

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCION MAESTRÍA EN

INGENIERIA VIAL



“Modelo de priorización para la intervención de puentes en Costa Rica”

Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Máster en Ingeniería Vial grado académico de Maestría

Realizado por:

Fabián Brenes Arce

Cartago 29 marzo del 2022.

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción
Unidad de Posgrado
Maestría en Ingeniería Vial

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN

Con fundamento en lo establecido por la Maestría en Ingeniería Vial, el Tribunal Examinador del Proyecto Final de Graduación denominado:

Modelo de priorización para la intervención de puentes en Costa Rica

Y, habiendo analizado el resultado del trabajo presentado por el(los) estudiante(s):

Primer Apellido	Segundo Apellido	Nombre	No. de carné
BRENES	ARCE	FABIAN	2018319741

Se emite el siguiente dictamen el día 10 de marzo del 2022:

<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Reprobado <input type="checkbox"/> Se recomienda <input type="checkbox"/> No se recomienda <i>Brindarle una nueva oportunidad para Defensa Pública.</i> Nueva fecha: _____
---	---

Dando fé de lo acá expuesto firmamos,

<p>Firmado digitalmente por GUSTAVO ADOLFO ROJAS MOYA (FIRMA) Fecha: 2022.03.11 16:52:28 -06'00'</p> <p>Ing. Gustavo Rojas Moya. Director, Escuela de Ingeniería en Construcción</p>	<p>Firmado digitalmente por GIANNINA ORTIZ QUESADA (FIRMA) Fecha: 2022.03.10 14:01:13 -06'00'</p> <p>Ing. Giannina Ortiz Quesada. Profesor Guía</p>
<p>Firma digital por BYRON GERARDO PAEZ GONZALEZ (FIRMA) Fecha: 2022.03.10 15:36:32 -06:00 Razón: Estoy aprobando Localización: Tecnológico de Costa Rica</p> <p>Ing. Gerardo Paez González. Profesor Lector</p>	<p>Firmado digitalmente por ANGEL HUMBERTO NAVARRO MORA (FIRMA) Fecha: 2022.03.11 10:11:20 -06'00'</p> <p>Ing. Angel Navarro Mora. Profesor observador</p>

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios y a mí familia; principalmente a mi padre, madre y hermanos quienes con su gran esfuerzo y sacrificio me apoyaron en esta etapa tan importante en mi vida. A cada una de las personas que me apoyaron y confiaron en mí incluyendo a mi pareja la cual siempre me brindó su apoyo y motivación. Simplemente, gracias infinitas a todos por quererme tanto y siempre estar a mi lado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento se dirige en primera instancia a Dios Padre, guía fiel de nuestros pasos, inspirador de nuestros actos y majestuosa fuente, de la cual brota la sabiduría, la fortaleza y el amor, alimentos necesarios de nuestras almas. Gracias a Dios por permitirme concluir esta etapa de manera exitosa y por siempre bendecirme en cada paso que di en este proceso.

A mi mamá, mis hermanos, mis sobrinos y a Natalie por ser un pilar fundamental en este proceso. A mi tutora la Ing. Gianinna Ortiz Quesada y al lector el Ing. Gerardo Páez González por la paciencia y el apoyo técnico que me brindaron durante este proceso y a todo el equipo del Programa de Estructuras de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP) por la asistencia, evaluación e investigación de las Estructuras de Puentes de Costa Rica.

A los profesores de la Maestría de Ingeniería Vial por la paciencia y el conocimiento brindado todo este tiempo. Agradezco a muchos de ellos por sus consejos y por brindarme su apoyo cuando más lo necesite. A cada uno de mis amigos por sus consejos e impulsarme a seguir adelante. especialmente al Ing. Carlos Burgos Salas por apoyarme tanto emocional como académicamente en materia de Hidráulica de Puentes para continuar luchando por mis metas, impulsándome con la siguiente expresión: "*Tiene que esforzarse, el fruto del esfuerzo vendrá mañana; y disfrutarás del sacrificio; y si no lo hace ahora, te arrepentirás en el futuro*".

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	X
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	5
1.3. Justificación del Estudio.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos:.....	7
1.5. Alcance y Limitaciones.....	8
1.5.1. Alcances.....	8
1.5.2. Limitaciones.....	8
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Descripción de estructuras.....	8
2.2. Componentes del Puente.....	9

2.3.	Metodologías de Evaluación para Gestión de Puentes de Costa Rica.	11
2.4.	Gestión de Puentes.	13
2.5.	Implementación de sistema de Gestión de Puentes.	16
2.6.	Jerarquización de los Puentes.	17
2.7.	Métodos para Jerarquizar.	19
2.8.	Sistema experto para la priorización y la toma decisiones.	19
2.9.	Metodología de priorización recomendada a nivel nacional.	20
2.10.	Criterios de priorización en el mundo.	22
2.11.	Los Administración de Costos en el Mundo.	27
3.	CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.	28
3.1	Tipo de Investigación.	28
3.2	Fuentes y Sujetos de información.	28
3.2.1	Fuentes Principales.	28
3.2.2	Fuentes Secundarias.	28
3.2.3	Fuentes Terciarias.	29
3.3	Sujetos de información:	29
3.4	Técnicas e Instrumentos de Investigación.	29
3.4.1	Técnicas de la investigación:	29

3.5	Procesamiento y Análisis de Datos.....	30
3.5.1	Procedimiento y análisis objetivo específico N° 1: Revisar las metodologías de priorización a nivel nacional e internacional para intervención de puentes.	31
3.5.2	Procedimiento y análisis objetivo específico N° 2: Crear un modelo de priorización para la intervención de puentes en Costa Rica.....	31
3.5.3	Procedimiento y análisis objetivo específico N° 3: Aplicar el modelo de priorización como caso piloto en el inventario de puentes en estado deficiente.	33
3.5.4	Estimación de costos.....	33
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.	33
4.1	Comparación de Metodología de Priorización.....	33
4.2	Grupo de consenso de expertos.....	41
4.3	Definición de la Jerarquía del modelo.....	44
4.4	Definición del Criterio y subcriterios de Priorización.	45
4.5	Construcción de variables de evaluación de los subcriterios de priorización.	47
4.6	Definición de la estrategia del tipo de Intervención de las Estructuras de Puentes como caso piloto.	60
4.7	Propuesta de Indicadores de Priorización para Intervención de Puente de Costa Rica.	61
4.8	Inventario y Ubicación de los Puentes en Estado Deficiente Evaluados.	62
4.9	Ubicación de los Puentes en estado Deficiente.....	63
4.10	Resumen de la condición de los puentes en estado deficiente.	64

4.11	Aplicación de la propuesta del modelo de priorización en los puentes en estado deficiente.	68
4.12	Determinación de los Puentes Candidatos a Sustitución y Rehabilitación como Caso Piloto.	135
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	139
5.1.	Conclusiones.	139
5.2.	Recomendaciones.	142
6.	CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.	144
7.	CAPITULO VII. ANEXOS.	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Categorías de acción del Puente.	15
Tabla 2:	Criterio de Priorización.	26
Tabla 3:	Costos promedios por m2 de puentes nuevos.	33
Tabla 4:	Variables utilizadas en los modelos de priorización.	35
Tabla 5:	Comparación de Metodología de Priorización de Estructuras de Puentes.	37
Tabla 6:	Grupo de expertos en Materia de Puentes.	41
Tabla 7:	Revisión de Modelo de Priorización.	41
Tabla 8:	Modelo de Priorización de Puentes de Estado Deficiente en Costa Rica.	47
Tabla 9:	Criterios y subcriterios de priorización (Índice Condición del Puente).	48
Tabla 10:	Criterios y subcriterios de priorización (Factor de Importancia Significativa).	49
Tabla 11:	Criterios y subcriterios de priorización (Seguridad y Estructural de los Puentes).	51
Tabla 12:	Amenaza sísmica de puentes.	52
Tabla 13:	Altura Libre de los Puentes.	53
Tabla 14:	Ángulo de Ataque en los Bastiones de los Puentes.	54
Tabla 15:	Estrechamiento del Cauce.	55
Tabla 16:	Trafico Promedio Diario.	56
Tabla 17:	Existencia de Rutas Alternas de los Puentes.	57
Tabla 18:	Obsolescencia Funcional de los Puentes.	58
Tabla 19:	Factor de Importancia Operacional de los Puentes.	59
Tabla 20:	Prioridad de Intervención por la Longitud del Puente.	60
Tabla 21:	Selección del Tipo de Intervención del Puente.	60
Tabla 22:	Ubicación de los Puentes en Estado Deficiente a Evaluados.	62
Tabla 23:	Resumen de la condición de puente en estado deficiente.	64
Tabla 24:	Estado cuantitativo de los puentes en estado deficiente (BCI).	68

Tabla 25: Riesgo Sísmico de la Estructuras de Puentes.	69
Tabla 26: Longitud Mínima de Asiento.....	70
Tabla 27: Obsolescencia Funcional de Puente.	72
Tabla 28: Redundancia de la estructura-configuración estructural.....	74
Tabla 29: Condiciones Prioritarias de Servicio.	76
Tabla 30: Riesgo Hidráulico de Puentes- Altura Libre del Puente.	77
Tabla 31: Importancia Estratégica Existencia de Ruta Alternativa.	78
Tabla 32: Riesgo Hidráulico de Puentes-Grado de Estrechamiento del Cauce.	101
Tabla 33: Riesgo Hidráulico de Puentes, Evaluación de Ángulo de Ataque.	123
Tabla 34: Riesgo Hidráulico de Puentes, Evaluación de obstáculo e incidencia de las subestructuras.	124
Tabla 35: Zonas sísmicas según Provincias Cantones y Distritos.	128
Tabla 36: Evaluación de Amenaza Sísmica de los Puentes.	129
Tabla 37: Propuesta del modelo de priorización de las estructuras en estado deficiente.....	131
Tabla 38: Indicador Prioritario Servicio Sugerido para la Intervención de Puentes de Costa Rica.	132
Tabla 39: Costos sugeridos para la intervención de puentes de Costa Rica.	134
Tabla 40: Determinación del Indicador Prioritario de Servicio Sugerido del puente.	135
Tabla 41: Indicador Prioritario de Intervención del Puente (IPSP).	136
Tabla 42: Prioridad de Intervención.	137

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Actividades de Mantenimiento de Puentes y Flujo de Información.	3
Ilustración 2: Estado de los puentes inventariados según el BCI.....	4
Ilustración 3: Componentes de un puente.	9
Ilustración 4: Componentes de un puente.....	10
Ilustración 5: Componentes de un puente.	10
Ilustración 6: Componentes de un puente.	11
Ilustración 7: Cantidad de puentes en estado deficiente, según material y categoría de longitud.....	12
Ilustración 8: Esquema general de un modelo para la gestión de Puentes.	14
Ilustración 9: Categorías de acción del Puente.	15
Ilustración 10: Diagrama Vida Útil de Servicio.....	16
Ilustración 11: Categorías de acción del Puente.	18
Ilustración 12: Ejemplos de Criterios de Priorización.	20
Ilustración 13: Niveles de decisión de intervención.....	20
Ilustración 14: Ítems de Evaluación y pesos de las tres jerarquías del indicador EP.	21
Ilustración 15: Ejemplo de una pantalla personalizada en Pontis.	25
Ilustración 16: Objetivos de Proyecto.....	30
Ilustración 17: Revisión de Metodologías de Priorización.	31
Ilustración 18: Definición de sistema, jerarquía, y criterios de priorización.....	31
Ilustración 19: Sistema de Jerarquía de criterios de priorización e indicadores de peso.....	32
Ilustración 20: Definición de Jerarquía del modelo	44
Ilustración 21: SFEP(Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes)	45
Ilustración 22: RHP (Riesgo Hidrológico de los Puentes).....	46
Ilustración 23: IEP (Importancia Estratégica de los Puentes).	46
Ilustración 24: Ubicación de los Puentes en estado deficiente.....	63
Ilustración 25: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Kooper A003	80
Ilustración 26: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Aguas Zarcas A225.....	81

Ilustración 27: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Delicias A282	82
Ilustración 28: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Agua Caliente C056.....	83
Ilustración 29: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Grande Orosi C084	84
Ilustración 30: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Agua Caliente C175.....	85
Ilustración 31: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tabaco G009.....	86
Ilustración 32: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Belén G026	87
Ilustración 33: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Nandayure G167.....	88
Ilustración 34: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Virilla H020	89
Ilustración 35: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Chirripó L005.	90
Ilustración 36: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Toro Amarillo L047	91
Ilustración 37: Revisión de ancho del cauce Puente sobre la Quebrada Westfalia.	92
Ilustración 38: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tárcoles P006	93
Ilustración 39: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río San Miguel L141.	94
Ilustración 40: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tulin P059.	95
Ilustración 41: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Estero Boca Vieja P065.....	96
Ilustración 42: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Jorco S025.	97
Ilustración 43: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Pacuar S050.	98
Ilustración 44: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Sucio S110.	99
Ilustración 45: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tiribi S205.....	100
Ilustración 46: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Kooper A003	102
Ilustración 47: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Aguas Zarcas A225	103
Ilustración 48: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Delicias A282	104
Ilustración 49: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Agua Caliente C056.....	105
Ilustración 50: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Grande de Orosi C084	106
Ilustración 51: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Agua Caliente C175.....	107
Ilustración 52: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Tabaco G009	108
Ilustración 53: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Belén G026.....	109
Ilustración 54: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Nandayure G167.....	110
Ilustración 55: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Virilla H025.....	111
Ilustración 56: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Chirripó L005	112
Ilustración 57: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Toro Amarillo L047.....	113
Ilustración 58: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre la Quebrada Westfalia L002.....	114
Ilustración 59: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre Río Tárcoles.	115
Ilustración 60: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre Río San Miguel L141.	116
Ilustración 61: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre Río Tulin P059	117
Ilustración 62: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Estero Boca Vieja P065.....	118
Ilustración 63: Ángulos de Atraque los Bastiones del Puente sobre el Río Jorco S025.....	119
Ilustración 64: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Pacuar.	120
Ilustración 65: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Sucio S110.	121
Ilustración 66: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Tiribi S205.....	122
Ilustración 67: Incidencia de las Fallas cercana a las estructuras de puente.	125
Ilustración 68: Fallas Activas de Costa Rica.....	126
Ilustración 69: Mapa de Tipos de Suelos de Costa Rica	127
Ilustración 70: Tipos de Intervención de los Puentes en estado deficiente.	138

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico. 1: Deficiencia y Riesgo Estructural en Puentes.....	42
Gráfico. 2: Deficiencia y Riesgo Estructural en Puentes.....	42
Gráfico. 3: Vulnerabilidad y Riesgo Hidráulico.....	42
Gráfico. 4: Vulnerabilidad y Riesgo Hidráulico.....	43
Gráfico. 5: Condiciones Prioritarias de Servicio.....	43
Gráfico. 6: Condiciones Prioritarias de Servicio.....	43
Gráfico. 7: Costo de intervención de la estructura.....	44

RESUMEN

Los puentes son un elemento primordial en la red vial, debido a su costo y conectividad que agregan a la red y las graves consecuencias que puede tener en eventual colapso parcial o total.

Esta investigación se centró en desarrollar un Índice Prioritario de Servicio del Puente (IPSP) para la toma de decisiones de intervención de puentes que pondera el efecto del estado, y el deterioro de la estructura, con relación al riesgo sísmico latente (longitud de asiento) sobre la estructura, estrechamiento del cauce, importancia estratégica en red vial nacional, incidencia de los bastiones dentro del cauce, entre otras.

Para poder determinar el Índice Prioritario de Servicio del Puente fueron desarrollados y evaluados criterios y subcriterios de priorización individuales para el cálculo de las tres jerarquías propuestas con información obtenida mediante la utilización de los informes de inspección de inventario y visual de daños en puentes realizadas por el Tecnológico de Costa Rica a los puentes en rutas nacionales.

Se obtuvo una ecuación para el cálculo del índice prioritario de servicio del puente, el que permite priorizar las inversiones de rehabilitación y construcción de acuerdo CON su peso de importancia relativa y factores que lo componen con relación a otros puentes. Su aplicación en los puentes de la red vial nacional permite detectar los puentes más urgentes de intervención basados en un análisis global de su estado, costo, ambiente y funcionalidad para atender de forma eficaz y eficiente el informe donde se presentan los datos obtenidos en el inventario de puentes de rutas nacionales de Costa Rica.

ABSTRACT

Bridges are an essential element in the road network, due to their cost and connectivity that they add to the network and the serious consequences that they can have in the eventual partial or total collapse.

This research focused on developing a Bridge Service Priority Index (IPSP) for making bridge intervention decisions that weighs the effect of the state, and the deterioration of the structure, in relation to the latent seismic risk (seat length) on the structure, narrowing of the channel, strategic importance in the national road network, incidence of bastions within the channel, among others.

In order to determine the Bridge Service Priority Index, individual prioritization criteria and sub-criteria were developed and evaluated for the calculation of the three proposed hierarchies with information obtained using of inventory and visual inspection reports on bridge damage carried out by the Tecnológico de Costa Rica to bridges on national routes.

An equation was obtained to calculate the priority service index of the bridge, which allows prioritizing rehabilitation and construction investments according to their weight of relative importance and factors that compose it in relation to other bridges. Its application in the bridges of the national road network allows to detect the most urgent bridges of intervention based on a global analysis of its state, cost, environment and functionality to effectively and efficiently attend the report where the data obtained in the inventory is presented. of bridges of national routes of Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La información contenida en este modelo de priorización para intervención de puentes en estado deficiente en Costa Rica constituye una guía para orientar a los profesionales en ingeniería y demás funcionarios públicos y privados que administran, gestionan y están relacionados con el mantenimiento, rehabilitación y la construcción de puentes. Así mismo, busca promover la aplicación uniforme de las normas y procedimientos y alternativas de solución de los componentes y elementos de un puente en todas las regiones del país que están en una condición alarmante y además fomenta la aplicación de planes y programas de mantenimiento de puentes que su estado o condición se encuentra en una condición regular o satisfactoria.

Este documento no debe entenderse como un instrumento rígido que limite, en la práctica, el empleo de nuevas y modernas técnicas o programas que faciliten y hagan más eficiente la ejecución de las tareas de la ingeniería de puentes. No obstante, ha de advertirse que, en todos los casos, debe prevalecer la obligación de aplicar correctamente las normas técnicas, ingenieriles y legales establecidas, para asegurar la calidad de la obra, ya que esta propuesta está aplicada como caso piloto en 21 estructuras seleccionadas en las 7 provincias de Costa Rica que se encuentran con una condición y estado deficiente. Por lo tanto las estructuras que son candidatas a rehabilitación debe valorarse por un especialista en la materia de puentes, donde deberá considerar y determinar posterior a la aplicación del modelo los estudios, el análisis y la técnica de intervención (reforzamiento o rehabilitación) de cada elemento o componente de cada puente con base a una gestión y administración de los recursos de cada institución o departamento de transportes para asegurar tanto la seguridad funcional (operaciones) y la seguridad estructural; priorizando primordialmente con la revisión de la capacidad hidráulica del puente, readecuación sísmica y la actualización de cargas (HL-93), entre otras) para la toma de una decisión y así proponer la alternativa de rehabilitación, reforzamiento o reconstrucción. Dado a que, en este caso especial si una estructura candidata a rehabilitación no cumple hidráulicamente, el decisor puede considerar que esta estructura es candidata a sustitución, esto con el fin de realizar una adecuada administración de los recursos del estado.

En Costa Rica, se tiene un programa para la gestión de puentes, donado por el gobierno de Japón; sin embargo, su uso ha sido restringido, por lo que en este trabajo se consigna la forma como el programa SAEP obtiene los resultados de grado de deficiencia y prioridad de reparación, lo cual se ha podido realizar por medio del manual de lineamientos para el mantenimiento de puentes del MOPT. Para la evaluación de deficiencia o deterioro de los puentes, se realizó la construcción de un sistema compuesto por una jerarquía, criterios y subcriterios de priorización para la intervención de puentes en estado deficiente, donde se realizó la construcción de los indicadores que evalúan tanto las características funcionales y estructurales de un puente, características hidráulicas, condiciones prioritarias de servicio y aspectos socioeconómicos.

También se realiza una comparación de las metodologías de priorización a nivel nacional e internacionales, aspectos transcendentales y que son considerados para la identificación y definiciones de criterios a evaluar en el país con otros sistemas de gestión de puentes en el mundo.

Consecuentemente se requiere de una metodología de priorización que permita elegir las acciones de intervenciones a ejecutar, que en la suma lleven a la mayor rentabilidad posible de los puentes en una red vial con base a las decisiones y análisis de los especialistas. Una infraestructura de transporte con alto grado de cobertura y calidad es clave para promover un desarrollo económico sostenible para mejorar la calidad de vida, por ende, es importante concientizar a las personas que administran los activos viales que no solo se debe invertir en construcción, sino que se debe invertir también invertir

en el mantenimiento y la rehabilitación de las estructuras de puentes, así de esta forma se maximizará la utilidad de las inversiones en infraestructura vial.

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes.

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes desde el año 2007, cuenta con un Manual de Inspección de Puentes que brinda una guía paso a paso con tareas, definiciones y actividades requeridas para el funcionamiento del Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP). Además, el sistema presenta los procedimientos y métodos para realizar el inventario de puentes y evaluar su deterioro; se describen los formularios de inventario e inspección de puentes, incluye la guía para la recopilación de datos y los lineamientos para la calificación del grado de deterioro.

Este sistema fue desarrollado por la agencia de Cooperación Internacional del Japón – JICA, como resultado del convenio de cooperación técnica con el gobierno de Japón, solicitado por el gobierno de Costa Rica. Este sistema de administración de puentes fue implementado para favorecer las labores del Ministerio de Transportes (MOPT) en la administración de sus activos viales, el conocimiento de los indicadores que calcula la herramienta, es de vital importancia para determinar los alcances y limitaciones de dicha herramienta informática, ya que los resultados de ambos indicadores servirán como base para la toma de decisiones de intervención de mantenimiento, rehabilitación y sustitución de los puentes de Costa Rica.

A nivel nacional, se rescata la importancia de los lineamientos que fueron establecidos por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), los cuales fueron elaborados en conjunto con la Cooperación Japonesa JICA.

Estos documentos son:

- ✚ **Manual de Inspección de Puentes, 2007.** Este manual incluye la descripción general de las estructuras, terminología, responsabilidades, generalidades del inventario y la inspección, lineamientos para la calificación del grado de deterioro y los formularios para realizar las inspecciones.
- ✚ **Lineamientos para el mantenimiento de puentes, 2007.** Estos lineamientos incluyen información sobre el sistema de administración de puentes, identificación del deterioro, elementos a considerar en inspecciones detalladas, análisis estructural y medidas de seguridad.

El Consejo Nacional de Vialidad asume funciones importantes que tradicionalmente había desarrollado el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). Tiene como objetivo planear, programar, administrar, financiar, ejecutar y controlar la conservación y la construcción de la Red Vial Nacional, en concordancia con los programas que elabore la Dirección de Planificación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

El MOPT y CONAVI han destinado recursos para actualizar el código de la herramienta e implementarla alimentando la base de datos, por lo que se realizó un análisis de la gestión del SAEP para determinar posibles oportunidades de mejora (Castillo Barahona, 2014).



Ilustración 1: Actividades de Mantenimiento de Puentes y Flujo de Información.

Fuente: Inventario de Puentes en rutas nacionales de Costa Rica 2014-2018, TEC.

Un Sistema de Administración de Puentes, acorde con la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA), asiste a los administradores de puentes, que en nuestro caso es el CONAVI para las rutas nacionales y las municipalidades para las rutas cantonales; en la selección y elaboración de los trabajos idóneos, al puente correcto, en el tiempo adecuado y a un costo razonable. Estos sistemas son considerados como una herramienta de apoyo para los encargados de los puentes, que permite la selección de estrategias y acciones, así como la mejor asignación de recursos para el mantenimiento, rehabilitación y construcción de puentes acorde con las restricciones presupuestarias existentes. (Ramírez, Gonzalez,2017)

eBridge es un proyecto multidisciplinario coordinado por el Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica y en el que participan las escuelas de Ingeniería en Electrónica, Computación, Forestal y Producción Industrial; además de contar con participación en algunas tareas de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de Materiales y estudiantes de otras carreras como Ingeniería en Diseño Industrial, Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, Ingeniería en Computadores e Ingeniería en Mecatrónica. Dicho proyecto se encuentra dentro programa de investigación eScience. (Tecnológico de Costa Rica,2019)

En la primera etapa del proyecto eBridge (1.0: Predicción remota de fallas en puentes) se identificaron metodologías y herramientas para la determinación de las variables que más influyen en el desempeño estructural de una estructura de puente (Tecnológico de Costa Rica,2019).

En la segunda etapa del proyecto eBridge (2.0: Sistema integrado para el desempeño de puentes), se trabajaron herramientas para la integración de la información que sea la base de un sistema nacional de monitoreo de estructuras de puentes, con un fuerte apoyo tecnológico y motivando cada vez más el uso de tecnología. Se trabajó en varias áreas la integración de los sistemas, instrumentación, evaluación de estructuras y modelo de confiabilidad y sistemas de información geográfica. (Tecnológico de Costa Rica,2019)

En esta tercera etapa (eBridge 3.0) se trabajó en el diseño de un prototipo de un sistema de monitoreo de salud estructural de puentes, que incluya metodologías de evaluación principalmente no destructivas, análisis de riesgos ambientales, diagnóstico e inteligencia de negocios para estudios de confiabilidad en puentes (Tecnológico de Costa Rica,2019).

El proyecto eBridge del programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) nace como un proyecto de investigación para aportar a la solución de estas deficiencias y limitaciones. Con el objetivo de desarrollar un prototipo de sistema integrado de información para consultas estratégicas sobre el desempeño de los puentes (Obando y Garita, 2015) el cual introdujo una metodología para la evaluación de los puentes, por medio de inspecciones visuales y también introduciendo tecnología para la evaluación del comportamiento de los elementos, “desarrollando un sistema experto de confiabilidad estructural que proporcione información de la vida útil del puente” (Ortiz, Quesada, 2014, p.9).

Para el caso de Costa Rica, dada la información recopilada según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en el inventario de puentes realizado por el TEC se puede definir un BCI (Bridge Condition Index) basado en promedios ponderados, en una escala de 1 a 5, donde 1 es una condición satisfactoria y 5 una condición deficiente y utilizando un código de colores (semáforo) para su visualización.

Estos índices ayudan a identificar cuales estructuras en el inventario son las más deterioradas y cuales requieren las reparaciones más urgentes, además ayudan a generar planes de mantenimiento o rehabilitación.

El BCI califica los daños estructurales y ayuda a identificar cuales estructuras, y partes de ellas están más deterioradas y, por tanto, aquellas que requieren reparaciones más urgentes, o de mayor extensión, por lo que ayuda a realizar planes de mantenimiento y rehabilitación(reforzamiento).

En relación con su condición estructural de los 1670 puentes evaluados por el Tecnológico de Costa Rica, el 37% de estas estructuras se encuentran en una condición deficiente, lo cual significa que su valoración general es mayor de 4; el 60% se encuentra en una condición regular (su calificación se encuentra ente 2 y 4); y, solamente, un 3% cumple con la calificación 1, **Ilustración 2**.

Es importante indicar, que esta valoración no incluye aspectos de funcionalidad, riesgo, seguridad vial, los cuales deben considerarse para la priorización de intervenciones a realizar.

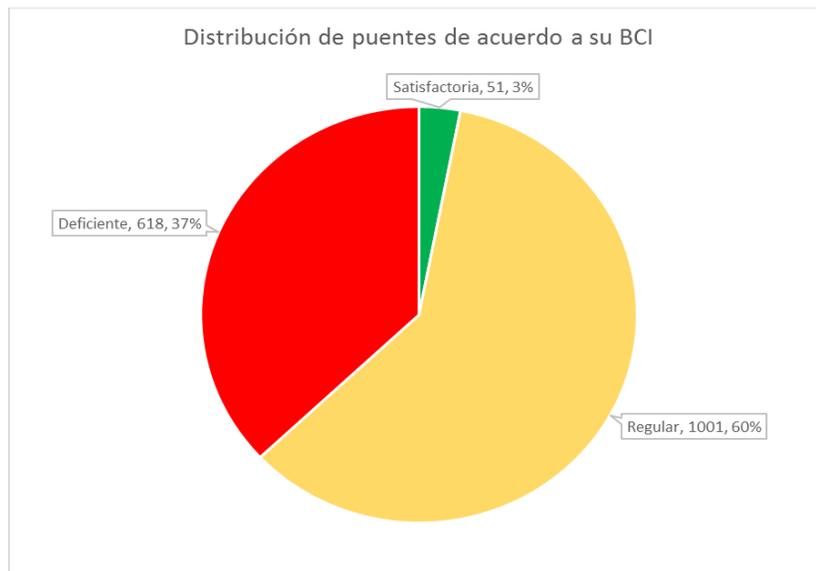


Ilustración 2: Estado de los puentes inventariados según el BCI.

Fuente: Inventario de Puentes en rutas nacionales de Costa de Costa Rica 2014-2018, TEC.

Ya tenemos un inventario, tenemos la inspección, tenemos un índice de condición estructural. De ahí podemos partir para que se tomen las acciones necesarias. Así, teniendo una condición excelente, se hace mantenimiento rutinario; si se tiene una valoración regular, podría tener un mantenimiento correctivo y si tengo una valoración deficiente, podría tener una rehabilitación, o una sustitución de elementos o de la estructura como tal.

El estudio que hace eBridge toma en cuenta variables ambientales, como riesgo sísmico y condiciones climáticas, para ayudar en la toma de decisiones (Ortiz, Quesada, 2019).

Entre los otros criterios de priorización para atender los puentes se debe tomar en cuenta la importancia de la ruta, la edad de la estructura, el índice de condición o nivel de daños que presenta y la funcionalidad (Ortiz, Quesada, 2019).

De manera similar, los datos de la Dirección de Puentes del MOPT, quien se encuentra a cargo de ese Departamento, detallan que un 10% de los puentes analizados en el SAEP (211 estructuras) se encuentran en estado crítico y que otro 25% requiere de acciones de rehabilitación.

De nada sirve todos los esfuerzos, si no se asocia a un financiamiento, se queda en el papel. Hay un plan quinquenal de puentes en el CONAVI, 2016-2020, cuya distribución de inversión es el 65% para construcción, el 10% para mantenimiento, el 2% para instalación y el 23% para rehabilitación de estas estructuras. Seguimos destinando menos presupuesto al mantenimiento, más presupuesto a la obra nueva, la obra nueva se incrementa y se aumenta la necesidad de mantenimiento, por lo que seguimos acumulando un déficit (Ramírez, González, 2019).

1.2. Planteamiento del Problema.

La ausencia de un modelo de priorización es una tarea trascendental para desarrollar; que permita determinar el daño de importancia relativa con respecto a los demás puentes, además es esencial extraer un grupo de puentes cuya intervención es establecer si se rehabilita o se sustituye la estructura. Por otra parte una carencia importante de señalar es que el sistema de Administración de Puentes incluye de forma muy limitada y en ocasiones omite aspectos de gran importancia para evaluar y priorizar los puentes como por ejemplo : seguridad vial, y algunas consideraciones propias del diseño sísmico, y que no brinda una descripción cualitativa de la condición de la estructura, sino resultados de las evaluaciones en términos de índices que son de difícil comprensión y cómputo para profesionales fuera de los administradores expertos del SAEP, lo que lo hace poco transparente y comunicativo a otros entes externos que también administran puentes como las municipalidades o el sector privado. (Muñoz, Barrantes, 2017)

Actualmente no existe un modelo de Gestión de Puentes sistemático, programático y cíclico implementado en Costa Rica que asegure que las inversiones que se realicen en estas estructuras sean eficientes y que garanticen la seguridad vial y estructural en un mediano y largo plazo; ya que hoy por hoy se cuenta con la información generada en las inspecciones visuales y en algunos casos las inspecciones detalladas realizadas por el Programa de Puentes(PEEP) del Tecnológico de Costa Rica; donde se destaca el grado de deterioro de cada elemento y el estado de condición del puente, por tanto es importante desarrollar un modelo que se base no solamente en las características estructurales sino también que consideren otros factores como: importancia de la ruta, conectividad, obsolescencia funcional, características estructurales, seguridad vial, amenazas sísmicas e hidrológicas, etc., aspectos sociales para la toma de una decisión confiable en la intervención de los puentes.

1.3. Justificación del Estudio

Para el Ministerio de Obras Públicas y Transportes es de suma importancia los insumos generados por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) por eso es importante crear un modelo de priorización para la intervención de Puentes en Costa Rica. Ya que actualmente se cuenta con el Inventario de Puentes en Rutas Nacionales de Costa Rica 2014-2018 y una propuesta de costeo de estas estructuras.

En relación con su condición estructural, el 37% se encuentran en condición deficiente lo cual significa que su valoración general es mayor de 4 en la escala utilizada que va de 1 a 5; el 60% se encuentra en una condición regular (calificación se encuentra ente 2 y 4); y, solamente, un 3% cumple con la calificación 1.

Por su parte, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme), de la UCR, hace una valoración enfocada en las rutas más importantes del país y encontró que alrededor del 50% de los puentes más importantes del país están en una condición seria de requerimiento de atención y un 25% está en condición alarmante (Villalobos, Vega,2019).

La principal preocupación es el estado de la condición de los puentes en servicio, condición que es variable, existe un grupo de puentes cuyo nivel de daño, capacidad estructural, vulnerabilidad ante amenazas y funcionalidad es tal, que no garantizan a los usuarios no sólo que el servicio no se va a interrumpir, con todos los costos directos e indirectos asociados a esto, sino además no garantiza que los puentes son seguros y que incluso se pierdan las vidas como ya ha sucedido en el pasado.

No debe perderse la perspectiva, ya sea que se tome cuenta o no la incertidumbre del cambio climático, la realidad es que la ubicación de Costa Rica lo hace más vulnerable a eventos hidrometeorológicos extremos, la calidad de muchos de los estudios hidrológicos-hidráulicos-socavación es cuestionable y por lo tanto su confiabilidad también, el país debe migrar hacia la constitución de una infraestructura resiliente.

Para el caso de Costa Rica, dada la información recopilada según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en el inventario de puentes realizado por el TEC se puede definir un BCI (Bridge Condition Index) basado en promedios ponderados, en una escala de 1 a 5, donde 1 es una condición satisfactoria y 5 una condición deficiente y utilizar un código de colores (semáforo) para su visualización (Tecnológico de Costa Rica,2019).

Estos índices ayudan a identificar cuales estructuras en el inventario son las más deterioradas y cuales requieren las reparaciones o intervenciones más urgentes, además ayudan a generar planes de mantenimiento o rehabilitación (Tecnológico de Costa Rica,2019).

Por lo que es fundamental complementar esta información y dar paso a la creación de un modelo de priorización. El modelo a desarrollar va integrar el índice servicio del estado y la condición de los puentes; determinado por el Programa Evaluación de Estructuras Puentes PEEP lo cual va a contribuir a mejorar la eficiencia de la inversión pública y promover el diseño, construcción y rehabilitación de estructuras seguras según normativa nacional e internacional vigente; el modelo va a contribuir a la toma de decisiones de ingenieros encargados de la administración de los puentes en Costa Rica, acorde con la condición, estado e importancia de la infraestructura mediante la identificación de una prioridad sugerida ; contribuirá en la definición para selección del tipo de intervención a efectuar con base al costo aproximado de la estructura candidata a rehabilitación o sustitución.

La aplicación del modelo en el grupo de puentes en estado deficiente va mejorar la eficiencia del sistema de transporte y la seguridad estructural; velando por la integridad y segura operación de las estructuras, el desarrollo de un modelo de priorización de atención e intervención de puentes, tiene como finalidad el poder tomar decisiones más acertadas a la hora de intervenir una estructura debido a las condiciones y el estado presente en la estructuras, además de darle una atención adecuada y oportuna de acuerdo a su condición actual, rehabilitando o sustituyendo la estructura para evitar llevar el puente al colapso parcial o total, de tal forma que permita salvaguardar la seguridad de los usuarios ,optimizando los recursos de las inversiones públicas. Un colapso total o parcial implica un mayor consumo de combustible, un mayor deterioro de la red vial nacional, mayores costos de operación de los usuarios de estas rutas, mayores tasas de accidentabilidad, mayores costos km para los empresarios por carga transportada y afectaciones socioeconómicas a los usuarios, entre otros.

Para mejorar el aprovechamiento de los recursos se propone crear un modelo de priorización que considera no solo el grado de daño y estado de cada puente en particular, sino que también se debe evaluar otros aspectos trascendentales que se incluye de forma muy limitada en otros modelos y en ocasiones omite aspectos de gran importancia para evaluar puentes como la seguridad vial, algunas consideraciones propias del diseño sísmico ,seguridad de los usuarios, importancia de la ruta, obsolescencia funcional, etc. La forma de gestionar el patrimonio constituido por las obras de una red específica depende de múltiples factores tanto de índole natural como humano. Entre los cuales cabe citar: la extensión de la red, el número de puentes, el volumen del tráfico, la climatología, edad de las estructuras, así como los recursos disponibles, el nivel técnico del personal dedicado a la conservación y hasta la tradición.

Al identificar por separado se provee información útil para realizar un análisis individual de los indicadores de cada puente que presenten incidencias mayores esto con el fin de enfocar los esfuerzos de, rehabilitación e inclusive consideraciones de diseño hacia la prevención del daño y sustitución; más aún en componentes claves para asegurar la integridad y seguridad estructural del Puente.

Priorización parece de naturaleza cualitativa, tiene claras ventajas sobre muchos enfoques actuales. Este enfoque define el riesgo como un producto de peligro, vulnerabilidades y exposiciones y, por lo tanto, reconoce explícitamente los estados límite de rendimiento clave. Aunque este es un marco basado en el riesgo, porque el riesgo y la resistencia son críticos componentes de la salud y el rendimiento del puente, este método se incluye en esta síntesis para abordar ese aspecto de la salud del puente. (Federal Highway Administration, 2016)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Proponer un modelo de priorización para la intervención de los puentes en estado deficiente en Costa Rica.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Revisar las metodologías de priorización a nivel nacional e internacional para intervención de puentes.
- Crear un modelo de priorización para la intervención de puentes en Costa Rica.
- Aplicar el modelo de priorización como caso piloto en el inventario de puentes en estado deficiente en Costa Rica.

1.5. Alcance y Limitaciones.

1.5.1. Alcances.

Se comparan los diversos modelos de priorización a nivel nacional e internacional y se establecerá una jerarquía, criterios y subcriterios de priorización.

Se definirá un sistema jerárquico de priorización con base en las variables e indicadores adaptados a las condiciones técnicas y necesidades del país.

El modelo por desarrollar tiene como objetivo determinar un indicador de importancia relativa con respecto a los demás puentes y establecer una prioridad de servicio sugerida para la intervención de las estructuras.

Se genera un listado de priorización de intervención de Puentes en estado deficiente aplicado en el *“Inventario y evaluación visual de daños en puentes en Rutas Nacionales”*.

El modelo va a identificar los puentes candidatos a sustitución y a rehabilitación. La aplicación va a contribuir a mejorar la eficiencia de la inversión pública y promover el diseño, construcción y rehabilitación de las estructuras en estado deficiente que fueron determinadas en el estudio elaborado por el Tecnológico de Costa Rica, mismo que se denomina: *“Inventario y evaluación visual de daños en puentes en Rutas Nacionales”*.

1.5.2. Limitaciones.

Para definir el sistema jerárquico de priorización no se va a considerar el diagnóstico y análisis detallado de los elementos del puente.

No se va a realizar ensayos destructivos y no destructivos para determinar la salud estructural del puente (cuantificar daños en la misma y predecir la vida útil de la estructura).

Para determinar la prioridad sugerida de intervención no se va a ejecutar una modelación estructural, geotécnica, hidrológica e hidráulica de los puentes.

La selección del tipo de intervención se basa en la metodología de costos propuesta por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del Tecnológico de Costa Rica. Debido a que la administración pública no cuenta con los costos detallados de las actividades de intervención de estas estructuras, se va a considerar la metodología de costeo del puente del TEC.

No se va a realizar análisis de costo beneficio o costo ciclo vida de las estructuras para definir el alcance de la intervención.

Existen criterios de priorización a nivel nacional e internacional que no se puede aplicar en el modelo debido a la falta de información.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. Descripción de estructuras.

Puente: Una estructura que incluye soportes erigidos sobre una depresión o un obstrucción, como agua, carretera o ferrocarril, y tener una vía o pasillo para transportar tráfico u otras cargas en movimiento, y tener un abertura medida a lo largo del centro de la calzada de más de 20 pies entre las molduras inferiores de los pilares o las líneas de resorte de los arcos, o extremos de aberturas para cajas múltiples; también puede incluir múltiples conductos, donde la distancia libre entre las aberturas es menos de la mitad de la más pequeña apertura contigua (Bridge Structure Maintenance and Repair Manual, 2012).

Paso a desnivel: estructura construida para cruzar una vía existente. Si el alineamiento de la nueva carretera cruza sobre la vía existente se denomina paso superior, de lo contrario se denomina paso inferior (MOPT,2007).

Alcantarilla: Una estructura de drenaje debajo de un terraplén (por ejemplo, tubería de metal corrugado,

alcantarilla de caja de hormigón (Bridge Structure Maintenance and Repair Manal,2012).

Vado: Es una estructura que permite el paso por un río o una corriente. Está conformada por más de cuatro celdas y no permite el paso permanente de vehículos, porque se diseña para un determinado caudal inferior al de avenida máxima y con una capacidad hidráulica limitada de la estructura, por ejemplo, son funcionales en verano y con pequeñas crecidas en invierno.

Las estructuras de puentes son elementos vitales en una red vial no sólo porque son los elementos de mayor costo por unidad de longitud, sino porque son sus elementos son más vulnerables (Lanamme,2016).

Los puentes:

- a) Controlan la capacidad del sistema de transporte, ya que éste restringe el volumen y las cargas que pueden transitar por él.
- b) Representan el mayor costo por unidad lineal porque son estructuras mucho más costosas que el resto de las carreteras que les brindan acceso.
- c) Si fallan, el sistema entero falla.

