



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



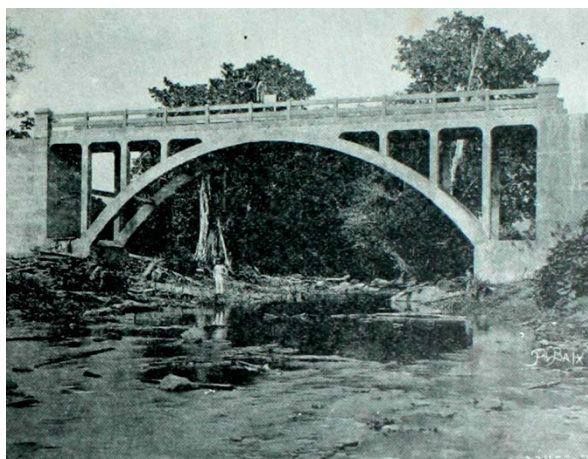
LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

No. Oficio: LM-PI-UP-02-2016

INFORMACIÓN DE INVENTARIO PARA PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL DE COSTA RICA

Preparado por:
Unidad de Puentes
LanammeUCR



Puente sobre el Río Machuca en Ruta Nacional Primaria #3, construcción 1924

San José, Costa Rica
Marzo, 2016



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco



1. Informe LM-PI-UP-02-2016		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: INFORMACIÓN DE INVENTARIO PARA PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL DE COSTA RICA		4. Fecha del Informe 18 de Marzo de 2016
5. 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		
6. Notas complementarias Ninguna		
7. Resumen La Unidad de Puentes del PITRA-LanammeUCR, observando la necesidad de uniformizar, conocer y hacer fácilmente disponible la información básica relacionada a las estructuras puentes en el país, se ha dado a la tarea de elaborar una base de datos de puentes para la red vial nacional basándose en los informes de inspección de puentes de la UP, la información digitalizada de planos constructivos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, y los datos disponibles hasta Diciembre del 2015 en el Sistema de Administración de Estructuras Y Puentes "SAEP". La información es de utilidad a inspectores de puentes en todo el territorio nacional así como también facilita datos de importancia para la ejecución de evaluaciones de la condición de puentes y podría ser utilizada para facilitar labores de planificación preliminar de inversiones.		
8. Palabras clave PITRA, puentes, inventario, evaluación visual	9. Nivel de seguridad: Ninguno	10. Núm. de páginas 45
11. Informe preparado por: Ing. Jorge Muñoz Barrantes, <i>PhD.</i> Unidad de Puentes Fecha: 29/03/2016	12. Informe preparado por: Geog. Paul Vega Salas, M. Sc. Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional Fecha: 18/03/2016	13. Informe revisado por: Ing. Luis Vargas Alas Unidad de Puentes Fecha: 18/03/2016
14. Revisado por: Lic. Miguel Chacón Alvarado Asesor Legal LanammeUCR Fecha: 29/03/2016	15. Revisado por: Ing. Roy Barrantes Jiménez Coordinador Unidad de Puentes Fecha: 18/03/2016	16. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, <i>Ph.D.</i> Coordinador General PITRA Fecha: 18/03/2016



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Página intencionalmente dejada en blanco

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	JUSTIFICACIÓN	7
3.	OBJETIVOS	8
4.	ALCANCES	8
5.	ASPECTOS GENERALES DEL INVENTARIO	9
5.1	TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES DEFINIDAS EN ESTE ESTUDIO	12
6.	INVENTARIO DE PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA.....	17
7.	INVENTARIO DE PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL SECUNDARIA	21
8.	INVENTARIO DE PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL Terciaria.....	25
9.	SÍNTESIS DE RESULTADOS A NIVEL NACIONAL	29
10.	RECOMENDACIONES DE USO Y LIMITACIONES	41
11.	REFERENCIAS.....	43
12.	ANEXOS	44

Página intencionalmente dejada en blanco

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 6 de 45
--------------------------	---------------------------------------	----------------

1. INTRODUCCIÓN

Este informe presenta una base de datos para puentes en la red vial nacional de Costa Rica. Este es un producto de la Unidad de Puentes del Lanamme-UCR ideado como una herramienta de ayuda para la elaboración de los informes de evaluación de la condición de puentes ubicados a lo largo de la Red Vial Nacional, en el marco de las competencias asignadas mediante el artículo 6 de la ley 8114. La fecha última de modificación de esta base de datos es de Diciembre del 2015.

Este informe da detalles sobre el origen de la información, recomendaciones de uso y alcances de la información suministrada. En los anexos se adjuntan tablas con información de puentes en la Red Vial Nacional, estas abarcan los temas de información general, información de ubicación e información geométrica y tipológica de superestructura.

2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, el LanammeUCR se ha convertido en un referente en materia de infraestructura del transporte en el país gracias a sus aportes en la creación de conocimiento especializado, transferencia de tecnología y soporte técnico a la Administración desde la fiscalización de obras viales. Siendo los puentes elementos vitales del sistema de transporte del país y considerando que su colapso puede ocasionar tanto pérdida de vidas humanas como pérdidas económicas considerables, la Unidad de Puentes del LanammeUCR "UP" asume la labor de fiscalización de puentes, asignada mediante la ley 8114 con gran responsabilidad, buscando siempre la mejora continua y el perfeccionamiento de la información y las técnicas utilizadas.

En un proceso de mejora continua, la elaboración de una base de datos de puentes es una herramienta útil tanto para los informes de fiscalización de puentes de la UP así como para los encargados de la administración de puentes en el país ya que facilita el rápido acceso a información sobre los puentes en la red vial nacional. Estos datos proveen también a todo ente o persona evaluadora de puentes con información básica, ayudando adicionalmente a uniformizar la información, inclusive para ítems tan generales como el nombre del puente, número de ruta, etc; aspectos en donde se ha observado con anterioridad que existen discrepancias entre evaluadores, en particular para puentes ubicados en rutas secundarias o terciarias. Adicionalmente, esta información de inventario podría ser utilizada para planificar preliminarmente inversiones.

Este trabajo también provee de la información necesaria para el uso de la *Guía para la*

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 7 de 45
--------------------------	---------------------------------------	----------------

Determinación de la Condición en Puentes Mediante Inspección Visual (Muñoz et al. 2015), de uso por parte de la UP en sus informes de fiscalización de puentes. Además, este inventario de puentes es útil como base para estudios de riesgo en puentes, ya que se brindan características espaciales y de taxonomías estructurales.

3. OBJETIVOS

1. Realizar un inventario básico de puentes utilizando la información incluida en los planos originales de diseño y, en lo posible, con verificación de la información basada en los informes de la UP y del Sistema de Administración de Estructuras y Puentes “SAEP”
2. Brindar una herramienta adicional de uso a la administración u otros entes evaluadores de puentes proporcionando información básica necesaria para los informes de evaluación de la condición de puentes.
3. Brindar uniformidad y orden a la información de inventario con la que cuenta en la actualidad la UP, obteniendo información útil para proyectar líneas de investigación.
4. Obtener información útil aplicable a estudios de riesgo para infraestructura de puentes.

4. ALCANCES

Este informe de inventario se limita a presentar los datos actuales disponibles en el inventario de puentes de la UP con el fin de cumplir con los objetivos descritos en el apartado anterior. Esta información es de referencia, útil a la hora de planear inspecciones o realizar estudios estadísticos, de riesgo, planificación de inversiones, etc. Su precisión va acorde con estos objetivos y los valores suministrados deben ser siempre comprobados de nuevo en campo para cada evaluación.

La información presentada da énfasis en aspectos básicos de configuración de la superestructura, la cual, se clasifica según la National Bridge Inventory “NBI” (FHWA 1995). Se incluyen en este estudio las equivalencias con los tipos estructurales utilizadas por los manuales del Ministerio de Obras Públicas y Transporte “MOPT”.

Es importante también señalar que el alcance de este inventario no incluye alcantarillas o los llamados alcantarilla-puente. Esto responde a sus características estructurales y al hecho de que la información disponible sobre las alcantarillas en la red vial nacional es difícil de corroborar dado la falta de información específica de planos, ubicación, etc.

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 8 de 45
--------------------------	---------------------------------------	----------------

5. ASPECTOS GENERALES DEL INVENTARIO

En nuestro país, la información sobre los puentes existentes en la red vial nacional “RVN” y cantonal es limitada. Como referencia inicial, el documento elaborado en el 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 lineales de puentes construidos. De este gran total de puentes, más del 90 por ciento (90,6%) son puentes que cruzan ríos. Para la red vial cantonal, se estima que la cantidad de puentes podría superar las 5000 unidades, aunque no existe un inventario físico para los cantones (Ramirez 2010). En este estudio se registran unas 1433 unidades de puentes que son parte o cruzan la RVN.

En la elaboración de un inventario de puentes, la información incluida responde a los recursos y objetivos del usuario según sea la clasificación o descripción requerida de la estructura. La tabla 1 muestra algunas características importantes para una clasificación de puentes y viaductos enfatizando aspectos de diseño (comentados por DGC (2009)). Otras clasificaciones útiles son aquellas enfocadas en el proceso constructivo del puente o aspectos administrativos, por ejemplo para Costa Rica la división entre rutas nacionales primarias, secundarias, terciarias y rutas cantonales. En tanto, la importancia operacional, la vida útil y el obstáculo que cruza un puente describen el tipo y magnitud de las cargas actuantes para las cuales debe ser diseñado el puente. Por ejemplo, en puentes que cruzan ríos deben considerarse aspectos de riesgo hidrológicos que pasan a segundo plano para el diseño de pasos de desnivel; asimismo los pasos a desnivel deben ser diseñados tomando en cuenta aspectos como la prevención del impacto lateral de vehículos.

Tabla 1: ATRIBUTOS BÁSICOS DE PUENTES Y VIADUCTOS

Atributo		Características del Atributo		
Importancia (CFIA 2013)	Puentes críticos (C)	Puentes esenciales (E)	Puentes convencionales (CO)	Otros puentes (O)
Vida útil	Permanentes (vida de servicio de diseño 50-75 años)		Temporales (vida menor a 3 años(CFIA 2013))	
Uso	Automóviles y/o trenes	Servicios (acueducto, oleoducto, etc)	Naval (puente canal)	Peatones
Obstáculo que cruza	Naturales (cuerpos de agua, depresiones, etc)		Otra obra civil (vías de comunicación o zona urbana)	
Características estructurales	Materiales	Longitud total, claro máximo	Tipos y número de apoyos	Sistema estructural y Normativa
Informe LM-PI-UP-02-2016		Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016		Página 9 de 45

La clasificación por importancia operacional presentada en la tabla 1 es la que se define según los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes de Costa Rica (CFIA 2013). Esta clasificación fue desarrollada desde el punto de vista del diseño e impacto de las cargas de sismo sobre los puentes, por lo que su importancia operacional es función de los criterios del Anexo 4.

En este informe se detallan 3 listados con atributos de para los puentes en la red vial nacional. Estas características se dividen en tres aspectos principales de provecho según sea el uso del inventario. Estos aspectos generales son la *ubicación*, *información general* y *características estructurales*.

- En *ubicación*, se detalla información como las coordenadas, tanto en el sistema de coordenadas geográficas mundial WGS84 como el sistema nacional de coordenadas planas CRTM05, la división política, y finalmente el número de ruta y el kilómetro sobre el que se encuentra el puente.
- En *información general*, se provee información útil para generar una clasificación general por condición de los puentes incluyendo fechas de construcción y última rehabilitación, la importancia operativa en caso de sismo, el obstáculo que cruza e información de tránsito.
- Para las *características estructurales* de los puentes, se muestra el número de tramos del puente, la continuidad de la superestructura entre tramos, la longitud del tramo máximo, si tiene sesgo, la normativa y año de diseño, el material principal de soporte de la superestructura, y una descripción del tipo de superestructura. La descripción de las tipologías estructurales se detalla en el Apartado 5.1.

La información para la construcción de este inventario proviene de varias y diversas fuentes que incluye datos propios de inspecciones y giras de reconocimiento de la UP así como información externa de otros entes públicos. Las fuentes principales se pueden resumir en las siguientes:

- 1) Base de datos de planos digitalizados de puentes (alrededor de 10000 laminas digitalizadas de planos del MOPT). Esta conforma la mayoría de la información en detalle presentada en este estudio.
- 2) Informes y base de datos del LANAMME-UCR. Incluye giras de reconocimiento, informes internos, informes externos y registro fotográfico (incluyendo imágenes del Geo3D disponibles para la red vial pavimentada)
- 3) Datos ingresados a hasta Diciembre del 2015 en el programa informático SAEP.
- 4) Listado de puentes con nombre, ubicación por kilometraje, longitud total y material principal brindada por la Dirección de Planificación del MOPT (información recopilada entre octubre del 2007 y junio del 2014). Esta lista se contrasta con la base de datos de la UP.

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 10 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

- 5) Memorias históricas del MOPT, disponibles en el sitio web de la Dirección de Planificación Sectorial del ministerio. Estas son utilidad para ubicar el detalle sobre fechas de construcción y rehabilitaciones
- 6) Sitios web de empresas constructoras de puentes (detalles varios de puentes incluyendo fechas de construcción)

El procedimiento de revisión y verificación de la información se realizó tomando en cuenta los siguientes aspectos para cada uno de los puentes:

- Búsqueda de los planos del puente en la base de datos de la UP.
- Verificar que los planos concuerden con el puente existente. Esto se realiza mediante comparación con informes LANAMME o información del SAEP de existir. Se verifica que la longitud total (satelital o Geo3D) y fecha de construcción del puente coincidan aproximadamente con la del plano para evitar inventariar puentes con información de planos de versiones que no se construyeron o puentes que ya han sido substituidos.
- De no existir información de planos o planos incompletos, se recurre a la descripción realizada por los informes del Lanamme-UCR y el SAEP.
- Se anotan observaciones de origen de información (ítem vacío para planos verificados que corresponden al puente)
- Se ubica y revisa que la información de ubicación espacial del puente sea precisa o se reubica el puente de ser necesario.
- Si no se encuentra información adicional de la estructura del puente se corrobora la longitud y ancho mediante el uso de imágenes satelitales y/o Geo3D, y si no se detalla información adicional para la estructura se dejan los espacios vacíos en la tabla.

