,05
		Completo a_5	1,04	1,38
CLSA	Todos claro único	Ligero a_2		0,80*
		Moderado a_3		0,90
		Severo a_4		1,10
		Completo a_5		1,60
OP	Otros observados 207, 313, 622	Ligero a_2		0,80
		Moderado a_3		0,90
		Severo a_4		1,10
		Completo a_5		1,60
PM		Ligero a_2	0,40	0,60
		Moderado a_3	0,50	0,80
		Severo a_4	0,60	1,0
		Completo a_5	0,80	1,6



Las siguientes ecuaciones detallan lo explicado anteriormente y brindan los valores finales de aceleración media espectral necesarios para generar las curvas de fragilidad del puente:

$$A_2 = K_{shape} \frac{a_2}{F_a} \quad \text{ó} \quad A_2 = \frac{a_2}{F_v} \quad \text{donde} \quad K_{shape} = 2,5 \frac{S_1}{S_s} \leq 1 \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$A_i = K_{skew} K_{3D} \frac{a_i}{F_v} \quad \text{para } i = 3,4,5 \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Para estas ecuaciones, los parámetros S_s , S_1 , F_a y F_v se pueden deducir de la tabla 2.4-1 de los LDSP-2013. Para los valores que presentan los LDSP-2013, el valor de K_{shape} calculado siempre será mayor que 1, así que para estos valores no se realiza esta corrección. El valor de los factores F_a y F_v se resumen en la tabla 2.17 y corresponden a los factores de corrección por sitio para aceleraciones espectrales de corto y largo periodo respectivamente. El K_{skew} corresponde a la raíz cuadrada del coseno del ángulo de sesgo y el K_{3D} se calcula según la tabla 4-6 del manual de rehabilitación de puentes de la FHWA (2006), y toma en cuenta la cantidad de tramos, la tipología estructural, la continuidad entre tramos o el material y el largo del claro máximo.

La cantidad de puentes agrupados en cada uno de los grupos de fragilidad estructural se detalla en la tabla 2.18. En la tabla se presentan únicamente aquellos puentes que fueron inventariados siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 2.4.3. Se evidencia en esta tabla que el grupo de fragilidad con más unidades de puentes es el CLSA. Este grupo estructural presenta curvas con valores de a_i altos por lo que su daño esperado ante el embate de un sismo es mejor que muchos de los otros grupos estructurales, a excepción de los grupos MCC2 y MCA2 para daños leves y moderados. Esto se debe a que es esperable que la capacidad última y residual en los apoyos de este tipo de puentes sea alta (FHWA, 2006). Además, en los puentes con un tramo único el movimiento es limitado debido a las restricciones espaciales, ya que es poco probable que los bastiones se desplacen en el sentido hacia el terreno, sino que se mueven en el sentido hacia el cauce del río, tendiendo inclusive a apresar la superestructura, restringiendo un posible colapso.

Tabla 2.17. FACTORES DE SITIO F_a Y F_v (basado en CFIA, 2013)

Sitio de Cimentación	F_a			F_v		
	Amenaza sísmica			Amenaza sísmica		
	II	III	IV	II	III	IV
S1	0,86	0,96	1,00	0,64	0,69	0,76
S2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
S3	1,14	1,10	1,02	1,23	1,17	1,15
S4	1,29	0,98	0,90	1,95	1,78	1,82



Tabla 2.18. UNIDADES DE PUENTES SEGÚN SUS GRUPOS DE FRAGILIDAD PARA TODA LA RED VIAL NACIONAL

Diseño Sísmico	Grupo de Fragilidad Sísmica (unidades de un total de 862)						
	MAS	MVC	CC	CA	PM	CLSA	OP
Previo 1977 (1)	147	4	21	12	0	520	42
Sísmico (2)	64	2	33	13	4		

El segundo grupo con mayor cantidad de puentes es aquel que en contraposición a los CLSA presentan los menores valores de a_i , estos son los MAS1. Estos puentes, por sus dimensiones, no solamente son de importancia por ser los más frágiles, sino que también en muchos casos son puentes críticos dentro de la red vial nacional. Las categorías CC, MVC y CA están compuestas por relativamente pocos puentes. Estos puentes, en general, se utilizan cuando son requeridos claros largos que superar, por lo que muchos de estos cruzan sobre ríos importantes y vías críticas para el país.

Para los puentes tipo PM, si bien se dan parámetros para construir su fragilidad estructural, lo sugerido en este trabajo es que por su tamaño, importancia y cantidad (solo 4 estructuras), cuenten individualmente con un estudio completo de riesgo sísmico. Finalmente, para los puentes OP se encontraron 3 tipos principales, los 622, 313 y 207. La HAZUS asigna valores de a_i altos para estos puentes, pero su estudio singular es recomendable, en particular para los grupos 207 y 313 (tipo marco y colgantes respectivamente).

Los datos mostrados en la [tabla 2.18](#), representan más de la mitad de la totalidad de puentes de la red vial nacional que cuenta con aproximadamente un total de 1433 unidades. De las estructuras para las cuales no fue posible determinar su fecha de diseño, se les asume conservadoramente que son previas a 1977, a menos que sea evidente que correspondan a obras nuevas o se encuentre in-situ información sobre su fecha de construcción. El listado del grupo de fragilidad sísmica para cada puente se detalla en el [anexo C](#).

Para efectos de la aplicación más provechosa de los resultados que se pueden obtener de este estudio en el contexto del protocolo, es deseable asignar alguna fragilidad estructural al conjunto de puentes sin datos suficientes. Haciendo un análisis del largo total y número de tramos para los puentes donde se tienen datos de inventario, se pueden asignar fragilidades a puentes cortos que son la mayoría del faltante de inventario (ver [figura 2.16](#)). De la [figura 2.16](#) y el análisis presentado en la [sección 2.4.3](#), se puede observar que la cantidad de puentes donde es prioritario obtener información para puentes de concreto y acero son 52 unidades. Este tipo de análisis y resultados



para realizar una selección de los puentes a evaluar de forma más profunda, también se utiliza por ejemplo en el estudio de Santana (1999), cuando se analizó la vulnerabilidad sísmica de la provincia de Guanacaste proponiendo, en este caso, un límite restrictivo de análisis enfocándose en estructuras con longitudes mayores a 25 metros. Este tipo de análisis reduce el número de inspecciones faltantes de puentes necesarios para realizar un análisis de fragilidad sísmica completo a nivel nacional de 499 puentes a solo 52 unidades.

En la [figura 2.16](#) también se pueden observar los puentes cuyos materiales de construcción de la estructura portante principal es madera o mampostería. Los puentes de mampostería son de construcción antigua, inclusive podrían superar los 100 años, y en muchos casos fueron ampliados mediante anexos de vigas o losas y son de análisis estructural complejo. Los puentes reportados de madera se encuentran principalmente en la red vial nacional terciaria y muchos fueron construidos con troncos, posiblemente sin información de las características de los materiales, sin norma de diseño y con pobre ejecución. Tanto para puentes de mampostería como de madera es recomendable realizar una inspección in-situ debido principalmente a la antigüedad de los primeros y a la incertidumbre sobre aspectos seguridad de cargas legales en los segundos. La descripción de aspectos de vulnerabilidad para puentes de madera y mampostería están excluidos de asignación de fragilidad estructural en este estudio.

En la [tabla 2.19](#) se muestran los resultados de clasificación por grupo de fragilidad para toda la red vial nacional incluyendo aquellas obras para las cuales fue posible asignar una fragilidad CLSA. En total, fue posible asignar 450 fragilidades, lo que muestra la utilidad del análisis estadístico de la población de puentes. De las 1433 unidades, solo para 121 no fue posible asignar fragilidades. De estos, 66 fueron puentes de madera o mampostería, 52 sin suficiente información y 3 estructuras sin clasificación que corresponden a tres puentes en la ruta interamericana norte, específicamente el puente Rafael Yglesias sobre el río Colorado en Alajuela, y los puentes de arco inferior de concreto sobre los ríos Salto y Colorado en Guanacaste. En la [tabla 2.19](#) se incluye también el detalle de las clasificaciones en específico para la red vial primaria de Costa Rica. Esto se destaca para indicar que la información concerniente a los puentes de mayor importancia en el país está bastante completa; en donde, por ejemplo, quedaron fuera del análisis solamente 12 estructuras, y dentro de las analizadas solo en 8 ocasiones se asignó la vulnerabilidad de la estructura teniendo información en detalle para 429 puentes. Esta información se utiliza en el ejercicio presentado en el [apartado 3](#), donde se calcula de forma ilustrativa el riesgo por sismo en la red vial nacional primaria, RVNP, incluyendo índices que detallan aspectos de vulnerabilidad existentes en la red vial.



Tabla 2.19. CLASIFICACIÓN DE PUENTES POR GRUPO DE FRAGILIDAD PARA TODA LA RED VIAL NACIONAL, INCLUYENDO FRAGILIDADES ASIGNADAS Y EL DETALLE PARA LA RED VIAL PRIMARIA

Diseño Sísmico	Grupo de Fragilidad Sísmica							Sin Clasificar (mampo/madera + sin información)	
	MAS	MVC	CC	CA	PM	CLSA	CLSA asignados		
Previo 1977 (1)	147	4	22	12	0	520	450	42	66 + 52 + 3 = 121
Sísmico (2)	64	2	33	13	4				
Previo 1977 (1) <i>Solo red primaria</i>	110	4	16	5	0	194	8	26	4 + 5 + 3 = 12
Sísmico (2) <i>Solo red primaria</i>	28	2	31	9	4				

2.6 SUSCEPTIBILIDAD A DAÑOS EN SUELOS LICUABLES

Según Vargas (2003), la licuación es la pérdida temporal de la resistencia y la rigidez en depósitos de suelos granulares, no arcillosos, saturados y poco densos producida, por el paso de las ondas sísmicas. Este fenómeno puede estar acompañado de un comportamiento del suelo similar a un líquido viscoso y de allí deriva su nombre (W. Vargas, 2003).

La licuación está restringida a ciertos ambientes geológicos e hidrológicos, y es más frecuente en zonas con niveles de aguas subterráneas dentro de los primeros 10 metros de profundidad. Entre los terrenos más susceptibles a la licuación, se incluyen depósitos recientes en zonas de delta de ríos, depósitos aluviales en ríos, llanuras de inundación, depósitos eólicos y rellenos artificiales mal compactados (ACG, 2009). La estimación de susceptibilidad a licuefacción según el tipo de depósito que utiliza la FHWA (2006) se presenta en la tabla 2.20; esta tabla proviene de la propuesta de Youd & Perkins(1978).

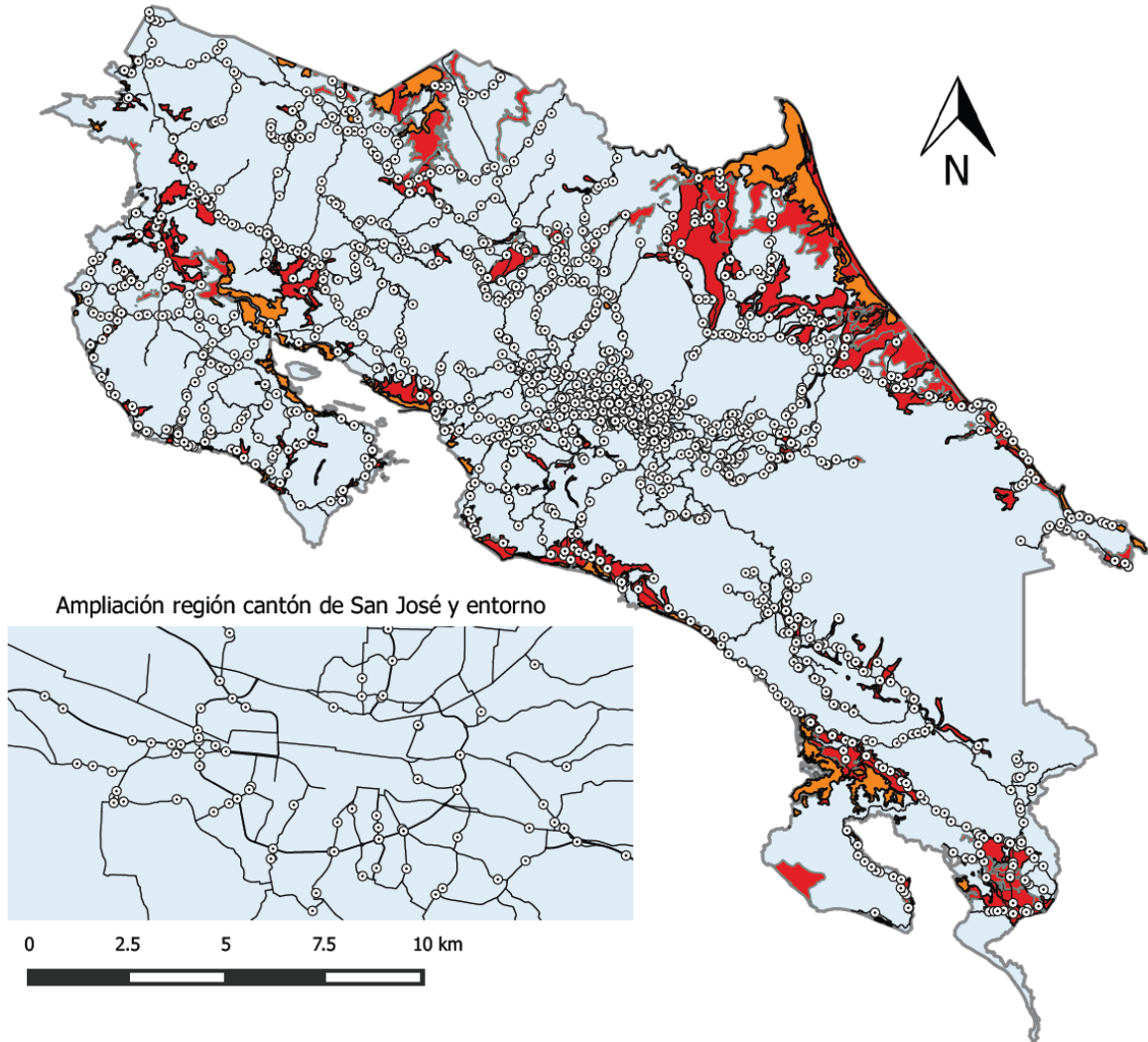
En el contexto costarricense, una zonificación por tipo de suelos es presentada en el Código de Cimentaciones de Costa Rica del 2009 (ACG, 2009). Basándose en las descripciones que se presentan en el Código de Cimentaciones, la tabla 2.20 y la experiencia de ocurrencia de licuación por sismo en eventos anteriores, se propone en la tabla 2.21 los tipos de suelo en el país que podrían presentar mayor susceptibilidad a la licuación para efectos de este estudio. De estos 5 tipos de suelos, se estima que, en su mayoría, podrían presentar una susceptibilidad alta y solo se tienen el caso de suelos tipo “Sat” con susceptibilidad moderada. Esto se refleja en la figura 2.28.



Tabla 2.20. ESTIMACIÓN DE SUCEPTIBILIDAD DE DEPOSITOS SEDIMENTARIOS (Youd & Perkins, 1978)

Tipo de depósito	Distribución general de sedimentos no cohesivos en depósitos	Posibilidad de que sedimentos no cohesivos en condición saturada sean susceptibles a la licuación (por edad del depósito)			
		<500 años moderno	Holoceno <1 ka	Pleistoceno o 11ka-2Ma	Pre-Pleistoceno >2 Ma
a) Depósitos continentales					
Canal de río	variable localmente	Muy alta	alta	baja	muy baja
Planicie de inundación	variable localmente	alta	moderada	baja	muy baja
Abanico aluvial y planicie	general	moderada	baja	baja	muy baja
Terrazas marina y planicie	general	---	baja	muy baja	muy baja
Deltas y abanicos	general	alta	moderada	baja	muy baja
Lacustre y playa	variable	alta	moderada	baja	muy baja
Coluvio	variable	alta	moderada	baja	muy baja
Talus	general	baja	baja	muy baja	muy baja
Dunas	general	alta	moderada	baja	muy baja
Loess	variable	alta	alta	alta	muy baja
Morrena glacial	variable	baja	baja	muy baja	muy baja
Toba	raro	baja	baja	muy baja	muy baja
Tefra	general	alta	alta	evaluar	evaluar
Suelo residual	raro	baja	baja	muy baja	muy baja
Sebkha	variable localmente	alta	moderada	baja	muy baja
b) Zona costera					
Delta	general	Muy alta	alta	baja	muy baja
Estuario	variable localmente	alta	moderada	baja	muy baja
Playa					
Ola de alta energía	general	moderada	baja	muy baja	muy baja
Ola de baja energía	general	alta	moderada	baja	muy baja
Laguna	variable localmente	alta	moderada	baja	muy baja
Zona costera	variable localmente	alta	moderada	baja	muy baja
c) Relleno artificial					
Relleno no compactado	variable	Muy alta	---	---	---
Relleno compactado	variable	baja	---	---	---

Según el CCCR-2009, las planicies de inundación de los ríos Reventazón, Pacuare, Chirripó Atlántico, Parismina, Banano, Bananito, Vizcaya, Estero Negro, Estrella, Telire y Sixaola en el Caribe, y Tempisque, Tárcoles, Tusubres, Parrita, Savegre y Térraba en el Pacífico, reúnen las condiciones para que ocurra licuación de suelos (ACG, 2009).



Leyenda

Suceptibilidad a Licuación

Alta

Moderada

○ Puentes en la RVN

25 0 25 50 75 100 km



Propuesta mapa de susceptibilidad a licuación de suelos en Costa Rica

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 12.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 2.28: MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA LICUACIÓN UTILIZADO EN ESTE PROYECTO



**Tabla 2.21. DESCRIPCIÓN DE TIPOS DE SUELOS SEGÚN EL CCCR 2009 (ACG, 2009)
POTENCIALMENTE PROPENSOS A LICUACIÓN EN CASO DE SISMO**

Descripción	Características Ingenieriles
Lic: suelos aluviales	Susceptibles a licuarse, blandos y permeables
Licw: suelos aluviales en zonas húmedas	Humedades naturales muy altas, con frecuencia superior al 100%
LicA: suelos arenosos	Susceptibles a licuarse, poco consolidados, nivel freático superficial
Pant: suelos aluviales pantanosos	Condiciones desfavorables: inundados, blandos, propensos a licuación
Sat: suelos aluviales saturados	Muy blandos, problemas de estabilidad en cortes

Los efectos de la licuación en el terreno son, entre otros, pérdida de capacidad de soporte, flujo, oscilación del terreno y corrimientos laterales. Estos efectos pueden producir daños importantes en obras civiles; en particular, luego del terremoto de Niigata (Japón 1964), se tomó conciencia internacional de sus efectos (Hamada & O'Rourke, 1992). Para el caso de puentes, se han observado daños severos ya que muchas de estas estructuras se ubican en sitios susceptibles a licuación. Uno de los fenómenos que más ha incidido en daño para puentes es el denominado *lateral spreading* o desplazamiento lateral, que suele presentarse en áreas de llanuras de inundación en el entorno del cauce de los ríos.

El fenómeno de licuación fue observado en el territorio nacional para los sismos de Golfito 1983 (sismo del Sábado Santo), de Cóbano 1990, Limón 1991, Burica 2002, Puerto Armuelles 2003 (terremoto de Navidad) y finalmente el sismo de Sámara del 2012. Los daños de mayor importancia fueron los causados por el sismo de Limón de 1991, en donde este fenómeno influyó en el colapso de estructuras o su daño severo en las rutas nacionales No. 36 y No. 32, como se observa en la [figura 2.29](#).

Para el terremoto de Sámara del 2012, se observaron asentamientos diferenciales y licuación en sectores de Carrillo, Guiones, Nosara y Ostional (A. Vargas, Linkimer, Barquero, Rojas, & Boschini, 2012). Luego de las visitas realizadas a los puentes en la península de Nicoya, se encontró que es posible que el daño observado de los pilotes de cimentación en 3 puentes estuvieran relacionados con el fenómeno de licuación de suelos ([apartado 5.2](#)).

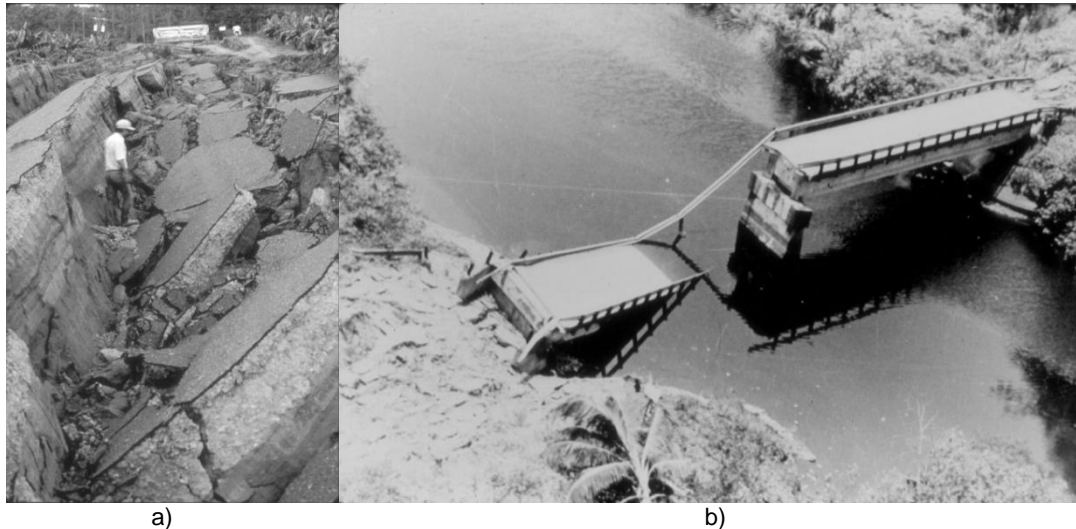


Figura 2.29. DAÑOS EN PUENTES LUEGO DEL SISMO DE LIMÓN 1991. a) DESTRUCCIÓN DEL RELLENO DE APROXIMACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO ESTRELLA, b) *LATERAL SPREADING* CON COLAPSO DE LA SUPREESTRUCTURA DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIZCAYA (W. Vargas, 1991)

2.6.1 Potencial de daño por licuación en puentes

El manual de rehabilitación de puentes de la FHWA (2006), utiliza un procedimiento que calcula índices para determinar el potencial de que la falla del terreno incida en daños para la estructura de un puente durante sismo. Este se basa en la susceptibilidad a la licuación, la magnitud de la aceleración espectral y algunas características estructurales del puente.

En el documento se especifica que una vulnerabilidad alta corresponde a arenas sueltas saturadas, arenas limosas saturadas o limos no plásticos en el entorno tanto de cimentaciones en bastiones y pilas, como de los rellenos de aproximación del puente. El caso de susceptibilidad moderada se asocia a suelos de cimentación con densidad media, como por ejemplo arenas compactas. Una susceptibilidad baja está asociada a suelos de cimentación densos. En este estudio se asignan susceptibilidades según lo planteado en la [tabla 2.21](#).

Para determinar el daño potencial relacionado con licuefacción, la FHWA propone el uso de la [tabla 2.22](#) que estima el daño en función de la susceptibilidad y la aceleración espectral para un periodo igual a un segundo. En un siguiente paso, se presenta una serie de características estructurales y geométricas para la determinación del índice de vulnerabilidad en el método de la FHWA. Las características de mayor impacto sobre el índice son el número de tramos, el sesgo y la continuidad de la superestructura. Se tomaron estos parámetros estructurales para la elaboración de la [tabla 2.23](#). La [tabla 2.23](#) muestra la relación que se utiliza en este estudio entre susceptibilidad a la licuación, la intensidad sísmica y características estructurales de los puentes



para estimar posibles daños en la estructura. Se realiza en la tabla una equiparación de los distintos estados de daños, ya que no hay una relación directa entre las intensidades de la [tabla 2.22](#) y [2.23](#), en donde se considera que el grado de daño severo corresponde a severo, moderado a mayor y leve a moderado. Esta estimación, a diferencia del procedimiento descrito anteriormente mediante el uso de curvas de fragilidad, muestra una descripción cualitativa del daño y su aplicabilidad es únicamente a escala regional. Es recomendable valorar la posibilidad por parte de la administración de realizar estudios geotécnicos específicos en aquellas estructuras de mayor importancia y características riesgosas ubicadas en las regiones F y S4 de la [figura 2.8](#), con fin de evaluar de forma precisa posibles efectos nocivos por sismo tanto por efectos de amplificación como licuación del terreno.

Tabla 2.22. POTENCIAL DE DAÑO EN PUENTES RELACIONADO CON LICUACIÓN (FHWA, 2006)

Susceptibilidad a Licuefacción	Aceleración espectral S_1 (T=1)				
	$S_1 < 0.14$	$0.14 < S_1 \leq 0.24$	$0.24 < S_1 \leq 0.39$	$0.39 < S_1 \leq 0.49$	$S_1 > 0.49$
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Moderado	Bajo	Bajo	Moderado	Mayor	Severo
Alto	Bajo	Moderado	Mayor	Severo	Severo

Tabla 2.23. PROPUESTA PARA EVALUACIÓN DE DAÑO SEGÚN LOS NIVELES DESCRITOS EN LA TABLA 2.8, LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y SUCEPTIBILIDAD A LICUACIÓN

Susceptibilidad a Licuación	Tramos en el puente	Aceleración espectral S_1 (T=1)				
		$S_1 < 0.14$	$0.14 < S_1 \leq 0.24$	$0.24 < S_1 \leq 0.39$	$0.39 < S_1 \leq 0.49$	$S_1 > 0.49^+$
Baja	Cualquiera	Poco probable	Poco probable	Poco probable	Poco probable	Poco probable
Moderada (Clasificación: Sat y Pant)*	Un solo tramo con sesgo $< 40^\circ$	Poco probable	Poco probable	Leve	Moderado	Moderado
	- Un solo tramo con sesgo $> 40^\circ$ - Múltiple con apoyo continuo y sesgo $< 20^\circ$	Poco probable	Poco probable	Leve	Moderado	Severo
	- Múltiple con apoyo simple - Múltiple con apoyo continuo y sesgo $> 20^\circ$	Poco probable	Leve	Moderado	Moderado	Severo
Alta (Clasificación: Lic, Licw y LicA)*	Un solo tramo con sesgo $< 20^\circ$	Poco probable	Leve	Moderado	Moderado	Severo
	- Un solo tramo con sesgo $> 20^\circ$ - Múltiples tramos	Poco probable	Moderado	Moderado	Severo	Severo

* Tipo de suelo según la descripción presentada en el CCCR 2009 (ACG, 2009), + para todos los casos en donde $S_1 > 0.49$ el criterio ingenieril se debe utilizar para determinar si la posibilidad de daño es mayor a severa (FHWA, 2006)

3
PRIORIZACIÓN

En Costa Rica, los daños en infraestructura de puentes, carreteras y alcantarillas producen, en general, las mayores pérdidas económicas luego de una emergencia (CNE, 2015). Una priorización de atención de estructuras de puentes es necesaria para hacer uso eficiente de los recursos limitados con los que cuenta la administración para hacer frente a las distintas etapas relacionadas con los ciclos de los desastres naturales. Por ejemplo, desde el punto de vista de la respuesta, es necesario priorizar para definir la urgencia de una inspección y, desde el punto de vista del riesgo, para la definir políticas o planes de inversión para la reducción del riesgo. Esta priorización depende principalmente de la importancia de la obra en términos de su valor económico, su uso durante la emergencia, y el grado daño que pueda sufrir la estructura luego de un evento sísmico.

En este apartado se discuten los aspectos relativos a la priorización en puentes, no solo desde el punto de vista individual de cada estructura, sino que también tomando en cuenta las consecuencias desde el punto de vista de la afectación en la conectividad del sistema nacional vías administrada por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT.

3.1 IMPORTANCIA OPERATIVA Y PRIORIZACIÓN

La importancia, en el caso de puentes, se refleja en términos de las posibles pérdidas económicas, lesiones o muerte a los usuarios, y la afectación del tránsito sobre la ruta. Adicional a esto, en algunos casos se considera incluso pérdidas en términos de daño ambiental, cantidad de población incomunicada, pérdidas de ingresos para rutas concesionadas, daños en servicios públicos, aspectos de defensa civil o una pérdida de patrimonio histórico-cultural. En particular, durante la emergencia hay un grupo de puentes cuya operación es primordial como acceso a las zonas afectadas por el sismo, hospitales, aeropuertos, estaciones de bomberos u otros, y que en caso de colapso o daño severo afectarían las labores de respuesta. Estos puentes deben ser prioritarios para inspección en caso de existir una posibilidad de daño, no solo para los casos con daños severos evidentes, sino también para daños moderados, leves o situaciones peligrosas (como por ejemplo una longitud de apoyo menor que la requerida), ya que se deben identificar como seguros



para tránsito sin ninguna restricción, con alguna restricción de carga o de uso exclusivo para vehículos de emergencia, con el fin de evitar mayores daños a la estructura o proteger a los usuarios civiles de situaciones riesgosas.

La priorización de los puentes se realiza en este estudio en función de las categorías ya definidas por los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes de Costa Rica, LDSP-2013 (CFIA, 2013). En esta norma, se definen tres categorías de importancia según la descripción provista en la tabla 3.1 de los LDSP-2013. Para facilitar la clasificación, se parametriza la descripción de los LDSP-2013 en una serie de nueve variables y se evalúan las estructuras según su ubicación en los distintos tramos de la red vial nacional; los resultados se muestran en la figura 2.10 y el anexo B. En la tabla 3.1 se muestran los criterios utilizados, en donde todos, a excepción del criterio C5, provienen de los LDSP. El criterio C5 se incorporó para incluir como críticas aquellas vías llamadas de alta capacidad (definidas así en el Plan Nacional de Transportes 2011-2035), o arteria principal según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, las cuales son aquellas vías por las que transitan más de 20000 vehículos diariamente (SIECA, 2011).

Tabla 3.1. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE PUENTES POR IMPORTANCIA

Importancia	Descripción (según LDSP-2013 (CFIA, 2013))	Criterio
Críticos	<p>Puentes que se requiere estén en funcionamiento después de un sismo y son fundamentales para la actividad económica a nivel regional o nacional</p> <p>Puentes sobre rutas estratégicas (vías de acceso hacia hospitales, puertos, fronteras y aeropuertos)</p> <p>Puentes sobre rutas cantonales en zonas urbanas importantes que conectan a rutas estratégicas</p> <p>Puentes que son requeridos para mantener los servicios públicos esenciales tales como el suministro de electricidad, agua e hidrocarburos</p> <p>Puentes con un costo de construcción que excede los US\$10 millones (al 2012)</p>	<p>C1: Acceso Frontera, Puertos, Hospitales, Aeropuertos</p> <p>C2: Servicios públicos</p> <p>C3: Emergencia Sismo o Económico Importante</p> <p>C4: Ruta Primaria sin Ruta alterna</p> <p>C5: Ruta Alta Capacidad TPD > 20000*</p> <p>C6: Costo excede los US\$10 millones</p>
Esenciales	<p>Puentes diseñados para soportar volúmenes importantes de tráfico o puentes a lo largo de rutas secundarias sin rutas alternativas similares que no cumplen con los requisitos para puentes críticos.</p> <p>Puentes sobre rutas primarias y secundarias con un tránsito promedio diario (TPD) > 5000 vehículos</p>	<p>E1: Ruta sin Ruta Alterna</p> <p>E2: Ruta con TPD > 5000</p>
Convencionales	<p>Puentes a lo largo de rutas primarias, secundarias, terciarias, y caminos cantonales que no cumplen los requisitos para los puentes críticos y esenciales.</p>	<p>CO: Puentes en rutas Primarias, Secundarias o Terciarias que no sean Esenciales o</p>

* Clasificación funcional como arteria principal tipo autopista según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011)



Con base en estos parámetros de importancia, se definen tanto los tipos como la urgencia de realizar una inspección en las estructuras; esto se explica en detalle en el [apartado 3.1.1](#). Diferente a la priorización de las inspecciones, la priorización de inversión, desde el punto de vista de su afectación por sismo, se puede realizar mediante la evaluación de una serie de índices como se discute en el [apartado 3.1.2](#), cuyos resultados reflejan también cuales tramos son de mayor importancia en función del riesgo de pérdidas económicas e interrupción del tráfico que pudiese darse en el tramo de la red vial.

3.1.1 Priorización para inspección

Una de las formas más eficaces para priorizar la inspección de puentes luego de un sismo es realizándola primero en aquellos puentes considerados con mayor riesgo de daño y cuyas consecuencias de fallo sean mayores. Sin embargo, en la práctica usual las inspecciones post-sismo se realizan en función de la proximidad de los puentes al epicentro del sismo, la magnitud del evento y los reportes de daño observados en campo ([Malone, Eberhard, Labelle, & Ranf, 2005](#)). Este proceso lleva a periodos de tiempo mayores para ubicar los puentes dañados, ya que se ha comprobado por múltiples estudios que el daño en puentes correlaciona en forma limitada con la distancia epicentral y con la magnitud del terremoto ([Ranf et al., 2007](#) y [figura 5.13](#)).

En el entorno de Costa Rica, para el sismo de Sámara del 2012, se presentaron por ejemplo colapsos en estructuras ubicadas en lugares alejados del epicentro, en un caso inclusive a una distancia de 200 km del mismo, y daños en puentes distribuidos en un total de 15 cantones. La distribución del daño no solo es función de la distancia epicentral por aspectos como los siguientes:

- Características locales del terreno en donde pudiesen incidir fenómenos como la amplificación de ondas sísmicas, licuación, efectos topográficos o la ocurrencia de deslizamientos y flujos de detritos en el entorno del puente.
- Características del sismo como su magnitud, direccionalidad y origen tectónico.
- Aspectos de vulnerabilidad sísmica particulares de la estructura.
- Distribución física de los bienes expuestos (relativo al desarrollo regional y centros de población). Ubicación y densidad de los bienes.

Buscando la optimización de recursos y facilidad de toma de decisiones en infraestructura del transporte, un análisis del riesgo como el que propuesto por King, Teferra, & Abboud ([2013](#)) es de

utilidad. En este estudio, adicional a lo mencionado en el [capítulo 2](#), se cuantifica el riesgo en términos de las recomendaciones de la FHWA & AASHTO (2003) que lo definen como:

$$R = A * V * C \quad \text{Ecuación 3.1}$$

En donde *A* se refiere a una amenaza y está relacionada a la probabilidad de ocurrencia del evento, *V* es la vulnerabilidad relacionada a una probabilidad condicional o un valor condicional esperado de consecuencia en caso de ocurrencia del evento, y *C* es la criticidad representada por el impacto de las consecuencias para el dueño y la región (FHWA & AASHTO, 2003). Para la solución de la [ecuación 3.1](#), múltiples procedimientos son posibles, como el análisis de escenarios específicos de riesgo individualmente para cada puente, tramo o ambiente urbano (ASME, 2009), análisis de eventos y árboles de consecuencia, o una evaluación cualitativa mediante el uso de matrices como se observa en la [figura 3.1](#), según la propuesta descrita en la Guía de Evaluación de Vulnerabilidad en Autopistas para la Identificación y Protección de Activos Críticos de la AASHTO (AASHTO, 2002a).

En este estudio, se utilizó una evaluación cualitativa en donde se aplican los principios de criticidad y vulnerabilidad para la priorización de infraestructura a inspeccionar luego de un evento por sismo, en donde una gran cantidad de estructuras pueden ser afectadas al mismo tiempo por un solo evento, y en donde además las obras pueden estar espacialmente ubicadas a grandes distancias entre sí. La formulación utilizada se muestra en la [figura 3.2](#).

VULNERABILIDAD	IV alta vulnerabilidad baja criticidad	I alta vulnerabilidad alta criticidad
	III baja vulnerabilidad baja criticidad	II baja vulnerabilidad alta criticidad
	CRITICIDAD	

[Figura 3.1](#). MATRIZ DE CRITICIDAD vs VULNERABILIDAD (traducido del AASHTO, 2002)



Para el caso de la criticidad de la estructura, se utilizaron los parámetros definidos por los LDSP-2013 explicados en la [tabla 3.1](#) y que califican los puentes en estructuras críticas, esenciales o convencionales. En base a esto y los estados de daño se definen cuatro niveles o grados de criticidad de inspección, *CI*. En la [figura 3.2](#) se introduce el concepto de daño esperado, D_E , que a diferencia del daño probable, es un valor que se calcula por pesos para cada estado de daño (Pesos: $D_0=0$, $D_1=1$, $D_2=2$, $D_3=3$ y $D_4=4$), y cada probabilidad según sus funciones de fragilidad. Esto corresponde a la esperanza matemática calculada según la [ecuación 3.2](#):

$$D_E = prob_{D_0} * 0 + prob_{D_1} * 1 + prob_{D_2} * 2 + prob_{D_3} * 3 + prob_{D_4} * 4 \quad \text{Ecuación 3.2}$$

El uso de D_E es conveniente desde el punto de vista de que pondera en un solo estado la probabilidad de todos los otros, ayudando, por ejemplo, a identificar puentes donde es esperable daños leves o moderados aún cuando la probabilidad de ningún daño sea dominante frente a todas las demás. Esto se puede dar por ejemplo cuando: $prob_{D_0}= 35\%$, $prob_{D_1}= 20\%$, $prob_{D_2}= 20\%$, $prob_{D_3}= 20\%$, y $prob_{D_4}= 5\%$; donde D_0 es el estado más probable pero la suma todos las demás es un 65% (probabilidad de algún daño). Para este caso $D_E= 1$ o 2 según el redondeo escogido.

Los tipos de inspección sugeridos para cada nivel de criticidad y su descripción se detallan en la [tabla 3.2](#). En la [tabla 3.2](#), se muestra además una descripción de los grados de criticidad, los símbolos que se propone utilizar en los mapas que utilizarían los inspectores y una sugerencia del tipo de inspección a realizar en la estructura. Las características de los tipos de inspecciones definidas en este trabajo se presentan en el [capítulo 4](#) de este estudio.

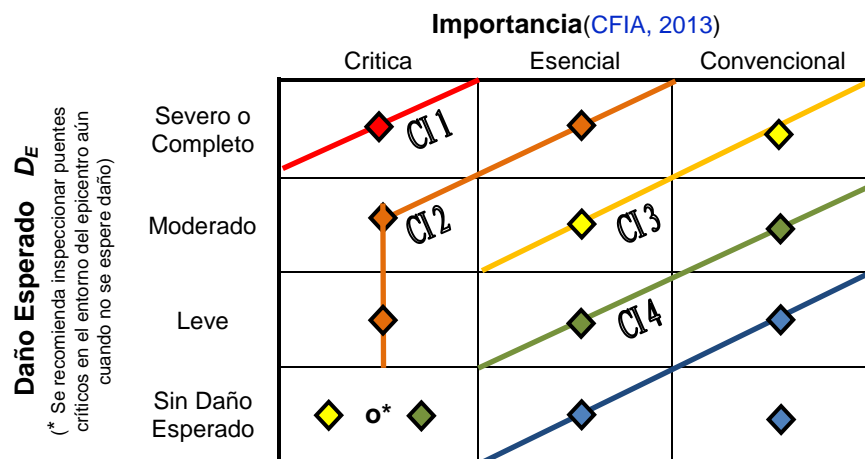


Figura 3.2. GRADO DE CRITICIDAD DE INSPECCIÓN PARA LA MATRIZ DE IMPORTANCIA vs DAÑO

Basándose en la clasificación de la [tabla 3.2](#), para valores de D_E estimados mediante el SERIS-P o los reportes de daño, se pueden utilizar herramientas de información geográfica (SIG), aplicaciones móviles (APP), correo electrónico o algún otro medio de alerta que informe a los inspectores y autoridades sobre la urgencia de inspección de las estructuras basados en listas y mapas para la priorización de inspección luego de un sismo mayor. El mapa generado sería similar al que se muestra en la [figura 3.3](#), calculado a partir de los resultados obtenidos para una simulación utilizando los registros del sismo de Sámara de 2012. Una experiencia sobre el uso de sistemas de información para la inspección post-sísmica de puentes se presenta en el trabajo de Malone et al. (2005), propuesto para el estado de Washington en EUA.

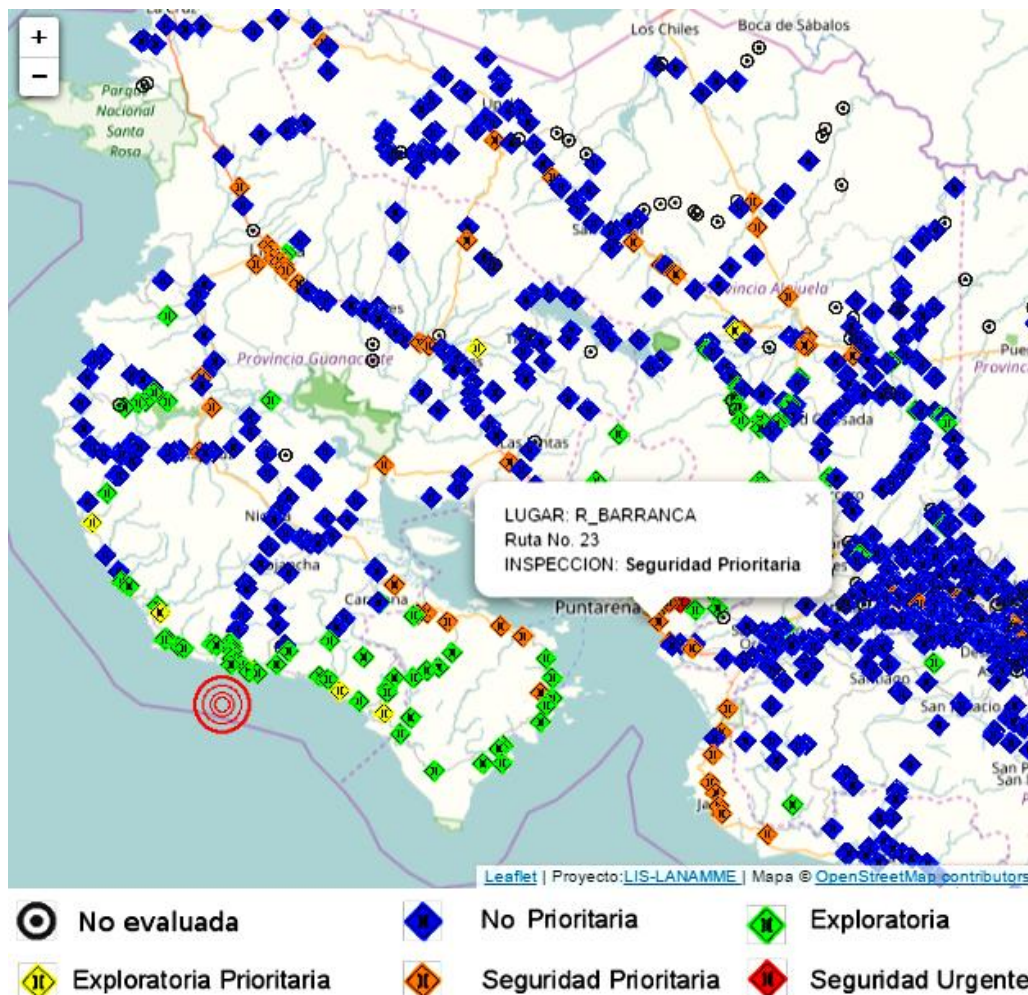


Figura 3.3. PUENTES A INSPECCIONAR Y TIPOS DE INSPECCION PROPUESTA APLICADA PARA LOS REGISTROS DE ACCELERACIÓN DEL SISMO DE SÁMARA 2012. SE MUESTRA ADEMÁS EL RESULTADO ESPECÍFICO PARA EL PUENTE SOBRE EL RÍO BARRANCA RUTA No. 23



Tabla 3.2. PROPUESTA DEL TIPO DE DE INSPECCIÓN PARA LA RESPUESTA INMEDIATA

Símbolo en mapa	Símbolo sugerido para mapa al Inspector	Inspección Emergencia	Aspectos de Inspección según su Grado de Criticidad
		Inspección de Seguridad Urgente	CI-1: Por importancia crítica y posibilidad de daños serios es urgente realizar la inspección. Realizar al menos inspección de seguridad (Nivel 1)
		Inspección de Seguridad Prioritaria	CI-2: Por importancia crítica o esencial con posibilidad de daño (daño serio para esencial) es prioritario realizar la inspección. Realizar al menos inspección de seguridad (Nivel 1)
		Inspección Exploratoria Prioritaria	CI-3: Por importancia esencial o convencional con alta posibilidad de daño es necesario realizar de forma prioritaria inspección exploratoria (Nivel 0)
		Realizar Inspección Exploratoria	CI-4: Importancia esencial o convencional con baja posibilidad de daño. Realizar Inspección (Nivel 0)
		Inspección no Prioritaria	No es necesario realizar la inspección como parte de la respuesta inmediata a menos que se reporte de algún daño.

3.1.2 Priorización para inversión

Al igual que la priorización para la inspección luego de un sismo mayor, la vulnerabilidad y la importancia son los factores claves para definir estrategias de priorización de inversiones para recambio o readecuación de puentes en la red vial nacional. A diferencia de una priorización de inspección post-sismo, la importancia en este caso está fuertemente influenciada por la función del puente dentro de la red de transporte. Un análisis de la red permite evaluar el impacto de la interrupción de las rutas, largos de recorridos de desvío o reducción de las velocidades de tránsito, es el presentado por Basöz & Kiremidjian (1995). Un análisis en función del tránsito en la red es de importancia para la toma de decisiones de inversión ya no solamente son función de una estructura individual, sino que también del grupo de puentes que formen parte del vínculo de interconexión vial.

Adicional a un análisis en función del tránsito, es de suma importancia en la toma de decisiones agregar una valoración económica para priorizar inversiones, procurando optimizar la relación entre recursos invertidos y la reducción del riesgo sísmico. Dada la cantidad limitada de recursos disponibles, la readecuación o cambio de todos los puentes vulnerables es impráctica en un futuro cercano incluso en países desarrollados, por lo que es necesaria una priorización de readecuación

(Mehary & Dusicka, 2015). Además, las limitaciones y los flujos en el tiempo de estos presupuestos son importantes de tomar en cuenta al tomar decisiones, definiendo campañas de rehabilitación en función de la relación costo beneficio calculadas en base a modelos como el expuesto por el Departamento de Transporte de Oregón mostrado en la figura 3.4 (Mehary & Dusicka, 2015).

Una forma conveniente de señalar y hacer notar los efectos de las medidas de readecuación en la red vial es mediante el uso de las curvas de riesgo como las que se muestran de forma esquemática en la figura 3.5, que relacionan las pérdidas en función de la amenaza y reflejan de forma pragmática los resultados de estudios de riesgo, como el realizado por Rossi, Gastaldi, Carturan, Pellegrino, & Modena (2012). Para la estimación de las pérdidas económicas e interrupción del tránsito existen múltiples propuestas, de esto se discute en los apartados 3.1.2a y 3.1.2b.

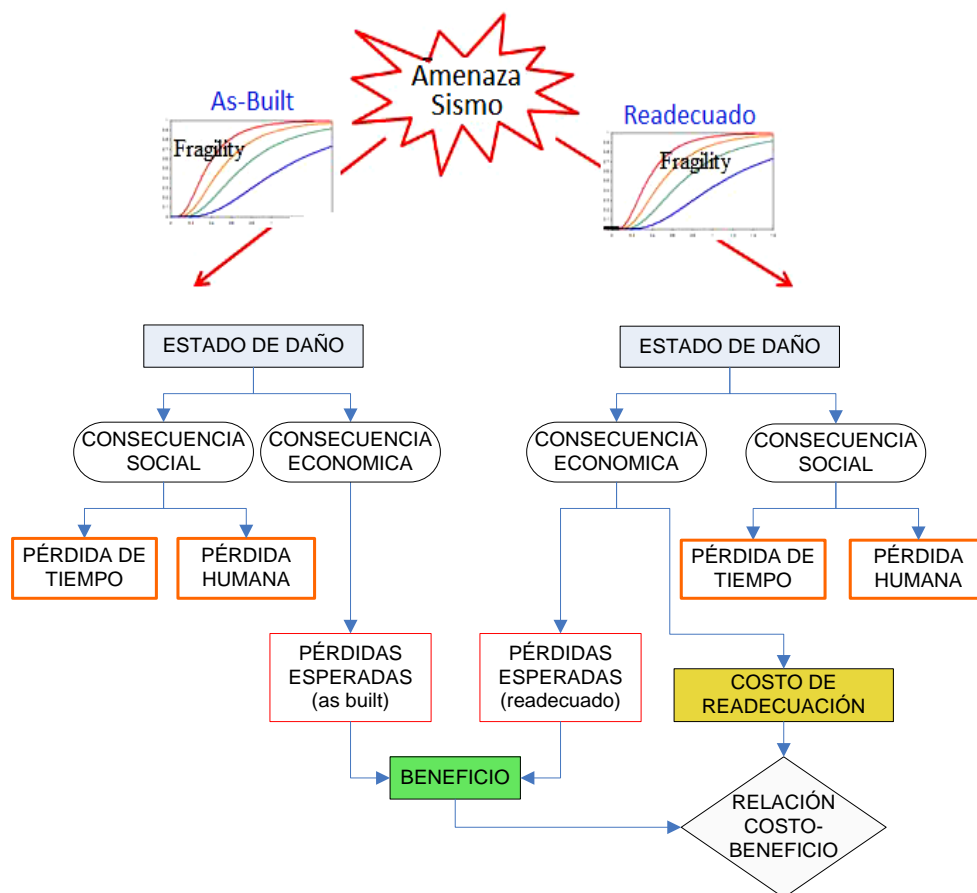


Figura 3.4. ESQUEMA PARA OBTENER LA RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

(traducido de Mehary & Dusicka, 2015)

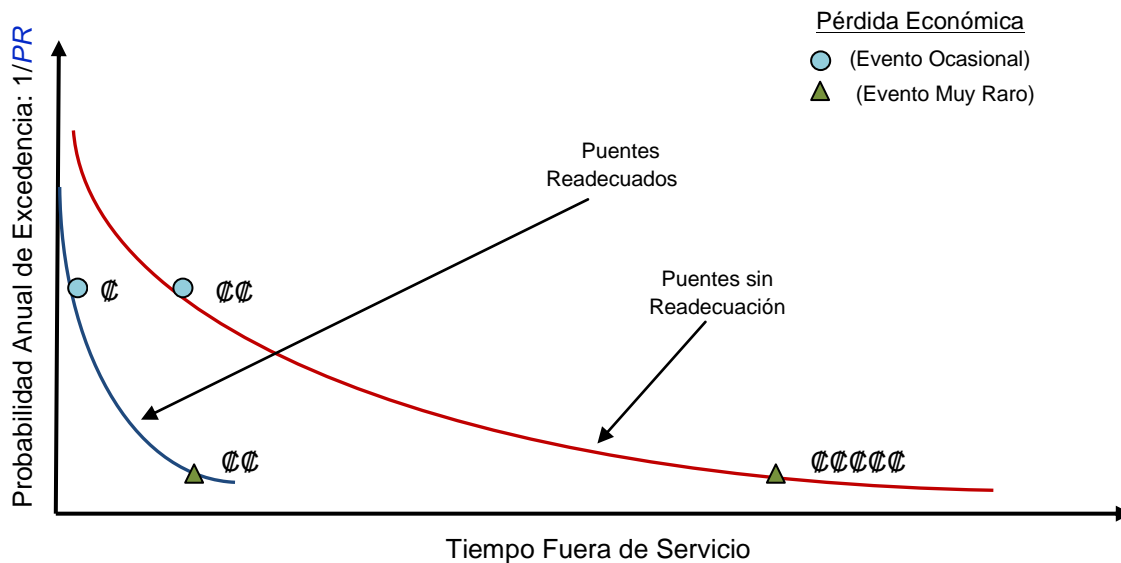


Figura 3.5. CURVAS DE RIESGO QUE RELACIONAN PÉRDIDAS ECONÓMICAS Y DE TIEMPO FUERA DE SERVICIO PARA DISTINTOS ESCENARIOS DE AMENAZA SÍSMICA (modificado de Rossi et al., 2012)

a) Curvas de vulnerabilidad para estimación de pérdidas directas

Al igual que para el cálculo del riesgo sísmico, existen numerosas metodologías para estimar pérdidas económicas directas luego de sismo para puentes; entre ellas están las que utilizan índices calibrados de forma empírica (Pezeshk, Chang, Yiak, & Kung, 1993 y Kim, Park, & Kim, 1995), las funciones de vulnerabilidad analíticas calculadas a partir de las curvas de fragilidad (Mullen & Cakmak, 1997 y Nielson & DesRoches, 2007a), y las funciones de vulnerabilidad estadísticas obtenidas a partir de un análisis estadístico de las pérdidas ocurridas en sismos pasados (Basöz & Kiremidjian, 1998; Basöz & Mander, 1999; Shinozuka, Banerjee, & Kim, 2007a, 2007b y Shinozuka, Feng, Kim, Uzawa, & Ueda, 2003). En este trabajo se comenta brevemente sobre el cálculo y uso de las curvas de vulnerabilidad calculadas a partir de las curvas de fragilidad.

Una función de vulnerabilidad sísmica estima las pérdidas como una función de la intensidad sísmica, en tanto, para el caso de una función de fragilidad, esta define la probabilidad de estar o exceder un nivel de daño en función de la excitación sísmica. Es de importancia conocer esta diferencia ya que es común que se confundan. Para el cálculo de una curva de vulnerabilidad es necesario aproximar las pérdidas porcentuales asociadas a cada estado de daño que describen las curvas de fragilidad. Basados en estos datos de costos y la probabilidad asociada a cada estado

de daño se puede calcular la pérdida total porcentual para la intensidad sísmica deseada; esto se describe matemáticamente por medio de la [ecuación 3.3 \(FHWA, 2006\)](#):

$$RCR_T(\%Perdida) = \sum \{P[DS_i|S_a] * RCR_i\} < 1.0 \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$RCR_{i=4} = \frac{2}{n} < 1.0 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

En donde $P[DS_i|S_a]$ corresponde a la probabilidad asociada al estado de daño DS_i para la aceleración espectral S_a , RCR_i es la razón o tasa de costo de reparación para el estado de daño i , RCR_T es la razón del costo total esperado para la reparación del puente o la también llamada razón media de daño RMD y n corresponde al número de tramos del puente. Para el caso particular de daño completo, el cálculo de la tasa del costo de reparación se realiza mediante la [ecuación 3.4](#). Para cuantificar la pérdida directa en términos monetarios, B_{Loss} , basta multiplicar por el valor de remplazo del puente U ([ecuación 3.5](#)).

$$B_{Loss} = U * RCR_T \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Este es el procedimiento que utiliza la FHWA para priorizar la rehabilitación de puentes en función de las posibles pérdidas económicas directas ([FHWA, 2006](#)). La evaluación de la [ecuación 3.3](#) para distintas intensidades de aceleración sísmica genera la curva de vulnerabilidad.

La calibración del costo relacionado al daño es uno de los aspectos de mayor peso al estimar posibles pérdidas mediante el uso de curvas de vulnerabilidad. Los costos son función del tipo de reparación, el elemento a reparar y su ubicación, los costos asociados al país o región y el tipo de puente. Además, es necesario evaluar si debido a afectaciones severas por sismo, edad (obsolescencia) y/u otros daños existentes sea necesario reemplazar la estructura. En todo caso, las reparaciones podrían ser más costosas que el valor de remplazo cuando las intervenciones involucren reparaciones o cambio de componentes principales en toda la estructura.

También es importante comentar que en este método se incluye la estimación de los costos para daños leves, que en varias ocasiones no son contemplados dentro de los esfuerzos de atención a la emergencia, pero sí posiblemente luego en actividades de mantenimiento. En particular, costos por daño leve en puentes mayores podrían generar cifras significativas por el cuantioso valor inicial de la estructuras; estas estimaciones podrían ser muy conservadores en términos de que los daños difícilmente se encuentren con la misma intensidad y severidad en toda la estructura. Es importante mencionar respecto a las reparaciones que se debe evitar reconstruir una condición previa deficiente (ej.: realizar una reparación reproduciendo defectos del diseño inicial) y que es necesario



profundizar en estudios sobre los costos de las muchas actividades que involucra la gestión de puentes en el país.