Los puentes son estructuras esenciales de los sistemas de transporte y su adecuado estado propicia el desarrollo social y económico de una región y de todo el país. Los puentes cumplen una función social porque permiten la comunicación de personas entre comunidades y brindan acceso a hospitales, centros educativos, aeropuertos y sitios de trabajo. Asimismo, cumplen una función económica, ya que permiten el trasiego de mercancías y acortan los tiempos de transporte ayudando así a la competitividad y desarrollo económico del turismo, comercio e industria del país.

2.2.Componentes del Puente.

Los puentes están compuestos por:

- a) **Superestructura**, comprende la losa y sus elementos principales (vigas, cerchas y arcos) y sistema de suspensión y los elementos secundarios (diafragmas, sistemas de arriostramiento, viguetas de piso, portales, aceras, etc.).



Ilustración 3: Componentes de un puente.

Fuente: Introducción a la Inspección de Puentes, Lanamme,2016.

b) **Subestructura**, Está compuesta por los bastiones, pilas y fundaciones.

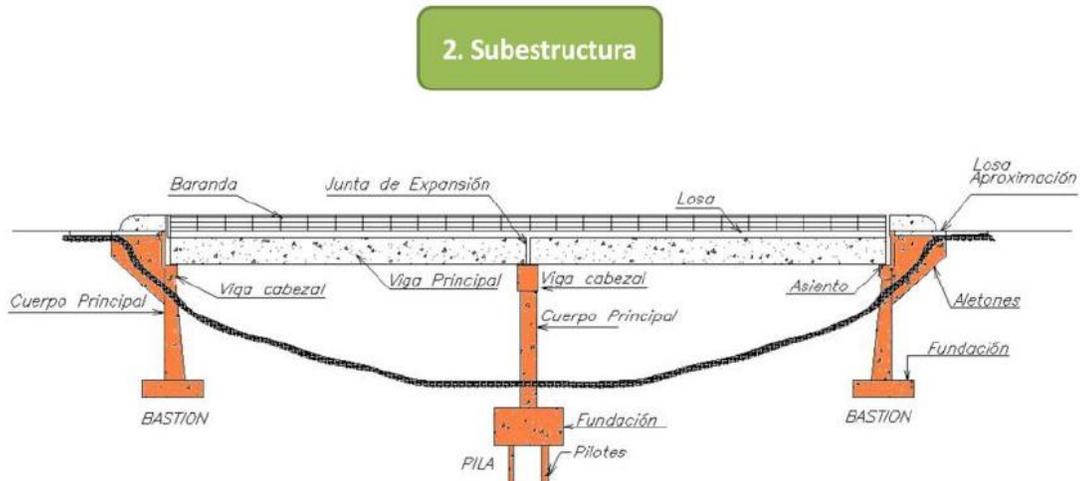


Ilustración 4: Componentes de un puente.

Fuente: Introducción a la Inspección de Puentes, Lanamme,2016.

c) **Accesos de aproximación**, Los accesos consisten en el material de relleno, estructuras de contención, taludes de accesos, losa de aproximación y drenajes).

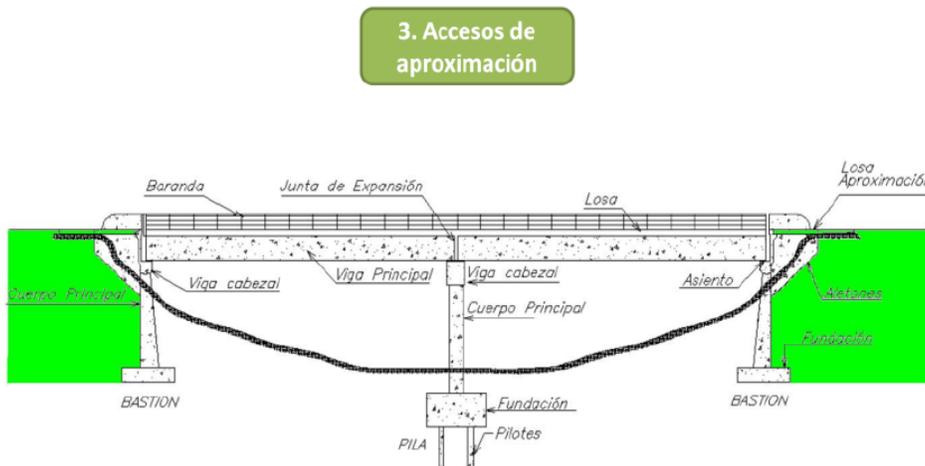


Ilustración 5: Componentes de un puente.

Fuente: Introducción a la Inspección de Puentes, Lanamme,2016.

d) **Accesorios**, elementos sin función estructural pero vitales para garantizar el buen funcionamiento del puente tales como superficie de rodamiento, barandas y juntas de expansión.

4. Accesorios

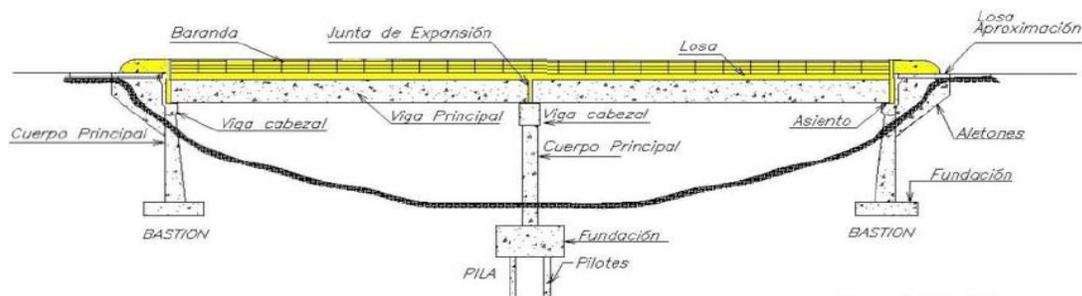


Ilustración 6: Componentes de un puente.

Fuente: Introducción a la Inspección de Puentes, Lanamme, 2016.

2.3. Metodologías de Evaluación para Gestión de Puentes de Costa Rica.

Para el caso de Costa Rica, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) con una donación de la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA) durante 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”, desarrolló el componente “Manual de Inspección de Puentes”, A partir del estudio se elaboró una herramienta de ayuda para el criterio técnico en la inspección y evaluación de puentes conocida como SAEP (Sistema de Administración Estructural de Puentes) compuesta por una base de datos y tres sistemas de evaluación.

La base de datos permite registrar y renovar la información. Mientras que con los tres sistemas de evaluación se obtiene el grado de deterioro, la prioridad de reparación y el costo aproximado de los trabajos por efectuar en cada puente. Además del software se obtuvieron otras herramientas de apoyo como lo son: el Manual de Inspección, el Manual de Operación para el sistema de administración de puentes y el Manual de Lineamientos para la Administración de puentes.

La condición de un puente puede ser establecida de muchas formas. En Costa Rica, se usa como base la guía establecida en el Manual de Inspección de Puentes del MOPT. La condición del puente o el índice de salud es una herramienta útil para evaluar la salud estructural o funcional de un puente. El índice se calcula en función de la condición de los elementos estructurales del puente y el servicio prestado por el puente. Para los fines de la gestión de puentes, el uso más importante de un BHI es identificar qué estructuras en el inventario están más deterioradas y necesitan urgentemente reparaciones. La mayoría de los BMS también usan un índice de condición de puente (BCI) para ayudar a rastrear la condición general del sistema a lo largo del tiempo, evaluar los beneficios de los programas de mantenimiento y rehabilitación de puentes de una agencia y servir como base para asignar recursos a puentes dentro de una red.

Este índice denominado BCI (Bridge Condition Index) es una propuesta del TEC que trabaja con promedios ponderados de la situación de cada parte de la estructura, donde, en una escala de 1 a 5, 1 es la condición más satisfactoria y 5 la condición más deficiente.

El índice califica los daños estructurales y ayuda a identificar cuales estructuras, y partes de ellas están más deterioradas y, por tanto, aquellas que requieren reparaciones más urgentes, o de mayor extensión, por lo que ayuda a realizar planes de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción.

Los BCI calculados mediante el promedio ponderado de las condiciones de los elementos individuales son los tipos más comunes identificados en este informe. Su desarrollo se basa en datos de condición de elementos estructurales, que capturan el tipo, la gravedad y el alcance de los deterioros. Además, algunos índices se basan en datos operativos como el volumen de tráfico para capturar el servicio proporcionado por el puente. El número de elementos inspeccionados y el tipo de sistemas de calificación adoptados pueden ser diferentes de un país a otro.

El TEC realizó un inventario, que incluyó la inspección de inventario e inspección visual de daños de 1,670 puentes, con el registro de sus características y la valoración de su condición. Este registro se realizó utilizando el documento oficial denominado Manual de Inspecciones de Puentes del MOPT. Para cada puente se documentaron los daños de distintos elementos: accesorios (pavimento, barandas, juntas), superestructura (losa, elementos principales y secundarios) y subestructura (bastiones y pilas).

En relación con su condición estructural, el 37% se encuentran en condición deficiente, lo cual significa que su valoración general es mayor de 4 en la escala utilizada que va de 1 a 5; el 60% se encuentra en una condición regular (calificación se encuentra ente 2 y 4); y, solamente, un 3% cumple con la calificación 1.

Es importante indicar, que esta valoración no incluye aspectos de funcionalidad, riesgo, seguridad vial, los cuales deben considerarse para la priorización de intervenciones a realizar.

De los 1,670 puentes inventariados 32.99% son de acero como material principal de la superestructura y 63.29% son de concreto (25.33% de concreto pre esforzado y 37.96% de concreto reforzado) y de otros materiales se tienen 3.72% puentes.

Se identificaron 618 puentes en estado estructural deficiente, aproximadamente el 37% del total de puentes inventariados. Estas estructuras son las más deterioradas y las que requieren las reparaciones e intervenciones más urgentes. (Inventario de Puentes en rutas nacionales de Costa de Costa Rica 2014-2018, TEC).

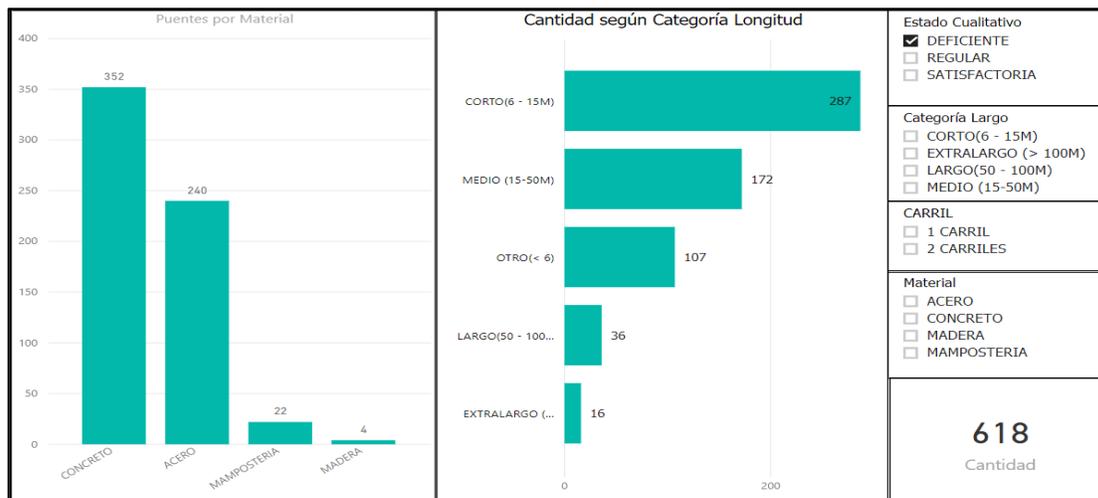


Ilustración 7: Cantidad de puentes en estado deficiente, según material y categoría de longitud.

Fuente: Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes, TEC,2019.

Con respecto a su fecha de construcción o diseño, se carece en la mayoría de los casos de información, al no contar con los planos ni especificaciones, sin embargo, la mayoría cuenta con más de 30 años de servicio (Inventario de Puentes en rutas nacionales de Costa de Costa Rica 2014-2018, TEC).

Es claro que los puentes pueden afectar positivamente (por su existencia y uso seguro y funcional) o negativamente (por su ausencia o mala condición), la calidad de vida de las personas que los usan, que rebasan el ámbito territorial en que se encuentran.

2.4.Gestión de Puentes.

La gestión de puentes se define, por tanto, como el conjunto de acciones a llevar a cabo para garantizar la seguridad y calidad de servicio de las estructuras gestionadas y optimizar el uso de recursos disponibles. No obstante, esta gestión no debe limitarse a la fase de servicio del puente, y debe establecerse tan pronto como sea posible, preferiblemente en la fase de diseño, proyecto y ejecución.

Los sistemas de gestión de puentes, según se puede extraer de las aplicaciones desarrolladas en los diferentes países que ya los tienen implementados, se plantean como herramientas cada vez más desarrolladas como resultado de la evolución de las computadoras y su capacidad de procesamiento. Generalmente presentan una estructura modular, con una serie de elementos comunes, que forman los siguientes módulos básicos:

- Inventario
- Inspección y evaluación.
- Apoyo a las decisiones y la gestión. Matrices de decisión
- Catálogo de daños

Estos sistemas deben ayudar al gestor a tomar decisiones basadas en la información recopilada durante las inspecciones y determinación de la condición de los puentes, simulando varios escenarios de acción para poder predecir el nivel de conservación, reparación, rehabilitación y reconstrucción futuro de cada estructura y así optimizar los recursos económicos para realizar acciones que prolonguen la vida útil de los puentes de la red y mantengan un nivel de servicio adecuado.

Todo administrador de infraestructura debe contar con un sistema de gestión que le permita administrar adecuadamente los recursos. En el caso específico de puentes es necesario contar con un Sistema de Gestión de puentes, que no sólo involucre al área técnica, sino que involucre a toda la institución, de forma tal que los planes de intervención a corto, mediano y largo plazo se puedan ejecutar (Ortiz, Quesada, 2019).

El primer elemento de un sistema de gestión es tener un objetivo claro, el cual va a depender de las condiciones en la cuales se encuentren los puentes y los recursos disponibles. Un ejemplo de objetivo en este sistema puede ser: “Garantizar la mayor cantidad de años de servicio de un Puente, bajo los estándares de seguridad y funcionalidad adecuados (Ortiz, Quesada, 2019).

Una herramienta que se ha venido utilizando en los Estados Unidos y promovida por la Federal Highway Administration (FHWA) es la gestión de activos, esta se define como “proceso estratégico y sistemático de operación, mantenimiento y mejora de activos físicos, con un enfoque ingenieril y económico basado en información de calidad, para identificar una secuencia estructurada de mantenimiento, acciones de conservación, reparación, rehabilitación y reemplazo que lograrán y mantendrán un estado satisfactorio de las estructuras durante el ciclo de vida de los activos a un costo mínimo posible". (FHWA, 2018)

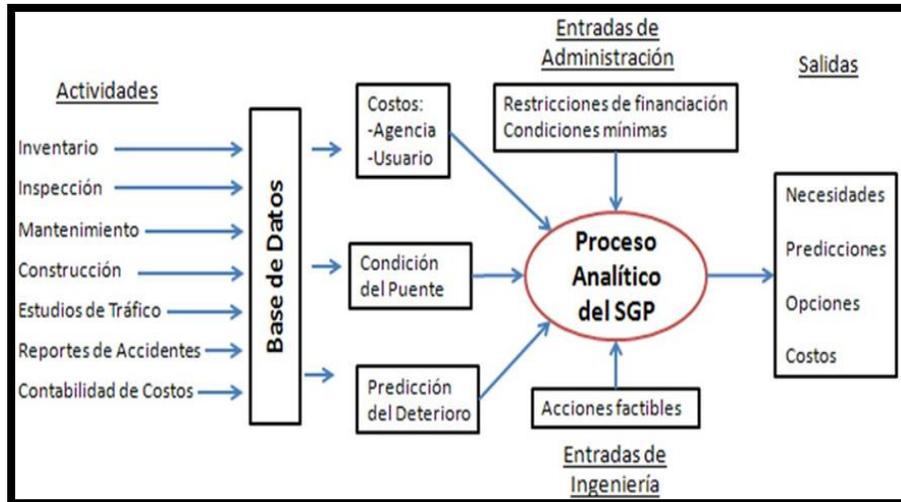


Ilustración 8: Esquema general de un modelo para la gestión de Puentes.

Fuente: Austroads 2002.

Actualmente, el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) cuenta con un Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP), el cual fue producto del trabajo con la Agencia de Cooperación Japonesa (JICA) con el MOPT en el año 2007. La consultoría que realizó el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) para el CONAVI durante el período 2014-2018, brindó los insumos necesarios –entregados en noviembre del 2018- para actualizar la información del SAEP y operarlo con mayor eficacia.

De acuerdo con lo señalado en el informe de JICA del 2007, el CONAVI buscó una organización que realizara los trabajos de inventario requeridos. El TEC fue el ente seleccionado, donde realizó los mecanismos idóneos para llegar a fortalecer el área, al conocer las necesidades de actualización y reforzamiento que tenía el CONAVI respecto a capacitación, inventario y evaluación de las estructuras de puentes en Costa Rica.

A partir de esta información, se pretende identificar los puentes que son candidatos para intervenir por el proyecto, con el fin de trabajar bajo un enfoque basado en una intervención progresiva e incremental en la red de puentes del territorio nacional, para cumplir con el alcance de la administración pública:

- Mejorar la capacidad estructural y en algunos casos, funcional, de los puentes de la red vial nacional mediante obras de rehabilitación (reforzamiento y reconstrucción).
- Apoyar el desarrollo de capacidades en diseño y construcción de puentes de empresas consultoras y constructoras a nivel nacional.
- Apoyar el desarrollo de profesionales que se especialicen en el diseño, construcción y supervisión de proyectos de puentes.
- Considerar para cada caso particular, en forma progresiva, el impacto del cambio climático en los puentes.
- Incorporar en la administración de puentes nacionales criterios del desarrollo de los modos de transporte y tecnología vehicular terrestre.



Ilustración 9: Categorías de acción del Puente.

Fuente: Bridge Preservation Guide, FHWA,2018.

Las políticas modernas de administración de estructuras de puentes involucran a profesionales de varias disciplinas. Los sistemas existentes para la administración de estructuras de puentes, conocidos como BMS (*Bridge Management System*), por sus siglas en inglés, utilizan diversas herramientas con el fin de optimizar los recursos para el mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción y así aseguran un adecuado estado de la infraestructura.

Tabla 1: Categorías de acción del Puente.

Tipos de Intervención	
Técnica	Descripción.
Conservación.	La preservación de puentes se define como acciones o estrategias que previenen, retrasan o reducen el deterioro de puentes o elementos de puentes, restauran la función de los puentes existentes, mantienen los puentes en buenas condiciones y extienden su vida útil. Las acciones de preservación pueden ser preventivas o condicionadas.
Rehabilitación	El trabajo de rehabilitación se puede hacer en uno o múltiples elementos o componentes. Los proyectos de rehabilitación de puentes a menudo están destinados a restaurar la integridad estructural de un puente y corregir los principales defectos de seguridad. Los proyectos de rehabilitación de puentes proporcionan una restauración completa o casi completa de los elementos o componentes del puente. Estos proyectos generalmente requieren importantes recursos de ingeniería para el diseño, un extenso cronograma de finalización y costos considerables.
Reemplazo.	Reemplazo total de un puente estructuralmente deficiente o funcionalmente obsoleto con una nueva instalación construida en el mismo corredor de tráfico general. La estructura de reemplazo debe cumplir con los estándares geométricos, de construcción y estructurales actuales requeridos para los tipos y el volumen de tráfico proyectado en la instalación durante su vida útil de diseño.

Fuente: Bridge Preservation Guide, FHWA,2018.

La condición de esta infraestructura es evaluada a través de un índice de confianza o capacidad, el cual puede ser calculado de forma cualitativa o cuantitativa y permite la comparación de los puentes existentes en el inventario, tarea que se debe realizar a nivel nacional.

2.5. Implementación de sistema de Gestión de Puentes.

Los sistemas de administración de puentes buscan disminuir la probabilidad de falla o interrupción del servicio debido a daños en la estructura del puente o sus elementos ya sean funcionales o estructurales, para tal fin algunos sistemas evalúan al puente en función de los años de vida útil que tiene la estructura (Lindnladh, 2000), otros en los años en los cuales la estructura presta su función con seguridad (Marasy, 2001).

El SAEP se concibió como un programa que busca mejorar la gestión de puentes en Costa Rica, mediante el conocimiento de su estado de conservación y a través de planes de mantenimiento oportunos que permitan aumentar su vida útil mediante intervenciones (reparaciones o reforzamientos) a lo largo del ciclo de vida de la estructura, como se demuestra en las siguientes figuras (Ramírez, González Muñoz Peralta G, 2017):

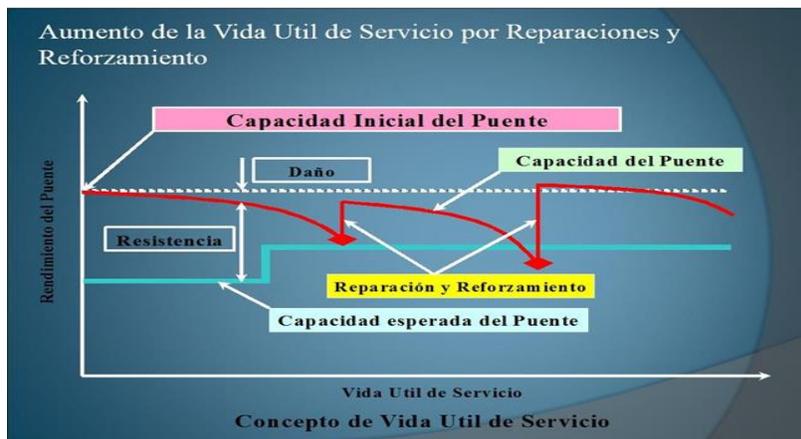


Ilustración 10: Diagrama Vida Útil de Servicio.

Fuente: Presentación Administración de Bienes, JICA-MOPT, 2012.

El SAEP es parte del sistema de monitoreo de la estructura vial en Costa Rica. El inventario inicial de las obras realizado por el Tecnológico de Costa Rica que lo componen deberá ser complementado con necesarias actualizaciones que vendrán y que serán producto de un proceso permanente de inspección, registro de los trabajos que se realizan en cada uno y de políticas específicas de intervención.

Parte de la metodología utilizada en la administración pública para determinar el estado y la condición para la intervención de Puentes fue la metodología de índices de daño que se denominó BCI (acrónimo de la frase en inglés “Bridge Condition Index”) y la cual fue elaborada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El índice se supone se basa en el documento “*Synthesis of National and International Methodologies Used for Bridge Health Indices*” (FHWA, 2016), según el cual el BCI es un índice del tipo “ponderado”, los cuales se utilizan para planificación de actividades de mantenimiento y rehabilitación, siempre y cuando se basen en datos sobre los tipos de deterioros, severidad y extensión de estos, situación que es parcial a la hora de utilizar el Manual de Inspección de Puentes (MOPT, 2007).

La calificación de los elementos se realizó con base en el Manual de Inspección de Puentes del MOPT (MOPT, 2007), con una escala que va de 1 hasta 5, en donde 1 significa que no existen daños y el número 5 significa que hay deterioro significativo en el elemento. Al igual que con el SAEP, los daños se agrupan en tres jerarquías, siendo la mayor por componentes del puente en los grupos Accesorios, Superestructura y Subestructura, los cuales se dividen, a su vez, en elementos y cada uno de estos en daños específicos.

La siguiente ecuación resume la metodología elaborada por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del Tecnológico de Costa Rica para evaluar el estado de las estructuras de Costa Rica y que será la columna vertebral de la presente investigación.

$$BCI = 0,05 * \text{máx}(\text{Accesorios}) + 0,45 * \text{máx}(\text{Súper estructura}) + 0,50 * \text{máx}(\text{Subestructura}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

(Acc) = valor máximo de la calificación de daños de los elementos del grupo accesorios.

(Sup) = valor máximo de la calificación de daños de los elementos del grupo superestructura.

(Sub) = valor máximo de la calificación de daños de los elementos del grupo subestructura.

2.6. Jerarquización de los Puentes.

Dentro de un conjunto de puentes integrados en una red viaria el objeto de gestión existe una multitud de tipologías y particularidades funcionales, de accesibilidad, durabilidad, etc. que plantean la necesidad de realizar una jerarquía dentro del conjunto de estructuras gestionadas. Proponemos dentro del presente trabajo la necesidad primordial de jerarquizar la red, de manera conjunta a los valores obtenidos en las inspecciones, de tal manera que se puedan plantear unos valores mínimos admisibles para priorizar los puentes con base al estado de condición del puente, imponiendo, por ejemplo, que estos valores fuesen más restrictivos para una estructura que tuviese una mayor facilidad frente a la pérdida de capacidad sobre la accesibilidad, captación de tráfico, durabilidad, índice de condición cercano al límite de servicio, patrimonio histórico- artístico, etc. que aquellos cuya puesta fuera de servicio no supusieran grandes costes derivados.

Se trata, por tanto, de una jerarquización de la red gestionada, que permite a los sistemas de gestión preestablecer unas prioridades en la distribución de recursos, que integre también los valores añadidos que cada estructura proporciona de manera individual al funcionamiento del conjunto de la red.

- **Deficiencia estructural:** considera el tipo de daño más relevante para cada elemento del puente y toma el grado de daño que tenga la calificación más alta. Es decir, el valor final depende del daño más crítico encontrado en los diferentes elementos del puente. (Muñoz Peralta, Ramírez, González, 2017)
- **Obsolescencia funcional:** incorpora condiciones de capacidad hidráulica, capacidad funcional mediante la valoración de la geometría del puente según la capacidad de la vía y capacidad de carga del puente tomando en cuenta la carga viva de diseño (Muñoz Peralta, Ramírez, González, 2017).
- **Características prioritarias:** considera el tránsito promedio diario (TPD), importancia de la vía, longitud de desvío y servicios públicos que se puedan ver afectados por cierre temporal o colapso del paso. Estos valores influyen en la evaluación de la estructura tomando en cuenta que su cierre pueda afectar el tránsito en corredores principales (Muñoz Peralta, Ramírez, González, 2017).
- **Características estructurales:** valora el tipo de estructura del puente, si presenta una condición temporal como el caso de un puente tipo Bailey provisional y valora también el caso de puentes en trozas de madera o alcantarillas corrugadas con el propósito que la Administración analice la opción de sustituirlos (Muñoz Peralta, Ramírez, González, 2017).

Gran parte de los sistemas de gestión parten de un estado inicial o estado 0 a partir del cual las estructuras evolucionan, pudiendo aparecer diferentes daños, detectados durante las posteriores campañas de inspección. De manera independiente, en función de las características de cada puente, se suelen establecer unos índices o pesos correlativos que determinan, en el caso ideal de llevar a todos los elementos individuales a su origen de construcción, sin defectos iniciales ni daños producidos, la importancia relativa de cada puente dentro del conjunto correspondiente a la totalidad de la red. (Martínez, Cañares, 2016).

Es así como, la prioridad de intervención no solo toma en consideración el deterioro de la estructura sino otras valoraciones de gran relevancia (obsolescencia funcional, importancia y características estructurales), que permite que esta herramienta brinde información completa para la toma de decisiones (Martínez, Cañares,2016).

- Tipología del puente
- Importancia de la Ruta
- Rutas alternativas
- Altura Libre.
- Zona de Amenaza Sísmica
- Zona de Inundación.
- El medio ambiente o entorno de exposición.
- Ancho de la sección. (Socavación).
- Valor histórico-patrimonial
- La edad de la infraestructura.
- El tráfico que soporta la misma, que se puede evaluar mediante la Intensidad Media Diaria (IMD).
- Los parámetros de diseño del puente.
- La calidad de los materiales y de la ejecución.
- Entorno Social, Económico.
- Sensibilidad ambiental.
- Amenazas Naturales.

Para el desarrollo del Sistema Gestión de Puentes hemos tenido en cuenta diversos parámetros para atribuir a las estructuras la condición de crítico y establecer un orden previo de prioridades, que plantearán unas condiciones de contorno, traducidas en un aumento de la exigencia para los niveles de estado de condición en paralelo al índice de prioridad que establezca un orden relativo de los puentes de la red. Para ello debemos crear un modelo que nos permite considerar factores que influyen en la toma de decisiones para la intervención de una estructura. (Ortiz, Quesada, 2019)

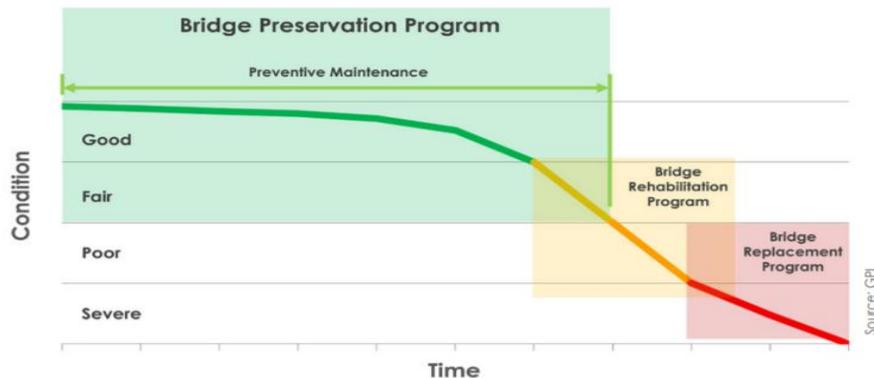


Ilustración 11: Categorías de acción del Puente.

Fuente: Bridge Preservation Guide, FHWA,2018.

2.7.Métodos para Jerarquizar.

La jerarquización se hará con base en puntajes ponderados obtenidos de valores normalizados de los indicadores.

Existen varias técnicas de análisis, la adopción de los cuales pueden alcanzar los objetivos del sistema de gestión de puentes. Para el análisis de la condición según presenta en (Austroads, 2002) las técnicas más comunes por las cuales se hace la priorización o análisis son:

- Cadenas de Markov (modelos de predicción probabilística) este sistema es utilizado por ejemplo en sistemas como Pontis, Bridgit (Thompson, 1993) y The Ontario BMS (Thompson & Kerr, s.f.) y (National Engineering Technology Corporation, Canadá, 2008)
- Análisis Multicriterio jerárquico y análisis relacional gris.
- Los modelos de regresión (predicciones deterministas) este sistema es utilizado por el sistema de administración de Indiana Dot.
- Jerarquías determinísticas y AHP (Analytic Hierarchy Process).
- Estimación bayesiana, Esta técnica se utiliza en la actualización de Pontis.
- Teoría de conjuntos difusos.
- Variable latente enfoque del análisis de regresión
- Proceso de decisión de Markov.

2.8.Sistema experto para la priorización y la toma decisiones.

Como primera medida para la implementación de un sistema en la toma de decisiones se utiliza el tema de la economía como referencia y a partir de este se desencadenan un sin número de variables que atacan a una sociedad por la interrupción o el buen manejo de las estructuras hablando desde el punto de vista de su administración y buen manejo para brindar un servicio adecuado y seguro.

Los costos dependen básicamente de factores principales como lo son el costo que puede generar la estructura en relación directa con el usuario que es el primer afectado ya sea por buen o por inadecuado funcionamiento, se empieza hablar entonces de lo que sería una vida útil de la estructura como un todo.

Por otro lado, las características funcionales, pues de estas dependerán algunas variables que componen la suma final del costo como elemento estructural y funcional tales como lo son la construcción misma, el mantenimiento las reparaciones y la rehabilitación parcial o total. Siendo así es necesario hacer un análisis funcional y económico en el cual se puedan sacar conclusiones de peso para la toma de decisiones importantes y prioritarias.

Por ende, según las fuentes consultadas a nivel nacional e internacional se debe efectuar un diagrama de criterios de priorización, donde nos permita establecer un modelo que se adapte a las condiciones de cada País. Seguidamente se adjunta un diagrama de criterios de priorización que permite identificar dichas jerarquías a evaluar. (funcionalidad, características prioritarias, condiciones estructurales).



Ilustración 12: Ejemplos de Criterios de Priorización.

Fuente: Ortiz Quesada G, 2016.

Para llegar a tal punto de priorización en intervenciones y gasto de recursos generalmente del estado se debe hacer un estudio riguroso el cual dé resultados técnicos y se pueda relacionar con resultados funcionales y de necesidad en las diferentes zonas donde se encuentran en funcionamiento las estructura.

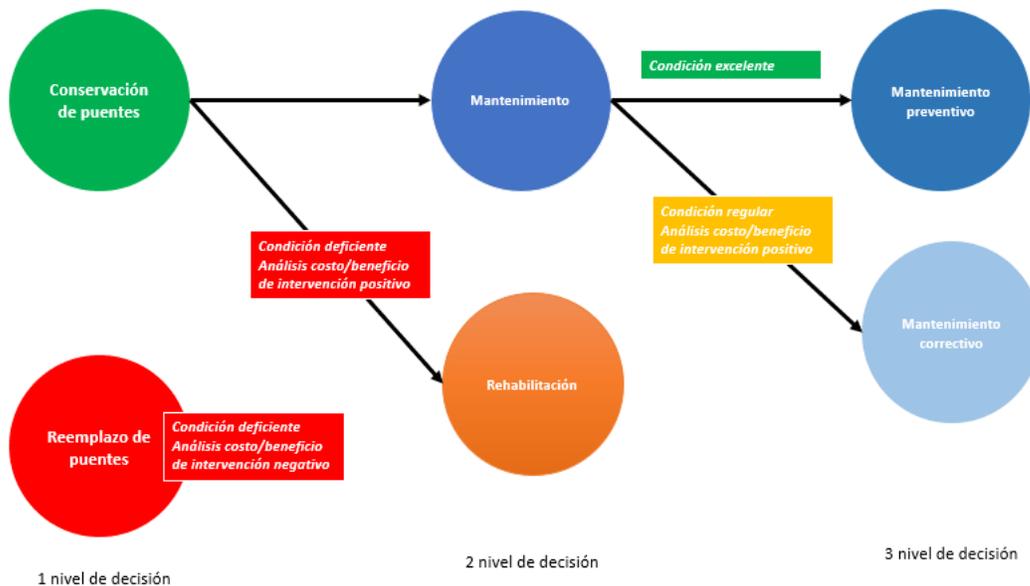


Ilustración 13: Niveles de decisión de intervención.

Fuente: Ortiz Quesada G, 2019.

2.9. Metodología de priorización recomendada a nivel nacional.

El programa de Ingeniería Estructural y la Unidad de Puentes del Laboratorio Nacional de Materiales elaboro una metodología recomendada para la Priorización de Puentes basada en los criterios de Jerarquías del SAEP considerando daño+ importancia, lo que obtuvo un indicador continuo que permite priorizar los puentes en la Red Vial Nacional basados en las metodologías establecidas por el TEC y JICA.

- La metodología por índices de daño BCI (acrónimo de la frase en inglés “Bridge Condition Index”), ordena los puentes según el estado de daño y la cual fue elaborada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- La metodología del Proceso de Análisis de Jerarquías (PAJ) que fue incluida en el Sistema informático SAEP, el cual permite evaluar y priorizar los puentes según el daño y la importancia.

El Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) es una herramienta de apoyo para el personal gerencial, profesional y técnico encargado de la administración de las estructuras de puentes de la red vial nacional, con el objetivo principal de complementar el criterio técnico para la toma de decisiones responsables en lo referente al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de puentes donde utiliza un Proceso Analítico de Jerarquías (PAJ) el cual permite evaluar y priorizar los puentes según el daño y la importancia(Villalobos, Vega E., Lanamme,2019).

Ítem de Evaluación		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Deficiencia Estructural	Losa	20		
	Superestructura	50	70	
	Subestructura	50		
	Varios	10		
Obsolescencia Funcional	Capacidad de Carga	70		
	Geometría de la Losa	15	70	
	Claro superior	15		
	Claro Inferior	15		100
Características Prioritarias	Volumen de Tráfico	20		
	Clase de Vías	10	20	
	Longitud de Desvíos	20		
	Línea de Vida	5		
características Estructurales	Madera	10	10	
	Alcantarilla Corrugada	10		

Ilustración 14: Ítems de Evaluación y pesos de las tres jerarquías del indicador EP.

Fuente: MOPT, 2007.

Su función principal fue determinar los puentes candidatos a rehabilitación y sustitución, donde prioriza los puentes no sólo por daño, es decir, los puentes con daños más severos en elementos más importantes, si no también que se tomen en cuenta ahora adicionalmente aspectos relacionados con la importancia, Para darle peso a puentes con características estratégicas para las zonas a las cuales dan servicio en el país en general (Unidad de Puentes, Lanamme,2019).

Finalmente, el indicador propuesto brinda una categorización con letras de A hasta E (En este indicador “A” se refiere a una prioridad sugerida más alta y “E” a una prioridad sugerida más baja.), donde:

“A” significa que hay evidencia de que el puente realmente necesita algún tipo de intervención urgentemente.

“B” significa que necesita alguna intervención, pero no tan urgente como en “A”.

“C” significa que el puente tiene problemas hidrológicos-hidráulicos evidentes, aunque puede ser que no tenga daños significativos en sus componentes.

“D” son el resto de los puentes con daño.

“E” son los puentes de madera.

2.10. Criterios de priorización en el mundo.

Dinamarca

El ranking de prioridad se realiza en dos fases. El resultado de este procedimiento es que no necesariamente los puentes más gravemente dañados tienen mayor prioridad. Esto ocurre porque en el proceso de optimización se consideran costos extras como los costos futuros por no reparar ahora, o los costos de los usuarios entre otros.

El procedimiento de optimización para un puente toma en cuenta un período de 5 años. Los datos de entrada para el proceso son los presupuestos para los próximos 5 años, evaluaciones económicas de la información de inspecciones especiales y tasas de descuento. A través de un proceso iterativo, el programa entrega un conjunto de estrategias, una para cada puente, para las cuales dos criterios se consideran: los costos extras son los más bajos posibles y los costes totales estimados se encuentran dentro del presupuesto para cada uno de los cinco años. Luego de la optimización económica, el resultado es estudiado cuidadosamente.

La elección de las estrategias se puede modificar manualmente tomando en cuenta otros factores que no se pueden expresar en términos monetarios (coordinación con otros trabajos en la ruta, aspectos ambientales, etc.).

Para cada puente, el año de construcción y el tipo y dimensiones de los componentes estándar de los puentes se encuentran registrados. Para estos componentes intervalos promedio de reparación y sus correspondientes costos promedios, como su vida media de servicio y costos de reemplazo, también se encuentran registrados.

Para evaluaciones económicas de los datos de inspección especial (trabajos de reparación propuestos) es necesario estimar los costos de reparación. Por lo tanto, se ha desarrollado un Libro para los trabajos de reparación estándar y Catálogo de precios. Después de la licitación, los precios unitarios de las dos ofertas más bajas se registran en la base de datos. De esta manera, las estimaciones de costo estarán siempre actualizadas y disponibles para una reparación estándar y por ende para los presupuestos de cinco años derivados de la inspección principal. (Valenzuela, Sergio. 2008)

Francia

En respuesta al problema de evaluar y optimizar los recursos asignados a la mantención de puentes, la Dirección de Carreteras y Autopistas inició en 1994 una campaña de evaluación en rutas no concesionadas, obteniendo como resultado el indicador IQOA. Este indicador describe la condición de todos los puentes de la red (Valenzuela, Sergio, 2008).

El presupuesto asignado a la mantención de puentes consta de un fondo para inspección y mantención de rutina y otro fondo para reparaciones mayores y reforzamiento.

Los fondos para reparaciones mayores son determinados por un procedimiento específico. La dirección de obras distrital propone la reparación de un puente en el llamado programa trienal.

Las etapas principales para la inclusión de obras en el programa trienal son:

Noruega

El responsable de la gestión de puentes en cada condado elabora alternativas de presupuestos para la gestión y mantenimiento, además evalúa la necesidad de renovación o reconstrucción de los puentes existentes (Valenzuela, Sergio. 2008).

Las mantenencias y reparaciones se llevan a cabo de acuerdo con Manual de Mantenimiento de Carreteras Públicas 111 “Mantenimiento estándar”, pero puentes que demandan el uso de recursos pueden causar retraso en el mantenimiento de otros puentes. En estos casos, se debe evaluar cuales puentes serán menos afectados por el retraso de mantenencias. Cuando los costos de reparación obtenidos de una inspección exceden el 20% del valor de reposición del puente, se deben analizar otras estrategias.

Si los fondos son insuficientes para seguir una estrategia óptima para cada puente, se priorizará según la alternativa que cause menor impacto económico.

Cuando los costos de mantención/repación superan el 50% del valor de reemplazo, la alternativa 3 debe ser considerada.

La priorización entre los puentes se realiza manualmente por la persona responsable de gestión de puentes en cada condado. Cuando los fondos disponibles son conocidos, el encargado dará prioridad entre los puentes que han alcanzado o llegarán a una situación que es inaceptable el próximo año (según una escala de daños estandarizada (Valenzuela, Sergio. 2008).

Reino Unido

La prioridad para los trabajos de reparación o mantención es asignada por tres niveles. Para prioridad alta, los trabajos deben realizarse durante el próximo año financiero (fiscal) para garantizar la seguridad del usuario, salvaguardar la integridad estructural de la estructura o evitar consecuencias de alto costo. Para prioridad media los trabajos deben realizarse durante el próximo año financiero y el aplazamiento conlleva algunos costos como consecuencia. Los trabajos con baja prioridad deben realizarse dentro de los próximos dos años financieros. (Valenzuela, Sergio. 2008)

Para hacer un uso óptimo de los fondos limitados, asignados a la mantención de puentes, la rehabilitación debe basarse en un sistema de estrategias de largo plazo. Por este motivo, la Agencia de Autopistas ha propuesto un nuevo sistema computacional para reemplazar el actual sistema, el cual combinará necesidades estratégicas de cada estructura, tomando en cuenta alternativas de mantención, la aplicación de principios del costo de ciclo de vida y la evaluación de riesgo en términos de costos de retrasos de los usuarios por no realizar los trabajos necesarios.