En la figura 1 se detalla el uso de imágenes satelitales y el Geo3D para obtener información geométrica y de ubicación del puente. El uso del Geo3D se restringe al análisis de los videos realizados en muchas de la rutas nacionales pavimentadas (ver figura 1) que son el alcance de los informes de evaluación de la red vial nacional realizados por la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del LANAMME-PITRA. Los datos obtenidos mediante el uso del Geo3D son muy precisos pero requieren cuantioso recurso humano por lo que en este informe se limita su uso a la red de alta capacidad y a inspeccionar puentes sin información que podrían ser alcantarillas.

Es importante mencionar que de los 1433 puentes registrados, 38 no forman parte estrictamente de la RVN sino más bien son pasos del ferrocarril o caminos vecinales sobre la ruta nacional. Estos puentes se incluyen en inventario porque en caso de sismo su colapso obstruiría la vía nacional. En la tabla 2 se muestran los puentes inventariados según el obstáculo que cruzan y dueño.

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 11 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

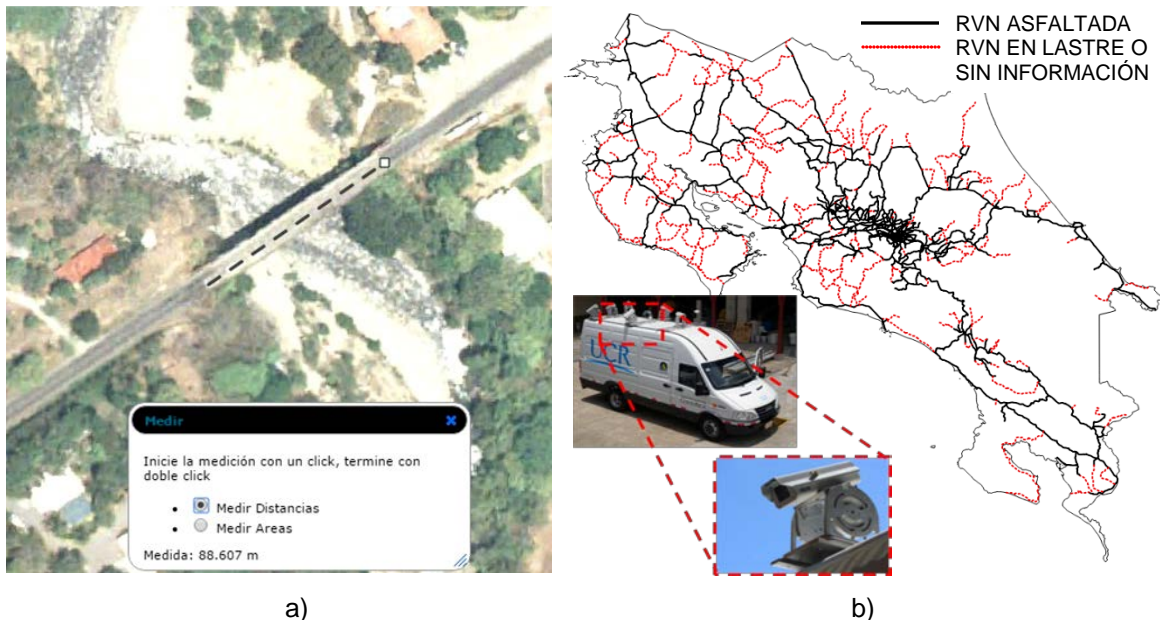


Figura 1: HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA VERIFICACIÓN DE LOS PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL. a) IMÁGEN SATELITAL PARA VERIFICAR GEOMETRIA Y UBICACIÓN (EN LA IMAGEN ORTOFOTO DEL SNIT 1:5000 Y LECTURAS MEDIANTE VISOR LANAMME). b) CAMIONETA DEL EQUIPO Geo3D QUE INCLUYE 3 CAMARAS FRONTALES Y 3 CAMARAS POSTERIORES, ADEMAS MAPA DE COSTA RICA INDICANDO VIAS EN LA RED VIAL NACIONAL ASFALTADAS O EN CONCRETO Y EN LASTRE O SIN INFORMACIÓN

Tabla 2: PUENTES SEGÚN EL OBSTÁCULO QUE CRUZAN Y DUEÑO.

Total de puentes	Puentes Red Vial Nacional (1395 unidades)					Pasos del Ferrocarril	Paso a Desnivel Camino Vecinal
	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%

5.1 TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES DEFINIDAS EN ESTE ESTUDIO

Una de las limitaciones de la información disponible actualmente en puentes es la insuficiente descripción estructural, la cual, se basa en el material de los componentes visibles de la estructura. En contraste, para el presente inventario, la descripción estructural se realiza poniendo énfasis no solo en material de construcción de la superestructura del puente sino también el tipo estructural que ésta presente; excluyendo el detalle del tablero y la superficie de rueda que por lo general es de concreto (con o sin capa asfáltica). Este enfoque inicial para la descripción estructural se eligió así debido a que el sistema portante de la superestructura es uno de los componentes que

presenta mayor variabilidad de sus rasgos en el sistema global del puente; y para el cual, la falla de alguno de sus elementos podría generar daños graves, inclusive el colapso total del puente.



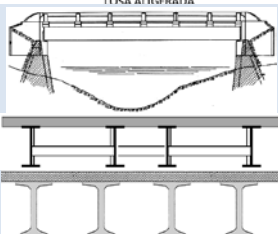

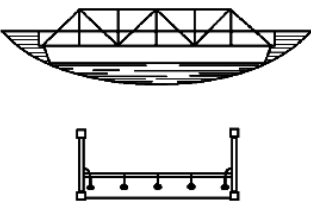

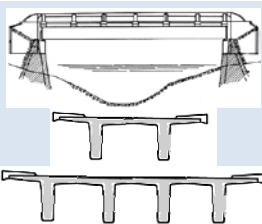

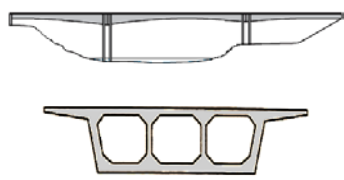

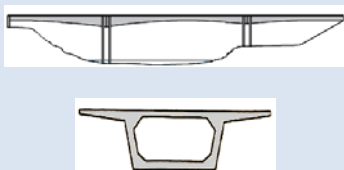

Para el caso de los elementos de la subestructura, es usual que el material predominante sea el concreto reforzado pero es necesario profundizar la investigación sobre el detalle del inventario de los elementos de la subestructura que tiene importancia para estudios de vulnerabilidad sísmica y de socavación. Este tipo de información en la práctica tiene sus complicaciones a la hora de realizar una corroboración ya que los elementos no son en muchos casos verificables mediante una inspección visual y están sujetos comúnmente a cambios respecto a los planos originales debido a posibles problemas de cimentación que se presenten en la obra. En particular para puentes, es importante determinar si la subestructura presenta una cimentación sobre pilotes o no.

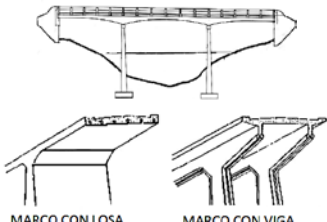

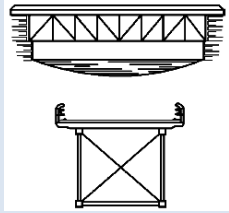

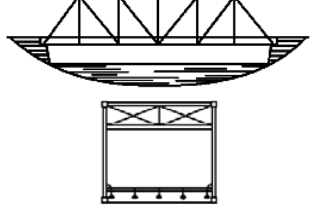





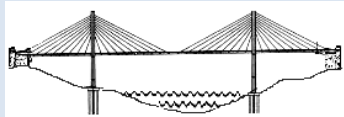

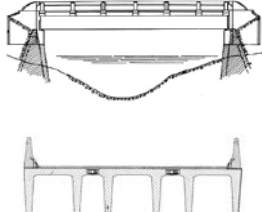

En Costa Rica, el MOPT utiliza una descripción de materiales, para la superestructura y la subestructura, según la nomenclatura del SAEP. La tabla 3 muestra una comparación entre la nomenclatura del NBI y el SAEP para los materiales, donde la diferencia relevante radica en la continuidad o no entre apoyos. Según la información recopilada en este estudio y siguiendo la terminología utilizada por la NBI (código “43” FDOT (2014)), los puentes en Costa Rica se pueden clasificar en 13 taxonomías distintas según sean sus características estructurales. Incluyendo una categoría de *otros* se generaría una decimo cuarta clasificación con código 00. En la clasificación *otros*, se ubican puentes como el Rafael Iglesias que debido a sus características especiales hacen difícil su clasificación ya sea como un puente tipo arco o colgante. Los 13 tipos encontrados se detallan en la tabla 4. Esta clasificación se le asigna a cada puente según su diseño predominante.

Tabla 3: CODIFICACIÓN DE TIPOS DE MATERIALES SEGÚN EL SAEP Y LA NBI

Código SAEP	SAEP (MOPT)	Código NBI	NBI
1	Acero	1	Concreto
2	Concreto preesforzado	2	Concreto continuo
3	Concreto reforzado	3	Acero
4	Mampostería	4	Acero continuo
5	Madera	5	Concreto preesforzado
6	Compuesto	6	Concreto preesforzado continuo
7	Otros	7	Madera
		8	Mampostería
		9	Aluminio, hierro
		0	Otros
Observaciones	Se asigna para las vigas principales para cada tipo de superestructura	En este estudio se asigna solo para el tramo principal representativo	

Tabla 4: TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE PUENTES EN OBSERVADOS EN LAS RUTAS NACIONALES PRIMARIAS DE COSTA RICA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN NBI

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>
06	Cajón sencillo		 <p>Reventazón Ruta 32</p>

07	Marco o pórtico		 <p>P. Aeropuerto R 1</p>
09	Cercha inferior		 <p>Virilla Ruta 1</p>
10	Cercha superior		 <p>Barranca Ruta 1</p>
11	Arco inferior		 <p>Salto Ruta 1</p>
13	Colgantes		 <p>Peñas Blancas Ruta 702</p>
14	Atirantados		 <p>Tempisque Ruta 18</p>
22	Viga canal		 <p>María Aguilar Ruta 39</p>

En la tabla se incluye elevación y sección típica así como la fotografía de un puente-tipo. Es importante mencionar aquí que para los códigos de puentes NBI de 08-Ortotrópico, 12-Arco Superior, 15 Móvil levantamiento, 16 Móvil Basculante, 17 Móvil de giro y 21 Viga cajón segmentada no se encontraron en la Red Vial Nacional por lo que no son incluidos en el listado de este trabajo. Por otra parte, los códigos de NBI 18-Túnel, 19-Alcantarilla y 20-Tipos Mixtos están fuera del alcance de este estudio.

Respecto a la compatibilidad del SAEP y la NBI, la tabla 5 da equivalencias entre ambos. En el NBI la primera parte del número del código la genera el material (ver tabla 2) y la segunda parte el tipo estructural (ver tabla 3, ejemplo: puente tipo losa de concreto reforzado con apoyo continuo = 2 + 01 = 201). Tanto en la NBI como en el SAEP se hace distinción entre puentes de concreto Pre-tensoado con acero pre-tensado o post-tensado (PC) y concreto reforzado (RC).

Tabla 5: EQUIVALENCIAS ENTRE LAS TIPOLOGÍAS DEL SAEP Y LA NBI

Código (SAEP)	Tipología SAEP	Código equivalente NBI	
1	Viga simple	Losa	101,301,501
		Viga tipo I	102,302,502
		Viga T	104,304,504
		Cajón	105, 106 ,305, 306, 505, 506,
		Troncos	702
		Otros	902,802,122,322,522
2	Viga continua	Losa	201,401,601
		Viga tipo I	202,402,602
		Viga T	204,404,604
		Cajón	205,206 ,405,406,605,606
		Troncos	702
Otros	902,802,222,422,622		
3	Marco rígido	107,207,507,607	
4	Cercha paso inferior	310,410	
5	Cercha paso superior	309,409	
6	Arco paso inferior	112,212,312,412	
7	Arco paso superior	111,211,311,411,511,611,811	
8	Colgantes	313,413	
9	Atirantados	314,414	
10	Cercha tipo Pony y Bailey	303	
11	Otros	Todos las demás	

6. INVENTARIO DE PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA

En este capítulo se resume y analiza la información para los 448 puentes que se tienen caracterizados en las 18 rutas de la red vial nacional primaria con presencia de puentes. Los detalles se presentan en los anexos A1, A2 y A3. Se inicia por indicar para cuales puentes fue posible obtener información adicional de la estructura como tipo estructural, número de claros, fecha de normativa, etc; y para cuales solo fue posible realizar una verificación de las dimensiones reportadas y la existencia del puente. Estos resultados se muestran en la tabla 6.

Con base en esta información se puede realizar un breve análisis estadístico evaluando tanto las unidades de puentes para las cuales se tiene información adicional como para aquellas donde solo fue posible realizar una verificación geométrica satelital o de Geo3D. En la tabla 6 y la figura 2 se muestran algunas características del inventario según el tipo de material, la disponibilidad de información y el largo del tramo máximo o el largo total del puente.