En la [tabla 3.3](#) se muestran los valores sugeridos por varios autores para la variable RCR_i . Una curva de vulnerabilidad elaborada a partir de los límites superior e inferior, y promedio sugeridos por la FHWA (2006) para una estructura tipo MAS1 con tres superestructuras (puente de columnas múltiples, con claros simplemente apoyados, ver [tabla 2.15](#)) se muestra en la [figura 3.6](#). En la figura, se aprecian también las curvas de fragilidad a partir de las cuales se obtuvo la función de vulnerabilidad. El análisis de curvas de vulnerabilidad entre distintos tipos estructurales es de utilidad para realizar comparaciones; sin embargo, no refleja aspectos como el comportamiento dúctil o frágil de la estructura ante la acción de las cargas.

b) Índices de daño para evaluación de la red vial

Las pérdidas económicas totales, T_{Loss} , luego de un evento se pueden calcular mediante la [ecuación 3.6](#) como la suma entre pérdidas directas e indirectas (FHWA, 2006). Las pérdidas económicas directas se pueden estimar con cierto grado de confianza mediante formulaciones como la de la [ecuación 3.5](#); sin embargo, el cálculo de las pérdidas indirectas, H_{Loss} , en términos monetarios relacionados con la pérdida de vidas y lesiones, interrupción de las actividades económicas, congestión vial, cierre de vías, etc., son complejas de estimar.

$$T_{Loss} = B_{Loss} + H_{Loss} \text{ Ecuación 3.6}$$

Tabla 3.3. VALORES DE RCR_i PROPUESTO POR DISTINTOS AUTORES SEGÚN TIPO DE DAÑO

Estado de Daño	Sakoumpenta, Panetsos, & Haralabakis, 2013	% de pérdida		
		FHWA, 2006 (rangos)	FHWA, 2006 (promedio)	Mander, 1999 (promedio)
◆ Sin daño	10	0	0	0,5
◆ Leve	30	1 a 3	2	3
◆ Moderado	45	2 a 15	8	8
◆ Severo	60	10 a 40	25	25
◆ Completo	100	10 a 100	$2/n \leq 1$ *	$1 (n < 3)$ $2/n (n \geq 3)$

* n corresponde al número de tramos en el puente.

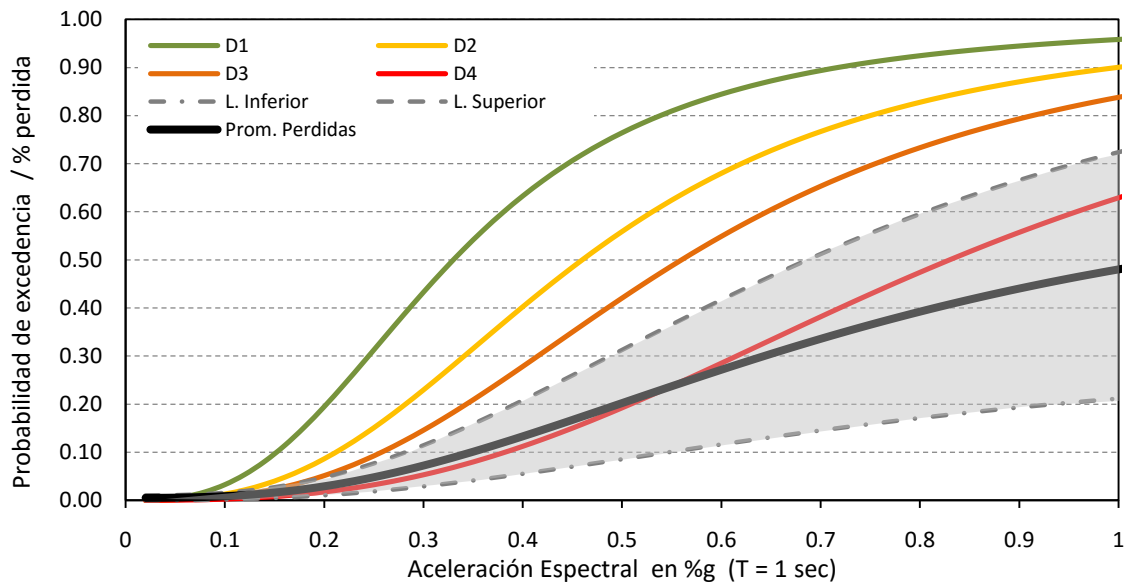


Figura 3.6. CURVAS DE VULNERABILIDAD O RELACION MEDIA DE DAÑO PARA UNA ESTRUCTURA DE TRES O MÁS TRAMOS CON TAXONOMIA MAS1

Para el cálculo de afectaciones indirectas, es también necesario analizar la afectación relativa no solamente a una estructura individual, sino al conjunto de estructuras que componen los distintos vínculos en la red vial. En otras palabras, se debe realizar un análisis de la afectación sobre el sistema como lo proponen autores como Werner et al. (2007, 2000) y Dong, Frangopol, & Saydam (2014).

Para la evaluación de la afectación del tránsito por vínculo debido a la falla de puentes en el sistema vial, autores como Hadas et al.(2015), Dong et al. (2014), Chang et al.(2000), Rahimian & Mcneil (2012), Rossi et al.(2012) y Shiraki et al.(2007), han utilizado el llamado índice de daño por vínculo, *LDI* (*link damage index*). Un vínculo denota al elemento de conexión entre dos nodos en la red vial y el *LDI* corresponde a un indicador de desempeño asociado a la vulnerabilidad sísmica del vínculo en función del número de puentes y el daño esperado luego del evento en análisis (Chang et al., 2000). Este índice se calcula a partir del índice de daño en puentes *BDI* (*bridge damage index*) desarrollo por CALTRANS luego del terremoto de Northridge en 1994 (Caltrans, 1994). El *LDI* se calcula mediante la siguiente fórmula (Chang et al., 2000):

$$LDI(t) = \sqrt{\sum_{j=1}^k [BDI_j(t)]^2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$



En donde t indica la fecha de evaluación del índice y k es igual al número de puentes en el vínculo. El valor de BDI se calcula para cada puente en función de los valores de la [tabla 3.4](#). El nivel de afectación del tránsito en términos de su capacidad vehicular y la velocidad de tránsito según el rango en el que se encuentre el LDI se muestra en la [tabla 3.5](#).

Inspeccionando la [tabla 3.5](#), se observa que la propuesta de Shiraki et al. (2007) podría parecer poco conservadora considerando que varias estructuras podrían colapsar y el tránsito se afectaría como máximo en un 50 % en su capacidad. Esta afirmación para ambientes urbanos densos tiene sentido desde el punto de vista de que existen multiplicidad de vías alternas por las que cierta cantidad de vehículos siga circulando; además, la funcionalidad se verá más o menos afectada en función del largo del tramo y su ubicación.

Para el caso de ambientes rurales, la propuesta de Hadas et al. (2015) tiene sentido desde la óptica de la poca o nula redundancia de algunas rutas en este tipo de vías, en donde, en caso de darse múltiples colapsos como sucedió para el terremoto de Limón de 1991, el tránsito sobre la vía llega a ser casi nulo. Otra particularidad en los tramos de rutas rurales, es que tanto los flujos de entrada y salida son en muchos casos similares, ya que funcionan como interconexión entre dos destinos principales, con tránsito intermedio menor. Esta necesidad de comunicación entre dos puntos hace que la afectación por colapso o daño severo de un puente sea prácticamente igual en cualquier punto del tramo. En este trabajo se realiza un ejercicio adoptando ambas propuestas de afectación del tránsito luego de clasificar una ruta como rural o urbana y en donde además se destacan aquellas rutas rurales no redundantes.

Tabla 3.4. RELACIÓN ENTRE EL ESTADO DE DAÑO DEL PUENTE Y EL VALOR DEL BDI SEGÚN CALTRANS (1994)

Estado de Daño	BDI
Sin daño	0,00
Leve	0,10
Moderado	0,30
Severo	0,75
Completo	1,00



Tabla 3.5. AFECTACIÓN DE LA RED VIAL EN FUNCIÓN DEL VALOR DEL *LDI*

Estado del Vinculo	Rango <i>LDI</i>	Afectación (Shiraki et al., 2007)		Afectación (Hadas et al., 2015)
		Capacidad Vehicular (%)	Velocidad de flujo libre (%)	Grado de funcionalidad (%)
Sin Daño	0,0 – 0,5	100	100	100
Daño Leve	0,5 – 1,0	100	75	100
Daño Moderado	1,0 – 1,5	75	50	50
Daño Severo	mayor a 1,5	50	50	25 (colapso algún puente = 0)

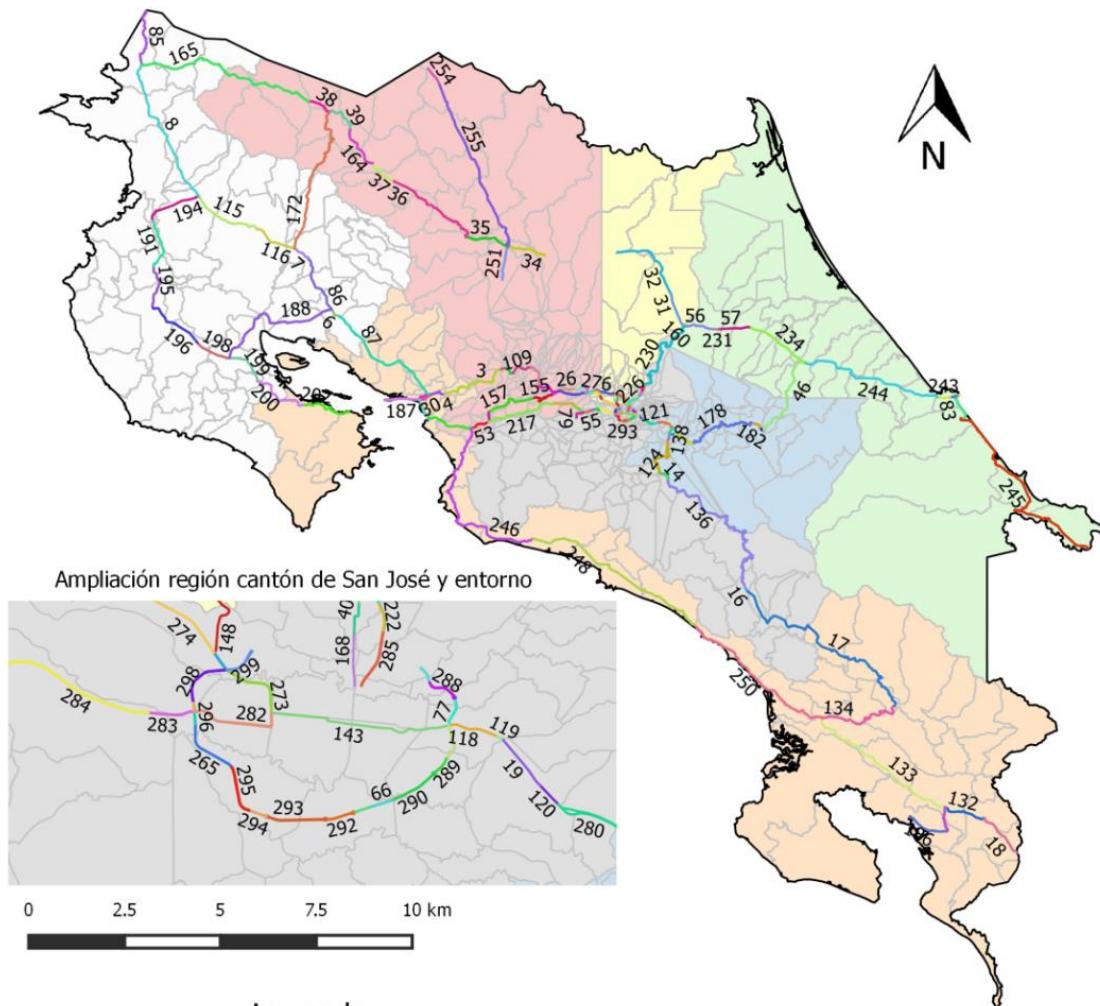
3.2 ANÁLISIS PARA PRIORIZACIÓN DE INVERSIÓN EN LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA

El énfasis de este trabajo se realiza en aspectos relativos a la priorización de inspección de estructuras de puentes luego de un evento sísmico de importancia; sin embargo, en este apartado se discute brevemente un análisis de riesgo preliminar con el objeto de identificar cuales segmentos de la red vial nacional primaria presentan cualitativamente un mayor riesgo de ser afectados. Un análisis riguroso de riesgo requiere no solo del uso de herramientas avanzadas para estimar la amenaza por sismo para cada sitio de ubicación del puente, sino también recopilar mayor información sobre dos aspectos particulares en los cuales el método propuesto en el [apartado 3.1.2](#) presenta mayor sensibilidad:

- 1) Caracterización del suelo directamente donde se ubican los puentes (en ambos accesos para puentes mayores, como por ejemplo, para el puente sobre el río Tempisque “La Amistad”)
- 2) Determinación de valor económico de remplazo de los puentes por taxonomía, costos de reparación y readecuación, y el detalle actualizado del tránsito y vías alternas.

3.2.1 Aspectos de exposición en la red vial nacional primaria

Aquí se presenta información sobre los elementos expuestos en puentes en la red vial nacional primaria. Se parte primero de una desvinculación del elemento puente para pasar al análisis por segmentos o tramos de la red vial en donde se divide la red primaria en secciones como se presenta en la [figura 3.7](#). Como se comentó anteriormente, una evaluación por segmentos presenta un escenario de riesgo de mayor utilidad, tanto para atender la emergencia como para un análisis comparativo de escenarios de inversión en función de la reducción del riesgo en el sistema vial a nivel regional o nacional.



Leyenda

Segmento en la red vial primaria

— ID del Segmento

25 0 25 50 75 100 km



Mapa de Identificación de Segmentos en la Red Vial Nacional Primaria

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 31.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 3.7. DISCRETIZACIÓN EN VÍNCULOS UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO DE LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA



a) *Definición de vínculos internodales*

La red vial nacional primaria se discretizó en un total de 177 segmentos o vínculos. No en todos los vínculos existen necesariamente estructuras de puentes. En total, 59 tramos no tienen puentes, de los cuales el de mayor longitud en kilómetros es el segmento con código 136 ubicado en la interamericana sur con más de 80 kilómetros. En contraposición, el segmento 244 ubicado en la ruta 32 presenta 17 estructuras distribuidas en alrededor de 50 kilómetros. El hecho de que no existan puentes en un tramo no quiere decir que su riesgo por sismo sea mínimo. En muchas de estas rutas es, por ejemplo, la amenaza por deslizamiento el factor que domina una posible afectación. Un ejemplo en el ámbito nacional se dio para el sismo de Cinchona del 2009, donde hubo una afectación importante de la red vial nacional secundaria producida por deslizamientos, contabilizando inclusive muertes. Por otra parte, una cantidad grande de puentes aumenta la probabilidad de disfuncionalidad en algún punto de un segmento; sin embargo, la estimación del riesgo total no depende únicamente de la cantidad de puentes, sino de su valor de remplazo en términos de costos directos y un deterioro en su funcionalidad reflejado en el tránsito afectado.

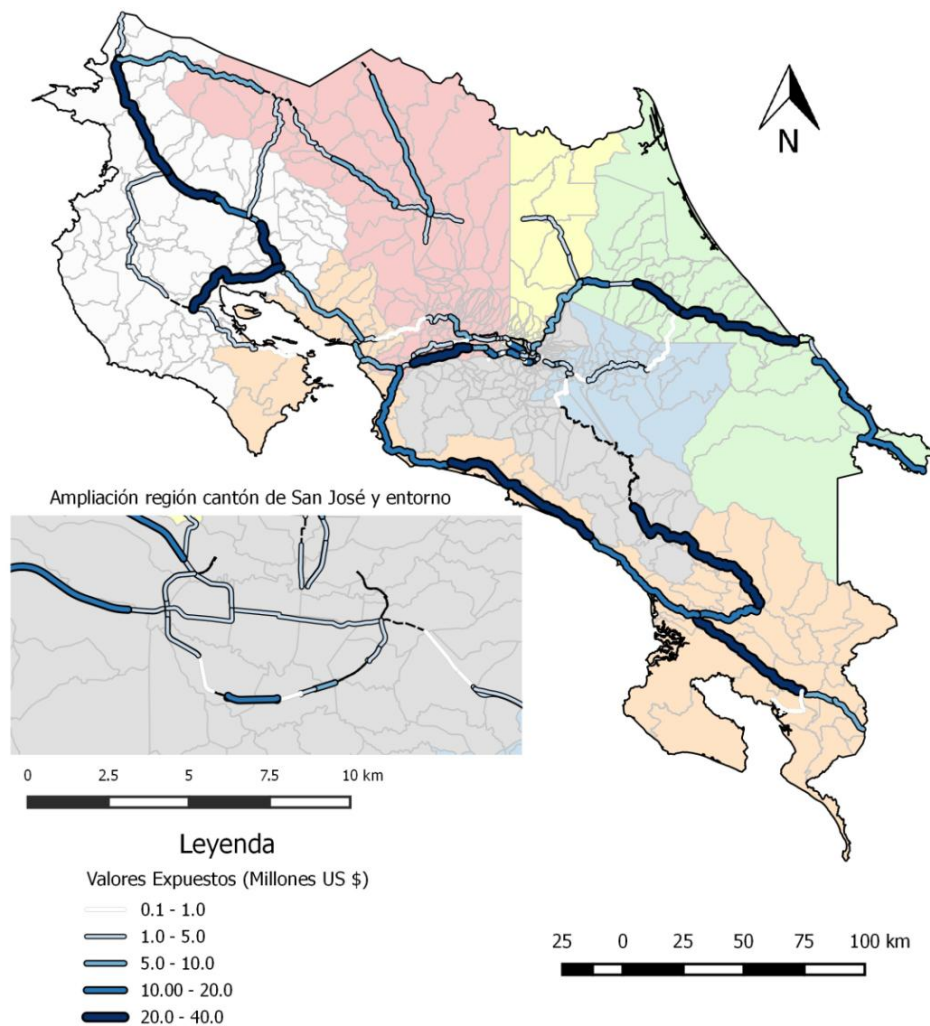
Para la construcción de los segmentos mostrados en la [figura 3.7](#) se parte de los siguientes criterios para la generación de los nodos de conexión:

- 1) Se tienen nodos en las intersecciones entre rutas de la red vial nacional primarias y/o secundarias. Esto bajo el supuesto de que todas las rutas nacionales primarias y secundarias cumplen un requisito operacional mínimo en términos de superficie de ruedo asfaltada (en su mayoría), radios de giro suficiente para vehículos de carga, pendientes no muy pronunciadas y capacidad de carga de los puentes. Los puentes en la red terciara se considera que no cumplen con los requisitos operacionales que brinden redundancia a la ruta
- 2) Se tienen nodos al inicio y fin de la rutas nacionales primarias
- 3) No se toman en cuenta las intersecciones con las rutas municipales ya que no existe el detalle adecuado para estimar que estas funcionen apropiadamente como una ruta de desvío desde el punto de vista de la superficie de ruedo, el diseño geométrico y la capacidad de carga de los puentes. Sí se toma en cuenta el efecto del uso de rutas municipales como rutas de desvío de manera indirecta, al estimar que en ambientes urbanos una serie de rutas pueden ser utilizadas alternativamente, reduciendo la demanda sobre la ruta afectada, considerando una reducción de capacidad en un 50%.
- 4) Las características de tránsito se obtienen a partir del valor máximo que se observa en la o las secciones de control del MOPT que contenga el segmento creado.
- 5) Se crean segmentos independientes en autopistas donde se tengan puentes paralelos.



b) Tránsito promedio diario y costo de remplazo

Para la evaluación del riesgo relacionada a la priorización de inversiones por segmentos de la red vial nacional es necesario obtener información detallada de todos los aspectos que puedan constituir una pérdida humana, de tiempo, económica, histórica/cultural o estratégica para atención de la emergencia. Típicamente en carreteras los parámetros más comunes utilizados son las pérdidas relativas al valor de reposición las estructuras (ver figura 3.8) y la afectación del tránsito.



Valor Estimado de Reposición de Puentes por Tramo en Millones de Dolares

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 31.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 3.8. VALOR DE REMPLAZO DE PUENTES EN EL RED VIAL PRIMARIA POR SEGMENTO Y PARA UN COSTO DE REFERENCIA DE 2500 DÓLARES POR METRO CUADRADO DE PUENTE



La afectación sobre el tránsito se mide en función de las lecturas de tránsito promedio diario *TPD* como las que se muestra en la *figura 3.9* para la red vial nacional primaria de Costa Rica. Las consecuencias sobre este tránsito afectado, son pérdidas de tiempo por reducción de velocidad o uso de rutas de desvío, mayor distancia recorrida por ruta de desvío, reducción del tránsito sobre la ruta (capacidad) y los costos adicionales al usuario y el ambiente producto de un mayor consumo de combustibles. Un estudio probabilístico que incluye estas variables indirectas para el cálculo de las perdidas fue presentado por Dong et al. (2014).

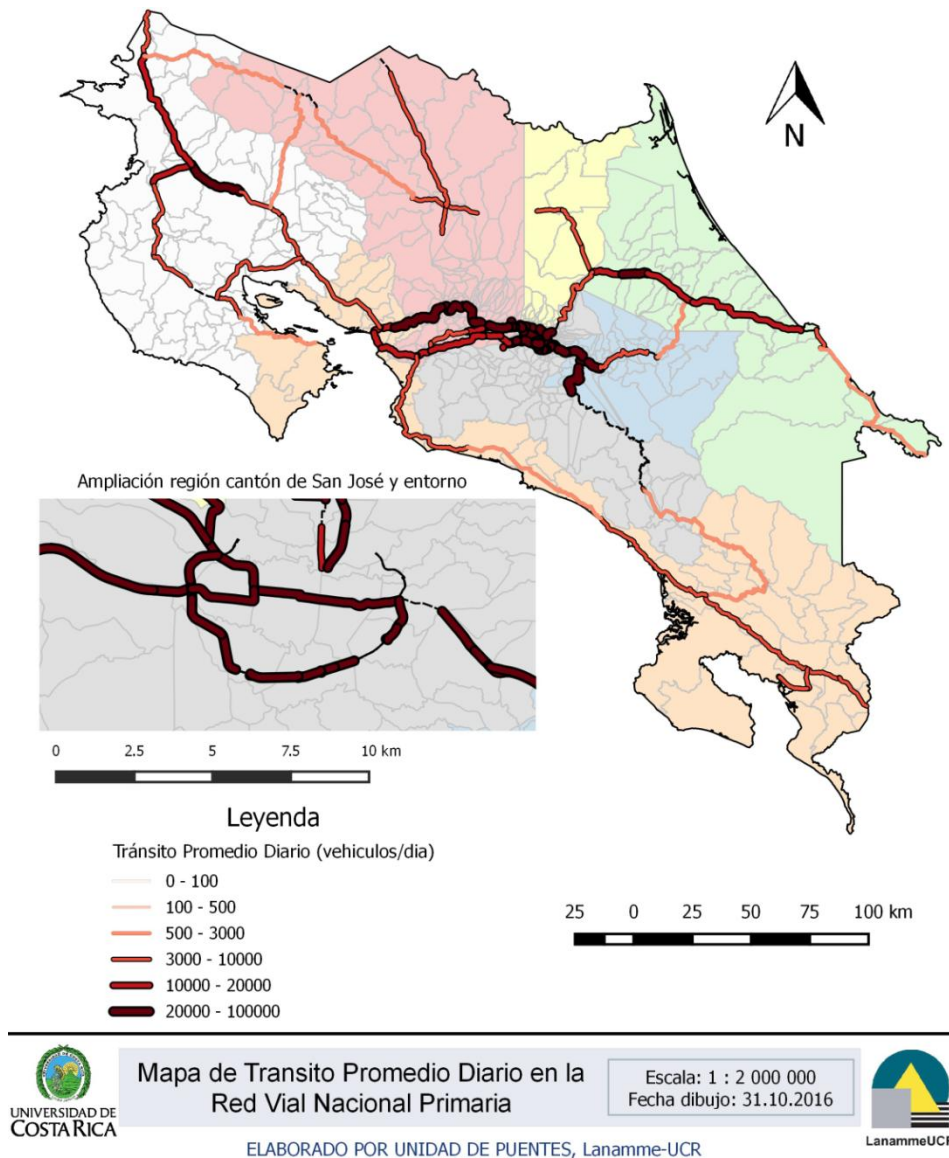


Figura 3.9. ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO EN EL RED VIAL NACIONAL PRIMARIA BASADO EN LA SECCIONES DE CONTROL DEL MOPT (2013)



Para el cálculo estimado del costo mostrado en la [figura 3.8](#), se utiliza un valor promedio de costo por metro cuadrado de 2500 dólares. Este parámetro es próximo al aproximado que utiliza el MOPT para realizar sus estimaciones ([Ramírez, 2010](#)). Un estudio riguroso de valor unitario de construcción de puentes nuevos para distintas tipologías es necesario para poder realizar una aproximación más realista del valor de remplazo para los puentes. Además, el valor de los tramos presentados en la [figura 3.8](#) se ve influenciado por el número de puentes o por la existencia de puentes mayores. Por ejemplo, el tramo 188 (ruta 18) con la presencia del puente de “La Amistad” sobre el río Tempisque, donde el valor es en promedio un porcentaje mayor que otros tramos contiguos gracias al elevado valor económico de esta estructura particular.

Es importante mencionar que el valor de reposición o remplazo es distinto al valor real para puentes en servicio, en donde su valor actual podría ser inclusive negativo ya que al cambiar el puente la demolición de la estructura anterior constituye un costo importante. Además, sumado a este costo es usual que en el cambio de la estructura se amplíe el largo y número de carriles del puente nuevo, por lo que sus dimensiones serían mayores al actual y por ende también la inversión.

Los datos de la [figura 3.9](#) se obtuvieron de las secciones de control definidas por el MOPT en su Anuario de Tránsito del 2013 ([MOPT, 2013](#)) y los rangos mostrados en la figura corresponden a aquellos que propone el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras para el diseño de carreteras nuevas ([SIECA, 2011](#)). Además es importante señalar que para los tramos sin puentes nos se muestran los datos del [TPD](#).

De las [figuras 3.8](#) y [3.9](#) se observa que no necesariamente un tramo donde existe mayor inversión en puentes es aquel que tiene un TPD mayor. Con esto, los resultados de una estrategia de inversión podrían enfocarse en aquellos tramos riesgosos cuyo impacto en el tránsito sea considerable y el costo de las reparaciones o recambios sea bajo, antes que poner énfasis en los tramos riesgosos poco transitados con costos de recambio o reparaciones mayores. Es importante mencionar que las rutas estratégicas de acceso a los dos puertos principales del país y a las fronteras con Nicaragua y Panamá son de prioridad primordial.

3.2.2 Resultados para la red vial nacional primaria

A continuación se presentan los resultados obtenidos de valores en riesgo para la red vial nacional primaria. En esta estimación inicial se utiliza la zonificación sísmica propuesta por los LDSP-2013 para definir la demanda sobre la estructura ([CFIA, 2013](#)). Esta zonificación responde a un ordenamiento administrativo para el diseño de estructuras y no directamente al estudio



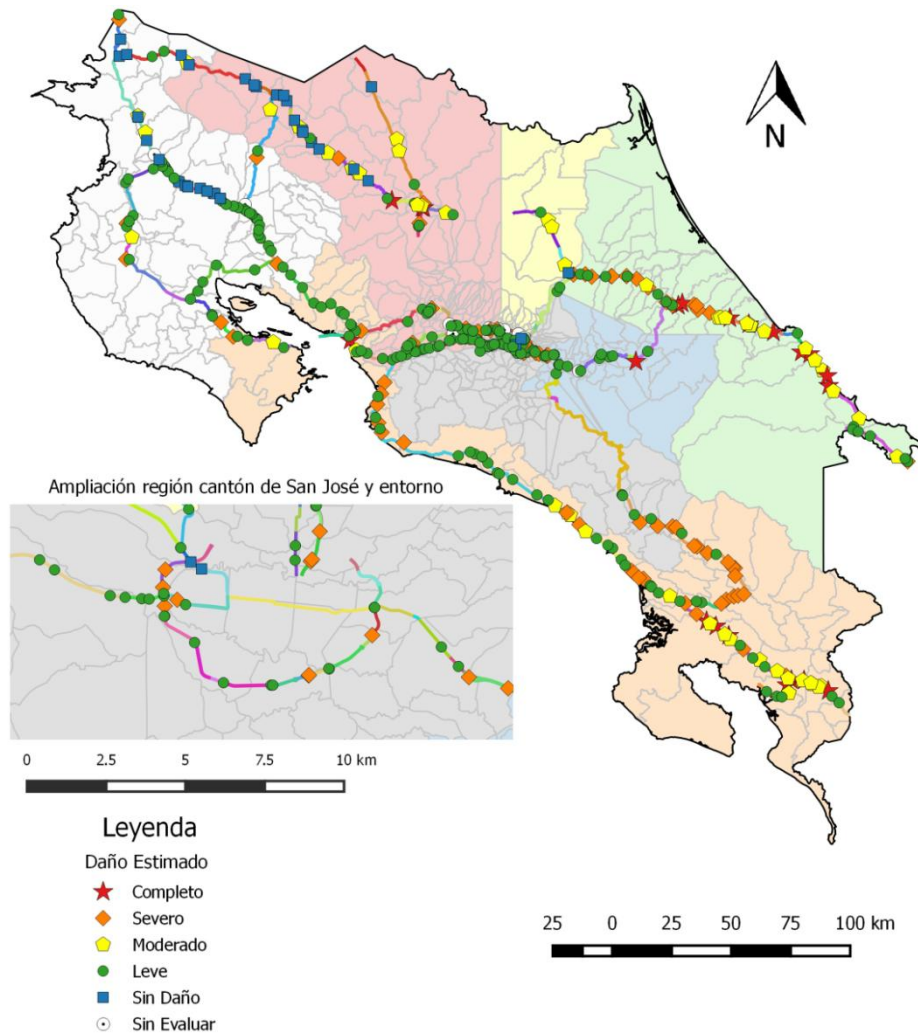
probabilístico para la determinación de la demanda sísmica. Una limitante de importancia para este estudio es la poca información sobre el tipo de suelo sobre el cual se ubican las estructuras. Este dato en particular afecta significativamente la respuesta de la estructura al sismo. En este trabajo se utiliza el mapa presentado en el [apartado 2.3.1a](#), generado a partir de la metodología propuesta de Sotela-Sobrado (2011), que a su vez, se elaboró en base a la clasificación de suelos en Costa Rica expuesta en el Código de Cimentaciones de Costa Rica (ACG, 2009).

Tomando en cuenta lo anterior, se determinó el estado de daño esperado para los puentes en la red vial nacional primaria como se muestra en la [figura 3.10](#). Este análisis es útil para realizar un análisis comparativo entre las estructuras en el país para las distintas zonas. Un análisis de riesgo sísmico para alguna zona específica en el país suele realizarse utilizando tanto los datos del estudio probabilístico, como con los registros de sismos históricos sentidos en la región o simulados a partir de las características de las fallas cercanas o su ubicación respecto a la zona de subducción.

Como se explicó en el [apartado 3.1.1](#), los resultados del daño con mayor probabilidad son diferentes al daño esperado, en particular para los grados de daño moderado, leve o sin daño. En la [tabla 3.6](#) se evidencia la diferencia entre ambas estimaciones. El valor del daño esperado es más afín a una descripción cualitativa de la estructura, mientras que las probabilidades de daño y el estado de daño más probable son los valores que se utilizan para la estimación de pérdidas económicas y el cálculo de los índices *BDI* y *LDI*, explicados anteriormente. El escenario mostrado para el valor del daño esperado parece sobreestimar los daños, lo cual, se puede deber a que las aceleraciones espectrales a las cuales se están evaluando los puentes son altas y es de esperarse algún tipo de daño con alta probabilidad para estas intensidades. Un aspecto que se destaca en ambos casos es que se tienen entre 102 y 108 estructuras cuyas consecuencias de daño para el sismo de diseño podrían ser severas o inclusive de daño completo. En el análisis no están incluidas todas las estructuras de puentes en la RVNP ya que 12 puentes no se incluyen: 4 por tratarse de puentes de mampostería, y 8 por falta de información o porque se tratan de estructuras particulares como el puente Rafael Yglesias (sobre río Colorado ruta N_o. 1).

Tabla 3.6. RELACIÓN ENTRE EL DAÑO CON MAYOR PROBABILIDAD Y EL DAÑO ESPERADO

Daño	Estado de Daño				
	Sin daño	Leve	Moderado	Severo	Completo
Mayor Probabilidad	255	46	27	82	26
Valor Estimado	38	244	52	81	21



Valor Estimado de Daño para Puentes en la Red Vial Nacional Primaria

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 31.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 3.10. NIVEL ESPERADO DE DAÑO PARA PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA

En la [tabla 3.7](#) se presentan las estructuras para la cuales se encontraron los valores de daño esperado, *VE*, más altos. Es importante señalar aquí que una posibilidad de daño alta no necesariamente se ve reflejada en términos de pérdidas económicas totales de la estructura. Por ejemplo, se podría analizar el caso del puente sobre el río Chirripó en ruta 32. Aquí se considera poco probable que se dé un colapso de todas las superestructuras por lo que si bien se tiene un valor alto de *VE*, las pérdidas no necesariamente son de toda la estructura. Para el sismo de



Limón, para este puente colapsó únicamente una de las superestructuras en los accesos, y luego de una reparación temporal se pudo seguir utilizando el resto del puente. Vale la pena destacar de la [tabla 3.7](#) que para el cálculo del *VE* en varios casos donde se desconoce la fecha de la normativa utilizada y el año de construcción, se opta por asignar una fecha previa a 1977 de forma conservadora. Así, por ejemplo, donde se muestra la ampliación a la zona metropolitana en la [figura 3.10](#), es posible que se esté subestimando la capacidad de las estructuras por considerarlas sin diseño sismorresistente apropiado.

En las [tablas 3.8](#), [3.9](#) y en la [figura 3.11](#) se muestran los valores de la evaluación del Índice de Daño por Vínculo *LDI* para la red vial nacional primaria. En este análisis se detallan los vínculos más vulnerables para las regiones definidas como urbanas y como rurales de nuestro país. Los resultados completos para toda la RVNP se detalla en el [anexo D](#).

Tabla 3.7. 30 PUENTES EN LA RVNP CON LOS VALORES DE DAÑO ESTIMADO *VE* MAS ALTOS

Ruta	Cruce Rio	Norma	Zona Sísmica	Tipo suelo	Grupo	VE	Vul. (%)	Perdida (mill. USD)
2	R. Claro	1953	4	4	MAS1	3,66	0,561	0,71
2	R. Caracol	1953	4	4	MAS1	3,66	0,561	0,74
2	R. Abrojo	1953	4	4	MAS1	3,63	0,425	0,65
14	R. Coto Colorado		4	4	MAS1	3,62	0,549	0,23
2	R. Tinoco	1953	4	4	MAS1	3,60	0,543	0,47
2	R. Sabalo	1953	4	4	MAS1	3,60	0,543	0,40
2	R. Salama Nuevo	1953	4	4	MAS1	3,60	0,543	0,52
32	R. Pacuare	1965	3	4	MAS1	3,59	0,194	1,51
32	R. Blanco	1965	3	4	MAS1	3,47	0,567	0,81
32	R. Chirripó	1965	3	4	MAS1	3,47	0,225	2,27
10	R. Reventazon	1953	3	4	MAS1	3,46	0,326	0,68
4	R.. San Carlos	1969	2	4	MAS1	3,11	0,411	0,87
36	R. Estrella	1965	3	4	MAS1	3,44	0,498	1,75
32	R. Cuba	1965	3	4	MAS1	3,43	0,497	0,83
23	R.. Barranca	1969	3	4	MAS1	3,43	0,321	1,71
36	R.. Banano	1969	3	4	MAS1	3,39	0,380	0,42
32	R. Pacuarito	1965	3	4	MAS1	3,38	0,692	0,77
36	R. Vizcaya	1965	3	4	MAS1	3,35	0,472	0,34
4	R. San Rafael	1969	3	4	MAS1	3,30	0,656	0,98
36	E. Margarita	1965	3	4	MAS1	3,30	0,656	0,24
32	R. Reventazón	1969	3	4	MVC1	3,24	0,301	2,83
2	R. Ceibo	1953	3	3	MAS1	3,23	0,300	0,86
27	Paso Ferrocarril	1968	3	3	MAS1	3,21	0,353	0,19
2	R. Puerto Nuevo	1953	4	3	MAS1	3,14	0,283	0,63
1	Int. Manolos	1965	3	3	MAS1	3,14	0,339	0,63
2	R. Campana	1953	4	3	MAS1	3,11	0,411	0,54
2	R. Disciplina	1953	4	3	MAS1	3,11	0,411	0,48
34	R. Coronado	1973	4	3	MAS1	3,10	0,411	0,55
34	R. Tusubres	1969	4	3	MAS1	3,08	0,275	1,23
1	Paso Aeropuerto	1965	3	3	MAS1	3,04	0,321	0,91

En rojo las estructuras que colapsaron o presentaron daños severos para el sismo de Limón del año 1991



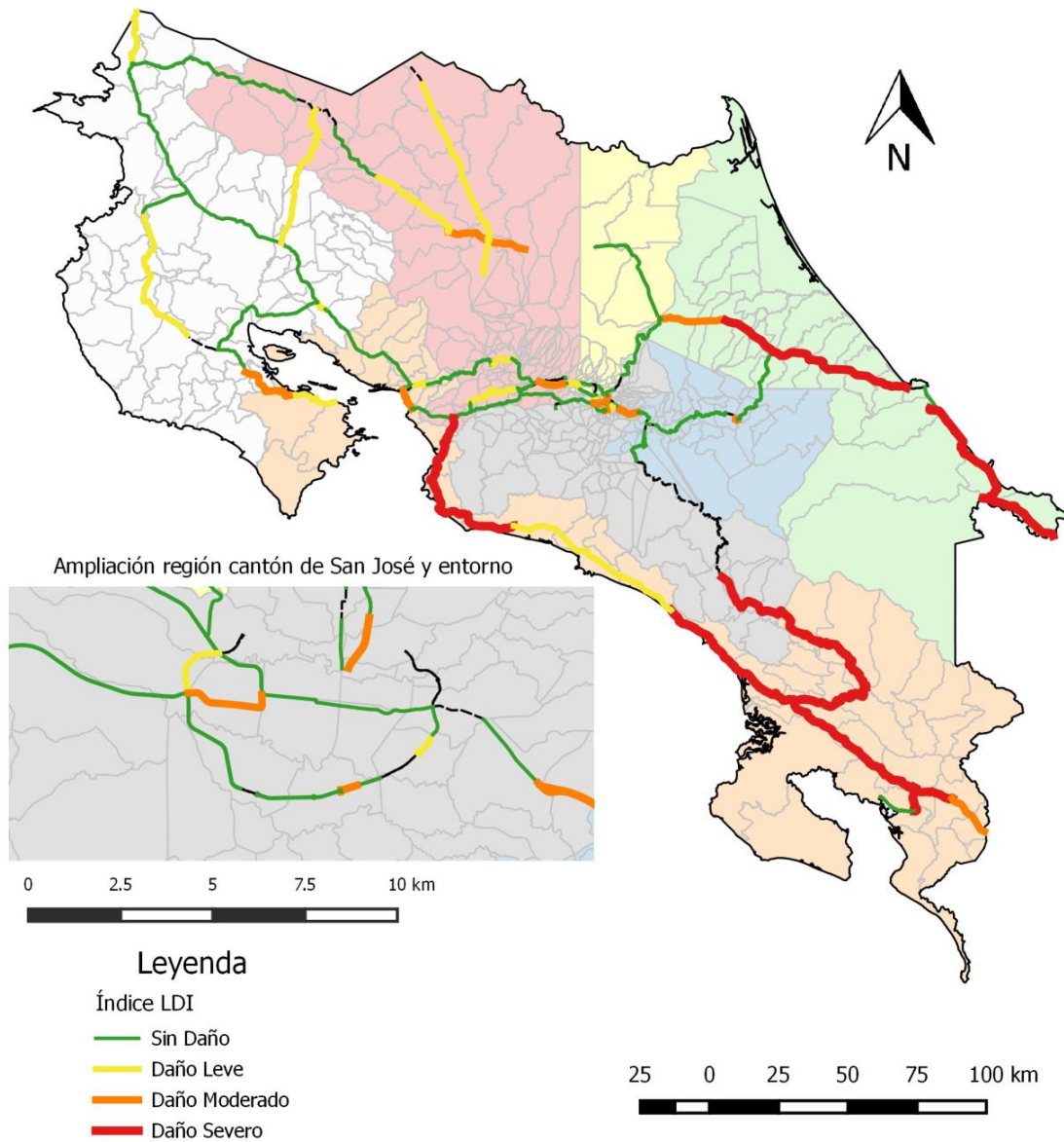
Tabla 3.8. PUENTES QUE PRESENTAN LOS MAYORES ÍNDICES DE *LDI* EN ZONA URBANA

RUTA	ID del Vinculo	Puentes por vinculo	Índice <i>LDI</i>	Funcionalidad (%)	Valor de Reemplazo (mill. USD)	Pérdidas/ Valor de Reemplazo (%)	Tránsito afectado (vehículos)
2	121	6	1,3	75	6,8	24,9	11700
32	285	3	1,3	75	5,0	35,4	8885
1	279	5	1,25	75	3,8	22,1	9575
2	280	2	1,06	75	3,2	40,1	12372
39	291	2	1,04	75	3,0	35,5	18093
27	282	2	1	75	2,7	12,7	20526
1	276	2	0,75	100	3,4	26,4	-
1	277	1	0,75	100	2,8	32,1	-
39	298	1	0,75	100	1,4	37,9	-
39	297	2	0,75	100	1,7	31,8	-
39	265	1	0,75	100	0,8	35,0	-
39	289	1	0,75	100	1,6	35,0	-

Tabla 3.9. PUENTES QUE PRESENTAN LOS MAYORES ÍNDICES DE *LDI* EN ZONA RURAL

RUTA	Id. del Vinculo	Puentes por vinculo	Índice <i>LDI</i>	Funcionalidad (%)	Valor de Reemplazo (mill. USD)	Pérdidas/ Valor de Reemplazo (%)	Tránsito afectado (vehículos)
32*	244	17	2,67	0	35,4	25,5	8135
2	17	15	2,57	25	24,5	26,8	1328
2*	133	15	2,57	0	20,0	28,4	4768
36*	245	16	2,24	0	18,3	25,9	3374
2	132	6	1,94	25	5,1	43,3	5728
34	246	9	1,84	25	19,7	26,9	8783
2	134	7	1,81	25	10,4	27,7	893
34	250	16	1,69	25	19,9	20,3	3554
32	234	8	1,67	25	21,8	25,0	8395
14	185	4	1,64	25	1,0	44,2	2256
32	56	5	1,3	50	12,4	23,4	5581
2	18	4	1,25	50	5,5	25,3	3918
4	35	4	1,14	50	4,7	37,9	2653
21	200	4	1,06	50	2,5	24,7	1054
32	57	3	1,06	50	4,3	29,4	10490
4	34	3	1,04	50	3,0	42,2	1824
23	205	2	1,04	50	7,5	27,7	6560
10	183	1	1	50	2,1	32,6	3047
34	248	15	0,82	100	33,4	13,5	-
35	255	6	0,82	100	8,5	15,6	-

*En rojo rutas que por la gravedad del daño y falta de redundancia se considera una pérdida total de su funcionalidad



Daño Estimado por Segmento Cálculado a Partir del Valor del LDI

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 31.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 3.11. VALOR ENCONTRADO DEL ÍNDICE DE DAÑO POR VÍNCULO PARA LA RVNP



Las secciones urbanas presentan altos niveles de tránsito, por lo que si se da una reducción en su funcionalidad el impacto para los usuarios sería cuantioso. Una inversión porcentualmente baja para reducir el riesgo sísmico en puentes o pasos a desnivel en zonas urbanas de rutas como la RN2 y RN27 podría ser importante de realizar prioritariamente, evitando pérdidas económica y principalmente de afectación al tránsito a futuro. Para las secciones urbanas es de destacar, como se comento anteriormente, que algunos puentes sin información en la RN39 podrían presentar una sobrestimación del daño.

En zonas rurales, varios segmentos de la RVNP presentan valores de *LDI* elevados. Muchos tramos que podrían presentar daños severos se concentran en rutas como la RN2, RN32, RN34 y la RN36, en regiones planas muchas veces cerca de las costas. Los resultados del *LDI* correlacionan bien con el daño reportado para los sismos de Limón 1991 y Sámara 2012; tanto para el caso de Limón, donde se observaron daños severos, como para Sámara, donde los daños en la RVNP fueron más bien moderados y leves. Además, se estima que un evento que pudo haber afectado considerablemente la RN2 en la sección que resultó vulnerable del análisis fue el terremoto de Golfito en 1983 (7.3 Ms), el cual es conocido como el “terremoto del Sábado Santo”. Para este sismo la información disponible es poca. La Red Sismológica Nacional, reporta algunos daños en puentes pero aparentemente estos no llegan a ser severos (RSN, 2017).

A diferencia de los tramos en la región urbana, las regiones rurales no solo presentan alta vulnerabilidad y limitada redundancia, sino que también valores de *LDI*, valores de reemplazo y porcentajes de pérdidas altos debido al tamaño y cantidad de estructuras. Por esta razón, podrían ser limitadas las opciones de financiamiento para estos proyectos.

Al igual que los puentes con características vulnerables, la reciente construcción o readecuación de puentes para varios tramos de la RN1 y RN34 se ve reflejada con índices bajos o iguales a cero en la [figura 3.11](#). Por otra parte, en la [tabla 3.9](#) tres segmentos se identifican con color rojo ya que se considera que perderían totalmente su funcionalidad luego de un evento mayor debido a la magnitud de los daños y la falta de redundancia.

3.2.2 Efecto de la susceptibilidad a licuación

Otro aspecto de relevancia a tomar en cuenta en un análisis de riesgo para puentes es la susceptibilidad de los suelos a experimentar licuefacción. En particular, los puentes se encuentran ubicados muchas veces en zonas susceptibles a este fenómeno, principalmente en las zonas costeras o en planicies aluviales (ver [figura 3.12](#)).



El daño en una estructura se puede dar tanto por su respuesta, los desplazamientos y pérdida portante por licuación, o la combinación de ambos efectos. En este estudio se evaluó por separado el daño estimado por respuesta, como se observa en la [figura 3.11](#), y el daño para las estructuras incluyendo el efecto de la susceptibilidad de los suelos a licuarse como se observa en la [figura 3.13](#). Los resultados mostrados en la [figura 3.13](#) se obtuvieron a partir de la identificación de suelos licuables mostrada en la [figura 2.28](#).

Para el caso de daño por licuación, aspectos como la norma de diseño podrían pasar a segundo plano ya que pocas estructuras de puentes en el país han sido explícitamente diseñadas para desempeñarse de manera adecuada en caso de licuación. Tomando en cuenta este supuesto, la posibilidad de daño se puede estimar dependiendo del grado de susceptibilidad a licuación y aspectos geométricos del puente como se describe en la [tabla 2.23](#). Esto permite que la posibilidad de daño severo por este fenómeno se extienda a estructuras relativamente nuevas como las de reciente construcción en la Costanera o la Interamericana Norte. Para las estructuras donde el daño por licuación, es probable es necesario profundizar con estudios de suelos detallados que evalúen la susceptibilidad de licuación en cada sitio según el procedimiento descrito por el Código de Cimentaciones de Costa Rica ([ACG, 2009](#)). Al igual que para los resultados mostrados en la [tabla 3.6](#), los estado de daño se pueden presentar en términos de mayor probabilidad o valor estimado como se muestra en la [tabla 3.10](#).

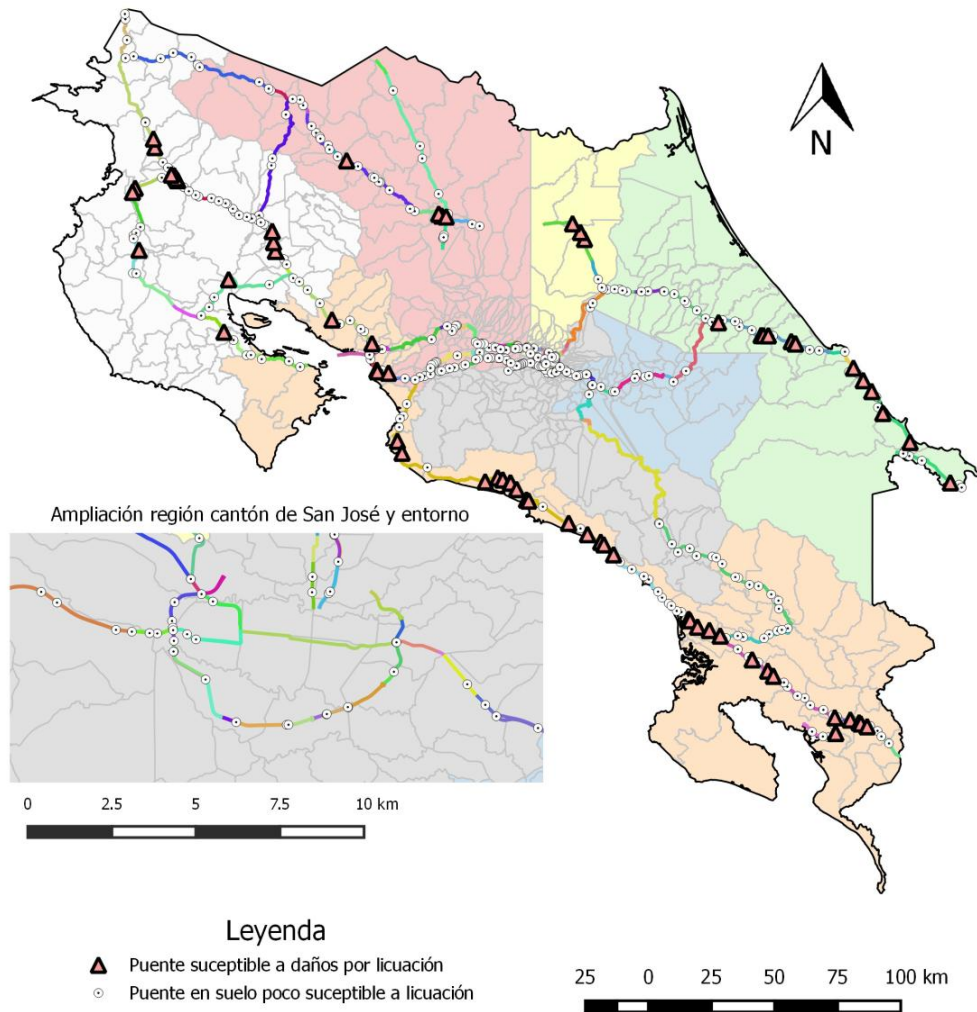
En la [tabla 3.10](#) se evidencia que una mayor cantidad de estructuras podrían presentar daños severos si se introduce la variable de la licuefacción en el análisis. Esto sucede porque se estaría afectando en mayor medida estructuras de construcción más reciente así como también estructuras de un solo tramo y de superestructura continua. El panorama de la afectación para la RVNP según el valor del *LDI* se observa en la [figura 3.13](#). Aquí se evidencia un mayor daño en particular para la RN34, la zona norte y algunos tramos de la RN1 en congruencia con los datos mostrados en la [figura 3.12](#). Para el mapa de la [figura 3.13](#), se considera tanto el daño producto de la respuesta del puente como el de licuación como eventos mutuamente excluyentes.

Tabla 3.10. RELACIÓN ENTRE EL DAÑO CON MAYOR PROBABILIDAD Y EL DAÑO ESPERADO TOMANDO INCLUSIVE EL EFECTO DE LICUACIÓN DE SUELOS

Daño	Estado de Daño				
	Sin daño	Leve	Moderado	Severo	Completo
Mayor Probabilidad	223	35	10	142	26
Valor Estimado	37	210	30	138	21



Aspectos que no se incluyen en esta valoración, como el tipo de cimentación, son también importantes para determinar el desempeño de la estructura. Este no se incluye debido al problema de determinar el tipo de cimiento en ausencia de planos; sin embargo, es probable que en muchos de estas estructuras se utilizaran pilotes dada la pobre competencia del terreno en zonas licuables.



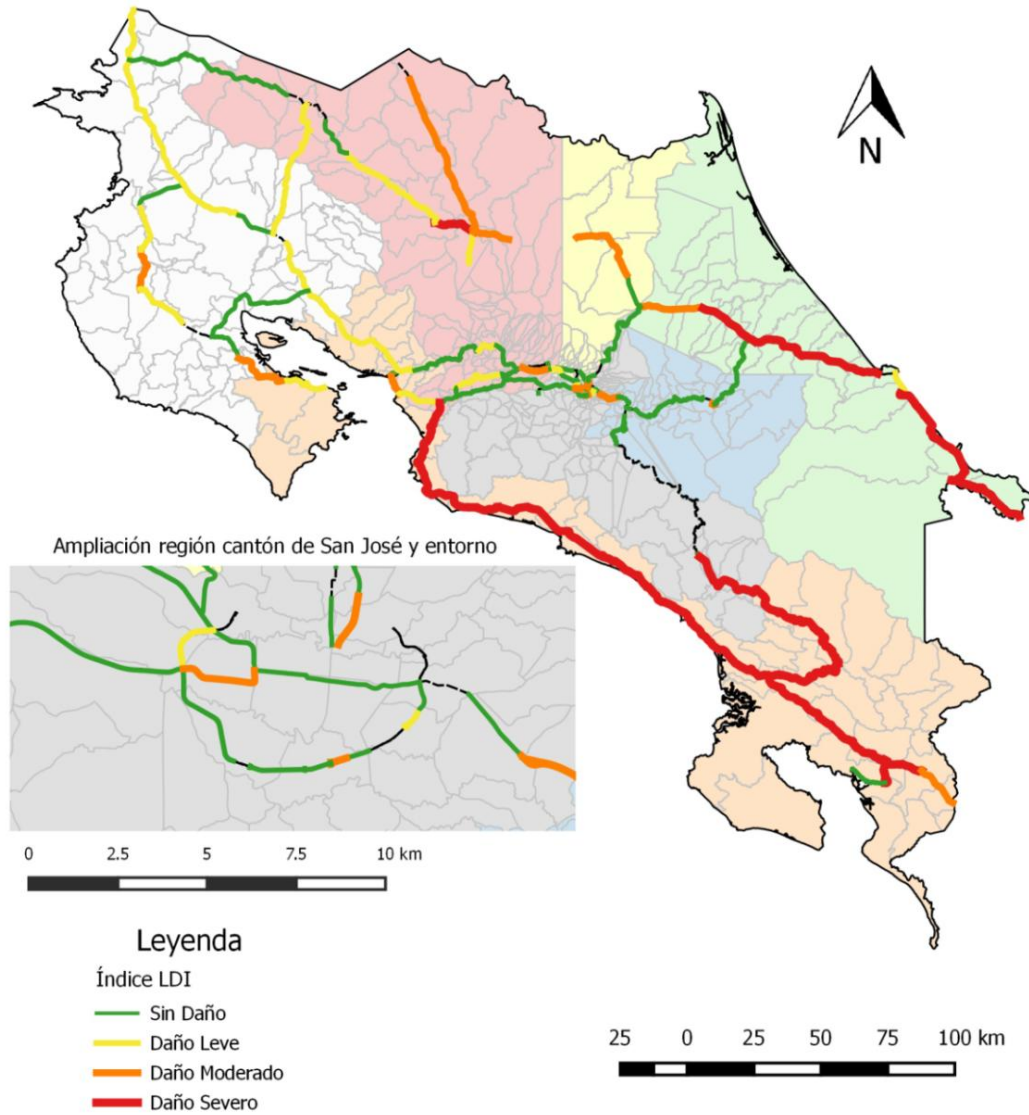
Mapa de Estructuras de Puentes en Suelos Susceptibles a Licuación

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 31.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 3.12. MAPA DE PUENTES CUYO DAÑO POR SISMO PODRÍA VERSE INCREMENTADO POR EFECTO DEL FENÓMENO DE LICUACIÓN DE SUELOS



Daño Estimado Incluyendo Licuación de Suelos Cálculado a Partir del Valor del LDI

Escala: 1 : 2 000 000
Fecha dibujo: 31.10.2016



ELABORADO POR UNIDAD DE PUENTES, Lanamme-UCR

Figura 3.13. VALOR ENCONTRADO DEL ÍNDICE DE DAÑO POR VÍNCULO PARA LA RVNP INCLUYENDO PUENTES QUE PODRÍAN PRESENTAR DAÑOS IMPORTANTES POR LICUACIÓN DEL SUELOS



PROTOCOLO PARA INSPECCIÓN POST-SÍSMICA DE PUENTES

Posterior a eventos como sismos mayores y crecidas de ríos, la integridad estructural de los puentes debe ser garantizada con motivo de salvaguardar la seguridad de los usuarios, permitir su utilización para atender la emergencia, y para la protección de la propia estructura con el fin de evitar daños aún mayores. Un protocolo de respuesta claro permite a las partes involucradas en la emergencia o “stakeholders” conocer su rol de antemano. Además, las actividades relacionadas con el entorno del cumplimiento de un protocolo promueven la estandarización de procedimientos, capacitaciones, simulacros y toma de decisiones que involucra otros momentos del ciclo de la emergencia.

La inspección de estructuras luego de un sismo, es una de las actividades más importantes para medir el impacto del evento y como ayuda para la toma de decisiones. Ésta forma parte de las labores de respuesta, una de las etapas típicas descritas en los esquemas de análisis del ciclo de las emergencias como el que se muestra en la figura 4.1. Si bien el énfasis de este protocolo se centra en las actividades de atención de la emergencia o respuesta pronta, los resultados obtenidos de este informe son útiles también para mejorar la gestión actual respecto a aspectos como la estandarización de la estimación de pérdidas y cálculo de costos basados en el diagnóstico de condición de la estructura (inspección nivel 2), para recopilar información útil para actividades de mitigación del riesgo por sismo, y para identificar las rutas y estructuras más riesgosas en la red vial nacional primaria. Es de suma importancia que la estandarización con criterios claros para atender las distintas etapas de la emergencia se realice a la mayor brevedad, lo cual facilitará la toma de decisiones y aspectos como la formación del personal de inspección.