Lo priorización se realiza según el trabajo de mantención y el orden de importancia, clasificándose en esencial y preventivo. El tipo de trabajo de mantenimiento se determina comparando la condición actual de un elemento con la condición en que el elemento se vuelve peligroso. Los trabajos de mantención en elementos que se encuentran por debajo del nivel crítico se categorizan como esenciales. Si está por encima del nivel crítico, se clasifica como preventivo. La clasificación es realizada por la Agencia de Autopistas.

Estados Unidos

La información obtenida a través de inspecciones periódicas es almacenada en una base de datos nacional. Esta información apoya los programas de fondos federales, como Reparación, rehabilitación y reconstrucción de Puentes de Carretera entre otros programas. Las decisiones, para cual puente dar dinero para mantención, reparación o rehabilitación, es actualmente tomada utilizando rankings de prioridad o fórmulas de calificación. La calificación de suficiencia para determinar la elegibilidad de los fondos federales, combina información que refleja la suficiencia estructural del puente y el efecto asociado a la seguridad pública; serviciabilidad de la estructura y cuan esencial e importante es para el público. Las calificaciones se determinan por medio de un sistema de puntajes.

En este sistema un puente nuevo se califica con 100 puntos y una estructura colapsada con 0. Puentes calificados con puntaje inferior a 50 son candidatos para el fondo de reemplazo, mientras que puntajes entre 50 y 80 son elegibles para fondos de rehabilitación (Valenzuela, Sergio. 2008).

Para ayudar a las autoridades a tomar decisiones sobre reparar o rehabilitar puentes con fondos limitados, se han desarrollado algunos programas computacionales.

Los más conocidos son Pontis 4.3 y Bridgit:

El sistema de gestión de puentes Pontis (BMS), un producto de AASHTO, se encuentra ahora en su cuarto versión principal, Release 4. Pontis, continúa apoyando el ciclo completo de gestión de puentes, incluida la inspección de puentes y la recopilación y análisis de datos de inventario, recomendando una política de preservación, predicción de necesidades y medidas de desempeño para puentes, y desarrollo proyectos para incluir en el plan de capital de una agencia. Las agencias de transporte que otorgan licencias a Pontis utilizan sistema de formas muy variables y con frecuencia se han aprovechado de la flexibilidad del sistema para personalice su implementación de Pontis para satisfacer las necesidades de la agencia.

El sistema de gestión de puentes Pontis (BMS), un producto de AASHTO, se encuentra ahora en su cuarto mayor versión, Release 4. Pontis es compatible con el ciclo completo de gestión de puentes, incluido el puente inspección y recopilación y análisis de datos de inventario, recomendando una conservación óptima política, prediciendo necesidades y medidas de desempeño para puentes, y desarrollando proyectos para incluir en el plan de capital de una agencia (1–3).

Pontis se usa ampliamente en los Estados Unidos y tiene una presencia significativa a nivel internacional en la: personalización de definiciones de datos y listas de selección. En el módulo de configuración una agencia puede personalizar las definiciones de datos utilizadas por el producto, como las definiciones de funcionamiento entornos, categorías y tipos de acciones de tratamiento puente, y tipos de elementos. Además, una agencia puede redefinir el contenido de las listas de selección utilizadas en la aplicación.

Personalización de definiciones de elementos. Central para Pontis es la representación de una estructura como un conjunto de elementos estructurales. AASHTO ha identificado un conjunto de (CoRe) comúnmente reconocidos elementos. Las agencias pueden complementar los elementos de CoRe con sus propias definiciones de elementos o reemplácelos con un conjunto diferente de definiciones de elementos, aunque esta opción de redefinir Core. Los elementos no son aceptables para FHWA y AASHTO los desaconseja enérgicamente. Costo de la acción, Se definen modelos de eficacia y deterioro de la acción para cada combinación de elemento y entorno operativo.

Personalización del comportamiento del producto. Usando la seguridad de la aplicación y configurables opciones, uno puede habilitar o deshabilitar campos o pantallas seleccionados para todos o los usuarios seleccionados.

Personalización de la simulación del programa. Pontis utiliza resultados de inspección y elementos modelos para predecir las condiciones futuras a nivel de red y de puente, y para realizar proyectos específicos recomendaciones a través de una simulación de programa. Todos los parámetros importantes utilizados en el programa la simulación está expuesta para la personalización de la agencia. Además, a partir de la versión 4 de Pontis, una agencia puede desarrollar un conjunto integral de reglas de procesos comerciales que permitan a Pontis simular mejor las prácticas de las agencias.

Personalización de la importación y exportación de datos. Los archivos de intercambio de datos Pontis (PDI) se utilizan para intercambiar datos entre diferentes bases de datos de Pontis, como entre la computadora portátil de un inspector de campo y una base de datos central. Los usuarios de Pontis tienen un amplio conjunto de opciones para personalizar qué base de datos Las tablas y los campos están incluidos en el archivo PDI de su agencia.

El Output de Pontis provee:

- Maximizar los beneficios de la agencia y el usuario dadas las limitaciones presupuestos.
- Identificar actividades de conservación rentables para mantener buenos puentes buenos.

- Prolongar la vida útil de los puentes.
- Minimizar los impactos adversos para el público viajero.
- Predecir las medidas de desempeño de puentes futuros para un puente o una red de puentes.
- Identificar conservación, mejora y reposición necesidades en un horizonte de planificación determinado.

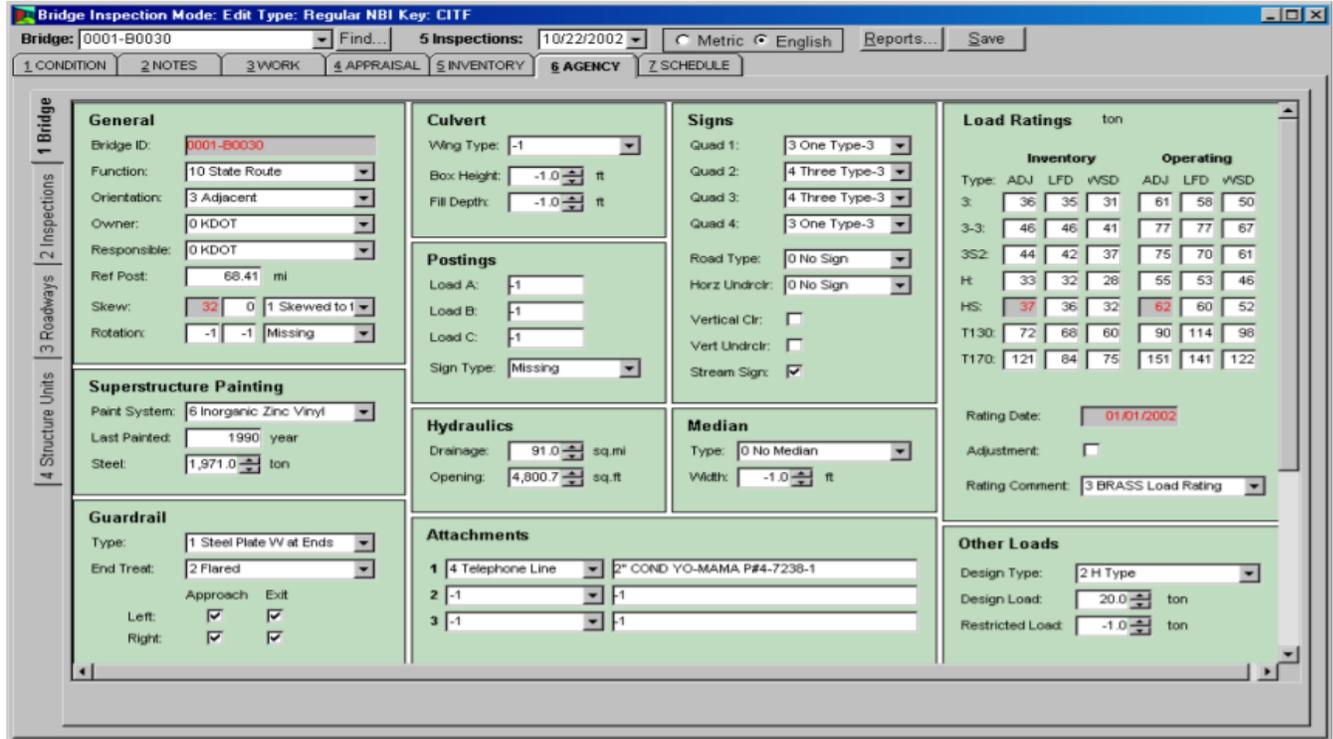


Ilustración 15: Ejemplo de una pantalla personalizada en Pontis.

Fuente: International Bridge Management Conference, 2017.

El software de optimización *BRIDGIT* ha sido creado para minimizar los costos del ciclo de vida de los puentes de la red. Los costos del ciclo de vida son la suma de: costos de diseño y construcción; costos por cortes de tránsito y retrasos en los usuarios; y costos de mantenimiento. El programa es usado también para hacer análisis de cuánto dinero se debe invertir en la red vial a largo plazo (20 años) y cuales puentes deben recibir fondos para rehabilitación, reparación y mantenimiento en el corto plazo (2, 3 años).

La optimización se realiza en dos etapas. En la primera etapa, se desarrollan distintas actividades para el ciclo de vida de cada puente de la red o una lista seleccionada con el fin de estimar los costos presentes y futuros para diferentes estrategias de reparación. La segunda etapa, la optimización se realiza priorizando las necesidades y seleccionar las opciones más rentables económicas (Valenzuela, Sergio. 2008).

Luego de elegir la opción más rentable para cada estructura, los resultados son resumidos para obtener el nivel de financiamiento para un determinado periodo de tiempo.

Pensilvania

El primero es que, cuando se requiera o al menos anualmente, el sistema debe dar recomendaciones con costos asociados a las actividades requeridas, del modo más rentable, para todos los puentes de autopista y carretera del modo más rentable. Estas actividades incluyen varios niveles de mantenimiento, de rehabilitación y de reemplazo. El segundo es que debe prever las necesidades presentes y futuras asociadas a costos para llevar a cabo las actividades antes mencionadas para todos los puentes en al menos dos escenarios, “mínimo aceptable” y “deseable”. El tercero es que debe ordenar, cuando se requiera o al menos anualmente, las prioridades para cada una de las actividades mencionadas anteriormente entregando una lista de puentes candidatos. El cuarto objetivo es que debe proveer, cuando se requiera o al menos anualmente, una base para recomendar la distribución de los fondos regionales. (Valenzuela, Sergio. 2008)

Para seleccionar los puentes candidatos para rehabilitación, se ha desarrollado un proceso simple de priorización.

Este consiste en cuatro componentes: actividad de ranking, actividad de urgencia, criticidad del puente y suficiencia del puente. La actividad de ranking toma en cuenta la variación de las actividades de mantención y su efecto en la integridad estructural. La actividad de urgencia toma en cuenta la urgencia de reparar o reforzar debido a la severidad de una deficiencia estructural. La importancia del puente es evaluada por la criticidad del puente. La suficiencia del puente determina si es capaz de soportar seguramente las cargas.

La priorización de los puentes para rehabilitación y sustitución se basa en el grado de deficiencia de cada puente en la satisfacción de las necesidades públicas, las que se dividen en tres categorías generales: el nivel de las capacidades de servicio, el estado del puente y otras características relacionadas. Las deficiencias evaluadas según las categorías mencionadas se combinan para obtener un índice de deficiencia total (TDR en inglés). El rango del TDR es de 0 a 100. Los puentes con los valores más altos del TDR se consideran con mayor prioridad para la rehabilitación o reemplazo. (Valenzuela, Sergio, 2008)

Tabla 2: Criterio de Priorización.

País	Criterio de priorización
Alemania	<ul style="list-style-type: none">• Condición de los puentes• Grado y consecuencias de daños• Importancia de las vías• Ancho del tablero• Seguridad de tránsito
Dinamarca	<ul style="list-style-type: none">• Minimización de los costos de mantención.
Francia	<ul style="list-style-type: none">• Condición de los puentes• Importancia de las vías• Política
Japón	<ul style="list-style-type: none">• Mediante las curvas de modelo deterioro para cada tipo de elemento.
Costa Rica.	<ul style="list-style-type: none">• Mediante el uso del SAEP, posteriormente se procede a evaluar la deficiencia del puente y la prioridad de reparación.
USA	<ul style="list-style-type: none">• Costo Beneficio-Costo Ciclo Vida (PONTIS).
Reino unido	<ul style="list-style-type: none">• Costo de vida completo• Índice de seguridad• Política

Noruega	<ul style="list-style-type: none"> • Grado y consecuencia de daños • Investigación de estrategias alternativas en términos de opciones técnicas y comparación entre el costo de mantenimiento (costos directos e indirectos) y el valor de reemplazo del puente.
Finlandia	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de reparación (basado en clases de daños de las partes estructurales y de urgencia de reparación de los daños).
Eslovenia	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de la estructura Importancia de las vías. • Capacidad Carga.
Italia.	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso Markov.

Fuente: Cambridge Systematics American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010.

2.11. Los Administración de Costos en el Mundo.

Los sistemas de administración en el mundo evalúan las estructuras por medio de evaluación de elementos de cada puente o evaluación de las estructuras como un todo, sin embargo, todos utilizan la inspección visual como base para el diagnóstico para evaluar el estado de los puentes, entregando un reporte de las obras de reparación que pueda necesitar la estructura y costos aproximados de los mismos (Parra, Palacio P, Sedano Agudelo R., 2011).

El Investigador japonés Ayaho Miyamoto, propone en su estudio “Development of Lyfe-Cycle Cost Based Budget Allocation System For Bridge Groe, 2008” un modelo empírico con incorporación una división de la curva de deterioro en función de la capacidad de carga de la estructura y de la durabilidad de la estructura,

El sistema japonés, fue creado por un instituto dependiente del ministerio de construcción, almacena información básica de inventario y utiliza la condición del puente para buscar los planes de rehabilitación más eficientes para una red de puentes.

Se utilizan dos módulos, uno para evaluar el estado del puente y otro para la planificación y rehabilitación. A partir de una clasificación de los daños evaluados en el momento de la inspección, el módulo de evaluación es capaz de detectar las estructuras más seriamente dañadas y en el tiempo puede también calcular una curva estándar de deterioro de los elementos de un puente. El módulo de planificación utiliza la curva estándar para optimizar los planes de rehabilitación.

Este tipo de mecanismo de deterioro nos permite conocer y determinar el daño deterioro de los elementos del puente, también la importancia de extender la vida de las estructuras pretensados desde el punto de vista de sostenibilidad económica, social, ambiental partiendo de diseños optimizados con múltiples objetivos (económico, durabilidad y seguridad).

Actualmente Costa Rica no cuenta con una base de datos que permita predecir y determinar el deterioro de cada uno de los elementos, debido a que se debe realizar un monitoreo y ensayos destructivos para determinar la salud y comportamiento estructural del puente, como por ejemplo las curvas de fragilidad basándose en la categorización y metodología expuestas en la Federal Highway Administración de los Estados Unidos FHWA.

En algunos sistemas más avanzados y siempre que se cuente con recursos disponibles se toman decisiones económicas con base es estudios o inspecciones más detalladas que se adelanten a la estructura, con el fin de conocer con menos grado de incertidumbre los costos que se puedan llegar a incurrir para la rehabilitación o mantenimiento de las estructuras. (Conde, s.f.) (Nell et al., 2008) (Thompson, 1993).

3. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.

3.1 Tipo de Investigación.

La metodología de esta investigación se enfocó de manera mixta, inicialmente se desarrolló un análisis cualitativo a partir de la información recopilada de las normas nacionales e internacionales, se realizó un análisis comparativo que permitió contrastar los criterios de priorización utilizados. Posteriormente prevaleció el análisis cuantitativo en este trabajo de investigación, debido a que se realizó un consenso con un grupo de expertos que trabajan en el área de investigación, diseño, construcción y rehabilitación de los Puentes, donde se estableció el sistema, las jerarquías y los criterios del modelo, de lo cual se asignaron los indicadores de peso(%) de acuerdo con sus criterios, conocimiento y experiencia ingenieril, necesarios para establecer el sistema de jerarquía que determinó el comportamiento de dicho modelo.

Según el autor (Fidias G. Arias (2012), define: la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

Los investigadores no son meros tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento (Frank Morales,2004).

3.2 Fuentes y Sujetos de información.

3.2.1 Fuentes Principales.

Las fuentes primarias de información usadas para este proyecto se basan en una serie de investigaciones y criterios técnicos de distintos autores e investigadores en materia de priorización de Puentes para efectuar la rehabilitación o sustitución de las estructuras. Además se utiliza como fuente principal los datos obtenidos del Inventario de Puentes en Rutas Nacionales de Costa Rica realizado por el Programa de Evaluación de Estructuras del Tecnológico de Costa Rica(PEEP) ,información que se encuentra en la base de datos del sistema de Administración de Puentes(SAEP) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).También se va disponer de la metodología de índices de daño que se denominó como BCI (acrónimo de la frase en inglés “Bridge Condition Index” ,además se utilizará como referencia la propuesta para la valoración del estado y costo de puentes del TEC y la metodología recomendada de priorización basada en el SAEP del Programa de Ingeniería Estructural del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de Costa Rica.

3.2.2 Fuentes Secundarias.

Este apartado incluye básicamente los entes nacionales e internacionales con las normas de priorización de rehabilitación y sustitución de los Puentes, relacionada con los sistemas e indicadores de jerarquización. Algunas referencias técnicas usadas fueron:

- Federal Highway Administration.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (SAEP).
- Consejo Nacional de Vialidad (Licitaciones públicas expedientes).
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Productos).
- American Association of State Highway and Transportation Officials.

- Virginia Department transportation.
- IRIS Book, European Comisión.
- Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes e-Bridge (Informe de Inspección Visual y Daños en Puentes, Costa Rica).
- Department of Transportation New York State.
- National Cooperativa Highway Research Program.
- Agencia de Cooperación Nacional de Japón (JICA).

3.2.3 Fuentes Terciarias.

Como fuentes terciarias se utilizaron algunas bases de datos en red y sistemas bibliotecarios nacionales e internacionales como:

- Biblioteca Tecnológico de Costa Rica
- Biblioteca Universidad de Costa Rica.
- Biblioteca ASCE.

3.3 Sujetos de información:

Los sujetos a los cuales se les realizaron encuestas, consultas y entrevistas, fueron principalmente Ingenieros del CONAVI y MOPT, TEC, LANAMME y expertos en el área de Puentes.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Investigación.

Para lo que son las técnicas e instrumentos de proyecto de graduación podemos mencionar:

3.4.1 Técnicas de la investigación:

Se realizará revisión de literatura exhaustiva con palabras claves como: priorización, rehabilitación y sustitución de Puentes para contrastar las metodologías de priorización utilizadas a nivel nacional e internacional; se realizará una cesión de trabajo y encuestas de trabajo con un grupo de profesionales para definir el sistema, la jerarquía y los indicadores de peso (%) de cada uno de los criterios y subcriterios de priorización.

Se califica cada criterio y se afecta por su peso de importancia relativa, entonces se promedian por variable y se asigna un porcentaje relativo por jerarquía y por criterio de priorización para evaluar cada puente, donde se toma el valor más desfavorable de todas las variables, para obtener una calificación por inspección visual, siendo 1 una calificación favorable y 5 una condición desfavorable o alarmante que se requiere de una intervención inmediata.

La metodología de priorización está presidida por la activación de los niveles de gestión. De acuerdo con los fondos que dispone la agencia y el estado de la red se proponen distintos escenarios para la priorización de inversiones. Para poder dar un orden de priorización al puente es necesario tener en cuenta no solo la calificación de cada puente por sí solo es necesario también comparar factores externos que pueden afectar el puente y que se convierten en criterios que deben ser considerados en el momento de compararlos con otros puentes.

Seguidamente se realizará la aplicación del modelo como caso piloto en 21 puentes en estado deficiente y finalmente se utilizará la propuesta para la valoración del estado y costeo de los Puentes para determinar el tipo de intervención que requiere la estructura (rehabilitación o sustitución).

3.5 Procesamiento y Análisis de Datos.

El procesamiento y análisis de datos presente proyecto de graduación se realizó de la siguiente manera.

Como se muestra en la **Ilustración 16**, se desarrollaron las siguientes actividades necesarias para la investigación y el desarrollo de los objetivos específicos establecidos, se puede definir que la investigación es en su mayoría de forma es cuantitativa como se mencionaba anteriormente, lo cual es necesario de información cualitativa para demostrar algunos procesos de la investigación.

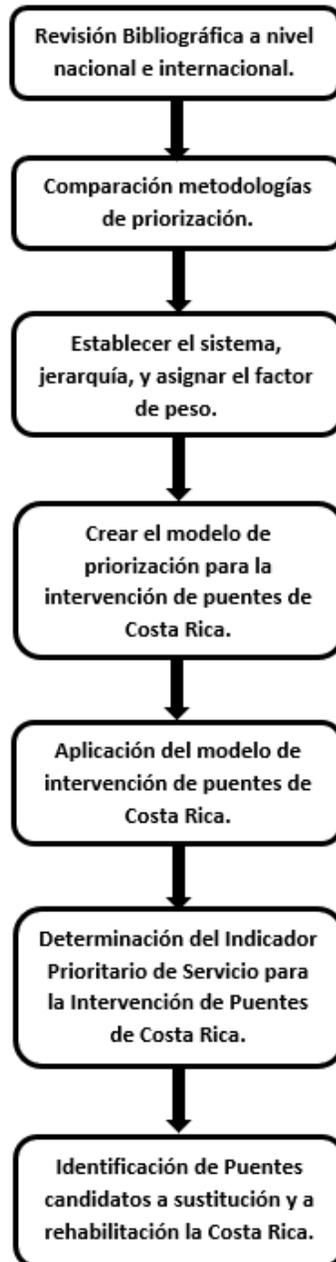


Ilustración 16: Objetivos de Proyecto.

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.5.1 Procedimiento y análisis objetivo específico N° 1: Revisar las metodologías de priorización a nivel nacional e internacional para intervención de puentes.

Para términos del cumplimiento de este objetivo se realizó una revisión bibliográfica a nivel nacional e internacional para contrastar las metodologías existentes de priorización utilizadas en los de sistemas de administración de Puentes a nivel nacional e internacional.

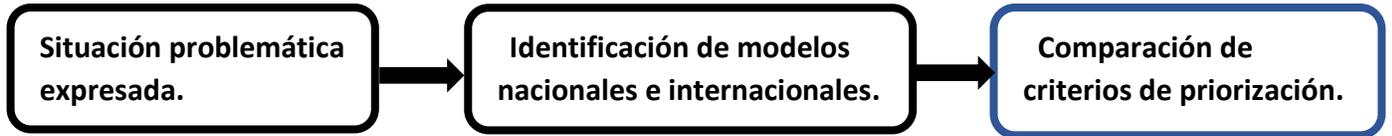


Ilustración 17:Revisión de Metodologías de Priorización.

Fuente: Elaboración *propia* 2021.

3.5.2 Procedimiento y análisis objetivo específico N° 2: Crear un modelo de priorización para la intervención de puentes en Costa Rica.

Para el cumplimiento de este objetivo, se desarrolló una sesión de trabajo con un grupo de especialistas de puentes para determinar el modelo, la jerarquía de priorización con base en los criterios e indicadores sugeridos adaptados a las condiciones técnicas y necesidades del país.

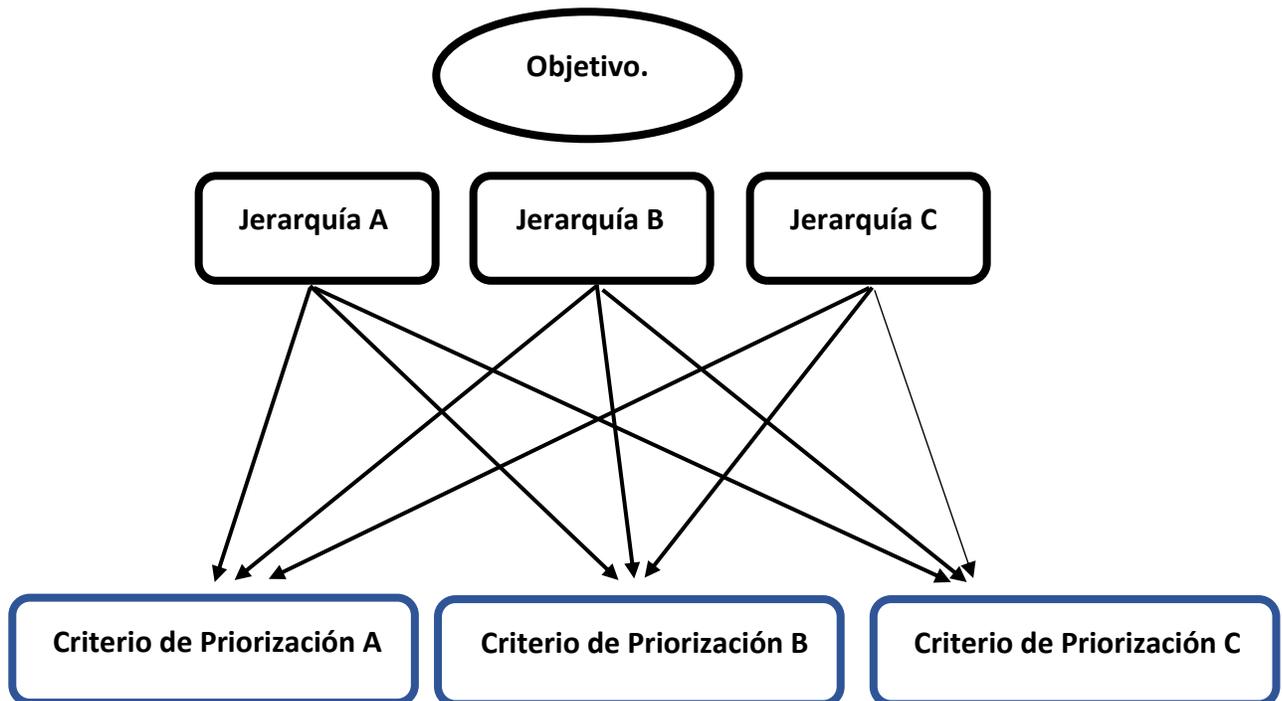


Ilustración 18: Definición de sistema, jerarquía, y criterios de priorización.

Fuente: Elaboración *propia*, 2021.

Por su parte Gordon (1994) añade que se trata de un debate controlado y en este mismo sentido, según Varela-Ruiz et al., (2012), lo que se persigue es obtener el grado de consenso o acuerdo entre especialistas sobre el problema planteado, en lugar de dejar la decisión a un solo profesional. Landeta (1999) pone el énfasis en su finalidad predictiva, basada en esa misma condición "...obtención de una opinión grupal fidedigna a partir de un conjunto de expertos" (p. 39).

Como segunda etapa consistió en unificar y acercarse al consenso del grupo de investigadores y expertos en materia de Puentes. Los expertos en el área respondieron y ponderaron los porcentajes de acuerdo con sus conocimientos y experiencia ingenieril, el cual asignaron un peso (%), que vario de acuerdo con los criterios de priorización con base en los subcriterios establecidas para evaluar las estructuras en estado deficiente.

El decisor debe emitir sus juicios de valor o preferencias en cada uno de los niveles jerárquicos establecidos. Sin embargo, depende excesivamente de los pesos subjetivos de cada índice de desempeño según la experiencia, dejando de lado la complicada interrelación entre las múltiples características de desempeño.

El paso siguiente, tercera etapa, comprende en realizar un análisis de las distintas opciones de evaluación propuestas para valorar en qué medida éstas satisfacen cada uno de los criterios. Este grado de satisfacción puede ser medido a partir de escalas diferentes, a saber: ordinal, cardinal, nominal, dependiendo de las particularidades del criterio.

Para la selección de optimas alternativas de priorización, se basó en la construcción de una jerarquía de priorización con la asignación de pesos relativos para la identificación de un orden de priorización con base en el estado y condición actual de los puentes.

En esta etapa se construye una matriz, a partir de la comparación de los diferentes criterios con el propósito de estimar la importancia relativa entre cada uno de ellos.

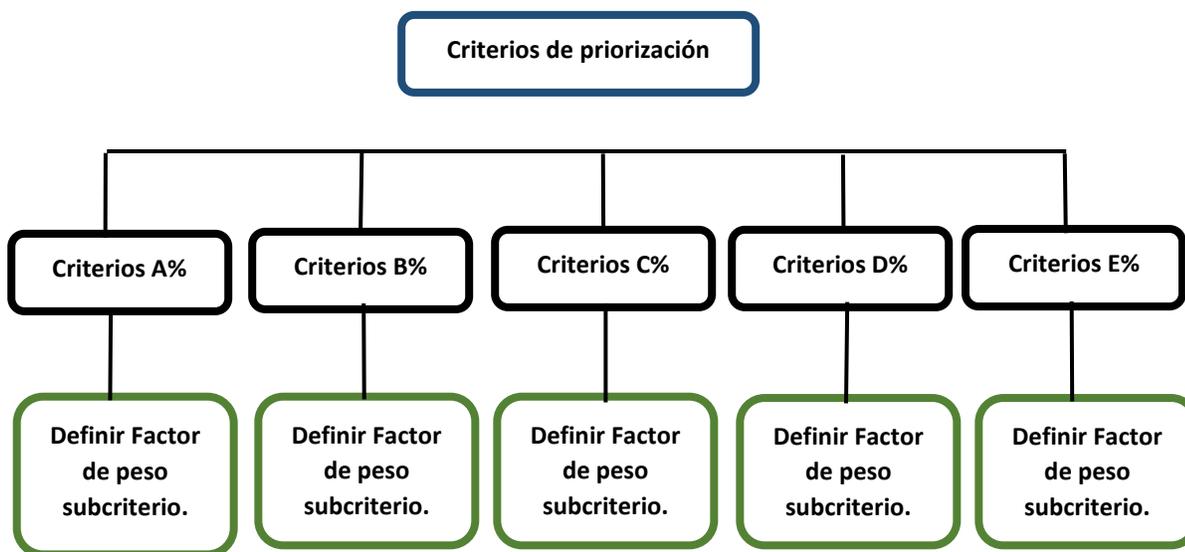


Ilustración 19: Sistema de Jerarquía de criterios de priorización e indicadores de peso.

Fuente: Elaboración *propia*, 2021.

Por último, se sintetiza el resultado a partir del aporte relativo de cada uno de los criterios y del nivel de preferencia relativo atribuido a las estructuras, esto con el fin de alcanzar el objetivo general de crear un modelo de priorización.

Como etapa final de este proceso, dado que el resultado logrado es dependiente, en buen grado, de los niveles jerárquicos establecidos por el decisor y de los juicios de valor de los elementos constitutivos de la estructura jerárquica de priorización para concientizar en la toma de decisión a la administración pública mediante la construcción de este modelo de priorización de puentes.

3.5.3 Procedimiento y análisis objetivo específico N° 3: Aplicar el modelo de priorización como caso piloto en el inventario de puentes en estado deficiente.

Posteriormente, mediante la construcción del modelo se generó un listado de puentes priorizados para su debida intervención en estado deficiente aplicado con base en “Inventario y evaluación visual de daños en puentes en Rutas Nacionales”.

El modelo de priorización generado identifica mediante un indicador prioritario de servicio, la importancia relativa con respecto a los demás puentes (daño de importancia) e identifica la prioridad sugerida con respecto a su condición.

Finalmente, para concluir con este proceso de investigación se determinará con base a la propuesta de la metodología de costeo del Programa de Evaluación de estructuras del Instituto Tecnológico de Costa Rica, si la estructura es candidata a sustitución o rehabilitación mediante los criterios establecidos por la Administración Pública con base a los límites máximos establecidos.

3.5.4 Estimación de costos.

El costo de intervención del puente se estima con base en los distintos tipos de estructuras y su configuración estructural, y los montos base se estimaron por medio de un promedio consultados a empresas, y datos proporcionados por la unidad ejecutora BCIE del CONAVI. (Páez González G, Ortiz Quesada G, PEEP, TEC 2019).

Tabla 3: Costos promedios por m2 de puentes nuevos.

Tipos de puentes para costeo		Costo m2
Tipo 1	Puente viga concreto menor 50m	\$4 046,64
Tipo 2	Puente viga acero menor 50m	\$2 404,82
Tipo 3	Puente viga concreto mayor 50m	\$3 766,84
Tipo 4	Puente viga acero mayor 50m	\$4 228,38
Tipo 5	Puente tipo cercha	\$3 598,49
Tipo 6	Puente colgante	\$3 000,00
Tipo 7	Puente tipo marco rígido	\$3 000,00
Tipo 8	Puente tipo arco	\$2 933,35
Tipo 9	Alcantarilla concreta	\$2 604,86

Fuente: Propuesta para la valoración de estado y costeo de Puentes TEC, 2020.

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Comparación de Metodología de Priorización.

Estas metodologías de priorización están basadas en el rendimiento que producen un riesgo percibido, el marco propuesto adopta estados clave de límite de rendimiento (seguridad, durabilidad, capacidad de servicio y mantenimiento; operaciones y funcionalidad), incluidos los costos estatales o regionales asociados con la operación, evaluación, mantenimiento, reparación, rehabilitación y reconstrucción de las estructuras.

Los modelos creados actualmente consideran criterios de decisión y muchas más variables que de una u otra forma se involucran en la toma de decisiones para su inmediata intervención, utilizando la evaluación de los daños estructurales, hidrológicos e hidráulicos y geotécnicos como indicadores de riesgos ponderado del puente y como indicadores de consecuencia.

Se utilizarán los criterios de nivel de tránsito y valor estratégico del puente, con los respectivos subcriterios y elementos funcionales, infraestructura y superestructura, socavación del puente en los bastiones, grado de importancia dentro de la red vial, tránsito promedio diario (TPD), importancia de la vía, impacto por cierre, dificultad de recuperación de la vía, pendiente del tramo, configuración estructural del puente, vías alternas y sensibilidad ambiental; abarcando en su gran mayoría los criterios técnicos-políticos y socioambientales que intercedan en la toma de decisión para una intervención de los puentes.

Este enfoque no sólo proporciona a los responsables de la toma de decisiones una imagen más completa de la incertidumbre asociada con diversos procedimientos de evaluación, sino que también promueve el uso de enfoques más fiables y, al mismo tiempo, proporciona a las ciudades cierta libertad con respecto a la función de sus prioridades e inquietudes necesidades individuales de cada país.

La obligación legal de la Junta de Transporte (Ministerio de Obras Públicas y Transportes) es desarrollar un "sistema de clasificación de prioridades" para la asignación de fondos.

Los criterios de priorización propuestos para algunos sistemas están basados en los trabajos desarrollados por la Federal Highway Administration y algunos Departamentos de Transporte de los Estados Unidos de Norte América, pero otros países se adecúan a las necesidades para la administración de proyectos de cada país. (México, Colombia, Chile, Argentina, etc.).

Clasificando los criterios anteriores dentro la disciplina de la ingeniería vial como riesgos estructurales, hidrológicos e hidráulicos, geotécnicos y por los tipos de consecuencia como económicos, tránsito, vulnerabilidad de la red, valor estratégico del puente. Fundamentado sobre una base teórica simple, pero sólida, se propone de una manera ordenar el pensamiento analítico, bajo tres principios de evaluación que son:

- Construcción de las jerarquías.
- Establecimiento de prioridades.
- Consistencia lógica.

Por ejemplo, en algunos países se incorpora el criterio de priorización de "urgencia" parte de la finalidad de este criterio de evaluación es atender este tipo de estructuras; debido a que los modelos de los estados norteamericanos consideran la movilidad de equipos militares. También se considera en varias bibliografías que la urgencia se origina en un daño del puente y por eso parece recomendable dejar la evaluación de la urgencia de intervención relacionada al grado del daño.

Con base a la comparación de modelos de priorización con mayor incidencia en los elementos de los puentes de las rutas, se realizó un análisis para determinar la evaluación realizada con relación al daño de los elementos en los modelos presentes de cada una de las estructuras, por medio de consultas a expertos y revisiones bibliográficas de documentos nacionales e internacionales.

Tabla 4: Variables utilizadas en los modelos de priorización.

Variables utilizadas en los modelos de priorización.	
Estado del Puente BCI, NBI, BMS.	Inspecciones visuales, detalladas, construcción de curvas de deterioro.
Configuración Estructural	Énfasis con relación a la vulnerabilidad sísmica. Énfasis en la longitud de elementos sismorresistentes, apoyos, mesetas, longitud de asiento.
Capacidad de carga	Nivel de servicio definido para la capacidad de carga. Capacidad de carga del vehículo. Tránsito promedio diario anual.
Amenaza o Vulnerabilidad Sísmica.	Enlace por Código Sísmico de cada país. Tipo de apoyos de la estructura. Cercanía de Fallas sísmicas. Redundancia Sísmica. Demanda del suelo (aceleración de suelo por terremotos).
Vulnerabilidad Hidráulica.	Realizar estudio hidrológico e hidráulico de la estructura. Enlace de evaluación de socavación general y local de la estructura. Por erosión. Por inundación y avalanchas. Considera características Estructurales y Geométricas.
Tipo de Material	Énfasis en el tipo de material con relación a tipo de clima (áreas costeras, áreas frías y áreas volcánicas). Algunos casos no son considerados debido a que la estructura percibe mantenimiento respectivo.
Clase de exposición.	Énfasis por el tipo de material. Por rutas de alta capacidad.
Valor histórico patrimonial	Casos especiales de cada país.
Fecha de construcción del puente.	Utilización de Código Sísmico por cada país.
Ancho del Puente.	Revisión de ancho de calzada con relación al TPD. Para ampliación de estructura.
Largo del Puente	Vulnerabilidad Hidráulica. Configuración Estructural (cantidad de tramos).
Altura Libre	No es considerado en las modelos de priorización.
Restricción de Carga.	No es considerado en algunos modelos de priorización. El énfasis es si existe limitaciones de peso para los vehículos.
Volumen del Tráfico.	Evaluación del tráfico promedio diario. Medida de esfuerzo con carga dinámica (aumento de cargas de transporte). Monitoreo. Vulnerabilidad de la red.
Importancia de la Ruta	Clasificación de rutas (alta capacidad, primarias, secundarias, etc.).
	Barandas del Puentes.

Seguridad.	Demarcación Vial. Iluminación. Asociado con los potenciales accidentes de tránsito,
Vías Alternas.	El enlace es si existe desvíos. Cantidad de desvíos en una troncal o ruta de alta capacidad.
Dificultad de recuperación de vía.	Se considera en estructura donde se dificultad el acceso de construcción y rehabilitación de las estructuras,
Amenazas Naturales	No es considerado en las modelos de priorización. Gestión de riesgo en el sistema de evaluación de puentes (geotécnico, estructural, hidráulico).
Evaluación Social.	No es considerado en las modelos de priorización.
Sensibilidad ambiental.	Valor estratégico, el grado de importancia, socioeconómicos, sociales y geopolíticos. Calificación de área de influencia ambiental de acuerdo con la recuperación del entorno.
Impacto por cierre.	No es considerado en las modelos de priorización.
Costo/beneficio	Para efectos de evaluación, los flujos y costos del proyecto deben ser llevados a un mismo momento del tiempo, para lo cual se utiliza una tasa social de descuento. El VPN Social corresponde a la diferencia entre los beneficios y los costos actualizados e indica cuánto más rico o pobre se hace el país al realizar el proyecto. Basado en lo anterior, un proyecto público será económicamente rentable si el VPN, descontado a la tasa social, resulta positivo. Costos de reparación de mantenimiento.
Ciclo Vida	Metodología que permite realizar un análisis comparativo de costos durante un período de tiempo establecido, normalmente asociado al ciclo de vida de un activo, teniendo en cuenta costos de capital inicial y costos operativos futuros.
Curvas de Deterioro.	Inspecciones, monitoreo, controles de los elementos de las estructuras de puentes. No es considerado en otros países.
Urgencia	Intervención por una decisión política y militar de cada nación. Deterioro de las estructuras.

Fuente: Propia, 2021.

Las agencias interesadas en preservar la condición de las estructuras de los puentes o en priorizar los proyectos de mantenimiento o reemplazo dentro de su inventario de puentes utilizan un índice de salud o condición de un puente como una medida de desempeño. Otras medidas de rendimiento, como las clasificaciones geométricas y de inventario, se utilizan para mejorar la seguridad del tráfico de un puente.

Las calificaciones de vulnerabilidad o resiliencia son ejemplos de medidas de desempeño que se utilizan para mostrar cuán vulnerables son las estructuras de puentes a peligros estructurales u operativos como huracanes, terremotos o camiones sobrecargados y qué tan bien se desempeñan en estas situaciones.

Tabla 5: Comparación de Metodología de Priorización de Estructuras de Puentes.