Tabla 6: PUENTES CON INFORMACIÓN ESTRUCTURAL EN LA RED VIAL PRIMARIA

Estudio	Total de puentes	Con informes, gira de reconocimiento y/o planos	Material Principal		
			Acero	Concreto	Mampostería /Madera
Inventario este estudio	449	429 (95,5%)	111 (25%)	314 (69%)	4 (1%)
Informe JICA (2007)	480	-	12%	87,5%	0,5%

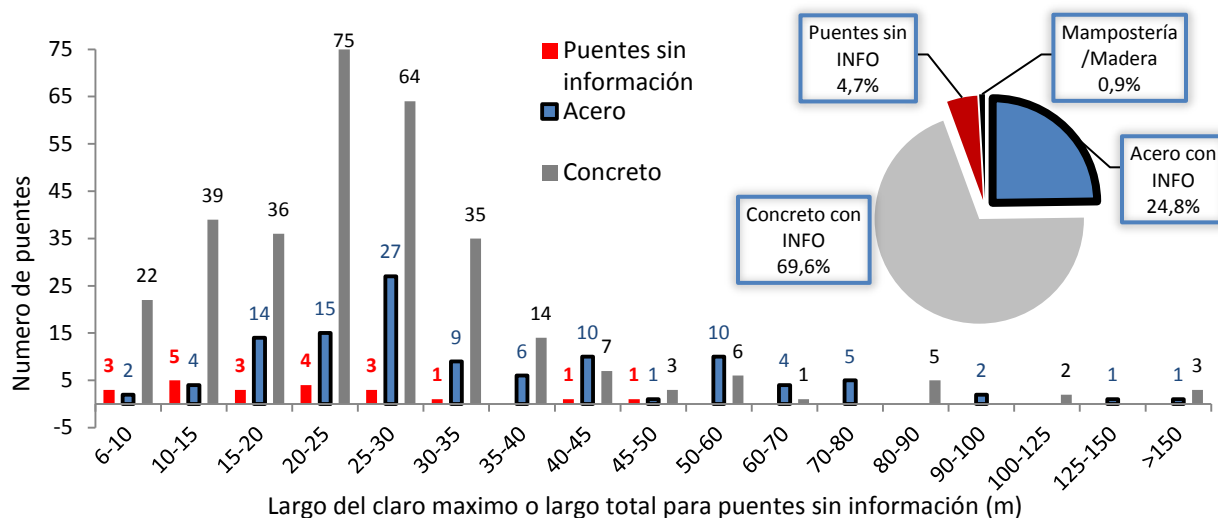


Figura 2: PUENTES POR LONGITUD, MATERIAL Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

La verificación satelital de la estructuras fue realizada para todas las estructuras ya sea que cuenten o no con información de planos, reportes o giras. Para los puentes importantes donde la imagen satelital no era evidencia suficiente (falta de claridad, zona sin imagen o no era observable el puente por bloqueos visuales como nubes o arboles) o existe alguna duda sobre el puente, se procede a realizar el chequeo mediante el los videos del Geo3D. Mediante esta herramienta se logran descartar algunas estructuras de alcantarilla evidentes y ubicar los puntos exactos de ubicación del puente. Solo para los puentes sobre el río Haciendas (o Colón) y río Orosi en ruta 4 no fue posible utilizar los datos del Geo3D ya que los puentes se ubican en un tramo en lastre de la vía para los cuales no se tiene esta información.

De la información de la tabla 6 y la figura 2 y los datos de material en detalle para puentes sin información (según datos del anexo A1, A2 y A3), se observó que para la red vial nacional primaria la información disponible esta casi completa. Como es de esperarse, gracias a que los puentes en estas vías son de mayor importancia operativa, de mayor longitud total y claro máximo entre apoyos, estas estructuras reciben mayor atención de la administración y la academia, y por ende, se incrementa la posibilidad de encontrar información disponible.

Efectuando el análisis de la información faltante, es importante identificar en cuáles rutas nacionales se recomendaría priorizar giras de reconocimiento de inventario. En la figura 3 se muestran los resultados de disponibilidad de información para las rutas nacionales de la red primaria que cuentan con más de 15 puentes en esta base de datos. Como se puede observar de la figura, porcentualmente la ruta donde es necesario profundizar el conocimiento es la ruta 4, adonde además hubo limitaciones con las imágenes satelitales y videos del Geo3D disponibles.

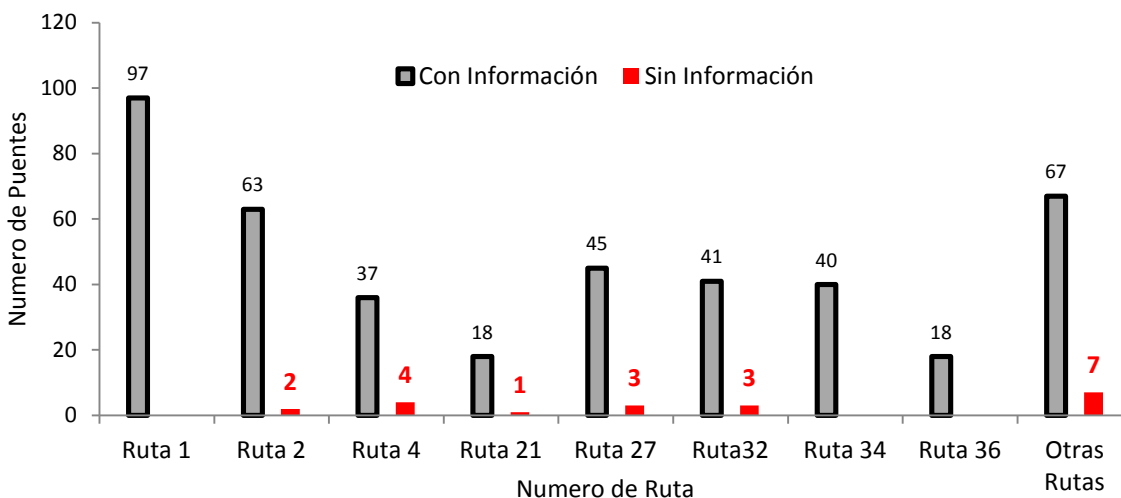


Figura 3: DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN PARA PUENTES POR RUTA NACIONAL

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 18 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

El detalle del tipo de superestructura de los puentes de la red vial nacional primaria mediante el uso de la tabla 4 se describe en la tabla 7. En esta tabla se caracterizan 422 superestructuras, sin incluir el puente Rafael Iglesias por ser de tipología especial, puente sobre Q. El Ceibo en ruta 2 para el cual no se tiene suficiente información y 4 puentes tipo 811 (arco inferior de mampostería). En la tabla RC = Concreto Reforzado, A = Acero y PC = Concreto Pre-esforzado / Pos-tensado.

De estos datos se observa claramente que la tipología más común es la tipo viga con 272 puentes de los cuales 73 tienen vigas de acero. Puentes con condiciones estructurales similares al tipo viga son los tipo viga Te y viga Canal por los que si los sumamos se tiene un total de 315 unidades de puentes. Para las rutas primarias se encuentran varias tipologías exclusivas de este tipo de rutas como son los puentes tipo cajón múltiple, cajón sencillo, arco inferior de concreto y atirantados. Además, en estas rutas se encuentran 4 puentes con claros libres entre apoyos mayores de 150 metros: puentes R. Tempisque en RN18, y R. Concepción, R. Virilla y R. Grande en la RN27.

Tabla 7: CANTIDAD DE PUENTES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LA NBI 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	6		2	3			4		5	20
02 Viga múltiple	11	31	78	9	28	77	11	14	13	272
03 Pony y Bailey		7			3					10
04 Viga Te	2		12	1		7			6	28
05 Cajón múltiple			5							5
06 Cajón sencillo			2						6	8
07 Marco o pórtico	10						21		2	33
09 Cercha inferior		3			3			1		7
10 Cercha superior		8			12					20
11 Arco inferior	1			2						3
13 Colgantes										
14 Atirantados								1		1
22 Viga canal			10			1			4	15
Suma	30	49	108	15	47	85	36	15	36	422

En la figura 4 se muestran los puentes en la red vial nacional primaria detallando su disponibilidad de información.

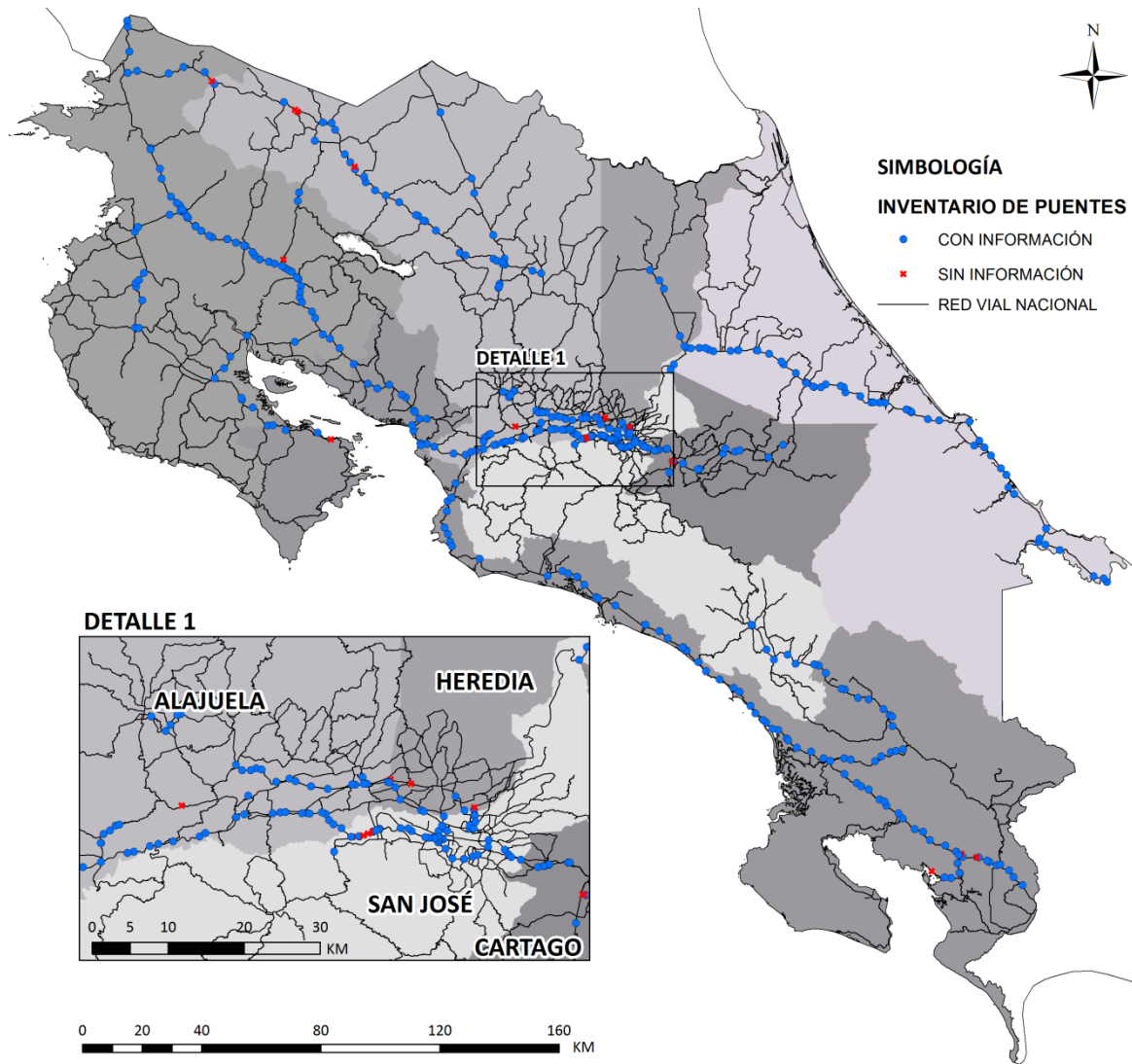


Figura 4: MAPA INDICANDO LA UBICACIÓN DE LOS PÚENTES INVENTARIADOS PARA LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA

7. INVENTARIO DE PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL SECUNDARIA

En este capítulo se resume y analiza la información para los 507 puentes que se tienen caracterizados en las 111 rutas de la red vial nacional secundaria con presencia de puentes. Los detalles se presentan en los anexos A1, A2 y A3. Se inicia por indicar para cuales puentes fue posible obtener información adicional de la estructura como tipo estructural, número de claros, fecha de normativa, etc; y para cuales solo fue posible realizar una verificación de las dimensiones reportadas y la existencia del puente. Estos resultados se muestran en la tabla 8.

Con base en esta información se puede realizar un breve análisis estadístico evaluando tanto las unidades de puentes para las cuales se tiene información adicional como para aquellas donde solo fue posible realizar una verificación geométrica satelital. En la tabla 8 y la figura 5 se muestran algunas características del inventario según el tipo de material, la disponibilidad de información y el largo del tramo máximo o el largo total del puente.

Tabla 8: PUENTES CON INFORMACIÓN ESTRUCTURAL EN LA RED VIAL SECUNDARIA

Estudio	Total de puentes	Con informes, gira de reconocimiento y/o planos	Material Principal		
			Acero	Concreto	Mampostería /Madera
Inventario este estudio	507	274 (54,0%)	124 (24%)	144 (28%)	20 (4%)
Informe JICA (2007)	476	-	13%	82%	5%

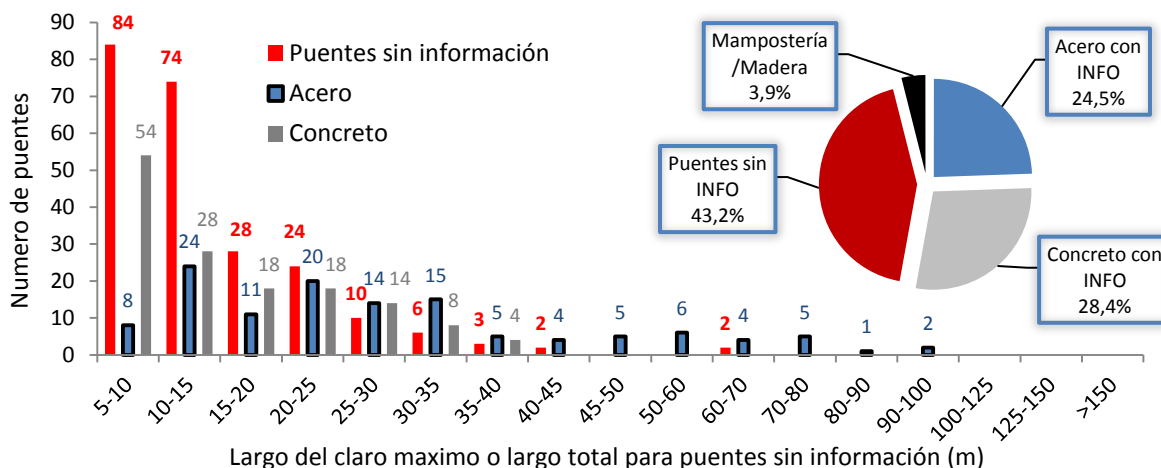


Figura 5: PUENTES POR LONGITUD, MATERIAL Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 21 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

De la información de la tabla 8 y la figura 5 y los datos de material en detalle para puentes sin información (según datos del anexo A), se observó que para los puentes de acero de la red vial nacional secundaria hay un faltante de información disponible para unos 85 puentes, mientras que para puentes de concreto el faltante de información sería para unas 134 unidades; en ambos casos principalmente para puentes cortos.

De la gráfica por el largo del puente se puede concluir que en red vial nacional secundaria los puentes son más cortos que en la red primaria y que solo para 23 puentes mayores de 25 metros no se tiene información; por lo cual, similar a la red primaria, entre mayor sea la longitud, este recibe mayor atención de la administración y por ende se incrementa la posibilidad de encontrar información. Por otro lado, en puentes cortos es posible que fueran construidos en algunos casos siguiendo planos estándar, siendo mayor la dificultad encontrar información sobre los mismos. También, para esta red varios de estos puentes cortos podrían tratarse aún de alcantarillas, que llegan a medir inclusive hasta los 16 metros de largo y para las cuales el MOPT suele utilizar planos típicos estándar. De la verificación satelital y del Geo3D hay incertidumbre de su ubicación exacta aún en 64 puentes para los cuales no se tiene una visual satelital clara ni hay datos de video por el Geo3D por estar muchos de estos puentes ubicados en caminos de lastre. En particular de estas 64 unidades, 8 posibles alcantarillas aún se incluyen en este inventario.