Figura 4.1: ESQUEMA TÍPICO DEL CICLO DE LOS DESASTRES (modificado de Pittore (2015))

Informe LM-PIE-UP-I01-2017	Fecha de emisión: 14 de julio de 2017	Página 101 de 260
----------------------------	---------------------------------------	-------------------

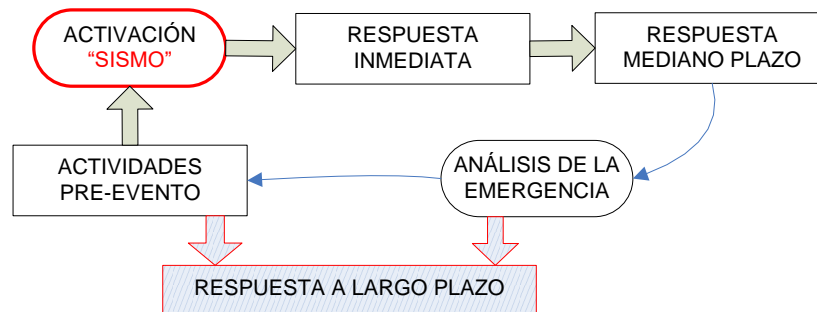


Figura 4.2: FASES DEL CICLO PARA EL PROTOCOLO PROPUESTO

Según lo comentado anteriormente, las actividades relacionadas con esta propuesta de protocolo de inspección de puentes luego de un sismo mayor, se pueden relacionar con las distintas fases de la emergencia según lo mostrado en la [figura 4.2](#). En la figura, se relacionan las actividades del pre-evento con lo que serían aspectos de planificación, y la respuesta a mediano plazo, largo plazo y el análisis con temas relacionados a la recuperación y planificación.

En la [figura 4.2](#) se observa también que las actividades se presentan como un ciclo con inicio vinculado a las actividades del pre-evento, cuya activación del ciclo es el sismo, y se termina de nuevo con las actividades del pre-evento que deben ser reevaluadas según la experiencia concreta que se registren luego del evento. Seguir este procedimiento propuesto se adecua además a la necesidad de documentación relacionada con los daños producidos por los eventos, ya que, actualmente, esta información difícilmente se registra de forma estandarizada o no ha sido suficientemente documentada para la emergencia.

Dentro de las actividades inmediatas luego de la ocurrencia de un sismo mayor, la presentación de un escenario de daño probable provee a las autoridades información útil para toma de decisiones como la activación o no de un protocolo, posibles recursos necesarios para la atención de la emergencia, posibles zonas más afectadas o posibles zonas incomunicadas; por lo tanto en este trabajo se incorporó como parte del protocolo la posibilidad de utilizar este tipo de información para optimizar la inspección de estructuras de puentes.

En años recientes, la densificación de la red de acelerógrafos en el país permite estimar adecuada y velozmente los valores de intensidad sísmica a los que estarían sujetos los puentes en caso de sismo. Solo la red del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica (LIS-INII-UCR) cuenta con más de 90 estaciones de acelerógrafos distribuidos a lo largo de nuestro país como se explico en el [apartado 2.3.1](#). Esta información puede ser utilizada para estimar daño y



mejorar así atención de la emergencia como ha sido propuesto por autores como Goltz & Eisner (2003); Miranda, Kyriakides, & Fu (2006); Koike & Harik(2012); Imbsen, Shahriar, & Zhong (2015) y la ATC-54 (Rojahn, Comartin, & King, 2003).

Entre la información obtenida de la red de estaciones, las metodologías para la estimación de pérdidas y respuesta a la emergencia utilizan típicamente los siguientes parámetros según Miranda et al. (2006):

- a) Aceleración pico (PGA) o la velocidad pico (PGV) del registro sísmico. Con ella se puede generar un mapa de intensidad instrumental basándose en relaciones empíricas entre PGA y PGV y la Intensidad Modificada de Mercalli (MMI).
- b) Uso del espectro de respuesta en algunas ordenadas. Por ejemplo la generación de un mapa del movimiento utilizando aceleraciones espectrales con amortiguamiento del 5% y para las ordenadas de 0,3 s, 1,0 s y 3,0 s. El método de la HAZUS (FEMA, 2003) utiliza las ordenadas a 0,3 y 1,0 segundos para estimar pérdidas.
- c) La combinación de PGA, PGV y las ordenadas espectrales. Este procedimiento fue recientemente incorporado por la ATC-54.
- d) Uso de las ordenadas para los periodos fundamentales escogidos a partir de los espectros propuestos por códigos como el International Building Code (ICC, 2000).

En este trabajo se utiliza la información de las estaciones sismológicas según el SERIS-P para la priorización de Inspección de puentes (ver [capítulo 2 y 3](#)). Esta propuesta sigue el punto *b*), arriba descrito, que utiliza la propuesta de la HAZUS para estimar daño mediante el uso de curvas de fragilidad. El éxito del uso para estimar daños de las curvas de fragilidad depende de que tan bien describan estas el comportamiento estructural del puente y si la intensidad sísmica utilizada se aproxima a la real. En el [apartado 4.1](#) se describen en detalle las actividades relacionadas con el procedimiento propuesto en la [figura 4.2](#).

4.1 ACTIVIDADES DEL PROTOCOLO

Se recomienda que el protocolo propuesto se active a nivel nacional luego de cada evento con magnitud superior a 5.5 M_w (según FEMA (2003b)), en donde se realice una evaluación del daño y se ejecuten las actividades independientemente si se decreta o no estado de emergencia. Esta magnitud es recomendada para efecto únicamente de evaluación post-sismo de puentes.



Para la ejecución adecuada de esta propuesta de inspección no basta utilizar los formularios propuestos luego de una emergencia basándose en las listas de priorización y reportes de daño, sino que también conlleva otras componentes relacionadas con la capacitación, la actualización de bases de datos, y el significado y uso adecuado de la información generada. Bajo esta premisa, en esta apartado se detallan esquemáticamente una serie de actividades muchas veces cíclicas que envuelven esta propuesta. En este documento también se comenta, pero no se profundiza, en aspectos relativos a actividades periódicas como por ejemplo: refrescamiento de las capacitaciones, actualización de datos, monitoreo y actividades de difusión. Tampoco se profundiza en aspectos relativos con la respuesta a largo plazo por lo que se muestran achuradas en azul en la [figura 4.2](#).

Las actividades formuladas como parte del pre-evento se muestran en la [figura 4.3](#). Aquí no se incorporan aquellas actividades relacionadas con el desarrollo de esta propuesta. De la figura se extrae que las actividades giran en torno a cuatro tópicos principales: difusión, capacitaciones, desarrollo de herramientas y actualización de los aspectos relativos a la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Todas estas son actividades requieren estar ejecutándose, actualizándose o refrescándose con periodicidad como parte de la preparación para las emergencias. Para estas tareas se espera inclusive que se incorporen en el tiempo nuevas metodologías, herramientas tecnológicas y documentación con el fin de mejorar el resultado del procedimiento. Es relevante mencionar que pocas de estas actividades del pre-evento requieren el uso o implementación por parte del CNE del SERIS-P ya que aspectos, como por ejemplo los formularios de inspección, son independientes de estas estimaciones tempranas de daño.

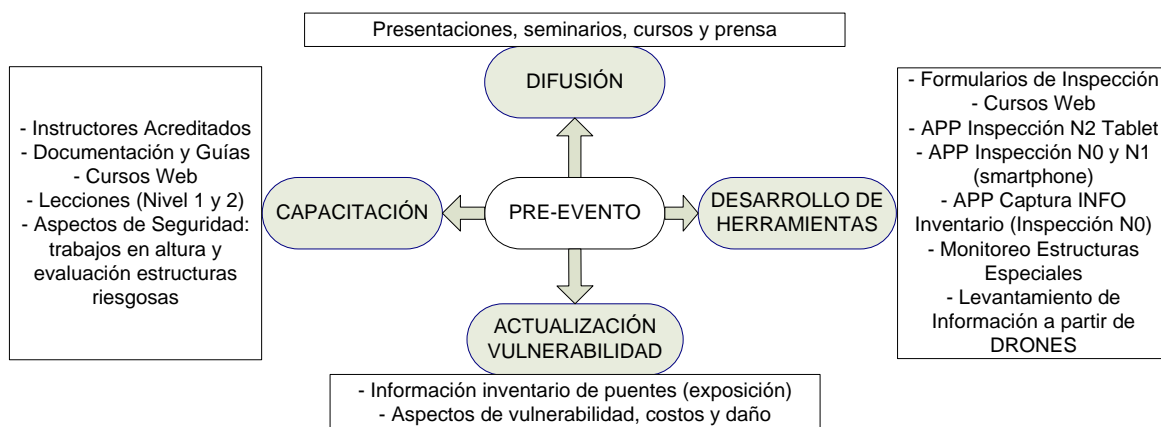


Figura 4.3: ASPECTOS INVOLUCRADOS EN EL PRE-EVENTO



Varias de las actividades mostradas en este esquema, y que son independientes del desarrollo del protocolo, ya se han venido ejecutando por parte de la UP, entre las cuales se tiene:

- Preparación del curso de capacitación de inspectores para los niveles de inspección exploratorias y de seguridad (Nivel 0 y Nivel 1). El primer curso de capacitación con inspectores del CFIA se llevo a cabo del 24 de Octubre al 25 de Noviembre del 2016. Este curso incluyó clases presenciales, una inspección en campo y una parte web.
- Aparte del contexto universitario, se han realizado presentaciones y reuniones para la difusión en la Comisión Nacional de Emergencias, CNE, y el Colegio de Ingenieros de Costa Rica, CFIA. Desde el punto de vista académico se han realizado presentaciones en seminarios y conferencias internacionales y nacionales (San José Costa Rica, Agosto 2015; Potsdam Alemania, Setiembre 2015; Trieste Italia, Setiembre 2016).
- Desarrollo de una metodología para definir la condición de los puentes en la red vial nacional de Costa Rica (Muñoz-Barrantes et al., 2015a). Definir la condición del puente corresponde al nivel 2 de inspección descrito en este estudio. Para este tipo de inspección la UP ya se desarrolló una aplicación, InspectorUP, que facilita la recopilación estandarizada de datos y el envío de estos de forma remota (ver figura 4.4).
- Inventario de puentes para la red vial nacional (Muñoz-Barrantes et al., 2016).
- Uso de drones como ayuda en la inspección de estructuras de puentes.

Dentro de las actividades previas es necesario aún desarrollar herramientas tipo aplicación para celulares enfocadas en los tipos de inspección Nivel 0 y Nivel 1. Otro aspecto donde se está trabajando actualmente mediante un informe de investigación es en aspectos relativos a los costos de remplazo y reparaciones para puentes en Costa Rica.

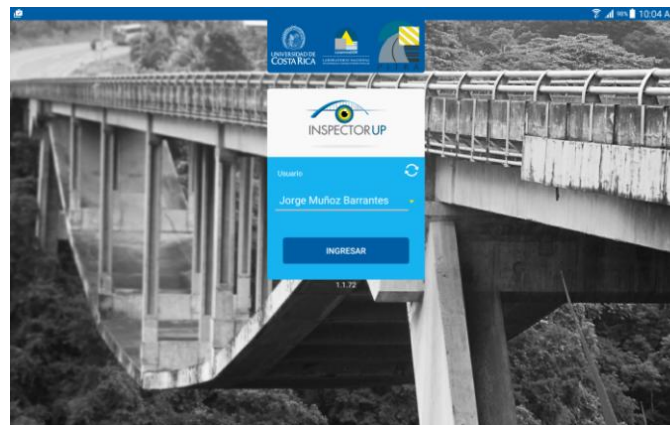


Figura 4.4.INSPECTORUP, APLICACIÓN DESARROLLADA PARA LAS INSPECCIONES NIVEL 2



El protocolo se activa a nivel nacional luego del sismo como se explicó en la [figura 4.2](#), para magnitudes superiores a los $M_w = 5.5$ grados. Una vez activado, la respuesta pronta propuesta se detalla en la [figura 4.5](#). En la [figura 4.5](#) se incorporan no solamente los resultados producto de las estimaciones del SERIS-P, sino que también los informes que se reciban por otros medios por lo que ambos aspectos se pueden tomar en cuenta de forma independiente. Los detalles de los tipos de inspecciones se discuten en el [apartado 4.2](#), sin embargo, queda establecido en este esquema la prontitud con la que corresponde realizar los distintos tipos de inspecciones, en donde las inspecciones exploratorias, Nivel 0, y de seguridad, Nivel 1, se deben realizar de forma inmediata luego de la emergencia, mientras que las inspecciones Nivel 2, tienen un carácter corroborativo de las inspecciones Nivel 1 y de profundización de la evaluación. La realización de las inspecciones Nivel 2 a su vez, deben priorizarse para aquellas estructuras calificadas como Inseguras (naranja) y uso restringido (amarillas), ya que su calificación podría variar cuando son evaluadas con mayor detalle por los profesionales especialistas en estructuras de puentes que realicen la inspección de Nivel 2. La calificación del Nivel 2 va del 1 al 6, en donde el inspector debe sugerir restricciones de uso para las calificaciones grado 5 o 6, en función del potencial riesgo y la extensión del daño.

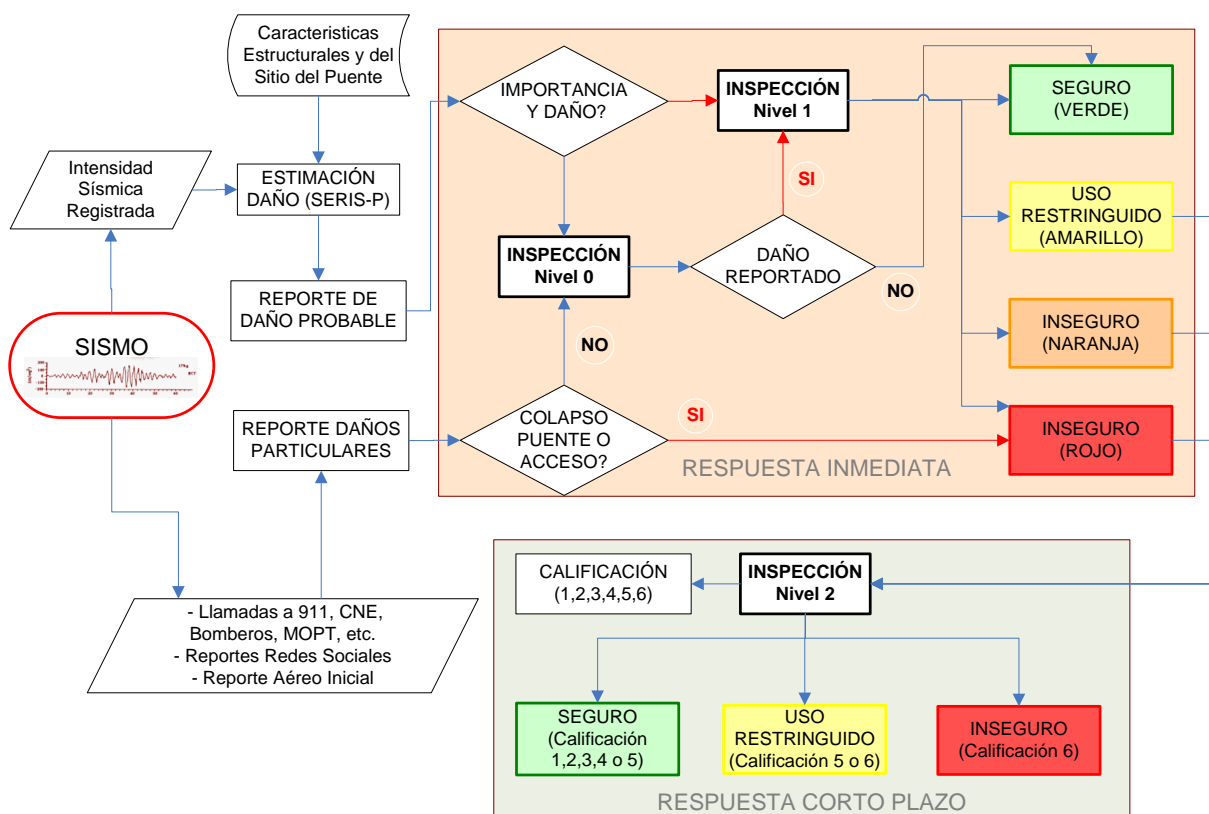


Figura 4.5. RESPUESTA INMEDIATA Y EN EL CORTO PLAZO PARA INSPECCIÓN DE PUENTES



Las inspecciones de condición Nivel 2 tienen también como objetivo describir el grado de daño en los componentes del puente. Esta descripción permite realizar estimaciones adecuadas de pérdidas económicas. También ayuda en la gestión de estos bienes, facilitando la toma de decisiones en aspectos como la necesidad o no de intervención de la estructura luego de realizar un análisis de viabilidad económica, en cuyo análisis se tome en cuenta no solo el daño sino que también aspectos como si la estructura es funcionalmente obsoleta, lo que podría llevar a la construcción de una estructura nueva en lugar de una rehabilitación.

Los resultados de una inspección Nivel 2 se podrían utilizar para programar las actividades de reparación o reconstrucción en el mediano plazo según se propone en la figura 4.6. Esta formulación se adapta a uno de los mecanismos actuales de asignación de recursos a las labores de reconstrucción en Costa Rica que es la figura del decreto de emergencia nacional. Este procedimiento se aplicaría solo para el caso en que el gobierno decrete emergencia nacional. Mediante el procedimiento propuesto, se promueve que para las estructuras donde se encontró daño evidente por sismo se tomen en cuenta también para la elaboración del decreto de emergencia todos los daños que por distintas causas estén presentes en la estructura y no solo una reparación del daño producido por el sismo.

Se deben excluir de este decreto puentes que no fueron afectados por este evento, pero que presenten otros tipos de daños o que sean vulnerables. De ser detectados, estos deben ser reportados a la autoridad correspondiente. La atención de estas estructuras debe realizarse según una planificación que incluya aspectos de mitigación del riesgo, mantenimiento, reparación, y remplazo de puentes planteado a nivel nacional, optimizando la utilización de los recursos.

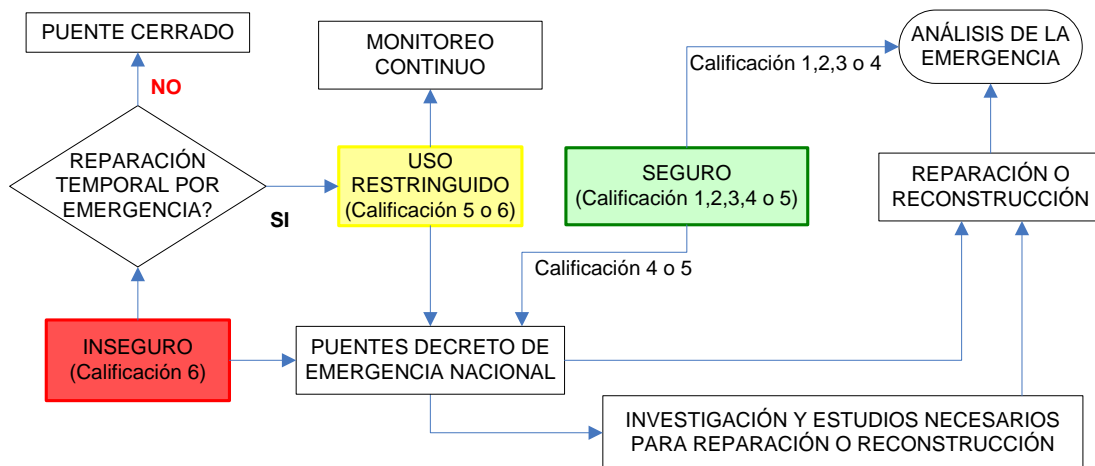


Figura 4.6. ESQUEMA DE DESARROLLO DE RESPUESTA A MEDIANO PLAZO

En la [figura 4.6](#) se incluye como actividad última de la respuesta a mediano plazo un análisis de la emergencia por lo que el llamado “cierre de la emergencia” no se da al finalizar la vigencia del decreto sino que luego de un reporte de análisis. El análisis es de importancia para documentar de forma adecuada no solo aspectos de daños, sino también costos reales relacionados con la emergencia. También para el caso específico de este protocolo, se debe realizar un análisis sobre aspectos como los resultados que dio el SERIS-P y el daño encontrado en campo. Además, es importante realizar un análisis inclusive en aquellas estructuras que presentaron ningún o daño leve, ya que esta es información importante para determinar, por ejemplo, cuáles formas estructurales presentaron buen desempeño, con el fin de promover la construcción de este tipo de estructuras y también para analizar porque se están obteniendo sobreestimaciones del daño.

El esquema para el análisis de la emergencia se plantea en la [figura 4.7](#). El tipo de información generada de un análisis de la emergencia es también de utilidad para mejorar, proponer o descartar políticas y prácticas a largo plazo relacionadas con la gestión de puentes en Costa Rica.

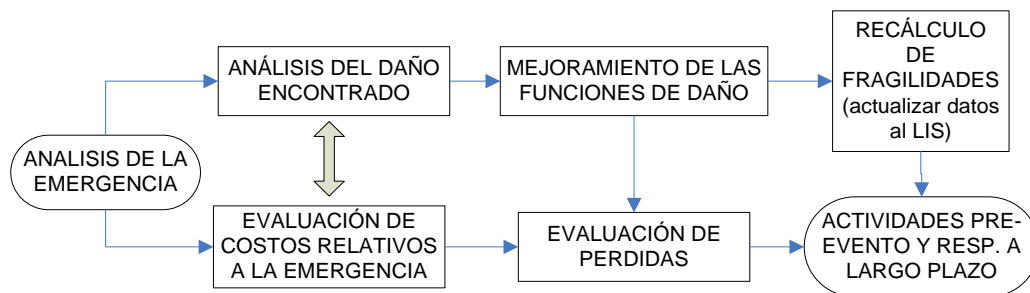


Figura 4.7. PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA EL ANÁLISIS DE LA EMERGENCIA PARA RETROALIMENTACIÓN DEL PROTOCOLO Y CONSIDERACIONES A LARGO PLAZO

4.2 INSPECCIONES

Para el protocolo de evaluación de puentes después de un sismo desarrollado por el LanammeUCR, se proponen tres grados de inspección a realizar para obtener información o evaluar el estado de puentes identificados como con daños esperados o reportados con daño según se puede observar en la [figura 4.5](#) y la [tabla 3.2](#). Las inspecciones que realice la administración local o nacional de puentes no necesariamente tienen que considerar solamente los



puentes donde se prioriza la inspección mediante el SERIS-P o donde se reportó daño para efectos de la atención de la emergencia, sino que también debe garantizar la seguridad de todos los puentes en la red que administra en las zonas afectadas, preferiblemente a pocas semanas de sucedido el evento y según los criterios de inspección que la administración defina (idealmente al menos mediante una evaluación Nivel 1 o similar). Esta información es recomendable sea aportada por los administradores a los entes de emergencia incluso meses después de ocurrido el evento.

Para los grados de inspección propuestos, se espera que en un evento mayor, todas las estructuras para las que se predice u observe daño sean evaluadas al menos mediante una inspección Nivel 0. La necesidad durante la emergencia de inspecciones Nivel 1 es menor y las inspecciones Nivel 2 vendrían a ser aún menos frecuentes. En este apartado se detallan los tres tipos de inspecciones comentando, adicionalmente, algunos aspectos relativos a la inspección detallada. Las referencias principales para la elaboración de los formularios y procedimientos fueron los manuales de inspección post-sismo estadounidense desarrollados para la ciudad de Los Ángeles, California (Patel, 2007), y los estados de Kentucky (Sardo, Sardo, & Harik, 2006), Indiana (J. A. Ramirez, Frosch, Sozen, & Turk, 2000) y Nueva York (O'Connor & Alampalli, 2012).

4.2.1 Equipo de inspección

Previo a iniciar una inspección, el inspector debe verificar que cuente como mínimo con el siguiente equipamiento a disposición para realizar su labor:

1. Formulario o aplicación web para el nivel de inspección respectivo
2. Teléfono móvil con GPS y cámara (*fotografía que incluya coordenadas, fecha y hora*)
3. Chaleco reflectivo y zapatos cerrados (uso de casco de construcción es deseable)
4. Herramientas: machete, cinta métrica y lámpara de mano

El uso del equipamiento de seguridad como casco y chaleco no elimina todos los riesgos; se deben tener los cuidados y capacitación necesarios a la hora de realizar las inspecciones según las reglas de seguridad que establezca la organización encargada en atender la emergencia.

4.2.2 Inspección exploratoria: Nivel 0

Este primer nivel de inspección se estima sea realizada en múltiples estructuras de la red vial nacional después de un sismo mayor. Lleva la calificación “Nivel 0” ya que su función es primordialmente aportar información de forma rápida sobre posibles situaciones de peligro evidente



y la necesidad de realizar inspecciones más en detalle. Se trata de un reconocimiento visual de daños producto del sismo en uno o varios puentes por parte de voluntarios, y personeros de entidades locales involucradas en la atención de emergencias (ver [tabla 4.1](#) en [apartado 4.3](#)). Los daños por reportar son aquellos que puedan afectar el tránsito sobre un puente o que impliquen un riesgo para la seguridad de los usuarios. Las inspecciones exploratorias deben ser registradas con ayuda del formulario de la [figura 4.8](#), mostrado en detalle en el [anexo E](#).



 PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE PUENTES POST-SISMO				PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE PUENTES POST-SISMO INSPECCIÓN EXPLORATORIA DE DAÑOS EN PUENTES DESPUÉS DE SISMO				Preparado por: UP Unidad de Puentes												
Inspectores (Nombre o código)		Fecha:	Consecutivo	Página 1 / 2		 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales														
Nombre o código del puente	Ruta	Coordenada Latitud	Coordenada Longitud	1		2		3		4		5		6		7		8		
				SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
				¿Está el puente cerrado al tránsito?		¿Hay alguna sección del puente colapsada?		¿La superestructura (vigas, losa, superficie de rueda) tiene riesgo de caída (ej.: Viga desmontada)?		¿Las columnas tienen desplazamientos de concreto, acero de refuerzo expuesto y deformado?		¿Los bastiones (asientos) o las pilas (columnas) tienen inclinación o rotación producto del sismo?		¿Los accesos presentan hundimientos que dificultan o impiden el paso de vehículos?		¿Es evidente el movimiento lateral de la superestructura?		¿Se han identificado otras condiciones de riesgo que se especifican en las observaciones?		
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				

Figura 4.8. FORMULARIO PARA INSPECCIÓN EXPLORATORIA (evaluación de múltiples puentes por hoja)

a) Características

Las inspecciones exploratorias brindan información útil para la atención de la emergencia por parte de autoridades locales o voluntarios que se ubiquen geográficamente cercanos a la emergencia. Está diseñada para realizarse de forma rápida, para un gran número de estructuras de ser necesario y por personal con capacitación mínima. Esta actividad corresponde más a una actividad de monitoreo del estado de la estructura y no a una inspección formal. Los detalles y características de este tipo de inspección se resumen mediante los siguientes puntos.



Objetivos

- a) Identificación visual pronta después de un sismo de puentes colapsados, puentes a punto del colapso o puentes con daños evidentes que puedan afectar el tránsito sobre la estructura o impliquen un riesgo para la seguridad de los usuarios.
- b) Reportar a las autoridades encargadas de la emergencia el monitoreo realizado, en particular con mayor prioridad para aquellas estructuras donde se observan daños serios.

Alcance

La inspección exploratoria tiene como fin identificar visualmente los daños evidentes que se presenten en un puente después de un sismo. Será realizada por voluntarios registrados y personas que forman parte de organizaciones locales de una zona específica o alrededores, donde se estima se esperaría daño o se reportó daño por particulares después del sismo. El nivel técnico de las inspecciones exploratorias es básico, principalmente informativo, y tiene el fin de realizar reportes rápidos de daños para la toma de decisiones de atención después de sucedida una emergencia. Se enfoca su uso en puentes clasificados como de importancia Esencial o Convencional en la red vial nacional o en puentes con importancia Crítica sin daño esperado reportado por un particular. También se puede realizar para puentes en vías municipales, con la particularidad que para estos es de suma importancia indicar sus coordenadas de ubicación.

Perfil del inspector

La persona que realizará la inspección debe ser parte o estar registrada en alguna de las siguientes organizaciones: CNE, bomberos, CONAVI, MOPT, policía de tránsito, instituciones de servicios públicos (como ICE; RECOPE, AyA o CNFL), municipalidades, voluntarios registrados, cruz roja, policía nacional, universidades e inspectores de entes técnicos como el CFIA.

Es deseable que las personas encargadas de la inspección exploratoria tengan algún conocimiento técnico básico que les permita reconocer los componentes principales de la estructura de un puente (superestructura, subestructura y accesos). Es indispensable que esta persona haya al menos recibido algún material informativo sobre el procedimiento a seguir para inspeccionar los puentes en la inspección exploratoria.

También es deseable que la persona que realice estas inspecciones tenga una buena condición física, se encuentre en buena condición de salud, tenga la capacidad de mantenerse alerta en el transcurso de la inspección, reconozca sus limitaciones físicas, utilice el equipo de seguridad



sugerido, siga las reglas de seguridad establecidas, y utilice el sentido común y buen juicio durante la inspección.

Procedimiento de inspección

- 1) Preparar la inspección de los puentes de la comunidad asignados por las autoridades locales de emergencia.
- 2) Organizarse en grupos de mínimo dos personas para la inspección de los puentes y repasar los procedimientos de seguridad.
- 3) Conducir con cautela hacia la zona de inspección tomando en cuenta posibles deslizamientos u otros obstáculos en la vía. Cruzar con cautela puentes y alcantarillas en el camino al puente objetivo, realizar inspección de observarse daño serio en algún puente a lo largo del camino. Detener el vehículo antes de cruzar la estructura objeto de la inspección.
- 4) Aproximarse al puente con cautela, analizando peligros circundantes a la estructura. Nunca caminar de inmediato directamente debajo o por encima del puente. No cruzar el puente sin antes observar el alineamiento de la superestructura y revisar daños evidentes en la parte inferior del puente.
- 5) Iniciar la inspección ubicándose a los costados del puente. Nunca dirigirse debajo de la estructura. Se recomienda a cada inspector ir por un lado diferente del puente por razones de seguridad y para acelerar la inspección. Colocarse a una distancia prudencial que permita tener una línea visual del puente. Los inspectores deben interrumpir la inspección cuando se encuentran con un entorno que pueda poner en riesgo su seguridad o si el entorno que se consideró seguro inicialmente cambió en el transcurso de la inspección y se volvió riesgoso.
- 6) Responder las preguntas del 1 al 5 del formulario de inspección exploratoria.
- 7) En caso de responder SI a alguna de las preguntas anteriores (del 1 al 5), no es necesario seguir todo el procedimiento paso a paso. Se debe finalizar la inspección y enviar la información del puente lo más pronto posible a la organización encargada de la emergencia de manera verbal, por medio de una llamada telefónica o utilizando un mensaje de texto con el siguiente formato sugerido:

Código del grupo de inspectores. -Nombre del puente.- Ruta #. - 1.NO.2.NO.3.SI
(en caso de si no es necesario continuar)

- 8) Tomar las fotografías de los daños observados (máximo 3).



- 9) Si se responde SI a la pregunta 2 del formulario y el puente se encuentra abierto al tránsito, se debe buscar alguna barrera física (como ramas de árboles) que prevengan el acceso de vehículos y contactar vía telefónica a la organización encargada de la emergencia
- 10) En caso de responder NO a alguna de las preguntas del 1 a la 5 del formulario, se puede continuar la inspección anotando las observaciones en el formulario o la aplicación. Tomar fotografías de todos los daños observados (máximo 1 por daño).
- 11) Al finalizar la inspección, enviar la información del puente a la organización de la emergencia por medio de mensaje de texto o en caso de disponer de conexión a internet por medio de una fotografía del formulario respectivo. Las fotografías deben enviarse al correo electrónico o la plataforma que asigne la entidad encargada de la emergencia lo más pronto posible. Se recomienda usar el nombre para cada imagen con el siguiente formato:

Código del grupo de inspectores - # del puente en el formulario - # de foto - ID del puente (opcional, solo si se cuenta con la información).

- 12) Si no es posible enviar las fotografías, continuar de igual manera con la siguiente inspección. Las fotografías se deben enviar lo más pronto posible.
- 13) Continuar a la inspección de la siguiente estructura.
- 14) Además, si se identifica alguna condición de amenaza en la carretera como: caída de líneas de electricidad, deslizamientos u otras obstrucciones, también se debe reportar de forma inmediata a las autoridades correspondientes y de ser posible anotarlo como observaciones adicionales en el formulario.


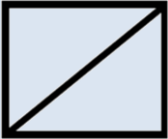

Demarcación y señalización del puente

Antes de continuar a la siguiente estructura asignada, los inspectores deben marcar la estructura para informar a otros equipos de inspección exploratoria y a los equipos de inspecciones de seguridad (Nivel 1) sobre la condición de seguridad del puente.

Se recomienda utilizar las marcas estandarizadas por la Agencia Federal de Gestión de Emergencias de Estados Unidos (FEMA, por sus siglas en inglés). Estas marcas y su significado original están descritos en el *Rescue Field Operations Guide* (FEMA, 2006). Originalmente, las marcas mostradas en la [tabla 4.1](#) se utilizan para definir si una estructura es segura para que ingresen los equipos de rescate de víctimas y para identificar posibles peligros. En este caso se utilizará para informar a los inspectores de los resultados de una inspección exploratoria en un puente siguiendo el formato que se muestra en la [tabla 4.1](#).

Las marcas correspondientes de la [tabla 4.1](#) se deben colocar en un lugar visible. Se recomienda dibujarla en la acera del lado derecho o en el carril de tránsito derecho en el puente o los accesos, tomando como punto de referencia el acceso desde donde se inició la inspección. Se recomienda utilizar pintura en aerosol con un color fluorescente, la cual, preferiblemente debería ser vista a distancia. El tamaño del cuadro debe ser de al menos 60 cm x 60 cm.

Tabla 4.1. MARCAS A COLOCAR EN EL PUENTE LUEGO DE UNA INSPECCIÓN EXPLORATORIA

Tipo de marca	Ejemplo de marca	Significado	¿Cuándo se usa?	Información a la derecha de la marca
IEX-1	 09DIC16 0 15:35 LNM-01	Estructura relativamente segura	Si se responde NO a todas las preguntas del formulario	<ul style="list-style-type: none"> - Código de Fecha (DDMMMAA) - Marcar con 0 (cero, lo cual, indica que a ninguna pregunta del formulario se respondió SI) - Código de Hora (HH:MM) - Código de grupo de inspectores
IEX-2	 10DIC16 4 14:35 CNE-03	Estructura con daños significativos	Si se responde NO a las preguntas 1, 2 y 3 del formulario, pero SI a alguna de las otras preguntas	<ul style="list-style-type: none"> - Código de Fecha (DDMMMAA) - Marcar con el número identificador de la pregunta o las preguntas del formulario a la que se respondió SI (debe ser distinto de 1, 2 y 3) - Código de Hora (HH:MM) - Código de grupo de inspectores
IEX-3	 11DIC16 12 08:35 ICE-06	Estructura insegura	Si se responde SI a alguna de las preguntas 1, 2 o 3	<ul style="list-style-type: none"> - Código de Fecha (DDMMMAA) - Marcar con el número identificador de la pregunta o las preguntas del formulario a la que se respondió SI (1, 2 y/o 3) - Código de Hora (HH:MM) - Código de grupo de inspectores

En la [tabla 4.1](#) se observa que las marcas se aplican para distintos estados en que se haya encontrado el puente, basado en los resultados de responder el formulario de Inspección Exploratoria después de sismo. La marca IEX-1 se utiliza únicamente para cuando se ha respondido NO a todas las preguntas del formulario. En el caso de la marca IEX-2, se debe utilizar cuando se ha respondido NO a las preguntas 1,2 y 3 del formulario, pero, se ha respondido SI a alguna de las preguntas restantes. La marca IEX-3 solo se utiliza en caso de que se haya respondido sí a alguna de las preguntas 1, 2 y 3 del formulario.

4.2.3 Inspección de seguridad: Nivel 1

La inspección de seguridad Nivel 1, corresponde al segundo nivel de inspecciones visuales para la valoración de puentes. Los puentes por evaluar con este grado son aquellos que se identifiquen explícitamente en el sistema de priorización de inspecciones después de un sismo ([tabla 3.2](#)) y aquellos reportados como IEX-2 y IEX-3 luego de una inspección exploratoria. También se recomienda que este tipo de evaluación se realice en el corto plazo luego de un evento mayor para todos los puentes en las rutas que el ente administrador de la infraestructura considere necesario, independientemente si fue predicho o no daño mediante el SERIS-P, si fue reportado algún daño o inclusive si cuenta con una evaluación nivel 0 donde no se reporta daño. El formulario de Inspección de seguridad se puede observar en las [figura 4.9](#) y el [anexo E](#).

a) Características

Las inspecciones de salvaguarda de la seguridad del puente, Nivel 1, realizadas por parte de autoridades locales, regionales o nacionales autorizados para realizar este tipo de evaluación, brindan información útil para la toma de decisiones. Está diseñada para realizarse de forma rápida y por personal capacitado. Además, esta actividad corresponde a una inspección visual en donde con base en la severidad, intensidad y extensión del daño el inspector da una recomendación “preliminar” sobre las medidas operativas a tomar para con la estructura durante la emergencia. Los detalles y características de este tipo de inspección se resumen mediante los siguientes puntos.



PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE PUENTES DESPUÉS DE UN SISMO REGISTRO DE INSPECCIÓN DE SEGURIDAD PARA PUENTES DESPUÉS DE SISMO		Preparado por:
Fecha: _____ Página 1 / 2		
NOMBRE DEL PUENTE: _____ RUTA No.: _____ CÓD. PUENTE: _____ CRUZA SOBRE: _____ PROVINCIA: _____ CANTÓN: _____ COORDENADAS: LAT.: _____ LONG.: _____ POBLADO CERCA: _____		
INSPECTORES: NOMBRE: _____ CÓDIGO No.: _____ NOMBRE: _____ CÓDIGO No.: _____		
CONDICIÓN GENERAL DEL PUENTE Elegir el estado de condición según la opción más grave evaluada abajo en los puntos del 1 al 8		
SEGURO (VERDE) SG-V <input type="checkbox"/> ACCESO LIMITADO (AMARILLO) AL-A <input type="checkbox"/> NO SEGURO (NARANJA-BAJA CERTEZA) NS-N <input type="checkbox"/> NO SEGURO (ROJO - ALTA CERTEZA) NS-R <input type="checkbox"/>		NOTAS: _____
CONDICIÓN: NA: No aplicable NI: No fue posible inspeccionar		
1. PREVENCIÓN DE COLAPSO		
1.1. Colapso total o parcial de algún tramo del puente	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (ROJO)
1.2. El sismo redujo la longitud de asiento a menos de 10 cm (vigas desmontadas)	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (ROJO)
2. SUPERESTRUCTURA		
2.1. Juntas de expansión desalineadas horizontal y/o verticalmente más de 15 cm	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
2.2. Juntas de expansión desalineadas horiz. y/o vertical entre 2,5 cm y 15 cm	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
2.3. Pandeo local en vigas o en cerchas de acero	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
2.4. Viga principales de concreto con desprendimientos y acero de refuerzo expuesto y deformado	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si el daño implica un alto grado de certeza del riesgo a la seguridad calificar como: NO SEGURO (ROJO)
2.5. Grietas visibles en elemento principal o uniones de elemento principal de acero	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si el daño implica un alto grado de certeza del riesgo a la seguridad calificar como: NO SEGURO (ROJO)
2.6. Pérdida de elementos en conexiones de elementos de acero principales (E). Rotura de pernos	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
2.7. Grietas diagonales en vigas de concreto (grietas por cortante)	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
2.8. Desprendimiento de concreto de recubrimiento en viga principal	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
2.9. Falla o rotura de elemento secundario de acero o concreto	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
3. ACCESORIOS Y ACCESOS		
3.1. Destrucción del relleno de aproximación	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (ROJO)
3.2. Asentamiento en el relleno de aprox. mayor que 15 cm que sí obstaculice el tránsito	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
3.3. Asentamiento en el relleno de aprox. mayor que 15 cm NO obstaculice el tránsito	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
3.4. Deslizamiento en el entorno afecta el puente	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
3.5. Daños en barreras obstaculizan el tránsito	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
ADJUNTAR FOTOGRAFÍA EN CASO DE RESPONDER AFIRMATIVAMENTE A LA PREGUNTA		

PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE PUENTES DESPUÉS DE UN SISMO REGISTRO DE INSPECCIÓN DE SEGURIDAD PARA PUENTES DESPUÉS DE SISMO		Preparado por:
Fecha: _____ Página 2 / 2		
NOMBRE DEL PUENTE: _____ RUTA No.: _____ CÓD. PUENTE: _____		
4. APOYOS		
4.1. Reducción de asiento en más de 15 cm	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
4.2. Pernos de anclaje de apoyo extraídos del concreto o cortados	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
4.3. Reducción de asiento en más de 2,5 cm y menos de 15 cm	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
4.4. Daño en dispositivo de apoyo (Abultamiento, asentamiento, desplazamiento de pernos, grietas o desprendimiento de concreto del pedestal)	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
5. PILAS		
5.1. Inclinación, rotación o desplazamiento producidos por efecto del sismo	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
5.2. Acero de refuerzo expuesto y deformado en columnas de concreto	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si el daño implica un alto grado de certeza del riesgo a la seguridad calificar como: NO SEGURO (ROJO)
5.3. Columnas de acero pandeadas localmente	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (ROJO)
5.4. Asentamiento evidente	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (ROJO)
5.5. Grietas por cortante persistentes en el cuerpo de pilas de concreto	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
5.7. Pérdida de recubrimiento en pilas de concreto	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
6. BASTIONES		
6.1. Asentamiento mayor que 15 cm	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
6.2. Asentamiento entre 2,5 cm y 15 cm	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
6.3. Inclinación, rotación o desplazamiento producidos por efecto del sismo	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
6.4. Separación de aletones del bastión o agrietamiento entre bastión y aletones	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
6.5. Asentamiento de aletones o muros	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (ROJO)
6.6. Grietas y/o desprendimientos de concreto en bastión	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: SEGURO (VERDE)
7. CIMENTACIONES		
7.1. Rotación visible en cimiento superficial	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
7.2. Desprendimientos o agrietamiento en pilotes o cabezales de pilotes	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
7.3. Desplazamiento del cimiento por licuefacción	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: NO SEGURO (NARANJA)
8. RIESGOS GEOTÉCNICOS		
8.1. Licuefacción de suelos en el entorno del puente	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
8.2. Inestabilidad del terreno circundante al puente pone en riesgo de falla al cimiento	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NA-NI <input type="checkbox"/>	Si marca SI calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)
Elegir el estado de condición en la página 1 según la opción más grave evaluada en los puntos del 1 al 8		
9. NOTAS ADICIONALES		
_____ _____ _____		
ADJUNTAR FOTOGRAFÍA EN CASO DE RESPONDER AFIRMATIVAMENTE A LA PREGUNTA		

Figura 4.9. FORMULARIO DE INSPECCIÓN DE SEGURIDAD (consta de 2 páginas, una forma por puente)

Objetivos

- a) Evaluar visualmente los puentes identificados para inspección de seguridad en el sistema de priorización de inspecciones después de un sismo SERIS-P y aquellos reportados con daños en la inspección exploratoria.
- b) Identificar daños debido a sismo que podrían afectar la seguridad estructural del puente.
- c) Brindar una clasificación de seguridad según el daño observado a los puentes evaluados.
- d) Comunicar a las autoridades sobre la necesidad del cierre en puentes a punto de colapso o que representen un peligro para los usuarios dentro de las rutas de comunicación vital.

Alcance

Las inspecciones de seguridad deberían iniciar poco tiempo después de ocurrido el sismo y se podrían extender por varios días o semanas. Durante la respuesta inmediata a la emergencia, los puentes a inspeccionar se asignan a los inspectores cuando se disponga de información sobre



donde se requiere una inspección de seguridad, según el análisis de daño esperado y la importancia del puente, o se disponga de información de la inspección exploratoria.

Como parte de esta evaluación preliminar, se pueden brindar recomendaciones para el control del tránsito sobre el puente (velocidad, tipo de vehículos, carga máxima), para el cierre total del puente ante un posible riesgo de colapso de la estructura o para la reapertura de algún puente que fue temporalmente cerrado por reportes de daño previos que resulten no ser tan riesgosos.

Para las primeras instancias de la emergencia este tipo de inspección se realiza principalmente sobre estructuras de importancia Crítica con estimación de cualquier tipo de daño y puentes Esenciales con daños severos o completos. Según el criterio de la administración, en el corto y mediano plazo este tipo de evaluación se podría realizar en puentes de cualquier importancia operativa en la RVN o municipal en las regiones afectadas, sin importar si fue o no reportado daño. Se recomienda a la administración de evaluar al menos con este Nivel 1 todos los puentes de importancia Crítica en las regiones afectadas considerablemente por el sismo, identificadas gracias a los informes de las autoridades relacionadas con la emergencia.

Perfil del inspector

La evaluación *preliminar* será realizada por profesionales capacitados en inspección de puentes. Además, es deseable que el profesional haya recibido una capacitación específica en inspección de puentes después de un sismo y logre diferenciar entre los daños debidos a un sismo reciente, los daños debido al deterioro por otras causas o incidentes sobre el puente, y utilizar con facilidad y rapidez el formulario respectivo.

La inspección podría ser realizada por profesionales pertenecientes a alguna de las instituciones vinculadas a la emergencia o voluntarios previa certificación e inscripción como inspectores para realizar la inspección Nivel 1. Los perfiles profesionales mínimos recomendados para llevar a cabo este tipo de evaluación son: personal formado como ingeniero civil, ingeniero en construcción, técnico en inspección, técnico en construcción de puentes, arquitecto, ingeniero mecánico, o administradores con experiencia en infraestructura de puentes.

Para las entidades como el CNE, CONAVI, MOPT, y CFIA se recomienda capaciten parte de su personal para llevar a cabo este tipo de evaluaciones, contemplando el refrescamientos de los temas cada cierto periodo de tiempo.



Procedimiento de Inspección

- 1) Preparar la inspección de los puentes asignados por las autoridades locales o nacionales de emergencia, los cuales, se identificaron para una inspección de seguridad en el sistema de priorización de inspecciones o han sido reportados con daños por inspectores en la etapa exploratoria.
- 2) Organizarse en grupos de mínimo dos personas para la inspección de los puentes y repasar los procedimientos de seguridad.
- 3) Conducir con cautela hacia la zona de inspección tomando en cuenta posibles deslizamientos, u otros obstáculos en la vía. Cruzar con cautela puentes y alcantarillas en el camino al puente objetivo, realizar una inspección de observarse daño serio en algún puente a lo largo del camino. Detener el vehículo antes de cruzar la estructura objeto de la inspección.
- 4) Ingresar los datos del puente y de los inspectores en el formulario de inspección de seguridad. Esto se puede realizar también previo a iniciar el viaje hacia el sitio de inspección
- 5) Aproximarse al puente con cautela, analizando peligros circundantes a la estructura. Nunca caminar de inmediato directamente debajo o por encima del puente. No cruzar el puente sin antes observar el alineamiento de la superestructura y revisar daños evidentes de la parte inferior del puente que pudieron no haber sido identificados en la inspección exploratoria.
- 6) Iniciar la inspección ubicándose a los costados del puente. Nunca dirigirse debajo de la estructura. Se recomienda a cada inspector ir por un lado diferente del puente por razones de seguridad y para acelerar la inspección. Colocarse a una distancia prudencial que permita tener una línea visual del puente. Los inspectores deben interrumpir la inspección cuando se encuentren con un entorno que pueda poner en riesgo su seguridad o si el entorno que se consideró seguro inicialmente cambió en el transcurso de la inspección y se volvió riesgoso.
- 7) No se debe dedicar tiempo en un puente que haya colapsado. Por lo tanto si se marca "Sí" en la pregunta 1.1, tan pronto como se haya cerrado mediante alguna forma de barricadas, continuar de ser posible con el trayecto original para inspeccionar otros puentes en la lista. El tiempo de inspección se invierte de forma más eficaz enfocando esfuerzos en aquellos puentes que se mantienen sin colapso pero que presentan condiciones potencialmente inseguras para el tránsito.
- 8) Responder "SÍ/NO" según corresponda en cada ítem del formulario y seguir las instrucciones de ayuda para dar la calificación correspondiente. Como ayuda visual las casillas están marcadas del color correspondiente a cada estado de evaluación.



- 9) Para los casos en donde hay que decidir entre "NO SEGURO (NARANJA-BAJA CERTEZA)" y "NO SEGURO (ROJO-ALTA CERTEZA)" se debe indicar el grado de certeza que se tiene sobre que el daño observado y decidir si aplica una u otra clasificación. El inspector puede registrar cualquier otra observación que justifique la calificación brindada aunque no esté indicada explícitamente en el formulario
- 10) Se debe valorar el estado de deterioro del puente de acuerdo con la condición que implique un riesgo mayor. No obstante, se deben responder todos los ítems del formulario con excepción, si no fuera posible, de lo descrito en el punto 7 del formulario.
- 11) Al finalizar la inspección, enviar al contacto de la organización encargada de gestionar la emergencia un informe rápido de la situación encontrada en el puente. Este informe puede ser de manera verbal por medio de una llamada telefónica o por medio de una fotografía de la página 1 del formulario respectivo con cualquier observación al respecto, en caso de poseer un teléfono móvil con esa capacidad. En caso de decidir enviar un mensaje de texto utilizar el siguiente formato:

Código grupo de Inspectores. -Nombre del puente (o código) - Ruta #. - Condición:
SEGURO / ACCESO LIMITADO / NO SEGURO (NARANJA/ROJO) [(Opcional
detalle o detalles críticos) - Código Pregunta #: SI/NO, ...]

Enviar otro mensaje con comentarios indicado de nuevo la identificación de la estructura para evitar confusiones y brindar redundancia a la información anterior.

- 12) Demarcar la condición del puente y contactar a la institución más cercana autorizada en caso de que se requiera el cierre o restricción de uso de la estructura.
- 13) Una vez asegurada la comunicación sobre la situación de la estructura, continuar al siguiente puente según el plan preestablecido de ser posible.
- 14) Si se identifica alguna condición de amenaza en la carretera como: caída de líneas de electricidad, deslizamientos u obstrucciones también se debe reportar de forma inmediata a las autoridades correspondientes indicando las coordenadas y de ser posible anotarlo como observaciones adicionales en el formulario del puente más cercano.
- 15) Repetir los puntos del 3 al 14 de este procedimiento.
- 16) Al terminar la inspección de seguridad de las estructuras asignadas se debe considerar la posibilidad de valorar algún otro grupo de puentes, coordinando esta labor con las autoridades respectivas.

Demarcación y señalización

De manera similar a como se realizó en la Inspección Exploratoria, antes de continuar con la inspección de otra estructura se debe marcar la estructura para informar a otros equipos que la estructura ya fue evaluada y cuál es su estado.

En el caso de las marcas para los puentes evaluados en la Inspección de seguridad se realiza una adaptación de las marcas utilizadas para las operaciones de búsqueda y rescate de la FEMA (2006). Estas marcas, originalmente se utilizan para comunicar a otros equipos de búsqueda y rescate sobre posibles peligros en las estructuras de la zona de emergencia, la cantidad de supervivientes rescatados y de decesos encontrados en una estructura. La [figura 4.10](#) muestra un ejemplo del tipo de marcas que se utilizarán para identificar los puentes a los que se les ha realizado inspecciones de seguridad.

Los números encerrados en cuadros en la [figura 4.10](#) indican los cuadrantes de la marca donde se debe colocar información como la que se muestra en el ejemplo. Esta marca se debe ir construyendo en distintas etapas según se muestra en la [figura 4.11](#). Primero, al llegar al puente se debe dibujar la línea que baja de izquierda a derecha y se debe colocar la información del cuadrante 1. Al terminar la inspección se debe dibujar la línea que completa la marca y llenar la información del cuadrante 3. Al final, colocar la información de los cuadrantes 2 y 4. La [tabla 4.2](#) muestra la nomenclatura que se utilizará para cada uno de los cuadrantes.



Figura 4.10. EJEMPLO DE MARCA QUE SE UTILIZARÁ PARA COMUNICAR EL ESTADO DE SEGURIDAD EN PUENTES. TOMADO DE FEMA (2006), MODIFICADA POR AUTORES

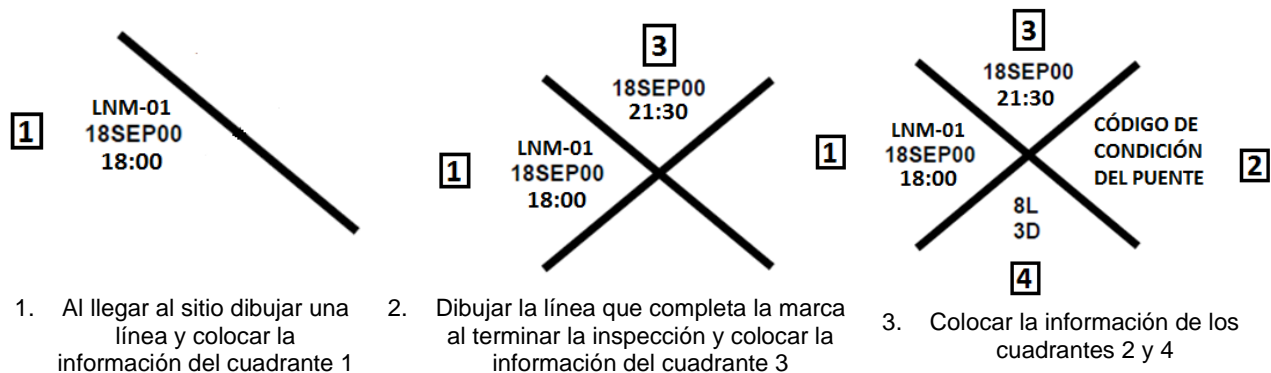


Figura 4.11. PROCEDIMIENTO PARA DIBUJAR LA MARCA DE LA INSPECCIÓN DE SEGURIDAD

Tabla 4.2. INFORMACIÓN POR COLOCAR EN CADA CUADRANTE DE LA MARCA PARA LA INSPECCIÓN DE SEGURIDAD DEL PUENTE

Cuadrante	Información por colocar
1	<ul style="list-style-type: none"> • Código del grupo de inspectores • Fecha (DDMMMAA) y hora (HH:MM) de ingreso al puente
2	<ul style="list-style-type: none"> • Código de condición del puente, según resultados de la inspección de seguridad: SG-V: SEGURO-VERDE AL-A: ACCESO LIMITADO-AMARILLO NS-N: NO SEGURO-NARANJA NS-R: NO SEGURO-ROJO • Se pueden indicar los elementos con daños más graves. Ejemplo: bastión, vigas, pila
3	<ul style="list-style-type: none"> • Fecha y hora de finalización de la inspección de seguridad del puente
4	<ul style="list-style-type: none"> • Número de víctimas encontradas (si aplica). #L: Número de víctimas vivas #D: Número de víctimas sin vida NA. No aplica para la estructura

Debido a que los grupos de inspección no están entrenados en rescate de personas, se recomienda colocar en el cuadrante 4 de la marca siempre el código NA (No aplica). Si en una inspección de seguridad se encuentran víctimas en la estructura se debe contactar inmediatamente a las autoridades competentes de rescate. En este último caso, se debe dejar que los equipos de rescate coloquen la información del cuadrante 4. Además, se debe colocar la información del equipo de rescate contiguo a la información del grupo de inspectores en el cuadrante 1.

Las marcas señaladas en las figuras 4.10 y 4.11 se deben colocar en un lugar visible del puente. Se recomienda dibujarla en la acera del lado derecho o en el carril de tránsito derecho del puente o el acceso, tomando como punto de referencia el acceso desde donde se inició la inspección. Se recomienda utilizar pintura en aerosol con un color fluorescente, la cual, preferiblemente debería ser vista a distancia. El tamaño de la marca debe ser de al menos 60 cm x 60 cm.

4.2.4 Inspección de condición: Nivel 2

Esta inspección de condición por emergencia comprende la evaluación visual de todos los componentes del puente por parte de ingenieros con especialidad o experiencia en inspección de estructuras de puentes y preferiblemente certificados. Se recomienda realizar un curso de evaluación de la condición estructural de puentes de la UP del LanammeUCR y de seguridad en trabajos en altura. Las estructuras a evaluar fueron previamente identificadas gracias a las inspecciones de seguridad con daños que requieren de un criterio especializado, confirmativo, que permita describir cualitativamente la condición del puente, confirme el cierre o restricción de uso, y sugiera con base en una calificación de la estructura las actividades a realizar a los entes encargados de atender la emergencia y la administración del puente. Se recomienda utilizar en este trabajo para calificar la estructura el procedimiento descrito en la Guía para la Determinación de la Condición de Puentes elaborada por la Unidad de Puentes del LanammeUCR ([Muñoz-Barrantes et al., 2015b](#)) o la guía AASHTO para inspección por elementos ([AASHTO, 2013](#)).