Modelo Propuesto.	Objetivos.	Indicadores de Priorización.	Metodología de Priorización.															
<p>Modelo de Priorización del Departamento de Transportes de Chile. Indicador de Condición o Salud del Puente BCI 6 niveles 1 – 6.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Predicción de las necesidades mantenimiento y de los fondos requeridos. • Elaboración de listados de puentes por prioridades de rehabilitación. • Identificación de puentes con restricciones o limitaciones de servicio. • Búsqueda de la mejor alternativa para rehabilitación de cada puente desde el punto de vista técnico y de beneficio-costos. • Cuantificación de los costos de inversión por puente. • Identificación de las obras de mantenimiento menor. • Determinación de la capacidad de carga de los puentes y sus restricciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calificación de Inspección Visual. • Año de Construcción del Puente. • Luz. • Ancho del Puente. • Altura de Pilas o Galibo. • TPD. • Tipo de Vía. • Variantes. • Línea Vitales. • Zona de Amenaza Sísmica. • Zona de Inundación. 	<ul style="list-style-type: none"> • El índice llamado Integrated Bridge Index (IBI) fue propuesto por Valenzuela y otros (2010) como una ayuda para la priorización y las decisiones tomadas en mantenimiento y rehabilitación de puentes. • La base de la investigación llevada a cabo por Valenzuela fue desarrollar una herramienta que necesitara la cantidad mínima de datos, que fuera fácil de usar y se ajustara a las características de la red vial chilena. Este índice toma cuatro factores principales, la cual fue calibrada con un diseño factorial. <table border="1" data-bbox="1272 643 1913 808"> <tr> <td colspan="3">$IBI = -1,411 + 1,299BCI + 0,754HV + 0,458SR - 0,38SI.$</td> </tr> <tr> <td>(SI),</td> <td>=</td> <td>Importancia estratégica</td> </tr> <tr> <td>(BCI),</td> <td>=</td> <td>La condición del puente.</td> </tr> <tr> <td>(HV),</td> <td>=</td> <td>Riesgo hidráulico</td> </tr> <tr> <td>(SR).</td> <td>=</td> <td>Riesgo sísmico</td> </tr> </table>	$IBI = -1,411 + 1,299BCI + 0,754HV + 0,458SR - 0,38SI.$			(SI),	=	Importancia estratégica	(BCI),	=	La condición del puente.	(HV),	=	Riesgo hidráulico	(SR).	=	Riesgo sísmico
$IBI = -1,411 + 1,299BCI + 0,754HV + 0,458SR - 0,38SI.$																		
(SI),	=	Importancia estratégica																
(BCI),	=	La condición del puente.																
(HV),	=	Riesgo hidráulico																
(SR).	=	Riesgo sísmico																
	<ul style="list-style-type: none"> • La base de datos contiene una colección de elementos de datos de información de puentes, como puentes identificación o ubicación, tipo de puente y especificaciones, condiciones operativas (es decir, antigüedad, tráfico diario promedio, circunvalación y longitud de desvío), datos geométricos o funcionales del puente (es decir, carriles de estructura, ancho de arcén, etc.) y datos de condición estructural del puente (es decir, clasificación de cubierta, superestructura y subestructura). 	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuación estructural y Seguridad. • Serviciabilidad y Obsolescencia Funcional. • Reducciones especiales. • Esencialidad para uso público. • La SR se calculó utilizando puente funcional, información operativa y de condición. 	<table border="1" data-bbox="1272 886 1913 1078"> <tr> <td colspan="3">Donde $SR = S1 + S2 + S3 - S4$</td> </tr> <tr> <td>S1</td> <td>=</td> <td>Adecuación estructural y seguridad</td> </tr> <tr> <td>S2</td> <td>=</td> <td>capacidad de servicio y obsolescencia funcional</td> </tr> <tr> <td>S3</td> <td>=</td> <td>Esencialidad para uso público</td> </tr> <tr> <td>S4</td> <td>=</td> <td>Reducciones Especiales.</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> • El puente es elegible para reemplazo si el SR es menor a 50 y está clasificado como deficiente (usando el sistema de clasificación NBI). • El puente es elegible para rehabilitación si el SR está dentro de 50 y 80 y está clasificado como deficiente (usando el sistema de clasificación NBI). 	Donde $SR = S1 + S2 + S3 - S4$			S1	=	Adecuación estructural y seguridad	S2	=	capacidad de servicio y obsolescencia funcional	S3	=	Esencialidad para uso público	S4	=	Reducciones Especiales.
Donde $SR = S1 + S2 + S3 - S4$																		
S1	=	Adecuación estructural y seguridad																
S2	=	capacidad de servicio y obsolescencia funcional																
S3	=	Esencialidad para uso público																
S4	=	Reducciones Especiales.																

Modelo Propuesto.	Objetivos.	Indicadores de Priorización.	Metodología de Priorización.
<p>Modelo de Priorización del Departamento de Transportes de Australia. Indicador de Condición o Salud del Puente BCN. 6 niveles 1 – 6</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se proporciona orientación sobre la implementación de modelos de deterioro dentro del marco de gestión de activos de puentes existente. • El modelado del deterioro de puentes se ha llevado a cabo en el extranjero durante algún tiempo y puede proporcionar herramientas adicionales para comprender y predecir el proceso de deterioro, lo que potencialmente proporciona una mejor comprensión de los aspectos financieros y de seguridad de la gestión de una red de puentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo estructural actual de la estructura. • La medición de durabilidad. • La capacidad de carga. • El ancho de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Roads Corporation of Victoria (VicRoads), la agencia de carreteras de Victoria, Australia, utiliza un BCN para la comparación relativa del rendimiento, la integridad y la durabilidad de las estructuras de puentes. • Se integra fácilmente en el proceso de análisis de costos del ciclo de vida existente. • La salida gráfica mejora la visualización y la comprensión • Los modelos de deterioro efectivos pueden reducir la sensibilidad del componente de tiempo del análisis de costos del ciclo de vida.
<p>Modelo de Priorización del Departamento de Transportes de Colombia (Cundinamarca) Indicador de Condición o Salud del Puente BCI niveles 1 – 5</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El proyecto se enfocó en conocer las variables que afectan a los elementos del puente y que eventualmente lo podían hacer fallar, se hizo una revisión bibliográfica de las diferentes variables que podían afectar la estabilidad o funcionamiento de los puentes y se encontraron principales variables que afectaban los puentes eran, la socavación, corrosión de elementos de concreto, corrosión de elementos de acero, fatiga, impacto, infiltración, vulnerabilidad sísmica, deficiencia estructural, sobrecarga; de las diferentes tipologías de estos fenómenos, las causas que los originan, la forma como se presentan en las diferentes estructuras. 	<p>Variables Externas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Socavación, Fatiga. Corrosión de acero, Corrosión de concreto, Deficiencia Estructural, Vulnerabilidad Sísmica, Sobrecargas. <p>Variables Internas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Año de Construcción del Puente, Luz-Ancho del Puente, Altura de Pilas o Galibo, TPD, Tipo de Vía, Variantes, Línea 	<ul style="list-style-type: none"> • Para poder dar un orden de priorización al puente es necesario tener en cuenta no solo la calificación de cada puente por sí solo es necesario también comparar factores externos que pueden afectar el puente y que se convierten en criterios que deben ser considerados en el momento de compararlos con otros puentes <p>Variables Internas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las variables para la evaluación de los puentes definidas como internas son aquellas que son determinantes para definir el estado de cada elemento de un puente. <p>Variables Externas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dentro de la metodología para la evaluación de puentes las variables externas son utilizadas para priorizar el puente con respecto a otros puentes del sistema, de ahí la importancia de

Modelo Propuesto.	Objetivos.	Indicadores de Priorización.	Metodología de Priorización.
		Vitales, Zona de Amenaza Sísmica, Zona de Inundación.	caracterizarlas y poder contar con criterios afines entre los diferentes puentes para la calificación final.
Modelo de Priorización del Departamento de Transportes de Costa Rica LanammeUCR.	<ul style="list-style-type: none"> Revisa y analiza la metodología de priorización basada en índices (denominada como BCI), así como la información de inspección (versión condensada de los datos del SAEP) incluidos en la base de datos suministrada por el CONAVI para su cálculo (en donde fuera práctico), metodología que fue entregada al LanammeUCR por la Administración y que fue elaborada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica como una propuesta para llevar a cabo la priorización para la toma de decisiones sobre las necesidades de intervención del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Una metodología por índices de daño que se denominó BCI (acrónimo de la frase en inglés “Bridge Condition Index”), que ordena los puentes según el estado de daño y la cual fue elaborada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica. La metodología del Proceso de Análisis de Jerarquías (PAJ) incluida en el Sistema informático SAEP, el cual permite evaluar y priorizar los puentes según el daño y la importancia 	<ul style="list-style-type: none"> Elección de daños por Importancia. Priorización solamente por deficiencia Estructural. Priorización por daño más importante del Puente Este indicador brindó una categorización con letras de A hasta E (En este indicador “A” se refiere a una prioridad sugerida más alta y “E” a una prioridad sugerida más baja.), donde: <ul style="list-style-type: none"> “A” significa que hay evidencia de que el puente realmente necesita algún tipo de intervención urgentemente. “B” significa que necesita alguna intervención, pero no tan urgente como en “A”. “C” significa que el puente tiene problemas hidrológicos-hidráulicos evidentes, aunque puede ser que no tenga daños significativos en sus componentes. “D” son el resto de los puentes con daño. “E” son los puentes de madera. De esta forma, para priorizar, primero se hace por medio de la prioridad sugerida y luego por medio del PDI, y de esta forma, por ejemplo, estarían los puentes con prioridad sugerida “A” ordenados de mayor a menor valor de PDI, y así con las otras categorías.

Modelo Propuesto.	Objetivos.	Indicadores de Priorización.	Metodología de Priorización.
<p>Modelo de Priorización del Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).</p>	<ul style="list-style-type: none"> La metodología propuesta se basa en el uso de 3 indicadores estratégicos: BCI, VAM y USO, definidos como indicadores técnicos, complementando este cálculo con un indicador socioeconómico, para tener finalmente una lista de intervenciones priorizada de forma integral. El artículo presenta algunos de los resultados generales del Proyecto de Extensión: Priorización de Estructuras de Puentes Utilizando Indicadores de Desempeño: Plan Piloto Municipalidad de El Guarco, este proyecto se ejecutó entre enero 2018 a diciembre 2019, por parte del Instituto Tecnológico de Costa Rica. 	<ul style="list-style-type: none"> El primer Punto que se abordó fue la revisión del modelo de evaluación con tres enfoques: Condición Estructural, ii) Variables Ambientales y iii) Uso. 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de condición Estructural: En resumen, la condición estructural se evaluó mediante tres componentes principales del puente: i) Accesorios, ii) Superestructura y iii) Subestructura. En la evaluación de los accesorios se incluyó el pavimento, barandas y juntas; para la superestructura se evaluó la losa, los elementos principales y secundarios de acero, así como los elementos principales y secundarios de concreto (de acuerdo con el material de cada puente); mientras que, en la subestructura se evaluaron los apoyos, bastiones y pilas. BCI=5%BCIAccesorios+45%BCISuperestructura+50% Subestructura. Evaluación de Variables Ambientales: La evaluación de las variables ambientales, debe entenderse como la evaluación del entorno en el cual se encuentra el puente, llega a convertirse en una valoración del posible riesgo al que se encuentra expuesta la estructura. Para definir este indicador, adicional a la información tomada de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, se generaron formularios de campo que permitieron evaluar el cauce del río (dimensiones, contaminación), las condiciones de los márgenes del río, el ángulo de ataque del agua a los bastiones, el uso del suelo en la zona cercana al puente, entre otros. VA=30% Amenaza Sísmica+30% Riesgo Hidrológico+40% índice de Fragilidad Integrado. Evaluación de Uso: El análisis de la condición de uso nos permitirá valorar la funcionalidad y operatividad de un puente, además de su importancia dentro de un entorno socioeconómico. La funcionalidad se refiere a la capacidad que tiene el puente para cumplir su función, en cuanto a su geometría, cargas y la operatividad se refiere a la posibilidad de la interrupción del servicio. USO=60% Seguridad Vial +40% Operatividad del Puente-Funcionalidad.

Fuente: Propia, 2021

4.2 Grupo de consenso de expertos.

El uso de indicadores en la gestión de proyectos es un elemento fundamental para homogenizar criterios, dar seguimiento al avance, priorizar y verificar cumplimiento de metas y objetivos.

El alcance de este consenso de grupo de expertos es poder determinar de forma muy preliminar sin efectuar métodos estadísticos y probabilísticos, el comportamiento de los criterios expuestos, para poder realizar la valoración y selección preliminar de los criterios y subcriterios para realizar la construcción del Modelo de Priorización de Puentes con base a los alcances y limitaciones de las inspecciones realizadas en las estructuras. Los profesionales encuestados fueron 5, entre ellos Ingenieros Civiles, Ingenieros en Construcción.

Tabla 6: Grupo de expertos en Materia de Puentes.

Ingenieros	Especialidad
Ing. Mauricio Carranza Solano	Ingeniero Civil, Máster en Estructuras.
Ing. Gerardo Páez González	Ingeniero en Construcción, Máster en Ingeniería Vial
Ing. Alejandro Alfaro Acuña	Ingeniero Civil, Máster en Ingeniería Vial
Ing. Ángel Navarro Mata	Ingeniero en Construcción, Máster en Estructuras.
Ing. Giannina Ortiz Quesada	Ingeniera en Construcción, Máster en Computación con énfasis en Sistemas de Información

Fuente: Propia, 2021.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó un estudio del estado del arte que consistió en investigar sobre sistemas de administración de puentes en el mundo, con el objeto de conocer su filosofía y el enfoque que tiene con relación a los inventarios, inspección visual y los mecanismos de priorización.

Para la determinación y selección de criterios de priorización con base a la investigación, y comparación de las metodologías de priorización se efectuó la construcción de tres jerarquías para realizar la determinación, selección y asignación de un factor de importancia con base a las recomendaciones expuestas por los expertos en la materia, tanto para la toma de la decisiones de la jerarquías, criterios y subcriterios como para atender las recomendaciones y delimitar aspectos relevantes para lograr un modelo definitivo con base a la información del Inventario de Inspección del Programa de Evaluación de Estructuras del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

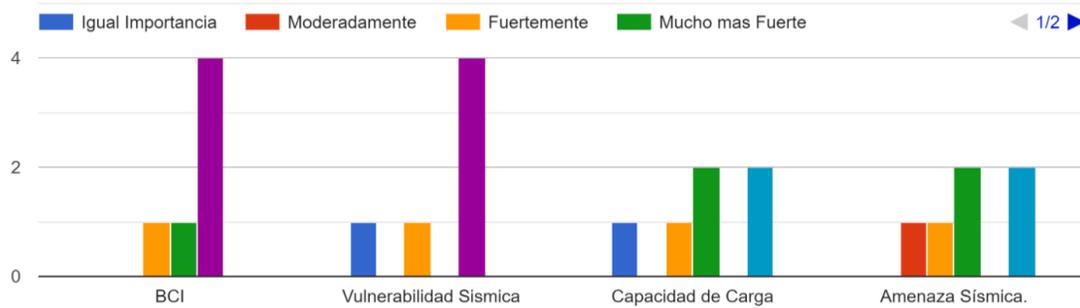
Tabla 7: Revisión de Modelo de Priorización.

Jerarquía de Evaluación.	Criterio de Priorización.	%Peso
Deficiencia y Riesgo Estructural en Puentes (DERP) %	Índice de Condición del Puente. (BCI)	%
	Vulnerabilidad Sísmica.	%
	Capacidad de Carga.	%
	Amenaza Sísmica.	%
Vulnerabilidad y Riesgo Hidráulico (VRH) %	Evaluación de Vulnerabilidad en Puentes	%
	Riesgo Hidrológico.	%
	Fragilidad Ambiental.	%
Condiciones Prioritarias de Servicio (CPS) %	Importancia de la Ruta.	%
	Reducciones Especiales.	%
	Seguridad Vial.	%
	Evaluación Socioeconómica.	%
Costo de la Intervención (CIEP). %	El costo de la rehabilitación no excede el 50% del costo de sustitución de un puente nuevo.	%
	El costo de Intervención no excede el 60% del costo de sustitución de un puente nuevo.	
	El costo de Intervención no excede el 70% del costo de sustitución de un puente nuevo.	

Fuente: Propia, 2021.

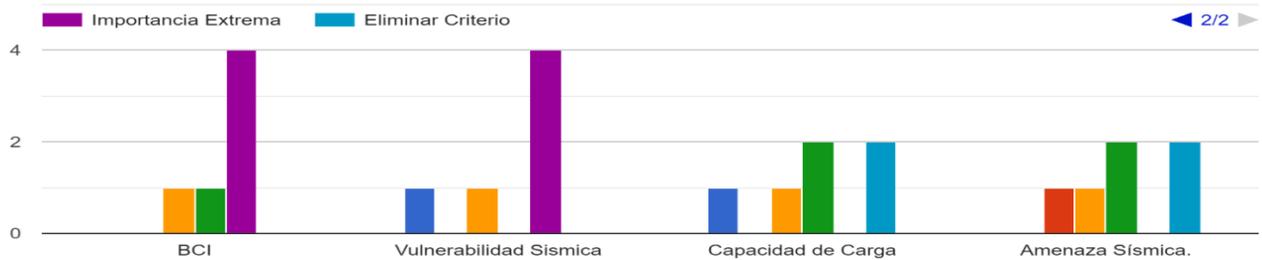
Con base a la Jerarquía de Evaluación asignada “**Deficiencia y Riesgo Estructural en Puentes**” se puede observar que tanto el criterio de Priorización de Índice de Condición del Puente (BCI) y Vulnerabilidad Sísmica son factores de importancia extrema con relación a los demás criterios considerando las investigaciones y evaluaciones realizadas en la materia de estructuras de puentes con base al juicio ingenieril de los expertos.

Gráfico. 1: Deficiencia y Riesgo Estructural en Puentes.



Fuente: Propia, 2021.

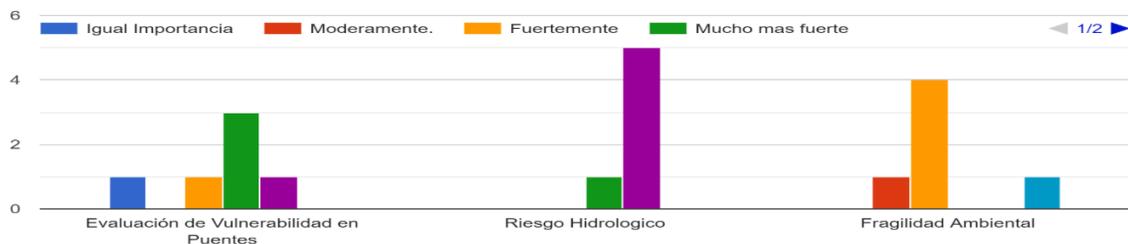
Gráfico. 2: Deficiencia y Riesgo Estructural en Puentes.



Fuente: Propia, 2021.

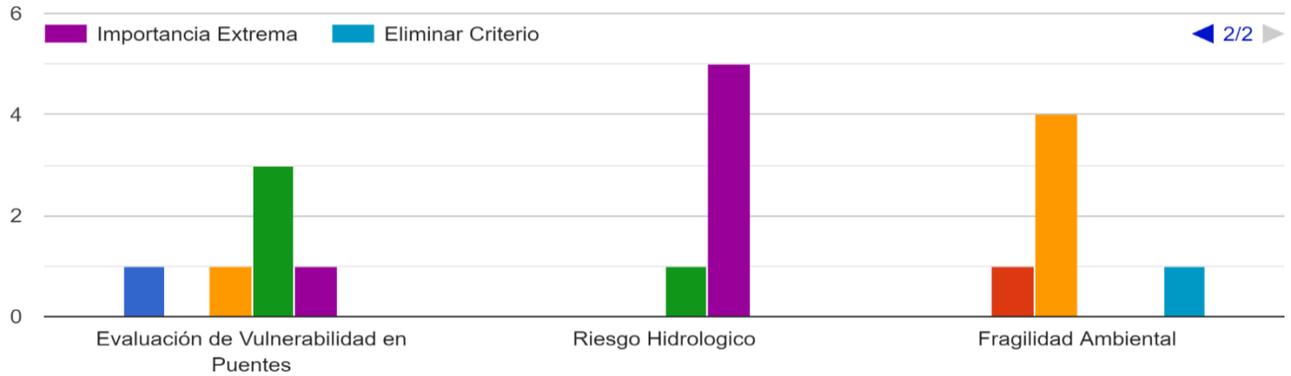
Para el caso de la Jerarquía de Evaluación asignada “**Vulnerabilidad y Riesgo Hidráulico**” se puede observar que el criterio de Riesgo Hidrológico es el factor de importancia extrema predominante, se estima que alrededor del 60% de todos los fallos de puentes tienen una causa relacionada con la hidráulica. Entre ellas, la socavación es el principal motivo, constituyendo en términos globales una de las tres causas principales de fallo de los puentes a nivel mundial.

Gráfico. 3: Vulnerabilidad y Riesgo Hidráulico.



Fuente: Propia, 2021.

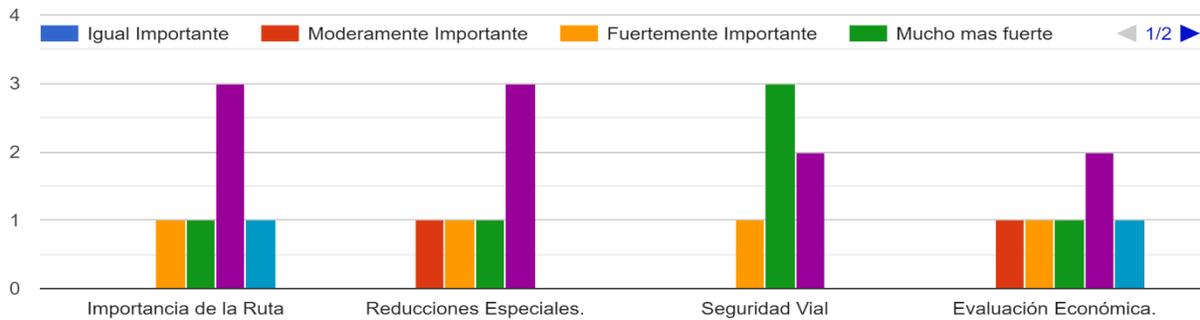
Gráfico. 4: Vulnerabilidad y Riesgo Hidráulico.



Fuente: Propia, 2021.

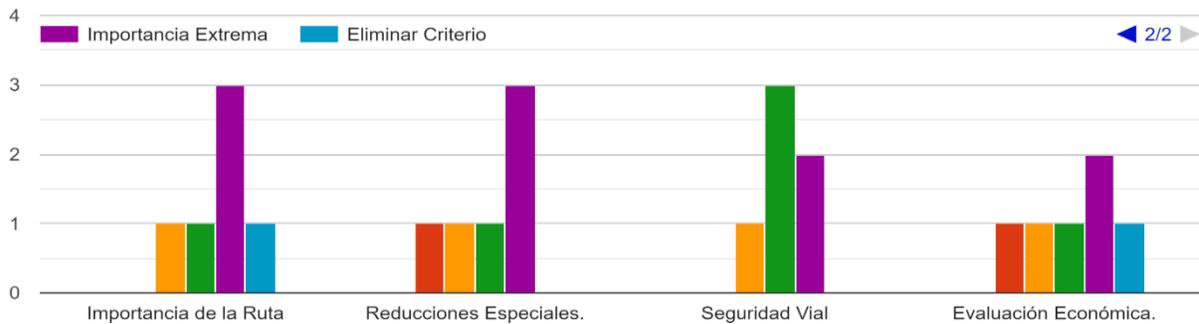
Para el caso de la Jerarquía de Evaluación asignada “**Condiciones Prioritarias de Servicio**” se puede observar que tanto el criterio de Importancia de la Ruta y Reducciones Especiales son factores de importancia extrema con relación al criterio de Seguridad Vial y Evaluación Económica, siendo la Seguridad Vial un factor importante en Costa Rica.

Gráfico. 5: Condiciones Prioritarias de Servicio.



Fuente: Propia, 2021.

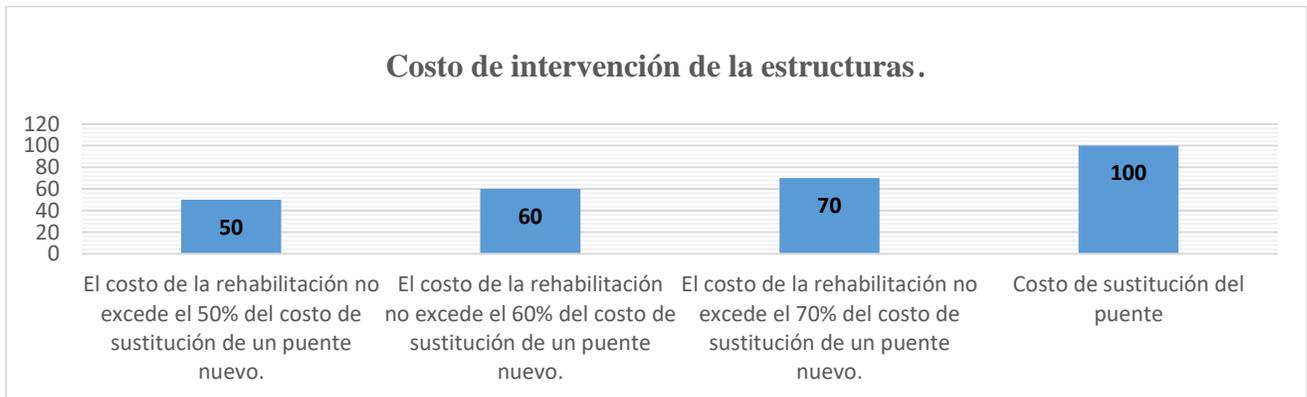
Gráfico. 6: Condiciones Prioritarias de Servicio.



Fuente: Propia, 2021.

Finalmente, para el caso de la Jerarquía de Evaluación asignada “Costo de intervención de la estructura” se puede observar , que el costo de la intervención de la estructuras no debe exceder el 60% o 70% del costo de la sustitución de un Puente que es considerando por los expertos, para ello el modelo deberá permitir realizar una optimización adecuada para la priorización estructuras donde el costo de intervención no sea un factor trascendental para dicha priorización, sino para la toma de las decisiones de la Administración de un Estado con base a los recursos de un programa para atender dichas estructuras, debido a las condiciones reales encontradas y a las limitaciones presupuestarias para realizar un estudio detallado: Estudio Hidrológico y Análisis Hidráulico, Geotécnico, Estructural entre otras.

Gráfico. 7: Costo de intervención de la estructura.



Fuente: Propia, 2021.

4.3 Definición de la Jerarquía del modelo.

La condición actual de la red y los cambios futuros son cuestiones básicas de demanda. Las nuevas acciones introducidas en la red se deteriorarán con el tiempo y en cualquier estrategia a largo plazo la gestión de puentes y administración de proyectos permite definir el uso de indicadores para la toma de decisiones en el tema, estos indicadores propuestos de forma preliminar del avance responden al enfoque de evaluación propuesto en este modelo de priorización que responde tanto las recomendaciones a nivel nacional e internacional expuestas por sus especialistas, por lo tanto, para este modelo fue definido en tres niveles:

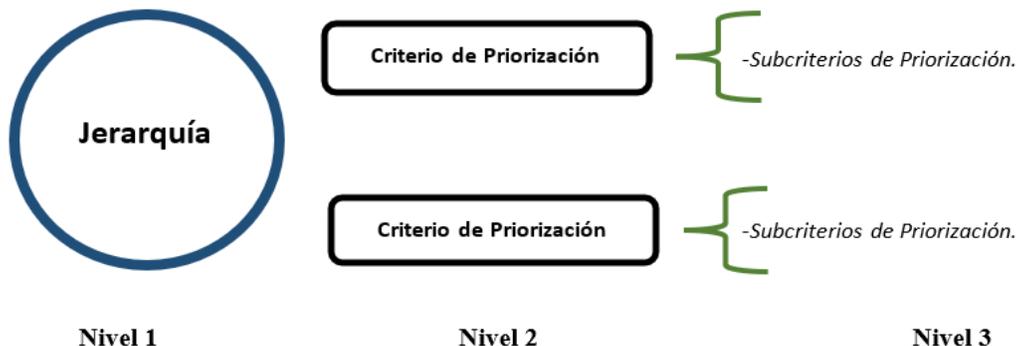


Ilustración 20: Definición de Jerarquía del modelo

Fuente: Propia, 2021.

El modelo de priorización va a generar valores de peso, a través del juicio ingenieril de los expertos en materia de gestión, administración, mantenimiento, rehabilitación, construcción y diseño de las estructuras, pesos que fueron seleccionados a través de la creación de un centro decisor con base en las tres jerarquías de evaluación propuestas original, cada criterio y subcriterio de priorización es medido de forma cualitativa como cuantitativa, por ende, se requirió la construcción de cada una de las variables de evaluación que definió el modelo con base a la información suministrada en los inventarios de inspección de las estructuras de Puentes.

El modelo permite realizar la identificación de las amenazas y los niveles de incidencia que están expuestas las estructuras con base a la condición existente de los puentes, esto con el fin de optimizar y tomar las decisiones en las inversiones de Infraestructura Pública que se encuentran en estado deficiente. Esta categoría pretende que el requerimiento de la inversión del puente como consecuencia de los daños presentados sea un factor de ordenamiento de prioridades con base a los costos y la prioridad sugerida entre cada una de las estructuras considerando las siguientes jerarquías de evaluación.

- **SFEP (Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes).**
- **RHP (Riesgo Hidráulico de Puentes).**
- **IEP (Importancia Estratégica de los Puentes).**

4.4 Definición del Criterio y subcriterios de Priorización.

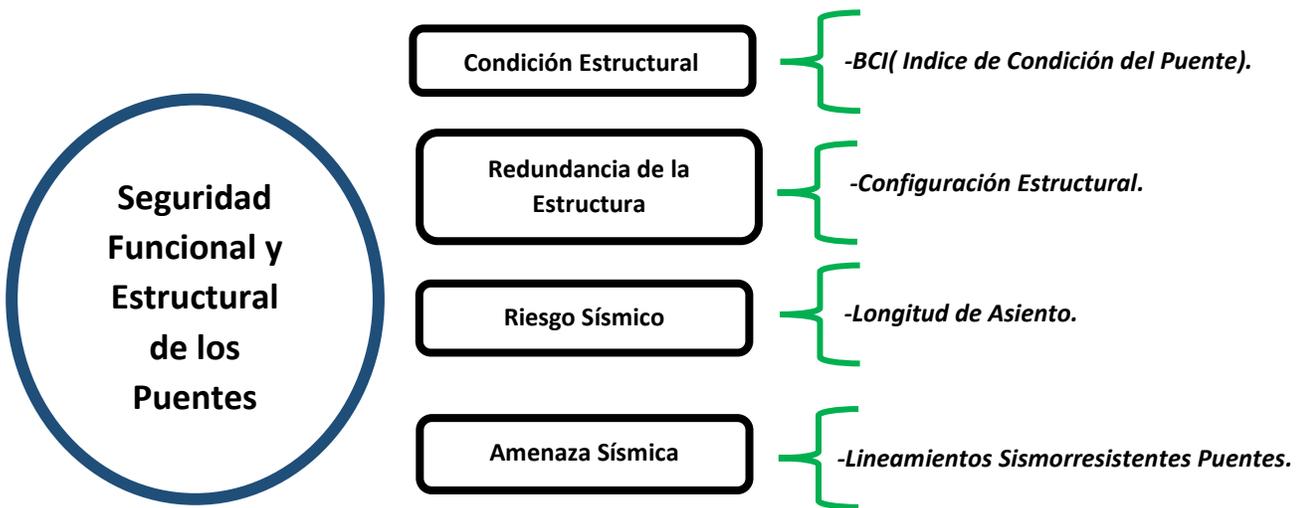


Ilustración 21:SFEP(Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes)

Fuente: Propia,2021.

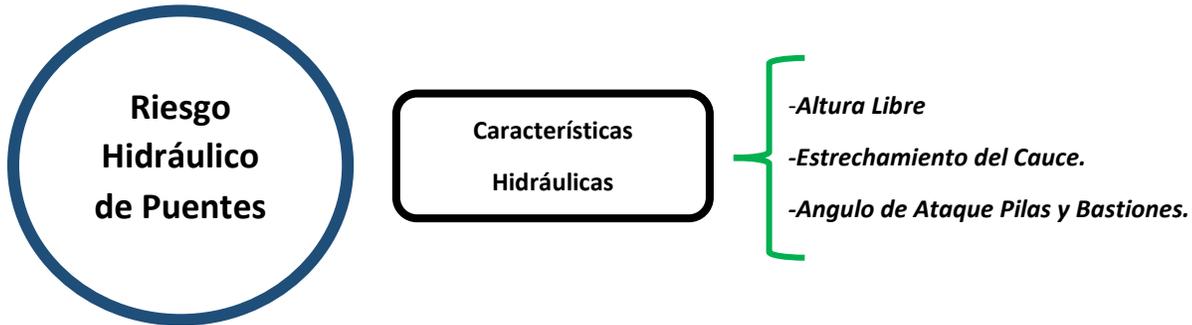


Ilustración 22: RHP (Riesgo Hidrológico de los Puentes).

Fuente: Propia,2021.

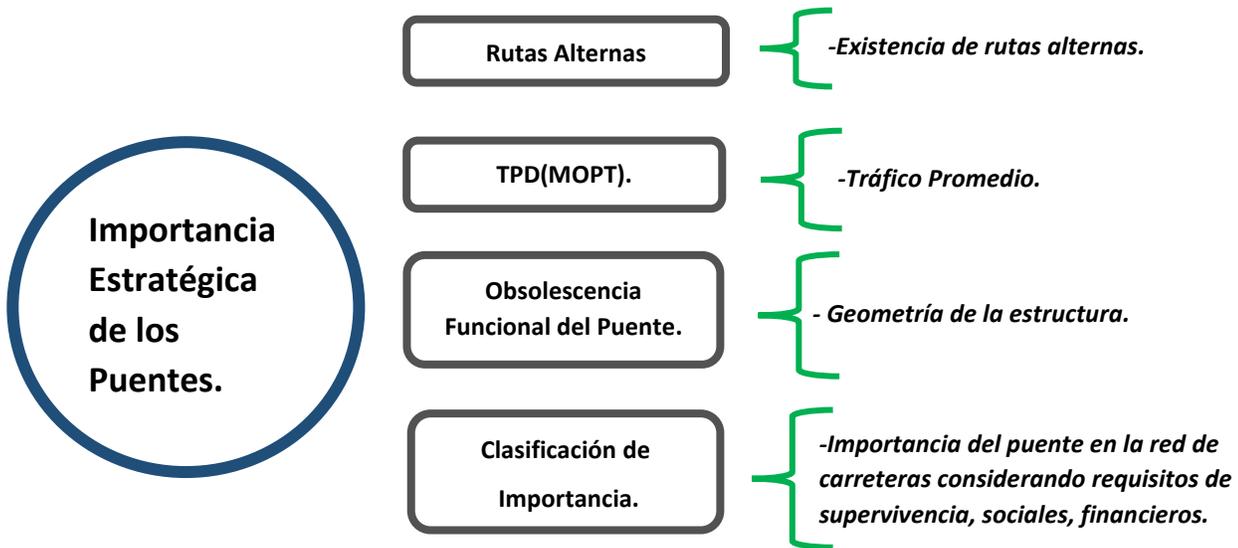


Ilustración 23: IEP (Importancia Estratégica de los Puentes).

Fuente: Propia,2021.

Tabla 8: Modelo de Priorización de Puentes de Estado Deficiente en Costa Rica.

Jerarquía de Evaluación (JE). (%).	Criterio de Priorización.	%Peso del Indicador
Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes. (SFEP) (%).	Condición Estructural.	%
	Redundancia de la Estructura.	%
	Riesgo Sísmico.	%
	Amenaza Sísmica.	%
Riesgo Hidráulico de los Puentes (RHP) (%).	Altura Libre.	%
	Estrechamiento del Cauce.	%
	Ángulo de Ataque (Bastiones).	%
Importancia Estratégica de los Puentes. (IEP) (%).	Rutas Alternas.	%
	Trafico Promedio Diario.	%
	Obsolescencia Funcional.	%
	Importancia estratégica.	%

Fuente: Propia,2021.

4.5 Construcción de variables de evaluación de los subcriterios de priorización.

Todo administrador de infraestructura debe contar con un modelo de gestión que le permita administrar adecuadamente los recursos de puentes. En el caso específico de puentes es necesario contar con un Sistema de Gestión de puentes, que no sólo involucre al área técnica, sino que involucre a toda la institución, de forma tal que los planes de intervención a corto, mediano y largo plazo se puedan ejecutar.

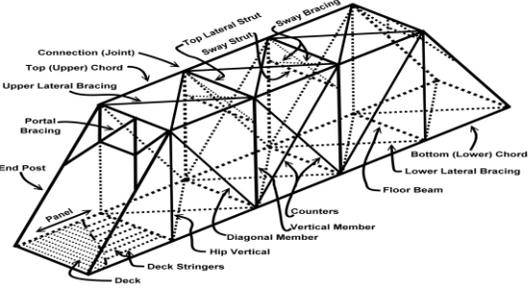
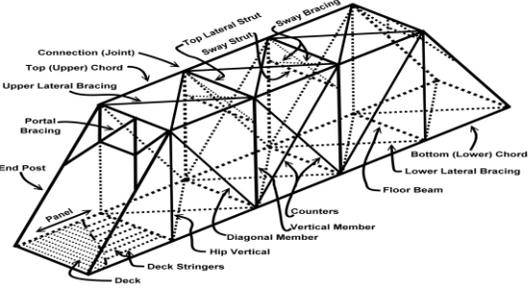
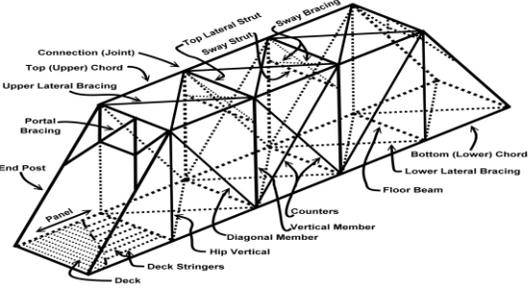
El primer elemento de un sistema de gestión es tener un objetivo claro, el cual va a depender de las condiciones en la cuales se encuentren los puentes y los recursos disponibles. Un ejemplo de objetivo en este sistema puede ser: **“Garantizar la mayor cantidad de años de servicio de un Puente, bajo los estándares de seguridad y funcionalidad adecuados”**.

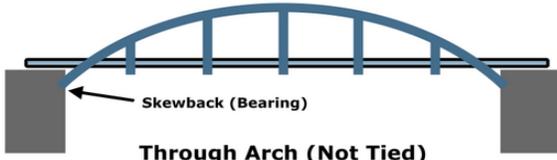
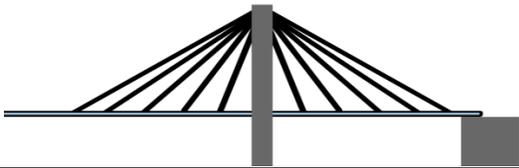
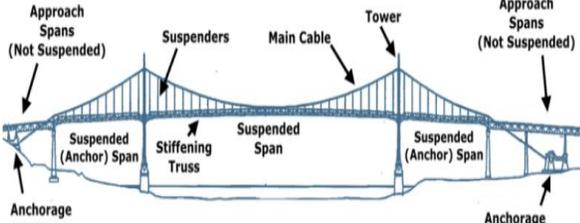
Tabla 9: Criterios y subcriterios de priorización (Índice Condición del Puente).

Nombre de Jerarquía de Priorización.	Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes (SFEP).
Criterio de Priorización	Condición Estructural (CE).
Subcriterio de Priorización	Índice de condición del Puente (BCI).
Descripción	Este indicador muestra la condición general del Puente considerando los daños principales en sus accesorios, superestructura y subestructura.
Forma de Cálculo:	$BCI = 5\% \text{ BCI accesorios} + 45\% \text{ BCI superestructura} + 50\% \text{ subestructura.}$
Interpretación	Este indicador muestra la condición general del puente. Calificando con 1 para una condición excelente, el rango de 2 a 3 una condición regular (aceptable e insatisfactorio) y el rango de 4 a 5 condición deficiente.
Modelo de Interpretación subcriterio.	 <p>1 Satisfactoria (índice < 2)</p> <p>2 Aceptable ($2 \leq \text{índice} < 3$)</p> <p>3 Insatisfactoria ($3 \leq \text{índice} < 4$)</p> <p>4 Deficiente ($4 \leq \text{índice}$)</p> <p>5 Deficiente ($4 \leq \text{índice}$)</p>

Fuente: Programa de Evaluación de Puente del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

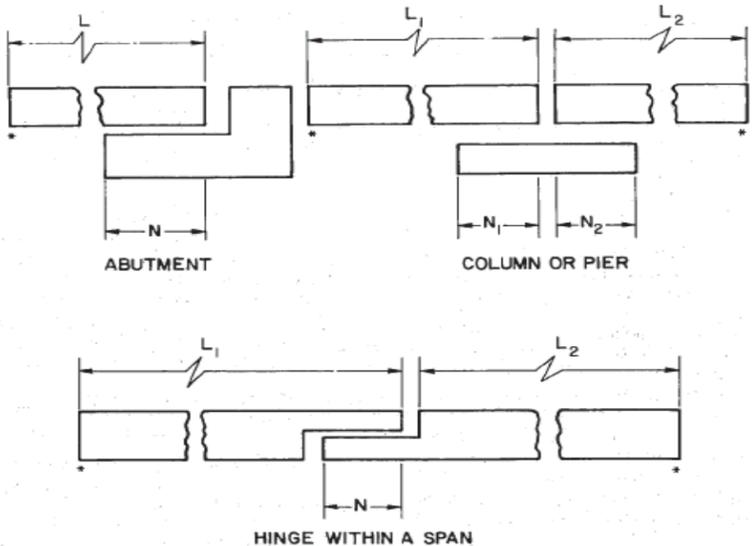
Tabla 10: Criterios y subcriterios de priorización (Factor de Importancia Significativa).