Continuando con el análisis de la información faltante, es importante identificar en cuales rutas nacionales se recomendaría priorizar giras de reconocimiento. En la figura 6 se muestran los resultados de disponibilidad de información para las rutas nacionales de la red secundaria que cuentan con más de 15 unidades de puentes. Como se puede observar de la figura, porcentualmente las rutas donde es necesario profundizar el conocimiento son principalmente la RN126 cuya construcción data de los inicios del siglo XX y la RN250 en la zona norte.

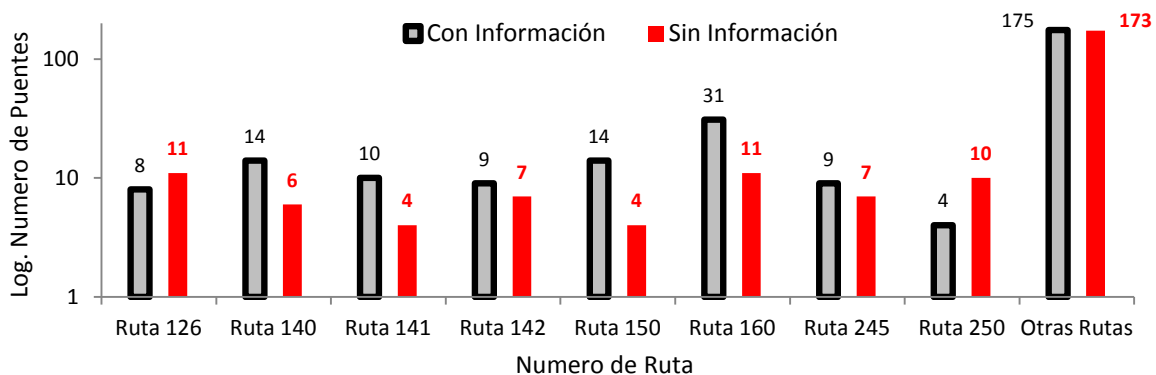


Figura 6: DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN PARA PUENTES POR RUTA NACIONAL

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 22 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

Es importante acotar que muchas rutas secundarias son los caminos viejos de acceso a los principales poblados de nuestro país en la primera mitad del siglo XX por lo que es de esperarse que algunos de los puentes en estas vías presenten ya un deterioro importante debido a su edad. Si bien estas rutas son clasificadas como secundarias, en muchos casos, estas juegan un rol importante en la red vial nacional, principalmente en la gran área metropolitana, por lo que muchos de sus puentes se clasifican de importancia operativa *crítica* en caso de sismo.

En lo concerniente a la selección de la tipología, es importante señalar que muchos puentes han sido sujetos a una o inclusive dos ampliaciones de carriles presentando intervenciones con tipos de superestructura distintos. Aquí, la tipología asignada al puente es aquella que se considera como la de mayor antigüedad y se realiza un comentario sobre el otro tipo observado. El detalle del tipo de superestructura en la red vial nacional secundaria mediante el uso de la tabla 4 se describe en la tabla 9. Se caracterizan 268 superestructuras. De estos datos se observa claramente que la tipología más común es la tipo viga con 133 puentes, de los cuales 49 tienen vigas de acero.

Tabla 9: CANTIDAD DE PUENTES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LA NBI 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	5			8			1			14
02 Viga múltiple	29	35	32	1	6	17	3	8	2	133
03 Pony y Bailey		45			11					56
04 Viga Te	3		6	2						11
05 Cajón múltiple										0
06 Cajón sencillo										0
07 Marco o pórtico	21						3			24
09 Cercha inferior		8			1					9
10 Cercha superior		4			4					8
11 Arco inferior										
13 Colgantes		2								2
14 Atirantados										
22 Viga canal			9			1			1	11
Suma	58	94	47	11	23	18	7	7	3	268

Para los puentes en la red secundaria también se observa que tipologías como la 303, que incluye los puentes tipo Bailey, toman importancia como una solución estructural cuando se requiere superar longitudes mayores a los 30 metros en rutas no muy transitadas.

En la figura 7 se muestran los puentes en la red vial nacional secundaria detallando su disponibilidad de información.

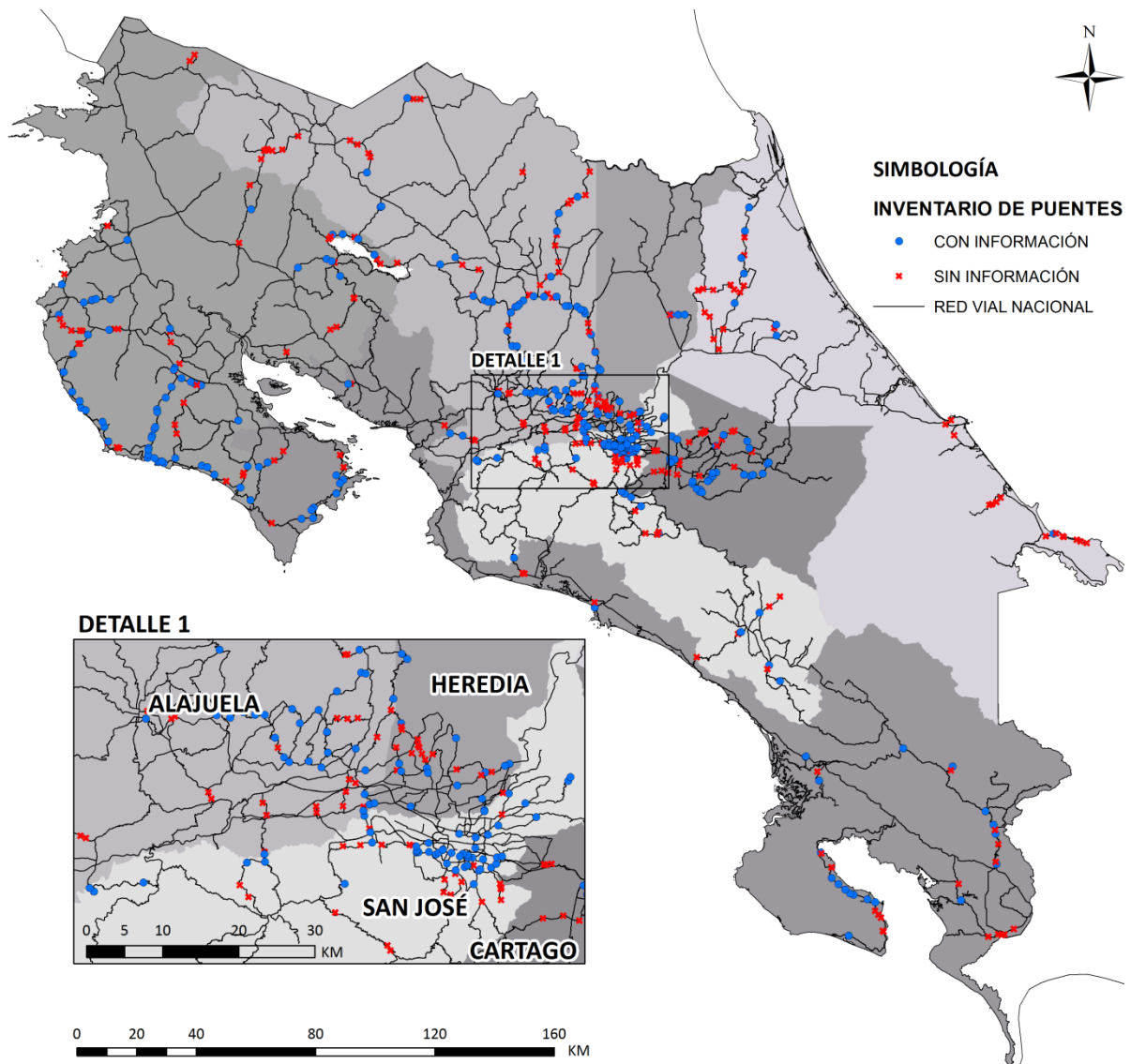


Figura 7: MAPA INDICANDO LA UBICACIÓN DE LOS PÚENTES INVENTARIADOS PARA LA RED VIAL NACIONAL SECUNDARIA

8. INVENTARIO DE PUENTES EN LA RED VIAL NACIONAL TERCIARIA

En este capítulo se resume y analiza la información para los 477 puentes que se tienen caracterizados en las 150 rutas de la red vial nacional terciaria con presencia de puentes. Los detalles se presentan en los anexos A1, A2 y A3. Se inicia por indicar para cuales puentes fue posible obtener información adicional de la estructura como tipo estructural, número de claros, fecha de normativa, etc; y para cuales solo fue posible realizar una verificación de las dimensiones reportadas y la existencia del puente. Estos resultados se muestran en la tabla 10.

Con base en esta información se puede realizar un breve análisis estadístico evaluando tanto las unidades de puentes para las cuales se tiene información adicional como para aquellas donde solo fue posible realizar una verificación geométrica satelital. En la tabla 10 y la figura 8 se muestran algunas características del inventario según el tipo de material, la disponibilidad de información y el largo del tramo máximo o el largo total del puente.

Tabla 10: PUENTES CON INFORMACIÓN ESTRUCTURAL EN LA RED VIAL TERCIARIA

Estudio	Total de puentes	Puentes con informes y/o planos	Material Principal		
			Acero	Concreto	Mampostería /Madera
Inventario este estudio	477	122 (25,6%)	97 (20%)	24 (5%)	42 (9%)
Informe JICA (2007)	374	-	11%	76%	13%

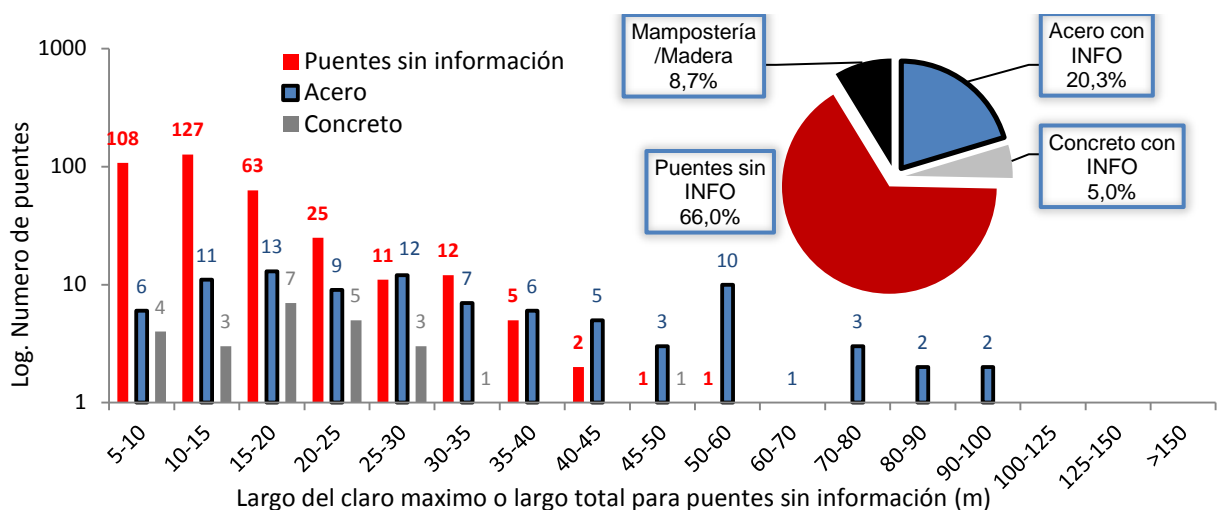


Figura 8: PUENTES POR LONGITUD, MATERIAL Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

De la tabla 10 y la figura 8 se concluye que la falta de disponibilidad de información para puentes en la red nacional terciaria es evidente, donde apenas se tienen datos de inventario más detallada para un 25% de los puentes. La mayoría de los puentes con información son estructuras metálicas tipo Bailey para los cuales fue más sencillo obtener la información. De la gráfica por el largo del puente se puede concluir que en red vial nacional terciaria presenta posiblemente una gran cantidad de puentes cortos. Además, solo para 32 de los puentes mayores a 25 metros no se tiene información; por lo cual, similar a la red primaria y secundaria entre mayor sea la longitud total o claro máximo del puente, este recibe mayor atención de la administración. Muchos de estos puentes largos en esta red son metálicos tipo bailey.

Por otro lado, en puentes cortos es posible que fueran construidos en algunos casos siguiendo planos estándar, por ende, es de mayor dificultad encontrar información sobre los mismos, en particular para puentes de concreto donde se encontró información solamente para 24 estructuras. Algunos puentes cortos podrían tratarse de alcantarillas, que llegan a medir inclusive hasta los 16 metros de largo y para las cuales el MOPT suele utilizar planos típicos estándar. De la verificación satelital y del Geo3D hay incertidumbre de su ubicación exacta aún en 131 puentes (principalmente en la zona norte del país) para los cuales no se tiene una visual satelital clara ni hay datos de video del Geo3D por estar muchos de estos puentes ubicados en caminos de lastre. En particular de estas 131 unidades, 12 posibles alcantarillas aún se incluyen en este inventario.

Continuando con el análisis de la información faltante, es importante identificar en cuales rutas nacionales se recomendaría priorizar giras de reconocimiento. En la figura 9 se muestran los resultados de disponibilidad de información para rutas nacionales de la red terciarias importantes. Como se puede observar de la figura, en la práctica para la rutas terciarias es necesario profundizar el conocimiento son prácticamente todas las rutas.