En el [anexo E](#), se muestra el formulario que se recomienda utilizar para la inspección y a partir del cual se puede obtener posteriormente una calificación para el puente. A diferencia de los dos tipos de inspecciones anteriores, en esta evaluación se analizan todos los tipos de daños observados sobre el puente por lo que se brinda una calificación global a la estructura. Esta evaluación corresponde una de las inspecciones periódicas que debe realizar el administrador de puentes, pero cuya ejecución se ha disparado anticipadamente con motivo de la emergencia. Una evaluación global de la estructura es en la práctica el procedimiento correcto, ya que realizar esfuerzos para reparar defectos únicamente relacionados con el sismo sin tomar en cuenta la disfuncionabilidad, obsolescencia, falta de medidas de seguridad vial apropiadas, daños por erosión, impactos vehiculares sobre la estructura, u otros, podría considerarse una inversión inapropiada sobre una estructura aún vulnerable a otros riesgos o con una vida residual corta.

a) Características

Las inspecciones del estado de la condición de un puente, son una de las herramientas de mayor utilidad en la gestión de infraestructura vial. Aspectos generales sobre este tipo de inspecciones se detallan en el informe LM-PI-UP-05-2015 ([Muñoz-Barrantes et al., 2015a](#)). Este tipo de inspección está diseñada para evaluar todos los elementos del puente y su entorno, incluyendo aquellos elementos especiales de la estructura diseñados para actuar en caso de sismo. Al establecer los niveles de daño por componentes, se facilitan las labores administrativas posteriores enfocadas a realizar reparaciones, decidir readecuaciones, proponer el recambio de la



estructura, y una estimación presupuestaria detallada. Debido a la profundidad del informe y poca disponibilidad de personal capaz de realizar este tipo de inspecciones, los resultados de esta evaluación podrían tardar varias semanas. Es recomendable utilizar estos informes como insumo para la elaboración del decreto de emergencia por parte de la CNE.

Objetivos

- a) Brindar una calificación de la condición del puente basado en la evaluación visual de sus componentes para determinar el grado de peligrosidad en que se encuentra la estructura
- b) Evaluar los puentes calificados en las inspecciones de seguridad con las condiciones "SEGURO (VERDE)", "ACCESO LIMITADO (AMARILLO)", "NO SEGURO (NARANJA-BAJA CERTEZA)" o "NO SEGURO (ROJO-ALTA CERTEZA)", que requieran de un criterio en detalle que permita determinar su estado e identificación de las causas probables de los deterioros observados
- c) Recomendar estudios con un mayor grado de detalle según la importancia y/o complejidad de la situación y sugerir acciones a la administración y entes encargados de la emergencia que garanticen la seguridad de uso de la estructura para vehículos y peatones
- d) Realizar un informe detallado de los puentes evaluados donde se recomienden las acciones según la calificación otorgada a la estructura

Alcance

Las inspecciones del Nivel 2 deberían iniciar como una confirmación de los otros niveles de inspección utilizándose solo en caso de ser necesarias según los resultados de las inspecciones de seguridad (Nivel 1). Se recomienda utilizar un formulario de inspección con el fin de registrar las deficiencias encontradas en el puente, las posibles causas de los daños, y las recomendaciones discutidas en sitio como insumo para la realización de un informe final sobre el estado del puente. Este formulario de inspección puede ser el propuesto para la aplicación InspectorUP del LanammeUCR o el formulario base que utiliza esta aplicación ([anexo E](#)).

Como resultado de la inspección estructural, se debería brindar un informe describiendo los daños. Este informe puede incluir las posibles causas y las recomendaciones para reparación generales. Además, se podría recomendar realizar investigaciones con mayor grado de profundidad que incluyan ensayos no destructivos, exploración geotécnica, evaluaciones de la capacidad de carga y análisis estructural que permitan establecer los márgenes de seguridad para la estructura en caso de duda o para puentes especiales que requieran de un análisis más profundo.



Este tipo de inspección se puede realizar en puentes de cualquier importancia en la RVN o municipal, en donde la prioridad de ejecución debe ser para los puentes con importancia Crítica con daños serios.

Procedimiento de Inspección

- 1) Verificar la priorización de puentes por inspeccionar con el CNE o el COE (Centro de Operaciones de Emergencias), de acuerdo con los resultados de las inspecciones de Seguridad (Nivel 1).
- 2) Examinar y discutir con el equipo de trabajo la información reportada en las inspecciones de Seguridad (Nivel 1).
- 3) Al llegar al puente realizar primero una valoración global y luego una evaluación más profunda para cada componente del puente y su entorno
- 4) Se recomienda utilizar la aplicación móvil, InspectorUP, o en su defecto, el formulario "Registro de Inspección en campo" de la Unidad de Puentes del LanammeUCR como guía para la inspección estructural del puente.
- 5) Indicar si el puente está abierto o cerrado al tránsito como un comentario en el formulario.
- 6) Es altamente recomendable discutir in-situ las observaciones y conclusiones con los miembros del equipo de trabajo, con el fin de llegar a un acuerdo sobre las condiciones en las que se encuentra el puente y las acciones por recomendar.
- 7) Tomar fotografías de todos los daños observados para registrar todas las observaciones. De ser necesario realizar dibujos de la ubicación y extensión de los daños, con medidas. Se recomienda marcar in-situ los daños que requieren monitoreo.
- 8) Al final del día de inspección, reportar verbalmente y por medio de un informe corto los daños observados en cada puente. Enfocarse, en aquellos daños donde se podría poner en riesgo la seguridad de los usuarios.
- 9) Luego que cada componente del puente ha sido evaluado y se han realizado comentarios sobre su estado, elaborar un reporte preliminar, una o dos páginas, como máximo al día siguiente de la inspección donde se brinde un "Estado General de Daño" según la Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual (Muñoz-Barrantes et al., 2015b), indicando si se debe mantener o modificar la restricción de uso si esta aplica al momento de la inspección.
- 10) Al final del proceso de evaluación estructural, preparar un informe por cada puente inspeccionado. Este informe se utilizará como insumo para las próximas etapas del proceso de reparación, readecuación o recambio del puente, en caso de ser necesario.



- 11) Si en el reporte preliminar o en el informe final se concluye que el puente debe ser cerrado, se debe contactar inmediatamente al CNE y a las autoridades encargadas de ejecutar el cierre. También, contactar al CNE en caso de que se requiera reabrir un puente que fue cerrado como medida preventiva de seguridad y se determinó como seguro o abierto al tránsito con restricciones luego de la inspección.

4.2.5 Evaluaciones Detalladas

En caso de duda, viabilidad económica o complejidad de la estructura, una de las recomendaciones luego de la evaluación de la condición del puente puede ser profundizar la investigación mediante el uso de evaluaciones detalladas del puente. Este tipo de análisis no se limita a ampliar aspectos relativos a la inspección, como el uso de otras técnicas no destructivas aparte de la inspección visual o de pruebas destructivas, sino que también podría incluir realizar análisis estructurales y de viabilidad económica. La necesidad de estas evaluaciones detalladas se pueden declarar también, por ejemplo, en los carteles elaborados para del diseño de medidas de readecuación y posible ampliación vial del puente.

Comúnmente, las evaluaciones detalladas en puentes con daños por sismo podrían incluir, pero no están limitados, a los siguientes aspectos:

- 1) Uso de ensayos no destructivos
- 2) Evaluación estructural
- 3) Análisis y diseño estructural para readecuación

a) Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos se pueden realizar para evaluar aspectos relacionados con los materiales como resistencia, determinación de características estructurales de los elementos del puente como: ubicación, tamaño y distribución del acero de refuerzo, detección de daños no visibles en el elemento y para determinar el espesor de elementos de acero y concreto. En caso de requerirlo se debe buscar asesoría profesional para determinar el tipo de ensayo y el alcance de la evaluación. Además, en muchas ocasiones los resultados de ensayos no destructivos deben ser complementados con ensayos destructivos según el problema que se analice.

A manera de guía para elegir el tipo de ensayo, se puede utilizar el capítulo 5 del AASHTO Manual for Bridge Evaluation ([AASHTO, 2011](#)) o el capítulo 13 del Bridge Inspectors Reference Manual ([FHWA, 2012](#)).

b) Evaluación Estructural

El diagnóstico de la condición de seguridad de estructuras mediante una evaluación estructural, se realiza para determinar el efecto integral en el desempeño del puente producido por cambios sobre la estructura, relacionados con el deterioro en las características los materiales, cambio geométricos o ruptura en elementos, cambios o anomalías en las características dinámicas de la estructura, o desplazamientos excesivos, relacionados con la posibilidad de existencia o efecto de daños recientes producidos por un sismo respecto a una condición previa; idealmente su estado previo al sismo, pero que típicamente se compara con su estado como puente nuevo según sus planos estructurales originales o de la última readecuación. Esto último se debe a que son poco frecuentes en nuestro país la implementación de programas de monitoreo de la salud estructural en puentes. Una evaluación estructural detallada en puentes requiere en muchos casos de equipo o ensayos especiales, y de personal especializado con experiencia en análisis de los ensayos realizados y los procedimientos para la evaluación de puentes.

Los resultados de una evaluación estructural son típicamente una reducción en los márgenes de seguridad anteriores de la estructura para las distintas condiciones de carga y/o la declaración de daños que afecten una condición funcional del puente. Los resultados son útiles para el diseño conceptual de las medidas de readecuación.

c) Análisis y diseño estructural para rehabilitación del puente

Se recomienda que el análisis estructural de puentes para la readecuación sísmica se realice siguiendo los parámetros que se incluyen en el capítulo 5 de los Lineamientos para diseño Sismorresistente de puentes (CFIA, 2013).

4.3 PARTES INVOLUCRADAS Y FLUJO DE LA INFORMACIÓN

A la largo de este capítulo se ha mencionado brevemente sobre los distintos entes o instituciones involucradas en la emergencia, haciendo principalmente referencia a la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, CNE, como el eje central sobre el cual giran muchas de las actividades relacionadas a este protocolo. En este apartado se presenta y comenta brevemente la posible participación en el ciclo de la emergencia de otras instituciones públicas



como universidades, ministerios o institutos, y organizaciones no gubernamentales como por ejemplo el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

Una propuesta de la posible participación y actividades relacionadas a la emergencia por parte de los sectores involucrados usualmente en la respuesta post-sismo se presenta en la [tabla 4.3](#). Este análisis preliminar fue elaborado por la Unidad de Puentes y la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LanammeUCR mediante una lluvia de ideas y lo comentado por algunos de estos grupos sobre sus competencias usuales durante una emergencia.

Se observa de la [tabla 4.3](#) que son múltiples y diversos las instancias involucradas o “*stakeholders*” que participan en este tipo de emergencias; aún cuando aquí se presente un enfoque limitado hacia el sector público y sin la intervención de organismos internacionales o el sector privado. El rol descrito o estimado para cada uno de los *stakeholders* es solo una propuesta y no es restrictivo a solo lo que se indique en la [tabla 4.3](#). La CNE, posiblemente a través del Centro de Operaciones de Emergencia como organismo encargado de coordinar la emergencia, debe decidir si adoptar o modificar el esquema propuesto luego de discutir con los distintos sectores sobre sus posibilidades técnicas, compromisos, disponibilidad de recursos y competencias. La CNE podría optar por la creación de un nuevo esquema de vinculación entre ellos y estos o más *stakeholders*.

El esquema propuesto en la [figura 4.5](#) se podría concebir no solo desde el punto de vista enfocado en las inspecciones, sino también de la intervención de las partes en la respuesta y como se daría el flujo de la información tomando el cuenta al CNE como el eje central de la coordinación de la emergencia, repositorio de la información, toma de decisiones sobre la realización de las inspecciones y finalmente encargado de la elaboración de reportes de daño y del decreto de emergencia nacional como uno de los mecanismos de asignación de recursos económicos para la etapa de la recuperación. Este enfoque se muestra en la [figura 4.12](#), en donde las inspecciones se muestran como 3 ciclos internos que se ejecutan las veces que sean necesarias, inclusive en paralelo por que no son necesariamente dependientes el uno del otro.

En la [tabla 4.3](#) no se incluyen o detallan actividades abiertas a la participación privada o organismos internacionales; esto se da en parte por hacer referencia principalmente a actividades de planificación y respuesta inmediata típicamente vinculadas a organizaciones comunales, gobiernos locales, y el gobierno central. Sin embargo, es importante mencionar que el aporte privado, de entes internacionales u otros países son fundamentales en las actividades de reconstrucción, y que consultores privados especialistas podrían ser contratados para realizar inspecciones Nivel 2, evaluaciones detalladas o estudios de riesgo específicos. Es importante en todo caso, que las evaluaciones realizadas por los contratistas o instituciones foráneas sean autorizadas y aprobadas por entes públicos mediante figuras como la del *comité técnico* del CNE,



esto con el fin de evitar conflictos de intereses, confusión en términos e incompatibilidades relacionadas, por ejemplo, con la estimación de los grados de daño.

Tabla 4.3. PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES EN LAS DISTINTAS FASES DEL PROTOCOLO

Partes involucradas	Pre-evento	Evento sísmico	Respuesta (incluye nivel de inspección)			Mediano y corto plazo
			Inmediata		Corto plazo	
			Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	
Comisión Nacional de Emergencias (CNE - COE)	Brindar/Recibir capacitación, difusión, coordinación y comunicación	Evaluación, coordinación y priorización de Inspecciones	-	X	X	Emisión decreto de emergencia. Carteles de licitación. Estimación de perdidas y costos
Bomberos de Costa Rica	Recibir capacitación	Reportes particulares	X	X	-	-
CONAVI, puentes y emergencias MOPT. Policía de Tránsito	Recibir capacitación	Reportes particulares, cierre/restricción de uso puente	X	X	X	Recomendación soporte temporal, monitoreo y reparaciones. Soporte CNE con carteles.
LIS	Desarrollo Interface web	Mapa y reporte daño	-	-	-	-
Unidad de Puentes LanammeUCR	Difusión, herramientas, desarrollo y brindar capacitación	-	-	X	X	Estudios detallados y retroalimentación protocolo
INSTITUCIONES PÚBLICAS (ICE, Recope, AyA, CNFL, etc)	Reportes daño de servicios y recibir capacitación	Reporte por falla de servicios en puente	X	X	-	Labores de restablecimientos de Servicios. Labores reconstrucción
Municipalidad y Comité Comunal	Recibir capacitación	Reportes particulares	X	X	X	Soporte al CNE
Cruz Roja de Costa Rica	Recibir capacitación	-	X	-	-	-
Policía Nacional	Recibir capacitación	Apoyo CNE y Tránsito MOPT	X	-	-	-
Universidades e Institutos de Investigación	Investigación en ingeniería sísmica y sismología	Reportes de intensidad del sismo	-	X	X	Estudios detallados
Comités Técnicos e Inspectores(CFIA)	Normativa y criterio experto	-	X	X	X	Estudios detallados

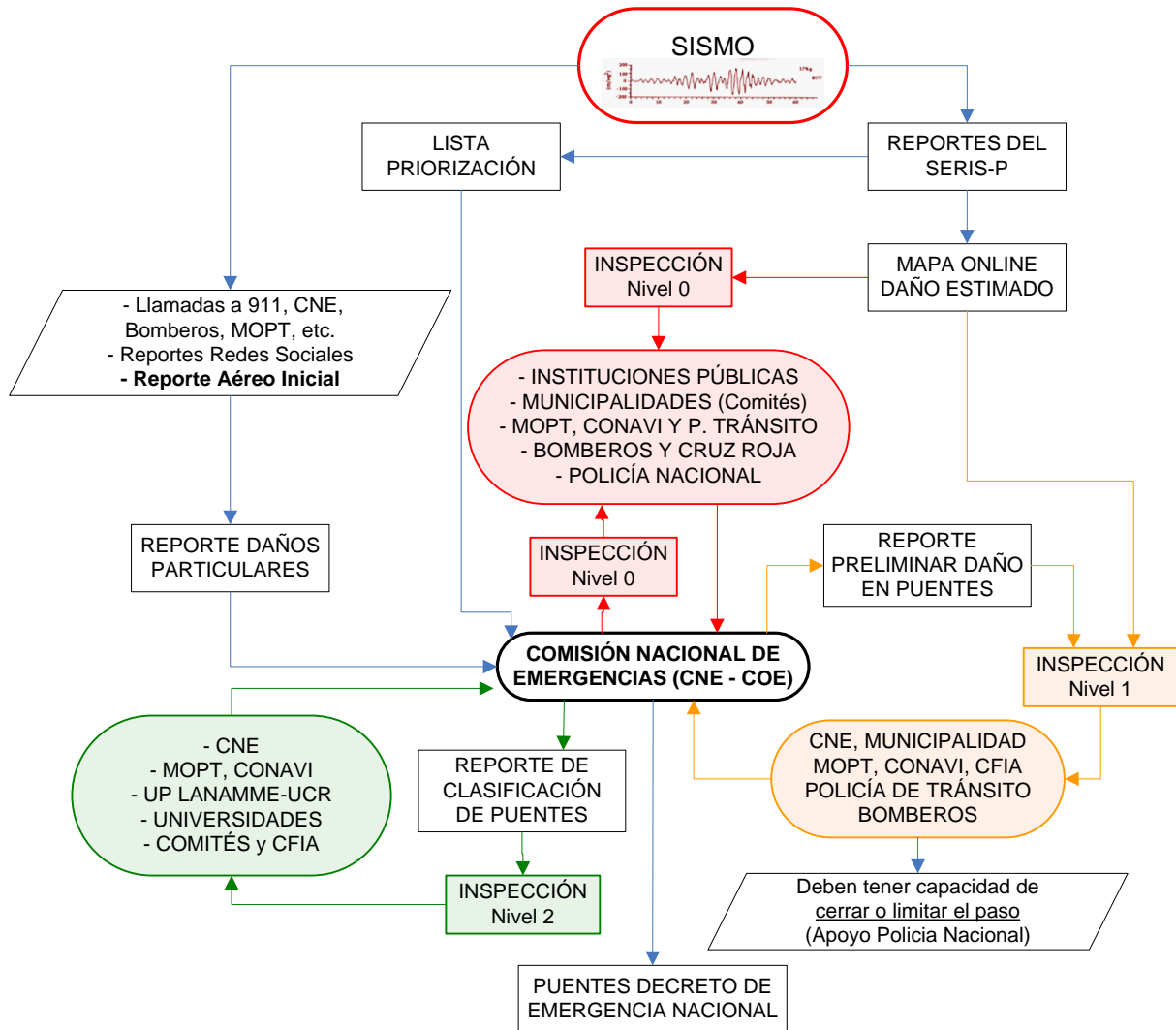


Figura 4.12. ESQUEMA DE FLUJO PROPUESTO DE LA INFORMACIÓN Y GENERACIÓN DE INFORMES

4.4 PRIORIZACIÓN DE INSPECCIÓN MEDIANTE EL SERIS-P

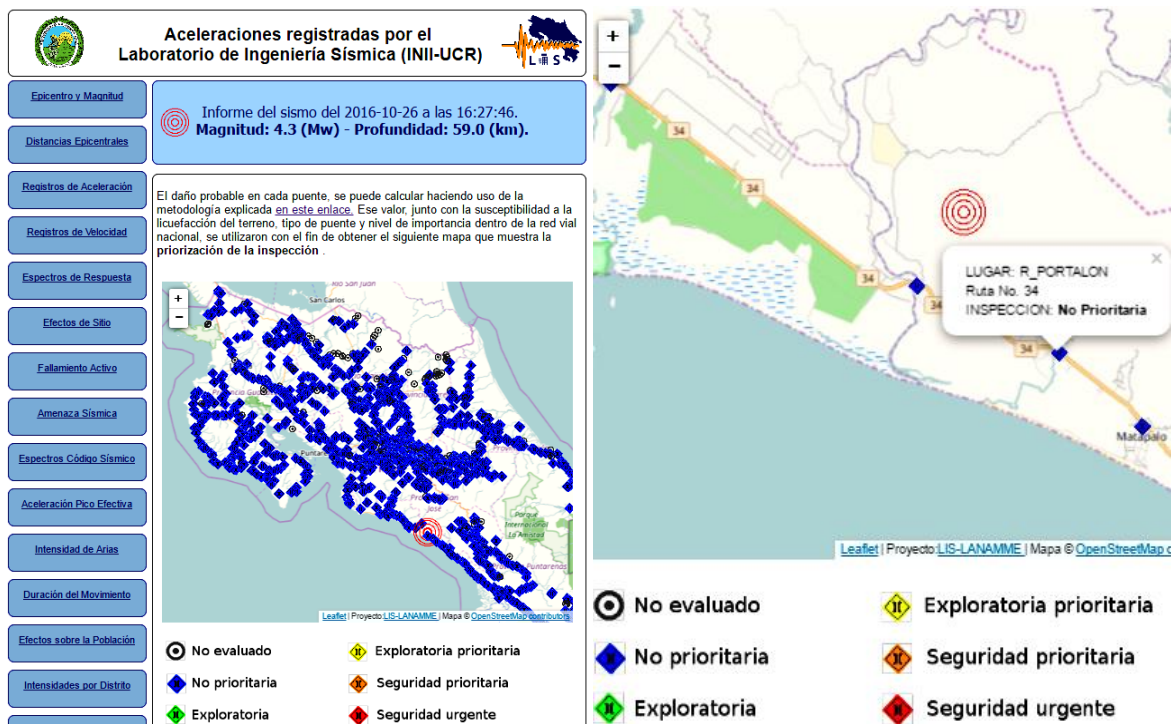
Luego de sismo mayor o igual a una magnitud de 5,5 Mw, se recomienda activar a nivel nacional el protocolo para inspección de puentes post-sismo propuesto. Como parte del protocolo, se incluye el modulo SERIS-P como una estimación previa del daño y una sugerencia de priorización de inspección para las autoridades vinculantes que permite visualizar de forma rápida las posibles afectaciones en puentes de la red del transporte. El SERIS-P, realiza las priorizaciones en función



de la [tabla 3.2](#) expuesta en el [capítulo 3](#). Este escenario permite destinar de forma rápida inspectores a sitios críticos según la ubicación del inspector a la hora de la emergencia.

El SERIS-P es un procedimiento automatizado programado y al día de hoy operacional gracias al aporte del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica. En la [figura 4.13](#) se muestra la pantalla donde se visualiza la propuesta de inspección generada de forma automática para un sismo de magnitud 4.3 M_w del pasado 26 de Octubre del 2016 (los cálculos se realizan para efectos de ejemplo en este caso, independientemente si esta magnitud es inferior a 5.5 M_w). El vínculo directo a la página web del LIS donde se puede consultar el tipo de inspección a realizar es el siguiente:

<http://www.puentes.lis.ucr.ac.cr/>



a) Visualización del mapa de inspección

b) Acercamiento a zona epicentral y selección de puente

Figura 4.13. VISUALIZACIÓN DEL SERIS-P EN EL SITIO WEB DEL LIS (INII-UCR)



CASO DE ESTUDIO: ESTIMACIÓN DE DAÑOS PARA EL SISMO DE SÁMARA DEL 2012

5.1 SISMO DE SÁMARA DEL 2012

La región guanacasteca de Costa Rica cuenta con una vasta evidencia documentada de sismos de magnitudes altas. Según Linkimer & Soto (2012), desde el siglo XIX hay registros de al menos 15 eventos que han provocado daños importantes (ver figuras 5.1 y 5.2). El último evento importante fue el terremoto de Sámara, ocurrido el 5 de setiembre del 2012. El sismo fue percibido en toda Costa Rica e inclusive en otros países de América Central. Su epicentro se muestra en la figura 5.3 según el servicio geológico de los Estados Unidos, USGS. El USGS reporta una magnitud de 7,6 Mw y una profundidad de 15 km al centroide de la zona de ruptura (USGS, 2012). Según RSN, se estima el sismo de una magnitud 7,6 Mw, con hipocentro entre los 9,4 - 18,9 km y mecanismo focal inverso puro (Linkimer & Soto, 2012).

Varias localidades se vieron afectadas por el sismo. Los cantones donde se reportan mayores daños fueron Nicoya, Santa Cruz y Nandayure (A. Vargas et al., 2012), los cuales se encuentran en la península de Nicoya. Según Vargas (2012), el Gobierno de Costa Rica estimó todos los daños en infraestructura y viviendas en ¢22360 millones de colones. Se reportaron además daños en construcciones de viviendas y edificios en los cantones de Puntarenas, Mata de Limón, Jacó, Grecia, Naranjo y Valverde Vega. En el Valle Central, en general, se reportaron principalmente caída de objetos y vidrios quebrados.

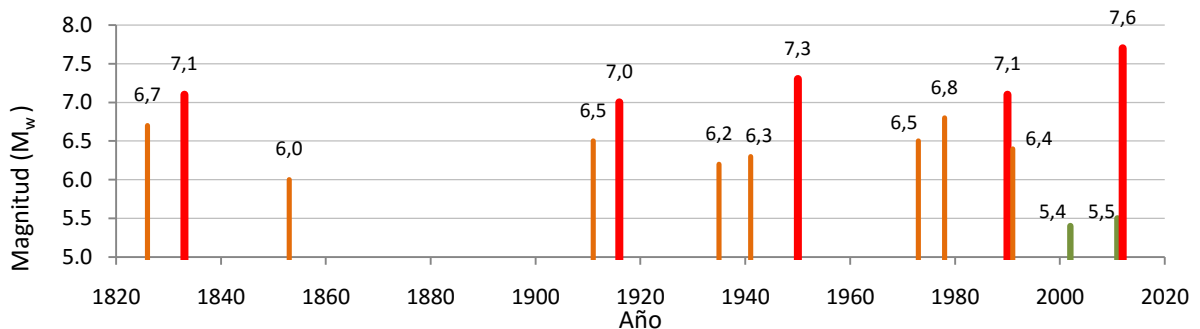


Figura 5.1. HISTÓRICO SÍSMICO EN LA REGIÓN GUANACASTECA (modificado de Linkimer & Soto (2012))

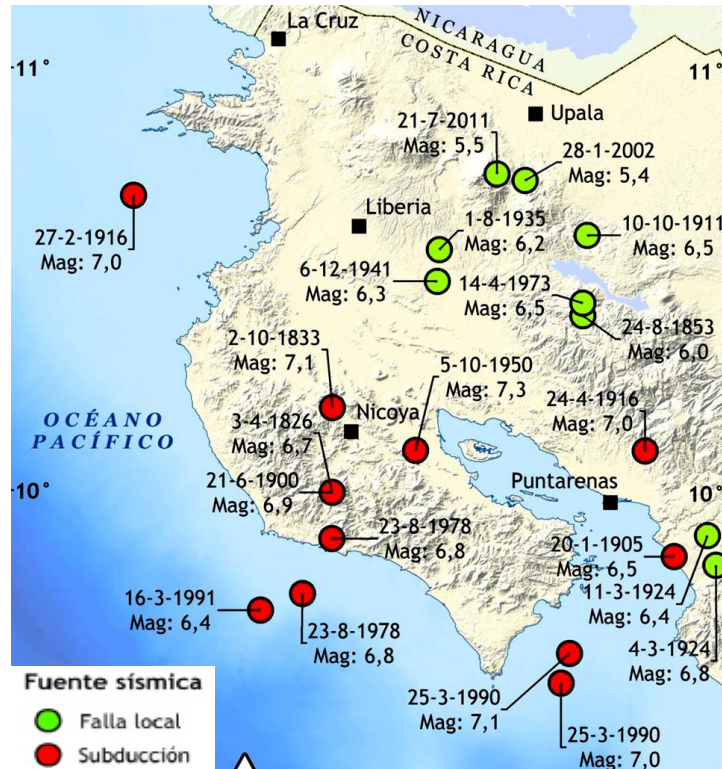


Figura 5.2. SIMICIDAD HISTÓRICA EN LA REGIÓN GUANACASTECA (Linkimer & Soto, 2012)

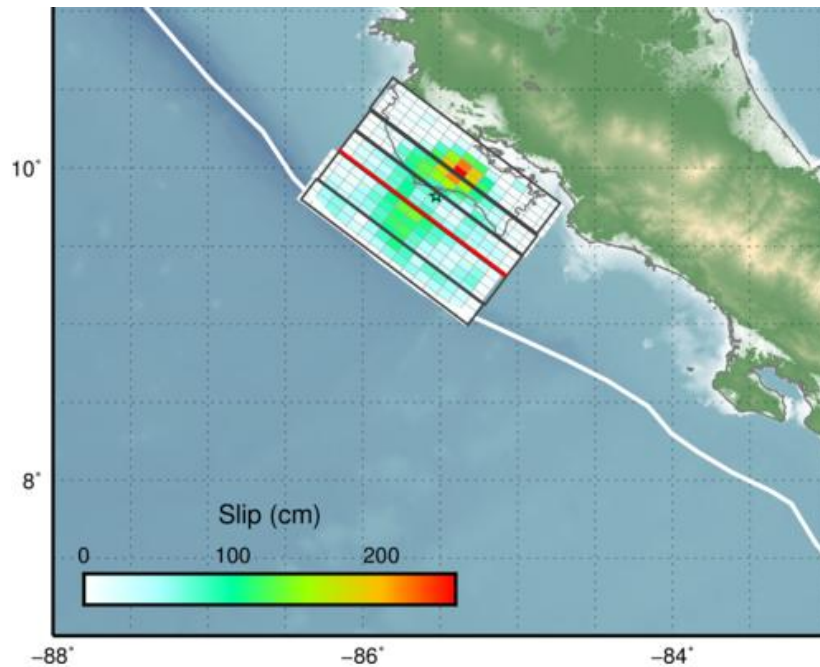


Figura 5.3. MODELO DE FALLA FINITA CON UBICACIÓN DE EPICENTRO (USGS, 2012)



La CNE informó que 15 carreteras nacionales, 38 puentes, 33 edificios de salud y 1990 viviendas fueron afectados por el sismo; además, 240 personas fueron evacuadas a albergues temporales (Reporte #9 (CNE, 2012b)). El Ministerio de Educación Pública (MEP) estimó el costo de los daños de 56 centros educativos afectados en $\$3000$ millones. Acueductos y Alcantarillados (AyA) reportó daños en 7 acueductos en las provincias de Guanacaste y Puntarenas, por lo que se abasteció a la población de agua potable mediante camiones cisternas. El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) reportó daños en 5 líneas de transmisión (Miravalles-Arenal, Garabito, Arenal-Lindora, Nuevo Colón-Papagayo y Santa Rita-Colorado) y 7 subestaciones (La Caja, San Miguel, Sabanilla, El Coco, El Este, Tarbaca, Heredia, Ciudad Quesada y Colima), aunque los servicios fueron restablecidos casi en su totalidad en las 24 horas posteriores al sismo; también se produjo una saturación del sistema de telefonía fija y celular debido a que se cuadruplicó el tráfico de llamadas (A. Vargas et al., 2012). La figura 5.4 muestra imágenes del daño en el hospital monseñor Sanabria de Puntarenas y la Iglesia de Naranjo.

El terremoto ocasionó cambios importantes en el litoral Pacífico Norte, donde se registraron levantamientos cosísmico en la línea de costa en playa Carrillo, Sámara y Buena Vista de 0,45 m, y en playa Pelada de 0,75 m. Además, también se observó asentamiento diferencial y licuefacción en sectores de Carrillo, Guiones, Nosara y Ostional (A. Vargas et al., 2012).

Este terremoto no ocasionó un tsunami, aunque en un principio el Sistema de Alerta Global de la Comisión Europea registró una alerta roja ya que se estimaban alturas de ola de hasta los 3,2 metros. Luego, con la actualización de los datos simuló una ola de 0,6 m y la alerta se tornó anaranjada. En las horas posteriores se canceló la alerta, con la revisión de mareógrafos en el Océano Pacífico y datos más actualizados (Zamora, 2012).



Figura 5.4. DAÑOS EN FACHADA DEL HOSPITAL MONSEÑOR SANABRIA Y COLUMNAS DE LA IGLESIA DE NARANJO (LIS, 2015)

5.2 REPORTES DE DAÑO EN PUENTES

La información disponible sobre las estructuras de puentes dañadas luego del sismo de Sámara del 2012 se limita a los reportes de daño de la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica, CNE (de los cuales, el más amplio sobre el tema es el Reporte #9 (CNE, 2012b)), el decreto de emergencia publicado por la misma CNE (CNE, 2012a) y los reportes de los distintos medios de comunicación que dieron cobertura al evento. No se encontró información de la existencia de un estudio riguroso sobre el daño en puentes luego del sismo de Sámara del 2012.

En el país no existe actualmente un criterio normalizado para la inspección y evaluación de los puentes luego de un sismo. La información reportada en los documentos, incluidos en los informes de daño de la CNE, presentan datos provenientes principalmente de personal posiblemente no lo suficientemente calificado para realizar inspecciones de puentes como lo son los comités de emergencia locales, personal técnico de los municipios e inclusive reportes de particulares. Esto resulta en informes e información ambigua, que incluye daños con causas distintas al sismo, como el reporte de socavación en bastiones, y términos para describir el tipo de afectación como: *puente dañado*, *puente falseado*, *puente afectado*, *puente en mal estado* y *puente con fisuras*, que fueron encontradas en reportes de daño de la CNE como única descripción del tipo de afectación. Por otra parte, para la formulación del decreto de emergencia se utilizaron entre otras las siguientes descripciones para estimar el daño y el monto de las pérdidas: *daños estructurales*, *muy afectada integridad debido al sismo*, *puente con daño severo* y *puente colapsado* (aún cuando el puente aún estaba en pie y utilizándose luego de la emergencia).

Tomando en cuenta los aspectos comentados anteriormente, puntualmente se pueden obtener las siguientes observaciones sobre la información existente para describir el daño en puentes luego del sismo de Sámara del 2012:

- Existen dificultades para ubicar la estructura del puente durante la emergencia, esto es evidente en los reportes de emergencia de la CNE. Muchas de las direcciones se dan en función de poblados vecinos o nombre del río (pueden existir varios puentes para el mismo río y los nombres no siempre concuerdan con el nombre oficial).
- Se utilizan términos ambiguos que no dan una idea clara de la condición del puente para su uso inmediato, su grado de daño y la estimación de pérdidas económicas.
- Existe un desconocimiento, por parte de los evaluadores de los puentes, de aspectos importantes como la definición de los distintos elementos de los que está compuesto un puente o aspectos básicos de patología estructural.



- Se confunden como daños atribuidos al terremoto, daños ocurridos por causas distintas, como eventos naturales pasados (ej.: crecidas del río), o la mala condición de mantenimiento de los puentes.
- No se observa un criterio uniforme por parte de los evaluadores, siendo muy variadas las descripciones entre un cantón y otro.
- No se tiene lo suficientemente claro por parte de los evaluadores aspectos como la severidad o extensión de un daño como para brindar descripciones adecuadas y útiles para la toma de decisiones. Esto aplica inclusive a descripciones aparentemente evidentes como *puente colapsado* donde también se han encontrado incongruencias.
- Según la información analizada, esta tiende a sobreestimar los efectos del sismo sobre la estructura.
- La informalidad de un plan de inspección post-sismo en puentes hace que exista la posibilidad que puentes con daños leves, moderados o sin daño aparente, no sean inspeccionados y por lo tanto su condición no sea tomada en consideración.

Debido a las limitaciones, incongruencias, inexactitudes y ambigüedad de la información de daño existente para los puentes luego del sismo de Sámara del 2012, se decidió realizar una evaluación propia del daño haciendo uso de los parámetros descritos en el [capítulo 2](#). Debido a la extensión de los daños del sismo, que abarcó la totalidad del territorio nacional, se decidió para este estudio limitar el campo de acción a la península Nicoya, partiendo al norte en el golfo de Papagayo y siguiendo la margen derecha del río Tempisque hasta llegar al golfo de Nicoya. Se decidió analizar esta zona específica de trabajo debido a su proximidad con el epicentro del sismo (radio aproximado de 80 km desde el epicentro) y en base a los informes proporcionados por la Comisión Nacional de Emergencias. Es importante mencionar que también fueron observados daños importantes en la ruta nacional número 23 y 34, el colapso del puente sobre el río Sucio en la ruta 507 (200 km del epicentro) y daños en varios puentes reportados en los poblados de San Ramón, Palmares y Naranjo de Alajuela ubicados a aproximadamente 120 km del epicentro.

En esta área de trabajo se identificaron un total de 149 unidades de puentes en inventario de la red vial nacional (ver [anexo F](#)), donde no está incluido el puente La Amistad (puente sobre el río Tempisque ruta N^o. 18) debido a que es considerado una estructura especial para la población de puentes en Costa Rica por ser el único puente atirantado del país, así como el de mayor longitud total y valor económico. La ubicación de las estructuras analizadas se muestra en la [figura 5.5](#). De los 149 puentes, para 86 estructuras fue posible realizar una evaluación del daño actual basados en los informes de descripción de daño del Sistema de Administración de Estructuras de Puentes SAEP ([MOPT & JICA, 2007](#)) y dos giras de reconocimiento que se efectuaron en la zona. De los

datos no incluidos, 2 corresponden a puentes nuevos construidos luego del sismo y uno es una estructura sin clasificación estructural debido a que corresponde a una construcción informal sin diseño (construido con un chasis de soporte para transporte de contenedores). Es trascendente señalar que la mayoría de los puentes están ubicados en rutas secundarias y terciarias, por lo que muchos son puentes cortos y con importancia Esencial o Convencional.

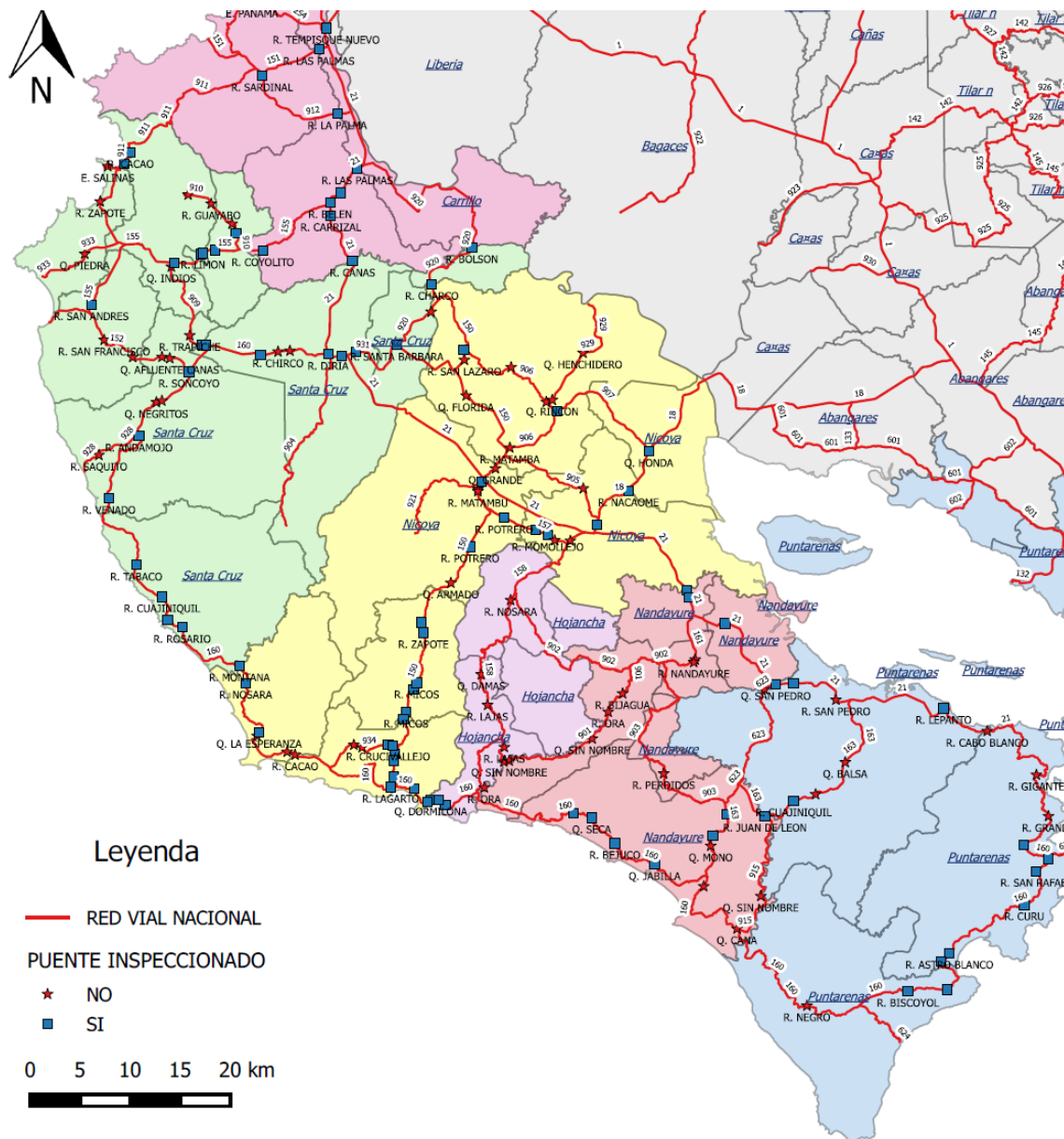





Figura 5.5. PUENTES EN LA PENÍNSULA DE NICOYA CON O SIN INSPECCIÓN RECIENTE DE CAMPO



Para los 86 puentes evaluados se encontró daño producto de sismo en 32 estructuras. Se incluyen algunos casos de puentes que por su edad no está claro si el daño corresponde específicamente a este evento. Ejemplo de esto es el puente sobre el río Potrero en la ruta 157, construido en 1936, y que por su edad ha experimentado varios sismos significativos, incluidos 2 con magnitudes superiores a 7 grados (ver [figura 5.1](#)).

El nombre de los puentes sobre los que se encontró daño, así como los tipos de daños observados sobre la estructura se muestra en la [tabla 5.1](#). En la tabla se muestran en particular 10 tipos de daño observados sobre distintos elementos del puente, indicando también el grado de daño. Los daños más frecuentes fueron afectaciones de leves a moderados producto del movimiento lateral de la superestructura, cuyas consecuencias fueron evidenciadas con daño en los sistemas de apoyos y desprendimiento del concreto en los pedestales de los apoyos. Es importante destacar que elementos como los pilotes de cimentación solo fueron inspeccionados cuando el puente presentaba socavación. Para cada uno de los puentes descritos en la [tabla 5.1](#) se tiene una ficha en detalle sobre el puente con fotografías del daño encontrado como se observa en la [figura 5.6](#), en caso de daño en pilotes se indica además si estos podrían estar vinculados al fenómeno de licuefacción de suelos. Las 32 fichas se encuentran en el [anexo G](#).

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados			
Aspectos Generales Nombre o/y Código: R. TEMPISQUE NUEVO Tipo de ruta: <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Carrillo, Palmira Importancia (LDSP 2013): <input checked="" type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal Tipo Superestructura: 310 Tipo pila: - Numero de Tramos: 1 TPD: 12900 Inspector/es: Del SAEP Fecha de Inspección: Febrero, 2014		Foto Vista General o Rotulo Coordenada (X,Lat): 10,561883 Coordenada (Y,Long): -85,59077  Observaciones Generales: Puente largo con longitud de asiento evidentemente insuficiente según la FHWA	
Resumen de los daños observados*			
Superestructura:	Desprendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: __	Daño elem. Secundario <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 1	3 cm < Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: __
Apoyos:	Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 1	Anclajes dañados <input type="checkbox"/> Grado: __	Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 1
Bastiones/Pilas:	Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: __	Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: __ <input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: __	
Rellenos y Muros:	Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: __	Asentamiento mayor a 15 cm <input type="checkbox"/> Grado: __	
  			FOTO DAÑO

*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Figura 5.6. FICHA DE DAÑO POR SISMO EN PUENTES UTILIZADA EN ESTE ESTUDIO



Tabla 5.1. DAÑO POR SISMO ENCONTRADO PARA ESTRUCTURAS DE PUENTES ANALIZADAS

Ruta	Nombre Puente	Tipo de Daño por Elemento										
		Superestructura			Apoyos			Subestructura		Relleno/Muro		
		Desprendimientos en losa o viga	Daño elemento Secundario	Aberturas o Movimiento lateral > 3cm	Movimiento de apoyo o superestructura mayor 3 cm	Ancilajes dañados	Apoyos	Descascaramiento o agrietamiento pedestal	Asentamiento o rotación mayor a 5,0 cm	Daño en Pilotes	Daños en aletones o muros	Asentamiento mayor a 15 cm en relleno
18	Q. Honda*						0					
21	R. Tempisque Nuevo*		1		1		1					
21	R. Belén			1				1				
21	R. Carrizal							0 ^t				
21	R. Canas*			1								
21	R. Diria	2		1								
21	R. Nandayure	1		2								
21	Q. San Pedro			1	1	2						
150	R. Micos			1				0				
155	R. Coyolito			1								
155	R. Barba de Viejo			1								
155	R. Limón			1								
155	R. San Andrés					1						
157	R. potrero							2				
160	R. Pánico			1								
160	R. Bejuco			1								
160	E. Carrillo	3	2									
160	E. Carrillo 2								1			1
160	Q. Dormilona											2 ^w
160	E. Sangrado							1	2			
160	R. Montaña											1
160	R. Tabaco										2	
160	R. Venado*					1						
160	R. Andamojo*					1						
160	R. Soncoyo					1	2					
163	R. Juan de León			1				1				
909	R. Canas									1		
912	R. La Palma*							1		2		
912	R. Sardinal*					1						
920	R. Charco											2 ^w
934	R. Terciopelo							0				
934	R. Crucivallejo							0			1	
# de Incidencias por Daño:		3	2	12	3	7	10	1	4	2	4	

* Inspección SAEP, ^t Grado de daño: 0 = Daño muy leve (considerada sin daño), 1: Leve, 2: Moderado, 3; Severo ^w Según decreto CNE



En las fichas como la mostrada en la [figura 5.6](#) no se incluyeron muchos de los tipos de daños por sismo en puentes, ya que en esta ficha se incluyen solamente los daños observados. En la lista de puentes mostrada en la [tabla 5.1](#) se incluyen solamente 5 de los puentes mencionados en el decreto de emergencia nacional (CNE, 2012a), básicamente en su mayoría aquellas estructuras que presentaron daños moderados o problemas en sus rellenos de aproximación según reportes del mismo CNE (específicamente Q. Dormilona y R. Charco). De los 54 puentes dañados mencionados en el decreto, 30 se encuentran en el área de estudio pero en su mayoría son puentes municipales que no son evaluados en este estudio (22 unidades entre puentes peatonales y vehiculares). Dos puentes en la red vial nacional no fueron aún inspeccionados (R. Grande RN 160 y R. Nandayure RN 902) y uno mencionado en la ruta 160 no pudo ser identificado. La ubicación de las estructuras con daño identificadas en la [tabla 5.1](#) se muestra en la [figura 5.7](#).

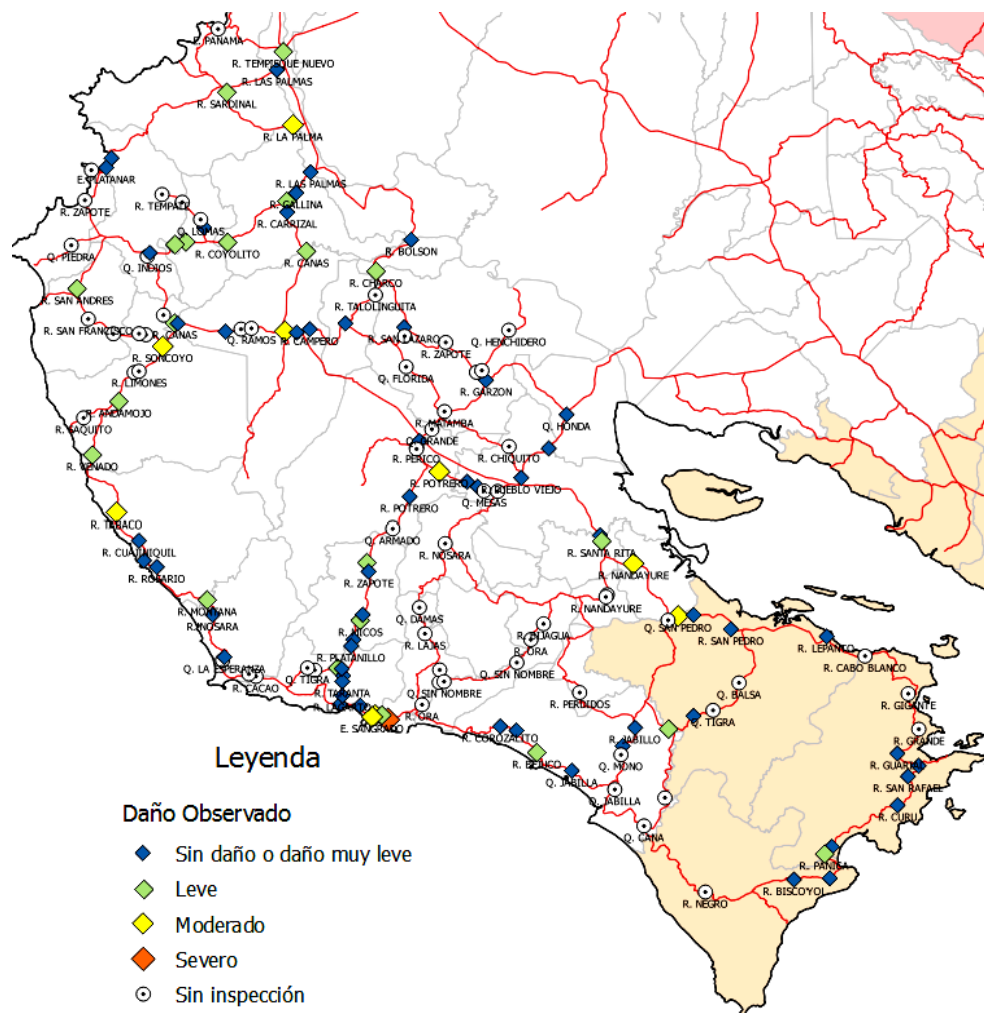


Figura 5.7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE PUENTES CON ALGÚN DAÑO OBSERVADO

5.3 RESULTADOS DE DAÑO ESPERADO Y CORRELACIÓN CON EL DAÑO OBSERVADO

Como parte de este estudio, se realizó la simulación del daño por sismo siguiendo el procedimiento del SERIS-P para el sismo de Sámara del 2012. Para ello se utilizaron los registros y mapas interpolados (ver [figura 5.8](#)) y los resultados en términos de los mapas interactivos de distribución de daño, que fueron generados y suministrados por el personal del LIS.

Realizar algún tipo de validación al procedimiento propuesto da confianza a los futuros usuarios y soporte al método propuesto, por lo que, en la medida de lo posible, es una actividad deseable a efectuar en todo estudio. Además, ayuda a comprender las limitaciones y provee información útil para el mejoramiento de las estimaciones. Para el caso específico de este proyecto, encontrar un escenario simulado y evaluarlo respecto el daño encontrado en campo es importante como un paso necesario para la validación de las hipótesis, de los supuestos utilizados para los cálculos y de la calidad de la información de exposición con la que se cuenta. Este mecanismo corrobora qué tan efectiva fue la técnica al predecir o no el daño, la correlación entre los estados de daño y la precisión en las estimaciones de los niveles de daño. Es importante señalar que, desde el punto de vista de realizar inspecciones luego de un sismo, una sobreestimación de puentes dañados es preferible a la no predicción o subestimación de daño en estructuras.

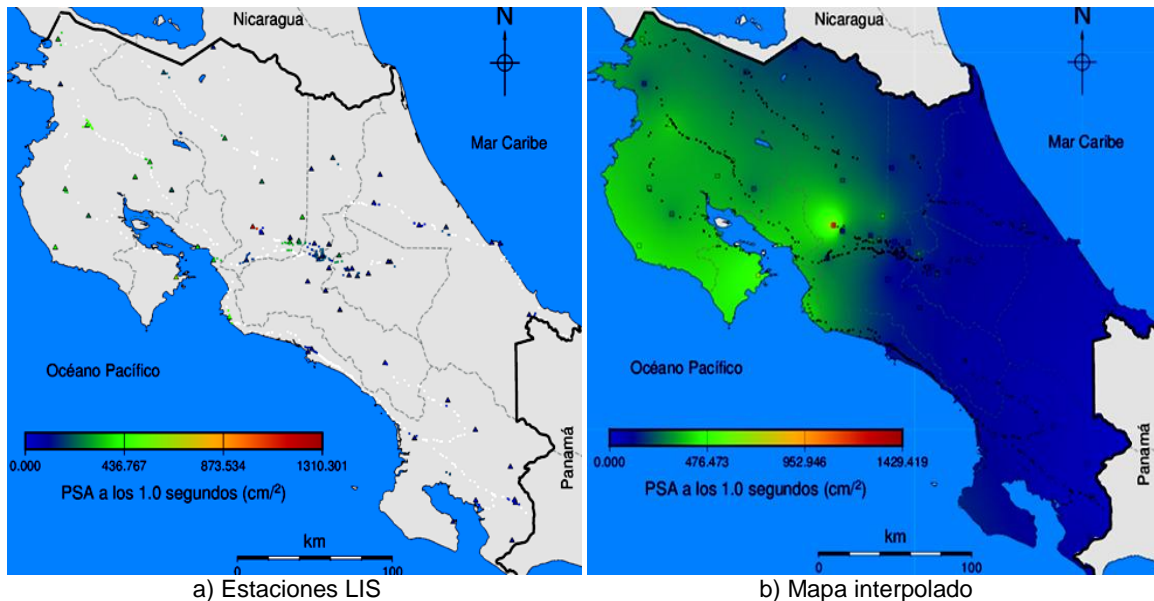


Figura 5.8. VALORES DE ACELERACIÓN ESPECTRAL ($T=1$) OBTENIDAS PARA EL SISMO DE SÁMARA DEL 2012. a) INTENSIDAD SEGÚN LAS ESTACIONES Y b) MAPA INTERPOLADO DE ACELERACIÓN ESPECTRAL (elaborado por el LIS-INII)



Las tres razones principales por los cuales se realiza este ejercicio se resumen a continuación:

- Muestra la extensión del daño a nivel nacional de un sismo mayor, evidenciando además que las características de exposición y vulnerabilidad de las estructuras son de importancia, inclusive para obras que se encuentren alejadas del epicentro del sismo.
- Se puede evaluar la correlación entre los daños encontrados en el [apartado 5.2](#) con los daños estimados a través del procedimiento SERIS-P para la región específica de la península de Nicoya, donde se realizó una campaña de levantamiento y recopilación de información de daño.
- Muestra el uso del SERIS-P como una herramienta útil para estimar escenarios de impacto y necesidad de implementación de recurso humano y económico, relacionados a la inspección de estructuras de puentes para sismos sintéticamente simulados para cualquier ubicación y magnitud.

Estas razones anteriores son claves para el entendimiento y aceptación de la propuesta del protocolo de atención de puentes descrito en este informe. Por un lado, se evidencia que el escenario de daño para puentes en Costa Rica luego de un sismo fuerte presenta la necesidad de atender estructuras en prácticamente todo el territorio nacional, aspecto que en la práctica es bien conocido por las autoridades nacionales, pero que, pocas veces se ha sido evidenciado o descrito por estudios de riesgo sísmico a escala nacional.

Un objetivo adicional que permite un procedimiento similar al del SERIS-P es la evaluación de un escenario sísmico cualquiera, mostrando la necesidad de inspección y el de daño estimado en puentes de la red vial nacional a lo largo del territorio nacional. Esto es de utilidad desde el punto de vista de la planificación y el manejo de la emergencia para, por ejemplo, sismos históricamente recurrentes o sismos generados sintéticamente. El aspecto de mayor peso en este tipo de evaluación es la estimación de la intensidad sísmica que experimente la estructura desde el punto de vista de las fuentes y el tipo de suelo donde está ubicada la estructura.

Utilizando el mapa mostrado en la [figura 5.8b](#), se puede estimar la aceleración espectral para cada punto de ubicación de las estructuras de puentes, insumo necesario para calcular las probabilidades para cada estado de daño. Este mapa se genera por parte del LIS mediante la interpolación directa de aceleración espectral entre todas las estaciones. Esto conlleva a una serie de limitaciones evidentes relacionadas con la interpolación, los registros y la ubicación de las estaciones como, por ejemplo:

- Imposibilidad de estimación de aceleraciones altas en caso de no contar con suficientes estaciones cercanas a la zona de ruptura del evento. Inclusive para el caso de contar con



- una o dos estaciones, los valores altos de aceleración podrían atenuarse rápidamente por la influencia de las otras estaciones en la interpolación. Además, es recomendable que valores muy altos de aceleración sean sujetos a control cruzado entre estaciones para descartar un posible desperfecto en el equipo a la hora de registrar la señal.
- Para estaciones vecinas al área epicentral y para sismos mayores con zonas de ruptura extensas, la señal podría saturarse gracias al arribo simultáneo de ondas provenientes de distintos puntos de ruptura, dificultando la interpretación de los parámetros suministrados por el registro.
 - Para las estimaciones de intensidad no se toman en cuenta las características detalladas de terreno, tanto para donde está ubicada la estación como en donde se ubica el puente. Esto puede llevar a sobrestimaciones de daño en caso de que por ubicación, la estación experimente efectos de sitio (por ejemplo, el señalado en la [figura 5.9](#)), y no sean representativos para la estructura que pudiera estar cimentada sobre otro tipo de terreno o cimentación profunda. De igual manera, el caso contrario aplica. Es por ello que es recomendable densificar la red buscando ubicaciones que mejoren, por proximidad y tipo de suelos, las estimaciones de intensidad. Se debe buscar inclusive para puentes muy importantes colocar estaciones cerca de sus bastiones.
 - Uso de interpolaciones lineales entre estaciones. Esto podría ser de particular impacto en zonas con pocas estaciones.