Nombre de Jerarquía de Priorización.	Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes. (SFEP)										
Criterio de Priorización	Redundancia de la Estructura de los Puentes (REP).										
Subcriterio de Priorización	Configuración Estructural de los Puentes. (CEP)										
Descripción	<p>La redundancia estructural se refiere a la capacidad de un sistema estructural de soportar cargas después del daño o la falla de uno o más de sus elementos. Verificar el estado de redundancia de un puente implica un análisis estructural detallado y el uso de un software con capacidades avanzadas para análisis no lineales.</p> <p>Respecto a los puentes, estos son estructuras sensibles a la interacción con el suelo y en el caso de los puentes largos, la respuesta sísmica puede ser menos predecible. Generalmente, el desempeño sísmico es mejor en configuraciones regulares y con una distribución uniforme de la rigidez y resistencia.</p>										
Interpretación	<p>Asignación de factor peso a la estructura con base a su configuración estructural, nos define el grado de redundancia que tiene cada estructura en caso de que ocurra un evento sísmico, el daño que le puede ocurrir a un puente por las solicitaciones sísmicas están directamente relacionado con las propiedades estructurales del puente.</p> <p>Se le asigna el grado de 1 a las estructuras que son menos vulnerables, y asigna 5 a las estructuras que son más vulnerables a solicitaciones sísmicas con base a la Configuración Estructural.</p> <table border="1" data-bbox="573 1010 1419 1835" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Configuración Estructural</th> </tr> <tr> <th style="width: 70%; text-align: center;">Configuración Estructural</th> <th style="width: 30%; text-align: center;">Factor de redundancia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> <p>Puentes de Tramos Continuos</p>  </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> <p>Puentes en Voladizo.</p> <p style="text-align: center;">Anchor Arms Cantilever Arms</p>  </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> <p>Puentes de Armadura</p>  <p style="font-size: small;">Diagrammatic Sketch of a Five Panel Pratt Through Truss Highway Bridge</p> </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">2</td> </tr> </tbody> </table>	Configuración Estructural		Configuración Estructural	Factor de redundancia	<p>Puentes de Tramos Continuos</p> 	1	<p>Puentes en Voladizo.</p> <p style="text-align: center;">Anchor Arms Cantilever Arms</p> 	1	<p>Puentes de Armadura</p>  <p style="font-size: small;">Diagrammatic Sketch of a Five Panel Pratt Through Truss Highway Bridge</p>	2
Configuración Estructural											
Configuración Estructural	Factor de redundancia										
<p>Puentes de Tramos Continuos</p> 	1										
<p>Puentes en Voladizo.</p> <p style="text-align: center;">Anchor Arms Cantilever Arms</p> 	1										
<p>Puentes de Armadura</p>  <p style="font-size: small;">Diagrammatic Sketch of a Five Panel Pratt Through Truss Highway Bridge</p>	2										

	<p style="text-align: center;">Puentes de Arco.</p> 	2	
	<p style="text-align: center;">Puente Atirantado.</p> 	4	
	<p style="text-align: center;">Puentes de Tramos Simples con una Luz</p> 	5	
	<p style="text-align: center;">Puentes Colgantes.</p>  <p style="text-align: center;">Typical Suspension Bridge And Its Parts</p>	5	
	<p style="text-align: center;">Características de vulnerabilidad de Alto Riesgo de los Puentes</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Superestructura con forma irregular, ya sea forma curvada sesgada respecto al eje del río (se consideran de alto riesgo solo en aquellos sesgos mayores a 45° grados y las curvas mayores de 90° grados. b) Puentes construidos con códigos anteriores al AASHTO 1973 debe ser considerados de alto riesgo. c) Numero de Luces: Puentes simplemente apoyados con más de una luz deben ser considerado de alto riesgo, debido al pobre comportamiento de las pilas centrales. <p style="text-align: center;">Fuente: Programa de Ingeniería Sísmica de LanammeUCR</p>	5	

Fuente: AASHTO LRFD Bridge Design Specification.

Tabla 11: Criterios y subcriterios de priorización (Seguridad y Estructural de los Puentes).

Nombre de Jerarquía de Priorización.	Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes (SFEP).
Criterio de Priorización	Riesgo Sísmico=Amenaza Sísmica x Vulnerabilidad (longitud de asiento) (RS).
Subcriterio de Priorización	Longitud Mínima de Asiento. (LMA)
Descripción	Una longitud de asiento existente menor a la requerida aumenta el riesgo de que la superestructura colapse durante un evento sísmico de importancia.
Forma de Cálculo para tramos simples (Lineamientos Sismorresistentes):	$N = I(305 + 2.50L) (1 + 0.000125S^2).$ <p>N=Longitud Mínima de Asiento. I=Factor de Importancia. L=Longitud de la Superestructura(m) S=Angulo de sesgo del apoyo medido a partir de una línea normal al claro(grados).</p>
Interpretación	<p>La longitud del asiento mínima, N, para una losa o para las vigas de una superestructura tipo losa, se define como la distancia medida desde la proyección vertical del extremo de la viga hasta el borde libre del apoyo. La longitud de asiento no debe exceder 40m.</p> <p>Para el cumplimiento se compara el ancho de asiento real con el mínimo requerido, se anota 1 si cumple y 5 si no cumple.</p>
Modelo de Interpretación subcriterio.	 <p>La configuración estructural es muy importante, debido a que eso define si la estructura es redundante o no. Cuando no es redundante, en definitiva, el ancho de asiento es fundamental, pero no siempre el puente tiene una configuración que requiera ancho de asiento.</p>

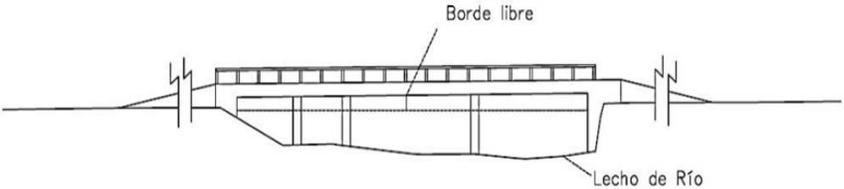
Fuente: Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes.

Tabla 12: Amenaza sísmica de puentes

Nombre de Jerarquía de Priorización	Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes (SFEP).																																																						
Criterio de Priorización	Amenaza Sísmica de los Puentes de Costa Rica (ASP).																																																						
Subcriterio de Priorización	Amenaza Sísmica de los Puentes de Costa Rica (ASP).																																																						
Descripción	Para la determinación de la Amenaza Sísmica, se tomarán datos existentes en otras fuentes de información, tales como el Código de Cimentaciones de Costa Rica, Lineamientos para el diseño sismorresistente de puentes y una tesis de grado de “Zonificación de sitios para la valoración de aceleración pico según los criterios del Código Sísmico de Costa Rica” y la aplicación del Sistema Nacional de Información Territorial(SNIT).Considerando que la máxima aceleración pico efectiva especificada por los lineamientos es de 0.588g (con falla cercana), se calcula la aceleración pico efectiva modificada por falla CaM, de acuerdo con la ubicación del puente y se calcula de la siguiente manera.																																																						
Forma de Cálculo Utilizando los (Lineamientos Sismorresistentes):	$Amenaza\ Sísmica = \frac{CaM}{0.588} \cdot 4 + 1$																																																						
Interpretación de Amenaza Sísmica.	<p>Lo primero que se debe calcular es la aceleración pico efectiva (Ca), esta se obtiene de la tabla que se muestra a continuación, la cual es parte de los Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #cccccc;">Coeficientes sísmicos espectrales</th> <th colspan="3" style="background-color: #cccccc;">C_a</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #cccccc;">Sitio de cimentación</th> <th colspan="3" style="background-color: #cccccc;">Zona de amenaza sísmica</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #cccccc;"></th> <th style="background-color: #cccccc;">II</th> <th style="background-color: #cccccc;">III</th> <th style="background-color: #cccccc;">IV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">S_1</td> <td style="text-align: center;">0.240</td> <td style="text-align: center;">0.360</td> <td style="text-align: center;">0.480</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S_2</td> <td style="text-align: center;">0.278</td> <td style="text-align: center;">0.374</td> <td style="text-align: center;">0.480</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S_3</td> <td style="text-align: center;">0.317</td> <td style="text-align: center;">0.410</td> <td style="text-align: center;">0.490</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">S_4</td> <td style="text-align: center;">0.360</td> <td style="text-align: center;">0.367</td> <td style="text-align: center;">0.432</td> </tr> </tbody> </table> <p>Una vez calculado el Ca, se debe calcular la aceleración pico efectiva modificada por fallas, esta se calcula de la siguiente forma:</p> <p style="text-align: center;">CaM = Coeficiente x Ca</p> <p>El valor del coeficiente es 1.2 y 1.1 si hay fallas Cercanas y 1 si no hay fallas cercanas, la fuente de esta información es la Comisión Nacional de Emergencias.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #cccccc;"></th> <th style="background-color: #cccccc;">Parámetro</th> <th style="background-color: #cccccc;">Nivel de Incidencia</th> <th style="background-color: #cccccc;">Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7" style="background-color: #cccccc; text-align: center;">Distancia falla respecto al trazo de una estructura.</td> <td>Atravesado por la falla.</td> <td>Muy Alto</td> <td style="text-align: center;">1,2</td> </tr> <tr> <td>Menor 25 m</td> <td>Alto</td> <td style="text-align: center;">1,2</td> </tr> <tr> <td>25- 50 m</td> <td>Medio</td> <td style="text-align: center;">1.1</td> </tr> <tr> <td>50-100 metros</td> <td>Bajo</td> <td style="text-align: center;">1.1</td> </tr> <tr> <td>Mayor 50 metros</td> <td>Muy Bajo</td> <td style="text-align: center;">1.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">No hay fallas cercanas</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1.0</td> </tr> </tbody> </table>			Coeficientes sísmicos espectrales	C_a			Sitio de cimentación	Zona de amenaza sísmica				II	III	IV	S_1	0.240	0.360	0.480	S_2	0.278	0.374	0.480	S_3	0.317	0.410	0.490	S_4	0.360	0.367	0.432		Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje	Distancia falla respecto al trazo de una estructura.	Atravesado por la falla.	Muy Alto	1,2	Menor 25 m	Alto	1,2	25- 50 m	Medio	1.1	50-100 metros	Bajo	1.1	Mayor 50 metros	Muy Bajo	1.0	No hay fallas cercanas			1.0
Coeficientes sísmicos espectrales	C_a																																																						
Sitio de cimentación	Zona de amenaza sísmica																																																						
	II	III	IV																																																				
S_1	0.240	0.360	0.480																																																				
S_2	0.278	0.374	0.480																																																				
S_3	0.317	0.410	0.490																																																				
S_4	0.360	0.367	0.432																																																				
	Parámetro	Nivel de Incidencia	Puntaje																																																				
Distancia falla respecto al trazo de una estructura.	Atravesado por la falla.	Muy Alto	1,2																																																				
	Menor 25 m	Alto	1,2																																																				
	25- 50 m	Medio	1.1																																																				
	50-100 metros	Bajo	1.1																																																				
	Mayor 50 metros	Muy Bajo	1.0																																																				
	No hay fallas cercanas			1.0																																																			

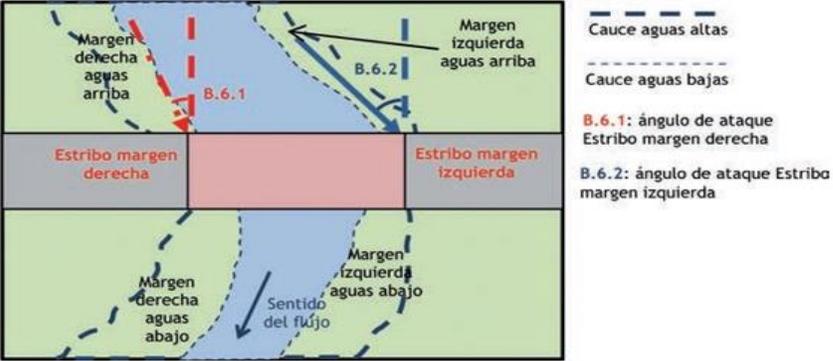
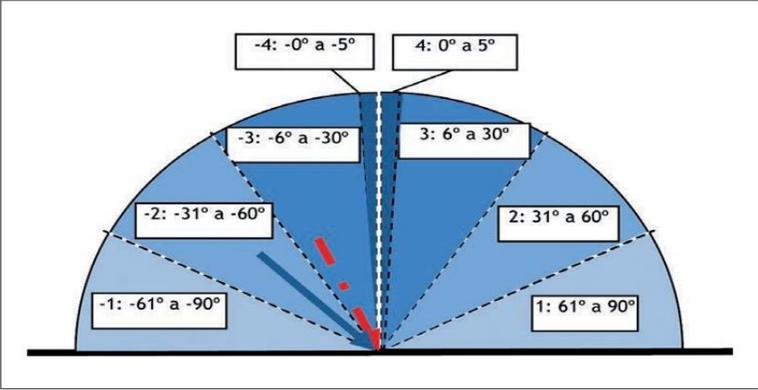
Fuente: Programa de Evaluación de Puente del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Tabla 13: Altura Libre de los Puentes.

Nombre de Jerarquía de Priorización.	Riesgo Hidráulico de los Puentes (RHP)												
Criterio de Priorización	Características Hidráulicas de los Puentes (CHP).												
Subcriterio de Priorización	<p style="text-align: center;">Altura Libre vertical inferior. (ALV)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>La gran mayoría de los cruces se diseñan de tal manera que presten un servicio permanente y continuo y su viga inferior siempre se ubica por encima del nivel de aguas o nivel máximo de diseño, considerando un borde o altura libre.</p> <p>La elevación de la altura de las aguas máxima y mínima que puede ser detectada o esperada según el periodo del análisis hidrológico para la crecida de diseño.</p>												
Descripción	<p>Altura libre superior: Altura entre la rasante del paso inferior y la menor elevación de todos los elementos que componen la carretera existente. En el caso de las cerchas es la altura entre la rasante del puente y la elevación inferior del portal o armadura frontal de la cercha.</p> <p>Altura libre vertical inferior: Altura existente entre la parte inferior de la viga de mayor peralte o altura y el nivel de agua máximo del río, o, a la rasante del camino o línea férrea para el caso de un paso superior.</p>												
Interpretación	<p>Asignación de peso con base a la altura libre del puente, donde se asigna 5 a la estructura que cuenta con una altura libre menor 1,5 metros donde hidráulicamente es más propensa a que las estructuras preste un servicio temporal debido a que la pueden afectar las siguientes consideraciones: avenidas máximas, escombros flotantes, colapso de elementos (superestructura, subestructura, accesorios).</p>												
Modelo de Interpretación subcriterio.	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Altura libre inferior h (m)</th> <th style="text-align: center;">Escala 1 a 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$h \leq 1.5$</td> <td style="text-align: center;">5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$1.5 < h \leq 3.0$</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$3.0 < h \leq 4.0$</td> <td style="text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$4.0 < h \leq 5.0$</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$5.0 < h$</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> <p>En puentes sobre cursos de agua, se debe considerar como mínimo una altura libre de 1,5 m a 2.5 m sobre el nivel máximo de aguas.</p>	Altura libre inferior h (m)	Escala 1 a 5	$h \leq 1.5$	5	$1.5 < h \leq 3.0$	4	$3.0 < h \leq 4.0$	3	$4.0 < h \leq 5.0$	2	$5.0 < h$	1
Altura libre inferior h (m)	Escala 1 a 5												
$h \leq 1.5$	5												
$1.5 < h \leq 3.0$	4												
$3.0 < h \leq 4.0$	3												
$4.0 < h \leq 5.0$	2												
$5.0 < h$	1												

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

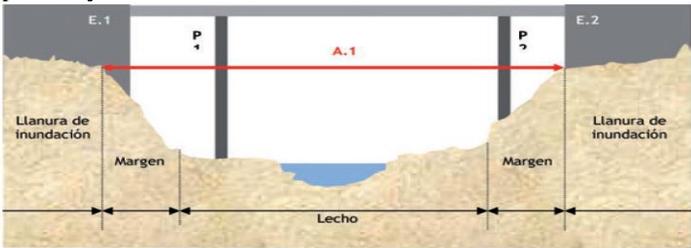
Tabla 14: Ángulo de Ataque en los Bastiones de los Puentes.

<p>Nombre de Jerarquía de Priorización.</p>	<p>Riesgo Hidráulico de los Puentes (RHP)</p>
<p>Criterio de Priorización</p>	<p>Características Hidráulicas de los Puentes (CHP).</p>
<p>Subcriterio de Priorización</p>	<p>Ángulo de Ataque a Bastiones (Estribos). (AAB) Mediante este parámetro se mide el ángulo con que incide el flujo de agua en el cauce de aguas arriba, sobre el elemento principal del estribo o bastión (según se define este elemento en el epígrafe 3.1). El ángulo es el que forma el sentido del flujo con el paramento de cada uno de los estribos (B.6.1 con el estribo núm. 1 y B.6.2 con el estribo núm. 2; ver figura 3.6.1)</p>  <p style="text-align: center;">FIGURA 3.6.1. ÁNGULO DE ATAQUE SOBRE LOS ESTRIBOS.</p>
<p>Interpretación.</p>	<p>Si el estribo se encuentra completamente fuera del cauce de aguas arriba, se deberá indicar la opción 5 «No incide».</p> <p>Si el flujo se dirige hacia la margen izquierda (como ocurre en el ejemplo de la figura 3.6.1), los dos ángulos irán precedidos por el signo «-».</p> <p>En la figura 3.6.2 se muestra una ruleta de ángulos donde situar el sentido del flujo sobre ambos estribos.</p> <p>Si el flujo se dirige hacia la margen izquierda (como ocurre en el ejemplo de la figura 4.6.1), los dos ángulos irán precedidos por el signo «-».</p>  <p style="text-align: center;">FIGURA 3.6.2. RULETA DE MEDIDA DEL «ÁNGULO DE ATAQUE EN EL ESTRIBO».</p>

Modelo de Interpretación subcriterio.	Además, se propone incorporar el ángulo de ataque (con respecto al eje longitudinal del bastión y a la pila como un elemento del riesgo hidrológico de la siguiente manera.												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ángulo de ataque α (°)</th> <th>Escala 1 a 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>61° a 90°</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>31° a 60°</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>6° a 30°</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>0° a 5°</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>No incide</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Ángulo de ataque α (°)	Escala 1 a 5	61° a 90°	5	31° a 60°	4	6° a 30°	3	0° a 5°	2	No incide	1
	Ángulo de ataque α (°)	Escala 1 a 5											
	61° a 90°	5											
	31° a 60°	4											
	6° a 30°	3											
0° a 5°	2												
No incide	1												

Fuente: Guía para la realización de Inspecciones principales de obra de paso en la Red de Carreteras del Estado.

Tabla 15:Estrechamiento del Cauce.

Nombre de Jerarquía de Priorización.	Riesgo Hidráulico de los Puentes (RHP)												
Criterio de Priorización	Características Hidráulicas de los Puentes (CHP)												
Subcriterio de Priorización	Estrechamiento del Cauce. (EC)												
Descripción	<p>El grado de estrechamiento del cauce con la estructura, definido como la relación entre la luz del puente y el ancho superior de la sección transversal con el caudal medio. Si el grado de estrechamiento o contracción es considerable, se produce un remanso muy alto, se aumenta la velocidad bajo el puente y se incrementa la socavación en las subestructuras.</p> 												
Interpretación	<p>Revisión de la Luz del Puente y del Ancho superior de la Sección T Teórica del Puente.</p> <p>Se asigna un peso relativo de 5 donde el grado de estrechamiento reduce la capacidad hidráulica hasta un 15% y se asigna un peso de 1 donde se mantiene el régimen de capacidad hidráulica con base a la sección del Puente.</p>												
Modelo de Interpretación subcriterio.	$\text{Grado de estrechamiento} = \frac{\text{Ancho de cauce aguas arriba}}{\text{Ancho de cauce aguas abajo}}$ <table border="1"> <thead> <tr> <th>Estrechamiento del cauce E</th> <th>Escala 1 a 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$1.5 < E$</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>$1.3 < E \leq 1.5$</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>$1.1 < E \leq 1.3$</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>$0.9 < E \leq 1.1$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>$E \leq 0.9$</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Estrechamiento del cauce E	Escala 1 a 5	$1.5 < E$	5	$1.3 < E \leq 1.5$	4	$1.1 < E \leq 1.3$	3	$0.9 < E \leq 1.1$	2	$E \leq 0.9$	1
Estrechamiento del cauce E	Escala 1 a 5												
$1.5 < E$	5												
$1.3 < E \leq 1.5$	4												
$1.1 < E \leq 1.3$	3												
$0.9 < E \leq 1.1$	2												
$E \leq 0.9$	1												

Fuente: Programa de Evaluación de Puente del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Tabla 16: Trafico Promedio Diario.

Jerarquía de Evaluación	Importancia Estratégica de los Puentes. (IEP)																	
Criterio de Priorización	Tráfico Promedio Diario (TPD).																	
Subcriterio de Priorización	Tráfico Promedio Diario (TPD).																	
Descripción	El volumen de tráfico promedio diario (T.P.D) se define como la relación entre el número de vehículos que pasan en un determinado periodo (días completos igual o menor a un año y mayor a un día) y el número de días del periodo. El sistema vial de Costa Rica según la Ley General de Caminos Públicos está conformado por diferentes tipos de carreteras como es la Red Vial Nacional. La primera se clasifica en tres niveles jerárquicos: redes primaria, secundaria y terciaria.																	
Forma de Cálculo:	Asignación de un peso relativo con base al Transito Promedio Diario que atraviesa cada uno de los corredores viales de las Rutas Nacionales.																	
Interpretación	<p>El tamaño y el peso de los vehículos son, luego de conocer el volumen del tráfico, los indicativos de las características geométricas y la manera que opera la carretera.</p> <p>Se asigna el peso relativo de importancia del volumen de tránsito, donde se le asigna 5 a la estructura que cuenta con un mayor volumen de tráfico y 1 a la estructura que cuenta con un menor volumen de tráfico que atraviesa con los corredores viales con base a la jerarquía de clasificación de las Rutas Nacionales (Alta Capacidad, Primaria, Secundaria).</p>																	
Modelo de Interpretación subcriterio.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nivel de Tráfico</th> <th>Peso Relativo Importancia por volumen de tránsito.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bajo (T.P.D <5000)</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Medio (5000<T.P.D<15000)</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Alto (15000< T.P.D <40000)</td> <td>5</td> </tr> <tr> <th>Clasificación de Ruta Condición Prioritaria de Servicio (CPS).</th> <th>Peso Relativo Importancia de Jerarquía de Ruta Nacional.</th> </tr> <tr> <td>Primaria y Alta Capacidad</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Secundaria.</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Terciaria.</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Nivel de Tráfico	Peso Relativo Importancia por volumen de tránsito.	Bajo (T.P.D <5000)	1	Medio (5000<T.P.D<15000)	3	Alto (15000< T.P.D <40000)	5	Clasificación de Ruta Condición Prioritaria de Servicio (CPS).	Peso Relativo Importancia de Jerarquía de Ruta Nacional.	Primaria y Alta Capacidad	5	Secundaria.	3	Terciaria.	1
Nivel de Tráfico	Peso Relativo Importancia por volumen de tránsito.																	
Bajo (T.P.D <5000)	1																	
Medio (5000<T.P.D<15000)	3																	
Alto (15000< T.P.D <40000)	5																	
Clasificación de Ruta Condición Prioritaria de Servicio (CPS).	Peso Relativo Importancia de Jerarquía de Ruta Nacional.																	
Primaria y Alta Capacidad	5																	
Secundaria.	3																	
Terciaria.	1																	

Fuente: Informe de Evaluación de la Red Nacional Pavimentada 2018-2019.

Tabla 17: Existencia de Rutas Alternas de los Puentes.

Jerarquía de Evaluación	Importancia Estratégica de los Puentes. (IEP)		
Nombre de Criterio de Priorización	Rutas Alternas. (RA)		
Nombre de Subcriterio de Priorización	<p style="text-align: center;">Existencia de Ruta Alternativa de los Puentes</p>		
Descripción	La naturaleza del lugar de un puente y el alcance del tratamiento de remediación del puente pueden hacer que los tomadores de decisiones cierren las vías del puente o creen rutas alternativas o derivaciones para controlar el flujo de tráfico.		
Forma de Cálculo:	Evaluación en cada una de las estructuras y se les asigna un peso relativo debido a las condiciones de la existencia de una ruta alterna.		
Interpretación	Este indicador muestra la limitación del acceso vial de una estructura en caso de un colapso del puente, por lo que se le asigna un factor de peso de 5 a la estructura que no cuenta con una ruta alterna donde los costos de operación pueden incrementarse (combustible, llantas, entre otras) debido a que los conductores deberán realizar recorridos más extensos y 1 a la estructura que cuenta con un acceso a paralelo donde los costos del usuario no cambian debido a la naturaleza del acceso.		
Modelo de Interpretación subcriterio.	Condiciones de Ruta Alternativa.	Peso Relativo	Descripción
	Estructura en paralelo	1	Existe una estructura cercana al puente a menos de 8 km. Esta permite el flujo de tráfico con congestión. El tiempo de viaje y costos de usuario de la carretera no cambian.
	Desviación larga.	3	Ruta alternativa a más de 8 km, aumenta el tiempo de viaje y costos de usuario de la carretera. Congestión menor es observado en el puente.
	Sin desviación	5	No existe ruta alternativa.

Fuente: Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges.

Tabla 18: Obsolescencia Funcional de los Puentes.

Jerarquía de Evaluación	Importancia Estratégica de los Puentes. (IEP)														
Criterio de Priorización	Obsolescencia Funcional del Puente. (OBsP).														
Subcriterio de Priorización	Geometría del Puente (GP)														
Descripción	Es la sumatoria de los anchos de calzada, espaldones, ciclovía, aceras y barandas														
Forma de Cálculo:	Asignación de un peso relativo con base a la condición geométrica actual.														
Interpretación	<p>Las consecuencias del congestionamiento vial son asociadas con la reducción de velocidad de tránsito de los vehículos, el retraso en los tiempos de viajes, así como, incrementos en: accidentes de tránsito, consumo de combustible adicional, desgaste de las obras viales, mayor contaminación ambiental, afectación de la calidad de vida y salud de los usuarios.</p> <p>Se le asigna un peso relativo de 5 a los puentes que cuenta con una vía y que tienen problemas de congestionamiento vial y que requiere de una ampliación en su estructura y se le asigna 1 a los puentes que no presentan problemas de congestionamiento vial de acceso a las estructuras y que no requieren una ampliación, dado a que cuenta con la cantidad de vías adaptadas a su planimetría del corredor vial(explanación).</p>														
Modelo de Interpretación subcriterio.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Condición del ancho del Puente</th> <th>Peso Relativo</th> <th>Geometría del Puente.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Insatisfactorio.</td> <td>5</td> <td>Una vía del Puente con problemas constantes para el paso de vehículo de todo tipo. La alineación de la vía de acceso se considerará intolerable sólo si la curvatura horizontal o vertical requiere una reducción sustancial de la velocidad de funcionamiento del vehículo con respecto a la del tramo de autopista.</td> </tr> <tr> <td>Satisfactorio</td> <td>3</td> <td>Dos vías del puente: vías estrechas producen el paso restringido de vehículos livianos y pesados. Una reducción de velocidad muy pequeña para el ingreso a la estructura.</td> </tr> <tr> <td>Muy Satisfactorio</td> <td>1</td> <td>Dos vías del puente: el paso restringido no existe para ningún vehículo. Cuando no se requiere una reducción de velocidad.</td> </tr> </tbody> </table>	Condición del ancho del Puente	Peso Relativo	Geometría del Puente.	Insatisfactorio.	5	Una vía del Puente con problemas constantes para el paso de vehículo de todo tipo. La alineación de la vía de acceso se considerará intolerable sólo si la curvatura horizontal o vertical requiere una reducción sustancial de la velocidad de funcionamiento del vehículo con respecto a la del tramo de autopista.	Satisfactorio	3	Dos vías del puente: vías estrechas producen el paso restringido de vehículos livianos y pesados. Una reducción de velocidad muy pequeña para el ingreso a la estructura.	Muy Satisfactorio	1	Dos vías del puente: el paso restringido no existe para ningún vehículo. Cuando no se requiere una reducción de velocidad.		
	Condición del ancho del Puente	Peso Relativo	Geometría del Puente.												
	Insatisfactorio.	5	Una vía del Puente con problemas constantes para el paso de vehículo de todo tipo. La alineación de la vía de acceso se considerará intolerable sólo si la curvatura horizontal o vertical requiere una reducción sustancial de la velocidad de funcionamiento del vehículo con respecto a la del tramo de autopista.												
	Satisfactorio	3	Dos vías del puente: vías estrechas producen el paso restringido de vehículos livianos y pesados. Una reducción de velocidad muy pequeña para el ingreso a la estructura.												
Muy Satisfactorio	1	Dos vías del puente: el paso restringido no existe para ningún vehículo. Cuando no se requiere una reducción de velocidad.													

Fuente: Diseño de un sistema de gestión de Puentes bajo enfoque de priorización de la Inversión.

Tabla 19: Factor de Importancia Operacional de los Puentes.

Jerarquía de Evaluación	Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes (SFEP).		
Criterio de Priorización	Factor de Importancia Operacional de los Puentes. (FIOP)		
Subcriterio de Priorización	Factor de Importancia Operacional de los Puentes. (FIOP)		
Descripción	Asignación de un factor importancia operacional con base a la ubicación de cada una de las estructuras.		
Forma de Cálculo:	Importancia Operacional de los Puentes.		
Interpretación	Los puentes son el elemento primordial en el funcionamiento de la infraestructura vial, debido a que representan el mayor costo por metro lineal, ya que determina la capacidad del sistema vial y en caso de un colapso generan el cierre de las vías y debido a las limitaciones del presupuestarias de los países, se debe realizar la priorización de los Puentes fundamentales ubicados en las redes estratégicas.		
Modelo de Interpretación subcriterio.	Clasificación de importancia	Descripción	Factor de importancia operacional I
	Puentes 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 a lo largo de rutas estratégicas (vías de acceso hacia hospitales, puertos, fronteras y aeropuertos).</p> <p>Puentes a lo largo de rutas cantonales en zonas urbanas importantes que conectan con 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>Puentes a lo largo de rutas primarias sin rutas alternas similares.</p>	1.25
	Puentes esenciales	<p>Puentes diseñados para soportar volúmenes importantes de tráfico o puentes a lo largo de rutas secundarias sin rutas alternas similares que no cumplen con los requisitos para puentes críticos.</p> <p>Puentes a lo largo de rutas primarias y secundarias con un tránsito promedio diario (TPD) > 5000 vehículos que no clasifican como puentes críticos.</p>	1.00
	Puentes convencionales	Puentes a lo largo de rutas primarias, secundarias y terciarias y caminos cantonales que no cumplen con los requisitos para puentes críticos y esenciales.	1.00
	Otros puentes	<p>Puentes temporales (vida útil menor o igual a 3 años).</p> <p>Puentes que brindan acceso a propiedades privadas o a lo largo de caminos dentro de dichas propiedades que no cruzan sobre vías nacionales o cantonales y cuya falla no genere perjuicios a otros y que no son críticos para mantener las comunicaciones.</p>	0.80

Fuente: Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes.

4.6 Definición de la estrategia del tipo de Intervención de las Estructuras de Puentes como caso piloto.

El tipo de intervención dependerá de un análisis específico de cada estructura, considerando la valoración de los requerimientos de la condición de la geométrica real de cada puente y el deterioro de cada subestructura, superestructura y accesorios del puente, así como la gestión y administración de los recursos que cuenta cada Departamento de Transporte de cada país para realizar la Intervención de Puentes, donde se le asigna un factor de peso relativo con base a los requerimientos de la condición real de la estructura.

Se evalúa el largo del puente, basados en el principio de que un puente más largo reviste mayor importancia debido a un mayor costo y a las dificultades ante un proceso de reconstrucción o de alternativas para sortear el obstáculo si el puente pierde funcionalidad. El largo se califica de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 20: Prioridad de Intervención por la Longitud del Puente.

Largo del Puente[m]	Tipo de puente	Prioridad sugerida
<6	muy corto	1
6<L<15	Corto	2
15<L<50	Regular	3
50<L<100	Largo	4
L>100	Muy largo	5

Fuente: Propia.

Tabla 21: Selección del Tipo de Intervención del Puente.

Tipo de Intervención del Puente.	Peso Relativo	Requerimiento de la condición real de la estructura.
Sustitución	5	El puente cuenta con una vía y los costos de intervención son superiores al 60% del costo de sustitución de un Puente o el Puente presenta incidencia de socavación en los bastiones y cuenta con un peso relativo de 4 a 5.
Rehabilitación Longitud del Puente>30 metros. Sustitución Longitud del Puente del<30 metros.	4	El puente presenta incidencia de socavación en los bastiones y cuenta con un peso relativo de 1 a 3.
Sustitución (alta capacidad, primaria y secundaria y Rehabilitación (Rutas Terciaria)	3	El puente cuenta con una vía y los costos de intervención son inferiores al 60% del costo de sustitución de un puente, pero no hay incidencias de socavación en los bastiones.
Sustitución.	2	El puente cuenta con dos vías y los costos de Intervención son iguales o superiores al 60% del costo de sustitución, pero no hay incidencias de socavación en los bastiones.
Rehabilitación.	1	El puente cuenta con dos vías y los costos de intervención son inferiores al 60% del costo de sustitución, pero no hay incidencias de socavación en los bastiones.

Fuente: Propia, 2021

4.7 Propuesta de Indicadores de Priorización para Intervención de Puente de Costa Rica.

La metodología propuesta se basa en el uso de 3 jerarquías estratégicas: SFEP, RHP, CPS, definidos como indicadores técnicos, complementando este cálculo con un indicador del tipo de Intervención de la estructura con base en la condición funcional estructural del puente, para tener finalmente una lista priorizada de intervenciones de forma integral (Rehabilitación o sustitución).

SFEP (Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes).

El análisis de la condición de SFEP nos permitirá valorar la seguridad funcional y estructural de un puente, en cuanto a su condición y mecanismos para atender las solicitaciones sísmicas de una estructura con base a su amenaza sísmica donde se refiere a la posibilidad de la interrupción del servicio si la estructura colapsa parcial o totalmente.

Ecuación 2: $SEP = 40\% \text{ Índice Condición del Puente} + 30\% \text{ Longitud Mínima de Asiento} + 15\% \text{ Configuración Estructural} + 15\% \text{ Amenaza Sísmica del Puente.}$

RHP (Riesgo Hidráulico de los Puentes).

El análisis de la condición de RHP nos permitirá determinar el grado de vulnerabilidad e incidencia con base en la ubicación de los bastiones dentro o fuera del cauce. El estrechamiento (ubicación del puente de acuerdo con sus necesidades de comunicación, o servicios que se deben dar con el puente), el ángulo de ataque lo va a determinar su ubicación y la altura se establece con criterios de diseño de la estructura (probabilidades).

Ecuación 3: $RHP = 40\% \text{ Estrechamiento del Cauce (EC)} + 30\% \text{ Ángulo de Ataque de los Bastiones} + 20\% \text{ Altura Vertical Libre Mínima.}$

Importancia Estratégica de los Puentes. (IEP)

El análisis de la condición de IEP nos permitirá valorar la funcionalidad y operatividad de ubicación de un puente. La funcionalidad se refiere a la capacidad que tiene el puente para cumplir su función, en cuanto a su geometría, cargas y la operatividad se refiere a la posibilidad de la interrupción del servicio que afecta los costos de operación de los usuarios para acceder a los servicios y medios de comunicación de transporte.

Ecuación 4: $CPS = 40\% \text{ Condiciones Importante de Servicio} + 30\% \text{ Trafico Promedio Diario (TPD)} + 20\% \text{ Obselencia Funcional de los Puentes (SVP)} + 10\% \text{ Rutas Alternas. (RA).}$

Indicador Prioritario Servicio del Puente (IPSP).

Ecuación 5: $(45\%) \text{ SFEP (Seguridad Funcional y Estructural de los Puentes)} + (35\%) \text{ HP (Hidráulica de los Puentes)} + (20\%) \text{ CPS (Condiciones Prioritarias de Servicio).}$

4.8 Inventario y Ubicación de los Puentes en Estado Deficiente Evaluados.

Para realizar la aplicación del modelo de priorización de puentes se consideró tomar una muestra de 21 puentes en estado deficiente de las 7 provincias de Costa Rica con base a la Información suministrada en los Informes de Inventario e Inspección de daños en puentes del Programa de eBridge del Tecnológico de Costa Rica, considerando aspectos de seguridad funcional y estructural de los Puentes, condiciones prioritarias de servicio, condiciones geométricas hidráulicas y aspectos socioeconómicos para definir un índice prioritario de importancia relativa con relación a los otros puentes, para así realizar la definición de la alternativa del tipo de intervención de la estructura de puentes como caso piloto. A continuación, se muestra una tabla con elementos básicos del inventario:

Tabla 22: Ubicación de los Puentes en Estado Deficiente a Evaluados.

Nombre	Provincia	Cantón	Distrito	Ruta	Estructura	Tipo Estructura	Material	Tipo Material	Categoría Largo	Longitud	Latitudes
Río Kopper	Alajuela	San Carlos	La Palmera	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	Medio (15-50m)	-84.3712	10.446
Río Aguas Zarcas	Alajuela	San Carlos	La Palmera	Secundaria	Viga	Simple	Acero	Acero	Medio (15-50m)	-84.3524	10.376
Río Delicias	Alajuela	San Carlos	Aguas Zarcas	Secundaria	Viga	Simple	Concreto	Reforzado	Corto (6 - 15m)	-84.3101	10.434
Río Agua caliente	Cartago	Cartago	Agua caliente	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	Medio (15-50m)	-83.91382	9.8350
Río Grande de Orosí	Cartago	Paraíso	Cachi	Secundaria	Colgante	Colgante	Acero	Acero	Largo (50 - 100m)	-83.8380	9.7809
Río Agua caliente	Cartago	Paraíso	Paraíso	Secundaria	Cercha	Paso Inferior	Acero	Acero	Medio (15-50m)	-83.8668	9.8076
Río Tabaco	Guanacaste	Santa Cruz	Cuajiniquil	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	Medio (15-50m)	-85.7638	10.081
Río Belén	Guanacaste	Liberia	Nacascolo	Primaria	Cercha	Paso Inferior	Acero	Acero	Largo (50 - 100m)	-85.5908	10.561
Río Nandayure	Guanacaste	Nandayure	Carmona	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	Medio (15-50m)	-85.2548	9.9971
Río Virilla	Heredia	Heredia	Ulloa	Primaria	Cercha	Paso Superior	Acero	Acero	Extralargo (> 100m)	-84.1091	9.9610
Río Chirripó	Limón	Sarapiquí	Las Horquetas	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	Extralargo (> 100m)	-83.9005	10.214
Río Toro Amarillo	Limón	Pococí	Guápiles	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	Extralargo (> 100m)	-83.8173	10.203
Quebrada Westfalia	Limón	Limón	Limón	Primaria	Viga	Simple	Acero	Acero	Medio (15-50m)	-83.0021	9.9293
Río Tárcoles	Puntarenas	Garabito	Tárcoles	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	Extralargo (> 100m)	-84.6055	9.7999
Río San Miguel	Limón	Matina	Matina	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	Medio (15-50m)	-83.3077	10.046
Río Tulin	Puntarenas	Parrita	Parrita	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	Extralargo (> 100m)	-84.5309	9.5715
Estero Boca Vieja	Puntarenas	Aguirre	Quepos	Secundaria	Viga	Simple	Acero	Acero	Largo (50 - 100m)	-84.1650	9.4328
Río Jorco	San José	Desamparados	San Miguel	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	Medio (15-50m)	84.0679	9.8844
Río Pacuar	San José	Pérez Zeledón	Daniel Flores	Secundaria	Cercha	Paso Inferior	Acero	Acero	Extralargo (>100m)	-83.6321	9.2573

Río Sucio	San José	Vásquez De Coronado	Dulce Nombre de Jesús	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	Medio (15-50m)	-83.9480	10.1472
Río Tiribi	San José	San José	Pavas	Primaria	Viga	Continua	Acero	Acero	Largo (50 - 100m)	-84.1225	9.9353

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

4.9 Ubicación de los Puentes en estado Deficiente.



Ilustración 24:Ubicación de los Puentes en estado deficiente.

Fuente: Propia, Qgiz.

4.10 Resumen de la condición de los puentes en estado deficiente.

Tabla 23: Resumen de la condición de puente en estado deficiente.