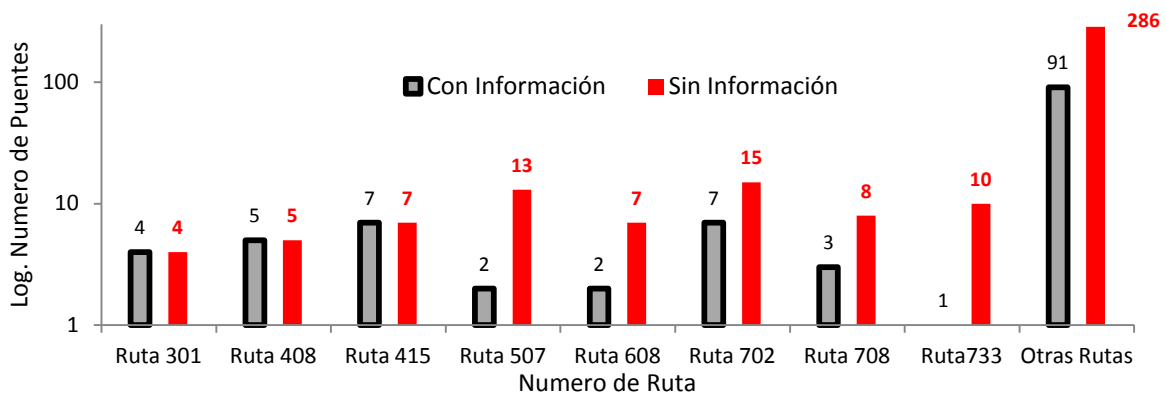


Figura 9: DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN PARA PUENTES POR RUTA NACIONAL

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 26 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

Es importante acotar que las rutas terciarias en algunas ocasiones fueron caminos viejos de interconexión entre poblados (ej: camino de Grecia a Atenas) por lo que es de esperarse que algunos de los puentes en estas vías presenten ya un deterioro importante debido a su edad. Por otro lado, muchos de estos puentes también están ubicados sobre caminos de reciente construcción, por ejemplo los construidos en zona norte cerca a la frontera con Nicaragua, por lo que son comunes estructuras temporales como puentes tipo Bailey y puentes de madera. Finalmente, si bien estas rutas son terciarias en algunos casos juegan un rol importante como rutas alternas, de interconexión entre rutas primarias y secundarias, o como único camino de acceso en algunas zonas alejadas y sitios turísticos de nuestro país por lo que su importancia operativa podría pasar a ser *esencial*. Ejemplo de esto son los puentes en las rutas RN415, RN606 y RN702.

El detalle del tipo de superestructura de los puentes de la red vial nacional terciaria mediante el uso de la tabla 4 se describe en la tabla 11. En esta tabla se caracterizan solamente 120 superestructuras.

Tabla 11: CANTIDAD DE PUENTES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LA NBI 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				1						1
02 Viga múltiple	1	21	5		3	2	1	2	1	36
03 Pony y Bailey		41			10					51
04 Viga Te	1		3							4
05 Cajón múltiple										
06 Cajón sencillo										
07 Marco o pórtico	3						4			7
09 Cercha inferior		3			3					7
10 Cercha superior		7								7
11 Arco inferior										
13 Colgantes		4			2					6
14 Atirantados										
22 Viga canal			2							2
Suma	5	76	10	1	18	2	5	2	1	120

De estos datos se observa claramente que la tipología más común encontrada es la tipo cercha de paso medio con viga de piso con 51 puentes. El puente R. Zapote en RN906 clasifica como *otros*, ya que su superestructura es la base de un contenedor. Es importante mencionar que en este inventario se incluyen aún algunas estructuras que podrían estar ya fuera de uso o con uso limitado como es el caso de los puentes colgantes R. Barranca en la RN742 y R. Pacuare RN414. En este inventario no se incluyen los puentes de la RN856. En la figura 10 se muestran los puentes en la red vial nacional terciaria detallando su disponibilidad de información.

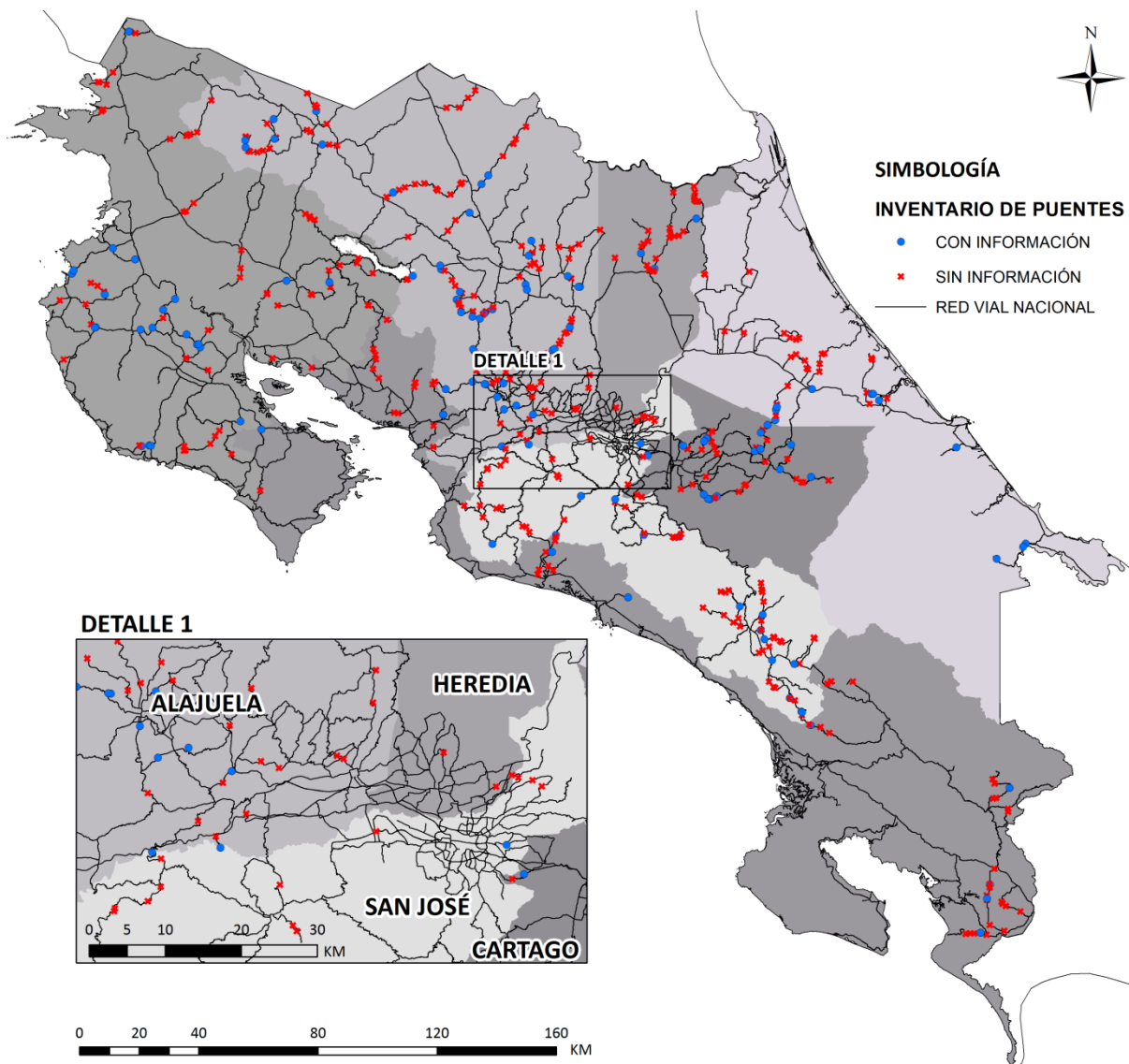


Figura 10: MAPA INDICANDO LA UBICACIÓN DE LOS PÚENTES INVENTARIADOS PARA LA RED VIAL NACIONAL TERCIARIA

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 28 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

9. SÍNTESIS DE RESULTADOS A NIVEL NACIONAL

Tomando en cuenta la información de inventario descrita en los apartados anteriores para la red vial nacional primaria, secundaria y terciaria, en este apartado se analizan los datos en conjunto. El objetivo es caracterizar mejor aspectos como los tipos de estructuras y año de construcción debido a la limitación de la cantidad de datos disponibles en estos aspectos, especialmente para puentes en las rutas nacionales terciarias y secundarias.

Información referente al año de construcción, de diseño y de la normativa se presenta en la figura 11 y la tabla 12. En la gráfica de la figura 11, para el año de construcción del puente se toma en cuenta también si este fue sujeto de una rehabilitación mayor. En total se cuenta con información de año de construcción para 582 puentes, de normativa para 487 puentes y para el diseño de 494 unidades de puentes. Para los datos mostrados de la fecha de construcción se verificó el año, en muchos de los casos, mediante el uso de las memorias del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Esta verificación se realiza debido a que de existir una placa en el puente esta pudo haber sido colocada también luego de una rehabilitación, ampliación o refuerzo del puente por parte de un gobierno posterior. Las fechas de diseño y norma, en varios planos eran prácticamente ilegibles o en ocasiones no se incluían por lo que en algunos casos los datos de diseño fueron deducidos por comparación con puentes que pertenecen al mismo tramo de proyecto, construidos en el mismo periodo administrativo. En la figura 11 son elegidos los lapsos de tiempo de forma que evidencien en primer lugar la norma AASHO/AASTHO (versión año: 1941, 1949, 1953, 1957, 1961, 1965, 1969, 1973, 1977, 1983, 1992, 1996, 2002, 2007 y 2012) o AREA (1968) de diseño utilizada.

Esta información de construcción y diseño es de importancia tanto para un análisis macro de las características del inventario, así como individual en cada puente y se puede utilizar como input para determinar su estado de condición (Muñoz et al. 2015). Además, estos datos son valiosos como una guía para definir las estrategias y políticas respectivas para una planificación relativa a aspectos de inversión pública en estructuras que deben ser remplazadas o rehabilitadas en función de su edad. También el conocimiento del año de diseño y las normas técnicas utilizadas son de gran ayuda para estimar aspectos como si la estructura cuenta o no con consideraciones de diseño sismorresistente, temas relativos al cálculo las cargas vehiculares sobre el puente, y los requerimientos para el diseño hidrológico y geotécnico solo por mencionar algunos temas. En la tabla 12 se presenta además un análisis de los lapsos de tiempo que se tienen entre el diseño y la norma, y entre el diseño y la construcción. Para este análisis se discretiza en tres rangos escogidos debido a la introducción alrededor del año 1977 y 1990 de relevantes cambios en aspectos de diseño sísmico por parte de la norma AASHTO (ODOT 2009).

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 29 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

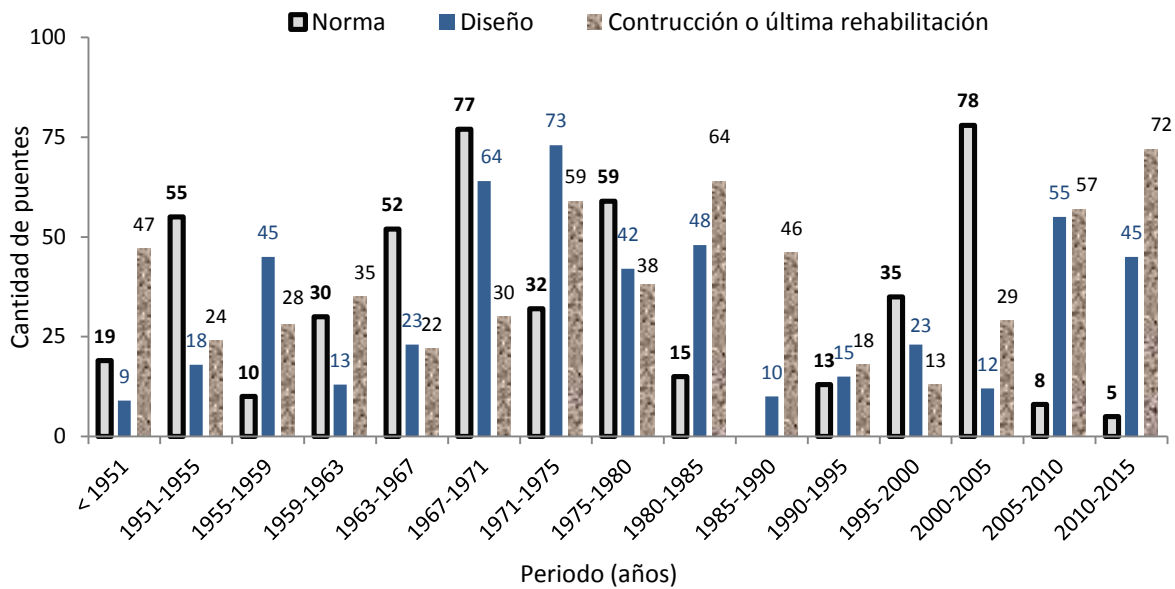


Figura 11: PUENTES POR PERÍODO DEL AÑO DE DISEÑO, NORMA Y CONSTRUCCIÓN

La tabla 12 muestra que los lapsos entre la norma y el diseño tendieron a incrementarse en lugar de reducirse en los últimos años. Esto es un aspecto negativo, evidente tanto en la grafica como en la tabla, ya que lo recomendable es el uso de la normativa más reciente con el fin de incorporar en el diseño los últimos avances en los diversos campos de la ingeniería de puentes. Particularmente, muchos de los puentes que cuentan con diseño estructural reciente fueron diseñados con normas del 2002. Tomando en cuenta el periodo que se tarda en construir el puente y el no uso de normativa reciente, los puentes se construyen actualmente con un periodo mayor a 10 años de desactualización en norma de diseño.

Para el cálculo del periodo que se tarda entre el diseño y su ejecución constructiva no se discretiza en rangos y se descartaron las fechas de construcción cuando para el puente no fue posible determinar la fecha de diseño.

Tabla 12: PERIODOS ENTRE AÑO DE LA NORMA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PUENTES

Fecha de norma – fecha de diseño antes de 1977	Fecha de norma – fecha de diseño 1977 y 1983	Fecha de norma – fecha de diseño desde 1992	Fecha de construcción menos fecha de diseño
4,2 años	6,1 años	6,9 años	4,5 años

Análogamente a los apartados anteriores, en la figura 12 y tabla 13 se presenta la distribución de la longitud de los puentes según su claro máximo o longitud total para puentes sin información. A diferencia de las figuras anteriores, para este caso se detallan los puentes sin información por material como de concreto o acero del listado original de MOPT. Tomando en cuenta esto, los puentes de acero sumarian 591 y los de concreto 776 unidades por lo que es evidente que existe gran discrepancia respecto a los datos reportados por el Informe JICA (2007) donde se estiman 163 puentes de acero y 1095 unidades de concreto. De la figura 12 se evidencia que el mayor problema de disponibilidad de información se tiene en estructuras cortas, inferiores a los 20 metros con 494 puentes que incluyen aquellos construidos en mampostería y madera. En contraposición, se tiene información para 307 puentes en este rango, lo que corresponde aproximadamente a un 40% de la población de puentes menores a 20 metros por lo que la incertidumbre para describir este tipo de estructuras es considerable.