Algunos de es estos aspectos pueden evidenciarse graficando la relación entre la distancia y la aceleración espectral registrada, para $T=1$ segundo, para cada sitio de ubicación de los puentes; esto está representado en los gráficos de la [figura 5.9](#). En los gráficos se presentan los datos comparados con curvas de atenuación típicas que han sido utilizadas en Costa Rica para caracterizar la amenaza sísmica en sismos de subducción (estudio RESIS II ([Climent, Rojas, Alvarado, & Benito, 2008](#))). Estas curvas son útiles para analizar si los datos registrados se encuentran dentro de los márgenes esperados para esta magnitud de evento. Para elaborar las curvas de Zhao et al.([2006](#)) y Youngs, Chiou, Silva, & Humphrey ([1997](#)), se utilizó una magnitud momento de 7,6 M_w y una profundidad de 15 km (datos de USGS ([2012](#))). Se presentan las curvas con sus valores medios (línea continua) y desviaciones estándar (línea segmentada).

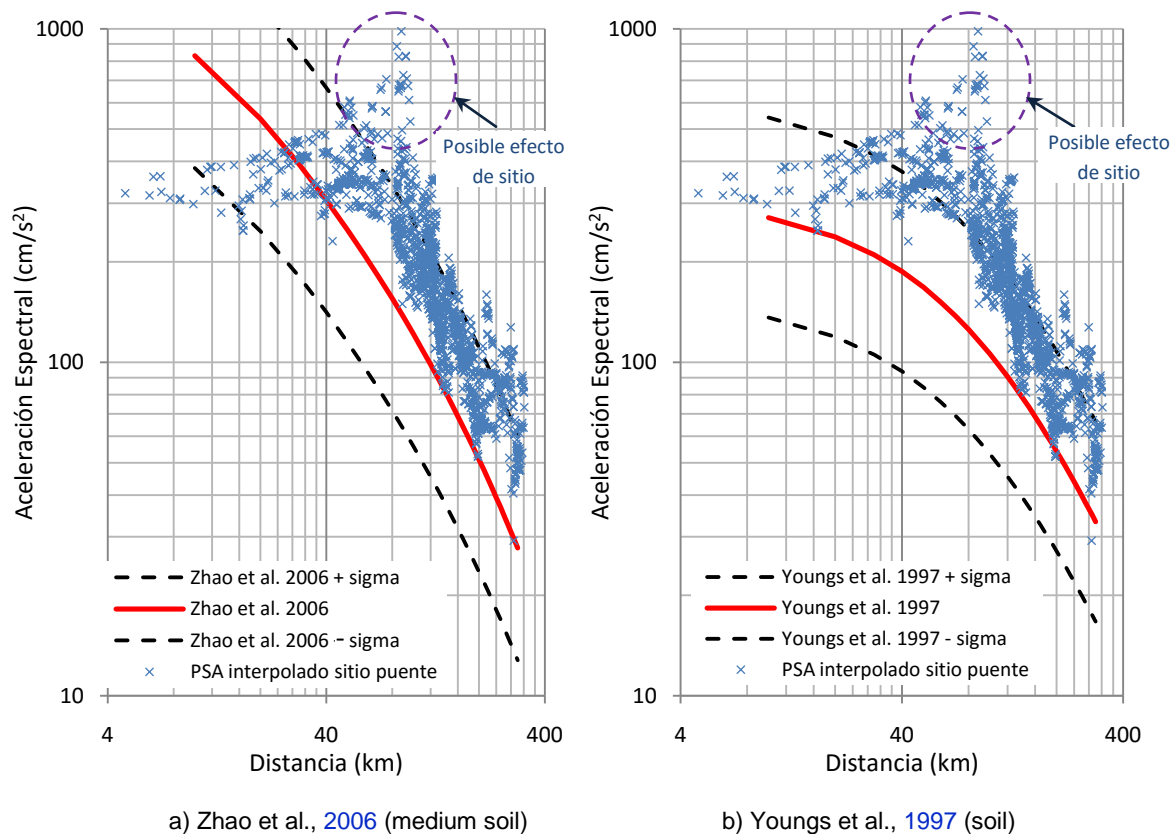


Figura 5.9. RELACIÓN ENTRE CURVAS DE ATENUACIÓN TÍPICAS PARA ZONAS DE SUBDUCCIÓN PROPUESTAS POR EL ESTUDIO RESIS II (Climent et al., 2008) Y LOS VALORES DE ACELERACIÓN ESPECTRAL (T=1) OBTENIDOS POR INTERPOLACIÓN PARA CADA SITIO DE PUENTE

De la evaluación comparativa entre los valores esperados de aceleración espectral según las curvas de atenuación y los resultados de las interpolaciones, se identifican varios aspectos relacionados posiblemente a algunas de las limitaciones mencionadas anteriormente. Por ejemplo, se destacan las siguientes:

- Los datos tienen a ajustar con en el límite superior (media + desviación estándar) para ambas funciones de atenuación evaluadas, en particular luego de los 40 km.
- Se observan valores bajos de aceleraciones en los sitios próximos a la zona de ruptura, esto podría deberse a la poca densidad de estaciones en la zona y su lejanía, al error en definir la distancia respecto a un punto epicentral cuando en realidad es un área de ruptura, y/o a la ubicación de las estaciones sobre roca o suelos rígidos. Esto podría llevar a una subestimación del daño predicho.
- Aceleraciones altas podrían deberse a efectos de sitio como por ejemplo los encontrados para las estaciones en el entorno a San Ramón de Alajuela; esto se evidenció con daño

importante en iglesias, viviendas y puentes en la zona de Grecia, San Ramón y Palmares. En particular los efectos de sitio podrían llevar a una sobrestimación de los daños en las estructuras, ya que muchos puentes están convenientemente ubicados sobre suelos competentes o lechos rocosos se que forman los sitios donde el cañón del cauce del río es más estrecho; en tanto, muchas de las estaciones están ubicadas en los centros de población ubicados mayoritariamente en sitios planos como mesetas, valles o planicies.

Estos aspectos, relativos a una estimación de la aceleración adecuada para cada sitio de puente, son fundamentales para una predicción efectiva del daño en las estructuras y es un aspecto donde deben profundizarse esfuerzos; en particular, en lo que concierne a la densificación de la red y la caracterización de los tipos de suelos en los sitios donde están ubicados puentes y estaciones.

La intensidad se relaciona con los estados de daño estimados para la simulación del sismo de Sámara del 2012 según lo mostrado en la [figura 5.10](#). Estos resultados incluyen 1310 estructuras de puentes en todo el país, donde se exceptúan algunas estructuras del total del inventario nacional por dificultades de identificación estructural que volvió complicada su clasificación dentro de algún grupo de vulnerabilidad.

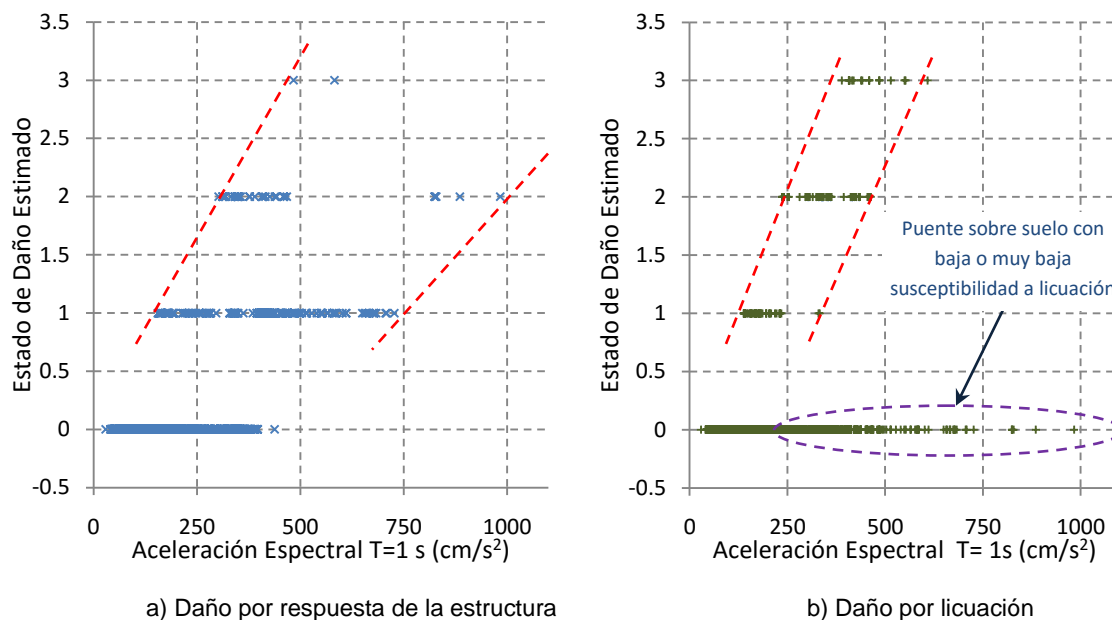


Figura 5.10. RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE DAÑO ESTIMADO OBTENIDO Y LA ACELERACIÓN ESPECTRAL ($T=1$)



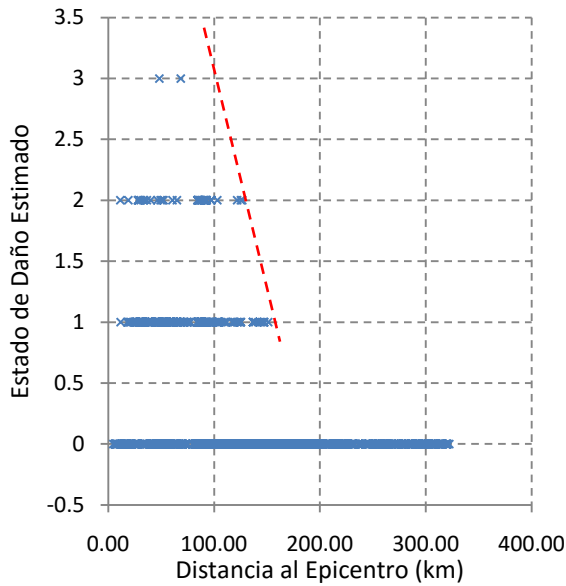
En la [figura 5.10](#) se muestra de forma clara una relación incremental esperada entre el daño y la medida de intensidad, en donde los daños empiezan a evidenciarse a partir de aceleraciones de 0,125g para niveles de daño leve tanto por efecto de licuación como por respuesta para las estructuras más vulnerables. En la figura es evidente una diferencia significativa entre los posibles efectos en las estructuras de fenómenos distintos, en donde la respuesta estructural está más influenciada por las características de vulnerabilidad de la estructura y por ende conlleva una mayor dispersión en los rangos de aceleraciones para cada estado de daño; por ejemplo, siempre es esperado algún nivel de daño luego de aceleraciones superiores a 0,4g.

Por otra parte, para puentes ubicados en suelos muy poco susceptibles a licuación o sobre roca no son esperables daños relacionados a este fenómeno, inclusive para aceleraciones altas. Para un nivel de aceleraciones altas son posibles otras problemáticas geotécnicas o hidráulicas sobre las estructuras que no se incluyen en este estudio como la inestabilidad global de la fundación, incrementos de presión lateral del terreno y deslizamientos aguas arriba en la cuenca del puente que podrían generar flujos de detritos que podrían afectar los puentes, como sucedió en el sismo de Cinchona de 2009.

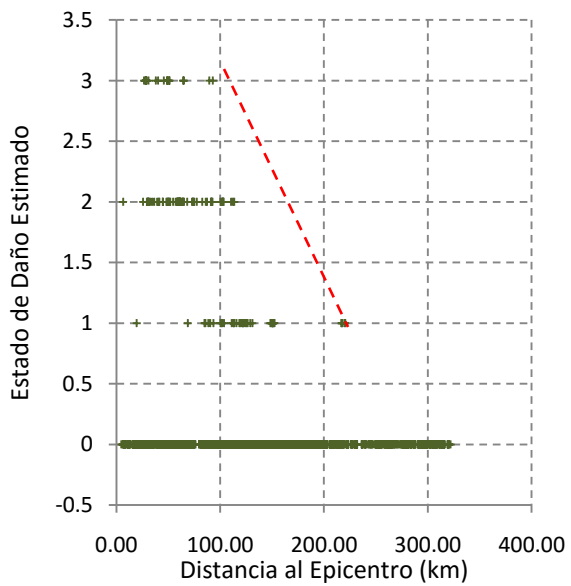
También se puede observar en la [figura 5.11](#) la influencia de la distancia sobre los grados de daño calculados, en donde la proximidad a la ruptura no necesariamente es un factor que ocasione daño. Esto se evidencia en ambos gráficos de la [figura 5.11](#) y concuerda también con el daño observado para la península de Nicoya mostrado posteriormente en la [figura 5.13](#). Lo que es claro en la figura es que con el aumento progresivo de la distancia epicentral la posibilidad de estados de daño como completo o severo (grado 4 o 3) se reduce.

Para el caso específico de la península de Nicoya, los resultados de la simulación de daño estimado se muestran en la [figura 5.12](#). Aquí se separa por daños estimados debido a la respuesta al sismo y por licuación de suelos. Inspeccionando los resultados de esta figura, es evidente que el daño responde a múltiples variables y por ende su distribución es poco uniforme en la península, en donde puentes que están uno al lado de otro podría presentar grados de daño distintos.

Los resultados de esta simulación se comparan con los resultados del [apartado 5.2](#) tanto en términos de correlación entre los estados de daño observado y estimado, como el simple hecho de que se detectara algún grado de daño o no. La simple detección o no del daño es importante ya que influye en la decisión de inspección de las estructuras, especialmente aquellas alejadas de las zonas con mayor impacto del sismo. Adicionalmente a la estimación o no del daño, es de especial interés el poder predecir para cuales estructuras son esperados daños moderados, severos o completos debido a la peligrosidad relacionada a estos estados de daño.

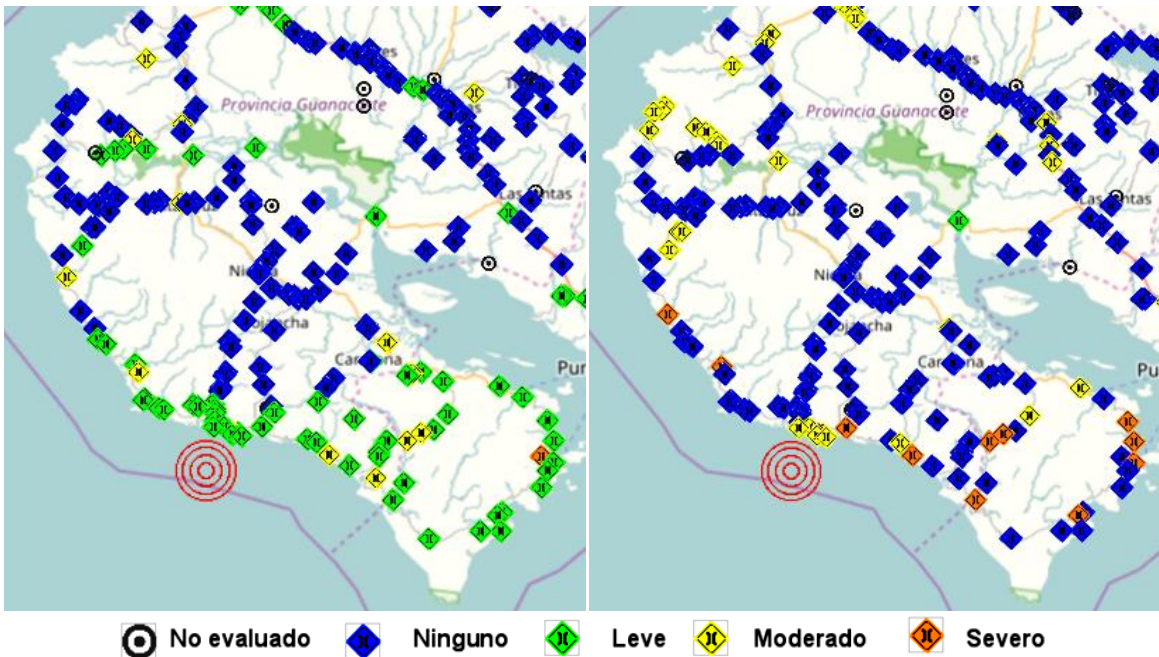


a) Daño por respuesta de la estructura



b) Daño por Licuación

Figura 5.11. RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE DAÑO ESTIMADO OBTENIDO Y LA DISTANCIA EPICENTRAL



a) Daño por respuesta de la estructura

b) Daño por licuación

Figura 5.12. DETALLE DEL DAÑO ESTIMADO PARA LA PENÍNSULA DE NICOYA LUEGO DEL SISMO DE SÁMARA, 2012 (elaborado por el LIS-INII).



Tabla 5.2. RELACIÓN DE “NO DAÑO” vs “DAÑO” ENTRE LOS DATOS OBTENIDOS Y LOS ESTIMADOS PARA 86 PUENTES EVALUADOS EN LA PENÍNSULA DE NICOYA

Valor Observado		Valor Estimado (sin licuación)				Valor Estimado (con licuación)			
		Todos los grados		Sin daño Leve		Todos los grados		Sin daño Leve	
		No daño	Daño	No daño	Daño	No daño	Daño	No daño	Daño
No daño		27	28	65	10	23	32	51	24
Daño		11	20	5	6	9	22	4	7

La efectividad del método para la detección de daño y no daño para todos los grados de daño y para el caso de excluir el grado de daño leve se muestra en la [tabla 5.2](#). En la tabla se muestran los resultados para el caso con y sin tomar en cuenta licuación. El fenómeno de licuación se estima pudo afectar en total 23 estructuras; en donde, para 16 de ellas ya se había estimado algún grado de daño. Al tomar en cuenta el efecto de la licuación de suelos se mejora la estimación de los puentes que presentaron daño observado, pasando de 20 a 22 predicciones acertadas; de un 64% a un 71% de efectividad. Sin embargo, al incluir el potencial de licuación de suelos como causa de daño, se da también un aumento en la sobrestimación del daño respecto a los valores observados, pasando de una efectividad de la predicción del no daño del 49% al 42%. En todo caso, como se menciona anteriormente, es preferible para planificar labores de inspección sobrestimar daño antes que subestimarlo. También se observa una mejoría tomando en cuenta licuación para el caso donde solamente se toman en cuenta daños observados mayores a grado 1, pasando de una eficacia de predicción acertada de puentes dañados del 54% al 64%. El efecto negativo se da, al igual que en el caso anterior, con una sobrestimación del daño donde la efectividad del no daño se reduce de un 87% a un 68%. Esto se debió a que muchas estructuras experimentaron, según el mapa de intensidad sísmica, condiciones de aceleración espectrales mayores a 0,49g, por lo que se esperaba daño severo según lo explicado en la [tabla 2.23](#). Es notable también que cuando se incluye la licuación, se reduce la certeza sobre encontrar daño relevante al realizar una inspección, pasando de 6/16 a 7/31. Esto en la práctica indica que es necesario inspeccionar casi el doble de puentes para mejorar en poco la capacidad de identificar estructuras con daño importante.

Aparte del análisis de la condición de daño vs no daño, es interesante evaluar el efecto de la aceleración y la distancia al epicentro sobre los estados de daño estimados y observados. Esto se muestra en la [figura 5.13](#) para la condición donde se toma en cuenta el efecto de licuación de suelos. De la [figura 5.13](#), no es evidente un efecto marcado de la variables distancia epicentral y las aceleraciones espectrales en los estados de daño observados y estimados en las estructuras. La sobrestimación del daño, evidente en la [figura 5.13](#), se podría deber a una sobre valoración de los datos de aceleración espectral experimentadas por los puentes, en especial en la región de



Paquera, donde se estimaron fuertes aceleraciones espectrales que no corresponden con los bajos niveles de daño en puentes encontrados en la zona. En la figura, los puntos en donde los símbolos de daño estimado y observados coinciden, corresponden a los eventos con predicción precisa de los estados de daño.

La correlación en los distintos niveles de daño previstos y observados se muestra en la figura 5.14. En esta figura se evidencia para cuantos puentes se subestima o sobrestima daño, así como cuando se da una estimación exacta del estado de daño. En esta grafica es de especial atención analizar aquellas estructuras para las cuales se falló en la estimación de su condición en más de un grado, entendiéndose que fallar en un solo nivel de daño podría estar dentro de una tolerancia de error aceptable para la predicción. Esta situación se encontró para 4 estructuras subestimadas (en rojo) y 16 estructuras sobrestimadas. Para los 4 puentes subestimados se investigó las posibles causas de error de manera individual ya que esta es la situación menos deseable.

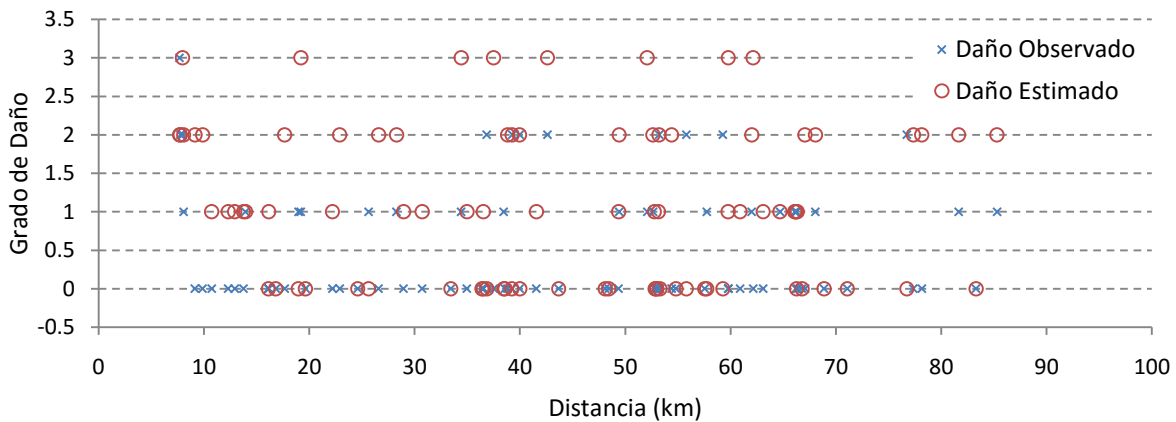
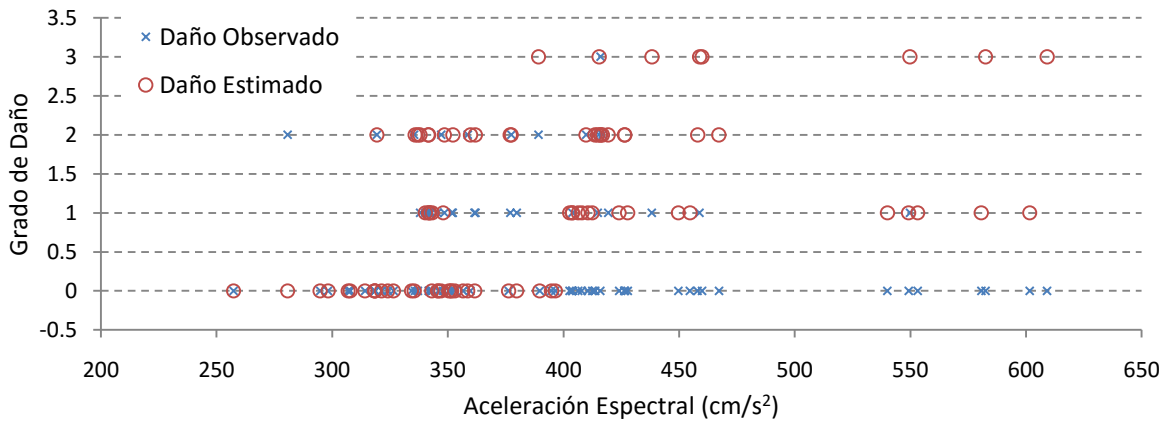


Figura 5.13. RELACIÓN ENTRE EL GRADO DE DAÑO, LA DISTANCIA EPICENTRAL Y LA ACELERACIÓN ESPECTRAL ($T=1$) PARA 86 PUENTES EN LA PENÍNSULA DE NICOYA

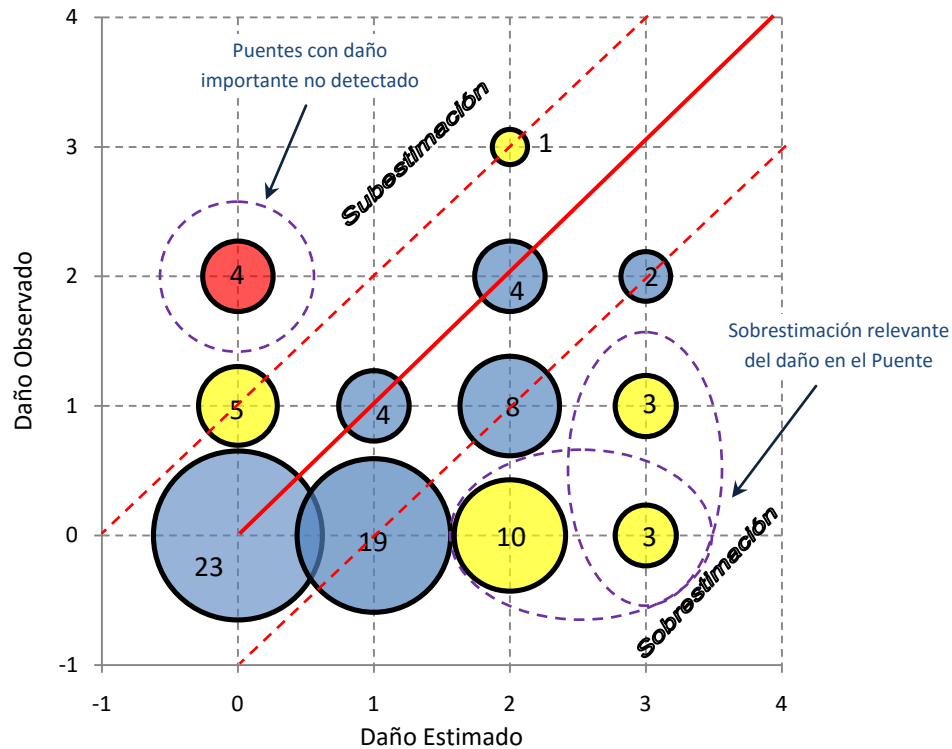


Figura 5.14. RELACIÓN ENTRE DAÑO ESPERADO Y OBSERVADO POR CANTIDAD DE PUENTES PARA UN TOTAL DE 86 ESTRUCTURAS EVALUADAS

Se detectó que para dos de los cuatro casos de subestimación se tienen puentes antiguos, construidos en la administración Figures Ferrer (1953) y Cortes (1936) por lo que no es improbable que los daños fueran producto de sismos anteriores al 2012; el mismo deterioro indica esta posibilidad, aunque es de difícil evaluación ya que el sismo de Sámara ocurrió unos 3 años antes de la visita a estos puentes. Para otro de estos puentes se tomó la referencia de daño en los rellenos de aproximación descrita por la CNE por lo que es de muy difícil verificación. Para el último caso, el daño encontrado fue el de agrietamiento en los pilotes del bastión, condición que se puede dar producto del sismo, pero en general por cualquier tipo de carga lateral del relleno sobre el elemento, por lo que tampoco este evento puede ser completamente asociado al sismo del 2012. Estos aspectos antes mencionados evidencian la dificultad en Costa Rica de concebir un panorama claro de daño luego de varios años de ocurrido el evento, donde los registros de daño en puentes, las inspecciones realizadas y los detalles de reparaciones son de difícil disponibilidad y comprensión, en caso de existir.



Para los casos en donde el daño fue sobrestimado, el efecto de tomar la licuefacción en cuenta como un evento adicional a la respuesta llevo a una mayor sobrestimación, inclusive para algunos casos de daño esperado severo donde no se encontró ningún daño en el sitio. Esta sobrestimación mayor pasó de producirse en solo 5 estructuras sin tomar en cuenta licuación, a un total de 16 cuando se incluye este fenómeno.

Desde el punto de vista la calidad de la predicción, en términos de que tan certeros son los resultados en función del tipo de daño, la [tabla 5.3](#) presenta los resultados para distintos niveles de subestimación y sobrestimación identificando por código de colores rojo-amarillo-azul desde la condición menos deseable a la buscada. De la tabla se muestra que la condición menos deseada, con subestimación en dos o más niveles de daño, se dio para 4,6 % de resultados. Una condición tampoco deseable con subestimación en un grado y sobrestimación en dos o más grados que se dio en 26,6% de los resultados. Por otra parte, condiciones deseables como la correlación directa uno a uno y la sobrestimación del daño en solo un grado (adecuado desde un punto de vista conservador) se da para un total del 69,8% de los casos.

Tabla 5.3. PORCENTAJES DE CORRELACIÓN ENTRE DISTINTOS GRADOS DE DAÑO PARA LOS DATOS OBTENIDOS Y LOS ESTIMADOS

No Correlación Directa			Correlación 1 a 1	
Subestimación		Sobrestimación		
Mayor o igual a 2	Igual a 1	Mayor o igual a 2	Igual a 1	Valores iguales
4,6 %	7,0 %	18,6 %	33,7 %	36,1



RECOMENDACIONES Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

El contenido teórico y resultados presentados en este estudio buscan aportar herramientas, información y conocimiento útil para la gestión de infraestructura de puentes; en particular para aquellos aspectos relacionados con la mitigación, evaluación, preparación y respuesta ante eventos sísmicos. Se recomienda a las autoridades públicas, organizaciones no gubernamentales, instituciones privadas o entes académicos interesados en la aplicación del protocolo y la utilización de la información de este documento, realizar una lectura completa del mismo para un apropiado entendimiento integral de la propuesta, poniendo especial atención al uso del contenido dentro de los alcances y limitaciones comentadas en el [capítulo 1](#) y a lo largo del documento.

Se recomienda que varios aspectos fundamentales relacionados con la respuesta ante un evento sísmico mayor, y que no han sido discutidos en este trabajo, como lo son la determinación de canales de comunicación, formas de coordinación entre equipos de inspectores e instituciones, definición de jerarquías de mando, y disponibilidad de fuentes de recursos económicos y transporte para atender la emergencia, sean claramente identificados y definidos por las autoridades involucradas en la emergencia para que la aplicación de esta propuesta sea ejecutada con éxito.

Algunos aspectos relacionados al protocolo, como la inspección visual de estructuras niveles 1 y 2, requieren de la capacitación de inspectores. El curso de capacitación sobre la inspección visual de estructuras de puentes haciendo énfasis en aspectos de seguridad después de sismo ya ha sido diseñado y puesto en práctica por parte de la UP del LanammeUCR. Los alcances y perfil profesional para los grados de inspección nivel 1 y 2 fueron descritos en el [capítulo 4](#). Además de un curso introductorio sobre la realización de las inspecciones, se recomienda realizar refrescamientos de los contenidos de forma periódica. Este aspecto es de importancia no solo para repasar conceptos y realizar simulacros de inspecciones, sino también para actualizar a los profesionales involucrados sobre posibles cambios en los formularios, uso de nuevas herramientas o procedimientos.

Los resultados obtenidos del análisis cualitativo de riesgo en los puentes de la red vial nacional primaria pueden ser utilizados como una referencia inicial para identificar vías o estructuras con riesgo alto o moderado, para las cuales es posiblemente necesario profundizar los estudios. La estrategia de profundización de estudios no necesariamente se debe enfocar en aquellas estructuras o vías con riesgos altos o muy altos ya que su condición de riesgo es evidente y, por



otro lado, es posible que varios de los puentes en estas vías sean próximamente remplazados, ya que son en muchos de los casos estructuras que ya cumplieron con su vida de servicio.

La efectividad de los resultados y nivel de alcance de este estudio pueden ser mejorados y ampliados mediante la realización de actividades y proyectos complementarios, cuyo enfoque no necesariamente se dé desde el punto de vista ingenieril. Entre las propuestas para el mejoramiento y facilitación de la aplicación de los resultados expuestos en este trabajo se tienen las siguientes:

- 1) Mejoramiento del inventario actual de puentes de la red vial nacional haciendo énfasis no solo en las características de inventario, sino también en su condición de deterioro, deficiencias y tipo de suelo. En general, la obtención de esta información es de importancia no solo desde el punto de vista de la amenaza por sismo, sino que también para efectuar valoraciones de capacidad de carga, seguridad vial, riesgos hidrológicos, entre otros. Una valoración integral de las estructuras es necesaria como herramienta que facilite la toma de decisiones a la administración.
- 2) Calendarización de actividades periódicas de capacitación de inspectores, simulacros de inspección (podrían efectuarse por ejemplo luego de sismos moderados) y reuniones entre las instituciones involucradas en la emergencia.
- 3) Determinación de valores de remplazo para puentes por tipo estructural según lo definido en el [capítulo 2](#). Este aspecto mejora la estimación de la afectación de la amenaza en términos de pérdidas económicas y en aspectos de inversión para la restitución, reparación y rehabilitación de estructuras de puentes. Además de los costos de remplazo, es necesario la recopilación de los costos unitarios de distintos tipos de reparaciones y trabajos de readecuación de puentes.
- 4) Evaluación integral del sistema de comunicación terrestre en el país mediante la incorporación de las estructuras que pertenecen a la red municipal.
- 5) Determinación de los riesgos por deslizamiento en la red vial nacional como un estudio complementario a este trabajo. Los deslizamientos, al igual que los daños en puentes, son las dos principales causas de inutilización de las vías terrestres luego de un sismo fuerte como se puede verificar en los reportes de daño. La implementación de estimaciones de daño como la obtenida mediante el SERIS para deslizamientos, ayudaría a visualizar de forma integral posibles escenarios de daño.
- 6) Mejoramiento de funciones de fragilidad mediante, por ejemplo, la incorporación para el cálculo de curvas de fragilidad de aspectos como el estado de daño de la estructura. Desarrollo de curvas propias o adaptación de curvas propuestas por otros autores fuera de los mencionados en este documento, que se consideren representen de mejor



forma el comportamiento estructural de la tipología de puente analizada. Incorporación de funciones de fragilidad para puentes de mampostería y madera.

- 7) Desarrollo de aplicaciones automatizadas y software para la evaluación de puentes. El objetivo de estas herramientas es tanto para la captura de información de inventario, de estado de condición y de daño luego de sismo.



REFERENCIAS

- AASHTO. (2002a). *A Guide to Highway Vulnerability Assessment for Critical Asset Identification and Protection*. Vienna, Virginia: The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Security Task Force. Retrieved from http://scotsem.transportation.org/Documents/guide-VA_FinalReport.pdf
- AASHTO. (2002b). *Standard Specifications for Highway Bridges 2002. Division I-A: SEISMIC DESIGN* (17th Editi). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- AASHTO. (2007). *AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design*. Washington, D.C.: The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Retrieved from <http://bridges.transportation.org/documents/2007ballot-seismicguidelines.pdf>
- AASHTO. (2011). *Manual for Bridge Evaluation (2nd Edition) with 2011, 2013, 2014, 2015 and 2016 Interim Revisions* (2nd ed.). Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- AASHTO. (2013). *Manual for Bridge Element Inspection (1st Edition), with 2015 Interim Revisions*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- ACG. (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica* (2da ed.). San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de Geotecnia (ACG). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- AFPS. (2010). *Conception et realization d'établissements de santé en zone sismique, Cahier Technique n°29*. Association Française du génie Parasismique (AFPS).
- Arroyo, I. G., Husen, S., & Flueh, E. R. (2014). The seismogenic zone in the Central Costa Rican Pacific margin: high-quality hypocentres from an amphibious network. *International Journal of Earth Sciences*, 103(7), 1747–1764. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0955-8>
- ASME. (2009). *All-Hazards Risk and Resilience. Prioritizing Critical Infrastructures using the Risk Analysis and Management for Critical Asset Protection Plus Approach*. New York, NY: American Society of Mechanical Engineers (ASME). Retrieved from <http://files.asme.org/ASMEITI/RAMCAP/17978.pdf>
- ATC. (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA Publication 273*. Washington, D.C.: Applied Technology Council (ATC) and Federal Emergency Management Agency.
- Banerjee, S., & Chi, C. (2013). State-dependent fragility curves of bridges based on vibration measurements. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 33, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.probenmech.2013.03.007>
- Banerjee, S., & Shinozuka, M. (2009). Uncertainties in Seismic Risk Assessment of Highway Transportation Systems. In *Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Conference TCLEE 2009* (pp. 1–9). Reston, VA: American Society of Civil Engineers. [https://doi.org/10.1061/41050\(357\)8](https://doi.org/10.1061/41050(357)8)



- Barrantes-Jiménez, R., Sanabria-Sandino, J., & Loría-Salazar, L. G. (2015). *Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica, Años 2014-2015*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte, PITRA-LanammeUCR.
- Barron-Corvera, R. (2000). *Spectral evaluation of seismic fragility of structures*. Ph.D. Dissertation. Department of Civil, Structural & Environmental Engineering. State University of New York at Buffalo, Buffalo, New York.
- Basöz, N., & Kiremidjian, A. (1995). *Prioritization of Bridges for Seismic Retrofitting. Report No. 114*. Stanford, California: The John A. Blume Earthquake Engineering Center. Department of Civil and Environmental Engineering. Stanford University. Stanford Digital Repository. Retrieved from <https://purl.stanford.edu/cd328tx7105>
- Basöz, N., & Kiremidjian, A. (1998). *Evaluation of Bridge Damage Data from the Loma Prieta and Northridge, California earthquakes. Report No. 118*. Stanford, California: The John A. Blume Earthquake Engineering Center. Department of Civil and Environmental Engineering. Stanford University. Stanford Digital Repository. Retrieved from <http://purl.stanford.edu/fr998kq2251>
- Basöz, N., & Mander, J. (1999). *Enhancement of the Highway Transportation Lifeline Module in HAZUS. Draft 7*. New York: National Institute of Building Sciences (NBIS).
- Caltrans. (1994). *Supplementary Bridge Damage Reports. Caltrans Report*. Sacramento, California: California Department of Transportation (Caltrans), Division of Structures.
- Caltrans. (2003). *The Race to Seismic Safety: Protecting California's Transportation System*. California: Caltrans Seismic Advisory Board, California Department of Transportation (Caltrans). Retrieved from <http://www.dot.ca.gov/RaceToSeismicSafetyfinal.pdf>
- Camacho, E. (1991). The Puerto Armuelles Earthquake (Southwestern Panama) of July 18, 1934. *Revista Geológica de América Central*, (13), 1–13.
- CFIA. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- CFIA. (2013). *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes*. San José, Costa Rica: Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) y Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR).
- Chang, S. E., Shinozuka, M., & Moore, J. E. (2000). Probabilistic Earthquake Scenarios: Extending Risk Analysis Methodologies to Spatially Distributed Systems. *Earthquake Spectra*, 16(3), 557–572. <https://doi.org/10.1193/1.1586127>
- Choi, E., DesRoches, R., & Nielson, B. (2004). Seismic fragility of typical bridges in moderate seismic zones. *Engineering Structures*, 26(2), 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2003.09.006>
- Clark, T. (1947). *Structural Design in Steel*. New York: John Wiley & Sons.
- Climont, Á., Rojas, W., Alvarado, G. E., & Benito, B. (2008). *Proyecto Resis II Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica*. San José, Costa Rica: NORSAR. Retrieved from http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes_sismos/amenaza_sismica_cr.pdf
- CNE. (2012a). PLAN GENERAL DE EMERGENCIA TERREMOTO DE SÁMARA, 05 DE



SETIEMBRE, DECRETO DE EMERGENCIA N° 37305 (Hojas de cálculo). San José:
Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE).

- CNE. (2012b). *SISMO 7.6 Mw (Magnitud de Momento) SAMARA, REGION DE GUANACASTE, SECTOR PENINSULA DE NICOYA. RESUMEN No. 9 / al 12 DE SETIEMBRE, 11:00 a.m.* San José: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias Gobierno de Costa Rica (CNE).
- CNE. (2015). *Política Nacional de Gestión del Riesgo 2016-2030*. San José, Costa Rica: Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE).
- DeMets, C., Gordon, R. G., & Argus, D. F. (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), 1–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>
- Denis, D. (2011). *SISMOA Evaluation préliminaire du risque sismique sur les ouvrages d'art existants*. Nice, France. Retrieved from http://www.infra-transport-materiaux.cerema.fr/IMG/pdf/1039w_SISMOA-1.pdf
- Denyer, P. (1994). Generalidades sobre los efectos geológicos del terremoto de Limón. *Revista Geológica de América Central*, (edición Especial), 29–38.
- Dong, Y., Frangopol, D. M., & Saydam, D. (2014). Pre-Earthquake Multi-Objective Probabilistic Retrofit Optimization of Bridge Networks Based on Sustainability. *Journal of Bridge Engineering*, 19(6), 4014018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000586](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000586)
- Einstein, H. H. (1988). Special Lecture, Landslide risk assessment. In *Proc. 5th Int. Symp. On Landslides* (p. Vol.2, 1075-1090). Lausanne, Switzerland: A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Ellingwood, B., Galambos, T. V., MacGregor James G., & Cornell, C. A. (1980). *Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58. Building Code Requirements for Minimum Design Loads in Buildings and Other Structures. NBS Special Publication 577*. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. <https://doi.org/10.6028/NBS.SP.577>
- Enke, D. L., Tirasirichai, C., & Luna, R. (2008). Estimation of Earthquake Loss due to Bridge Damage in the St. Louis Metropolitan Area. II: Indirect Losses. *Natural Hazards Review*, 9(1), 12–19. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2008\)9:1\(12\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:1(12))
- FDOT. (2015). *Florida Department of Transportation Bridge Management System Coding Guide*. Florida: FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (FDOT). Retrieved from [http://www.fdot.gov/maintenance/STR/IN/Bridge_Management_Sytem_\(BMS\)_Coding_Guide_01-20-15.pdf](http://www.fdot.gov/maintenance/STR/IN/Bridge_Management_Sytem_(BMS)_Coding_Guide_01-20-15.pdf)
- FEMA. (2003). *EARTHQUAKE LOSS ESTIMATION METHODOLOGY Hazus MH MR5 Advanced Engineering Building Module (AEBM) Technical and User's Manual*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA). Retrieved from https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-6286/hzmmh2_1_eq_tm.pdf
- FEMA. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS MR4. Technical Manual*. Washington DC: Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hazus MH 2.1*. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency (FEMA). Retrieved from



https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1820-25045-6286/hzmmh2_1_eq_tm.pdf

- FEMA. (2003). Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings. Washington, D.C.: Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA. (2006). Rescue Field Operations Guide US&R-23-FG. Washington, DC: National Urban Search and Rescue (US&R) Response System, Federal Emergency Management Agency (FEMA). Retrieved from <https://www.fema.gov/urban-search-rescue-resources>
- Fernandez, M., & Barquero, R. (2004). Sismicidad de Costa Rica durante el año 2004. *Revista Geológica de América Central*, (31), 93–97.
- FHWA. (1995). *Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges. Report No. FHWA-PD-96-001*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration (FHWA). Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/mtguide.pdf>
- FHWA. (2006). *Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures: Part 1 - Bridges. FHWA-HRT-06-032*. McLean, Virginia: Federal Highway Administration (FHWA).
- FHWA. (2012). *Bridge Inspector's Reference Manual. FHWA NHI 12-049* (Vol. BIRM 1). Washington, D.C.: Federal Highway Administration (FHWA) National Highway Institute (NHI). [https://doi.org/FHWA NHI 12-049](https://doi.org/FHWA%20NHI%2012-049)
- FHWA, & AASHTO. (2003). *Recommendations for Bridge and Tunnel Security*. Federal Highway Administration (FHWA) and the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Transportation Security Task Force. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/security/brp.pdf>
- GEM. (2017). Sitio web GEM Foundation. Retrieved April 4, 2017, from <https://www.globalquakemodel.org/>
- Ghosh, J., & Padgett, J. E. (2010). Aging Considerations in the Development of Time-Dependent Seismic Fragility Curves. *Journal of Structural Engineering*, 136(12), 1497–1511. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000260](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000260)
- Goltz, J. D., & Eisner, R. K. (2003). Real-Time Emergency Management Decision Support: The California Integrated Seismic Network (CISN). In *Disaster Resistent California meeting April 2003*. Retrieved from http://www.cisn.org/docs/DRC_03.Goltz.pdf
- Hadas, Y., Rossi, R., Gastaldi, M., Pellegrino, C., Zanini, M. A., & Modena, C. (2015). Optimal Critical Infrastructure Retrofitting Model for Evacuation Planning. *Transportation Research Procedia*, 10, 714–724. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.025>
- Hamada, M., & O'Rourke, T. D. (Eds.). (1992). *Case Studies of Liquefaction and Lifeline Performance During Past Earthquakes, Volume 1, Japanese Case Studies. NCEER-92-0001*. Buffalo, New York: National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/92-0001.pdf>
- Hwang, H. H. ., & Huo, J.-R. (1994). *Generation of Hazard-Consistent Fragility Curves for Seismic Loss Estimation Studies. Technical Report NCEER-94-0015*. Buffalo, New York: National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/94-0015.pdf>



- ICC. (2000). *International Building Code*. Virginia, U.S.A: International Code Council (ICC).
- IDNDR. (1999). *RADIUS: risk assessment tools for diagnosis of urban areas against seismic disasters*. International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), United Nations Office for Disaster Risk Reductions (UNISDR). Retrieved from <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/2752>
- Imbsen, R. A., Shahriar, V., & Zhong, J. (2015). Rapid Post-earthquake safety evaluation of Bridges. In *SMIP15: Seminar on Utilization of Strong Motion Data*. Retrieved from http://www.conservation.ca.gov/cgs/smip/docs/seminar/pages/SMIP15/Documents/SMIP15_P6_Paper_by_Imbsen.pdf
- ISDR-UN. (2004). *Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives*. New York and Geneva: International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), United Nations. Retrieved from https://www.unisdr.org/files/657_lwr1.pdf
- ISO/TC 262. IEC 31010: Risk management -- Risk assessment techniques, International Organization for Standardization, ISO § (2009). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/51073.html>
- Jaw, J.-W., & Hwang, H. H. M. (1988). *Seismic Fragility Analysis of Shear Wall Structures. Technical Report NCEER-88-0009*. Buffalo, New York: National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/88-0009.pdf>
- Jayaram, N., & Baker, J. W. (2010). Efficient sampling and data reduction techniques for probabilistic seismic lifeline risk assessment. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 39(10), 1109–1131. <https://doi.org/10.1002/eqe.988>
- JICA. (2007). *El estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica*. Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA).
- Kim, S. H., Park, M. S., & Kim, J. (1995). Applying personalized weights to a feature set for on-line signature verification. In *Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition* (Vol. 2, pp. 882–885). IEEE Comput. Soc. Press. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.1995.602042>
- King, S., Teferra, K., & Abboud, N. (2013). Infrastructure risk assessment for prioritizing security mitigation alternatives. In G. Deodatis, B. R. Ellingwood, & D. M. Frangopol (Eds.), *Safety, Reliability, Risk and Life-Cycle Performance of Structures & Infrastructures* (pp. 2723–2730). London: Taylor & Francis Group.
- Kircher, C. A., Whitman, R. V., & Holmes, W. T. (2006). HAZUS Earthquake Loss Estimation Methods. *Natural Hazards Review*, 7(2), 45–59. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(45\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(45))
- Kiremidjian, A., Moore, J., Fan, Y. Y., Yazlali, O., Basoz, N., & Williams, M. (2007). Seismic Risk Assessment of Transportation Network Systems. *Journal of Earthquake Engineering*, 11(3), 371–382. <https://doi.org/10.1080/13632460701285277>
- Koike, N., & Harik, I. E. (2012). Post-Earthquake Rapid Inspection Planning for Bridges in Western Kentucky. *International Journal of GEOMATE Geotechnique, Construction Materials and Environment*, 2(3), 179–184.



- Lin, J.-W., Chen, C.-W., & Chung, S.-H. (2012). Modeling and assessment of bridge structure for seismic hazard prevention. *Natural Hazards*, 61(3), 1115–1126. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9969-3>
- Linkimer, L., & Soto, G. J. (2012). *El Terremoto de Sámara del 5 de setiembre del 2012*. Retrieved from http://rsn.ucr.ac.cr/images/Sismologia/sisimosHistoricos/33_samara_2012.pdf.pdf
- LIS. (2015). Laboratorio de Ingeniería Sísmica. Retrieved January 1, 2016, from <http://www.lis.ucr.ac.cr/>
- Mackie, K., & Stojadinović, B. (2001). Probabilistic Seismic Demand Model for California Highway Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 6(6), 468–481. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2001\)6:6\(468\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2001)6:6(468))
- Malone, S., Eberhard, M. O., Labelle, J., & Ranf, T. (2005). *Information Tools to Improve Post-Earthquake Prioritization of WSDOT Bridge Inspections. Report No. WA-RD 602.1*. Seattle, Washington: Washington State Transportation Center (TRAC), University of Washington.
- Mander, J. B. (1999). Fragility Curve Development for Assessing the Seismic Vulnerability of Highway Bridges. In *Research Progress and Accomplishments 1997-1999* (pp. 89–98). Buffalo, New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. University at Buffalo, State University of New York. Retrieved from <http://mceer-nt4.mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/99-SP01/RAfullbook.pdf>
- Mander, J. B., Dhakal, R. P., Mashiko, N., & Solberg, K. M. (2007). Incremental dynamic analysis applied to seismic financial risk assessment of bridges. *Engineering Structures*, 29(10), 2662–2672. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.12.015>
- MCJ. (2017). Sitio web del Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural. Retrieved April 3, 2017, from http://www.patrimonio.go.cr/quienes_somos/
- Mehary, S. T., & Dusicka, P. (2015). *Seismic Retrofit Benefit Considering Statewide Transportation Assessment. Report OR-R D-15-15*. Portland, Oregon: Oregon Department of Transportation (ODOT) & Oregon Transportation Research and Education Center (OTREC). <https://doi.org/10.15760/trec.123>
- Mihai. (2015). Elementele constructive ale unui pod (figura). *Tragedia Aciliu, PERICOL IMINENT! ASCORO – Construim România*. Retrieved from <http://www.construim-romania.ro/2015/07/tragedia-aciliu-pericol-iminent/>
- Miranda, E., Kyriakides, M., & Fu, Q. (2006). Development of Improved Intensity Measures and Improved ShakeMaps for Loss Estimation and Emergency Response. In *SMIP06 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data* (pp. 63–80).
- Montero, W. (2001). Neotectónica de la región central de Costa Rica: Frontera oeste de la microplaca de Panamá. *Revista Geológica de América Central*, (24), 29–56.
- Montero, W. (2003). El sistema de falla Atirro-Río Sucio y la cuenca de tracción de Turrialba-Irazú: Indentación tectónica relacionada con la colisión del levantamiento del Coco. *Revista Geológica de América Central*, (28), 05–29.
- MOPT. (2013). *Anuario de Información de Tránsito 2013*. San José, Costa Rica: Unidad de Estudios de Tráfico e Investigación, Dirección de Planificación Sectorial, Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Retrieved from



<http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/402>

- MOPT, & JICA. (2007). *El estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT), y Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA). Retrieved from <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/409>
- Mouroux, P., & Le Brun, B. (2008). Risk-UE Project: An Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios With Application to Different European Towns. In *Assessing and Managing Earthquake Risk* (pp. 479–508). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3608-8_23
- Mullen, C. L., & Cakmak, A. S. (1997). *Seismic Fragility of Existing Conventional Reinforced Concrete Highway Bridges. Technical Report NCEER-97-0017*. Buffalo, New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/97-0017.pdf>
- Muñoz-Barrantes, J., Vargas-Alas, L. G., Vargas-Barrantes, S., Agüero-Barrantes, P., Villalobos-Vega, E., Barrantes-Jiménez, R., & Loria-Salazar, L. G. (2015a). *Actualización de los criterios para la evaluación visual de puentes. LM-PI-UP-05-2015*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.
- Muñoz-Barrantes, J., Vargas-Alas, L. G., Vargas-Barrantes, S., Agüero-Barrantes, P., Villalobos-Vega, E., Barrantes-Jiménez, R., & Loria-Salazar, L. G. (2015b). *Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte, PITRA-LanammeUCR.
- Muñoz-Barrantes, J., Vega-Salas, P., Vargas-Alas, L. G., Barrantes-Jiménez, R., & Loria-Salazar, L. G. (2016). *Información de Inventario para puentes en la Red Vial Nacional de Costa Rica. LM-PI-UP-02-2016*. San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte, PITRA-LanammeUCR.
- NCHRP. (2007). *Bridge Inspection Practices. NCHRP Synthesis 375*. Washington, D.C.: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/14127>
- Nielson, B. G., & DesRoches, R. (2007a). Analytical Seismic Fragility Curves for Typical Bridges in the Central and Southeastern United States. *Earthquake Spectra*, 23(3), 615–633. <https://doi.org/10.1193/1.2756815>
- Nielson, B. G., & DesRoches, R. (2007b). Seismic fragility methodology for highway bridges using a component level approach. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 36(6), 823–839. <https://doi.org/10.1002/eqe.655>
- O'Connor, J. S., & Alampalli, S. (2012). *Post-Earthquake Bridge Inspection Guidelines. Technical Report MCEER-12-0003*. Buffalo, New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/12-0003.pdf>
- ODOT. (2009). *Seismic Vulnerability of Oregon State Highway Bridges: Mitigation Strategies to Reduce Major Mobility Risks*. Oregon Department of Transportation (ODOT), Bridge Engineering Section. Retrieved from <http://archives.pdx.edu/ds/psu/16837>



- Padgett, J. E., & DesRoches, R. (2007a). Bridge Functionality Relationships for Improved Seismic Risk Assessment of Transportation Networks. *Earthquake Spectra*, 23(1), 115–130. <https://doi.org/10.1193/1.2431209>
- Padgett, J. E., & DesRoches, R. (2007b). Sensitivity of Seismic Response and Fragility to Parameter Uncertainty. *Journal of Structural Engineering*, 133(12), 1710–1718. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2007\)133:12\(1710\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2007)133:12(1710))
- Padgett, J. E., & DesRoches, R. (2008). Methodology for the development of analytical fragility curves for retrofitted bridges. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 37(8), 1157–1174. <https://doi.org/10.1002/eqe.801>
- Padgett, J. E., DesRoches, R., & Nilsson, E. (2010). Regional Seismic Risk Assessment of Bridge Network in Charleston, South Carolina. *Journal of Earthquake Engineering*, 14(6), 918–933. <https://doi.org/10.1080/13632460903447766>
- Patel, S. (2007). *Post-Disaster Bridge Evaluation Inspection Manual*. Los Angeles, California: Structural Engineering Division, Bureau of Engineering. Retrieved from http://eng.lacity.org/techdocs/post_disaster_bridge_evaluation.pdf
- Penzien, J. (2001). *Seismic performance of transportation structures. Linbeck Distinguished Lecture Series in Earthquake Engineering: Challenges of the New Millennium "Earthquake Engineering for Transportation Structures - Past, Present, and Future."* Notre Dame, Indiana: University of Notre Dame. Retrieved from <http://www3.nd.edu/~linbeck/Penzien2.pdf>
- Pezeshk, S., Chang, T. S., Yiak, K. C., & Kung, H. T. (1993). Seismic Vulnerability Evaluation of Bridges in Memphis and Shelby County, Tennessee. *Earthquake Spectra*, 9(4), 803–816. <https://doi.org/10.1193/1.1585741>
- Pittore, M. (2015). Role and perspectives of integrated geo-information for Disaster Risk Reduction. Potsdam: German Research Centre for Geosciences (GFZ).
- Rahimian, S., & Mcneil, S. (2012). Post Earthquake Transportation Network Performance: Transportation of Injured to Medical Facilities. In *NZSEE 2012 Annual Technical Conference: Implementing lessons learnt*. Christchurch, New Zealand: New Zealand Society for Earthquake Engineering (NZSEE).
- Ramirez, J. A., Frosch, R. J., Sozen, M. A., & Turk, A. M. (2000). *Handbook for the Post-Earthquake Safety Evaluation of Bridges and Roads*. Purdue, Indiana: School of Civil Engineering, Purdue University and Indiana Department of Transportation, INDOT.
- Ramirez, M. (2016). Comunicación oral. San Jose: Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).
- Ramírez, M. (2010). Material del Curso de Puentes. Módulo 1. San José, Costa Rica: Impartido en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA).
- Ranf, R. T., Eberhard, M. O., & Malone, S. (2007). Post-earthquake Prioritization of Bridge Inspections. *Earthquake Spectra*, 23(1), 131–146. <https://doi.org/10.1193/1.2428313>
- Rojahn, C., Comartin, C., & King, S. (2003). Guidelines for Utilizing Strong-Motion and ShakeMap Data in Post-Earthquake Response (ATC-54). In *SMIP03 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data* (pp. 47–58). Retrieved from http://www.conservation.ca.gov/cgs/smip/docs/seminar/SMIP03/Pages/paper4_rojahn.aspx



- Rossi, R., Gastaldi, M., Carturan, F., Pellegrino, C., & Modena, C. (2012). Planning and management of actions on transportation system to address extraordinary events in post-emergency situations. A multidisciplinary approach. *European Transport \ Trasporti Europei*, 51(2), 1825–3997. Retrieved from [https://www.openstarts.units.it/dspace/bitstream/10077/6118/1/ET_2012_51_2 -Rossi et al..pdf](https://www.openstarts.units.it/dspace/bitstream/10077/6118/1/ET_2012_51_2-Rossi%20et%20al..pdf)
- RSN. (2017). Sitio web de la Red Sismológica Nacional. Retrieved April 3, 2017, from <http://rsn.ucr.ac.cr/index.php>
- Saini, A., & Saïidi, M. S. (2013). *Post-Earthquake Damage Repair of Various Reinforced Concrete Bridge Components. Draft Final Report No. CA 13-2180*. Reno, Nevada: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Nevada, Reno.
- Sakoumpenta, E., Panetsos, P., & Haralabakis, M. (2013). Bridge Maintenance Management System for Egnatia Motorway Motivation. In N. Krims-Steiner (Ed.), *Industrial Safety and Life Cycle Engineering (IRIS Book)* (pp. 491–514). Vienna, Austria: VCE Vienna Consulting Engineers ZT GmbH.
- Santana, G. (1999). *Evaluación del impacto ingenieril de un terremoto en la península de Nicoya : Informe final*. San José, Costa Rica: Programa de Ingeniería Sísmica, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme), Universidad de Costa Rica (UCR).
- Santana, G. (2006). *Vulnerabilidad Sísmica de los Puentes de la Red Vial del Gran Área Metropolitana de San José, Costa Rica*. San José.
- Sardo, A., Sardo, T., & Harik, I. (2006). *Post Earthquake Investigation Field Manual for the State of Kentucky. Kentucky Transportation Center Research Report. KTC-06-30/SPR234-01-1F*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13023/KTC.RR.2006.30>
- Schneider, J. (1997). *Introduction to Safety and Reliability of Structures*. International Association for Bridge and Structural Engineering.
- SEAOC. (1995). *Vision 2000-A framework for performance Based Earthquake Engineering*. Sacramento, California: Structural Engineers Association of California (SEAOC).
- Shinozuka, M., Banerjee, S., & Kim, S.-H. (2007a). *Fragility Considerations in Highway Bridge Design. Technical Report MCEER-07-0023*. Buffalo, New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/07-0023.pdf>
- Shinozuka, M., Banerjee, S., & Kim, S.-H. (2007b). *Statistical and Mechanistic Fragility Analysis of Concrete Bridges. Technical Report MCEER-07-0015*. Buffalo, New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/07-0015.pdf>
- Shinozuka, M., Feng, M. Q., Kim, H., Uzawa, T., & Ueda, T. (2003). *Statistical Analysis of Fragility Curves. Technical Report MCEER-03-0002*. Buffalo, New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/03-0002.pdf>
- Shiraki, N., Shinozuka, M., Moore, J. E., Chang, S. E., Kameda, H., & Tanaka, S. (2007). System Risk Curves: Probabilistic Performance Scenarios for Highway Networks Subject to Earthquake Damage. *Journal of Infrastructure Systems*, 13(1), 43–54.