Código	Nombre	Tipo Estructura	Material	Tipo Bastión	Tipo de Pila	Tipo Cimentación	Tipo de Apoyo del Puente	OP: Observaciones principales de la estructura (Superestructura, subestructura, Accesorios). (con énfasis en deficiencias de mayor relevancia) TI: Tipo de Intervención a juicio ingenieril del evaluador
A003	Río Kopper	Viga Simple	Concreto Presforzado	B1: Marco B2: Cabezal con pilotes.	Pi: Columna sencilla.	B1: placa aislada B2: placa aislada P1 Pilotes.	B1: Expansivo. B2: Pilotes. Pi: Expansivo.	<p>OP:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agrietamiento y acero expuesto de la baranda de concreto • Ausencia de juntas de expansión y filtración de aguas, Grietas en dos direcciones y descaramiento en la losa. • Rotura, Inclinación y deformación de los apoyos, • Afectación de las protecciones de los cabezales • Socavación de Pilas y Bastiones. <p>TI: Sustitución.</p>
A225	Río Aguas Zarcas	Viga Simple	Acero	B1: Voladizo B2: Voladizo	N/A	No se tiene Información.	B1: Fijo. B2: Fijo	<p>OP:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deformación y acero expuesto de la baranda de concreto. • Ausencia de juntas de expansión y filtración de aguas, Oxidación y Corrosión de Viga. Principal y sistema de arriostramiento. • Afectación de las protecciones de los cabezales. • Socavación de Pilas y Bastiones. <p>TI: Sustitución.</p>
A282	Río Delicias	Viga Simple	Concreto Reforzado	B1: Voladizo B2: Voladizo	N/A	B1: Placa corrida B2: Placa Corrida	No se tiene Información.	<p>OP:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acero expuesto de la baranda de concreto. • Ausencia de juntas de expansión y filtración de aguas. • Grietas en una dirección de las vigas. • Afectación de las protecciones de los cabezales. • Sobre capa de pavimento asfáltico. <p>TI: Sustitución o Rehabilitación.</p>
C056	Río Agua caliente	Viga Continua	Concreto Presforzado	B1: Otros B2: Otros.	P1: Columna múltiple, P2 Columna múltiple	No se tiene Información	No se tiene Información.	<p>OP:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de juntas de expansión y filtración de aguas. • Grietas en una y dos direcciones y acero expuesto en la losa. • Grietas en dos direcciones en los bastiones. • Socavación Bastiones y Pilas. <p>TI: Rehabilitación y Sustitución.</p>
C084	Río Grande de Orosi	Colgante	Acero	B1: Gravedad. B2: Gravedad	N/A	No se tiene Información	B1: Fijo. B2: Fijo	<p>OP:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deformación y acero expuesto de la baranda de concreto, Ausencia de juntas de expansión y filtración de aguas, Oxidación y corrosión de viga principal y sistema arriostramiento. • Descaramiento • Socavación de Pilas y Bastiones. <p>TI: Rehabilitación y Sustitución.</p>

Código	Nombre	Tipo Estructura	Material	Tipo Bastión	Tipo de Pila	Tipo Cimentación	Tipo de Apoyo del Puente	OP: Observaciones principales de la estructura (Superestructura, subestructura, Accesorios). (con énfasis en deficiencias de mayor relevancia) TI: Tipo de Intervención a juicio ingenieril del evaluador
C175	Río Agua Caliente	Cercha Paso Inferior	Acero	B1: Gravedad. B2: Gravedad	N/A	No se tiene Información	B1: Fijo. B2: Expansivo.	<ul style="list-style-type: none"> OP: Oxidación de baranda de acero, Ausencia de juntas de expansión y filtración de aguas, Grietas en una dirección de las vigas. Oxidación y Corrosión de viga principal, acero de refuerzo expuesto en losa de concreto, Sobre capa de pavimento asfáltico. TI: Sustitución o Rehabilitación.
G009	Río Tabaco	Viga Continua	Concreto Presforzado	B1: Otros B2: Otros.	P1: Muro P2: Muro P3: Muro	No se tiene Información	B1: Rígido B2: Rígido. P1: Rígido P2: Rígido P3: Rígido	<ul style="list-style-type: none"> OP: Grietas en una dirección y en dos direcciones y descaramiento de la viga principal, cabezal, bastiones aletones. Nidos de piedra en viga de diafragma, bastiones y viga principal. TI: Sustitución
G026	Río Belén	Cercha Paso Inferior	Acero	B1: Voladizo B2: Voladizo	N/A	No se tiene Información.	B1: Expansivo B2: Fijo	<ul style="list-style-type: none"> OP: Agrietamiento en capa de rodamiento, oxidación y deformación de la baranda de acero. Grieta en una y dos direcciones de la losa de concreto, deformación del sistema de arriostramiento- Inclinación y deformación de los apoyos, Sobre capa de pavimento asfáltico. TI: Rehabilitación.
G167	Río Nandayure	Viga Continua	Concreto Reforzado	B1: Otros B2: Otros	P1: Columna múltiple. P2 Columna múltiple	P1: Cimentación sobre pilotes. P2 Cimentación sobre pilotes	Bi y B2: Expansivo. P1: Expansivo. P2: Expansivo.	<ul style="list-style-type: none"> OP: Acero de refuerzo de la baranda de concreto. Grietas en una dirección o dos direcciones en losa y bastiones. Socavación en pilas y bastiones, descaramiento y eflorescencia. TI: Sustitución
H020	Río Virilla	Cercha Paso Superior	Acero	B1: Gravedad. B2: Gravedad	P1: Marco Rígido. P2 Marco Rígido	No se tiene Información.	Bi y B2: Expansivo. P1: Expansivo. P2: Expansivo.	<ul style="list-style-type: none"> OP: Oxidación de baranda de acero. Grietas en una dirección y en dos direcciones de la losa. Oxidación del sistema de arriostramiento. Descaramiento en la estructura principal. Socavación en la pila. TI: Rehabilitación.
L005	Río Chirripó	Viga Continua	Concreto Presforzado	B1: Marco B2: Marco	P1: Columna sencilla. P2 Columna sencilla.	B1: placa aislada B2: placa aislada P1 placa aislada. P2: placa aislada.	Bi y B2: Expansivo. P1: Fijo P2: Fijo.	<ul style="list-style-type: none"> OP: Agrietamiento y Acero de refuerzo expuesto de baranda de concreto, Ausencia de juntas de expansión y filtración de aguas, grieta en una dirección y descaramiento de viga principal, afectaciones de las protecciones de los bastiones y socavación. Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación.

Código	Nombre	Tipo Estructura	Material	Tipo Bastión	Tipo de Pila	Tipo Cimentación	Tipo de Apoyo del Puente	OP: Observaciones principales de la estructura (Superestructura, subestructura, Accesorios). (con énfasis en deficiencias de mayor relevancia) TI: Tipo de Intervención a juicio ingenieril del evaluador
L047	Río Toro Amarillo	Viga Continua	Concreto Reforzado	B1: Marco B2: Marco	P1: Columna sencilla. P2 Columna sencilla. P3: Columna sencilla.	B1: placa aislada B2: placa aislada P1 placa aislada. P2: placa aislada P3. placa aislada.	Bi y B2: Expansivo. P1: Expansivo. P2: Expansivo P3 Expansivo	<ul style="list-style-type: none"> OP: Agrietamiento en el pavimento y en baranda de concreto. Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Nidos de piedra en viga y diafragma. Grietas en una dirección y dos en cabezales, aletones. Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación.
L002	Quebrada Westfalia	Viga Simple	Acero	B1: Voladizo B2: Voladizo	N/A	B1: Cimentación sobre pilotes. B2 Cimentación sobre pilotes	B1: Fijo. B2: Fijo	<ul style="list-style-type: none"> OP: Deformación de baranda de acero. Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Grietas en dos direcciones en losa y eflorescencia. Deformación extraña e inclinación de los apoyos. TI: Sustitución
P006	Río Tárcoles	Viga Continua	Concreto Presforzado	B1: Otros B2: Otros	P1: Muro P2: Muro P3: Muro P4: Muro	No se tiene Información.	B1 y B2: Expansivo. P1: Expansivo. P2: Expansivo P3 Expansivo P4: Expansivo	<ul style="list-style-type: none"> OP: Agrietamiento en el pavimento y en baranda de concreto. Deformación en las juntas de expansión y filtración de agua. Eflorescencia en bastiones, cabezales. Deformación extraña e inclinación de los apoyos. Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación.
L141	Río San Miguel.	Viga Simple	Concreto Presforzado	B1: Cabezal con pilotes. B2: Cabezal con pilotes.	N/A	B1: Pilotes. B2: Pilotes	B1: Expansivo B2: Fijo	<ul style="list-style-type: none"> OP: Deformación de la baranda de acero. Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Eflorescencia de viga y sistema de arriostamiento. Socavación y pendientes en los taludes de los bastiones. Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación.
P059	Río Tulin	Viga Simple	Concreto Presforzado	B1: Cabezal con pilotes. B2: Cabezal con pilotes.	P1: Columna sencilla. P2 Columna sencilla. P3: Columna sencilla. P4 Columna sencilla.	B1: Fijo. B2, P1, P2, P3, P4 No hay información.	B1 y B2: Fijo. P1: Otros. P2: Otros. P3 Otros. P4: Otros.	<ul style="list-style-type: none"> OP: Deformación y filtraciones de agua en juntas de expansión. Grietas en dos direcciones en la losa. Rotura, inclinación y deformación en los apoyos. Socavación en los bastiones. TI: Rehabilitación.
P065	Estero Boca Vieja	Viga Simple	Acero	B1: Otros B2: Otros	N/A	No se tiene Información.	B1: Expansivo B2: Fijo	<ul style="list-style-type: none"> OP: Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Eflorescencia de la losa y grieta en una dirección. Oxidación y corrosión en vigas principales y sistema de arriostamiento.

Código	Nombre	Tipo Estructura	Material	Tipo Bastión	Tipo de Pila	Tipo Cimentación	Tipo de Apoyo del Puente	OP: Observaciones principales de la estructura (Superestructura, subestructura, Accesorios). (con énfasis en deficiencias de mayor relevancia) TI: Tipo de Intervención a juicio ingenieril del evaluador
								<ul style="list-style-type: none"> Nidos de Piedra en los bastiones y socavación. Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación o Sustitución.
S025	Río Jorco	Viga Continua	Concreto Reforzado	B1: Otros B2: Otros	P1: Columna sencilla. P2 Columna sencilla.	B1: Otros. B2: Otros P1 placa aislada. P2: placa aislada	P1: Expansivo P2: Fijo B1 y B2 No se tiene información.	OP: <ul style="list-style-type: none"> Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Agrietamiento de la baranda de concreto. Grietas en una y dos direcciones en la losa. Grietas en una dirección en la viga de concreto y acero de refuerzo expuesto. Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación o Sustitución.
S051	Río Pacuar	Cercha Paso Inferior	Acero	B1: Marco B2: Marco	P1: Columna sencilla.	No se tiene Información	B1: Fijo. P1: Expansivo. B2: Fijo	OP: <ul style="list-style-type: none"> Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Oxidación de baranda de acero. Grietas en una y dos direcciones en la losa. Descaramiento de la losa y acero de refuerzo expuesto. Grietas en una dirección en la viga de concreto y acero de refuerzo expuesto. Oxidación de la viga principal de acero y del sistema de arriostramiento Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación o Sustitución.
S110	Río Sucio	Viga Continua	Concreto Reforzado	B1: Otros B2: Marco	P1: Muro P2 Columna sencilla.	B1: Otros. B2: placa aislada. P1 placa aislada. P2: placa aislada	B1: No hay información. P1: Otros P2: Otros B2: Expansivo	OP: <ul style="list-style-type: none"> Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Nidos de piedra y eflorescencia en la losa. Deformación y faltan de baranda de acero. Ondulaciones del pavimento y sobrecapa. Agrietamiento del pavimento. Socavación en los bastiones. TI: Rehabilitación o Sustitución.
S205	Río Tiribi	Viga Continua	Acero	B1: Voladizo B2: Voladizo	P1: Columna múltiple. P2 Columna múltiple	No se tiene Información.	B1: Fijo B2: Fijo. P1: Fijo. P2: Fijo.	OP: <ul style="list-style-type: none"> Ausencia y filtraciones de agua en juntas de expansión. Grieta en una y dos direcciones la losa. Descaramiento y eflorescencia en la losa. Grietas en una y dos direcciones en los bastiones. Sobre capa de asfalto. TI: Rehabilitación o Sustitución.

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

4.11 Aplicación de la propuesta del modelo de priorización en los puentes en estado deficiente.

Tabla 24: Estado cuantitativo de los puentes en estado deficiente (BCI).

Nombre	Provincia	Cantón	Distrito	Ruta	Estructura	Tipo Estructura	Material	Tipo Material	Longitud (m)	Ancho(m)	Estado Cuantitativo
Río Kopper	Alajuela	San Carlos	La palmera	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	35.7	10.32	5.00000
Río Aguas Zarcas	Alajuela	San Carlos	La palmera	Secundaria	Viga	Simple	Acero	Acero	23.5	4.30	5.00000
Río Delicias	Alajuela	San Carlos	Aguas zarcas	Secundaria	Viga	Simple	Concreto	Reforzado	13.3	13.30	4.55000
Río Agua caliente	Cartago	Cartago	Agua caliente	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	41.4	9.74	4.55000
Río Grande de Orosi	Cartago	Paraíso	Cachi	Secundaria	Colgante	Colgante	Acero	Acero	70.3	3.07	4.55000
Río Agua caliente	Cartago	Paraíso	Paraíso	Secundaria	Cercha	Paso inferior	Acero	Acero	30.35	4.70	4.05000
Río Tabaco	Guanacaste	Santa cruz	Cuajinicuil	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	48	4.00	4.05000
Río Belén	Guanacaste	Liberia	Nacascolo	Primaria	Cercha	Paso inferior	Acero	Acero	92.15	8.50	4.10000
Río Nandayure	Guanacaste	Nandayure	Carmona	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	18	6.60	5.00000
Río Virilla	Heredia	Heredia	Ulloa	Primaria	Cercha	Paso superior	Acero	Acero	106.8	7.76	4.05000
Río Chirripó	Limón	Sarapiquí	Las horquetas	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	175.8	9.00	4.10000
Río Toro Amarillo	Limón	Pococí	Guápiles	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	258.6	10.80	4.10000
Quebrada Westfalia	Limón	Limón	Limón	Primaria	Viga	Simple	Acero	Acero	15.7	4.30	5.00000
Río Tárcoles	Puntarenas	Garabito	Tárcoles	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	339	10.74	4.95000
Río San Miguel	Limón	Matina	Matina	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	25.61	10.28	5.00000
Río Tulin.	Puntarenas	Parrita	Parrita	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	170	10.4	5.00000
Estero Boca Vieja	Puntarenas	Aguirre	Quepos	Secundaria	Viga	Simple	Acero	Acero	55	10.60	4.55000
Río Jorco	San José	Desamparados	San miguel	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	31.4	10.3	5.00000
Río Pacuar	San José	Perez Zeledón	Daniel flores	Secundaria	Cercha	Paso inferior	Acero	Acero	105.65	8.5	4.55000
Río Sucio.	San José	Vásquez de coronado	Dulce nombre de Jesús	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	187.25	10.8	4.40000
Río Tiribi.	San José	San José	Pavas	Primaria	Viga	Continua	Acero	Acero	97.5	28.24	5.00000

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con base a los Informes de Inventario y Visual de Daños del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica se procede a realizar una revisión de la Longitud del Asiento de cada una de las estructuras de Puentes, el ancho de asiento es revisado mediante la aplicación de la ecuación suscrita en los Lineamientos para el diseño Sismorresistentes de Puentes de Costa Rica, ya que los resultados son más conservadores que los de la ecuación expuesta en las Especificaciones de Diseño de Puentes de la AASTHO LRFD, por lo que técnicamente para evaluar el modelo de priorización se consideró la clasificación operacional de los 21 puentes. Los Lineamientos para el diseño Sismo resistentes presentaron una modificación en las especificaciones AASHTO LRFD en su artículo 3.10.5 y en la guía AASHTO LRFD en su artículo 3.1 donde se presenta en cuatro categorías según su importancia operacional: puentes críticos, puentes esenciales, puentes convencionales y otros puentes.

Los puentes que presentaban una estructura y configuración tipo: “viga continua”, el ancho de asiento de la subestructura fue evaluado solamente en los bastiones del puente, debido a su configuración monolítica de conexión con las pilas. Para ello se le asignó una escala de cumplimiento con base la longitud de asiento mínima permisible, siendo 5 con un peso relativo en el cual el ancho del asiento de la subestructura no cumple, y utilizando un 1 para el cumplimiento del ancho de asiento mínimo permisible para atender las solicitaciones sísmicas.

Tabla 25: Riesgo Sísmico de la Estructuras de Puentes.

Riesgo Sísmico=Amenaza Sísmica x Vulnerabilidad (Longitud de Asiento).											
Código del Puente	Nombre del Puente	Tipo de Estructura	Subestructura						Cantidad de Tramos del Puente		
			Longitud de asiento(m)	Tramo Simple	Mas de Dos Tramos	Longitud de la Superestructura(m)					
			B1	P1	P2	P3	P4	B2			
A003	Río Kopper	Viga Simple	0.5	0.35	N/A	N/A	N/A	0.8	X		35.7
A225	Río Aguas Zarcas	Viga Simple	0.5	N/A	N/A	N/A	N/A	0.5	X		23.5
A282	Río Delicias	Viga Simple	0.45	N/A	N/A	N/A	N/A	0.45	X		13.3
C056	Río Agua Caliente	Viga Continua	0.5	0.00	0.00	N/A	N/A	0.5		X	41.4
C084	Río Grande de Orosi	Colgante	0.3	N/A	N/A	N/A	N/A	0.3	X		70.3
C175	Río Agua Caliente	Cercha de paso inferior	0.45	N/A	N/A	N/A	N/A	0.45	X		30.35
G009	Río Tabaco	Viga Continua	0.00	0.00	0.00	0.00	N/A	0.00		X	48
G026	Río Belén	Cercha de paso inferior	0.8	N/A	N/A	N/A	N/A	0.8	X		92.15
G167	Río Nandayure	Viga Continua	0.00	0.00	N/A	N/A	N/A	0.00	X		18

Riesgo Sísmico=Amenaza Sísmica x Vulnerabilidad (Longitud de Asiento).											
H020	Río Virilla	Cercha de paso inferior	0.55	0.60	0.60	N/A	N/A	0.55		X	106.8
L005	Río Chirripó	Viga Continua	1.5	0.00	0.00	N/A	N/A	1.5		X	175.8
L047	Río Toro Amarillo	Viga Continua	1.7	0.00	0.00	0.00	N/A	1.7		X	258.6
L002	Quebrada Westfalia	Viga Continua	1.5	N/A	N/A	N/A	N/A	1.5		X	15.7
P006	Río Tárcoles	Viga Continua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		X	339
L141	Río San Miguel	Viga Simple	1.1	N/A	N/A	N/A	N/A	1.1	X		25.61
P059	Río Tusubres	Viga Simple	1.46	0.725	0.725	0.725	0.725	1.46		X	170
P065	Estero Boca Vieja	Viga Simple	0.7	N/A	N/A	N/A	N/A	0.7	X		55
S025	Río Jorco	Viga Continua	0	0.76	0.76	N/A	N/A	0		X	31.4
S051	Río Pacuar	Cercha de paso inferior	0.9	0.6	N/A	N/A	N/A	0.8	X		105.65
S110	Río Sucio	Viga Continua	0.00	0.00	0.00	N/A	N/A	1.125		X	187.25
S205	Río Tiribi	Viga Continua	1.2	0.00	0.00	N/A	N/A	1.2		X	97.5

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Tabla 26:Longitud Mínima de Asiento.

Longitud Mínima de Asiento (mm).										
Código.	Nombre del Puentes	NºRuta	TPD	Clasificación	Factor de Importancia Operacional :1 Críticos, 3 Esenciales, 5 Convencionales	Sesgo de apoyo (Grados).	Tipo de Apoyo del Puente		Longitud Mínima de Asiento(m)	Evaluación del Asiento de la subestructura. Cumple:1 y No cumple:5
A003	Río Kopper	4	5338	Primaria	Críticos	0	Apoyo Fijo Y Expansivo	Apoyo Fijo Y Expansivo	0.59	5
A225	Río Aguas Zarcas	140	7096	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo	0.36	1
A282	Río Delicias	250	5338	Secundaria	Esenciales	45	Se desconoce	Se desconoce	0.42	1
C056	Río Agua Caliente	231	9163	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo	0.41	1

Longitud Mínima de Asiento (mm).										
Código.	Nombre del Puentes	Nº Ruta	TPD	Clasificación	Factor de Importancia Operacional :1 Críticos, 3 Esenciales, 5 Convencionales	Sesgo de apoyo (Grados).	Tipo de Apoyo del Puente		Longitud Mínima de Asiento(m)	Evaluación del Asiento de la subestructura. Cumple:1 y No cumple:5
C084	Río Grande de Orosi	224	3215	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Fijo	Apoyo Fijo	0.48	5
C175	Río Agua Caliente	224	8460	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Fijo	Apoyo Expansivo	0.38	1
G009	Río Tabaco	160	267	Secundaria	Críticos	0	Apoyo Rígido	Apoyo Rígido	0.64	5
G026	Río Belén	21	11005	Primaria	Críticos	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo	0.80	1
G167	Río Nandayure	161	1867	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo Y Expansivo	0.35	5
H020	Río Virilla	3	44869	Primaria	Críticos	0	Apoyo Fijo	Apoyo Fijo	0.86	5
L005	Río Chirripó	4	5406	Primaria	Críticos	0	Apoyo Expansivo y Fijo.	Apoyo Expansivo y Fijo.	1.12	1
L047	Río Toro Amarillo	32	11890	Primaria	Críticos	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Expansivo	1.43	1
L002	Quebrada Westfalia	36	4385	Primaria	Críticos	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo	0.52	1
P006	Río Tárcoles	34	10843	Primaria	Críticos	0	Apoyo Fijo	Apoyo Fijo	1.73	5
L141	Río San Miguel	32	6791	Primaria	Críticos	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo	0.55	1
P059	Río Tusubres	34	12057	Primaria	Críticos	0	Apoyo Fijo	Otros	1.10	5
P065	Estero Boca Vieja	235	9211	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo	0.44	1
S025	Río Jorco	209	26884	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Expansivo	Apoyo Fijo	0.38	5
S051	Río Pacuar	244	3281	Secundaria	Esenciales	0	Apoyo Fijo Y Expansivo	Apoyo Fijo Y Expansivo	0.57	1
S110	Río Sucio	234	13173	Primaria	Esenciales	0	Otros	Apoyo Expansivo	0.77	5
S205	Río Tiribi	27	86872	Primaria	Críticos	0	Apoyo Fijo	Apoyo Fijo	0.82	1

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con base a los Informes de Inventario e Inspección de daños de puentes del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica se procede a realizar una revisión de las condiciones geométricas actuales de las rutas nacionales para proceder a asignar un peso relativo con base al ancho mínimo requerido de los carriles del puente establecidos en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras(SIECA 2011) sobre la cual circula un cierto tránsito vehicular, permitiendo el desplazamiento cómodo y seguro del mismo. Divididas o no, las carreteras pueden estar formadas por dos o más carriles de circulación por sentido, afectando los costos de operación del usuario; ya que en algunos casos el usuario debe detenerse para ceder el paso a una flotilla vehicular con base en las limitaciones tanto del corredor vial como para realizar el ingreso a la estructura del Puente.

Para esta evaluación se asignó un peso relativo 1 para una condición muy satisfactoria y 5 una condición que la sección transversal de la vía es dos carriles y la del puente en un carril siendo esta una condición insatisfactoria.

Tabla 27: Obsolescencia Funcional de Puente.

Código del Puente	Nombre del Puentes	Geometría del Puente				Peso Relativo de Obsolescencia Funcional del Puente
		Geometría de la Ruta Nacional N° Carriles.	Cantidad de Carriles del Puente	Ancho de la calzada	Condición del ancho del Puente	
A003	Río Kopper	2	2	8.5 metros	Muy Satisfactorio	1
A225	Río Aguas Zarcas	2	1	4.3 metros	Insatisfactorio	5
A282	Río Delicias	2	2	7.05 metros	Satisfactorio	3
C056	Río Agua Caliente	2	2	7.5 metros	Muy Satisfactorio	1
C084	Río Grande de Orosi	2	1	6.6 metros	Insatisfactorio	5
C175	Río Agua Caliente	2	1	4.7 metros	Insatisfactorio	5
G009	Río Tabaco	2	1	4.0 metros	Insatisfactorio	5
G026	Río Belén	2	1	7.3 metros	Insatisfactorio	5
G167	Río Nandayure	2	1	6.0 metros	Insatisfactorio	5
H020	Río Virilla	2	2	7.00 metros	Satisfactorio	3
L005	Río Chirripó	2	2	9.00. metros	Muy Satisfactorio	1
L047	Río Toro Amarillo	2	2	9.9 metros	Muy Satisfactorio	1
L002	Quebrada Westfalia	2	1	4.3 metros	Insatisfactorio	5
P006	Río Tárcoles	2	2	10.74 metros	Muy Satisfactorio	1

Código del Puente	Nombre del Puentes	Geometría del Puente				Peso Relativo de Obsolescencia Funcional del Puente
		Geometría de la Ruta Nacional N° Carriles.	Cantidad de Carriles del Puente	Ancho de la calzada	Condición del ancho del Puente	
L141	Río San Miguel	2	2	7.30 metros	Muy Satisfactorio	1
P059	Río Tusubres	2	2	8.6 metros	Muy Satisfactorio	1
P065	Estero Boca Vieja	2	2	7.3 metros	Muy Satisfactorio	1
S025	Río Jorco	2	2	8.5 metros	Muy Satisfactorio	1
S051	Río Pacuar	2	2	5.8 metros	Satisfactorio	3
S110	Río Sucio	2	2	10.0 metros	Muy Satisfactorio	1
S205	Río Tiribi	3	3	26.00 metros	Muy Satisfactorio	1

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con base a los Informes de inventario e Inspección visual de daños de puentes del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica se procede a realizar una asignación de peso relativo de redundancia de la estructura con base en la configuración estructural de los puentes, donde nos define el grado de redundancia que tiene cada estructura en caso de que ocurra un evento sísmico. Los puentes son obras civiles de las que se requiere su integridad estructural y accesibilidad después de la ocurrencia de un sismo. Sin embargo, a través de los años se ha demostrado que algunos sistemas son más vulnerables, por su importancia estratégica de comunicación inter e intraurbana, son sistemas para los que se debe garantizar su uso para las comunicaciones de emergencia. Por lo tanto, con base a los datos conocidos de los puentes se evalúa tanto la configuración estructural y el pobre comportamiento de las pilas con base en las condiciones de diseño asignadas al puente. Por lo tanto, se asigna un peso de 1 a los puentes que cuenta con una configuración estructural menos vulnerables a un colapso parcial o total de la estructura y 5 a los puentes que cuenta con una configuración estructural más vulnerable o que presentan una característica a un riesgo alto ante una eventual sollicitación sísmica (Puentes simplemente apoyados con más de una luz).

Tabla 28: Redundancia de la estructura-configuración estructural.

Código del Puente	Nombre del Puentes	Redundancia de la Estructura - Configuración Estructural del Puente					Factor de Redundancia	
		Estructura	Tipo de Estructura	Material	Alineación de la plata	Fecha de Construcción	N°1 Tramos o Luces	Factor de Redundancia
A003	Río Kopper	Viga	Viga simple	Concreto Presforzado	Recta	1982	2	5
A225	Río Aguas Zarcas	Viga	Viga simple	Acero	Recta	No hay registro	1	5
A282	Río Delicias	Viga	Viga simple	Concreto Presforzado	Sesgo 45	No hay registro	1	5
C056	Río Agua Caliente	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	1994	1	1
C084	Río Grande de Orosi	Colgante	Colgante	Acero	Recta	No hay Registro	1	5
C175	Río Agua Caliente	Cercha	Paso inferior	Concreto Presforzado	Recta	1942	1	2
G009	Río Tabaco	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	No hay registro	1	1
G026	Río Belén	Cercha	Paso inferior	Acero	Recta	No hay Registro	1	2
G167	Río Nandayure	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	1962	2	5
H020	Río Virilla	Cercha	Paso inferior	Acero	Recta	1986	1	2
L005	Río Chirripó	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	No hay registro	3	1
L047	Río Toro Amarillo	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	1975	1	1
L002	Quebrada Westfalia	Viga	Viga continua	Acero	Recta	No hay registro	1	1
P006	Río Tárcoles	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	1978	1	1
L141	Río San Miguel	Viga	Viga simple	Concreto Presforzado	Recta	1974	1	5
P059	Río Tusubres	Viga	Viga simple	Concreto Presforzado	Recta	1978	5	5
P065	Estero Boca Vieja	Viga	Viga simple	Acero	Recta	No hay registro	1	5
S025	Río Jorco	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	No hay registro	3	1
S051	Río Pacuar	Cercha	Paso inferior	Acero	Recta	No hay Registro	2	2
S110	Río Sucio	Viga	Viga continua	Concreto Presforzado	Recta	1986	1	1

Código del Punte	Nombre del Puentes	Redundancia de la Estructura - Configuración Estructural del Punte					Factor de Redundancia	
		Estructura	Tipo de Estructura	Material	Alineación de la plata	Fecha de Construcción	Nº1 Tramos o Luces	Factor de Redundancia
							1	1
S205	Río Tiribi	Viga	Viga continua	Acero	Recta	No hay registro	1	1

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con base en los Informes de Inventario e Inspección Visual de Daños de puentes del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica y a la clasificación establecida en la Ley General de Caminos Públicos el enfoque de los criterios emitidos en el Plan Nacional de Transportes 2011-2035 se consideró la jerarquía de importancia operacional con base al análisis del sistema de transportes.

Para la Red Vial Nacional Estratégica es importante considerar los puentes que cuenta con una distribución de los tráfico hacia los principales centros de población, producción o turismo para asignar el peso relativo de importancia para designar o seleccionar la alternativa de solución considerando el tráfico promedio diario y la importancia de mitigar tanto colapso parcial o total en esta ruta nacional que presenta una importancia estratégica de conexión de un volumen de tránsito importante. En este análisis de partida la RVN está clasificada en tres niveles jerárquicos: redes primarias, secundaria y terciara.

Tabla 29: Condiciones Prioritarias de Servicio.

Código del Puente	Nombre del Puente	Nº Ruta Nacional	Tráfico Promedio Diario	Clasificación	Peso Relativo Importancia de estratégica de la Rutas.	Peso Relativo Importancia del Tráfico Promedio Diario.
A003	Río Kopper	4	5338	Primaria	5	3
A225	Río Aguas Zarcas	140	7096	Secundaria	3	3
A282	Río Delicias	250	5338	Secundaria	3	3
C056	Río Agua Caliente	231	9163	Secundaria	3	3
C084	Río Grande de Orosi	224	3215	Secundaria	3	1
C175	Río Agua Caliente	224	8460	Secundaria	3	3
G009	Río Tabaco	160	267	Secundaria	3	1
G026	Río Belén	21	11005	Primaria	5	3
G167	Río Nandayure	161	1867	Secundaria	3	1
H020	Río Virilla	3	44869	Primaria	5	3
L005	Río Chirripó	4	5406	Primaria	5	3
L047	Río Toro Amarillo	32	11890	Primaria	5	3
L002	Quebrada Westfalia	36	4385	Primaria	5	1
P006	Río Tárcoles	34	10843	Primaria	5	3
L141	Río San Miguel	32	6791	Primaria	3	3
P059	Río Tusubres	34	12057	Primaria	5	3
P065	Estero Boca Vieja	235	9211	Secundaria	3	1
S025	Río Jorco	209	26884	Secundaria	3	5
S051	Río Pacuar	244	3281	Secundaria	3	1
S110	Río Sucio	32	13173	Primaria	5	3
S205	Río Tiribi	27	86872	Primaria	5	3

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con base a los datos registrados en los Informes de inventario e inspección visual de daños de puentes del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica y el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas, en este modelo de priorización se consideró el criterio de priorización establecido por el programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica con base en los datos y parámetros de diseño geométricos e hidráulicos establecidos para cada una de las estructuras de puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes: geometría del puente, sección transversal(longitud entre apoyos y las distancias horizontales(anchos de carriles, espaldones, aceras, bordillos y medianas).

Dado que la definición de la altura libre de los puentes es un parámetro hidráulico fundamental para establecer la selección del tipo de superestructura y de subestructura, como para delimitar y limitar las capacidades hidráulicas del puente, así como para permitir el nivel de aguas a partir del nivel de crecida máxima esperada con escombros, por consecuente se evalúa la condición más crítica de evaluación, donde al menos deberá cumplir y considerar la distancia de borde libre del puente. El incremento en el tirante hidráulico obedece a los excesivos caudales de agua en ríos, transporte de escombros, acumulaciones de material azolvado, entre otros. Estos valores variarían según las normativas de cada país de la región y de las características propias del proyecto.

Tabla 30: Riesgo Hidráulico de Puentes- Altura Libre del Puente.

Código del Puente	Nombre del Puente	Nº Ruta Nacional	Altura Libre de Puente(m)	Peso Relativo Altura Libre de los Puentes.
A003	Río Kopper	234	1.50	5
A225	Río Aguas Zarcas	36	9.00	1
A282	Río Delicias	801	2.10	4
C056	Río Agua Caliente	415	8.50	1
C084	Río Grande de Orosi	32	1.86	4
C175	Río Agua Caliente	32	9.75	1
G009	Río Tabaco	36	4.5	2
G026	Río Belén	249	12.00	1
G167	Río Nandayure	161	2.22	4
H020	Río Virilla	3	13.80	1
L005	Río Chirripó	249	8.50	1
L047	Río Toro Amarillo	32	3.34	3

Código del Puente	Nombre del Puente	Nº Ruta Nacional	Altura Libre de Puente(m)	Peso Relativo Altura Libre de los Puentes.
L002	Quebrada Westfalia	32	0.5	5
P006	Río Tárcoles	36	6.0	1
L141	Río San Miguel	32	3.0	3
P059	Río Tusubres	36	8.30	1
P065	Estero Boca Vieja	235	1.10	5
S025	Río Jorco	32	9.16	1
S051	Río Pacuar	806	4.10	2
S110	Río Sucio	234	3.20	3
S205	Río Tiribi	234	33.00	1

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP)

Con base a los datos registros en el informes de inventario e inspección visual de daños de puentes del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica, se procede evaluar la existencia de si el puente posee o no una ruta alterna en caso de un eventual colapso parcial o total; ya que los costos operativos de los vehículos, contemplan los costos asociados al consumo de combustible, necesidad de mantenimiento del vehículo, desgaste de neumáticos, afectaciones en la salud pública en los usuarios que se transportan por nuestros corredores viales de nuestro país, entre otras. Por ende, para este criterio se estableció un peso relativo con base en las consideraciones del Sistema de Transportes de los Estados Unidos donde se establece una distancia de recorrido alterna que si bien cierto aumenta los costos de operación este es parámetro aceptable ante un eventual desvío en caso de un mantenimiento, rehabilitación y sustitución de un puente para habilitar las condiciones operativas y funcionales del tránsito.

Tabla 31: Importancia Estratégica Existencia de Ruta Alterna.

Código del Puente	Nombre del Puente	Nº Ruta Nacional	Existencia de Ruta Alterna	Longitud de Ruta Alterna(km)	Nº Ruta Nacional Alterna	Peso Relativo de Existencia de la Ruta Alterna
A003	Río Kopper	4	Sí posee	10	Ruta 747-751	3
A225	Río Aguas Zarcas	140	Sí posee	25.18	Ruta 748-747-4-751-250	3
A282	Río Delicias	250	Sí posee	28.24	Ruta 140-744	3
C056	Río Agua Caliente	231	Sí posee	25.94	Ruta 10-224-405	3

C084	Río Grande de Orosi	224	No posee	N/ A	N/ A	5
C175	Río Agua Caliente	224	Sí posee	7.03	Mixta (Nacional-Vecinal)	3
G009	Río Tabaco	160	Sí posee	84.00	Ruta 21-137-319-320	5
G026	Río Belén	21	Sí posee	50	Ruta 18	3
G167	Río Nandayure	161	Sí posee	2.80	Calles De Carmona	1
H020	Río Virilla	3	Sí posee	13.27	Ruta 1-111-106	3
L005	Río Chirripó	4	Sí posee	86.00	Ruta 507-817-249	3
L047	Río Toro Amarillo	32	Sí posee	113.27	Ruta 2 -Ruta 10 (Turrialba)	3
L002	Quebrada Westfalia	36	Sí posee	13.00	Limón (R.32)-Rio Banano (R.241)	3
P006	Río Tárcoles	34	Sí posee	64.00	Ruta 21-137-319-320	3
L141	Río San Miguel	32	Sí posee	14.28	Ruta 805	3
P059	Río Tusubres	34	Sí posee	62.98	Ruta 320-319-239	3
P065	Estero Boca Vieja	235	Sí posee	8.13	Ruta 34-235	3
S025	Río Jorco	209	Sí posee	10.48	Ruta 213-39-214	3
S051	Río Pacuar	244	Sí posee	17.65	Camino a Paso Beit-Ribera-Patio de Agua-Reyes	3
S110	Río Sucio	32	Sí posee	113.27	Ruta 2 -Ruta 10 (Turrialba)	3
S205	Río Tiribi	27	Sí posee	2.82	Ruta 105-167-39	1

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con apoyo de los mapas y capas del Sistema Nacional de Información Territorial del Instituto Geográfico Nacional se identificó las curvas de nivel, la geografía, hidrografía y los ríos, entre otros; esto con el fin de evaluar la capacidad hidráulica existente y así poder determinar el grado de estrechamiento del cauce ; considerando la sección, la delimitación de la sección transversal existente tanto aguas arriba como aguas abajo, “el ancho efectivo del cauce es descontando el ancho de las pilas, si el ángulo de ataque del flujo al puente es nulo, el ancho proyectado de las pilas en sentido normal a la corriente o si el puente está sesgado”.



Ilustración 25: Revisión de ancho del cauce Puentes sobre el Río Kooper A003

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

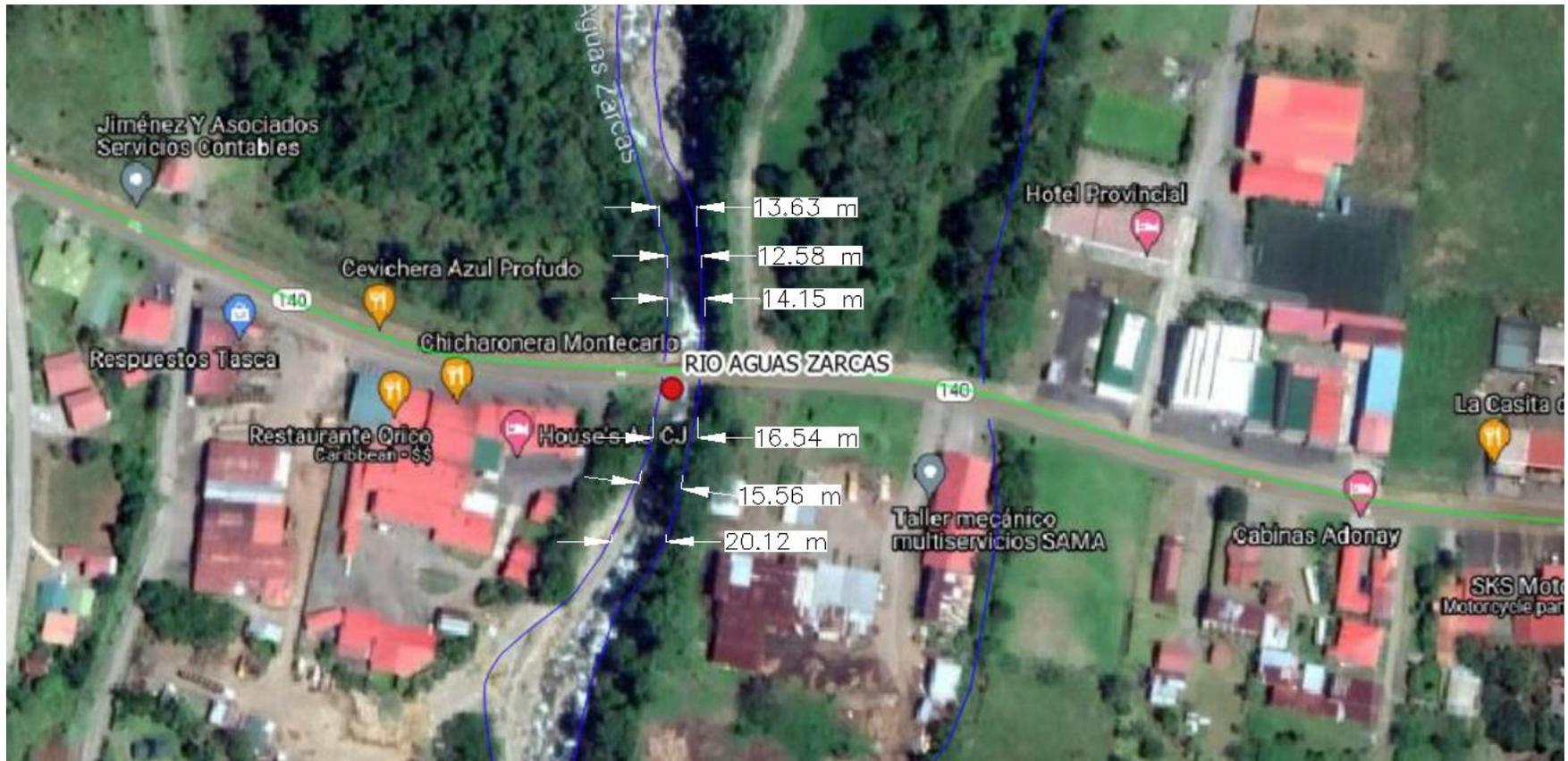


Ilustración 26: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Aguas Zarcas A225

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 27: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Delicias A282

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

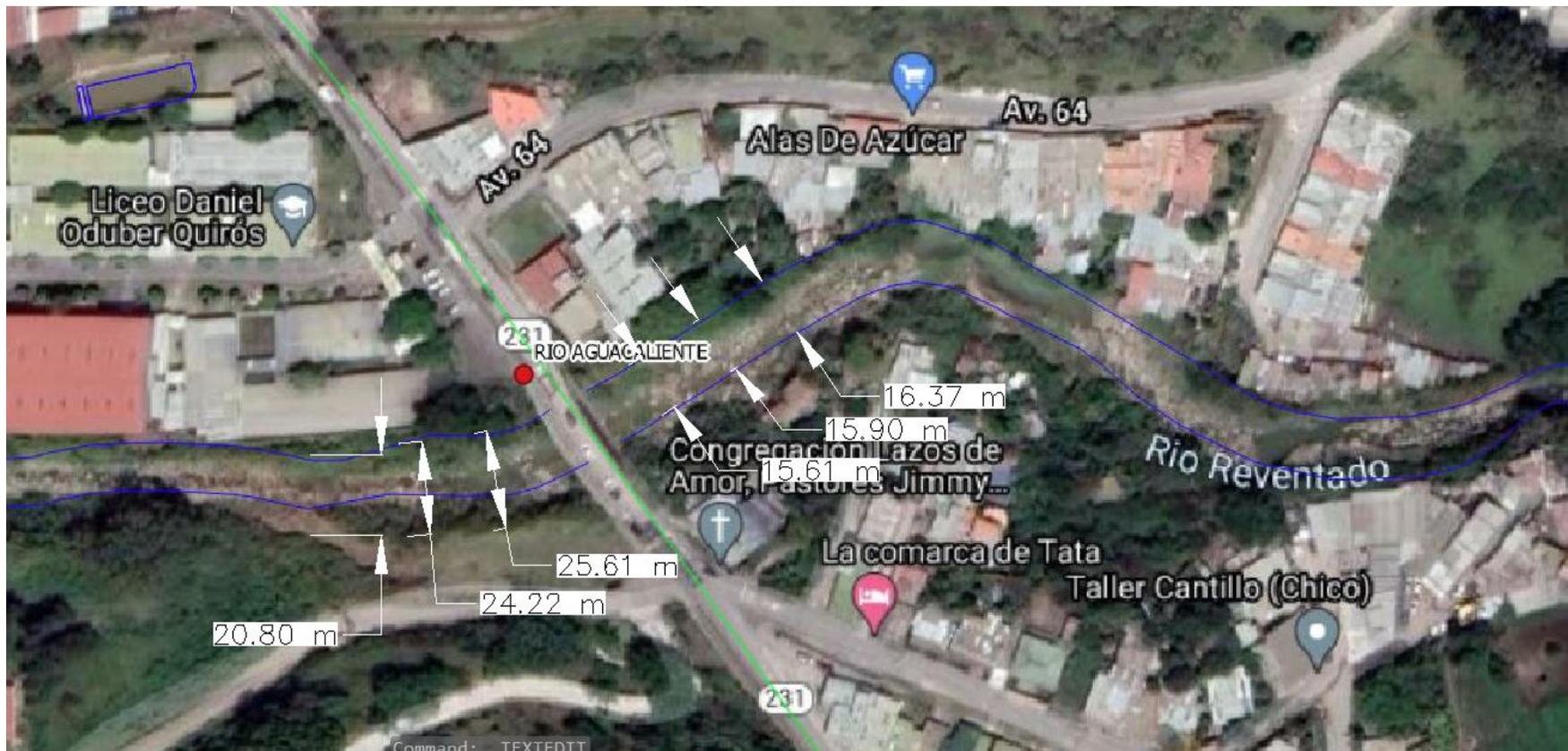


Ilustración 28: Revisión de ancho del cauce Puentes sobre el Río Agua Caliente C056