Tabla 13: PUENTES CON INFORMACIÓN ESTRUCTURAL EN LA RED VIAL NACIONAL

Estudio	Total de puentes	Puentes con informes y/o planos	Material Principal		
			Acero	Concreto	Mampostería /Madera
Inventario este estudio	1433	825(57,5%)	332 (23%)	482 (34%)	66 (4,6%)
Informe JICA (2007)	1330	-	12%	82%	6,0%

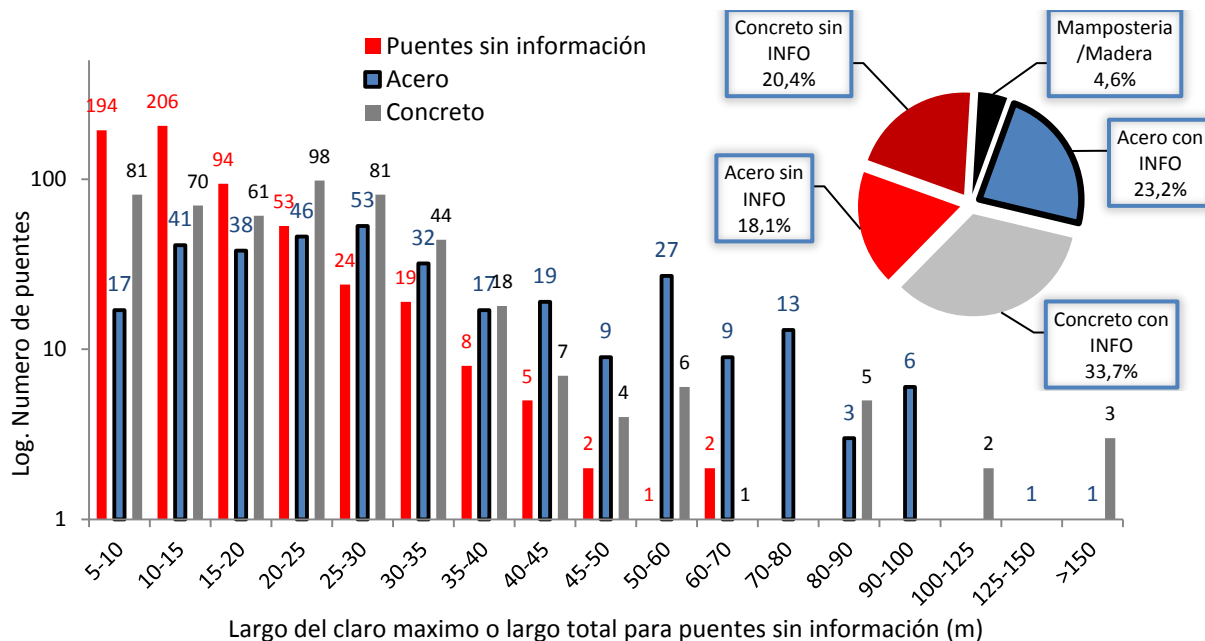


Figura 12: PUENTES POR LONGITUD, MATERIAL Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

Tomando en cuenta la limitación de la información en puentes cortos es útil realizar un análisis de los datos disponibles con el fin de determinar particularidades que puedan ser prácticas para estimar las características de esta población. Uno de estos aspectos importantes a investigar es por ejemplo el número de tramos que presenta el puente. Este es un aspecto muy importante ya que la construcción, rehabilitación y mantenimiento de obras como los bastiones y pilas son muchas veces de las más costosas en puentes por estar expuestas una mayor incertidumbre de diseño y a múltiples factores de riesgo. Establecer el número de tramos del puente es por lo tanto un factor importante por ejemplo en estudios de riesgo sísmico e hidrológico a la hora de asignar propiedades de vulnerabilidad estructural.

En la figura 13 se presenta una grafica detallando del 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 muchos de los 197 puentes de acero sin información menores a 20 metros presentan muy probablemente un apoyo simple y un solo tramo (ver figura 14). En puentes de acero de 20 a 35 metros se encontró una presencia mínima de estructuras de múltiples tramos y, analizando en detalle, estos son en su totalidad puentes viejos con estructuras mixtas, inclusive con presencia de tramos de alcantarilla. Tomando en cuenta esto, solo para unos 12 puentes con largos totales mayores a 35 metros sería de mayor interés ampliar información.

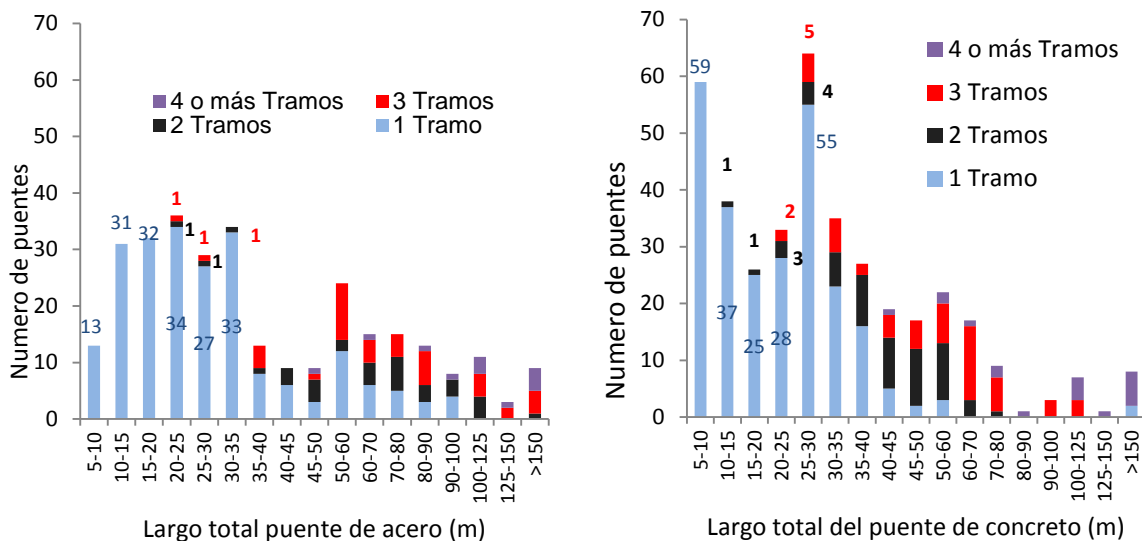


Figura 13: DISTRIBUCIÓN DEL NUMERO DE TRAMOS EN PUENTE CON APOYO SIMPLE

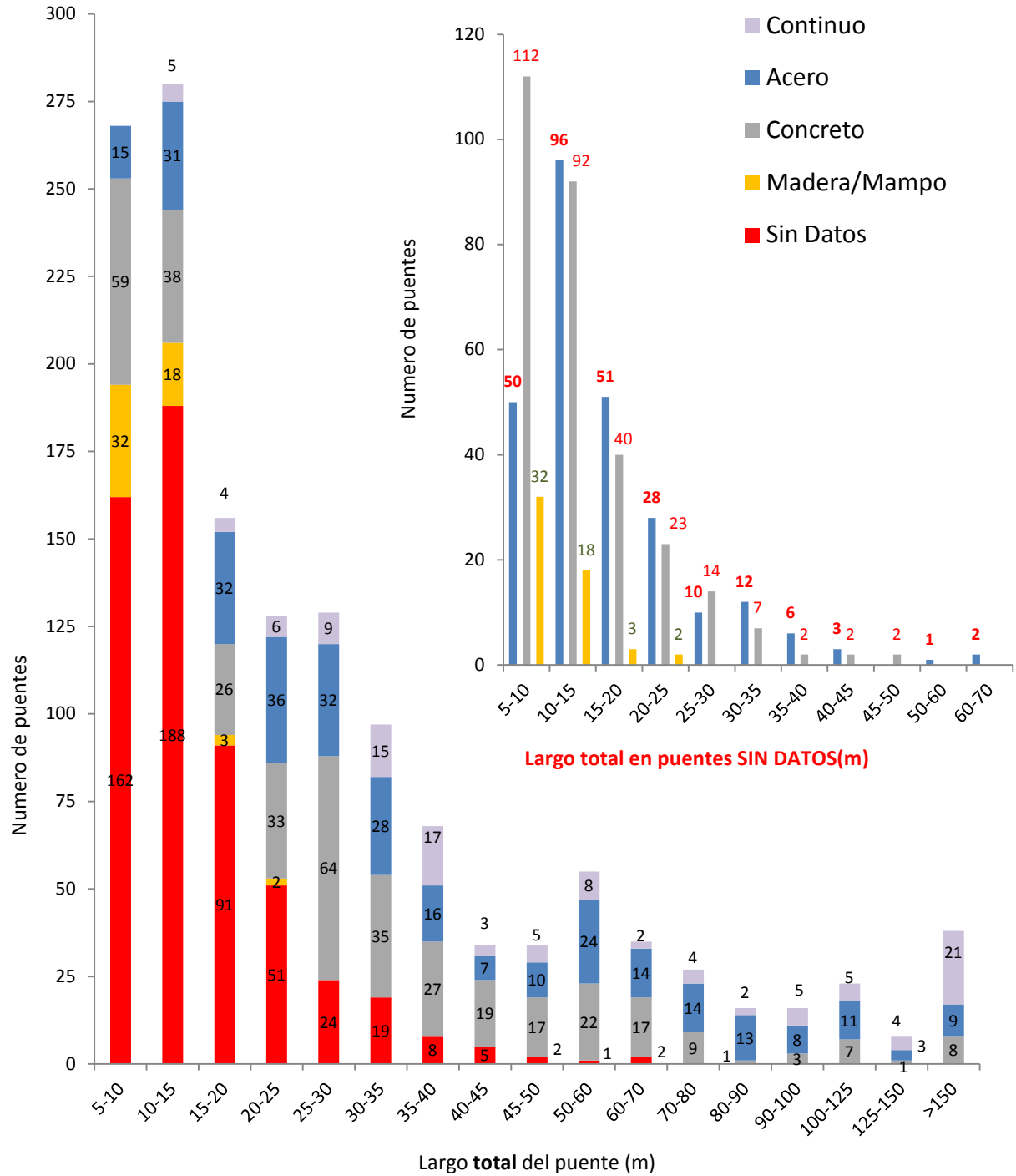


Figura 14: PUENTES SEGÚN SU MATERIAL, DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN, LONGITUD TOTAL Y APOYO (EN CONTINUO SE INCLUYEN AMBOS MATERIALES ACERO Y CONCRETO)

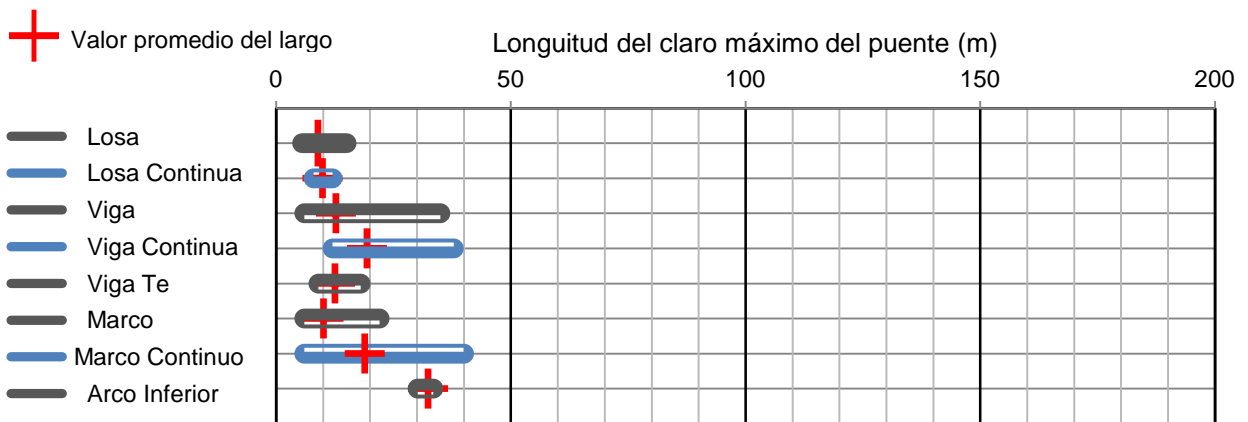
Para el caso de puentes con superestructura de concreto, en puentes cortos con longitudes menores a 15 metros es altamente probable que se traten de puentes con un solo tramo, esto abarca 204 superestructuras de concreto. Para puentes entre los 15 y 30 metros se muestra en la grafica de la figura 14 que es también razonable asumir que se tratan de puentes de un solo tramo por lo que finalmente se tiene que es recomendable profundizar la investigación en 13 puentes de concreto sin información y con longitud mayor a 30 metros, esto se puede inducir de la figura 14.

La figura 15 presenta la población total de los puentes según su largo total (no el largo del claro máximo), el material, la disponibilidad de información y tipo de apoyo, indicando también el largo total de los puentes con superestructura continua. En la figura se detallan las características del material y largo de los puentes denominados como sin información suficiente de inventario. Esta figura da una buena idea de las características de los puentes en el ámbito nacional para la información disponible. La clasificación estructural registrada para 811 puentes encontrados en este estudio se detalla en la tabla 14.