[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2007\)13:1\(43\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:1(43))

- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con Enfoque en Gestión del Riesgo y Seguridad Vial* (3a ed.). Ciudad de Guatemala: Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres en América Central (CEPREDENAC) y Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).
- Soberón-Gómez, C., Barbat, A. H., & Oller, S. (2000). *Monografías de Ingeniería Sísmica Vulnerabilidad de puentes de autopista. Un estado del arte. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería*. Retrieved from <http://www.cimne.com/tiendaCIMNE/free/MIS41.pdf>
- Sotela-Sobrado, C. (2011). *Zonificación de sitios para valoración de la aceleración pico efectiva según criterios del Código Sísmico de Costa Rica*. Proyecto de graduación (Licenciatura en ingeniería civil). Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Sperbeck, S. (2008). *Seismic Risk of Assessment of Masonry Walls and Risk Reduction by Means of Prestressing*. TU Braunschweig.
- Straub, D., & Kiureghian, A. Der. (2008). Improved seismic fragility modeling from empirical data. *Structural Safety*, (30), 320–336. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2007.05.004>
- Unidad de Puentes-LanammeUCR. (2014). Archivo de fotografías de inspección de puentes en la Ruta Nacional No. 32. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).
- USGS. (2012). M 7.6 - Costa Rica. Retrieved January 1, 2016, from <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000jrsw#executive>
- Vargas, A., Linkimer, L., Barquero, R., Rojas, W., & Boschini, I. (2012). *El terremoto del 5 de setiembre del 2012: Intensidades y principales efectos*.
- Vargas, W. (1991). Colección de Fotografías Daños en Puentes luego del Terremoto de Limón 1991. LanammeUCR.
- Vargas, W. (2003). Material del Curso de Maestría en Ingeniería Geotécnica. San Jose: Universidad de Costa Rica.
- Villalobos-Vega, E., Santana-Barboza, G., & Barrantes-Jiménez, R. (2016). Experimental Study on Ductile Precast End-Diaphragms of Slab-on-girder Concrete Bridges: Pre-Test analytical Study. In *2016 PCI Convention and National Bridge Conference*. Nashville, TN: Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI).
- Watanabe, H., & Koga, H. (2006). General Information on Deterioration of Existing Concrete Structures and Recent Research Topics on the Maintenance Techniques in PWR. In *Proceedings of JSCE-KSCE Joint Seminar on Maintenance and Management Strategy of Infrastructures in Japan and Korea* (pp. 19–35). Kusatsu, Shiga, Japan: Japan Society of Civil Engineers Concrete Committee.
- Werner, S. D., Cho, S., Taylor, C. E., & Lavoie, J.-P. (2007). Use of Seismic Risk Analysis of Roadway Systems to Facilitate Performance-Based Engineering and Risk-Reduction Decision Making. In *23th US - Japan Bridge Engineering Workshop*. Tsukuba, Japan. Retrieved from <http://www.pwri.go.jp/eng/ujnr/tc/g/23bws/agenda.htm>



- Werner, S. D., Taylor, C. E., Cho, S., Lavoie, J.-P., Huyck, C., Eitzel, C., ... Eguchi, R. T. (2006). *REDARS 2 Methodology and Software for Seismic Risk Analysis of Highway Systems*. Buffalo.
- Werner, S. D., Taylor, C. E., Moore III, J. E., Walton, J. S., & Cho, S. (2000). *A Risk-Based Methodology for Assessing the Seismic Performance of Highway Systems. Technical Report MCEER-00-0014*. Buffalo, New York: Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER). MCEER Publications Catalog. Retrieved from <http://mceer.buffalo.edu/pdf/report/00-0014.pdf>
- White, R. (1991). *Tectonic implications of upper-crustal seismicity in Central America*. (B. Slemmons, D., Engdahl, E., Zoback, M., Ed.) (Vol. 1). Boulder Colorado: Geological Society of America.
- Woodward, R. J., Vassie, P. R., & Godart, M. B. (2000). Bridge management in Europe (BRIME): overview of project and review of bridge management systems. In M. J. Ryall & J. E. Parke, G. A. R. Harding (Eds.), *Bridge management 4: Inspection, maintenance, assessment and repair*. Institution of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1680/bm4.28548.0002>
- Yen, W.-H. P., Chen, G., Buckle, I., Allen, T., Alzamora, D., Ger, J., & Arias, J. G. (2011). *Post - Earthquake Reconnaissance Report on Transportation Infrastructure: Impact of the February 27, 2010, Offshore Maule Earthquake in Chile. Publication No. FHWA-HRT-11-030*. McLean, Virginia: Office of Infrastructure Research and Development. Federal Highway Administration (FHWA). Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/11030/11030.pdf>
- Youd, T. L., & Perkins, D. M. (1978). Mapping liquefaction-induced ground failure potential. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 104(4), 433–446.
- Youngs, R. R., Chiou, S.-J., Silva, W. J., & Humphrey, J. R. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 58–73. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.58>
- Zamora, N. (2012). *El terremoto del 5 de setiembre del 2012: Deformación cosísmica y posible generación de tsunamis*. San José.
- Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., ... Fukushima, Y. (2006). Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898–913. <https://doi.org/10.1785/0120050122>



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS DE PUENTES UTILIZADAS PARA DISTRIBUCIÓN DE ACELERÓGRAFOS Y ORDEN DE PRIORIDAD



PRIORIDAD	ORDEN ADMINISTRATIVO	ruta	NOMBRE PUENTE	IMPORTANCIA	TPD (2013)	DISTANCIA A ESTACIONE LIS (m)	# ESTACIONE LIS (radio 30km)	# PUENTES (radio 30km)
1	Primaria	34	R. CORONADO	C	4738	12978,8	1	24
2	Primaria	34	R. TORTUGA	C	4289	18979,1	1	22
3	Primaria	34	R. BALSÓ	C	4289	17641,6	1	22
4	Primaria	35	R. CHIMURRIA	C	4100	21860,0	1	13
5	Primaria	21	R. TEMPIQUE NUEVO	C	12900	15638,3	1	12
6	Primaria	21	Q. SAN PEDRO	C	2865	8033,1	1	5
7	Primaria	36	R. SIXAOLA	C	1699	29971,9	1	3
8	Primaria	36	R. SIXAOLA	C	1699	29961,5	1	3
9	Terciaria	938	R. SAPOA	CO		12005,0	1	3
10	Primaria	2	R. VOLCAN	C	1770	9967,3	2	32
11	Primaria	2	R. CANAS	C	1770	8748,0	2	32
12	Primaria	2	R. TERRABA	C	2121	8083,8	2	30
13	Primaria	2	R. CACAO	C	1770	16191,6	2	29
14	Primaria	34	R. BALZAR	C	4738	2031,7	2	29
15	Secundaria	244	R. PACUAR	E	2131	14794,4	2	26
16	Primaria	2	R. GENERAL	C	1770	13965,7	2	26
17	Primaria	2	R. CAMPANA	C	1190	9981,0	2	26
18	Primaria	34	R. UVITA	C	4289	22522,0	2	25
19	Primaria	34	R. HIGUERON	C	4289	21680,4	2	25
20	Primaria	2	R. CATARATAS	C	1770	11752,3	2	25
21	Primaria	2	R. GENERAL	C	1770	11319,1	2	25
22	Primaria	2	R. PLATANARES	C	1770	10493,1	2	25
23	Primaria	2	R. ESCUADRA	C	1190	7561,4	2	25
24	Secundaria	237	R. TERRABA	E	819	5753,1	2	25
25	Primaria	4	R. ARENAL	C	2597	8282,0	2	23
26	Primaria	2	Q. LOPEZ	C	1770	7598,3	2	23
27	Primaria	34	R. POZA AZUL	C	4289	21238,2	2	21
28	Primaria	34	R. HATILLO VIEJO	C	2439	22775,0	2	19



PRIORIDAD	ORDEN ADMINISTRATIVO	RUTA	NOMBRE PUENTE	IMPORTANCIA	TPD (2013)	DISTANCIA A ESTACIÓN LIS (m)	# ESTACIONE LIS (radio 30km)	# PUENTES (radio 30km)
29	Primaria	34	R. BARU	C	2439	21284,8	2	18
30	Primaria	1	R. SALTO B	C	8015	10096,5	2	16
31	Primaria	1	R. SALTO A	C	8015	10096,5	2	16
32	Primaria	4	R. LA MUERTE	C	1831	11127,4	2	14
33	Primaria	1	ASO SOBRE INTER. LIBER	C	20554	1994,8	2	14
34	Secundaria	245	R. RINCON	E	406	4908,7	2	12
35	Primaria	34	R. PORTALON	C	2439	19742,2	2	11
36	Primaria	34	R. SAVEGRE	C	2439	14620,1	2	11
37	Primaria	1	R. AHOGADOS	C	12790	14525,0	2	11
38	Primaria	4	R. FRIO	C	1801	16318,8	2	10
39	Primaria	1	R. LAGARTO	C	10910	13992,0	2	9
40	Primaria	34	R. TUSUBRES	C	6801	10834,0	2	8
41	Primaria	1	R. TEMPISQUITO	C	12790	8460,5	2	8
42	Primaria	21	R. MOROTE	C	3535	7160,1	2	7
43	Primaria	36	R. HONE CREEK	C	3595	7623,8	2	6
44	Primaria	6	R. ZAPOTE	C	2045	6478,4	2	6
45	Primaria	4	R. ZAPOTE	C	1504	632,1	2	6
46	Primaria	4	R. PIZOTE	C	354	13879,4	2	4
47	Secundaria	160	R. MONTANA	E	371	2769,6	2	3
48	Primaria	4	R. SAN CARLOS	C	5306	16042,4	3	28
49	Primaria	2	R. SONADOR	C	1770	19356,9	3	27
50	Primaria	4	R. PENAS BLANCAS	C	5306	18778,4	3	27
51	Primaria	4	R. SAN RAFAEL	C	3648	15651,8	3	27
52	Primaria	2	R. ZAPOTE	C	1190	14824,3	3	27
53	Primaria	2	R. CEIBO	C	1770	5021,2	3	27
54	Primaria	2	R. DICIPLINA	C	1190	17755,2	3	26
55	Primaria	2	R. PUERTO NUEVO	C	1190	15265,3	3	26
56	Primaria	2	R. CURRE	C	1190	11820,2	3	26
57	Primaria	2	R. CONVENTO	C	1770	20929,8	3	25
58	Terciaria	702	R. PENAS BLANCAS	CO	3123	18473,7	3	25
59	Primaria	2	R. UNION	C	1770	20050,9	3	24
60	Primaria	2	R. SALAMA VIEJO	C	2121	23524,4	3	23



PRIORIDAD	ORDEN ADMINISTRATIVO	RUTA	NOMBRE PUENTE	IMPORTANCIA	TPD (2013)	DISTANCIA A ESTACIÓN LIS (m)	# ESTACIONE LIS (radio 30km)	# PUENTES (radio 30km)
61	Primaria	35	R. SAN CARLOS	C	3874	17334,6	3	23
62	Primaria	1	R. TENORIO A	C	8015	8877,5	3	20
63	Primaria	32	R. MADRE DE DIOS	C	8135	7297,8	3	19
64	Primaria	32	R. CIMARRONES	C	8135	8526,8	3	18
65	Primaria	34	R. HATILLO NUEVO	C	2439	23563,0	3	17
66	Primaria	32	R. BARBILLA	C	8135	3183,0	3	17
67	Primaria	1	R. ABANGARES	C	9203	6372,3	3	16
68	Primaria	1	R. COLORADO	C	12790	5743,2	3	13
69	Primaria	4	R. SARAPIQUI	C	5196	314,9	3	13
70	Primaria	1	R. GUACIMAL	C	10910	15223,8	3	12
71	Primaria	1	R. ARANJUEZ	C	10910	13192,8	3	12
72	Primaria	34	R. NARANJO	C	4753	2568,1	3	10
73	Primaria	34	R. PAQUITA	C	6657	3510,7	3	9
74	Primaria	34	R. PARRITA	C	6801	7713,5	3	7
75	Secundaria	245	R. TIGRE	E	1768	3701,3	3	7
76	Primaria	21	R. CANAS	C	8817	7945,3	3	6
77	Primaria	21	R. DIRIA	C	7195	950,6	3	5
78	Primaria	21	R. EN MEDIO	C	7195	904,3	3	5
79	Secundaria	160	R. ORA	E		24507,1	3	4
80	Primaria	2	R. PIEDRAS BLANC	C	3566	17051,8	4	26
81	Primaria	32	R. PACUARE	C	8135	2031,2	4	23
82	Primaria	1	R. TENORIO B	C	8015	8874,5	4	20
83	Primaria	34	R. GRANDE DE TARCOLES	C	11710	15395,3	4	18
84	Primaria	1	R. PIEDRAS A	C	8015	2378,5	4	18
85	Primaria	1	R. PIEDRAS B	C	8015	2376,1	4	18
86	Primaria	1	ASO SOBRE INT. BAGACE	C	8015	793,1	4	18
87	Primaria	23	R. BARRANCA	C	16340	5898,4	4	17
88	Primaria	34	R. TARCOLITOS	C	11710	16347,6	4	16
89	Primaria	2	R. LAGARTO	C	4768	11256,7	4	16
90	Primaria	18	R. TEMPIQUE AMISTAD	C	4473	13451,1	4	15
91	Primaria	34	Q. MATA PALO	C	2439	23320,9	4	14
92	Primaria	32	R. CUBA	C	8135	15591,3	4	14



PRIORIDAD	ORDEN ADMINISTRATIVO	RUTA	NOMBRE PUENTE	IMPORTRANCIA	TPD (2013)	DISTANCIA A ESTACIÓN LIS (m)	# ESTACIONE LIS (radio 30km)	# PUENTES (radio 30km)
93	Primaria	32	R. BLANCO	C	15572	5515,0	4	13
94	Terciaria	507	R. SUCIO	CO		2930,3	4	12
95	Primaria	36	R. CIENEGUITA	C	4648	1471,9	4	12
96	Primaria	36	R. VIZCAYA	C	3795	11017,7	4	11
97	Primaria	36	R. BANANO	C	3795	8915,8	4	11
98	Primaria	36	R. BANANITO	C	3795	14342,8	4	10
99	Primaria	32	R. SIQUIRRES	C	8135	503,0	5	25
100	Primaria	32	R. REVENTAZON	C	11193	3080,7	5	23
101	Primaria	32	R. DOS NOVILLOS	C	11193	5587,4	5	22
102	Primaria	6	R. TENORIO	C	1732	23245,0	5	19
103	Primaria	2	R. COTO COLORADO	C	4768	9115,6	5	18
104	Primaria	1	R. COROBICI B	C	8015	5076,9	5	18
105	Primaria	1	R. COROBICI A	C	8015	5073,6	5	18
106	Primaria	27	R. JESUS MARIA	C	18000	4947,2	5	18
107	Primaria	1	R. CANAS B	C	6082	795,2	5	18
108	Primaria	1	R. CANAS A	C	6082	785,2	5	18
109	Primaria	1	ASO SOBRE INTER. CANA	C	8015	385,2	5	18
110	Primaria	4	Q. TIGRE	C	5196	4929,7	5	16
111	Primaria	23	ESTERO MATA DE LIMON	C	13119	1332,2	5	16
112	Primaria	32	R. CHIRRIPO	C	8135	7476,4	5	15
113	Primaria	2	R. CLARO	C	7637	12768,1	5	13
114	Primaria	2	R. CARACOL	C	7637	7494,8	5	13
115	Secundaria	238	R. COTO	E	178	15687,9	5	12
116	Primaria	2	R. NUEVO	C	7637	3757,1	5	12
117	Primaria	2	R. CORREDORES	C	7835	594,5	5	12
118	Primaria	36	ESTERO NEGRO	C	3795	12677,3	5	11
119	Primaria	2	R. ABROJO	C	7835	2565,4	5	11
120	Primaria	36	R. ESTRELLA	C	3795	8368,2	5	9
121	Primaria	32	R. GUACIMO	C	11193	10153,4	6	22
122	Primaria	32	R. PARISMINA	C	11193	6368,0	6	22
123	Primaria	32	R. ROCA	C	20979	5579,7	6	20
124	Primaria	32	R. JIMENEZ	C	20979	5418,4	6	20



PRIORIDAD	ORDEN ADMINISTRATIVO	RUTA	NOMBRE PUENTE	IMPORTANCIA	TPD (2013)	DISTANCIA A ESTACIÓN LIS (m)	# ESTACIONE LIS (radio 30km)	# PUENTES (radio 30km)
125	Primaria	1	R. BARRANCA	C	18971	9862,7	6	17
126	Primaria	32	R. TORO AMARILLO	C	11162	987,5	6	17
127	Primaria	32	R. BLANCO	C	11162	1909,3	6	16
128	Secundaria	137	R. GRANDE DE TARCOLES	CO	616	3684,9	7	28
129	Terciaria	742	R. BARRANCA	CO	451	14795,3	7	24
130	Primaria	32	R. DESTIERRO	C	11193	6297,3	7	23
131	Primaria	32	R. CORINTO	C	11162	3329,0	7	15
132	Primaria	4	R. CHIRRIPO	C	6348	1704,1	7	15
133	Primaria	10	R. REVENTAZON	C	6094	3649,8	9	18
134	Primaria	27	R. SALITRAL	C	18000	4564,5	13	32
135	Primaria	32	R. SUCIO	C	9013	8294,0	15	45
136	Primaria	1	R. GRANDE	C	20645	2927,3	16	40
137	Primaria	1	OLORADO, RAFAEL IGLES	C	27275	5695,0	18	51
138	Primaria	1	R. ROSALES	C	27275	5822,9	23	58



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO B

DEFINICIÓN DE IMPORTANCIA DE PUENTES POR TRAMOS PARA LA RED VIAL NACIONAL



DETALLE DE CLASIFICACIÓN DE PUENTE POR CRITERIO APLICABLE

Ruta #	Criterios Puentes Críticos (C)					Criterios Puentes Esenciales (E)		Puentes Convencionales (CO)	Clasificación	
	C1	C2	C3	C4	C5	E1	E2	CO	Tramo A	Tramo B
Rutas Red Nacional Primaria	1	X	X	X	X				C	C
	2	X	X	X	X				C	C
	3	X		X	X		X		C (San José - Ruta 118)	E (Ruta 118 - Ruta 27)
	4	X		X					C	C
	5			X	X				C	C
	6							X	C	C
	10		X						C	C
	14	X							C (Criterio C6 puente "La Amistad")	C
	18				X				C	C
	21	X		X					C	C
	22			X	X				C	C
	23	X		X					C	C
	27	X		X		X			C	C
	32	X	X	X	X				C	C
	34			X					C	C
35	X		X				X	C (Frontera - Ruta 4)	E (Ruta 4 - Ruta 141)	
36	X		X	X				C	C	
39	X		X		X			C	C	
Rutas Red Nacional	102			X	X				C	C
	105			X	X	X	X		C (Ruta 27 - Escazú)	E (Escazú - Ruta 110)
	106						X		E	E
	107						X		E	E
	108			X	X				C	C
	110			X	X				C	C
	111	X			X				C	C
	112						X		E	E
113						X		E	E	
114							X	CO	CO	



116					X	CO (San Rafael Heredia- San Isidro)	E (San Isidro- Santo Domingo)
117				X		E	E
118				X		E	E
119				X		E	E
120			X			CO (Ruta 126 - ruta 146)	E (ruta 146 - acceso volcán)
121		X		X		C (Escazú Ruta 105 - Santa Ana)	E (Santa Ana - Ciudad Colón)
122	X		X			C	C
123				X		E	E
124				X		E	E
125					X	CO	CO
126			X	X		E	E
127					X	CO	CO
128				X		E	E
130				X	X	E (Alajuela - R. 718)	CO
131					X	CO	CO
132			X			E	E
133					X	CO	CO
135					X	CO	CO
136				X	X	E (Ruta 3 - Turrucares Ruta 27)	CO (Turrucares Ruta 27 - Santiago)
137					X	CO	CO
138			X			E	E
139					X	CO	CO
140				X		E	E
141			X	X		E	E
142			X	X		E	E
143					X	CO	CO
145					X	CO	CO
146					X	CO	CO
147	X	X	X			C	C
148				X		E	E
149				X		E	E
150			X			E (Samara- Nicoya)	CO (Nicoya- Talolinga)
151				X		E	E
152					X	CO	CO
153	X	X	X			C	C
155				X		E	E
157					X	CO	CO



158					X	CO	CO
159					X	CO	CO
160			X	X		E	E
161					X	CO	CO
163					X	CO	CO
164					X	CO	CO
165					X	CO	CO
167			X			C	C
168					X	CO	CO
169					X	CO	CO
170					X	CO	CO
173			X			C	C
175						E	E
177						E	E
180					X	CO	CO
201			X			C	C
204	X	X	X			C	C
205						E	E
206					X	E (Ruta 209 - Higuito de Desamparados)	CO (Higuito - Ruta 228)
207			X			C	C
209			X	X	X	C (San Jose - Aserri)	E (Aserri - Ruta 239)
210			X			C	C
211			X			C	C
212						E	E
213						E	E
214			X			C	C
215		X	X			C	C
216					X	E (Puente río Virilla)	CO (todos los demas)
217					X	E (Puente río Cañas)	CO (todos los demas)
218			X		X	C (San Jose - Ipis)	CO (Ipis - ruta 401)
219				X	X	E	E (Acceso volcán)
220						E	E
221						E	E
222					X	CO	CO
223					X	CO	CO
224					X	E (Paraiso - Orosi)	CO (Orosi - Ujarras)
225					X	CO	CO
226			X			E	E
227			X			E	E
228					X	E (Puente río Reventado)	CO (todos los demas)



229				X	CO	CO	
230			X	X	E (Puente río Turrialba)	CO (todos los demas)	
231			X		E	E	
232		X			E	E	
233			X		E	E	
234		X			E	E	
235		X	X		E	E	
236			X		E	E	
237		X	X		E	E	
238		X			E	E	
239			X		E (Ciudad Colon - Santiago)	CO (Santiago de Puriscal - ruta 34)	
240	X	X	X		C	C	
241				X	CO	CO	
242		X		X	CO (San Isidro-Rivas)	E (Rivas-Chirripo)	
243		X			E	E	
244		X			E	E	
245		X			E	E	
246				X	CO	CO	
247		X			E	E	
248		X		X	E (Guacimo - Jimenez)	CO (Jimenez - ruta 247)	
249		X			E	E	
250		X	X		E	E	
251	X				C	C	
256		X			E	E	
Rutas Red Nacional Terciaria							
301				X	CO	CO	
303				X	CO	CO	
304				X	CO	CO	
306	X				C	C	
307				X	CO	CO	
308				X	CO	CO	
310			X		E	E	
313				X	CO	CO	
314				X	CO	CO	
315				X	CO	CO	
316				X	CO	CO	
318				X	CO	CO	
319				X	CO	CO	
320				X	CO	CO	
321				X	CO	CO	
322				X	CO	CO	
323				X	CO	CO	
324				X	CO	CO	
325				X	CO	CO	



326			X	CO	CO
327			X	CO	CO
328			X	CO	CO
329			X	CO	CO
330			X	CO	CO
331			X	CO	CO
333			X	CO	CO
334			X	CO	CO
335			X	CO	CO
336			X	CO	CO
401			X	CO	CO
402			X	CO	CO
403			X	CO	CO
405			X	CO	CO
406			X	CO	CO
408			X	CO	CO
409		X	X	E (Puente río Tiribi)	CO (todos los demas)
411			X	CO	CO
413			X	CO	CO
414			X	CO	CO
415		X	X	E (Puente río Turrialba)	CO (todos los demas)
416			X	CO	CO
417			X	CO	CO
502			X	CO	CO
504			X	CO	CO
505			X	CO	CO
506			X	CO	CO
507			X	CO	CO
510			X	CO	CO
601			X	CO	CO
604			X	CO	CO
606			X	CO	CO
607			X	CO	CO
608			X	CO	CO
609			X	CO	CO
610			X	CO	CO
611			X	CO	CO
612			X	CO	CO
613			X	CO	CO
614			X	CO	CO
615			X	CO	CO
616			X	CO	CO
617			X	CO	CO
620			X	CO	CO
622			X	CO	CO



623		X	CO	CO
625		X	CO	CO
702		X	CO	CO
703		X	CO	CO
704		X	CO	CO
705		X	CO	CO
707		X	CO	CO
708		X	CO	CO
709		X	CO	CO
710		X	CO	CO
712		X	CO	CO
713		X	CO	CO
714		X	CO	CO
715		X	CO	CO
716		X	CO	CO
717		X	CO	CO
720		X	CO	CO
721		X	CO	CO
725		X	CO	CO
727		X	CO	CO
728		X	CO	CO
729		X	CO	CO
730		X	CO	CO
731		X	CO	CO
732		X	CO	CO
733		X	CO	CO
734		X	CO	CO
735		X	CO	CO
737		X	CO	CO
738		X	CO	CO
739		X	CO	CO
741		X	CO	CO
742		X	CO	CO
744		X	CO	CO
745		X	CO	CO
746		X	CO	CO
747		X	CO	CO
748		X	CO	CO
749		X	CO	CO
750		X	CO	CO
751	X	X	E (Aguas Zarcas R-4)	CO (R-4 –R-35)
752		X	CO	CO
755		X	CO	CO
760		X	CO	CO
761		X	CO	CO
801		X	CO	CO



802		X	CO	CO
803		X	CO	CO
804		X	CO	CO
805		X	CO	CO
806		X	CO	CO
809		X	CO	CO
810		X	CO	CO
811		X	CO	CO
812		X	CO	CO
814		X	CO	CO
817		X	CO	CO
901		X	CO	CO
902		X	CO	CO
903		X	CO	CO
905		X	CO	CO
906		X	CO	CO
907		X	CO	CO
909		X	CO	CO
910		X	CO	CO
911		X	CO	CO
912		X	CO	CO
915		X	CO	CO
917		X	CO	CO
918		X	CO	CO
920		X	CO	CO
922		X	CO	CO
923		X	CO	CO
925		X	CO	CO
926		X	CO	CO
927		X	CO	CO
928		X	CO	CO
929		X	CO	CO
930		X	CO	CO
931		X	CO	CO
933		X	CO	CO
934		X	CO	CO
935		X	CO	CO
936		X	CO	CO
937		X	CO	CO
938		X	CO	CO



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO C

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y DE VULNERABILIDAD DE LOS PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
1	R. TORRES	39,0	24,0	3	0	207		Concreto	3	1	C	1,00	OP
1	PASO BAJO RUTA 39	31,0	30,8	1	35	502		Concreto	3	1	C	0,91	CUSA
1	JUAN PABLO IIA	201,0	30,0	8	0	602	1977	Concreto	3	3	C	1,05	MCC2
1	JUAN PABLO IIB	201,0	30,0	8	0	602	1977	Concreto	3	3	C	1,05	MCC2
1	R. VIRILLA	161,0	76,2	4	0	309		Acero	3	1	C	1,08	MAS2
1	PUENTE DEL CASTELLA	31,0	31,0	1	0	303		Acero	3	3	C	1,00	CUSA
1	FRANCISCO J. ORLICH (RUTA 111)	47,0	23,0	2	15	602	1992	Concreto	3	3	C	1,31	MCC2
1	PASO SOBRE RUTA 129	7,5	7,5	1	0	107		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
1	PUENTE INTERSECCION INTEL	47,0	23,0	3	0	607	1992	Concreto	3	3	C	1,17	MCC2
1	R. SEGUNDO	60,0	27,0	3	0	302	1957	Acero	3	3	C	1,05	MAS1
1	PASO ENTRADA AEROPUERTO	70,0	20,0	4	48	502	1965	Concreto	3	3	C	0,89	MAS1
1	PASO AEROPUERTO-RADIAL FJO	37,0	25,0	3	24	207	1965	Concreto	3	3	C	0,96	OP
1	R. CIRUELAS	35,0	23,4	3	0	207	1961	Concreto	3	3	C	1,00	OP
1	PASO BAJO RUTA 124	35,0	23,0	3	4	207	1961	Concreto	3	3	C	1,00	OP
1	PASO BAJO FERROCARRIL	49,0	16,0	4	15	302	1968	Acero	3	2	C	1,05	MAS1
1	PASO BAJO CANTONAL A	31,0	31,0	1	0	502	1961	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	PASO BAJO CANTONAL B	31,0	31,0	1	0	502		Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. ALAJUELA	28,0	28,0	1	30	502	1961	Concreto	3	2	C	0,93	CUSA
1	INTERSECCION MANOLOS RUTA 3	82,0	22,0	4	54	502	1965	Concreto	3	3	C	0,83	MAS1
1	R. POAS	122,0	44,0	3	0	604	1965	Concreto	3	3	C	1,17	MCC1
1	PASO BAJO CANTONAL	31,0	31,0	1	0	502	1961	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. ROSALES	132,0	36,5	4	0	604	1965	Concreto	3	3	C	1,11	MCC1
1	PASO BAJO CANTONAL	31,0	31,0	1	0	502	1961	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
1	PASO BAJO CANTONAL	31,0	31,0	1	0	502	1961	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
1	R. COLORADO, RAFAEL IGLESIAS	205,0	124,0	5	0	600		Concreto	3	3	C	1,00	Sin asignar
1	R. GRANDE	89,0	39,0	3	0	302	1961	Acero	3	2	C	1,05	MAS1
1	PASO BAJO RUTA 148	31,0	31,0	1	0	502		Concreto	3	2	C	1,00	CUSA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
1	PASO BAJO CANTONAL	31,0	31,0	1	0	502	1961	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	PASO SOBRE RUTA 135	14,0	7,0	2	0	207		Concreto	3	2	C	1,00	OP
1	R. GRANDE	44,0	17,2	3	0	207	1961	Concreto	3	3	C	1,00	OP
1	Q. SIN NOMBRE	20,0						Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. BARRANCA	100,0	45,0	5	0	310	1941	Acero	3	2	C	1,02	MAS1
1	PASO SOBRE RUTA 23	41,0	40,0	1	18	505	1973	Concreto	3	2	C	0,98	CUSA
1	R. NARANJO 1	31,0	15,0	2	0	402		Acero	3	3	C	1,10	MCA1
1	R. NARANJO 2	35,0	34,0	1	0	303	1949	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. CIRUELAS	32,8	32,8	1	0	303	1949	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. SECO	38,7	38,7	1	0	310	1941	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. ARANJUEZ	89,0	38,4	3	0	409	2002	Acero	3	2	C	1,17	MCA2
1	R. SARDINAL	17,6	17,6	1	0	302	1949	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. GUACIMAL	67,3	67,3	1	0	310	1941	Acero	3	3	C	1,00	CUSA
1	R. LAGARTO	60,0	59,9	1	0	310	1941	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. CANAMAZO	16,0	15,0	1	0	102	1949	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. CONGO	22,0	21,0	1	0	302	1949	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. ABANGARES	103,0	60,0	2	0	310	1949	Acero	3	2	C	1,09	MAS1
1	R. DESJARRETADO	27,0	27,0	1	0	302	1949	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. LAJAS	40,0	37,8	3	0	202	1949	Concreto	3	2	C	1,17	MCC1
1	R. HIGUERON	32,8	32,8	1	0	303	1949	Acero	3	3	C	1,00	CUSA
1	R. SAN MIGUEL	19,0	18,0	1	0	302	1949	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. SALITRAL	10,0	9,1	1	0	101	1949	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
1	R. JABILLO	40,0	15,0	3	0	202	1953	Concreto	3	2	C	1,17	MCC1
1	R. CANAS B	60,0	30,0	3	0	302	2002	Acero	3	3	C	1,13	MAS2
1	R. CANAS A	60,0	30,0	3	0	604	2002	Concreto	3	3	C	1,17	MCC2
1	PASO SOBRE INTER. CANAS	341,6	29,5	14	0	602	2012	Concreto	3	2	C	1,03	MCC2
1	R. SANDILLAL A	30,0	30,0	1	0	502	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. SANDILLAL B	30,0	30,0	1	0	622	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	C. DEL SUR B	22,5	22,5	1	20	504	2002	Concreto	3	2	C	0,97	CUSA
1	C. DEL SUR A	18,0	12,3	3	0	622	2002	Concreto	3	2	C	1,00	OP
1	R. COROBICI B	75,2	26,8	3	0	602	2012	Concreto	3	2	C	1,17	MCC2



RUOTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
1	R. COROBICIA	75,2	26,8	3	0	602	2012	Concreto	3	2	C	1,17	MCC2
1	PASO SOBRE INTER. UPALA	32,5	32,5	1	0	502	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. TENORIO A	57,0	56,6	1	0	505	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. TENORIO B	55,0	21,0	3	0	302	2002	Acero	3	2	C	1,13	MAS2
1	R. BLANCO A	42,0	42,0	1	0	504	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. BLANCO B	40,0	21,0	3	0	302	2002	Acero	3	2	C	1,13	MAS2
1	R. MONTENEGRO B	40,0	15,0	3	0	202	2002	Concreto	3	2	C	1,17	MCC2
1	R. MONTENEGRO A	39,5	39,5	1	0	502	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
1	C. DEL OESTE A	27,0	27,0	1	14	502	2010	Concreto	3	2	C	0,99	CUSA
1	C. DEL OESTE B	27,0	27,0	1	14	502	2010	Concreto	3	2	C	0,99	CUSA
1	R. VILLA VIEJA B	21,0	21,6	1	0	302	2002	Acero	3	1	C	1,00	CUSA
1	R. VILLA VIEJA A	22,0	23,7	1	0	504	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
1	R. ESTANQUE	20,4	20,4	1	0	522	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
1	PASO SOBRE INT. BAGACES	177,0	24,5	8	0	602	2012	Concreto	3	1	C	1,05	MCC2
1	R. PIEDRAS B	55,0	21,0	3	0	202	2002	Concreto	3	1	C	1,17	MCC2
1	R. PIEDRAS A	56,6	56,6	1	0	505	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
1	R. POTRERO B	35,0	36,0	1	20	502	2007	Concreto	3	1	C	0,97	CUSA
1	R. POTRERO A	35,0	36,0	1	20	502	2007	Concreto	3	1	C	0,97	CUSA
1	R. URRACA A	13,0	12,6	1	0	102	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
1	R. URRACA B	13,0	12,6	1	0	102	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
1	R. PIJJE	18,7	18,7	1	0	522	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
1	R. SALTO B	53,0	33,5	5	0	111	2002	Concreto	3	1	C	1,00	Sin asignar
1	R. SALTO A	53,0	52,7	1	0	505	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
1	Q. CARANA A	27,0	27,5	1	0	302	2002	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	Q. CARANA B	27,5	27,5	1	31	502	2002	Concreto	3	2	C	0,93	CUSA
1	R. ARENAS	22,0	21,3	1	0	302	2002	Acero	3	3	C	1,00	CUSA
1	R. ARENAS	24,5	24,5	1	0	504	2002	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
1	R. LIBERIA	47,0	47,0	1	0	504	2002	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
1	PASO INTER. BARRIO LA CRUZ	32,5	32,5	1	0	502	2002	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
1	PASO SOBRE INTER. LIBERIA	280,8	32,0	11	0	602	2012	Concreto	3	2	C	1,03	MCC2
1	PASO A COLEGIO TECNICO	32,5	32,5	1	0	502	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
1	R. CLARO	19,0	18,5	1	0	302	1953	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
1	R. STA INES	27,0	27,0	1	15	302	1953	Acero	3	1	C	0,98	CUSA
1	R. COLORADO	53,0	33,5	5	0	111	1953	Concreto	3	1	C	1,00	Sin asignar
1	R. IRIGARAY	39,0	15,0	3	0	207	1953	Concreto	3	1	C	1,00	OP
1	R. AHOGADOS	89,0	60,0	3	0	310	1949	Acero	3	1	C	1,05	MAS1
1	R. AZUFRAO	31,0	19,5	3	0	207	1949	Concreto	3	1	C	1,00	OP
1	R. TEMPISQUITO	72,0	27,0	3	0	302	1949	Acero	3	1	C	1,05	MAS1
1	R. SONZAPOTE	25,0	24,0	1	0	302	1953	Acero	3	1	C	1,00	CUSA
1	R. LAS VUELTAS	47,0	27,0	2	0	302	1953	Acero	3	2	C	1,09	MAS1
1	R. CABALCETA	30,0	30,0	1	15	302	1953	Acero	3	2	C	0,98	CUSA
2	FUENTE HISPANIDAD A	173,0	30,0	7	5	602	1977	Concreto	3	3	C	1,05	MCC2
2	FUENTE HISPANIDAD B	168,0	30,0	7	5	602	1977	Concreto	3	3	C	1,05	MCC2
2	R. PURRUSES	12,0	12,0	1	0	302	1996	Acero	3	3	C	1,00	CUSA
2	R. MARIA AGUILAR	12,0	12,0	1	0	302	1996	Acero	3	3	C	1,00	CUSA
2	PASO SOBRE RUTA 252	57,4	28,7	2	40	502		Concreto	3	3	C	1,09	MAS1
2	PASO BAJO CANTONAL	50,0	25,0	2	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,25	MAS1
2	PASO SOBRE CANTONAL	14,0	14,0	1	0	107		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
2	R. TIRIBI B	35,0	23,0	3	15	207	1969	Concreto	3	3	C	0,98	OP
2	R. TIRIBI A	35,0	23,0	3	15	207	1969	Concreto	3	3	C	0,98	OP
2	PASO BAJO CANTONAL	56,4	27,5	2	19	302	1969	Acero	3	3	C	1,06	MAS1
2	R. CHIQUITO B	41,0	20,0	2	30	502	1969	Concreto	3	3	C	1,16	MAS1
2	R. CHIQUITO A	41,0	20,0	2	30	502	1969	Concreto	3	3	C	1,16	MAS1
2	Q. EL FIERRO 2	19,0	8,0	3	0	201	1953	Concreto	3	3	C	1,17	MCC1
2	Q. EL FIERRO 1	24,0	8,0	3	15	201	1953	Concreto	4	3	C	1,14	MCC1
2	R. PURIRES	39,5	16,0	3	0	402		Acero	4	3	C	1,05	MCA1
2	R. SAN ISIDRO	37,0	18,0	2	30	102	1953	Concreto	4	2	C	1,16	MAS2
2	R. JILGUERO	41,0	15,0	3	0	102	1953	Concreto	3	2	C	1,13	MAS2
2	R. PEJE	31,0	12,0	3	0	201	1953	Concreto	3	2	C	1,17	MCC1
2	R. GENERAL	78,0	45,0	3	0	310	1953	Acero	3	2	C	1,05	MAS1
2	R. CAJON	31,0	12,0	3	0	201	1953	Concreto	3	2	C	1,17	MCC1
2	R. UNION	85,0	45,0	3	0	310	1953	Acero	3	2	C	1,05	MAS1



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
2	R. CONVENTO	88,0	30,0	4	0	302	1953	Acero	3	2	C	1,03	MAS1
2	R. SONADOR	60,0	27,0	3	0	302	1953	Acero	3	2	C	1,05	MAS1
2	R. CACAO	65,0	24,0	3	0	402	1953	Acero	3	2	C	1,03	MCA1
2	R. VOLCAN	79,0	45,0	3	0	310	1953	Acero	3	2	C	1,05	MAS1
2	R. CANAS	69,0	30,0	3	0	302	1953	Acero	3	3	C	1,05	MAS1
2	R. CEIBO	136,0	30,0	5	55	302	1953	Acero	3	3	C	0,77	MAS1
2	Q. LAS VUELTAS	37,0	36,0	1	0	502		Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
2	Q. LOPEZ	54,8	18,0	3	15	102	1953	Concreto	3	3	C	1,11	MAS1
2	R. PLATANARES	63,0	30,0	3	15	302	1953	Acero	3	3	C	1,03	MAS1
2	R. GENERAL	232,0	77,0	3	0	310	1953	Acero	3	3	C	1,05	MAS1
2	R. CATARATAS	54,8	18,0	3	0	102	1953	Concreto	4	3	C	1,13	MAS1
2	R. ESCUADRA	66,0	27,0	3	0	302	1953	Acero	4	2	C	1,05	MAS1
2	R. CAMPANA	63,0	24,0	3	0	302	1953	Acero	4	3	C	1,05	MAS1
2	R. CURRE	102,0	30,0	4	0	302	1953	Acero	4	2	C	1,03	MAS1
2	R. PUERTO NUEVO	106,0	24,0	5	0	302	1953	Acero	4	3	C	1,02	MAS1
2	R. DICIPLINA	55,0	30,0	3	0	302	1953	Acero	4	3	C	1,05	MAS1
2	R. ZAPOTE	57,0	21,0	3	0	202	1953	Concreto	4	3	C	1,17	MCC1
2	R. CANA BLANCA	47,0	18,0	3	0	202	1953	Concreto	4	3	C	1,17	MCC1
2	R. TERRABA	343,0	75,0	7	0	310	1953	Acero	4	2	C	1,02	MAS1
2	R. CULEBRA	35,0	15,0	3	0	102	1953	Concreto	4	3	C	1,13	MAS1
2	R. TINOCO	41,0	15,0	3	0	101	1953	Concreto	4	4	C	1,13	MAS1
2	Q. BONITA	21,0	21,0	1	0	302	1953	Acero	4	4	C	1,00	CUSA
2	R. SABALO	35,0	15,0	3	0	102	1953	Concreto	4	4	C	1,13	MAS1
2	R. CANA BLANCAL	45,0	18,0	3	0	202	1953	Concreto	4	4	C	1,17	MCC1
2	R. SALAMA NUEVO	45,8	15,0	3	0	102	1953	Concreto	4	4	C	1,13	MAS1
2	R. SALAMA VIEJO	57,0	21,0	3	0	202	1953	Concreto	4	4	C	1,17	MCC1
2	R. OLLA CINCO	30,0	30,0	1	0	302	1953	Acero	4	1	C	1,00	CUSA
2	R. PIEDRAS BLANC	51,0	18,0	3	0	102	1953	Concreto	4	2	C	1,13	MAS1
2	R. BALLAS PIT	13,0	12,0	1	0	102	1953	Concreto	4	1	C	1,00	CUSA
2	R. ESQUINAS	47,0	30,0	2	0	302	1953	Acero	4	1	C	1,09	MAS1
2	R. ORO	18,0	18,0	1	30	102	1953	Concreto	4	1	C	0,93	CUSA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
2	R. COTO COLORADO	66,0	45,0	2	0	310	1953	Aceros	4	1	C	1,09	MAS1
2	R. LAGARTO	99,0	30,0	4	0	402	1953	Aceros	4	4	C	1,02	MCA1
2	R. CLARO	60,0	27,0	3	0	302	1953	Aceros	4	4	C	1,05	MAS1
2	Q. MINA	20,0						Aceros	4	4	C	1,00	CUSA
2	R. CARACOL	72,0	27,5	3	0	302	1953	Aceros	4	4	C	1,05	MAS1
2	Q. EL CEIBO	15,0	15,0	1	0	500		Concreto	4	4	C	1,00	CUSA
2	R. NUEVO	57,0	21,0	3	0	202	2002	Concreto	4	4	C	1,17	MCC2
2	Q. FORTUNA	19,0	19,0	1	0	504	2002	Concreto	4	4	C	1,00	CUSA
2	R. CORREDORES	124,0	60,0	3	0	310	1953	Aceros	4	1	C	1,05	MAS1
2	R. ABROJO	73,2	18,0	4	0	104	1953	Concreto	4	4	C	1,08	MAS1
2	R. COLORADITO	39,0	15,0	3	0	202	1953	Concreto	3	1	C	1,17	MCC1
2	Q. GUAYABAL	17,0	17,0	1	0	504	2002	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
3	R. VIRILLA	107,0	50,0	3	0	309	1977	Aceros	3	1	C	1,13	MAS2
3	Q. SECA	23,5						Concreto	3	3	C	1,00	Sin asignar
3	R. SEGUNDO	28,0						Concreto	3	3	C	1,00	Sin asignar
3	R. CIRUELAS	17,0	17,0	1	0	811		Mampo	3	3	C	1,00	Sin asignar
3	R. GRANDE	15,0	15,0	1	0	811		Mampo	3	3	E	1,00	Sin asignar
3	R. CUAJINIQUIL	13,0						Concreto	3	3	E	1,00	CUSA
3	R. MACHUCA	43,0	12,0	4	0	102		Concreto	3	3	E	1,08	MAS1
3	Q. CHAVARRIA	14,0	8,0	3	0	207		Concreto	3	2	E	1,00	OP
3	Q. VARGAS	25,0	9,0	3	0	207		Concreto	3	2	E	1,00	OP
3	Q. LOPEZ	6,0	6,0	1	0	101		Concreto	3	2	E	1,00	CUSA
3	R. MACHUCA B	60,0	35,0	3	0	502	1977	Concreto	3	2	E	1,13	MAS2
3	R. MACHUCA A	30,1	30,1	1	0	111		Concreto	3	2	E	1,00	CUSA
3	PASO BAJO RUTA 27	14,0	14,0	1	30	501	1977	Concreto	3	2	C	0,93	CUSA
4	R. CHIRRIPO	179,0	82,8	3	0	606	2002	Concreto	3	1	C	1,17	MVC2
4	R. BRAZO DEL SUCIO	35,5	35,5	1	0	502	1969	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
4	R. SAN JOSE	42,0	20,0	2	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,25	MAS1
4	Q. ISLA GRANDE	35,0	35,0	1	0	502	1969	Concreto	2	4	C	1,00	CUSA
4	Q. TIGRE	57,0	35,0	2	0	502	1983	Concreto	3	4	C	1,25	MAS2
4	R. SARAPIQUI	101,0	55,0	3	0	402	1969	Aceros	3	4	C	1,17	MCA2



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SEGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
4	R. AGUAS ZARCAS	23,0	23,2	1	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
4	R. KOPPER	34,5	17,0	2	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,25	MAS1
4	R. SAN RAFAEL	58,0	28,0	2	30	502	1969	Concreto	3	4	C	1,16	MAS1
4	R. SAN CARLOS	82,0	39,6	3	0	302	1969	Acero	2	4	C	1,05	MAS1
4	R. ESTERO HONDO	25,0	24,7	1	0	303	1973	Acero	3	4	C	1,00	CUSA
4	R. PENAS BLANCAS	62,0	61,0	1	0	310		Acero	3	4	C	1,00	CUSA
4	R. BURIO	46,0	22,0	3	26	502	1969	Concreto	2	4	C	1,07	MAS1
4	R. ARENAL	55,2	55,2	1	0	303	2002	Acero	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. PATASTE	23,0	22,0	1	15	502	1973	Concreto	2	2	C	0,98	CUSA
4	R. JICARITO	37,0	15,0	3	0	502	1973	Concreto	2	2	C	1,13	MAS1
4	R. DELICIAS	40,0	28,0	2	0	502	1973	Concreto	2	2	C	1,25	MAS1
4	R. CACAO	26,0	25,0	1	0	502	1973	Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. LA MUERTE	62,0	25,0	3	0	502	1973	Concreto	2	2	C	1,13	MAS1
4	R. CUCARACHA	49,0	25,0	2	0	502	1973	Concreto	2	4	C	1,25	MAS1
4	R. FRIO	72,0	35,0	3	0	502	1977	Concreto	2	4	C	1,13	MAS2
4	R. SAMEN	29,0	28,0	1	0	502	1977	Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. GUAYABO	29,0	28,0	1	0	502	1977	Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. BUENA VISTA O CELESTE	44,0	25,0	2	0	502	1977	Concreto	2	2	C	1,25	MAS2
4	Q. PLATA	10,0	10,0	1	0	107	1977	Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. MONICO	10,0	9,5	1	30	107	1977	Concreto	2	2	C	0,93	CUSA
4	R. RITO	42,0	20,5	2	0	502	1973	Concreto	2	2	C	1,25	MAS1
4	R. CANO NEGRO	34,0	33,0	1	0	303	1973	Acero	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. CHIMURRIA	29,0	29,0	1	0	502		Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. ACHIOTE	26,0	25,4	1	0	502	1973	Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. ZAPOTE	61,0	60,0	1	0	310		Acero	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. GUACALITO	29,0	28,5	1	0	502		Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. PIZOTILLO	21,0	20,5	1	0	502		Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. PIZOTE	56,0	56,0	1	0	310	1977	Acero	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. MECHAS	28,5	28,5	1	0	502		Concreto	2	2	C	1,00	CUSA
4	R. HACIENDAS	47,0	28,5	2	0	502		Concreto	2	2	C	1,25	MAS1
4	R. OROSI	27,3	27,3	1	0	502	1977	Concreto	2	2	C	1,00	CUSA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
4	R. MENA	26,0	25,0	1	20	502	1977	Concreto	2	3	C	0,97	CUSA
4	R. SABALO	25,0	24,0	1	0	309		Acero	3	3	C	1,00	CUSA
4	R. ANIMAS	29,0	28,0	1	0	502	1977	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
4	R. SAPOA	36,0	35,0	1	0	502	1977	Concreto	3	1	C	1,00	CUSA
5	PASO BAJO RUTA 100	7,3	7,3	1	0	501	1977	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
5	Q. RIVERA	30,0	30,0	1	0	502	2002	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
5	R. VIRILLA	46,0	20,0	3	0	602	1977	Concreto	3	1	C	1,17	MCC2
5	R. BERMUDEZ	7,0	7,0	1	0	811		Mampo	3	3	C	1,00	Sin asignar
6	C. DE RIEGO	26,0						Concreto	3	1	C	1,00	Sin asignar
6	R. TENORIO	66,0	25,0	3	30	502	1965	Concreto	2	3	C	1,05	MAS1
6	R. NARANJO	26,0	25,0	1	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
6	R. ZAPOTE	74,0	45,0	2	0	302	1969	Acero	3	2	C	1,09	MAS1
10	PASO SOBRE RUTA 10	16,0	16,0	1	30	107		Concreto	3	3	C	0,93	CUSA
10	R. REVENTADO B	40,0	40,0	1	0	505	1977	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
10	R. REVENTADO A	40,0	40,0	1	0	505	1977	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
10	R. TOYOGRES	6,0	6,0	1	0	107		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
10	PASO BAJO FERROCARRIL	8,0	8,0	1	0	811		Mampo	3	3	C	1,00	Sin asignar
10	R. PAEZ	9,8	9,8	1	0	107		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
10	R. BIRRISS	27,0	16,0	3	0	207	1969	Concreto	3	3	C	1,00	OP
10	Q. HONDA	7,0	6,0	1	0	107	1977	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
10	R. MARAVILLA	16,0	15,9	1	46	502	1977	Concreto	3	3	C	0,83	CUSA
10	R. CHIZ	9,0	9,0	1	0	102		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
10	R. REVENTAZON	105,0	42,6	5	0	309	1953	Acero	3	4	C	1,02	MAS1
10	R. CHITARIA	17,0	17,0	1	0	309	1953	Acero	3	3	C	1,00	CUSA
10	PASO SOBRE RUTA 32	21,0	20,0	1	6	502	1969	Concreto	4	2	C	1,00	CUSA
14	Q. LOPEZ	10,0	9,2	1	0	101		Concreto	4	4	C	1,00	CUSA
14	R. COTO COLORADO	37,0	18,5	3	0	303		Acero	4	4	C	1,10	MAS1
14	R. K 20	9,5	9,5	1	0	302		Acero	4	4	C	1,00	CUSA
14	Q. 19	9,0	9,0	1	0	302		Acero	4	4	C	1,00	CUSA
14	Q. MONA	9,0	9,0	1	17	101	1961	Concreto	4	2	C	0,98	CUSA
14	Q. PURRUJA	13,0	13,0	1	0	102		Concreto	4	3	C	1,00	CUSA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
14	Q. SIN NOMBRE	7,0						Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
17	PASO BAJO RUTA 17	21,0	7,0	3	0	207		Concreto	3	2	C	1,00	OP
18	Q. PINUELA	35,0	23,4	3	0	207	1973	Concreto	3	2	C	1,00	OP
18	R. TEMPISQUE AMISTAD	782,0	170,0	10	0	414		Acero	4	3	C	1,00	PM2
18	Q. HONDA	26,0	25,0	1	30	502	1973	Concreto	4	1	C	0,93	CUSA
18	R. NACAOME	31,0	30,0	1	0	302	2010	Acero	4	2	C	1,00	CUSA
18	R. PUEBLO VIEJO	31,0	30,0	1	0	302	2010	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
21	R. LIBERIA 1	20,0	20,0	1	0	107		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
21	R. LIBERIA 2	12,0	12,3	1	0	107		Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
21	Q. HONDA	13,0	12,7	1	0	102		Concreto	4	3	C	1,00	CUSA
21	R. TEMPISQUE NUEVO	93,0	92,0	1	0	310	1969	Acero	4	3	C	1,00	CUSA
21	R. LAS PALMAS	21,0	22,0	1	0	107		Concreto	4	2	C	1,00	CUSA
21	R. GALLINA	12,0	12,0	1	0	302		Acero	4	2	C	1,00	CUSA
21	R. BELEN	32,0	12,0	3	0	102		Concreto	4	2	C	1,13	MAS1
21	R. CARRIZAL	13,0	12,0	1	0	302		Acero	4	2	C	1,00	CUSA
21	R. CANAS	85,0	34,7	3	0	402	1957	Acero	4	3	C	1,03	MCA1
21	R. DIRIA	58,0	36,3	3	0	303	1957	Acero	4	2	C	1,05	MAS1
21	R. EN MEDIO	67,0	19,0	4	0	207	1961	Concreto	4	2	C	1,00	OP
21	R. MOROTE	92,0	91,4	1	0	310	1969	Acero	4	3	C	1,00	CUSA
21	R. SANTA RITA	13,0	12,0	1	0	104	1957	Concreto	4	2	C	1,00	CUSA
21	R. NANDAYURE	29,0	9,5	3	30	101	1961	Concreto	4	2	C	1,05	MAS1
21	Q. SAN PEDRO	73,0	25,0	4	0	502	1961	Concreto	4	2	C	1,08	MAS1
21	R. SAN PEDRO	16,0	15,5	1	0	502	1961	Concreto	4	2	C	1,00	CUSA
21	R. SAN PEDRO	19,0	18,6	1	10	102	1961	Concreto	4	2	C	0,99	CUSA
21	R. LEPANTO	20,0	20,0	1	0	302		Acero	4	4	C	1,00	CUSA
21	R. CABO BLANCO	13,0						Acero	3	2	C	1,00	CUSA
22	PASO SOBRE RUTA 27	43,0						Concreto	3	2	C	1,00	Sin asignar
22	R. PACACUA	22,0	22,0	1	30	502	1996	Concreto	3	2	C	0,93	CUSA
23	R. BARRANCA	177,8	35,0	5	10	502	1969	Concreto	3	4	C	1,05	MAS1
23	ESTERO MATA DE LIMON	74,0	24,0	3	0	502	1996	Concreto	3	4	C	1,13	MAS2
23	PASO BAJO RUTA 27	22,0	21,6	2	0	601	1977	Concreto	3	4	C	1,33	MCC2