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 29: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Grande Orosi C084

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

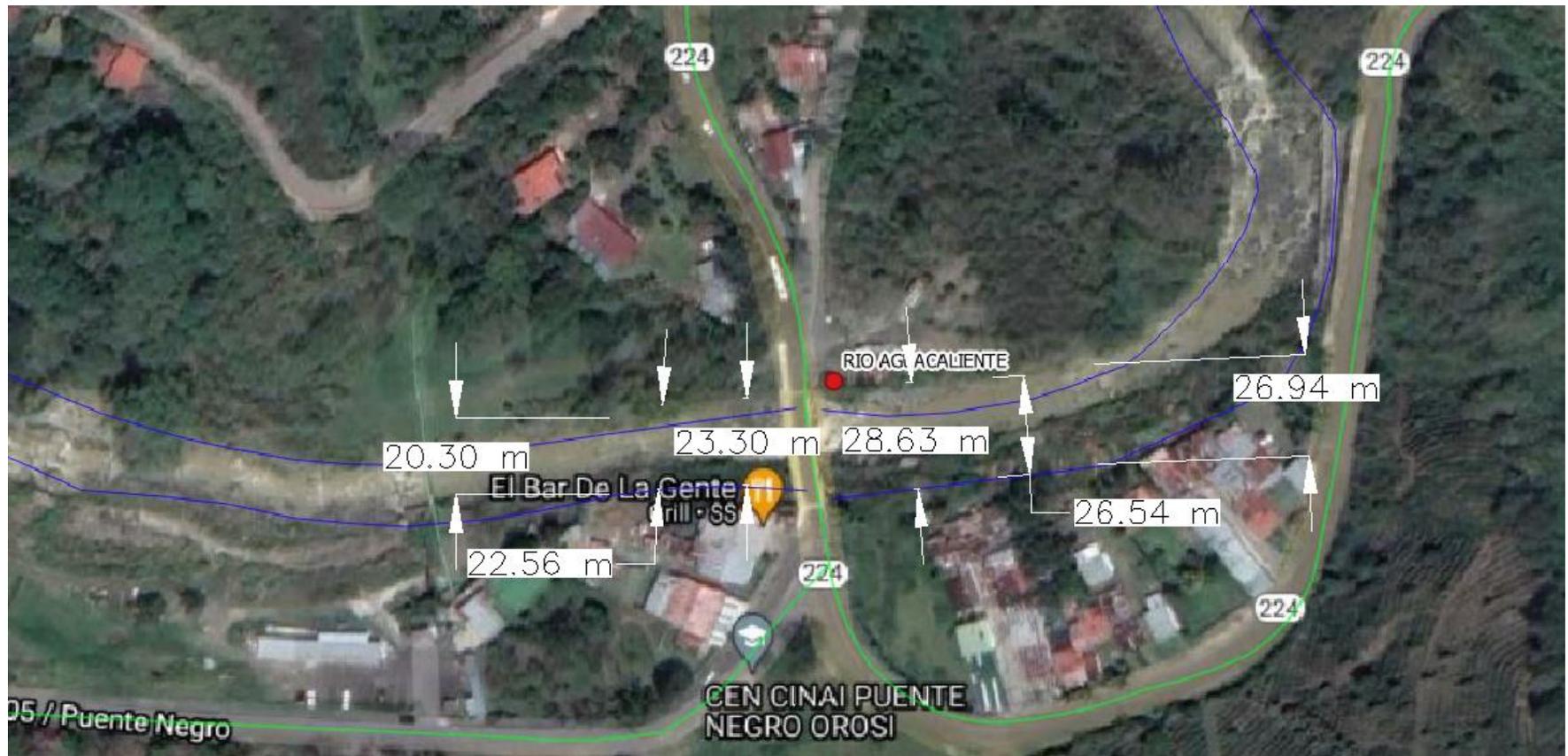


Ilustración 30: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Agua Caliente C175

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 31: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tabaco G009

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 32: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Belén G026

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 33: Revisión de ancho del cauce Puentes sobre el Río Nandayure G167

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 34: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Virilla H020

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

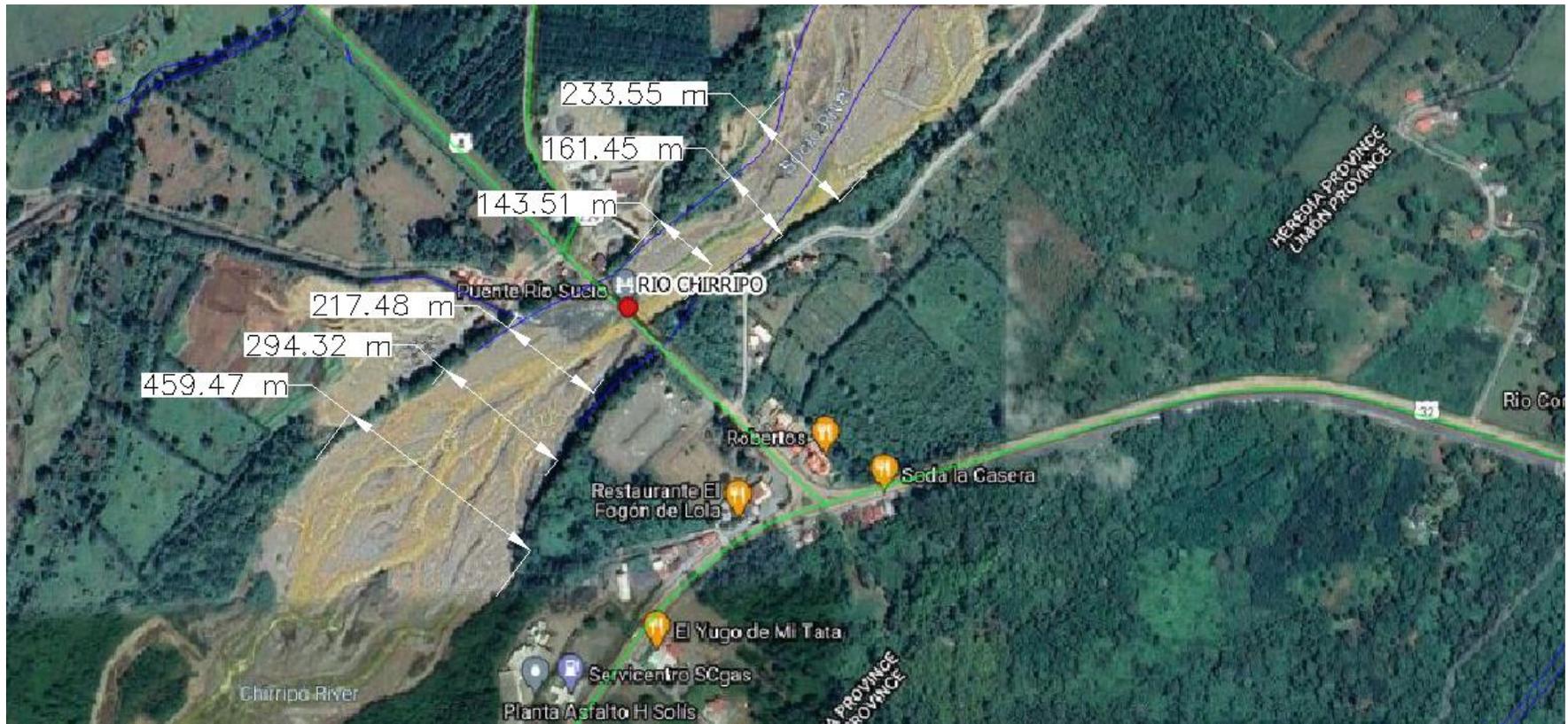


Ilustración 35: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Chirripó L005.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 36: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Toro Amarillo L047

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 37: Revisión de ancho del cauce Puentes sobre la Quebrada Westfalia.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 38: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tárcoles P006

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 39: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río San Miguel L141.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 40: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tulin P059.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

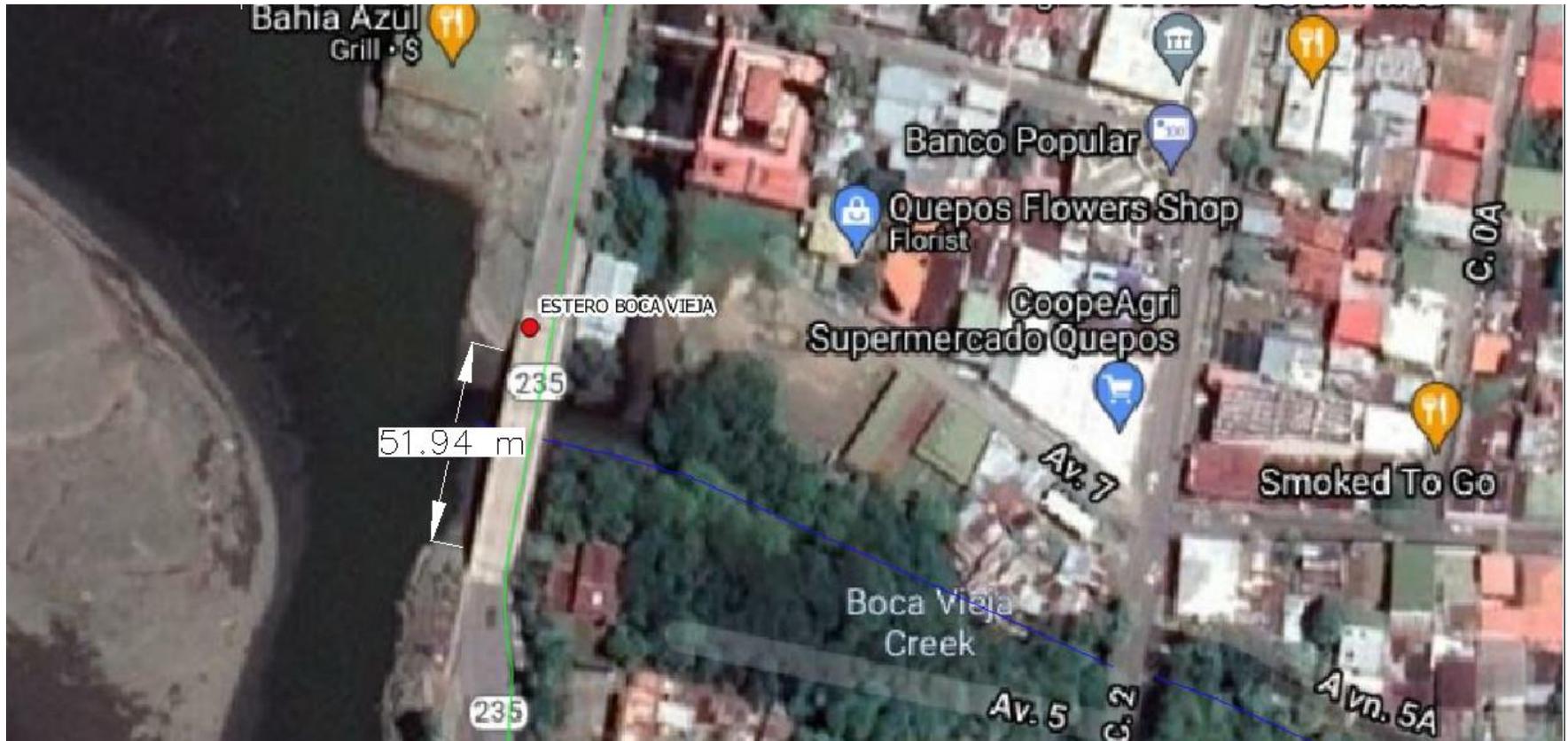


Ilustración 41: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Estero Boca Vieja P065.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

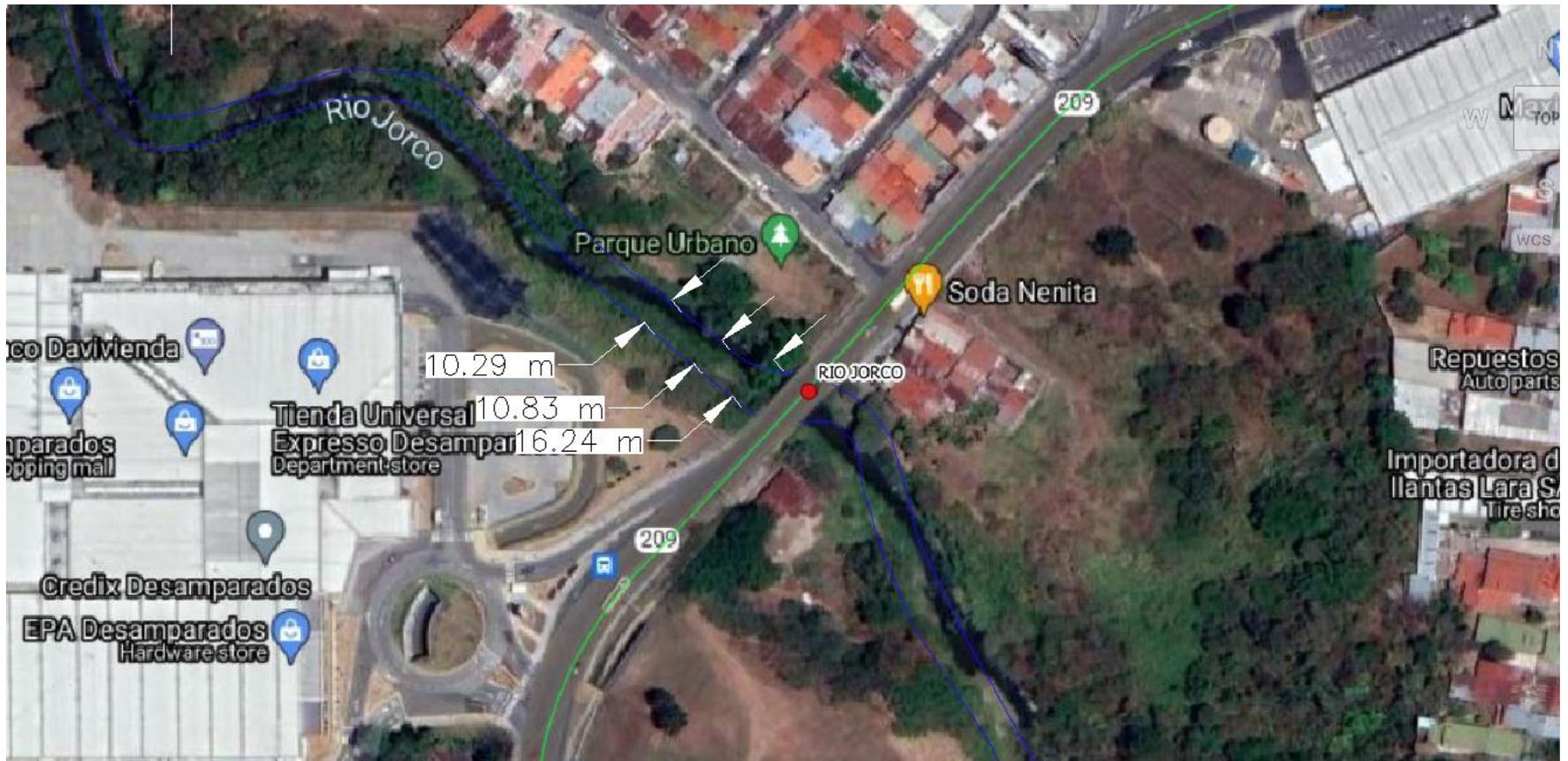


Ilustración 42: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Jorco S025.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 43: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Pacuar S050.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

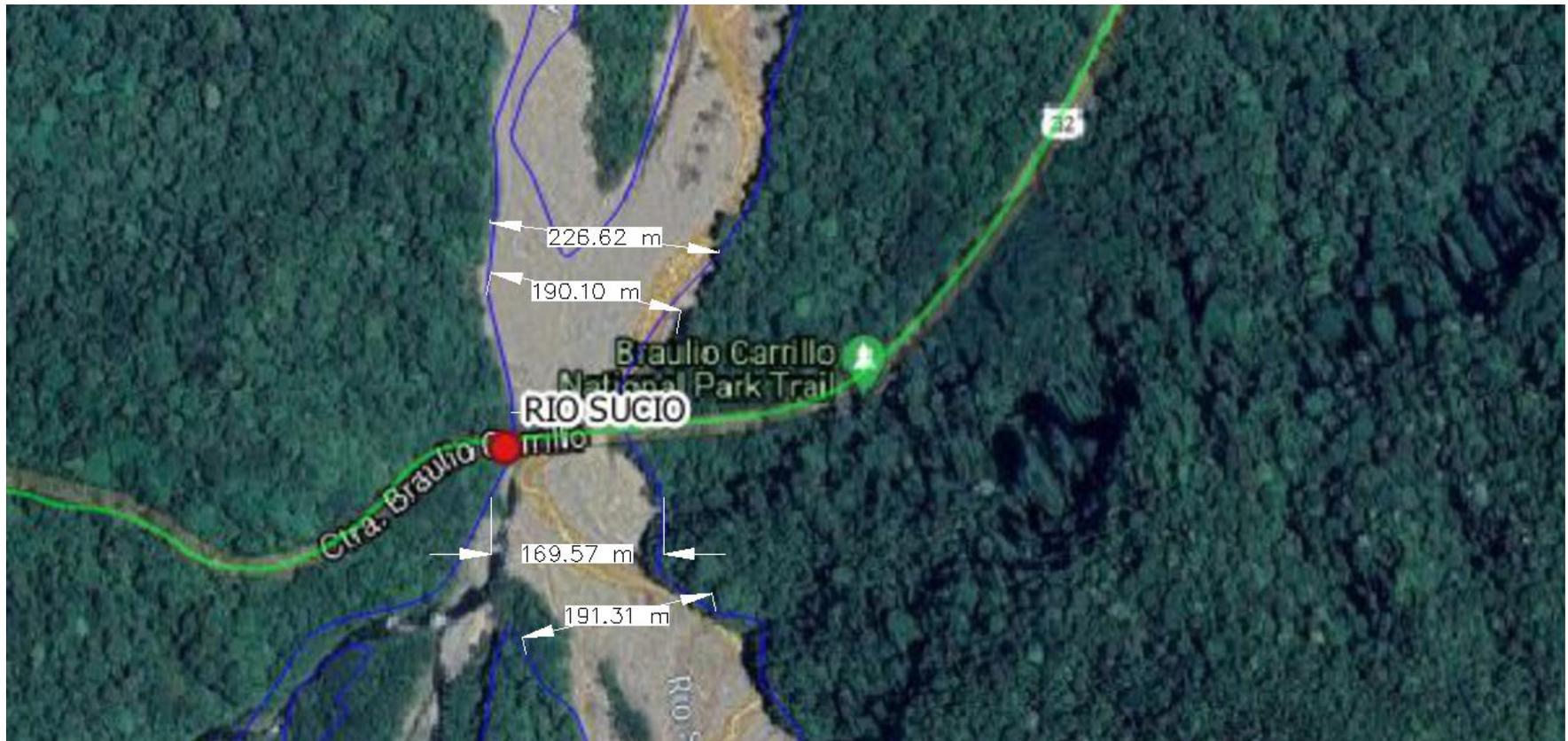


Ilustración 44: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Sucio S110.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 45: Revisión de ancho del cauce Puente sobre el Río Tiribí S205.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

Tabla 32: Riesgo Hidráulico de Puentes-Grado de Estrechamiento del Cauce.

Código del Puente	Nombre del Puente	Ancho del cauce Aguas Arriba(m)	Promedio Ancho del cauce Aguas Arriba(m)	Promedio Ancho del cauce Aguas Abajo(m)	Ancho del cauce Aguas Abajo(m)	Luz del Puente (m)	Ancho de la Sección Transversal (m)	Grado de Estrechamiento TEC	Peso Relativo de Grado de Estrechamiento TEC
A003	Río Kopper	32.94	36.12	37.53	35.31	35.7	1.08	0.93	3
A225	Río Aguas Zarcas	16.54	17.41	13.34	14.15	23.5	1.42	1.17	3
A282	Río Delicias	10.48	10.48	15.09	15.69	13.3	1.27	0.67	1
C056	Río Agua Caliente	15.61	15.96	23.543	25.61	41.4	2.65	0.61	1
C084	Río Grande de Orosi	43.99	43.53	54.38	48.82	70.3	1.60	0.90	1
C175	Río Agua Caliente	22.7	20.55	27.4	28.63	30.35	1.34	0.79	1
G009	Río Tabaco	58.85	57.69	57.69	58.85	48	0.82	1.00	2
G026	Río Belén	62.53	57.90	80.837	76.79	92.15	1.47	0.81	1
G167	Río Nandayure	13.16	13.14	16.69	13.09	18.00	1.37	1.01	1
H020	Río Virilla	27.28	24.85	25.07	26.26	106.8	3.91	1.04	2
L005	Río Chirripó	143.51	179.50	323.76	217.48	175.8	1.23	0.66	1
L047	Río Toro Amarillo	80.43	76.723	67.05	72.05	258.6	3.22	1.12	3
L002	Quebrada Westfalia	14.38	15.82	22.03	23.13	15.7	1.09	0.62	1
P006	Río Tárcoles	122.04	108.58	104.87	101.16	339	2.78	1.21	2
L141	Río San Miguel	18.91	18.91	16.21	16.21	25.61	1.35	1.17	3
P059	Río Tulin	68.12	61.88	97.70	95.96	170	0.63	0.71	1
P065	Estero Boca Vieja	51.94	51.94	51.94	51.94	21.7	0.42	1.00	2
S025	Río Jorco	16.24	12.44	12.44	16.24	31.4	1.93	1.00	2
S051	Río Pacuar	47.66	45.62	46.38	48.68	105.91	2.22	0.98	2
S110	Río Sucio	169.57	187.81	220.73	190.1	187.25	1.10	0.89	1
S205	Río Tiribi	17.86	18.26	24.17	24.69	97.5	5.46	0.72	1

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con apoyo de los mapas y las capas del Sistema Nacional de Información Territorial del Instituto Geográfico Nacional y el programa Civil CAD3D se identificó el ángulo de ataque aproximado de los bastiones del puente, donde se aplicó la metodología de la guía para la realización de inspecciones principales de obra de paso en la Red de Carreteras del Gobierno de España, mediante este parámetro se mide el ángulo con que incide el flujo en el cauce sobre los elementos principales del puente. Si el bastión está fuera del cauce no incide, este parámetro permite al Departamento de Transportes de Costa Rica (MOPT), identificar y evaluar los elementos estructurales que cuenta con una mayor vulnerabilidad a la socavación y que requieren las atenciones urgentes correspondientes con base en el incremento del ángulo de ataque con base a la posición y alineamiento de un puente. Para el caso de determinación de incidencia en las pilas de los puentes se desconoce el tipo de cimentación y su geometría, lo cual fue un limitante para evaluar dicho parámetro en este proceso.



Ilustración 46: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Kooper A003

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 47: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Aguas Zarcas A225

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 48: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Delicias A282

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

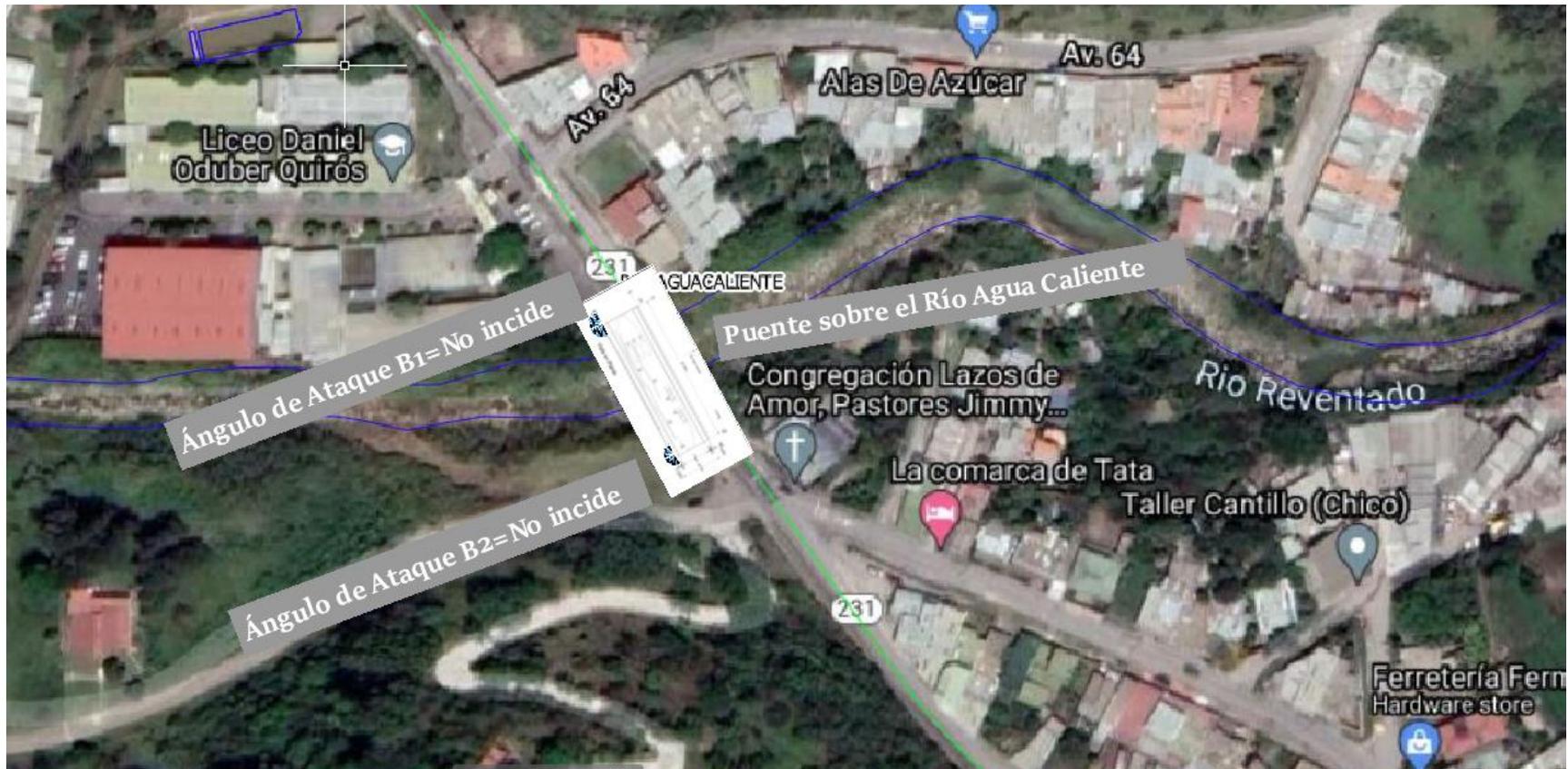


Ilustración 49: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Agua Caliente C056

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 50: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Grande de Orosí C084

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 51: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Agua Caliente C175

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 52: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Tabaco G009

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 54: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Nandayure G167

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

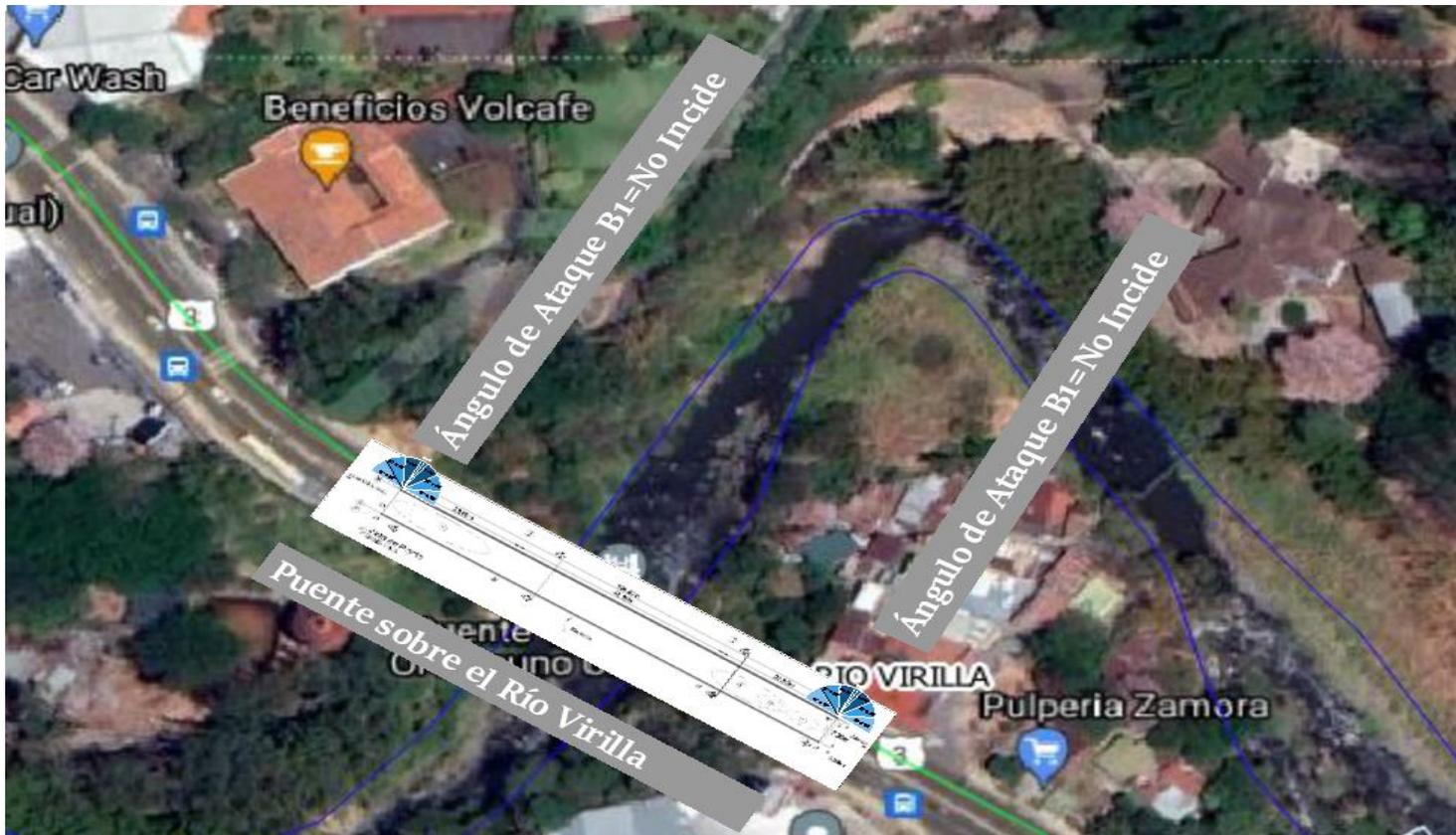


Ilustración 55: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Virilla H025

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 56: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Chirripó L005

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 57: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Toro Amarillo L047

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 58: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre la Quebrada Westfalia L002

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 59: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre Río Tárcoles.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 60: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre Río San Miguel L141.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

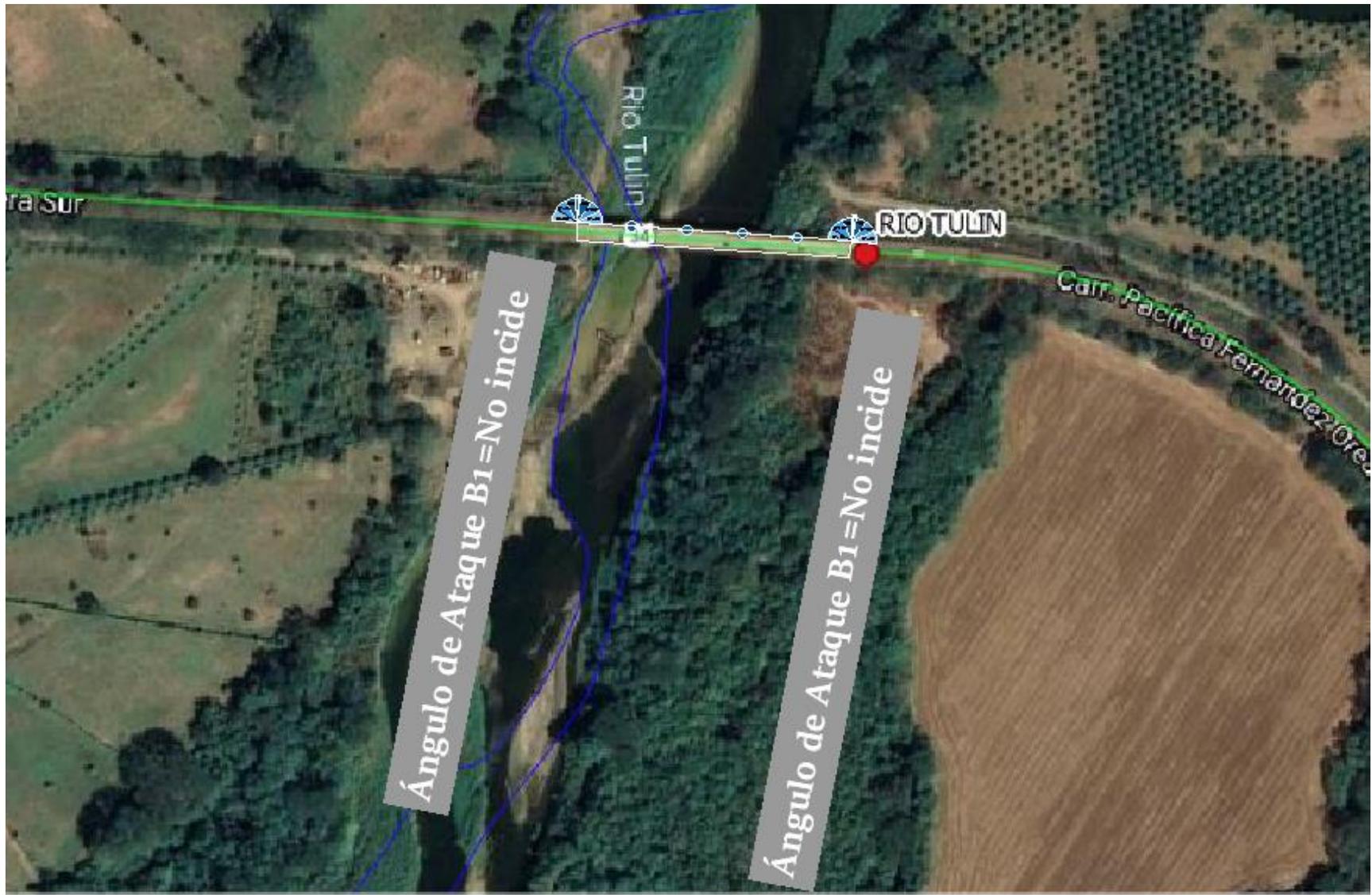


Ilustración 61: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre Río Tulin P059

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 62: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Estero Boca Vieja P065

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 63: Ángulos de Atrache los Bastiones del Puente sobre el Río Jorco S025

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 64: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Pacuar.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

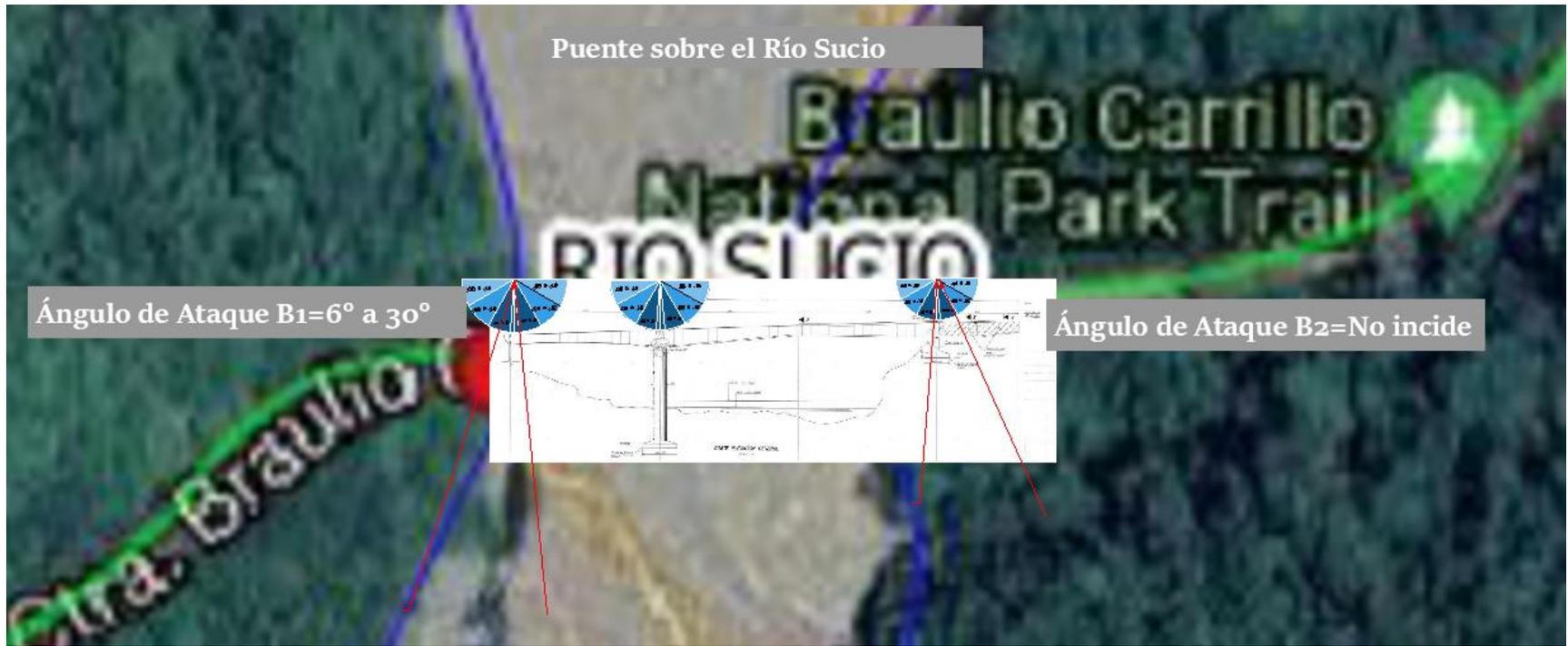


Ilustración 65: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Sucio S110.

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D



Ilustración 66: Ángulos de Ataque de los Bastiones del Puente sobre el Río Tiribi S205

Fuente: Propia AutoCAD CIVIL3D

Tabla 33: Riesgo Hidráulico de Puentes, Evaluación de Ángulo de Ataque.

Código	Nombre	Estructura	Tipo Estructura	Material	Ángulo Ataque Bastión 1	Ángulo Ataque Bastión 2
A003	Río Kopper	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	6° a 30°	0° a 5°
A225	Río Aguas Zarcas	Viga	Viga Simple	Acero	31° a 60°	31° a 60°
A282	Río Delicias	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	6° a 30°	6° a 30°
C056	Río Agua Caliente	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	No incide,	No incide,
C084	Río Grande de Orosi	Colgante	Colgante	Acero	No incide,	6° a 30°
C175	Río Agua Caliente	Cercha	Paso Inferior	Concreto presforzado	6° a 30°	6° a 30°
G009	Río Tabaco	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	No incide,	0° a 5°
G026	Río Belén	Cercha	Paso Inferior	Acero	6° a 30°	31° a 60°
G167	Río Nandayure	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	No incide,	No incide,
H020	Río Virilla	Cercha	Paso Inferior	Acero	No incide	No incide
L005	Río Chirripó	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	31° a 60°	0° a 5°
L047	Río Toro Amarillo	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	No incide	No incide
L002	Quebrada Westfalia	Viga	Viga Simple	Acero	6° a 30°	6° a 30°
P006	Río Tárcoles	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	No incide	No incide
L141	Río San Miguel	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	6° a 30°	6° a 30°
P059	Río Tusubres	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	No incide	No incide
P065	Estero Boca Vieja	Viga	Viga Simple	Acero	6° a 30°	6° a 30°
S025	Río Jorco	Viga	Viga continua	Concreto presforzado	No incide,	
S051	Río Pacuar	Cercha	Paso Inferior	Acero	No incide,	No incide
S110	Río Sucio	Viga	Viga continua	Concreto presforzado	31° a 60°	0° a 5°
S205	Río Tiribi	Viga	Viga continua	Acero	No incide	No incide

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Tabla 34: Riesgo Hidráulico de Puentes, Evaluación de obstáculo e incidencia de las subestructuras.