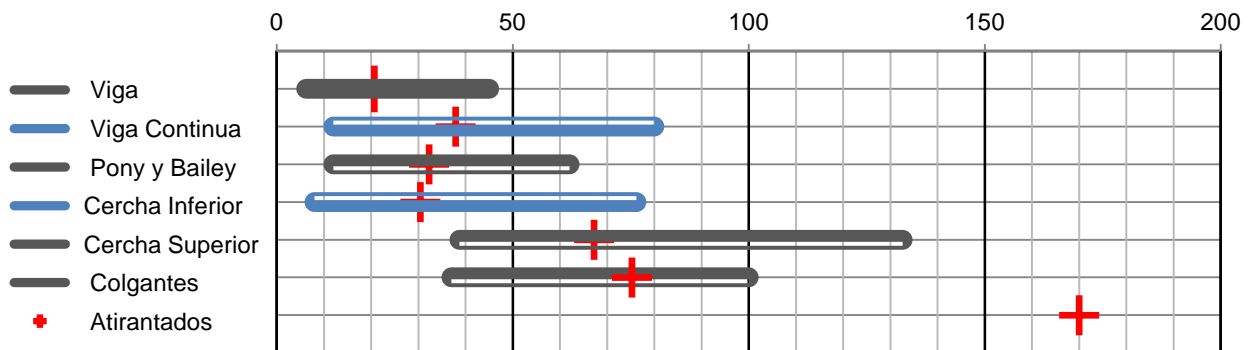
Tabla 14: PUENTES SEGÚN LA CLASIFICACIÓN DE LA NBI Y CONDICIÓN DE APOYOS

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	19		2	4			5		5	35
02 Viga múltiple	42	96	133	9	28	78	15	24	16	441
03 Pony y Bailey		114			3					117
04 Viga Te	8		21	1		7			6	43
05 Cajón múltiple			5							5
06 Cajón sencillo			2						6	8
07 Marco o pórtico	35						28		2	65
09 Cercha inferior		18			3			1		24
10 Cercha superior		23			12					35
11 Arco inferior	1			2						3
13 Colgantes		8								8
14 Atirantados								1		1
22 Viga canal			22			1			5	28
Suma	105	259	184	16	48	86	48	24	40	811

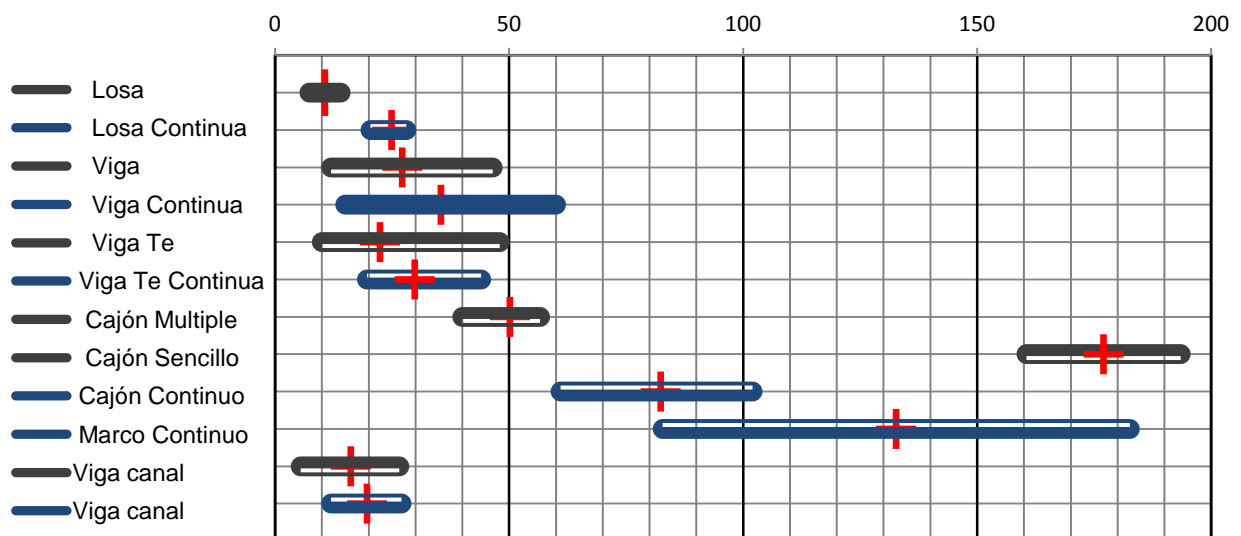
Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 34 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------



a) Puentes de concreto reforzado "RC"



b) Puentes de acero "A"



c) Puentes de concreto pre-esforzado "PC"

Figura 15: RANGO DE LONGITUD Y PROMEDIO DEL LARGO SEGÚN TIPO ESTRUCTURAL

Examinando la tabla 14 es evidente que la tipología más frecuente de en Costa Rica es la de puentes tipo viga múltiple con 441 unidades de puentes contabilizadas cuyas longitudes del tramo máximo va desde los 6 metros para vigas con apoyos simples, 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 las rutas secundarias y terciarias, dado a que varias de estas estructuras han sido colocadas bajo circunstancias de emergencia como obras temporales para substituir puentes dañados. En estos casos, es recomendable que se realice una evaluación frecuente de su integridad estructural así como también asegurarse de la apropiada señalización de sus restricciones de uso.

Fuera de la división 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 Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA 2013). Esta es la clasificación que se realizó en este estudio, los detalles de los criterios utilizados se muestran en el anexo A4. Según su importancia, se tienen 481 unidades de puentes descritos como *críticos*, 343 *esenciales* y 608 *convencionales*. Estos resultados se observa gráficamente en la figura 16a, donde además se indica para cuantos de los puentes se tiene información.

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 16b.

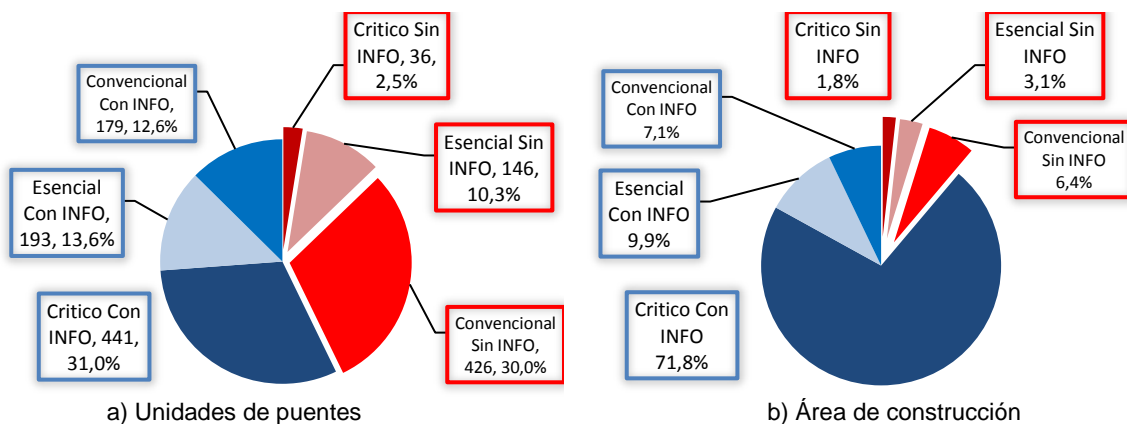


Figura 16: PUENTES DE LA RED VIAL NACIONAL CLASIFICADOS SEGÚN IMPORTANCIA

De la figura 16 se puede concluir que aunque solo se disponga de 810 puentes caracterizados por su estructura del total de 1432 unidades, estos representan el 88,8% del área total de construcción en planta de puentes en Costa Rica (área total aproximadamente 391978 m²). Además, también se observa que mucha de la información faltante, tanto en unidades de puentes como en área, corresponde a puentes clasificados como *convencionales*, cuyas consecuencias de una falla operativa en caso de sismo son menores a la de los puentes *críticos* y *esenciales*. Las figuras 17, 18 y 19 muestran la distribución de los puentes en el país según su importancia.

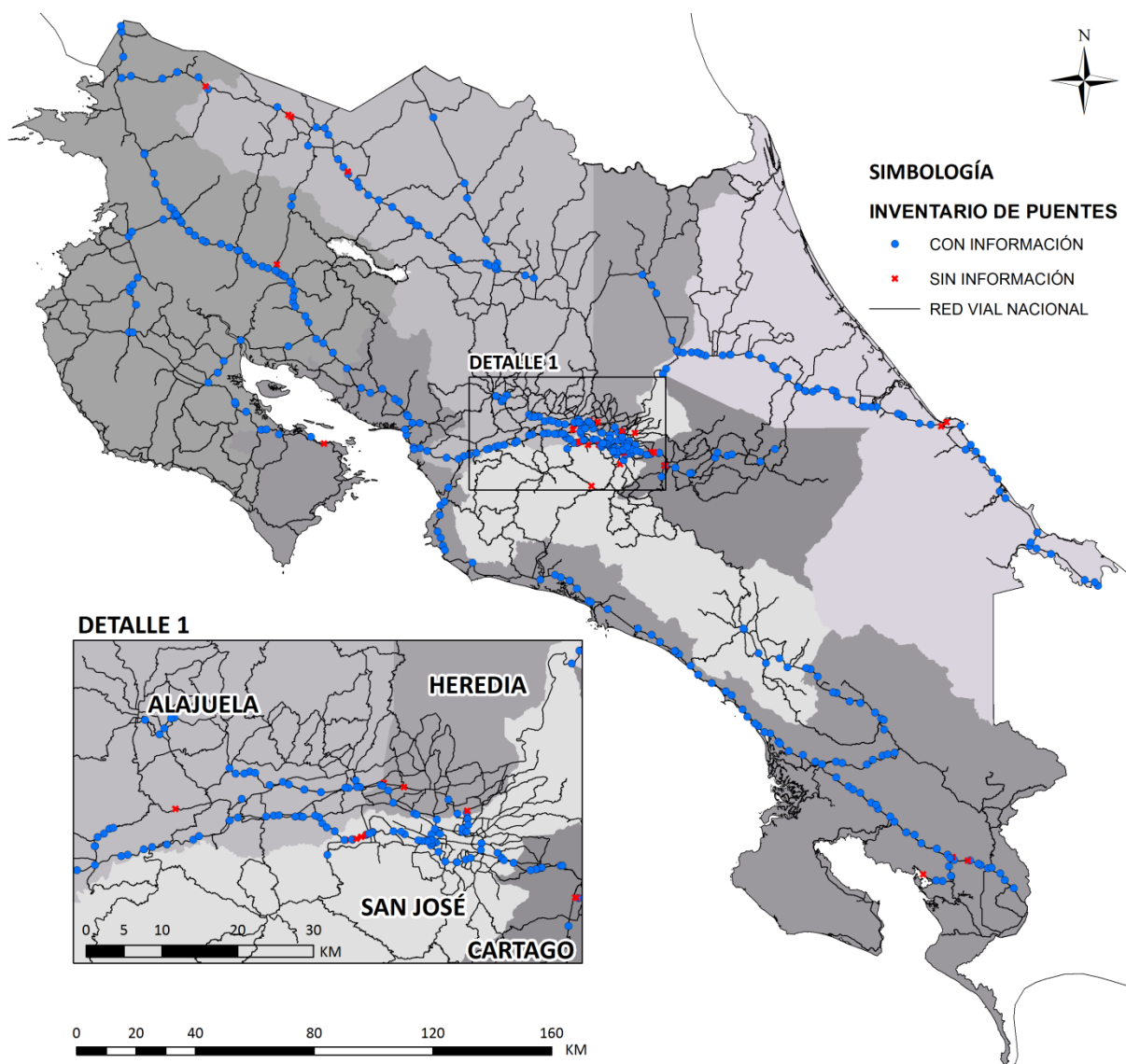


Figura 17: MAPA INDICANDO LA UBICACIÓN DE PÚENTES CRITICOS EN CASO DE SISMO

Haciendo uso del criterio por importancia, es práctico enfocar o priorizar esfuerzos primero en recopilar información en aquellos puentes críticos y posteriormente los esenciales cuando los recursos son limitados. Como una estrategia para la recopilación rápida de datos de inventario para los puentes faltantes, es recomendable explorar el uso de herramientas modernas, como las aplicaciones en tablets y teléfonos inteligentes, ya que inclusive personal no calificado en el área de puentes podría aportar información que, debidamente analizada en oficina, podría ser de gran utilidad para caracterizar estructuralmente los puentes.