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
27	PASO BAJO INTER. SABANA (RUTA 10)	37,0	25,0	3	9	207	1969	Concreto	3	3	C	0,99	OP
27	PASO BAJO FERROCARRIL	70,0	23,0	4	54	302	1968	Acero	3	3	C	0,79	MAS1
27	PASO BAJO RUTA 39	39,2	19,6	2	0	604	2004	Concreto	3	3	C	1,33	MCC2
27	PASO BAJO CAMINO ANONOS	46,0	45,0	1	13	505	1969	Concreto	3	3	C	0,99	CUSA
27	R. TIRIBI	97,0	44,0	3	0	402	2002	Acero	3	3	C	1,17	MCA2
27	PASO BAJO INTER A ESCAZU (RUTA 10)	37,0	25,0	3	17	207	1969	Concreto	3	3	C	0,98	OP
27	PASO BAJO INTER A TREJOS-MONT.	10,0	10,0	1	0	522	2004	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	R. AGRES	89,0	45,0	3	30	302	2002	Acero	3	3	C	1,05	MAS2
27	PASO BAJO SOBRE CANTONAL	20,7	10,6	2	0	522	2004	Concreto	3	2	C	1,25	MAS2
27	PASO BAJO SOBRE RUTA 310	18,9	18,9	1	0	522	2004	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	R. CORROGRES	39,0	22,0	2	0	502	1996	Concreto	3	2	C	1,25	MAS2
27	R. CORROGRES	39,0	22,0	2	0	502	1996	Concreto	3	2	C	1,25	MAS2
27	PASO BAJO SOBRE RUTA 310	7,0	7,0	1	0	101	2004	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO SOBRE RUTA 147	12,0	6,0	2	28	207		Concreto	3	2	C	0,94	OP
27	PASO BAJO CAMINO FORUM1	34,0						Concreto	3	2	C	1,00	Sin asignar
27	R. URUCA A	23,0	22,0	1	0	502	1996	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	R. URUCA B	23,0	22,0	1	0	502	1996	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO SOBRE CAMINO VECINAL	15,0						Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO SOBRE CAMINO VECINAL	10,0						Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	R. CARANA	29,0	28,0	1	0	502	1996	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	R. CARANA	29,0	28,0	1	0	502	1996	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO CANTONAL	39,0	38,4	1	10	502	2002	Concreto	3	2	C	0,99	CUSA
27	R. VIRILLA	252,0	157,0	1	0	506	1992	Concreto	3	3	C	1,00	PM2
27	PASO BAJO CANTONAL	26,0	25,3	1	0	522	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	R. SEGUNDO	33,0	32,0	1	0	302	2002	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO RUTA 124	38,0	20,0	2	10	622	2002	Concreto	3	2	C	0,99	OP
27	PASO BAJO RUTA 124	27,0	26,5	1	27	522	2002	Concreto	3	2	C	0,94	CUSA
27	PASO BAJO CANTONAL	20,6	20,6	1	32	522	2002	Concreto	3	2	C	0,92	CUSA
27	R. CIRUELAS	134,0	50,0	3	0	402	1992	Acero	3	2	C	1,17	MCA2
27	PASO BAJO CAMINO EL COYOL	26,0	25,5	1	4	522	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO SOBRE RUTA 721	29,0	29,0	1	33	502	2002	Concreto	3	2	C	0,92	CUSA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
27	PASO BAJO CANTONAL	22,0	21,5	1	0	522	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO CANTONAL	12,0	11,8	1	0	104	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	R. RIO GRANDE	297,0	193,5	1	0	506	1992	Concreto	3	3	C	1,00	PM2
27	PASO BAJO RADIAL ATENAS	26,0	26,0	1	5	504		Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO CANTONAL	30,0	30,0	1	0	502		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO FERROCARIL	40,0	19,5	2	35	502	2002	Concreto	3	3	C	1,13	MAS2
27	PASO BAJO CANTONAL	26,0	25,6	1	0	522	2002	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO RUTA 707	43,0	42,4	1	0	502	2002	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
27	R. CONCEPCION	297,0	182,6	3	0	607	1992	Concreto	3	3	C	1,00	PM2
27	R. SALITRAL	160,0	60,0	3	0	402	1992	Acero	3	2	C	1,17	MCA2
27	PASO BAJO CANTONAL	38,0	37,1	1	6	502	2002	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
27	PASO BAJO CANTONAL	29,0	15,0	2	0	101		Concreto	3	2	C	1,25	MAS2
27	PASO BAJO RUTA 757	28,0	27,7	2	0	601	1977	Concreto	3	2	C	1,33	MCC2
27	PASO SOBRE RUTA 34	21,0	20,4	2	0	601	1977	Concreto	3	2	C	1,33	MCC2
27	PASO BAJO CANTONAL	28,0	28,0	2	24	601	1977	Concreto	3	2	C	1,27	MCC2
27	R. JESUS MARIA	121,0	28,5	5	0	502	1996	Concreto	3	3	C	1,06	MAS2
27	PASO BAJO CANTONAL	27,0	26,8	2	21	601	1977	Concreto	3	2	C	1,29	MCC2
32	PASO BAJO RUTA 100	46,0	44,5	2	6	502	1969	Concreto	3	3	C	1,25	MAS1
32	PASO BAJO FERROCARIL	47,0	46,5	2	0	502	1973	Concreto	3	3	C	1,25	MAS1
32	PASO BAJO RUTA 101	45,0	22,0	2	12	502	1973	Concreto	3	3	C	1,24	MAS1
32	PUENTE GEMELO SOBRE RUTA 10:	31,0	30,0	1	24	504	1969	Concreto	3	3	C	0,96	CUSA
32	PUENTE GEMELO SOBRE RUTA 10:	31,0	30,0	1	24	504	1969	Concreto	3	3	C	0,96	CUSA
32	PASO SOBRE CANTONAL	18,0						Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
32	PASO SOBRE CANTONAL	18,0						Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
32	R. VIRILLA	286,0	82,8	5	0	607	1969	Concreto	3	1	C	1,08	MCC1
32	PASO BAJO CANTONAL	25,0						Concreto	3	3	C	1,00	Sin asignar
32	R. RUCIO	187,0	102,0	2	0	606	1977	Concreto	3	3	C	1,33	MVC2
32	Q. GONZALEZ	25,0	25,0	1	0	502	1977	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
32	R. CORINTO	72,0	35,0	2	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,25	MAS1
32	R. COSTA RICA	36,0	35,0	1	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
32	R. BLANCO	58,0	22,0	3	0	502	1965	Concreto	3	3	C	1,13	MAS1



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
32	R. DANTA	36,0	36,0	1	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
32	R. TORO AMARILLO	261,0	82,8	4	0	606	1969	Concreto	3	3	C	1,11	MVC1
32	R. MOLINO	35,0	35,0	1	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
32	R. JIMENEZ	62,0	30,0	2	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,25	MAS1
32	R. ROCA	62,0	30,0	2	0	502	1969	Concreto	3	3	C	1,25	MAS1
32	R. GUACIMO	92,0	30,0	3	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,13	MAS1
32	R. GUACIMITO	37,0	35,0	1	15	502	1969	Concreto	3	2	C	0,98	CUSA
32	R. PARISMINA	108,0	35,0	3	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,13	MAS1
32	R. DOS NOVILLOS	62,0	30,0	2	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,25	MAS1
32	R. DESTIERRO	98,0	35,0	3	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,13	MAS1
32	R. DOS VUELTAS	31,0	30,0	1	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
32	PASO SOBRE FERROCARRIL	22,0	22,0	1	0	504		Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
32	R. REVENTAZON	345,0	82,8	5	0	606	1969	Concreto	3	4	C	1,08	MVC1
32	R. SIQUIRRAS	66,0	28,0	3	17	502	1969	Concreto	3	2	C	1,10	MAS1
32	R. PACUARE	321,0	32,7	10	40	502	1965	Concreto	3	4	C	0,90	MAS1
32	R. PACUARITO	46,0	22,0	2	40	502	1965	Concreto	3	4	C	1,09	MAS1
32	R. CIMARRONES	77,0	25,0	3	15	502	1965	Concreto	3	2	C	1,11	MAS1
32	R. HONDO	44,5	22,0	2	45	502	1965	Concreto	3	2	C	1,05	MAS1
32	R. MADRE DE DIOS	70,0	28,0	3	20	502	1965	Concreto	3	2	C	1,09	MAS1
32	R. BARBILLA	100,0	32,9	3	24	502	1965	Concreto	3	2	C	1,08	MAS1
32	Q. CALDERON	26,0	25,0	1	0	502	1965	Concreto	3	4	C	1,00	CUSA
32	R. AGUAS CLARAS	26,0	25,0	1	0	502	1965	Concreto	3	4	C	1,00	CUSA
32	R. SAN MIGUEL	26,0	26,0	1	0	502	1965	Concreto	3	4	C	1,00	CUSA
32	R. CHIRRIPO	416,0	73,2	8	0	302	1965	Acero	3	4	C	1,01	MAS1
32	R. ESCONDIDO	22,0	22,0	1	22	502	1965	Concreto	3	4	C	0,96	CUSA
32	R. CUBA	69,0	22,0	3	30	502	1965	Concreto	3	4	C	1,05	MAS1
32	R. ROJO	26,0	25,0	1	0	502	1965	Concreto	3	4	C	1,00	CUSA
32	R. TORO	26,0	25,0	1	20	302	1965	Acero	3	4	C	0,97	CUSA
32	R. MADRE	34,5	17,0	2	0	502	1965	Concreto	3	2	C	1,25	MAS1
32	R. BLANCO	59,0	22,0	3	35	502	1965	Concreto	4	4	C	1,02	MAS1
34	R. GRANDE DE TARCOLES	344,0	83,0	5	0	606		Concreto	4	2	C	1,08	MVC1



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
34	R. TARCOLITOS	71,0	25,0	3	15	502	1969	Concreto	4	2	C	1,11	MAS1
34	R. LA PITA	29,0	28,0	1	0	502	1969	Concreto	4	2	C	1,00	CUSA
34	R. AGUJAS	46,0	22,0	2	0	502	1969	Concreto	4	2	C	1,25	MAS1
34	R. CANA BLANCA	30,0	30,0	1	15	302	1969	Acero	4	3	C	0,98	CUSA
34	R. MONA	47,0	32,7	2	40	502	1969	Concreto	4	3	C	1,09	MAS1
34	R. COPEY	26,0	25,0	1	15	502	1969	Concreto	4	3	C	0,98	CUSA
34	Q. SECA	30,0	15,0	2	0	502	1969	Concreto	4	3	C	1,25	MAS1
34	R. TUSUBRES	171,0	34,0	5	0	502	1969	Concreto	4	3	C	1,06	MAS1
34	R. PARRITA	172,0	60,0	3	0	602	1996	Concreto	4	3	C	1,17	MCC2
34	R. PALO SECO	36,0	36,0	1	20	502	1992	Concreto	4	3	C	0,97	CUSA
34	R. VUELTAS	36,0	36,0	1	30	302		Acero	4	3	C	0,93	CUSA
34	R. VALERIA	20,0	19,0	1	0	502		Concreto	4	3	C	1,00	CUSA
34	R. DAMAS	26,0	25,5	1	15	502		Concreto	4	3	C	0,98	CUSA
34	Q. BONITA	26,0	25,5	1	15	502		Concreto	4	3	C	0,98	CUSA
34	R. PAQUITA	113,0	56,2	2	0	602	1996	Concreto	4	3	C	1,33	MCC2
34	ESTERO COLEGIO	23,0	22,0	1	0	502	1983	Concreto	4	3	C	1,00	CUSA
34	R. NARANJO	199,0	56,5	4	0	602	1996	Concreto	4	1	C	1,11	MCC2
34	R. SAVEGRE	128,0	30,4	5	0	402	1965	Acero	4	3	C	1,08	MCA2
34	R. PORTALON	91,0	45,0	3	0	602	1996	Concreto	4	2	C	1,17	MCC2
34	Q. MATA PALO	54,0	27,0	3	0	604	1996	Concreto	4	4	C	1,17	MCC2
34	B. HATILLO NUEVO	44,0	43,5	1	55	502		Concreto	4	4	C	0,76	CUSA
34	R. HATILLO NUEVO	120,0	60,0	2	0	402	2002	Acero	4	4	C	1,33	MCA2
34	R. HATILLO VIEJO	91,0	45,0	2	0	402	2002	Acero	4	4	C	1,33	MCA2
34	R. BARU	138,0	35,0	4	0	502	1977	Concreto	4	4	C	1,08	MAS2
34	R. POZA AZUL	60,2	19,0	3	45	502	1977	Concreto	4	2	C	0,95	MAS2
34	Q. PEDREGOSA	26,0	26,0	1	0	502		Concreto	4	2	C	1,00	CUSA
34	R. HIGUERON	58,0	28,5	2	0	502	1977	Concreto	4	2	C	1,25	MAS2
34	R. UVITA	104,0	25,6	4	0	502	1977	Concreto	4	2	C	1,08	MAS2
34	Q. BALLENA	36,0	35,0	1	11	502	1983	Concreto	4	2	C	0,99	CUSA
34	Q. PINUELA	29,0	28,0	1	0	502	1983	Concreto	4	2	C	1,00	CUSA
34	R. TORTUGA	58,0	28,0	2	30	502	1973	Concreto	4	2	C	1,16	MAS1



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
34	R. BALSO	58,0	28,0	2	10	502	1973	Concreto	4	2	C	1,24	MAS1
34	R. PUNTA MALA	38,5	19,0	2	0	502	1973	Concreto	4	3	C	1,25	MAS1
34	R. CORONADO	55,0	22,0	3	30	502	1973	Concreto	4	3	C	1,05	MAS1
34	Q. SAN BUENA	24,0	24,0	1	0	302	1977	Acero	4	3	C	1,00	CUSA
34	Q. LA MONA	19,0	18,0	1	20	302		Acero	4	3	C	0,97	CUSA
34	Q. SECA	13,0	13,0	1	0	504		Concreto	4	3	C	1,00	CUSA
34	R. BALZAR	68,0	22,0	3	0	502	1977	Concreto	4	3	C	1,13	MAS2
34	R. CAMARONAL	28,0	28,0	1	30	502	1969	Concreto	3	3	C	0,93	CUSA
35	Q. MAQUINA	12,0	12,0	1	44	102		Concreto	3	2	E	0,85	CUSA
35	Q. SERENA	11,0	11,0	1	29	102		Concreto	3	2	E	0,94	CUSA
35	R. PLATANAR	50,0	25,5	2	0	302		Acero	3	2	E	1,09	MAS1
35	R. SAN RAFAEL	48,0	20,0	3	0	402		Acero	2	4	C	1,17	MCA2
35	R. KOOPER	45,0	22,0	3	0	502	1965	Concreto	2	4	C	1,13	MAS1
35	R. SAN CARLOS	124,0	61,0	3	0	606	1969	Concreto	2	2	C	1,17	MVC1
35	R. POCO SOL	48,0	22,0	3	15	502	1973	Concreto	2	2	C	1,11	MAS1
35	R. CHIMURRIA	65,0	28,0	3	30	502	1969	Concreto	2	2	C	1,05	MAS1
35	R. HERNANDEZ	26,0	25,0	1	0	502	1969	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA
36	R. CIENEGUITA	50,4	21,0	3	0	202		Concreto	3	2	C	1,17	MCC1
36	R. WESFALIA	16,0	16,0	1	0	302	1965	Acero	3	4	C	1,00	CUSA
36	R. BANANO	104,0	28,0	4	0	502	1969	Concreto	3	4	C	1,08	MAS1
36	R. VIZCAYA	67,2	22,0	3	0	502	1965	Concreto	3	4	C	1,13	MAS1
36	R. BANANITO	67,2	22,0	3	0	502	1983	Concreto	3	4	C	1,13	MAS2
36	ESTERO NEGRO	102,3	25,0	4	30	502	1992	Concreto	3	4	C	1,01	MAS2
36	ESTERO MARGARITA	34,5	17,0	2	30	502	1965	Concreto	3	4	C	1,16	MAS1
36	R. ESTRELLA	178,0	75,0	3	0	310	1965	Acero	3	4	C	1,05	MAS1
36	R. TUBA CREEK	28,0	27,4	1	0	309		Acero	3	4	C	1,00	CUSA
36	R. HONE CREEK	77,0	25,0	3	0	502	1977	Concreto	3	4	C	1,13	MAS2
36	R. DOS AGUAS	26,0	26,0	1	45	502		Concreto	3	3	C	0,84	CUSA
36	R. SAND BOX	16,0	16,0	1	0	302	1996	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
36	Q. CUABRE	16,0	16,0	1	0	302	1996	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
36	Q. COCLES	9,0	9,0	1	0	101	1996	Concreto	3	2	C	1,00	CUSA



RUTA	NOMBRE PUENTE	LARGO TOTAL (m)	TRAMO MÁXIMO (m)	# TRAMOS	SESGO (°)	TIPO NBI	FECHA NORMA	MATERIAL	ZONA SISMO	TIPO DE SUELO	IMP.	FACTOR POR SESGO Y FORMA	GRUPO DE FRAGILIDAD
36	C. FINCA 96	16,0	16,0	1	0	302	1996	Acero	3	4	C	1,00	CUSA
36	C. FINCA 97	16,0	16,0	1	0	302	1996	Acero	3	2	C	1,00	CUSA
36	R. SIXAOLA	247,0	132,6	3	0	310	1908	Acero	3	2	C	1,05	MAS1
36	R. SIXAOLA	247,0	62,0	4	0	303	2002	Acero	3	2	C	1,08	MAS2
39	PASO BAJO CANTONAL	25,0	12,2	2	25	504		Concreto	3	3	C	1,19	MAS1
39	PASO BAJO RUTA 104	29,0	14,4	2	27	504		Concreto	3	3	C	1,18	MAS1
39	PASO BAJO FERROCARRIL	37,0	22,0	2	15	604		Concreto	3	3	C	1,31	MCC2
39	PASO BAJO RUTA 167	24,0	12,0	2	0	504		Concreto	3	3	C	1,25	MAS1
39	R. MARIA AGUILAR	77,0	27,0	3	0	622	2010	Concreto	3	3	C	1,00	OP
39	R. MARIA AGUILAR	77,0	27,0	3	0	622	2010	Concreto	3	3	C	1,00	OP
39	PASO BAJO RUTA 177	10,7	10,7	1	0	107		Concreto	3	3	C	1,00	CUSA
39	PASO SOBRE RUTA 110	212,0	48,0	5	0	504	2002	Concreto	3	3	C	1,06	MAS2
39	PASO BAJO RUTA 214 A	27,0	14,5	2	0	207		Concreto	3	3	C	1,00	OP
39	PASO BAJO RUTA 214 B	27,0	14,5	2	0	207		Concreto	3	3	C	1,00	OP
39	PASO BAJO RUTA 175 A	55,0	30,0	2	10	502		Concreto	3	3	C	1,24	MAS1
39	PASO BAJO RUTA 175 B	55,0	30,0	2	10	502		Concreto	3	3	C	1,24	MAS1
39	PASO SOBRE RUTA 209 A	233,0	31,0	9	0	602	1992	Concreto	3	3	C	1,04	MCC2
39	PASO SOBRE RUTA 209 B	233,0	31,0	9	0	602	1992	Concreto	3	3	C	1,04	MCC2
39	PASO BAJO RUTA 204	40,0	19,5	2	0	502		Concreto	3	3	C	1,25	MAS1



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO D

ÍNDICE DE DAÑO POR VINCULO PARA LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA



CÓDIGO VÍNCULO	PUENTES POR VÍNCULO	LINK DAMAGE INDEX	AMBIENTE	PÉRDIDA ESTIMADA POR VÍNCULO (M USD)	VALOR REMPLAZO (M USD)	PÉRDIDA/REEMPLAZO %	LARGO DEL VÍNCULO (km)	PUENTES POR km POR VÍNCULO	AFECTACIÓN AL TRÁNSITO ESTIMADA (vehículos)
273	2,00		Urbano	0,10	3,91	2,47	3,58	0,56	
100	1,00		Urbano	0,22	4,92	4,43	0,58	1,72	
101	1,00		Urbano	0,22	4,92	4,43	0,58	1,72	
274	3,00		Urbano	0,34	10,63	3,23	13,16	0,23	
275	1,00		Urbano	0,05	0,53	9,24	3,49	0,29	
276	2,00	0,75	Urbano	0,90	3,39	26,42	6,62	0,30	
277	1,00	0,75	Urbano	0,91	2,84	32,12	2,38	0,42	
278	3,00		Urbano	0,21	2,81	7,55	3,27	0,92	
279	5,00	1,25	Urbano	0,84	3,78	22,11	16,95	0,29	9575
111	5,00	0,14	Rural	0,52	7,66	6,81	8,46	0,59	
110	1,00		Rural				8,51	0,12	
109	3,00	0,75	Rural	0,65	3,23	20,26	8,27	0,36	
108	2,00			0,10	1,50	6,90	4,77	0,42	
3	1,00						30,29	0,03	
106	1,00	0,75	Rural	0,43	2,10	20,42	5,30	0,19	
204	1,00		Rural	0,12	1,82	6,65	3,87	0,26	
87	10,00		Rural	0,61	8,60	7,14	45,20	0,22	
6	1,00	0,75	Rural	0,73	2,16	33,94	4,32	0,23	
86	9,00	0,10	Rural	0,89	24,42	3,64	21,59	0,42	
7	6,00		Rural	0,36	7,42	4,87	6,55	0,92	
116	12,00	0,14	Rural	0,67	12,78	5,23	15,34	0,78	
115	16,00		Rural	0,94	8,88	10,64	25,60	0,63	
8	9,00	0,14	Rural	1,08	4,85	22,25	55,14	0,16	
85	3,00	0,75	Rural	0,39	2,14	18,14	21,87	0,14	
143	1,00		Urbano	0,18	3,94	4,65	4,80	0,21	
262	1,00		Urbano	0,18	3,82	4,65	0,96	1,04	
19	1,00		Urbano	0,05	0,49	9,24	1,65	0,61	
120	1,00		Urbano	0,05	0,49	9,24	0,64	1,56	
280	2,00	1,06	Urbano	1,29	3,22	40,12	7,37	0,27	12372
121	6,00	1,30	Urbano	1,68	6,75	24,92	3,05	1,97	11700
139	2,00	0,14	Urbano	0,11	1,15	9,16	5,80	0,34	
124	1,00		Urbano	0,14	0,65	21,10	19,35	0,05	
16	2,00	0,14	Urbano	0,21	2,63	7,94	1,31	1,53	
17	15,00	2,57	Rural	6,63	24,50	27,08	84,84	0,18	1328
134	7,00	1,81	Rural	2,99	10,42	28,75	35,55	0,20	893
133	15,00	2,57	Rural	5,69	20,01	28,45	59,71	0,25	4768
132	6,00	1,94	Rural	2,19	5,06	43,28	15,50	0,39	5728
18	4,00	1,25	Rural	1,36	5,50	24,80	17,67	0,23	3918



CÓDIGO VÍNCULO	PUENTES POR VÍNCULO	LINK DAMAGE INDEX	AMBIENTE	PÉRDIDA ESTIMADA POR VÍNCULO (M USD)	VALOR REMPLAZO (M USD)	PÉRDIDA/REEMPLAZO %	LARGO DEL VÍNCULO (km)	PUENTES POR km POR VÍNCULO	AFECTACIÓN AL TRÁNSITO ESTIMADA (vehículos)
148	1,00		Urbano	0,05	2,14	2,23	1,91	0,52	
150	1,00		Urbano				2,88	0,35	
152	1,00		Urbano				2,62	0,38	
24	1,00		Urbano				3,24	0,31	
155	1,00		Rural				10,58	0,09	
157	5,00	0,75	Rural	0,26	1,62	15,95	10,58	0,47	
158	2,00	0,10	Rural	0,06	1,02	5,60	3,48	0,57	
53	1,00		Rural	0,08	1,11	7,43	6,66	0,15	
160	1,00		Rural	0,08	4,88	1,64	0,65	1,54	
31	2,00	0,30	Rural	0,33	1,99	16,48	12,68	0,16	
32	3,00	0,14	Rural	0,74	4,55	16,17	29,00	0,10	
34	3,00	1,04	Rural	1,26	2,97	42,20	13,85	0,22	1824
35	4,00	1,14	Rural	1,65	4,72	35,00	16,13	0,25	2653
36	7,00	0,76	Rural	0,89	5,38	16,64	36,79	0,19	
37	4,00	0,10	Rural	0,23	3,22	7,29	11,20	0,36	
164	4,00	0,10	Rural	0,08	1,01	7,50	16,37	0,24	
165	10,00	0,10	Rural	0,25	5,37	4,66	70,23	0,14	
168	2,00		Urbano	0,18	2,00	9,24	1,32	1,52	
169	1,00		Urbano	0,02	1,08	1,52	3,01	0,33	
170	1,00		Urbano				2,00	0,50	
172	4,00	0,81	Rural	0,86	3,36	25,61	59,05	0,07	
43	3,00		Urbano	0,33	3,30	9,92	1,51	1,99	
177	1,00		Urbano	0,03	0,31	9,24	6,20	0,16	
178	6,00			0,15	1,60	9,58	33,93	0,18	
183	1,00	1,00	Rural	0,68	2,10	32,56	1,27	0,79	3047
46	1,00		Rural	0,03	0,31	9,24	39,97	0,03	
244	1,00		Rural	0,06	0,57	10,42	51,97	0,02	
185	4,00	1,64	Rural	0,42	0,96	44,22	10,22	0,39	2256
186	3,00		Rural	0,06	0,56	11,37	15,49	0,19	
205	1,00		Rural	0,06	1,27	4,94	7,83	0,13	
188	5,00	0,10	Rural	2,39	29,17	8,20	49,28	0,10	
194	4,00		Rural	0,38	2,94	12,94	18,63	0,21	
191	3,00	0,75	Rural	0,32	1,50	21,08	18,06	0,17	
195	2,00	0,75	Rural	0,42	2,08	20,36	16,66	0,12	
196	2,00	0,75	Rural	0,57	2,93	19,62	21,47	0,09	
199	2,00		Rural	0,30	2,17	14,00	14,95	0,13	
200	4,00	1,06	Rural	0,63	2,53	24,69	22,04	0,18	1054
202	2,00	0,75	Rural	0,24	0,85	28,10	19,60	0,10	
79	2,00		Urbano	0,04	0,51	7,43	0,35	5,71	
205	2,00	1,04	Rural	2,07	7,48	27,69	7,83	0,26	6560
221	1,00	0,10	Rural	0,23	1,39	16,28	16,81	0,06	
282	2,00	1,00	Urbano	0,35	2,75	12,68	4,93	0,41	20526



CÓDIGO VÍNCULO	PUENTES POR VÍNCULO	LINK DAMAGE INDEX	AMBIENTE	PÉRDIDA ESTIMADA POR VÍNCULO (M USD)	VALOR REMPLAZO (M USD)	PÉRDIDA/REEMPLAZO %	LARGO DEL VÍNCULO (km)	PUENTES POR km POR VÍNCULO	AFECTACIÓN AL TRANSITO ESTIMADA (vehículos)
296	1,00		Urbano	0,15	2,55	5,78	0,64	1,56	
283	2,00		Urbano	0,50	7,67	6,48	2,45	0,82	
284	5,00	0,14	Urbano	0,87	11,85	7,34	8,21	0,61	
214	2,00	0,14	Urbano	0,09	1,81	5,07	3,22	0,62	
212	1,00		Urbano	0,03	0,51	6,26	0,79	1,27	
52	8,00		Urbano	0,35	4,62	7,67	3,33	2,40	
84	5,00	0,10	Rural	1,06	11,35	9,30	5,00	1,00	
216	7,00		Rural	0,40	7,18	5,54	7,48	0,94	
217	9,00	0,17	Rural	2,28	26,57	8,57	26,19	0,34	
53	2,00	0,10	Rural	0,05	1,18	4,31	6,66	0,30	
221	4,00	0,10	Rural	0,31	5,54	5,52	16,81	0,24	
285	3,00	1,30	Urbano	1,76	4,97	35,39	3,05	0,98	8885
223	2,00		Urbano	0,21	2,08	10,25	0,85	2,35	
286	4,00		Urbano				4,06	0,99	
230	2,00	0,10	Rural	0,35	5,78	6,08	36,43	0,05	
56	5,00	1,30	Rural	2,90	12,43	23,36	11,62	0,43	5581
57	3,00	1,06	Rural	1,27	4,33	29,35	10,75	0,28	10490
234	8,00	1,67	Rural	5,47	21,83	25,05	23,36	0,34	8395
244	17,00	2,67	Rural	9,11	35,38	25,74	51,97	0,33	8135
246	9,00	1,84	Rural	5,29	19,67	26,91	72,02	0,12	8783
248	15,00	0,82	Rural	4,51	33,44	13,49	70,72	0,21	
250	16,00	1,69	Rural	4,00	19,94	20,06	61,22	0,26	3554
251	3,00	0,75	Rural	0,38	1,33	28,84	12,46	0,24	
255	6,00	0,82	Rural	1,31	8,52	15,41	66,47	0,09	
83	2,00	0,30	Rural	0,11	1,58	6,84	10,55	0,19	
245	16,00	2,24	Rural	4,74	18,30	25,92	82,33	0,19	3374
298	1,00	0,75	Urbano	0,53	1,41	37,85	2,91	0,34	
297	2,00	0,75	Urbano	0,53	1,66	31,85	0,58	3,45	
265	1,00	0,75	Urbano	0,28	0,79	35,03	1,68	0,60	
267	1,00		Urbano	0,21	2,87	7,24	1,66	0,60	
265	1,00		Urbano	0,21	2,87	7,24	1,68	0,60	
295	1,00		Urbano	0,08	0,86	9,24	2,56	0,39	
293	2,00		Urbano	0,71	13,16	5,39	3,12	0,64	
292	1,00		Urbano	0,05	0,53	9,24	1,54	0,65	
291	2,00	1,04	Urbano	1,05	2,97	35,46	0,92	2,17	18093
263	1,00		Urbano	0,24	5,53	4,26	0,66	1,52	
66	1,00		Urbano	0,24	5,53	4,26	0,66	1,52	
289	1,00	0,75	Urbano	0,54	1,55	35,03	1,04	0,96	



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO E

FORMULARIOS PARA INSPECCIÓN DESPUÉS DE SISMO INSPECCIÓN EXPLORATORIA INSPECCIÓN DE SEGURIDAD INSPECCIÓN DE CONDICIÓN



Formulario propuesto para Inspección Exporatoria (Nivel 0)

 Preparado por: UP Unidad de Puentes	PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE PUENTES POST-SISMO INSPECCIÓN EXPLORATORIA DE DAÑOS EN PUENTES DESPUÉS DE SISMO	Página 1 / 2
Fecha:	Consecutivo	

Inspectores
(Nombre o código)

Nombre o código del puente	Ruta	Coordenada Latitud	Coordenada Longitud	1		2		3		4		5		6		7		8		
				SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	



	<h3>PROTOCOLO DE INSPECCIÓN DE PUENTES DESPUÉS DE UN SISMO</h3> <h4>REGISTRO DE INSPECCIÓN DE SEGURIDAD PARA PUENTES DESPUÉS DE SISMO</h4>	Preparado por: UP Unidad de Puentes			
Fecha:	Página 2 / 2				
NOMBRE DEL PUENTE: _____ RUTA No.: _____ CÓD. PUENTE: _____					
4. APOYOS					
4.1. Reducción de asiento en más de 15 cm	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
4.2. Pernos de anclaje de apoyo extraídos del concreto o cortados	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ, califica como NO SEGURO (NARANJA)	
4.3. Reducción de asiento en más de 2,5 cm y menos de 15 cm	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
4.4. Daño en dispositivo de apoyo (Abultamiento, aplastamiento, desplazamiento de pernos, grietas o desprendimiento de concreto del pedestal)	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)	
5. PILAS					
5.1. Inclinación, rotación o desplazamiento producidos por efecto del sismo	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como: NO SEGURO (NARANJA). Si el daño implica un alto grado de certeza del riesgo a la seguridad calificar como: NO SEGURO (ROJO).	
5.2. Acero de refuerzo expuesto y deformado en columnas de concreto	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
5.3. Columnas de acero pandeadas localmente	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
5.4. Asentamiento evidente	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)	
5.6. Grietas por cortante persistentes en el cuerpo de pilas de concreto	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
5.7. Pérdida de recubrimiento en pilas de concreto	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
6. BASTIONES					
6.1. Asentamiento mayor que 15 cm	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como: NO SEGURO (NARANJA)	
6.2. Asentamiento entre 2,5 cm y 15 cm	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
6.3. Inclinación, rotación o desplazamiento producidos por efecto del sismo	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)	
6.4. Separación de aletones del bastión o agrietamiento entre bastión y aletones	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
6.5. Asentamiento de aletones o muros	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
6.6. Grietas y/o desprendimientos de concreto en bastión	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como SEGURO (VERDE)	
7. CIMENTACIONES					
7.1. Rotación visible en cimiento superficial	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como: NO SEGURO (NARANJA)	
7.2. Desprendimientos o agrietamiento en pilotes o cabezales de pilotes	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
7.3. Desplazamiento del cimiento por licuefacción	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
8. RIESGOS GEOTÉCNICOS					
8.1. Licuefacción de suelos en el entorno del puente	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>	} Si marca SÍ calificar como: ACCESO LIMITADO (AMARILLO)	
8.2. Inestabilidad del terreno circundante al puente pone en riesgo de falla al cimiento	SÍ <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NA-NI <input type="checkbox"/>		
Elegir el estado de condición en la página 1 según la opción más grave evaluada en los puntos del 1 al 8					
9. NOTAS ADICIONALES _____ _____ _____ _____ _____					
ADJUNTAR FOTOGRAFÍA EN CASO DE RESPONDER AFIRMATIVAMENTE A LA PREGUNTA					



Formulario propuesto para Inspección de condición (Nivel 2)

	RC-442 Registro de inspección visual en campo	Versión 01 Página 1/10
--	--	---------------------------

RIC- _____ - _____ - _____ [RIC-(consecutivo)-(iniciales del evaluador)-(año)] FECHA: ____ / ____ / ____

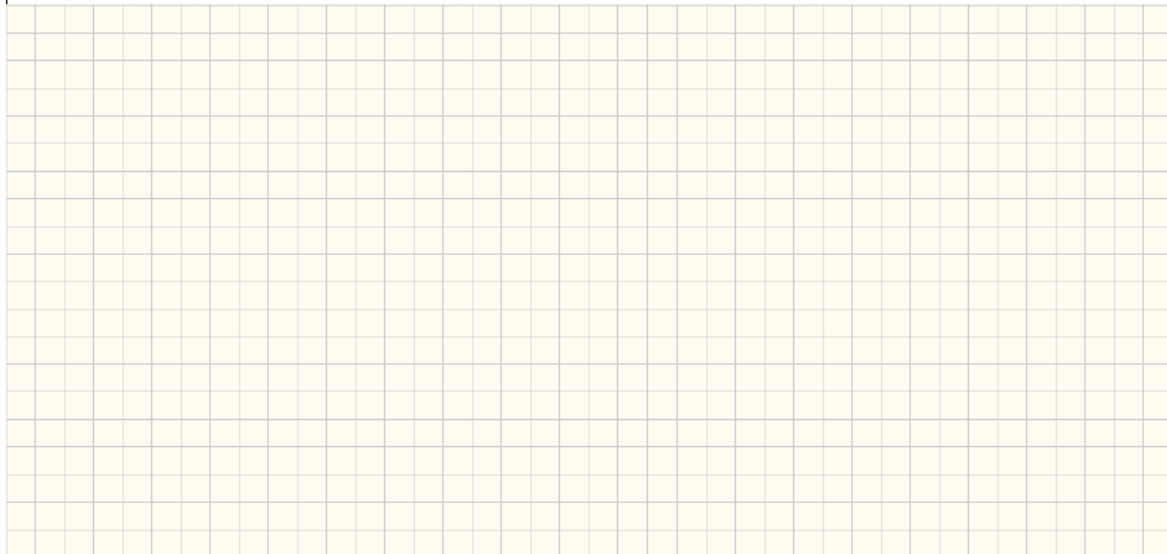
SECCIÓN 1. INSPECCIÓN DE INVENTARIO

EQUIPO DE INSPECCIÓN: _____	LATITUD: _____	LONGITUD: _____
NOMBRE DEL PUENTE: _____	PROVINCIA: _____	CANTÓN: _____
CRUZA SOBRE: _____	DISTRITO: _____	NO. DE TRAMOS: _____
RUTA No. _____ CLASIFICACIÓN RUTA: _____ KM: _____	NO. DE SUPEREST: _____	NO. DE SUBEST: _____

<i>Si existe placa o rotulación que las indique</i>	FECHA DE CONSTRUCCIÓN: _____	CARGA DE DISEÑO: _____	RESTRICCIÓN DE CARGA: _____
			SERVICIOS PÚBLICOS: _____

ESQUEMA DEL PUENTE Y SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN

Dibujar un esquema del puente donde se defina su orientación y una numeración clara de los tramos, componentes y elementos. Puede incluir dimensiones generales.



ITEM	DIMENSIONES GENERALES DEL PUENTE <i>Colocar N.A. (No aplica) cuando corresponda</i>	ITEM	DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS ESTRUCTURALES <i>Colocar N.A. (No aplica) cuando corresponda</i>
1	Longitud total del puente: _____ m	9	Espesor de losa o tablero: _____ mm <input type="checkbox"/> No se pudo medir
2	Longitud de superestructuras (1,2,3...): _____ m	10	Separación de vigas principales: _____ m <input type="checkbox"/> No se pudo medir
3	Longitud de tramos (1,2,3...): _____ m	11	Peralte de vigas principales: _____ m <input type="checkbox"/> No se pudo medir
4	Pendiente longitudinal _____ ° <input type="checkbox"/> No se pudo medir	12	Ancho de vigas principales: _____ m <input type="checkbox"/> No se pudo medir
5	Ángulo de sesgo _____ ° <input type="checkbox"/> No se pudo medir	13	Long. de asiento en bastiones (1,2): _____ cm <input type="checkbox"/> No se pudo medir
6	Altura libre vertical inferior: _____ m <input type="checkbox"/> No se pudo medir	14	Long. de asiento en pilas (1,2,3...): _____ cm <input type="checkbox"/> No se pudo medir
7	Altura libre vertical superior: _____ m <input type="checkbox"/> No se pudo medir	15	Ancho de bastiones (1,2): _____ m <input type="checkbox"/> No se pudo medir
8	Espesor de pavimento: _____ mm <input type="checkbox"/> No se pudo medir	16	Ancho de pilas (1,2,3...): _____ m <input type="checkbox"/> No se pudo medir

DIMENSIONES DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (m)

	19 Esquema de sección transversal
17 Ancho total del puente: _____ m	
18 Ancho de accesos: _____ m	

FOTOGRAFÍAS DE INVENTARIO DEL PUENTE

Rotulo	Línea de centro	Vista general	Vista lateral	Vista inferior	Vista del cruce	Bastiones	Pilas	Apoyos



LanammeUCR

RC-442

Registro de inspección visual en campo

Versión 01

Página 2/10

SECCIÓN 2. INSPECCIÓN DE DAÑOS

SEGURIDAD VIAL

- 20 ENTORNO DEL PUENTE: Zona rural Zona urbana Autopista Otro: _____
- 21 LÍMITE DE VELOCIDAD: _____ km/h No hay rótulos de velocidad máxima
- 22 LÍMITE DE ALTURA: _____ m No hay rótulos de altura máxima No aplica
- 23 ACERAS: Sí Ancho: _____ m No hay aceras
- 24 PUENTE ANGOSTO: Sí y está rotulado Sí pero sin rotulación No aplica

ITEM	Estado de conservación:	Buena (0)	Regular (1)	Malo (2)	Ausente (3)	Comentarios
25	DEMARCACIÓN HORIZONTAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26	CAPTALUCES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	GUARDAVÍAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28	MARCADORES DE OBJETOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
29	RÓTULOS DE IDENTIFICACIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
30	ILUMINACIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

BARRERA VEHICULAR

Buena

31 TIPO:	condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	
Faltante	Ningún faltante <input type="checkbox"/>	<10% <input type="checkbox"/>	10%-30% <input type="checkbox"/>	>30% <input type="checkbox"/>		
ELEMENTOS DE CONCRETO	Espesor de grietas	<0,2mm / Grietas superficiales o selladas <input type="checkbox"/>	0,2mm-0,4mm / Grietas por retracción <input type="checkbox"/>	0,3mm -1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	>1mm Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	
	Espaciamiento de grietas	Grieta aislada <input type="checkbox"/>	>100cm <input type="checkbox"/>	30cm-100cm <input type="checkbox"/>	<30cm <input type="checkbox"/>	
	Desprendimientos ϕ : diámetro/ δ : profundidad	Ninguno <input type="checkbox"/>		ϕ <15cm δ <2,5cm <input type="checkbox"/>	ϕ >15cm δ >2,5cm <input type="checkbox"/>	
	Acero de refuerzo expuesto	Ninguno <input type="checkbox"/>	Refuerzo expuesto <input type="checkbox"/>	Refuerzo corroído <input type="checkbox"/>	Importante pérdida de sección <input type="checkbox"/>	
Eflorescencia	Ninguna <input type="checkbox"/>	Sin acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>	Acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>			
ELEMENTOS DE ACERO	Deformación	Ninguna <input type="checkbox"/>	<10cm <input type="checkbox"/>	10cm-20cm <input type="checkbox"/>	>20cm <input type="checkbox"/>	
	Corrosión	Ninguna <input type="checkbox"/>	Oxidación superficial <input type="checkbox"/>	Corrosión puntual <input type="checkbox"/>	Pérdida de sección <input type="checkbox"/>	

ACCESOS AL PUENTE

ACCESO DESDE _____

32 ALINEAMIENTO RESPECTO AL PUENTE: _____

33 PAVIMENTO	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios
FLEXIBLE <i>Asignar calificación según el daño más grave observado</i>	Puntual <input type="checkbox"/>	Generalizado <input type="checkbox"/>	Puntual <input type="checkbox"/>	Generalizado <input type="checkbox"/>	
	DEFECTO FUNCIONAL Pulimiento de agregado Desprendimiento de agregado Exudación		DEFECTO ESTRUCTURAL Deformaciones Grietas Huecos		



 LanammeUCR	RC-442 Registro de inspección visual en campo	Versión 01 Página 3/10
----------------	---	---------------------------

	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios
RÍGIDO <i>Asignar calificación según el daño más grave observado</i>	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO FUNCIONAL Pulimiento de agregado Desprendimiento de agregado Deficiencias en sello de juntas	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO ESTRUCTURAL Escalonamiento Grietas Juntas fracturadas			
34 RELLENO DE APROXIMACIÓN	No hay daños <input type="checkbox"/>	Señas de erosión <input type="checkbox"/>	Leve colapso <input type="checkbox"/>	Colapso reduce el ancho de vía <input type="checkbox"/>	
35 LOSA DE APROXIMACIÓN					No visible
Agrietamiento	<0,2mm / Grietas superficiales <input type="checkbox"/>	0,2mm-0,4mm / Grietas por retracción <input type="checkbox"/>	0,3mm -1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	>1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asentamiento	Imperceptible <input type="checkbox"/>	Ligeramente perceptible <input type="checkbox"/>	Claramente visible pero no afecta el tránsito <input type="checkbox"/>	Los vehículos deben reducir la velocidad al pasar <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36 SISTEMA DE DRENAJE DEL ACCESO	Existente y funcional <input type="checkbox"/>	Inexistente o no funcional <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>

ACCESO DESDE _____

37 ALINEAMIENTO RESPECTO AL PUENTE: _____

	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios
FLEXIBLE <i>Asignar calificación según el daño más grave observado</i>	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO FUNCIONAL Pulimiento de agregado Desprendimiento de agregado Exudación	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO ESTRUCTURAL Deformaciones Grietas Huecos			
RÍGIDO <i>Asignar calificación según el daño más grave observado</i>	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO FUNCIONAL Pulimiento de agregado Desprendimiento de agregado Deficiencias en sello de juntas	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO ESTRUCTURAL Escalonamiento Grietas Juntas fracturadas			
39 RELLENO DE APROXIMACIÓN	No hay daños <input type="checkbox"/>	Señas de erosión <input type="checkbox"/>	Leve colapso <input type="checkbox"/>	Colapso reduce el ancho de vía <input type="checkbox"/>	
40 LOSA DE APROXIMACIÓN					No visible
Agrietamiento	<0,2mm / Grietas superficiales <input type="checkbox"/>	0,2mm-0,4mm / Grietas por retracción <input type="checkbox"/>	0,3mm -1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	>1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asentamiento	Imperceptible <input type="checkbox"/>	Ligeramente perceptible <input type="checkbox"/>	Claramente visible pero no afecta el tránsito <input type="checkbox"/>	Los vehículos deben reducir la velocidad al pasar <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41 SISTEMA DE DRENAJE DEL ACCESO	Existente y funcional <input type="checkbox"/>	Inexistente o no funcional <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>

ACCESORIOS

	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios
SUPERFICIE DE RODAMIENTO ASFÁLTICA <i>Asignar calificación según el daño más grave observado</i>	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO FUNCIONAL Pulimiento de agregado Desprendimiento de agregado Exudación	Puntual <input type="checkbox"/> Generalizado <input type="checkbox"/> DEFECTO ESTRUCTURAL Deformaciones Grietas Huecos			
42					



 LanammeUCR	RC-442 Registro de inspección visual en campo	Versión 01 Página 4/10
----------------	---	---------------------------

43 JUNTAS DE EXPANSIÓN	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	Limitaciones de acceso
Faltante o deformación de elementos	Ninguna evidente <input type="checkbox"/>	Deform. leve <input type="checkbox"/>	Deform. extensa <input type="checkbox"/>	Pérdida de partes <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Filtración de agua a: % de viga cabezal del bastión cubierta por manchas de humedad	a=0% <input type="checkbox"/>	a<10% <input type="checkbox"/>	10%<a<50% <input type="checkbox"/>	a>50% <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Movimiento vertical	No se detectó movimiento <input type="checkbox"/>	Pequeño movimiento <input type="checkbox"/>	Se detectan sonidos <input type="checkbox"/>	Los vehículos deben reducir la velocidad <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Obstrucción	Ninguna <input type="checkbox"/>		Obstrucción parcial <input type="checkbox"/>	Junta cubierta por sobrecapa asfáltica <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Acero de refuerzo expuesto	No se detectó <input type="checkbox"/>	Refuerzo expuesto <input type="checkbox"/>	Refuerzo corroído <input type="checkbox"/>	Importante pérdida de sección <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

44 SISTEMA DE DRENAJE DE LA SUPERESTRUCTURA	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	Limitaciones de acceso
Obstrucciones	Ninguna obstrucción <input type="checkbox"/>	Acumulación de sedimentos en los bordillos <input type="checkbox"/>	Obstrucción parcial de ductos <input type="checkbox"/>	Obstrucción total de ductos <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Faltante de elementos	No <input type="checkbox"/>			Sí <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Extensión insuficiente de ductos de salida	No <input type="checkbox"/>	Sí, pero el agua no descarga directamente sobre la superestructura <input type="checkbox"/>	Sí y el agua descarga directamente sobre la superestructura <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>

ESPACIO PARA ESQUEMAS Y OBSERVACIONES ADICIONALES

--	--	--	--	--	--	--

SUPERESTRUCTURA

45 TABLERO	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	Limitaciones de acceso
ELEMENTOS DE CONCRETO: CARA SUPERIOR	Espesor de grietas	<0,2mm / Grietas superficiales o selladas <input type="checkbox"/>	0,2mm-0,4mm / Grietas por retracción <input type="checkbox"/>	0,3mm-1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	>1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Espaciamiento de grietas	No se observan grietas <input type="checkbox"/>	>100cm <input type="checkbox"/>	30cm-100cm <input type="checkbox"/>	<30cm <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Desprendimientos φ: diámetro/δ: profundidad	Ninguno <input type="checkbox"/>		φ<15cm δ>2,5cm <input type="checkbox"/>	φ>15cm δ>2,5cm <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Acero de refuerzo expuesto	No se observa <input type="checkbox"/>	Refuerzo expuesto <input type="checkbox"/>	Refuerzo corroído <input type="checkbox"/>	Importante pérdida de sección <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Eflorescencia	No se observa <input type="checkbox"/>	Sin acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>	Acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Nidos de piedra φ: diámetro/δ: profundidad	Ninguno <input type="checkbox"/>	φ<5cm δ<1cm <input type="checkbox"/>	φ<10cm δ>1cm <input type="checkbox"/>	φ>10cm Refuerzo expuesto <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



 LanammeUCR	RC-442 Registro de inspección visual en campo	Versión 01 Página 6/10
----------------	---	---------------------------

46 ELEMENTOS PRINCIPALES		Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	Limitaciones de acceso
ELEMENTOS DE CONCRETO	<input type="checkbox"/> PREESFORZADO						
	Espesor de grietas	<0,1mm / Grietas superficiales o selladas	<input type="checkbox"/> 0,1mm- 0,2mm / Grietas por retracción	<input type="checkbox"/> 0,3mm -1mm / Grietas estructurales	<input type="checkbox"/> >1mm Grietas estructu- rales		<input type="checkbox"/>
	Espaciamiento de grietas	No se obser- van grietas	<input type="checkbox"/> >100cm	<input type="checkbox"/> 30cm- 100cm	<input type="checkbox"/> <30cm		<input type="checkbox"/>
	Acero de refuerzo expuesto	No se observa	<input type="checkbox"/> Refuerzo expuesto	<input type="checkbox"/> Refuerzo corroído	<input type="checkbox"/> Importante pérdida de sección		<input type="checkbox"/>
	Desprendimientos φ: diámetro δ: profundidad	Ninguno		<input type="checkbox"/> φ<15cm δ<2,5cm	<input type="checkbox"/> φ>15cm δ>2,5cm		<input type="checkbox"/>
ELEMENTOS DE ACERO	<input type="checkbox"/> REFORZADO						
	Eflorescencia	No se observa	<input type="checkbox"/> Sin acumu- lación de CaCO ₃	<input type="checkbox"/> Con acumu- lación de CaCO ₃			<input type="checkbox"/>
	Nidos de piedra φ: diámetro δ: profundidad	Ninguno	<input type="checkbox"/> φ<5cm δ<1cm	<input type="checkbox"/> 5cm<φ <10cm δ>1cm	<input type="checkbox"/> φ>10cm Refuer- zo expuesto		<input type="checkbox"/>
	Deformación	Ninguna	<input type="checkbox"/> <10cm	<input type="checkbox"/> 10cm- 20cm	<input type="checkbox"/> >20cm		<input type="checkbox"/>
	Corrosión	No se observa	<input type="checkbox"/> Oxidación superficial	<input type="checkbox"/> Corrosión localizada	<input type="checkbox"/> Corrosión genera- lizada/ Pérdida de sección		<input type="checkbox"/>
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE PINTURA	Grietas l: longitud	No se observa		<input type="checkbox"/> l<1cm	<input type="checkbox"/> l>1cm		<input type="checkbox"/>
	Conexiones defectuosas Conectores sueltos, perdidos o soldaduras fracturadas	No se observan	<input type="checkbox"/> Menos de 2 fallas aisladas	<input type="checkbox"/> De 2 a 5 fallas aisladas	<input type="checkbox"/> Más de 5 fallas aisladas		<input type="checkbox"/>
	Grietas	No se observan	<input type="checkbox"/> Solo en capa superficial	<input type="checkbox"/> Se observa en 2 o más capas	<input type="checkbox"/> Se observa el acero		<input type="checkbox"/>
	Desprendimientos	No se observan	<input type="checkbox"/> Solo en capa superficial	<input type="checkbox"/> Se observa en 2 o más capas	<input type="checkbox"/> Se observa el acero		<input type="checkbox"/>
	Corrosión subsuperficial	No se observa			<input type="checkbox"/> Sí se observa		<input type="checkbox"/>
Ampollas / Arrugas / Decoloración	No se observa	<input type="checkbox"/> Sí se observa				<input type="checkbox"/>	
Puntos de oxidación	No se observan	<input type="checkbox"/> Sí se observa				<input type="checkbox"/>	

47 ELEMENTOS SECUNDARIOS		Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	Limitaciones de acceso
ELEMENTOS DE CONCRETO	<input type="checkbox"/> PREESFORZADO						
	Espesor de grietas	<0,1mm / Grietas superficiales o selladas	<input type="checkbox"/> 0,1mm- 0,2mm / Grietas por retracción	<input type="checkbox"/> 0,3mm -1mm / Grietas estructurales	<input type="checkbox"/> >1mm Grietas estructu- rales		<input type="checkbox"/>
	Espaciamiento de grietas	No se obser- van grietas	<input type="checkbox"/> >100cm	<input type="checkbox"/> 30cm- 100cm	<input type="checkbox"/> <30cm		<input type="checkbox"/>
	Acero de refuerzo expuesto	No se observa	<input type="checkbox"/> Refuerzo expuesto	<input type="checkbox"/> Refuerzo corroído	<input type="checkbox"/> Importante pérdida de sección		<input type="checkbox"/>
	Desprendimientos φ: diámetro δ: profundidad	Ninguno		<input type="checkbox"/> φ<15cm δ<2,5cm	<input type="checkbox"/> φ>15cm δ>2,5cm		<input type="checkbox"/>
ELEMENTOS DE ACERO	<input type="checkbox"/> REFORZADO						
	Eflorescencia	No se observa	<input type="checkbox"/> Sin acumu- lación de CaCO ₃	<input type="checkbox"/> Con acumu- lación de CaCO ₃			<input type="checkbox"/>
Nidos de piedra φ: diámetro δ: profundidad	Ninguno	<input type="checkbox"/> φ<5cm δ<1cm	<input type="checkbox"/> 5cm<φ <10cm δ>1cm	<input type="checkbox"/> φ>10cm Refuer- zo expuesto		<input type="checkbox"/>	