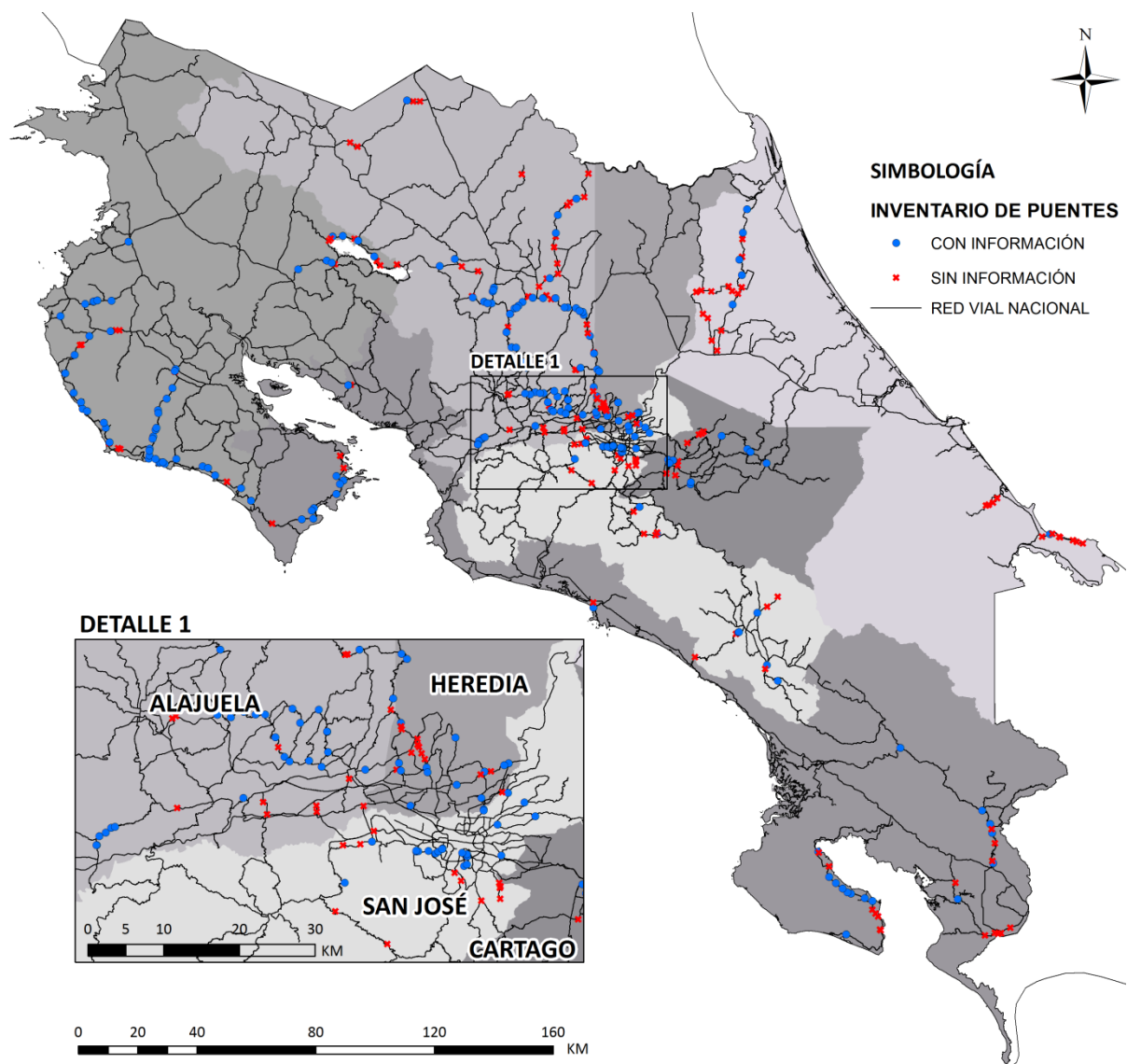


Figura 18: MAPA INDICANDO LA UBICACIÓN DE LOS PÚENTES ESENCIALES

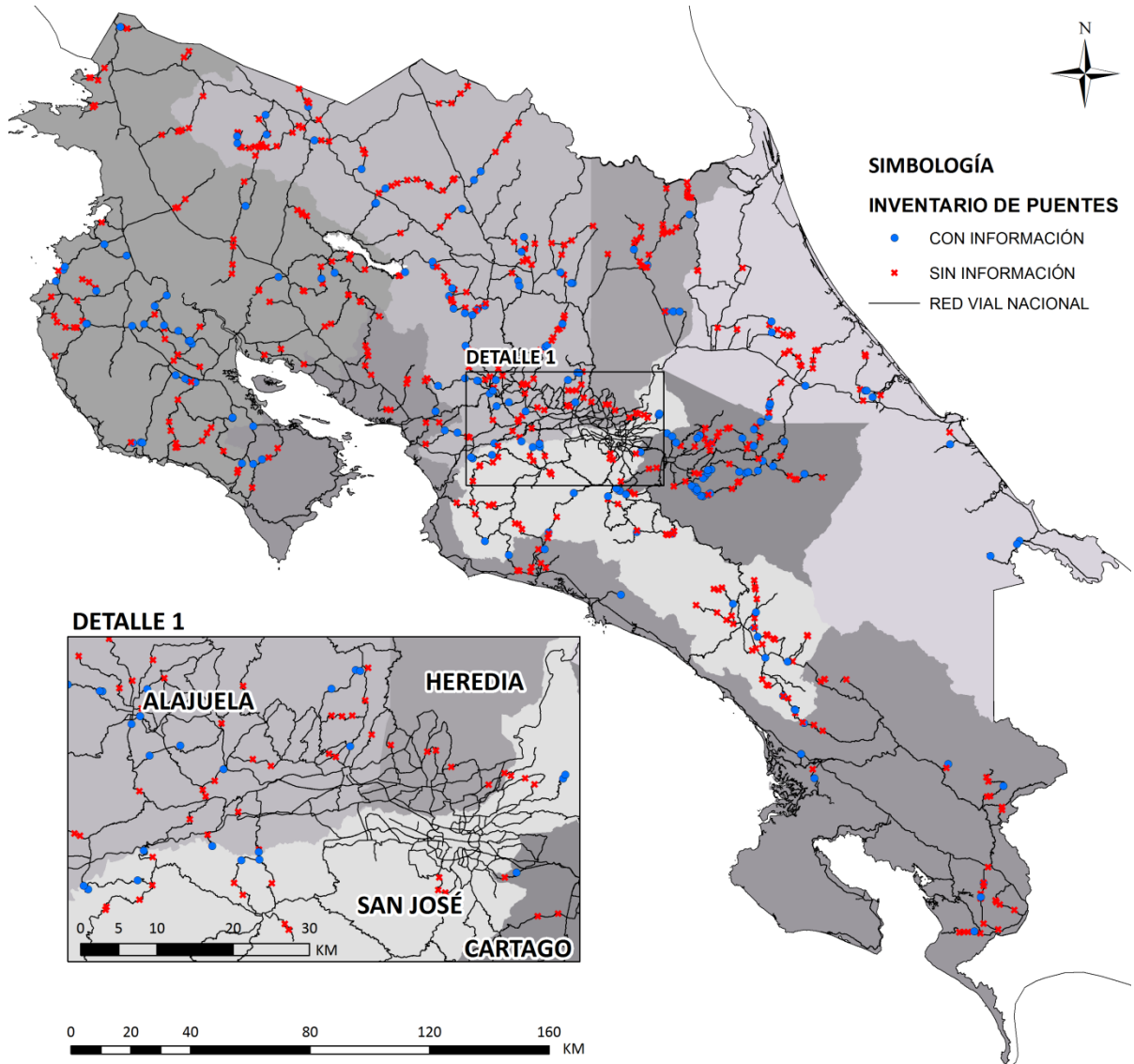


Figura 19: MAPA INDICANDO LA UBICACIÓN DE LOS PÚENTES CONVENCIONALES

Finalmente es necesario comentar brevemente sobre los puentes construidos con material principal de mampostería o madera. Para este estudio, el énfasis se da en puentes con superestructura de acero y concreto por lo que a los puentes de arco de mampostería y superestructura de madera no reciben en este informe una clasificación estructural y se consideran como puentes sin información.

Para el caso de puentes de mampostería, las estructura en la red vial nacional fueron construidas en su mayoría previo a 1930, en donde se tiene que 4 de estas obras fueron ya declaradas como patrimonio nacional (MCJ (s.f.)): R. Grande RN3, R. Jesús María RN131, P. Ferrocarril Atlántico

RN10 y R. Barranca RN742 (fuera de uso, al lado de puente actual)). En el inventario se tienen registrados 22 puentes con material principal de mampostería, en su mayoría en rutas secundarias. Muchos de estos puentes han sido sujetos a ampliaciones ya que numerosos de estos puentes 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 que se tiene en estas estructuras bajo las actuales condiciones de carga.

Se encontraron en este estudio 44 puentes de madera que, a diferencia de los puentes de mampostería, se encuentran ubicados en zonas alejadas del área metropolitana, principalmente en la zona norte, y normalmente son de construcción reciente. Esto se evidencia por ejemplo en el uso de este material para puentes en varias de las rutas de acceso a la RN856 como la RN507 y RN510 de reciente construcción/rehabilitación. Si bien en su mayoría se trata de puentes cortos con importancia operacional *convencional*, para los puentes con superestructura de madera es importante mantener inspecciones periódicas debido a las características de los materiales y señalar las restricciones de uso del caso. La figura 20 indica la distribución de los puentes con superestructura de mampostería y madera.

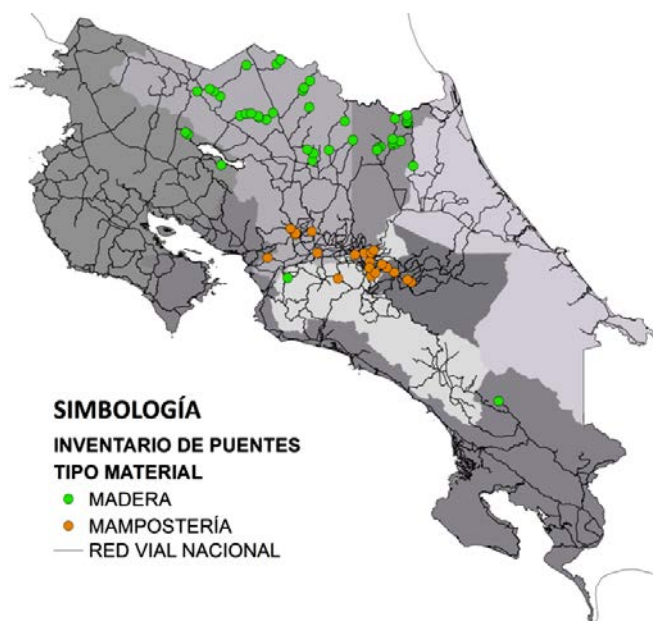


Figura 20: MAPA CON UBICACIÓN DE LOS PÚENTES DE MAMPOSTERÍA Y MADERA

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 40 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

10. RECOMENDACIONES DE USO Y LIMITACIONES

Los listados de puentes mostrados en los anexos muestran información básica de los puentes en la red nacional. Estos datos son útiles para caracterizar las tipologías de puentes en el país, planificar inspecciones de puentes, generar alguna estadística sobre las características de estas estructuras y finalmente también como una ayuda para utilizar en las evaluaciones de puentes luego de una inspección visual en detalle.

Este tipo de información puede ser de utilidad además para estudios de riesgo sísmico, hidráulico, o de alguna otra condición de carga para la cual el año en la que fue diseñada o construida la estructura y su tipología sean de relevancia para determinar su vulnerabilidad estructural ante el embate de algún fenómeno natural o humano.

La información de inventario presentada en este estudio no es suficiente para muchas de las labores de administración requeridas para este tipo de infraestructura en donde, es necesario detallar una hoja de vida del puente con aún más características geométricas en subestructura, superestructura, y los detalles de accesorios y accesos del puente.

En todos los casos para la información suministrada es recomendado que esta sea confrontada con la información in-situ del puente cuando se ejecute una inspección. La verificación con el Geo3D o por imagen satelital realizada de las dimensiones de la estructura no tiene el mismo nivel de detalle que una inspección visual con mediciones en campo. Además, no siempre fue posible verificar que la información detallada en planos fuera la misma que en el sitio, esto debido a que la estructura del puente pudo haber sido cambiada recientemente por una con características geométricas similares o también, se puede dar el caso que exista otra versión estructural del puente de características similares de la cual no se tenga información. También, es de importancia resaltar que para algunos sectores del país las imágenes satelitales que se utilizan son de algunos años de antigüedad.

Se debe recordar que las características del inventario mostradas en este listado son dinámicas, donde los puentes pueden ser cambiados, ampliados, reubicados o abandonados. Además, como se indica visualmente en la figura 4, hay aún 609 puentes en la red vial nacional para los cuales es necesario indagar la información básica para su caracterización (incluyendo 55 puentes de mampostería y madera), y que, debido a que el largo total predominante en la información faltante es corto (menos de 20 metros), varias de estas estructura podrían tratarse de alcantarillas.

Informe LM-PI-UP-02-2016	Fecha de emisión: 30 de marzo de 2016	Página 41 de 45
--------------------------	---------------------------------------	-----------------

La creación de este inventario de puentes fue planificada inicialmente con el fin de recopilar información de utilidad para determinar la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras, por lo tanto, hay algunos tipos estructurales que no se incluyen en este listado y que son consideradas por algunos autores como una tipología de puente. La estructura de mayor interés que no está incluida en este estudio, son las alcantarillas de cualquier dimensión y tipo. Los motivos por los cuales las alcantarillas no son tomadas en cuenta en este estudio son su geometría y características estructurales; estas, les brindan atributos que las llevan a presentar un buen desempeño ante el embate de un sismo. Además, relativo a su importancia, en muchas rutas las alcantarillas se utilizan para superar tramos cortos en quebradas, ríos pequeños, acequias y como paso del drenaje del camino. En caso de daño, es posible muchas veces que los vehículos transiten por el cauce del río o, alternativamente, es sencillo implementar una medida temporal de cruce (ej.: vado o puente temporal) por lo que el impacto sobre la red vial es normalmente menor.

Otro aspecto sobre la clasificación del tipo de puente que se debe resaltar es la similitud entre algunas taxonomías estructurales como la existente entre los tipos viga te, viga canal y viga múltiple. Tomando en cuenta esta dificultad, y ante la falta de planos estructurales donde sea evidente el tipo de viga utilizado, es posible que la clasificación en un tipo u otro varíe según el evaluador del puente. Una situación similar se da a la hora de determinar si se utilizan o no en el puente elementos con concreto pre-esforzado; ya que, a falta de planos de la obra, esta determinación depende de los conocimientos del evaluador de los distintos sistemas constructivos, aspecto que puede ser de difícil determinación en puentes construidos hace varias décadas.

En este inventario no se incluyen muchos de los puentes referidos como “proyectados” o “falta puente” en el listado original de la Dirección de Planificación Sectorial, luego de verificar que varios de estos puentes no han sido aún construidos. Esto se realiza así ya que se busca inventariar aquí estructuras existentes, aún en caso de puentes ya adjudicados como por ejemplo los que se colocarán próximamente en la RN245.

11. REFERENCIAS

CFIA 2013. *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes.* Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, San José, Costa Rica. Marzo 2013

DGC 2009 *Guía para la realización del inventario de obras de paso.* Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Gobierno de España.

FDOT 2014. *Florida Department of Transportation Bridge Management System Coding Guide.* Florida Department of Transportation FDOT, January 2014

FHWA 1995. *Report No. FHWA-PD-96-001: Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges.* Federal Highway Administration FHWA. Dec. 1995

JICA 2007. *The Study on Capacity Development in Bridge Rehabilitation Planning, Maintenance and Management Based on 29 Bridges of the National Highway Network in Costa Rica.* Japan International Cooperation Agency. February 2007 (disponible en Español)

MCJ (sf). *Consulta de inmuebles declarados patrimonio.* Ministerio de Cultura y Juventud, Centro de Conservación del Patrimonio Cultural. Recuperado el 20 enero de 2016, de <http://www.patrimonio.go.cr/>

MOPT 2007. *Manual de Inspección de Puentes.* Dirección de Puentes. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. San José, Costa Rica.

MOPT 2013. *Anuario de Información de Tránsito 2013.* Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica, Dirección de Planificación Sectorial, Unidad de Estudios de Tráfico e Investigación. San José, Costa Rica.

Muñoz-Barrantes, J., Vargas-Alas, L. G., Vargas-Barrantes, S., Agüero-Barrantes, P., Villalobos-Vega, E., Barrantes-Jiménez, R., et al. 2015. *Actualización de los criterios para la evaluación visual de puentes LM-PI-UP-01-2015.* San José, Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR.

Ramirez, M. 2010. Material Curso Puentes, Modulo I. 14-18 de Junio del 2010

ODOT 2009. *Seismic Vulnerability of Oregon State Highway Bridges, Mitigation Strategies to Reduce Major Mobility Risks.* Oregon Department of Transport, November 2009

12. ANEXOS

A1: INFORMACIÓN GENERAL DE PUENTES EN LA RED NACIONAL (en CD adjunto)

A2: CARACTERISTICAS DE UBICACIÓN DE PUENTES EN LA RED NACIONAL (en CD adjunto)

A3: CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE PUENTES EN LA RED NACIONAL (en CD adjunto)

A4: CRITERIO PARA CLASIFICACION DE PUENTES POR IMPORTANCIA OPERACIONAL PARA EL DISEÑO POR SISMO

A4

CRITERIO PARA CLASIFICACION DE PUENTES POR IMPORTANCIA OPERACIONAL PARA EL DISEÑO POR SISMO

Importancia	Descripción (Según los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes, CFIA 2013)	Criterio Parametrizado para la clasificación:
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 Secundarias o Terciarias que no sean Esenciales o Críticos</p>