49	PILAS	Buena				Comentarios	Limitaciones de acceso
		condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)		
ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO	Movimiento del elemento (desplazamiento horizontal, vertical o rotación)	No se observa <input type="checkbox"/>		Movimiento ligero (< 2"/5cm) <input type="checkbox"/>	Movimiento notable (> 2"/5cm) <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Espesor de grietas	<0,1mm / Grietas superficiales o selladas <input type="checkbox"/>	0,1mm-0,2mm / Grietas por retracción <input type="checkbox"/>	0,3mm -1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	>1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Espaciamiento de grietas	No se observan grietas <input type="checkbox"/>	>100cm <input type="checkbox"/>	30cm-100cm <input type="checkbox"/>	<30cm <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Desprendimientos ϕ : diámetro/ δ : profundidad	Ninguno <input type="checkbox"/>		ϕ <15cm δ >2,5cm <input type="checkbox"/>	ϕ >15cm δ >2,5cm <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Acero de refuerzo expuesto	No se observa <input type="checkbox"/>	Refuerzo expuesto <input type="checkbox"/>	Refuerzo corroído <input type="checkbox"/>	Importante pérdida de sección <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Eflorescencia	No se observa <input type="checkbox"/>	Sin acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>	Con acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
ELEMENTOS DE MAESTRÍA	Nidos de piedra ϕ : diámetro/ δ : profundidad	Ninguno <input type="checkbox"/>	ϕ <5cm δ <1cm <input type="checkbox"/>	5cm- ϕ <10cm δ >1cm <input type="checkbox"/>	ϕ >10cm Refuerzo expuesto <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Espesor de grietas	<0,1mm / Grietas superficiales o selladas <input type="checkbox"/>	0,1mm-0,2mm / Grietas por retracción <input type="checkbox"/>	0,3mm -1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>	>1mm / Grietas estructurales <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Espaciamiento de grietas	No se observan grietas <input type="checkbox"/>	>100cm <input type="checkbox"/>	30cm-100cm <input type="checkbox"/>	<30cm <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Deterioro del mortero de unión	No se observa <input type="checkbox"/>		Grietas y vacíos en menos del 10% de las juntas <input type="checkbox"/>	Grietas y vacíos en más del 10% de las juntas <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
ELEMENTOS DE ACERO	Eflorescencia	No se observa <input type="checkbox"/>	Sin acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>	Con acumulación de CaCO ₃ <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>
	Deformación	Ninguna <input type="checkbox"/>	<10cm <input type="checkbox"/>	10cm-20cm <input type="checkbox"/>	>20cm <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Corrosión	No se observa <input type="checkbox"/>	Oxidación superficial <input type="checkbox"/>	Corrosión localizada <input type="checkbox"/>	Corrosión generalizada/ Pérdida de sección <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Grietas l: longitud	No se observan <input type="checkbox"/>		l<1cm <input type="checkbox"/>	l>1cm <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
ELEMENTOS DE ACERO: SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PINTURA	Conexiones defectuosas Conectores sueltos, perdidos o soldaduras fracturadas	No se observan <input type="checkbox"/>	Menos de 2 fallas aisladas <input type="checkbox"/>	De 2 a 5 fallas aisladas <input type="checkbox"/>	Más de 5 fallas aisladas <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Grietas	No se observan <input type="checkbox"/>	Solo en capa superficial <input type="checkbox"/>	Se observa en 2 o más capas <input type="checkbox"/>	Se observa el acero <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Desprendimientos	No se observan <input type="checkbox"/>	Solo en capa superficial <input type="checkbox"/>	Se observa en 2 o más capas <input type="checkbox"/>	Se observa el acero <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Corrosión subsuperficial	No se observa <input type="checkbox"/>			Si se observa <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	Ampollas / Arrugas / Decoloración	No se observa <input type="checkbox"/>	Si se observa <input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
ELEMENTOS DE ACERO: SISTEMA DE PROTECCIÓN DE PINTURA	Puntos de oxidación	No se observan <input type="checkbox"/>	Si se observa <input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
	Socavación de cimentaciones	No se observa <input type="checkbox"/>	No ha alcanzado la cimentación <input type="checkbox"/>	Se observa la cara superior de la cimentación <input type="checkbox"/>	Se ha removido bajo y alrededor de la cimentación <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>



 LanammeUCR	RC-442 Registro de inspección visual en campo	Versión 01 Página 10/10
----------------	---	----------------------------

	49 PILAS	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	Limitaciones de acceso
	Daños en cimentaciones expuestas	No se observa <input type="checkbox"/>		Sí se observa <input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>

50 APOYOS	Buena condición (0)	Regular (1)	Deficiente (2)	Severo (3)	Comentarios	Limitaciones de acceso
Obstrucciones al movimiento en apoyos expansivos	Ninguna <input type="checkbox"/>		Movimiento parcialmente restringido <input type="checkbox"/>	Movimiento totalmente restringido <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Rotura de pernos	No se observa <input type="checkbox"/>	Tuerca fuera de posición <input type="checkbox"/>	Perno deformado o desplazado <input type="checkbox"/>	Perno completamente cortado <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Deformación o inclinación	No se observa <input type="checkbox"/>	Ligera deformación <input type="checkbox"/>	Deformación notable, pero el apoyo aún funciona <input type="checkbox"/>	El apoyo ha perdido su funcionalidad <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Desplazamiento (Δ)	No se observa <input type="checkbox"/>		$\Delta < 5\text{cm}$ <input type="checkbox"/>	$\Delta \geq 5\text{cm}$ <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Corrosión	No se observa <input type="checkbox"/>	Oxidación <input type="checkbox"/>	Corrosión localizada <input type="checkbox"/>	Corrosión generalizada/ Pérdida de sección <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
ALMOHADILLAS ELASTOMÉRICAS						
Deformaciones	Ninguna <input type="checkbox"/>			$> 20\text{cm}$ <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Agrietamiento o ruptura	No se observa <input type="checkbox"/>	Grietas superficiales <input type="checkbox"/>	Grietas notables, pero la almohadilla es funcional <input type="checkbox"/>	Ruptura de la almohadilla <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Abultamiento	No se observa <input type="checkbox"/>	$< 15\%$ del espesor <input type="checkbox"/>	$\geq 15\%$ del espesor <input type="checkbox"/>	Almohadilla aplastada <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Pérdida de área de contacto	No se observa <input type="checkbox"/>	$< 10\%$ <input type="checkbox"/>	$10\% - 20\%$ <input type="checkbox"/>	$> 20\%$ <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA Y MOVIMIENTOS

Observar el alineamiento de las barreras vehiculares, vigas, borde del tablero, apoyos y juntas de expansión en busca de evidencia de:

<input type="checkbox"/> 51 MOVIMIENTO VERTICAL	<input type="checkbox"/> 52 MOVIMIENTO TRANSVERSAL	<input type="checkbox"/> 53 MOVIMIENTO LONGITUDINAL	<input type="checkbox"/> 54 VIBRACIONES
			<input type="checkbox"/> Imperceptibles <input type="checkbox"/> Perceptibles <input type="checkbox"/> Fuertemente perceptibles

CAUCE DEL RÍO Y AMENAZAS NATURALES

Observar el cauce del río y el entorno del puente en busca de evidencia de:

<input type="checkbox"/> 55 EROSIÓN DE MÁRGENES	<input type="checkbox"/> 56 OBSTRUCCIÓN DEL CAUCE	<input type="checkbox"/> 57 SEDIMENTACIÓN	<input type="checkbox"/> 58 CAMBIO EN EL ALINEAMIENTO DEL RÍO	<input type="checkbox"/> 59 LADERAS INESTABLES, FLUJOS DE DETRITOS O LAHARES	<input type="checkbox"/> 60 TERRENO SUSCEPTIBLE A LICUEFACCIÓN	<input type="checkbox"/> 61 ZONA INUNDABLE
---	---	---	---	--	--	--

COMENTARIOS



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO F

PUENTES EN LA PENÍNSULA DE NICOYA Y SU INFORMACIÓN DISPONIBLE



Puente sin información para realizar evaluación comparativa de daño
 Puente de construcción reciente

TIPO DE RUTA	RUTA	NOMBRE DEL PUENTE	FUENTE DE INFORMACIÓN			ACCELERACIÓN ESPECTRAL ESTIMADA SISMO DE SAMARA 2012 (cm/s ²)
			INFORME SAEP	GIRA O INFORME LANAMME-UCR	SANTANA 1999	
Primaria	18	Q. HONDA	x		x	326
Primaria	18	R. NACAOME	x			324
Primaria	18	R. PUEBLO VIEJO	x			321
Primaria	21	R. TEMPISQUE NUEVO	x		x	352
Primaria	21	R. LAS PALMAS	x			357
Primaria	21	R. GALLINA	x			350
Primaria	21	R. BELEN		x	x	349
Primaria	21	R. CARRIZAL		x		346
Primaria	21	R. CANAS	x		x	338
Primaria	21	R. DIRIA		x	x	319
Primaria	21	R. EN MEDIO		x	x	319
Primaria	21	R. MOROTE	x		x	360
Primaria	21	R. SANTA RITA	x			362
Primaria	21	R. NANDAYURE		x	x	377
Primaria	21	Q. SAN PEDRO		x		410
Primaria	21	R. SAN PEDRO		x		411
Primaria	21	R. SAN PEDRO				427
Primaria	21	R. LEPANTO	x			458
Primaria	21	R. CABO BLANCO				480
Secundaria	150	R. SAN LAZARO		x		314
Secundaria	150	R. SAN LAZARO				316
Secundaria	150	Q. FLORIDA				300
Secundaria	150	Q. GRANDE				269
Secundaria	150	R. GRANDE		x		257
Secundaria	150	R. PERICO				248
Secundaria	150	R. MATAMBU				248
Secundaria	150	R. POTRERO		x		295
Secundaria	150	Q. ARMADO		x		319
Secundaria	150	R. NOSARA		x		346
Secundaria	150	R. ZAPOTE		x		351
Secundaria	150	R. MICOS		x		376
Secundaria	150	R. MICOS		x		380
Secundaria	150	R. MICOS		x		390
Secundaria	150	R. PLATANILLO		x		395
Secundaria	150	R. BUENA VISTA		x		406
Secundaria	150	R. TARANTA		x		408
Secundaria	150	R. LAGARTO		x		412



TIPO DE RUTA	RUTA	NOMBRE DEL PUENTE	INFORME SAEP	GIRA O INFORME LANAMME-UCR	SANTANA 1999	ACCELERACION ESTIMADA SISMO DE SAMARA 2012 (cm/s ²)
Secundaria	151	R. LAS PALMAS		x		353
Secundaria	152	Q. AFLUENTE CANAS				348
Secundaria	152	Q. MOLINA				349
Secundaria	152	Q. SAN MARCOS				353
Secundaria	152	R. SAN FRANCISCO				354
Secundaria	155	R. COYOLITO		x	x	340
Secundaria	155	R. BARBA DE VIEJO		x		342
Secundaria	155	R. LIMON		x		342
Secundaria	155	R. NIMBOYORES		x		342
Secundaria	155	R. CHORRO		x		343
Secundaria	155	R. SAN ANDRES		x		352
Secundaria	157	R. POTRERO		x	x	281
Secundaria	157	Q. CANAS		x		298
Secundaria	157	R. MOMOLLEJO		x		307
Secundaria	157	Q. MESAS				311
Secundaria	158	R. MOROTE				317
Secundaria	158	R. NOSARA				327
Secundaria	158	Q. DAMAS				366
Secundaria	158	R. LAJAS				379
Secundaria	159	E. PANAMA				324
Secundaria	160	R. GIGANTE				515
Secundaria	160	R. GRANDE				552
Secundaria	160	R. GUARIAL		x		583
Secundaria	160	R. PAQUERA		x		609
Secundaria	160	R. SAN RAFAEL		x	x	602
Secundaria	160	R. CURU		x		581
Secundaria	160	R. ASTRO BLANCO		x		553
Secundaria	160	R. PANICA		x	x	550
Secundaria	160	R. ABUELA		x		549
Secundaria	160	R. BISCOYOL		x		540
Secundaria	160	R. NEGRO				515
Secundaria	160	Q. CANA				484
Secundaria	160	Q. JABILLA		x		467
Secundaria	160	Q. JABILLA				451
Secundaria	160	R. BEJUCO		x	x	438
Secundaria	160	Q. SECA		x		427
Secundaria	160	R. COROZALITO		x		424
Secundaria	160	R. ORA		x		410
Secundaria	160	E. CARRILLO		x		416
Secundaria	160	E. CARRILLO 2		x		415
Secundaria	160	Q. DORMILONA		x		415
Secundaria	160	E. SANGRADO		x		417
Secundaria	160	R. MALA NOCHE		x		414
Secundaria	160	R. LAGARTO		x		416



TIPO DE RUTA	RUTA	NOMBRE DEL PUENTE	INFORME SAEP	GIRA O INFORME LANAMME-UCR	SANTANA 1999	ACCELERACION ESTIMADA SISMO DE SAMARA 2012 (cm/s ²)
Secundaria	160	R. CACAO				424
Secundaria	160	R. GARZA		x	x	426
Secundaria	160	R. REMPUJO				428
Secundaria	160	Q. LA ESPERANZA	x			428
Secundaria	160	R. NOSARA		x	x	426
Secundaria	160	R. MONTANA		x		419
Secundaria	160	R. ROSARIO	x			404
Secundaria	160	R. SAN JUANILLO		x		403
Secundaria	160	R. CUAJINIQUEL		x	x	396
Secundaria	160	R. TABACO		x	x	389
Secundaria	160	R. VENADO	x	x		377
Secundaria	160	R. ANDAMOJO	x		x	362
Secundaria	160	Q. NEGRITOS				355
Secundaria	160	R. LIMONES				354
Secundaria	160	R. SONCOYO		x		347
Secundaria	160	Q. LA LIMA		x	x	334
Secundaria	160	R. CHIRCO				330
Secundaria	160	Q. RAMOS				328
Secundaria	161	R. NANDAYURE				385
Secundaria	163	Q. Balsa				459
Secundaria	163	Q. TIGRA				464
Secundaria	163	R. CUAJINIQUEL		x	x	460
Secundaria	163	R. JUAN DE LEON		x	x	459
Secundaria	163	R. JABILLO		x		450
Secundaria	163	R. MILLAL	x			455
Secundaria	163	Q. MONO				455
Secundaria	180	R. ZAPOTE				341
Secundaria	180	E. SALINAS				337
Terciaria	623	R. SAN PEDRO				408
Terciaria	901	R. LAJAS				397
Terciaria	901	R. ORA				
Terciaria	901	Q. SIN NOMBRE				401
Terciaria	901	Q. SIN NOMBRE				399
Terciaria	901	R. ORA				390
Terciaria	901	R. BIJAGUA				385
Terciaria	902	R. NANDAYURE				386
Terciaria	903	R. PERDIDOS				422
Terciaria	905	R. CHIQUITO				310
Terciaria	906	R. MATAMBA				284
Terciaria	906	Q. RINCON				308
Terciaria	906	R. ZAPOTE		x		
Terciaria	907	R. GARZON		x		308
Terciaria	909	Q. INDIOS				344
Terciaria	909	R. TRAPICHE				345



TIPO DE RUTA	RUTA	NOMBRE DEL PUENTE	INFORME SAEP	GIRA O INFORME LANAMME-UCR	SANTANA 1999	ACCELERACION ESTIMADA SISMO DE SAMARA 2012 (cm/s ²)
Terciaria	909	R. CANAS		x		343
Terciaria	909	Q. SIN NOMBRE		x		343
Terciaria	910	Q. TOYOSA		x		342
Terciaria	910	Q. LOMAS				342
Terciaria	910	R. GUAYABO				342
Terciaria	910	R. TEMPATE				341
Terciaria	911	E. PLATANAR	x			337
Terciaria	911	R. CACAO	x			336
Terciaria	912	R. LA PALMA		x		359
Terciaria	912	R. SARDINAL		x	x	341
Terciaria	915	Q. SIN NOMBRE				483
Terciaria	920	R. BOLSON		x		348
Terciaria	920	R. CHARCO		x		335
Terciaria	920	R. TALOLINGUITA				327
Terciaria	928	R. SAQUITO				370
Terciaria	929	Q. RINCON				311
Terciaria	929	Q. HENCHIDERO				327
Terciaria	931	R. CAMPERO		x		318
Terciaria	931	R. SANTA BARBARA		x		318
Terciaria	933	Q. PIEDRA				347
Terciaria	934	R. TERCIOPELO		x		404
Terciaria	934	R. CRUCIVALLEJO		x		404
Terciaria	934	R. FRIO				410
Terciaria	934	Q. TIGRA				411



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

ANEXO G

FICHA DE PUENTES QUE PRESENTAN DAÑO POR SISMO EN PENÍNSULA DE NICOYA

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales Nombre o/y Código: Q. HONDA Tipo de ruta: <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Tercaria <input type="checkbox"/> Municipal Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nicoya, Quebrada Honda Importancia (LDSP 2013): <input checked="" type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal Tipo Superestructura: 502 Tipo pila: Numero de Tramos: 1 TPD: 5169 Inspector/es: DEL SAEP Fecha de Inspección: Agosto, 2015		Foto Vista General o Rotulo Coordenada (X,Lat): 10,183577 Coordenada (Y,Long): -85,29704  Observaciones Generales:
---	--	--

Resumen de los daños observados*

Superestructura:	Desprendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ____	Daño elem. Secundario <input type="checkbox"/> Grado: ____	3 cm < Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: ____
Apoyos:	Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ____	Anclajes dañados <input type="checkbox"/> Grado: ____	Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 0
Bastiones/Pilas:	Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ____	Daños en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ____	Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: ____
Rellenos y Muros:	Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ____	Asentamiento mayor a 15 cm <input type="checkbox"/> Grado: ____	

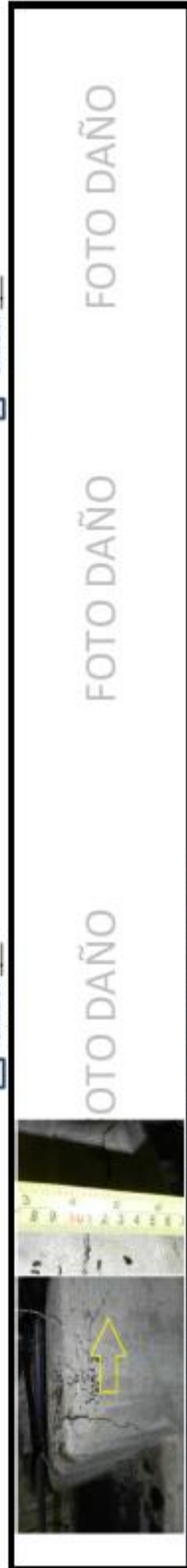


FOTO DAÑO

FOTO DAÑO

FOTO DAÑO

*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. TEMPISQUE NUEVO
Tipo de ruta	
<input checked="" type="checkbox"/> Primaria	<input type="checkbox"/> Secundaria
<input type="checkbox"/> Terciaria	<input type="checkbox"/> Municipal
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Carrillo, Palmira
Importancia (LDSP 2013):	
<input checked="" type="checkbox"/> Crítico	<input type="checkbox"/> Convencional
<input type="checkbox"/> Esencial	<input type="checkbox"/> P. Temporal
Tipo Superestructura:	310
Tipo pila:	
Numero de Tramos:	1
TPD:	12900
Inspector/es:	Del SAEP
Fecha de Inspección:	Febrero, 2014

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,561883 Coordenada (Y, Long): -85,59077



Observaciones Generales: Puente largo con longitud de asiento evidentemente insuficiente según la FHWA

Resumen de los daños observados *

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ Grado: 1 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: 1 Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 1

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes. Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



FOTO DAÑO

* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales

Nombre o/y Código: **R. BELÉN**

Tipo de ruta: Primaria Secundaria Terciaria Municipal

Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Carrillo, Belén

Importancia (LDSP 2013): Crítico Convencional Esencial P. Temporal

Tipo Superestructura: 102

Tipo pila: tipo columna unica con viga cabezal

Numero de Tramos: 3 TPD: 8817

Inspector/es: Silvia Vargas, Luis Vargas

Fecha de Inspección: Mayo, 2014

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,405993 Coordenada (Y, Long): -85,587197



Observaciones Generales: Sin dispositivo de apoyo para las vigas, long. de asiento insuficiente en pilas

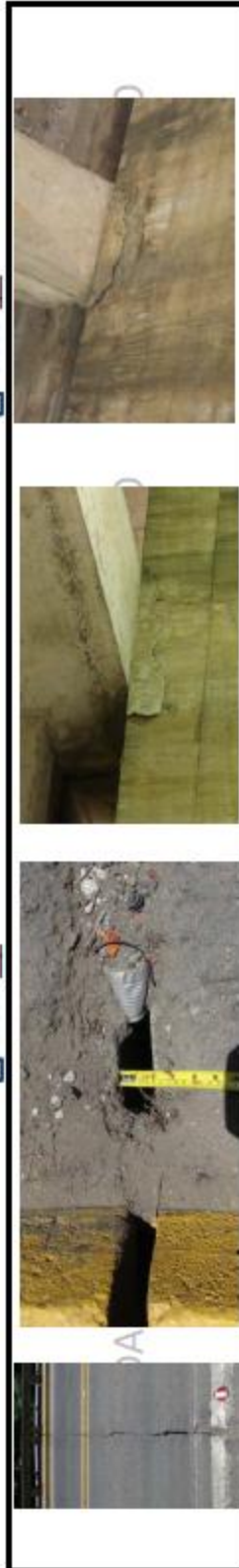
Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desprendimientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: 1

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 1

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R. CARRIZAL</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p>Tipo de ruta</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 10,394508 Coordenada (Y, Long): -85,586833</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito:</p>	<p>Observaciones Generales: Tablero sobre pilas temporales de acero, bastiones en mal estado</p>
<p>Importancia (LDSP 2013):</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	
<p>Tipo Superestructura: 302</p>	
<p>Tipo pila: Pilas temporales de acero</p>	
<p>Numero de Tramos: 3 TPD: 8817</p>	
<p>Inspector/es: Luis Vargas, Silvia Vargas</p>	
<p>Fecha de Inspección: Mayo, 2014</p>	

Resumen de los daños observados *

<p>Superestructura:</p> <p><input type="checkbox"/> Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ <input type="checkbox"/> 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___</p>
<p>Apoyos:</p> <p><input type="checkbox"/> Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ <input type="checkbox"/> Anclajes dañados Grado: ___ <input type="checkbox"/> Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 0</p>
<p>Bastiones/Pilas:</p> <p><input type="checkbox"/> Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ <input type="checkbox"/> Daño en Pilotes Grado: ___</p>
<p>Rellenos y Muros:</p> <p><input type="checkbox"/> Daños en aletones o muros Grado: ___ <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/> Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___</p>



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. CAÑAS
Tipo de ruta <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal	
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Carrillo, Belén
Importancia (LDSP 2013): <input checked="" type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	402
Tipo pila:	Columna simple con martillo de concreto reforzado
Numero de Tramos:	3 TPD: 8817
Inspector/es:	del SAEF
Fecha de Inspección:	Setiembre, 2015.

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,35375 Coordenada (Y, Long): -85,566947



Observaciones Generales:

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: 1 Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento o pedestal Grado: ___

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes. Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. DIRIA
Tipo de ruta	
<input checked="" type="checkbox"/> Primaria	<input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Santa Cruz, Santa Cruz
Importancia (LDSP 2013):	
<input checked="" type="checkbox"/> Crítico	<input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal
Tipo Superestructura:	Pony 303 tramo maximo, 2 aprox 107
Tipo pila:	Marco de concreto con pantalla
Numero de Tramos:	3 TPD: 7195
Inspector/es:	Luis Vargas, Silvia Vargas
Fecha de Inspección:	Mayo, 2014

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,270383 Coordenada (Y, Long): -85,589107

Observaciones Generales: Informe CNE indica daño severo

Daño reparado se observo en area de apoyo viga sobre bastion

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desprendimientos en losa o viga Grado: 2 Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: 1

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. SANTA RITA
Tipo de ruta	
<input checked="" type="checkbox"/> Primaria	<input type="checkbox"/> Secundaria
<input type="checkbox"/> Tercaria	<input type="checkbox"/> Municipal
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Nandayure, Santa Rita
Importancia (LDSP 2013):	
<input checked="" type="checkbox"/> Critico	<input type="checkbox"/> Convencional
<input type="checkbox"/> Esencial	<input type="checkbox"/> P. Temporal
Tipo Superestructura:	104
Tipo pila:	
Numero de Tramos:	1 TPD: 3535
Inspector/es:	del SAEF
Fecha de Inspección:	Marzo, 2014

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,052944 Coordenada (Y, Long): -85,260465

Observaciones Generales: El daño en la viga no es claro en el informe SAEF. Es recomendable verificar in-situ

Resumen de los daños observados *

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: 1 Daño elem. Secundario Grado: ____ 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ____

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ Anclajes dañados Grado: ____ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 0

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ____ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ____ Aparente liq. Grado: ____

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ____ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ____

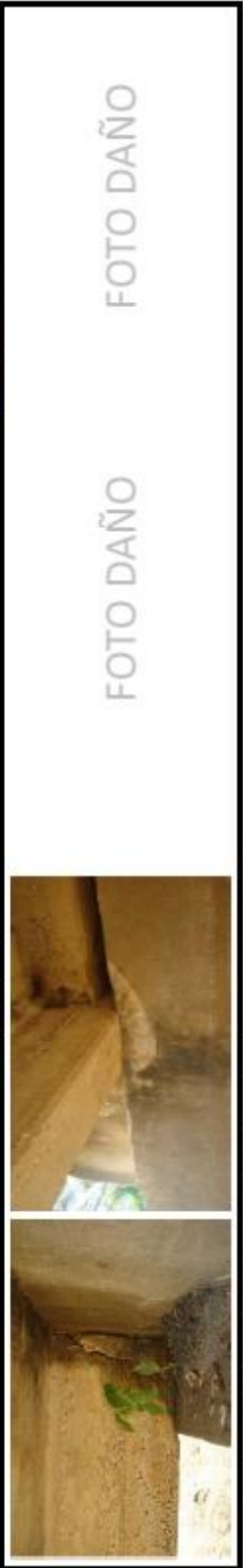



FOTO DAÑO FOTO DAÑO

* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R.NANDAYURE</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p>Tipo de ruta <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 10,02949 Coordenada (Y, Long): -85,227571</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nandayure, San Pablo</p>	
<p>Importancia (LDSP 2013): <input checked="" type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	<p>Observaciones Generales:</p>
<p>Tipo Superestructura: 101</p>	
<p>Tipo pila: Muro con viga cabezal de concreto</p>	
<p>Numero de Tramos: 3 TPD: 2865</p>	
<p>Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas.</p>	
<p>Fecha de Inspección: Julio, 2015</p>	

Resumen de los daños observados *

<p>Superestructura: <input checked="" type="checkbox"/> Desplazamientos en losa o viga Grado: 1 <input type="checkbox"/> Daño elem. Secundario Grado: ____ <input type="checkbox"/> 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: 2</p>
<p>Apoyos: <input type="checkbox"/> Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ <input type="checkbox"/> Anclajes dañados Grado: ____ <input type="checkbox"/> Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ____</p>
<p>Bastiones/Pilas: <input type="checkbox"/> Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes. Grado: ____ <input type="checkbox"/> Daño en Pilotes Grado: ____</p>
<p>Rellenos y Muros: <input type="checkbox"/> Daños en aletones o muros Grado: ____ <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ____ <input type="checkbox"/> Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ____</p>



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales

Nombre o/y Código: **Q. SAN PEDRO**

Tipo de ruta: Primaria Secundaria Terciaria Municipal

Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nandayure, San Pablo

Importancia (LDSP 2013): Crítico Convencional Esencial P. Temporal

Tipo Superestructura: 502

Tipo pila: Columna única con viga cabezal de R.C


Numero de Tramos: 4 TPD: 2865

Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas

Fecha de Inspección: Julio, 2015

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 9,974869 Coordenada (Y, Long): -85,181344



Observaciones Generales:

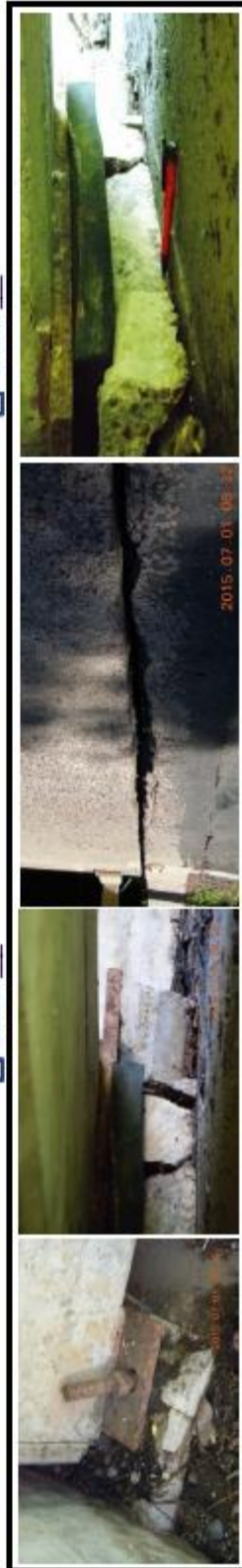
Resumen de los daños observados *

Superestructura: Desprendimientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: 1 Anclajes dañados Grado: 2 Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 1

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. NOSARA
<p>Tipo de ruta</p> <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal	
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Nicoya, Belén de Nosarita
<p>Importancia (LDSP 2013):</p> <input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	302
Tipo pila:	
Numero de Tramos:	1 TPD: 3466
Inspector/es:	Luis Vargas, Jorge Muñoz
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,030483 Coordenada (Y, Long): -85,504066



Observaciones Generales:

Resumen de los daños observados *

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 0


Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes. Grado: ___ Daño en Pilotes Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: 1 Sin liq. Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R. MICOS 1</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p>Tipo de ruta <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 9,9763253 Coordenada (Y, Long): -85,508395</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nicoya, Belen de Nosarita</p>	
<p>Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	<p>Observaciones Generales:</p>
<p>Tipo Superestructura: 302</p>	
<p>Tipo pila:</p>	
<p>Numero de Tramos: 1 TPD: 2217</p>	
<p>Inspector/es: Luis Vargas, Jorge Muñoz</p>	
<p>Fecha de Inspección: Octubre, 2015</p>	

Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura: Desplendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ___ Daño elem. Secundario <input type="checkbox"/> Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>
<p>Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___ Anclajes dañados <input type="checkbox"/> Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 0</p>
<p>Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ___ Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: ___</p>
<p>Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. MICOS 2
Tipo de ruta <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal <input type="checkbox"/> Crítico	
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Nicoya, Belen de Nosarita
Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	302
Tipo pila:	
Numero de Tramos:	1 TPD: 2217
Inspector/es:	Luis Vargas, Jorge Muñoz
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 9,9702254 Coordenada (Y, Long): -85,511106



Observaciones Generales:

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desprendimientos en losa o viga Grado: ____ Daño elem. Secundario Grado: ____ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: 1

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ Anclajes dañados Grado: ____ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 0

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ____ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ____ Aparente liq. Grado: ____


Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ____ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ____



FOTO DAÑO

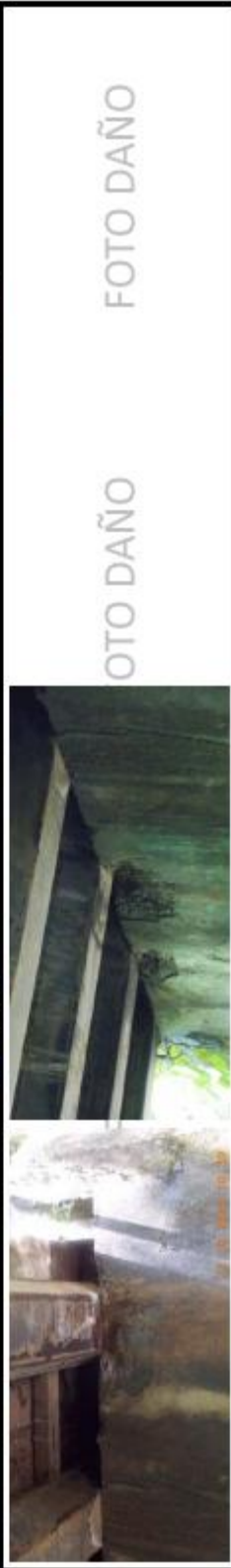
*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R. PLATANILLO</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p><input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 9,9435937 Coordenada (Y, Long): -85,52042</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nicoya, Samara</p>	
<p>Importancia (LDSP 2013):</p> <p><input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	<p>Observaciones Generales:</p>
<p>Tipo Superestructura: 302</p>	
<p>Tipo pila:</p>	
<p>Numero de Tramos: 1 TPD: 2217</p>	
<p>Inspector/es: Luis Vargas, Jorge Muñoz</p>	
<p>Fecha de Inspección: Octubre, 2015</p>	

Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura:</p> <p><input type="checkbox"/> Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ <input type="checkbox"/> Daño elem. Secundario Grado: ___ <input type="checkbox"/> 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___</p>
<p>Apoyos:</p> <p><input type="checkbox"/> Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ <input type="checkbox"/> Anclajes dañados Grado: ___ <input type="checkbox"/> Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 0</p>
<p>Bastiones/Pilas:</p> <p><input type="checkbox"/> Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ <input type="checkbox"/> Daño en Pilotes Grado: ___</p>
<p>Rellenos y Muros:</p> <p><input type="checkbox"/> Daños en aletones o muros Grado: ___ <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/> Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___</p>




*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. BARBA DE VIEJO
<p>Tipo de ruta</p> <input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal	
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Santa Cruz, Cartagena
<p>Importancia (LDSP 2013):</p> <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	101
Tipo pila:	Tipo muro
Numero de Tramos:	3 TPD: 4315
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,363558 Coordenada (Y,Long): -85,6919



Observaciones Generales: Posible desplazamiento ya sellado pero evidente por desfase en demarcación y diferencia de altura

Resumen de los daños observados*

Superestructura:	Desprendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ___	Daño elem. Secundario <input type="checkbox"/> Grado: ___	3 cm < Aberturas o Movimientos laterales <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 1
Apoyos:	Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___	Anclajes dañados <input type="checkbox"/> Grado: ___	Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input type="checkbox"/> Grado: ___
Bastiones/Pilas:	Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ___	Daños en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___	Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: ___
Rellenos y Muros:	Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ___	Asentamiento mayor a 15 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___	



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Nombre o/y Código: R. LIMÓN</p>	
<p><input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Tipo de ruta</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Santa Cruz, Cartagena</p>	<p>Importancia (LDSP 2013):</p>
<p><input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	<p>Tipo Superestructura: 101</p>
<p>Tipo pila: Tipo muro</p>	<p>Numero de Tramos: 3 TPD: 4315</p>
<p>Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas</p>	<p>Fecha de Inspección: Octubre, 2015</p>

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,360865 Coordenada (Y, Long): -85,703062



Observaciones Generales: Iguales a puente sobre R. Barba de Viejo

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: 1

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___


Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R. SAN ANDRES</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p><input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 10,314818 Coordenada (Y, Long): -85,80482</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Santa Cruz, Tamarindo</p>	
<p><input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esndal <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	<p>Observaciones Generales:</p>
<p>Importancia (LDSP 2013):</p>	
<p>Tipo Superestructura: 502</p>	
<p>Tipo pila:</p>	
<p>Numero de Tramos: 1 TPD: 5211</p>	
<p>Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas</p>	
<p>Fecha de Inspección: Octubre, 2015,</p>	

Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura:</p>	<p>Desplendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>	<p>Daño elem. Secundario <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>	<p>3 cm< Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>
<p>Apoyos:</p>	<p>Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>	<p>Anclajes dañados <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 1</p>	<p>Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>
<p>Bastiones/Pilas:</p>	<p>Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>	<p>Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: ___</p>	
<p>Rellenos y Muros:</p>	<p>Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>	<p>Asentamiento mayor a 15 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>	



FOTO DAÑO FOTO DAÑO

*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R. POTRERO</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p>Tipo de ruta <input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 10,123958 Coordenada (Y,Long): -85,428912</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nicoya, Nicoya</p>	
<p>Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	<p>2015.10.22 08:17</p>
<p>Tipo Superestructura: 303</p>	<p>Observaciones Generales: Dada la edad del puente (años 30) es posible que el daño corresponda a un evento anterior al 2012</p>
<p>Tipo pila: Numero de Tramos: 1 TPD: 384</p>	
<p>Inspector/es: Luis Vargas, Jorge Muñoz</p>	
<p>Fecha de Inspección: Octubre, 2015</p>	


Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura: <input type="checkbox"/> Desprendimientos en losa o viga Grado: ____ <input type="checkbox"/> 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ____</p>
<p>Apoyos: <input type="checkbox"/> Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ <input type="checkbox"/> Anclajes dañados Grado: ____ <input type="checkbox"/> Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 2</p>
<p>Bastiones/Pilas: <input type="checkbox"/> Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ____ <input type="checkbox"/> Daño en Pilotes Grado: ____</p>
<p>Rellenos y Muros: <input type="checkbox"/> Daños en aletones o muros Grado: ____ <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ____ <input type="checkbox"/> Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ____</p>



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p> <p>Nombre o/y Código: R. PANICA</p> <p><input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p> <p>Provincia, Canton, Distrito: Puntarenas, Puntarenas, Paquera</p> <p>Importancia (LDSP 2013):</p> <p><input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p> <p>Tipo Superestructura: 402</p> <p>Tipo pila: Muro de concreto con viga cabezal de acero</p> <p>Numero de Tramos: 3 TPD: 1036</p> <p>Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas</p> <p>Fecha de Inspección: Octubre, 2015</p>		<p>Foto Vista General o Rotulo</p>  <p>Coordenada (X,Lat): 9,7266669 Coordenada (Y,Long): -85,030598</p> <p>Observaciones Generales: Apoyos no pudieron auscultarse</p> <p>Daño severo en tablero al centro del puente (no sismo)</p>
--	--	--

Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura: <input type="checkbox"/> Desprendimientos en losa o viga Grado: ___ <input type="checkbox"/> Daño elem. Secundario Grado: ___ <input type="checkbox"/> 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: 1 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Apoyos: <input type="checkbox"/> Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ <input type="checkbox"/> Anclajes dañados Grado: ___ <input type="checkbox"/> Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___ <input type="checkbox"/></p> <p>Bastiones/Pilas: <input type="checkbox"/> Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ <input type="checkbox"/> Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/></p> <p>Rellenos y Muros: <input type="checkbox"/> Daños en aletones o muros Grado: ___ <input type="checkbox"/> Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___ <input type="checkbox"/></p>
--



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. BEJUCO
<p>Tipo de ruta</p> <input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal <input type="checkbox"/> Provincial, Canton, Distrito: Guanacaste, Nandayure, Bejuco	
<p>Importancia (LDSP 2013):</p> <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	302
Tipo pila:	Tipo muro de concreto
Numero de Tramos:	3 TPD: 147
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015,

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 9,832476 Coordenada (Y, Long): -85,327932

Observaciones Generales: Movimiento mayor a 3 cm fue inferido de fotografía ya que no se tiene acceso al apoyo en la pila

Resumen de los daños observados*

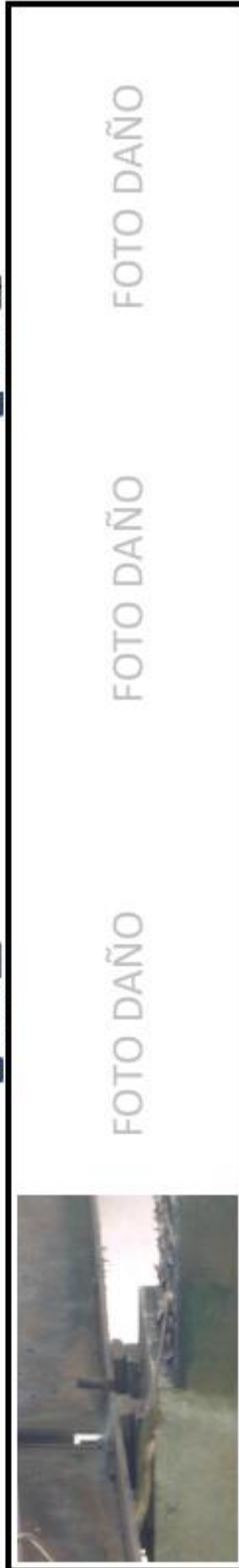
Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: 1 Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales

Nombre o/y Código: **E. CARRILLO**

Tipo de ruta:
 Primaria Secundaria Terciaria Municipal
 Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Hojancha, Puerto Carrillo.

Importancia (LDSP 2013):
 Crítico Convencional Esencial P. Temporal

Tipo Superestructura: Evaluada 522 (bajo actual 303)

Tipo pila: _____

Numero de Tramos: 1 TPD: 519

Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas.

Fecha de Inspección: Octubre, 2015.

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 9,866805 Coordenada (Y,Long): -85,482307



Observaciones Generales: Puente Bailey sobre el puente evaluado (no esta claro si daño fue por sismo). Zona de Licuación

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: 3 Daño elem. Secundario Grado: 2 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___


Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: E. CARRILLO 2</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 9,8716169 Coordenada (Y,Long): -85,488547</p>
<p>Tipo de ruta <input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo </p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Hojancha, Puerto Carrillo.</p>	<p>Observaciones Generales: Tablero reconstruido reciente (no esta claro si el motivo fue el sismo). Licuafacción en la zona</p>
<p>Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	
<p>Tipo Superestructura: 522</p>	
<p>Tipo pila: Numero de Tramos: 1 TPD: 519</p>	
<p>Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas.</p>	
<p>Fecha de Inspección: Octubre, 2015.</p>	

Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura: Desprendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ____ <input type="checkbox"/> Grado: ____ <input type="checkbox"/> Grado: ____</p>	<p>Daño elem. Secundario 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: ____</p>
<p>Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ____ <input type="checkbox"/> Grado: ____ <input type="checkbox"/> Grado: ____</p>	<p>Anclajes dañados Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input type="checkbox"/> Grado: ____ <input type="checkbox"/> Grado: ____</p>
<p>Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ____</p>	<p>Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ____ <input checked="" type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: 1</p>
<p>Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ____</p>	<p>Asentamiento mayor a 15 cm <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 1</p>



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales

Nombre o/y Código: **E. SANGRADO**

Tipo de ruta: Primaria Secundaria Terciaria Municipal

Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nicoya, Sámará.

Importancia (LDSP 2013): Crítico Convencional Esencial P. Temporal

Tipo Superestructura: 522

Tipo pila: _____


Numero de Tramos: 1 TPD: 160

Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas.

Fecha de Inspección: Octubre, 2015.

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 9,8696829 Coordenada (Y,Long): -85,498726



Observaciones Generales: _____

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desprendimientos en losa o viga Grado: ____ Daño elem. Secundario Grado: ____ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ____

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ Anclajes dañados Grado: ____ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ____

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: 1 Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ____ Aparente liq. Grado: 2

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ____ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ____



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. MONTAÑA
Tipo de ruta	
<input checked="" type="checkbox"/> Primaria	<input type="checkbox"/> Secundaria
<input type="checkbox"/> Terciaria	<input type="checkbox"/> Municipal
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Nicoya, Sámará.
Importancia (LDSP 2013):	
<input type="checkbox"/> Crítico	<input type="checkbox"/> Convencional
<input checked="" type="checkbox"/> Esencial	<input type="checkbox"/> P. Temporal
Tipo Superestructura:	522
Tipo pila:	Pilote de acero
Numero de Tramos:	2
TPD:	371
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas.
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015.

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 9,8696829 Coordenada (Y, Long): -85,498726

Observaciones Generales: Se reporto daños moderados en rellenos de aproximación (foto ilustrativa del relleno actual)

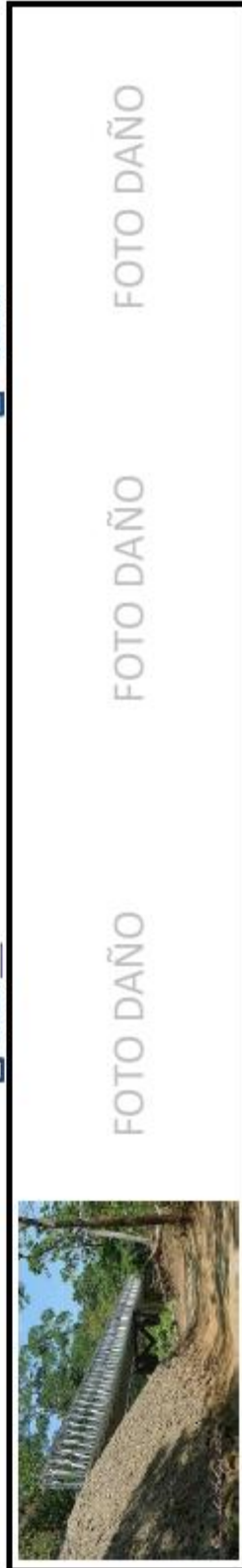
Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: ____ Daño elem. Secundario Grado: ____ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ____

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ Anclajes dañados Grado: ____ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ____

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ____ Daño en Pilotes Grado: ____

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ____ Sin liq. Grado: ____ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: 2



*Se incluyen exclusivamente los daños observados, posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. TABACO
Tipo de ruta	
<input checked="" type="checkbox"/> Primaria	<input type="checkbox"/> Secundaria
<input type="checkbox"/> Terciaria	<input type="checkbox"/> Municipal
Provincia, Canton, Distrito:	Guana caste, Santa Cruz, Cuajiniquil
Importancia (LDSP 2013):	
<input type="checkbox"/> Crítico	<input checked="" type="checkbox"/> Convencional
<input type="checkbox"/> Esencial	<input type="checkbox"/> P. Temporal
Tipo Superestructura:	622
Tipo pila:	Muro de RC. (marco de acero de refuerzo en pila central)
Numero de Tramos:	4 TPD: 285
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas
Fecha de Inspección:	Junio, 2015

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,081756 Coordenada (Y,Long): -85,763757

Observaciones Generales: Grietas de corte en muro de concreto en pilas (soporte temporal en una pila)

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Daño elem. Secundario Grado: ____ 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ____

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ Anclajes dañados Grado: ____ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ____


Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ____ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ____ Aparente liq. Grado: ____

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: 2 Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ____



* Se incluyen exclusivamente los daños observados, posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. VENADO
Tipo de ruta: <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal	
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Santa Cruz, 27 de abril
Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	Muro de concreto reforzado
Numero de Tramos:	2
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015
Coordenada (X,Lat):	10,141465
Coordenada (Y,Long):	-85,788847
Foto Vista General o Rotulo 	
Observaciones Generales:	Foto daño del SAEP

Resumen de los daños observados*


Superestructura:	Desprendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ___	Daño elem. Secundario <input type="checkbox"/> Grado: ___	3 cm < Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: ___
Apoyos:	Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___	Anclajes dañados <input checked="" type="checkbox"/> Grado: 1	Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input type="checkbox"/> Grado: ___
Bastiones/Pilas:	Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ___	Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___	Aparente liq. Grado: ___
Rellenos y Muros:	Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ___	Asentamiento mayor a 15 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___	



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

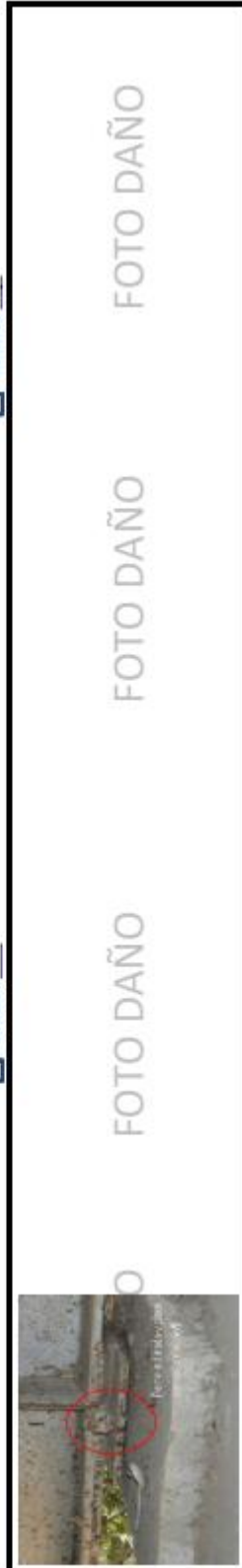


Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R. ANDAMOJO</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p>Tipo de ruta <input checked="" type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 10,197208 Coordenada (Y,Long): -85,761441</p>
<p>Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Santa Cruz, 27 de abril</p>	
<p>Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input checked="" type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	<p>Observaciones Generales: Foto de daño del informe SAEF</p>
<p>Tipo Superestructura: 402</p>	
<p>Tipo pila: Muro de concreto reforzado</p>	
<p>Numero de Tramos: 3 TPD: 283</p>	
<p>Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas</p>	
<p>Fecha de Inspección: Junio, 2015</p>	

Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura: <input type="checkbox"/> Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ <input type="checkbox"/> Daño elem. Secundario Grado: ___ <input type="checkbox"/> 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___</p>
<p>Apoyos: <input type="checkbox"/> Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ <input checked="" type="checkbox"/> Anclajes dañados Grado: 1 <input type="checkbox"/> Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___</p>
<p>Bastiones/Pilas: <input type="checkbox"/> Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ <input type="checkbox"/> Daño en Pilotes Grado: ___</p>
<p>Rellenos y Muros: <input type="checkbox"/> Daños en aletones o muros Grado: ___ <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/> Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___</p>



* Se incluyen exclusivamente los daños observados, posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. SONCOYO
Tipo de ruta	
<input type="checkbox"/> Primaria	<input checked="" type="checkbox"/> Secundaria
<input type="checkbox"/> Terciaria	<input type="checkbox"/> Municipal
Provincia, Canton, Distrito:	Guanacaste, Santa Cruz, 27 de abril.
Importancia (LDSP 2013):	
<input type="checkbox"/> Crítico	<input type="checkbox"/> Convencional
<input checked="" type="checkbox"/> Esencial	<input type="checkbox"/> P. Temporal
Tipo Superestructura:	303
Tipo pila:	
Numero de Tramos:	1 TPD: 4194
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Varga s.
Fecha de Inspección:	Junio, 2015.

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,254676 Coordenada (Y, Long): -85,715796



Observaciones Generales: El daño observado podría estar asociado a otros eventos anteriores al 2012

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desprendimientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Anclajes dañados Grado: 1 Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 2

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

<p>Aspectos Generales</p>	
<p>Nombre o/y Código: R. JUAN DE LEÓN</p>	<p>Foto Vista General o Rotulo</p>
<p>Tipo de ruta <input type="checkbox"/> Primaria <input checked="" type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal Provincia, Canton, Distrito: Puntarenas, Puntarenas, Le panto.</p>	<p>Coordenada (X,Lat): 9,857023 Coordenada (Y, Long): -85,191171</p>
<p>Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal</p>	
<p>Tipo Superestructura: 502</p>	<p>Observaciones Generales:</p>
<p>Tipo pila: Columna única con viga cabezal de concreto reforzado</p>	
<p>Numero de Tramos: 3 TPD: 185</p>	
<p>Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas.</p>	
<p>Fecha de Inspección: Junio, 2015</p>	

Resumen de los daños observados*

<p>Superestructura: Desprendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ___ Daño elem. Secundario <input type="checkbox"/> Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>
<p>Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ___ Anclajes dañados <input type="checkbox"/> Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input type="checkbox"/> Grado: 1</p>
<p>Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ___ Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___ <input type="checkbox"/> Asentamiento mayor a 15 cm. Grado: ___</p>
<p>Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ___</p>



FOTO DAÑO FOTO DAÑO

*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. CAÑAS
Tipo de ruta: <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input checked="" type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal <input type="checkbox"/> Provincial, Canton, Distrito: Guanacaste, Santa Cruz, 27 de abril.	
Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	302
Tipo pila:	
Numero de Tramos:	1 TPD: 283
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas.
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015.

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,278937 Coordenada (Y, Long): -85,70363

Observaciones Generales: Pilotes visibles por socavación

Resumen de los daños observados*

Superestructura: Desplendimientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: 1 Aparente liq. Grado: ___

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. LA PALMA
Tipo de ruta <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input checked="" type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal <input type="checkbox"/> Municipal	
Provincia, Cantón, Distrito:	Guana caste, Carrillo, Sardinal
Importancia (LDSP 2013): <input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	302
Tipo pila:	
Numero de Tramos:	1 TPD: 310
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,485528 Coordenada (Y, Long): -85,580705

Observaciones Generales: Socavación en ambos bastiones
Daños en pedestal y pilotes concentrados solo en bastion m. izq.

Resumen de los daños observados *

Superestructura:	Desprendimientos en losa o viga <input type="checkbox"/> Grado: ____	Daño elem. Secundario <input type="checkbox"/> Grado: ____	3 cm < Aberturas o Movimientos laterales <input type="checkbox"/> Grado: ____
Apoyos:	Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm <input type="checkbox"/> Grado: ____	Anclajes dañados <input type="checkbox"/> Grado: ____	Descascaramiento o agrietamiento pedestal <input type="checkbox"/> Grado: 1
Bastiones/Pilas:	Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes <input type="checkbox"/> Grado: ____	Daño en Pilotes <input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: 2 <input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: ____	Asentamiento mayor a 15 cm <input type="checkbox"/> Grado: ____
Rellenos y Muros:	Daños en aletones o muros <input type="checkbox"/> Grado: ____		




* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código:	R. SARDINAL
<u>Tipo de ruta</u> <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input checked="" type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal	
Provincia, Canton, Distrito:	Guana caste, Carrillo, Sardinal
<u>Importancia (LDSP 2013):</u> <input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Tipo Superestructura:	302
Tipo pila:	Columna unica con cabezal de concreto
Numero de Tramos:	3 TPD: 310
Inspector/es:	Jorge Muñoz, Luis Vargas
Fecha de Inspección:	Octubre, 2015

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 10,519512 Coordenada (Y, Long): -85,649402



Observaciones Generales: Acceso dificil a apoyos, puente de una sola via

Resumen de los daños observados *

Superestructura: Desplazamientos en losa o viga Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: 1 Anclajes dañados Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: ___

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes. Grado: ___ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ___ Aparente liq. Grado: ___


Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ___ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo



Ficha de Reporte de Daños en Puentes Típicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código: R. BOLSÓN	Foto Vista General o Rotulo
<input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input checked="" type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal	Coordenada (X,Lat): 10,365935 Coordenada (Y, Long): -85,458165 
Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Carrillo, Filadelfia	
<input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	
Importancia (LDSP 2013): 202	
Tipo Superestructura: Estructura rectangular hueca	
Tipo pila: 3	
Numero de Tramos: 3	TPD: 106
Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas	
Fecha de Inspección: Junio, 2015	Observaciones Generales: Daños en rellenos reportados CNE
	Puente en mal estado

Resumen de los daños observados *

Superestructura:	Desplazamientos en losa o viga	<input type="checkbox"/> Grado: ___	Daño elem. Secundario	<input type="checkbox"/> Grado: ___	3 cm< Aberturas o Movimientos laterales	<input type="checkbox"/> Grado: ___
Apoyos:	Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm	<input type="checkbox"/> Grado: ___	Anclajes dañados	<input type="checkbox"/> Grado: ___	Descascaramiento o agrietamiento pedestal	<input type="checkbox"/> Grado: ___
Bastiones/Pilas:	Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes	<input type="checkbox"/> Grado: ___	Daño en Pilotes	<input type="checkbox"/> Sin liq. Grado: ___	<input type="checkbox"/> Aparente liq. Grado: ___	
Rellenos y Muros:	Daños en aletones o muros	<input type="checkbox"/> Grado: ___	Asentamiento mayor a 15 cm	<input checked="" type="checkbox"/> Grado: ___		



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales	
Nombre o/y Código: R. TERCIOPELO	
<input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Terciaria <input type="checkbox"/> Municipal	Tipo de ruta
Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nicoya, Sámará	
<input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Convencional <input type="checkbox"/> Esencial <input type="checkbox"/> P. Temporal	Importancia (LDSP 2013):
Tipo Superestructura: 302	
Tipo pila:	
Numero de Tramos: 1	TPD: 1050
Inspector/es: Jorge Muñoz, Luis Vargas	
Fecha de Inspección: Octubre, 2015.	

Foto Vista General o Rotulo

Coordenada (X,Lat): 9,9200317 Coordenada (Y, Long): -85,530197

Observaciones Generales: Descascaramiento muy leve en puente de un solo tramo Daño = 0

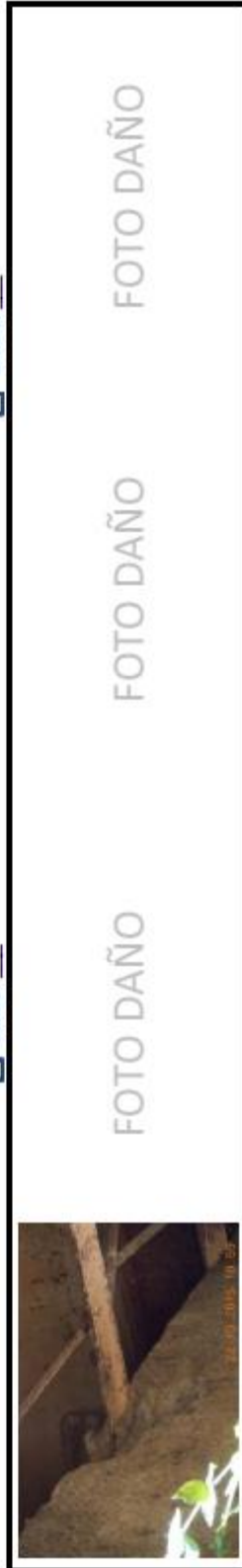
Resumen de los daños observados *

Superestructura: Desprendimientos en losa o viga Grado: ____ Daño elem. Secundario Grado: ____ 3 cm < Aberturas o Movimientos laterales Grado: ____

Apoyos: Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ____ Anclajes dañados Grado: ____ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 0

Bastiones/Pilas: Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Grado: ____ Daño en Pilotes Sin liq. Grado: ____ Aparente liq. Grado: ____

Rellenos y Muros: Daños en aletones o muros Grado: ____ Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ____



* Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo

Ficha de Reporte de Daños en Puentes Tipicamente Relacionados a Sismo Observados

Aspectos Generales

Nombre o/y Código: **R. CRUCIVALLEJO**

Tipo de ruta:
 Primaria Secundaria Terciaria Municipal

Provincia, Canton, Distrito: Guanacaste, Nicoya, Sámará

Importancia (LDSP 2013):
 Crítico Convencional Esencial P. Temporal

Tipo Superestructura: 522

Tipo pila:
 Numero de Tramos: 1 TPD: 1050

Inspector/es: Luis Vargas, Jorge Muñoz

Fecha de Inspección: Octubre, 2015,

Coordenada (X,Lat): 9,920688 Coordenada (Y,Long): -85,534422

Foto Vista General o Rotulo



Observaciones Generales: Descascaramiento reparado

Superestructura: Grado: ___ Daño elem. Secundario Grado: ___ 3 cm< Aberturas o Movimientos laterales Grado: ___

Apoyos: Grado: ___ Movimiento Apoyo/Superestructura > 3 cm Grado: ___ Descascaramiento o agrietamiento pedestal Grado: 0

Bastiones/Pilas: Grado: ___ Asentamientos, traslaciones (>5cm) o rotaciones evidentes Sin liq. Grado: ___ Daño en Pilotes Grado: ___

Rellenos y Muros: Grado: 1 Daños en aletones o muros Asentamiento mayor a 15 cm Grado: ___

Resumen de los daños observados*



*Se incluyen exclusivamente los daños observados posiblemente relacionados a sismo