Código	Nombre	Evaluación del obstáculo en el cauce del Río				Peso Relativo de incidencia de los Bastiones
		P1	P2	P3	P4	
A003	Río Kopper	5	N/A	N/A	N/A	2.5
A225	Río Aguas Zarcas	N/A	N/A	N/A	N/A	4
A282	Río Delicias	N/A	N/A	N/A	N/A	3
C056	Río Agua Caliente	3	3	N/A	N/A	1
C084	Río Grande de Orosi	N/A	N/A	N/A	N/A	2
C175	Río Agua Caliente	N/A	N/A	N/A	N/A	3
G009	Río Tabaco	5	5	5	N/A	1.5
G026	Río Belén	N/A	N/A	N/A	N/A	3
G167	Río Nandayure	3	3	N/A	N/A	1
H020	Río Virilla	2	2	N/A	N/A	1
L005	Río Chirripó	3	3	N/A	3	3
L047	Río Toro Amarillo	3	3	1	1	1
L002	Quebrada Westfalia	N/A	N/A	N/A	N/A	3
P006	Río Tárcoles	3	3	1	1	1
L141	Río San Miguel	N/A	N/A	N/A	N/A	3
P059	Río Tusubres	3	3	5	1	1
P065	Esterio Boca Vieja	N/A	N/A	N/A	N/A	3
S025	Río Jorco	5	5	N/A	N/A	1
S051	Río Pacuar	3	N/A	N/A	N/A	1
S110	Río Sucio	3	3	N/A	N/A	3
S205	Río Tiribi	3	3	N/A	N/A	1

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Con apoyo de los mapas de la Comisión Nacional de Emergencias y las capas del Sistema Nacional de Información Territorial del Instituto Geográfico Nacional se realizó la ubicación de las fallas paleo tectónicas y fallas cuaternario(activas) de las estructuras de puentes evaluadas considerando aspectos vulnerables con base en la distancia de incidencia de la falla debido a la naturaleza sísmica dentro de todo el territorio nacional costarricense, donde todos los proyectos deben considerar esta amenaza frente la ocurrencia de un evento sísmico, usando el listado de fallas reconocidas como activas y sus características más importantes. Estas fallas tienen potencial para generar sismos, y algunas ya los han generado en el pasado un sismo de magnitud $MW = 6.5$ o mayor que deben considerarse para efectos de “falla cercana”.

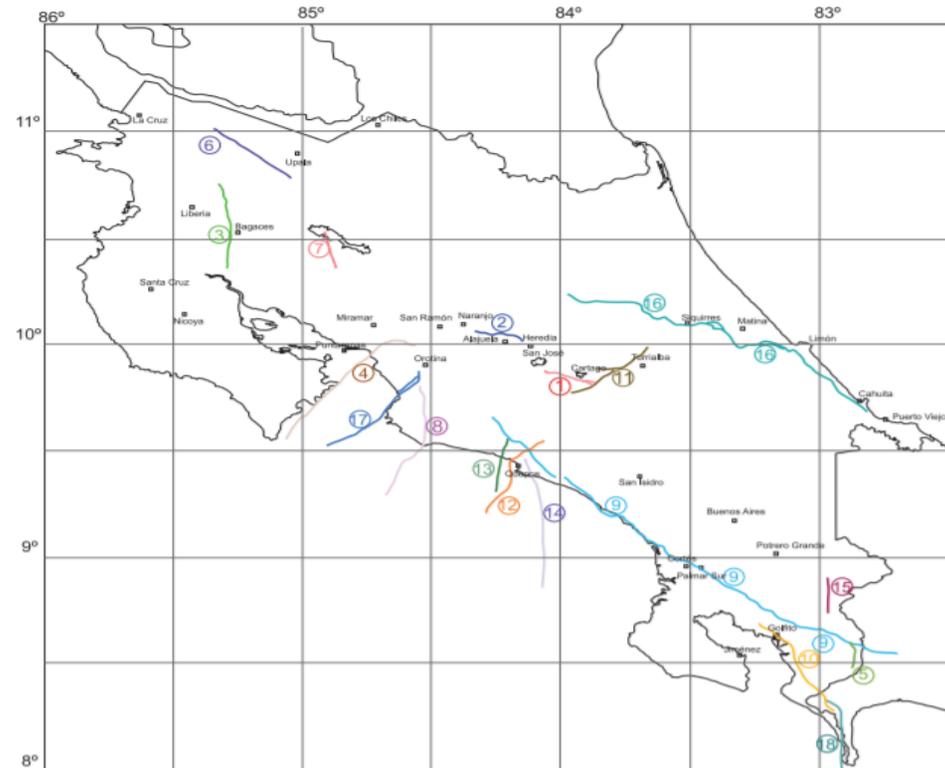


Ilustración 68: Fallas Activas de Costa Rica.

Fuente: Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes.

El Código Sísmico 2010 de Costa Rica establece cuatro tipos de sitio de cimentación. Estos tipos consideran el efecto de las condiciones locales del suelo en la demanda sísmica, en ausencia de estudios detallados de amplificación dinámica. Donde para dicha identificación del sitio de cimentación se realizó la consideración bibliográfica de una investigación realizada, debido a las limitaciones de información y recursos para efectuar una campaña geotécnica en cada una de estas estructuras evaluadas, dado que se cuenta con mapas de identificación de los sitios de cimentación como las aceleraciones pico de cada zona evaluada, esto con el fin de contrastar y determinar el parámetro sísmico. Si no se cuenta con la información geológica y geotécnica del terreno se asumen que el proyecto podría estar ubicado en suelo tipo S3 según las recomendaciones del Código de Cimentaciones de Costa Rica esto para la aplicación académica de este modelo de priorización.

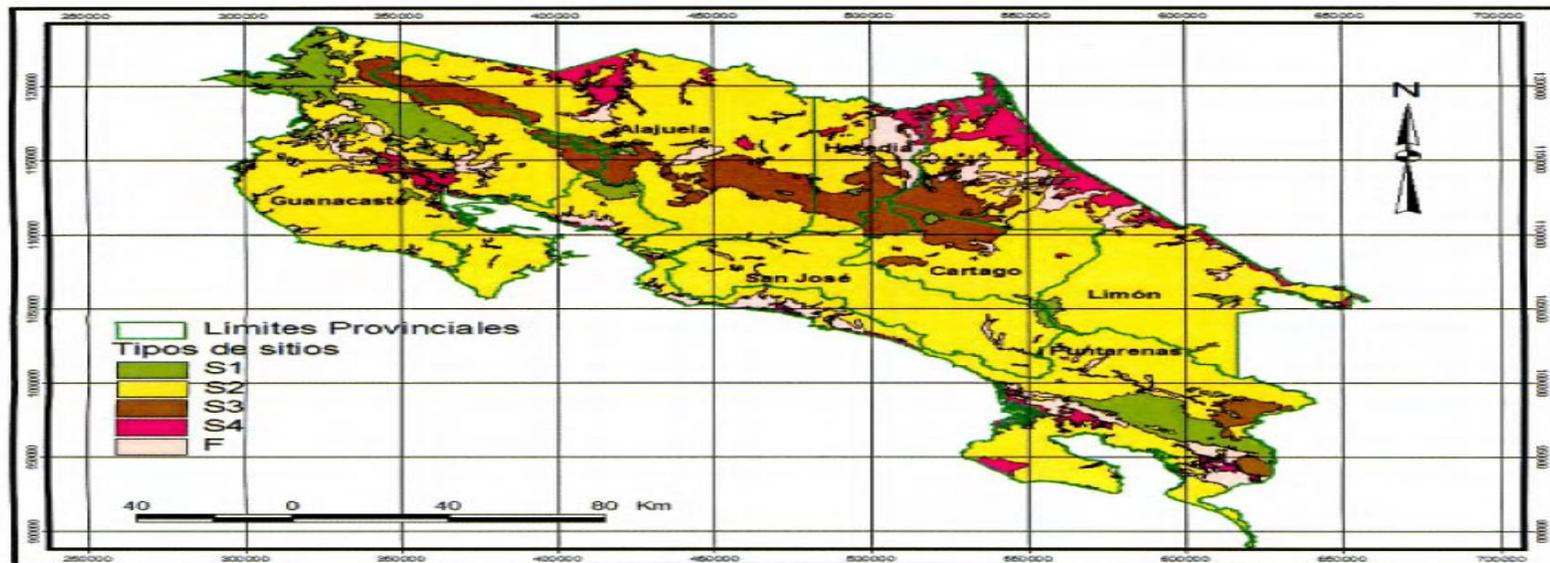


Ilustración 69: Mapa de Tipos de Suelos de Costa Rica

Fuente: Zonificación de sitios para la valoración de aceleración pico según los criterios del Código Sísmico de Costa Rica

El país está clasificado distritalmente en tres zonas sísmicas de sismicidad ascendente de acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica 2010 siguiendo la división política y administrativa vigente.

Tabla 35: Zonas sísmicas según Provincias Cantones y Distritos.

Nombre	Provincia	Cantón	Distrito	Ruta	Estructura	Tipo Estructura	Material	Tipo Material	Zona
Río Kopper	Alajuela	San Carlos	La palmera	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	III
Río Aguas Zarcas	Alajuela	San Carlos	La palmera	Secundaria	Viga	Simple	Acero	Acero	III
Río Delicias	Alajuela	San Carlos	Aguas zarcas	Secundaria	Viga	Simple	Concreto	Reforzado	III
Río Agua Caliente	Cartago	Cartago	Agua caliente	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	III
Río Grande de Orosí	Cartago	Paraíso	Cachi	Secundaria	Colgante	Colgante	Acero	Acero	III
Río Agua Caliente	Cartago	Paraíso	Paraíso	Secundaria	Cercha	Paso inferior	Acero	Acero	III
Río Tabaco	Guanacaste	Santa cruz	Cuajinicuil	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	IV
Río Belén	Guanacaste	Liberia	Nacascolo	Primaria	Cercha	Paso inferior	Acero	Acero	III
Río Nandayure	Guanacaste	Nandayure	Carmona	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	IV
Río Virilla	Heredia	Heredia	Ulloa	Primaria	Cercha	Paso superior	Acero	Acero	II
Río Chirripó	Limón	Sarapiquí	Las horquetas	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	III
Río Toro Amarillo	Limón	Pococí	Guápiles	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	III
Quebrada Westfalia	Limón	Limón	Limón	Primaria	Viga	Simple	Acero	Acero	III
Río Tárcoles	Puntarenas	Garabito	Tárcoles	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Presforzado	IV
Río San Miguel	Limón	Matina	Matina	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	III
Río Tulin	Puntarenas	Parrita	Parrita	Primaria	Viga	Simple	Concreto	Presforzado	IV
Estero Boca Vieja	Puntarenas	Aguirre	Quepos	Secundaria	Viga	Simple	Acero	Acero	IV
Río Jorco	San José	Desamparados	San miguel	Secundaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	III
Río Pacuar	San José	Perez Zeledón	Daniel flores	Secundaria	Cercha	Paso inferior	Acero	Acero	IV
Río Sucio	San José	Vásquez de coronado	Dulce nombre de Jesús	Primaria	Viga	Continua	Concreto	Reforzado	III
Río Tiribi	San José	San José	Pavas	Primaria	Viga	Continua	Acero	Acero	III

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica, 2010

Tabla 36: Evaluación de Amenaza Sísmica de los Puentes.

Código del Puente	Nombre del Puentes	Puente en Estado Deficiente			Coeficientes Sísmicos Espectrales.					Aceleración pico efectiva modificada por la falla CaM	Amenaza Sísmica
		Configuración Estructural del Puente									
		Estructura	Tipo de Estructura	Material	Distancia de la falla al Puente(m)	Coefficiente de Incidencia de la Falla	Sitio de Cimentación	Zona de amenaza sísmica	Ca		
A003	Río Kopper	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	2026	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
A225	Río Aguas Zarcas	Viga	Viga Simple	Acero	70.21	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
A282	Río Delicias	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	5774	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
C056	Río Agua Caliente	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	12.92	1.2	S2	III	0.374	0.4488	4.05
C084	Río Grande de Orosi	Otros	Colgante	Acero	754	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
C175	Río Agua Caliente	Cercha	Paso Inferior	Concreto Presforzado	138.98	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
G009	Río Tabaco	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	3252	1.0	S2	IV	0.48	0.48	4.27
G026	Río Belén	Cercha	Paso Inferior	Acero	3851	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
G167	Río Nandayure	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	2608	1.0	S2	IV	0.48	0.48	4.27
H020	Río Virilla	Cercha	Paso Inferior	Acero	5267	1.0	S2	II	0.278	0.278	2.89
L005	Río Chirripó	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	1074	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
L047	Río Toro Amarillo	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	554	1.0	S3	III	0.410	0.41	3.79

Código del Puente	Nombre del Puentes	Puente en Estado Deficiente			Coeficientes Sísmicos Espectrales.					Aceleración pico efectiva modificada por la falla CaM	Amenaza Sísmica
		Configuración Estructural del Puente									
		Estructura	Tipo de Estructura	Material	Distancia de la falla al Puente(m)	Coefficiente de Incidencia de la Falla	Sitio de Cimentación	Zona de amenaza sísmica	Ca		
L002	Quebrada Westfalia	Viga	Viga Simple	Acero	4895	1.0	S4	III	0.367	0.367	3.50
P006	Río Tárcoles	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	336	1.0	S2	IV	0.48	0.48	4.27
L141	Río San Miguel	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	5875	1.0	S3	III	0.410	0.41	3.79
P059	Río Tusubres	Viga	Viga Simple	Concreto Presforzado	395	1.0	S2	IV	0.48	0.48	4.27
P065	Estero Boca Vieja	Viga	Viga Simple	Acero	3262	1.0	S2	IV	0.48	0.48	4.27
S025	Río Jorco	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	456	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
S051	Río Pacuar	Cercha	Paso Inferior	Acero	7045	1.0	S2	IV	0.48	0.48	4.27
S110	Río Sucio	Viga	Viga Continua	Concreto Presforzado	2623	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54
S205	Río Tiribi	Viga	Viga Continua	Acero	2316	1.0	S2	III	0.374	0.374	3.54

Fuente: Propia,2021.

Seguidamente con base en los indicadores propuestos para la intervención de puentes de Costa Rica, se muestra una **Tabla 37** con los resultados de la propuesta del modelo de priorización de las estructuras en estado deficiente, donde se detallada cada uno de los criterios de priorización utilizados para realizar el cálculo del Índice Prioritario de Servicio con base en su condición, estado y deterioro de la estructura considerando las variables internas y externas de un sistema de gestión y de administración de activos viales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Tabla 37: Propuesta del modelo de priorización de las estructuras en estado deficiente.

Nombre	Código	Estado Cuantitativo BCI	Longitud Mínima de Asiento	Obsolescencia Funcional	Redundancia de la Estructura	TPDA	Condiciones de servicio Clasificación Ruta	Altura Libre	Ruta Alternativa	Grado Estrechamiento	Ángulo de Ataque Bastiones	Amenaza Sísmica
		40%	30%	20%	15%	30%	40%	20%	10%	40%	30%	15%
A003	Río Kopper	5	5	1	5	3	5	5	3	3	4	3.54
A225	Río Aguas Zarcas	5	1	5	2	3	3	1	3	3	2.5	3.54
A282	Río Delicias	4.55	1	3	2	3	3	4	3	1	1.5	3.54
C056	Río Agua Caliente	4.55	1	1	1	3	3	1	3	1	1	4.05
C084	Río Grande De Orosi	4.55	5	5	5	1	3	4	5	1	3	3.54
C175	Río Agua Caliente	4.05	1	5	2	3	3	1	3	1	1.5	3.54
G009	Río Tabaco	4.05	5	5	1	1	3	2	5	2	1.5	4.27
G026	Río Belén	4.1	1	5	2	3	5	1	3	1	1.5	3.54
G167	Río Nandayure	5	5	5	5	1	3	4	1	1	3	4.27
H020	Río Virilla	4.05	5	3	2	3	5	1	3	2	2	2.89
L005	Río Chirripó	4.1	1	1	1	3	5	1	3	1	1	3.54
L047	Río Toro Amarillo	4.1	1	1	1	3	5	3	3	3	2	3.79
L002	Quebrada Westfalia	5	1	5	1	1	5	5	3	1	1	3.50
P006	Río Tárcoles	4.95	5	1	1	3	5	1	3	2	1.5	4.27
L141	Río San Miguel	5	1	1	2	3	3	3	3	3	2.5	3.79
P059	Río Tusubres	5	5	1	5	3	5	1	3	1	3	4.27
P065	Estero Boca Vieja	4.55	1	1	2	1	3	5	3	2	2	4.27
S025	Río Jorco	5	5	1	1	5	3	1	3	2	1.5	3.54

Nombre	Código	Estado Cuantitativo BCI	Longitud Mínima de Asiento	Obsolescencia Funcional	Redundancia de la Estructura	TPDA	Condiciones de servicio Clasificación Ruta	Altura Libre	Ruta Alternativa	Grado Estrechamiento	Ángulo de Ataque Bastiones	Amenaza Sísmica
		40%	30%	20%	15%	30%	40%	20%	10%	40%	30%	15%
S051	Río Pacuar	4.55	1	3	2	1	3	2	3	2	2	4.27
S110	Río Sucio	4.4	5	1	1	3	5	3	3	1	1	3.54
S205	Río Tiribi	5	1	1	1	3	5	1	1	1	1	3.54

Fuente: Propia, 2021.

Tabla 38: Indicador Prioritario Servicio Sugerido para la Intervención de Puentes de Costa Rica.

Nombre	Código	Provincia	Cantón	Distrito	Zona Administrativa	Tipo de Estructura	Material	Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente
A003	Río Kopper	Alajuela	San Carlos	La Palmera	6-2 Los Chiles	Viga Simple	Concreto Presforzado	4,02
A225	Río Aguas Zarcas	Alajuela	San Carlos	La Palmera	6-1 Ciudad Quesada	Viga Simple	Acero	2,92
A282	Río Delicias	Alajuela	San Carlos	Aguas Zarcas	6-1 Ciudad Quesada	Viga Simple	Concreto Presforzado	2,66
C056	Río Agua Caliente	Cartago	Cartago	Agua caliente	1-7 Cartago	Viga Continua	Concreto Presforzado	2,27
C084	Río Grande de Orosi	Cartago	Paraíso	Cachi	1-8 Turrialba	Colgante	Acero	3,20
C175	Río Agua Caliente	Cartago	Paraíso	Paraíso	1-8 Turrialba	Paso Inferior	Concreto Presforzado	2,18
G009	Río Tabaco	Guanacaste	Santa Cruz	Cuajinicuil	2-3 Santa Cruz	Viga Continua	Concreto Presforzado	3,18
G026	Río Belén	Guanacaste	Liberia	Nacascolo	2-1 Liberia	Paso Inferior	Acero	2,27
G167	Río Nandayure	Guanacaste	Nandayure	Carmona	2-4 Nicoya	Viga Continua	Concreto Presforzado	3,53
H020	Río Virilla	Heredia	Heredia	Ulloa	1-9 Heredia	Paso Inferior	Acero	3,09
L005	Río Chirripó	Heredia	Sarapiquí	Las Horquetas	6-1 Ciudad Quesada	Viga Continua	Concreto Presforzado	2,34
L047	Río Toro Amarillo	Limón	Pococí	Guápiles	5-1 Guápiles	Viga Continua	Concreto Presforzado	2,73
L002	Quebrada Westfalia	Limón	Limón	Limón	5-2 Turrialba	Viga Simple	Acero	2,58

Nombre	Código	Provincia	Cantón	Distrito	Zona Administrativa	Tipo de Estructura	Material	Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente
P006	Río Tárcoles	Puntarenas	Garabito	Tárcoles	3-2 Quepos	Viga Continua	Concreto Presforzado	3,14
L141	Río San Miguel	Limón	Matina	Matina	5-2 Limón	Viga Simple	Concreto Presforzado	2,92
P059	Río Tusubres	Puntarenas	Parrita	Parrita	3-2 Quepos	Viga Simple	Concreto Presforzado	3,37
P065	Estero Boca Vieja	Puntarenas	Aguirre	Quepos	3-2 Quepos	Viga Simple	Acero	2,73
S025	Río Jorco	San José	Desamparados	San Miguel	1-3 Los Santos	Viga Continua	Concreto Presforzado	2,92
S051	Río Pacuar	San José	Pérez Zeledón	Daniel Flores	4-1 Pérez Zeledón	Paso Inferior	Acero	2,35
S110	Río Sucio	San José	Vásquez de Coronado	Dulce Nombre De Jesús	5-1 Guápiles	Viga Continua	Concreto Presforzado	3,05
S205	Río Tiribi	San José	San José	Pavas	1-2 Puriscal	Viga Continua	Acero	2,40

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

Tabla 39: Costos sugeridos para la intervención de puentes de Costa Rica.

Nombre	Código	Provincia	Cantón	Distrito	Zona Administrativa	Tipo de Estructura	Material	Costo de Sustitución del Puente	Costo de Intervención del Puente	% Intervención/ reposición
A003	Río Kopper	Alajuela	San Carlos	La Palmera	6-2 Los Chiles	Viga Simple	Concreto Presforzado	\$1,440,767.41	\$ 981,522.80	68%
A225	Río Aguas Zarcas	Alajuela	San Carlos	La Palmera	6-1 Ciudad Quesada	Viga Simple	Acero	\$243,007.31	\$ 146,563.79	60%
A282	Río Delicias	Alajuela	San Carlos	Aguas Zarcas	6-1 Ciudad Quesada	Viga Simple	Concreto Presforzado	\$715,811.00	\$ 502,558.97	70%
C056	Río Agua Caliente	Cartago	Cartago	Agua caliente	1-7 Cartago	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$1,631,752.86	\$ 713,891.87	44%
C084	Río Grande de Orosí	Cartago	Paraíso	Cachi	1-8 Turrialba	Colgante	Acero	\$971,194.50	\$ 663,649.58	68%
C175	Río Agua Caliente	Cartago	Paraíso	Paraíso	1-8 Turrialba	Paso Inferior	Concreto Presforzado	\$513,306.88	\$ 391,396.50	76%
G009	Río Tabaco	Guanacaste	Santa Cruz	Cuajinicuil	2-3 Santa Cruz	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$776,955.80	\$ 451,605.56	58%
G026	Río Belén	Guanacaste	Liberia	Nacascolo	2-1 Liberia	Paso Inferior	Acero	\$2,818,608.75	\$ 1,470,961.44	52%
G167	Río Nandayure	Guanacaste	Nandayure	Carmona	2-4 Nicoya	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$480,741.40	\$ 369,569.95	77%
H020	Río Virilla	Heredia	Heredia	Ulloa	1-9 Heredia	Paso Inferior	Acero	\$2,982,314.94	\$ 1,901,225.78	64%
L005	Río Chirripó	Heredia	Sarapiquí	Las Horquetas	6-1 Ciudad Quesada	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$5,959,888.15	\$ 3,091,691.98	52%
L047	Río Toro Amarillo	Limón	Pococí	Guápiles	5-1 Guápiles	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$10,520,321.34	\$ 7,057,382.23	67%
L002	Quebrada Westfalia	Limón	Limón	Limón	5-2 Turrialba	Viga Simple	Acero	\$162,349.57	\$83,204.15	51%
P006	Río Tárcoles	Puntarenas	Garabito	Tárcoles	3-2 Quepos	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$13,714,523.05	\$1,600,027.69	12%
L141	Río San Miguel	Limón	Matina	Matina	5-2 Limón	Viga Simple	Concreto Presforzado	\$1,064,947.41	\$ 754,337.75	71%
P059	Río Tusubres	Puntarenas	Parrita	Parrita	3-2 Quepos	Viga Simple	Concreto Presforzado	\$6,659,766.31	\$1,540,070.96	23%
P065	Estero Boca Vieja	Puntarenas	Aguirre	Quepos	3-2 Quepos	Viga Simple	Acero	\$2,465,144.49	\$ 647,100.43	26%
S025	Río Jorco	San José	Desamparados	San Miguel	1-3 Los Santos	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$1,308,765.86	\$ 80,764.85	44%
S051	Río Pacuar	San José	Pérez Zeledón	Daniel Flores	4-1 Pérez Zeledón	Paso Inferior	Acero	\$3,262,122.88	\$,569,896.64	48%
S110	Río Sucio	San José	Vásquez de Coronado	Dulce Nombre de Jesús	5-1 Guápiles	Viga Continua	Concreto Presforzado	\$655,556.45	\$ 326,412.48	50%
S205	Río Tiribi	San José	San José	Pavas	1-2 Puriscal	Viga Continua	Acero	\$11,642,416.54	\$7,567,570.75	65%

Fuente: Programa de Evaluación de Puentes del Tecnológico de Costa Rica (PEEP).

4.12 Determinación de los Puentes Candidatos a Sustitución y Rehabilitación como Caso Piloto.

Tabla 40: Determinación del Indicador Prioritario de Servicio Sugerido del puente.

Nombre	Código	Longitud (m)	Tipo de Estructura	Cantidad de Carriles.	Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP).	Costo de Sustitución del Puente	Costo del Intervención del Puente	% Intervención/ reposición	Tipo de Intervención Sugerida
A003	Río Kopper	35.7	Viga Simple	2	4,02	\$1,440,767.41	\$ 981,522.80	68%	Sustitución
A225	Río Aguas Zarcas	23.5	Viga Simple	1	3,20	\$243,007.31	\$ 146,563.79	60%	Sustitución
A282	Río Delicias	13.3	Viga Simple	2	2,87	\$715,811.00	\$ 502,558.97	70%	Sustitución
C056	Río Agua Caliente	41.4	Viga Continua	2	2,13	\$1,631,752.86	\$ 713,891.87	44%	Rehabilitación
C084	Río Grande de Orosí	70.3	Colgante	1	3,41	\$971,194.50	\$ 663,649.58	68%	Sustitución
C175	Río Agua Caliente	30.35	Paso Inferior	1	2,29	\$513,306.88	\$ 391,396.50	76%	Sustitución
G009	Río Tabaco	48	Viga Continua	1	2,94	\$776,955.80	\$ 451,605.56	58%	Sustitución
G026	Río Belén	92.15	Paso Inferior	2	2,37	\$2,818,608.75	\$ 1,470,961.44	52%	Rehabilitación
G167	Río Nandayure	18	Viga Continua	1	3,46	\$480,741.40	\$ 369,569.95	77%	Sustitución
H020	Río Virilla	106.8	Paso Inferior	2	3,05	\$2,982,314.94	\$ 1,901,225.78	64%	Rehabilitación
L005	Río Chirripó	175.8	Viga Continua	2	2,17	\$5,959,888.15	\$ 3,091,691.98	52%	Rehabilitación
L047	Río Toro Amarillo	258.6	Viga Continua	2	2,72	\$10,520,321.34	\$7,057,382.23	67%	Rehabilitación
L002	Quebrada Westfalia	15.7	Viga Simple	1	2,65	\$162,349.57	\$ 83,204.15	51%	Sustitución
P006	Río Tárcoles	339	Viga Continua	2	3,11	\$13,714,523.05	\$1,600,027.69	12%	Rehabilitación
L141	Río San Miguel	25.61	Viga Simple	2	3,20	\$1,064,947.41	\$754,337.75	71%	Sustitución
P059	Río Tusubres	170	Viga Simple	2	3,41	\$6,659,766.31	\$1,540,070.96	23%	Rehabilitación
P065	Estero Boca Vieja	55	Viga Simple	2	2,98	\$2,465,144.49	\$647,100.43	26%	Rehabilitación
S025	Río Jorco	31.4	Viga Continua	2	3,03	\$1,308,765.86	\$580,764.85	44%	Rehabilitación
S051	Río Pacuar	105.65	Paso Inferior	2	2,49	\$3,262,122.88	\$ 1,569,896.64	48%	Rehabilitación
S110	Río Sucio	187.25	Viga Continua	2	2,91	\$655,556.45	\$ 326,412.48	50%	Rehabilitación
S205	Río Tiribi	97.5	Viga Continua	3	2,30	\$11,642,416.54	\$ 7,567,570.75	65%	Rehabilitación

Fuente: Propia, 2021.

Para este modelo se define la prioridad de intervención considerando el largo del puente, basados en el principio de que un puente más largo reviste mayor importancia debido a un mayor costo y a las dificultades ante un proceso de reconstrucción o de alternativas para sortear el obstáculo si el puente pierde funcionalidad.

Tabla 41: Indicador Prioritario de Intervención del Puente (IPSP).

Prioridad de Intervención	Indicador Prioritario de Intervención del Puente (IPSP).
A	El Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP) cuenta con un peso relativo entre 3 a 5 y es candidato a sustitución o presenta socavaciones en los bastiones o pilas. (Inspección Visual).
B	El Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP) cuenta con un peso relativo entre 3 a 5 y es candidato a rehabilitación, además presenta socavaciones en los bastiones o pilas. (Inspección Visual).
C	El Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP) cuenta con un peso relativo entre 1 a 3 y es candidato a sustitución o rehabilitación, pero presenta socavaciones en los bastiones o pilas. (Inspección Visual).
D	El Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP) cuenta con un peso relativo entre 3 a 5 y es candidato a rehabilitación, pero no presenta socavaciones en los bastiones o pilas. (Inspección Visual).
E	El Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP) cuenta con un peso relativo entre 1 a 3 y es candidato a Sustitución o Rehabilitación, pero no presenta socavación.

Fuente: Propia,2021.

Tabla 42: Prioridad de Intervención.

Nombre	Código	Longitud (m)	Tipo de Estructura	Cantidad de Carriles.	Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP).	Prioridad Intervención por la longitud	Socavación en bastiones y pilas		Tipo de Intervención Sugerida (TIS)	Prioridad de intervención del Puente (PIP)
A003	Río Kopper	35.7	Viga Simple	2	4,02	3	5	5	Sustitución	A
A225	Río Aguas Zarcas	23.5	Viga Simple	1	3,20	3	0	0	Sustitución	A
A282	Río Delicias	13.3	Viga Simple	2	2,87	2	0	0	Sustitución	E
C056	Río Agua Caliente	41.4	Viga Continua	2	2,13	3	1	2	Rehabilitación	C
C084	Río Grande de Orosi	70.3	Colgante	1	3,41	4	0	0	Sustitución	A
C175	Río Agua Caliente	30.35	Paso Inferior	1	2,29	3	0	0	Sustitución	E
G009	Río Tabaco	48	Viga Continua	1	2,94	3	3	5	Sustitución	A
G026	Río Belén	92.15	Paso Inferior	2	2,37	5	1	0	Rehabilitación	C
G167	Río Nandayure	18	Viga Continua	1	3,46	3	0	0	Sustitución	A
H020	Río Virilla	106.8	Paso Inferior	2	3,05	5	0	0	Rehabilitación	D
L005	Río Chirripó	175.8	Viga Continua	2	2,17	5	0	0	Rehabilitación	F
L047	Río Toro Amarillo	258.6	Viga Continua	2	2,72	5	0	0	Rehabilitación	F
L002	Quebrada Westfalia	15.7	Viga Simple	1	2,65	3	1	2	Sustitución	C
P006	Río Tárcoles	339	Viga Continua	2	3,11	5	0	0	Rehabilitación	D
L141	Río San Miguel	25.61	Viga Simple	2	3,20	3	0	0	Sustitución	C
P059	Río Tusubres	170	Viga Simple	2	3,41	5	0	0	Rehabilitación	D
P065	Estero Boca Vieja	55	Viga Simple	2	2,98	4	1	2	Rehabilitación	C
S025	Río Jorco	31.4	Viga Continua	2	3,03	3	0	0	Rehabilitación	D
S051	Río Pacuar	105.65	Paso Inferior	2	2,49	5	1	2	Rehabilitación	C
S110	Río Sucio	187.25	Viga Continua	2	2,91				Rehabilitación	E

Nombre	Código	Longitud (m)	Tipo de Estructura	Cantidad de Carriles.	Indicador Prioritario Servicio Sugerido del Puente (IPSP).	Prioridad Intervención por la longitud	Socavación en bastiones y pilas		Tipo de Intervención Sugerida (TIS)	Prioridad de intervención del Puente (PIP)
						5	0	0		
S205	Río Tiribi	97.5	Viga Continua	3	2,30	4	1	3	Rehabilitación	C

Fuente: Propia,2021

La aplicación de este modelo de priorización de puentes en estado deficiente, determino el indicador prioritario de servicio sugerido para cada puente con base a su condición y estado actual(IPSP) **Tabla 40**, además el modelo identifico el tipo de intervención sugerida como caso piloto con base en los parámetros y características técnicas evaluadas(TIS), y finalmente este modelo le permitió al decisor asignar una prioridad sugerida de intervención con base a los aspectos económicos, sociales y políticos para la administración y gestión de los recursos económicos(PIP) **Tabla 42**.

La rehabilitación de puentes, tal como es definida por el AASHTO (AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Seventh Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2014), es un proceso en el cual la resistencia del puente es restaurada o incrementada, tanto para las cargas gravitacionales como para las acciones sísmicas.



Ilustración 70: Tipos de Intervención de los Puentes en estado deficiente.

Fuente: Bridge Preservation Guide.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

- Se realizó un análisis y una comparación del estado de conocimiento de los principales sistemas de administración y gestión de puentes a nivel nacional e internacional y se identificaron las variables fundamentales que intervinieron en la evaluación del estado de las estructuras en estado deficiente. Con lo anterior, se comprobó que la metodología de inspección visual aplicada por el programa eBridge del Tecnológico de Costa Rica y la aplicación de este modelo de priorización es versátil y eficiente, dado a que se concibió adaptándose a la problemática y a los requerimientos técnicos-socioeconómicos que enmarcan a todos los puentes del país. Además, se aseguró que el modelo de priorización como caso piloto asegurara la profundidad técnica en el momento de la evaluación de los daños, limitaciones y delimitaciones existentes de cada componente en este tipo de estructuras.
- Con base a la investigación realizada se determinó que los Departamentos de Transporte a nivel nacional e internacional utilizan metodologías que aplican variables internas como: capacidad de carga (Load rating), año de construcción, resistencia de los materiales, ancho y luz del puente, tipo de vía,, galibo y altura libre, entre otras y variables externas (socavación, fatiga, corrosión, sobrecargas, vulnerabilidad sísmica, líneas vitales), entre otras, tanto para la construcción de los indicadores prioritarios como para predecir el deterioro, el estado y la condición de los elementos estructurales como para proceder en la toma de las decisiones para seleccionar las técnicas y alternativas de solución en el ámbito de Mantenimiento, Rehabilitación y Sustitución de los puentes.
- Se dictaminó que los modelos para la intervención de puentes a nivel internacional consideran aspectos de seguridad funcional y estructural, condiciones hidrológicas e hidráulicas y finalmente condiciones prioritarias de servicio, no evalúa aspectos de geotécnicos ni geológicos de las estructuras.
- Los principales hallazgos relevantes en las estructuras de puentes en estado deficiente que fueron identificados y evaluados por los informes de inventario e inspección visual de daños de los puentes como caso piloto fueron los siguientes: carencias y deterioros de los componentes del puente, ausencia de las juntas de expansión, filtraciones de agua, deterioros en los elementos de seguridad vial, agrietamiento en una y en dos direcciones tanto en las subestructuras(bastiones y pilares) como en las superestructuras (losa y diagramas). Además, se evidenciaron deterioros contundentes y roturas en los apoyos de los puentes debido a la falta de conservación de estas estructuras.
- La bibliografía internacional dictaminó que más del 60% de los puentes a nivel mundial fallan por aspectos hidráulicos (socavación) debido a los cambios climáticos, modificaciones y alteraciones en el uso de los suelos, comportamiento dinámico y morfológicos de los ríos y además de que algunas de estas estructuras de puentes presentan una reducción en la capacidad hidráulica, sedimentación, erosión, azolvamiento, entre otras. Además, se determinó con base a los informes de inventario e inspección visual de daños del proyecto de eBridge que 21 de las estructuras evaluadas como caso piloto un 42.85% de los puentes presentan problemas graves de socavación tanto en los bastiones como en las pilas.
- Se concluyó que los modelos de priorización a nivel internacional consideran los costos de inversión de las técnicas de mantenimiento, rehabilitación o reforzamiento de acuerdo con las curvas de deterioro de cada elemento o componente del puente.

- Con base a las recomendaciones emitidas por el grupo de expertos en materia de puentes y la investigación realizada se efectuó la construcción de un modelo de priorización para intervención de puentes en Costa Rica en estado deficiente donde se determinó la jerarquía, los criterios y subcriterios de priorización que le permitió al administrador identificar y determinar la condición y el tipo de intervención (rehabilitación o reconstrucción) como caso piloto para la administración recursos públicos y para el análisis de la selección de las alternativas, considerando aspectos visuales valorados por los expertos en estructuras de puentes del programa eBridge del TEC.
- Con base en los criterios de priorización propuestos se determinó que de las 21 estructuras evaluadas un 42.85% de los puentes presentan un incumplimiento con la longitud mínima de asiento requerido, siendo este indicador relevante y trascendental recomendado por la bibliografía internacional debido a las solicitaciones y demandas sísmicas a las que deben estar diseñadas estas estructuras con base a las normativas y códigos de cada país, siendo este el segundo factor a nivel nacional e internacional de las fallas predominantes de los puentes (Evaluación de daños en puentes y otras estructuras causadas en el terremoto de Limón 1991).
- La priorización realizada determinó que las estructuras que requieren atención prioritaria son por su condición estructural, condiciones hidráulicas y obsolescencia funcional de los puentes (cantidad de carriles).
- El criterio de priorización de riesgo hidráulico propuesto fue el segundo de los rubros evaluados con mayor peso relativo donde identificó y concluyó que las estructuras que presentan socavación son más vulnerables y están más expuestas a las afectaciones del comportamiento hidrológico (estático y dinámico) y comportamiento hidráulico (velocidades, nivel máximo de agua, entre otras) de los ríos y quebradas con base en los criterios y subcriterios de priorización sugeridos: estrechamiento del cauce y la incidencia de los ángulos de ataque de las subestructuras.
- Con respecto al componente de obsolescencia funcional y operatividad se evidenció que solo uno de los puentes alcanzó una calificación insatisfactoria ya que no cuenta con una ruta alterna en caso que la estructura colapse parcial o totalmente, lo cual podría afectar la situación socioeconómica de la población, además se concluyó que las estructuras de puentes evaluadas que presentan una reducción de carriles con relación a la configuración geométrica del corredor vial son candidatas a sustitución; lo cual ratifica la probabilidad que se genere problemas de congestionamiento vial, aumento en los costos de operación, afectaciones en la salud pública, accidentes de tránsito, debido a los tiempos de espera, ya que, como se mencionó el contexto del modelo prioritario, las rutas sobre las que se ubican las estructuras evaluadas en este trabajo son muy transitadas y son rutas de alta demanda y oferta de trasiego de mercancías.
- Se identificó que un 14.28% de los 21 puentes evaluados cuenta con una altura libre menor 1,5 metros estas estructuras hidráulicamente están más propensas a que estos puentes presten un servicio temporal o que queden sin servicio debido a que les puede afectar las siguientes consideraciones: avenidas máximas, escombros flotantes, colapso de elementos; además que también incumple con el borde libre mínimo establecido en el Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura Vial en Centroamérica.

- La aplicación de este modelo de priorización de puentes en estado deficiente, determino el indicador prioritario de servicio sugerido para cada puente con base a su condición y estado actual(IPSP) Tabla 40, además el modelo identifico el tipo de intervención sugerida como caso piloto con base a los parámetros y características técnicas evaluadas(TIS), y finalmente este modelo le permitió al decisor asignar una prioridad sugerida de intervención con base en los aspectos económicos, sociales y políticos para la administración y gestión de los recursos económicos(PIP) Tabla 42.
- Posteriormente realizada la aplicación del modelo de priorización se realizó una revisión en los informes de inventario e inspección visual de daños de cada uno de los puentes evaluados y se concluyó que los indicadores propuestos para determinar la prioridad de servicio sugerida por puente y el tipo de intervención dictamina y validan la condición y el estado actual de cada estructura con relación a otra.
- Los puentes sobre Río Kopper, Río Grande Orosí, Río Nandayure, Río Tusubres, son las estructuras que presentan un indicador alto prioritario sugerido para la intervención de puentes en estado deficiente y que la longitud de asiento mínima incumple los requerimientos técnicos, además que las subestructuras de estos puentes presentan un grado de socavación que expone su cimentación.
- Se identifico y se determinó que los puentes que presentan graves problemas de socavación presentan ángulos de incidencia mayores a los de 6° a 30° Puente sobre Río Kopper, Puente sobre el Río Agua Caliente, sobre el puente sobre el Río Tabaco, Puente sobre el Río Belén, Puente Sobre el Río Westfalia, Puente sobre Estero Boca Vieja, Puente sobre el Río Pacuar.
- Se dictamino que 4 de los 21 puentes evaluados presentan reducción de un 15% en la capacidad hidráulica del puente, debido al grado de estrechamiento que se presenta con base en las dimensiones de las secciones transversales (aguas arriba y aguas abajo).
- Los resultados obtenidos en la aplicación del modelo de cada indicador prioritario sugerido para la intervención de puentes atendieron correctamente las características observadas en campo de cada estructura inspeccionada por el programa de puentes del Tecnológico de Costa Rica, de manera que la aplicación de este modelo de priorización brinda una representación real cuantitativa y cualitativa del estado actual de cada puente, y emite un indicador y peso relativo con relación a su estructura en estado deficiente,. Dado a los que los resultados certeros optimizan y ratifican la condición, del estado de cada estructura con base al indicador BCI propuesto por el TEC.
- En la aplicación del modelo se logró determinar cómo caso piloto el tipo de intervención de cada puente considerando los costos de intervención cada una de las estructuras. Además, se identificó la prioridad sugerida para intervenir cada estructura evaluando el largo del puente, utilizando el siguiente principio: “Entre más largo sea un puente mayor importancia tiene. Esto debido a que implica un costo elevado y las dificultades de un proceso de reconstrucción o, de alternativas para sortear el obstáculo si el puente pierde funcionalidad”.
- Según la revisión realizada en los informes de inventario e inspección visual de daños de puentes se determinó que en los 21 puentes analizados los elementos de seguridad vial se encontraron en una condición regular en las estructuras evaluadas como, por ejemplo: barreras de seguridad, aceras, drenajes, por ende en este modelo de priorización no se consideró el aspecto de seguridad vial, dado a que es parámetro obligatorio que deben cumplir los departamentos de transporte a nivel nacional e internacional esto con el fin de salvaguardar la seguridad e integridad de la población,

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transportes mediante el Convenio Marco de Colaboración con el Tecnológico de Costa Rica realizar una inspección y un monitoreo detallado de los puentes candidatos a rehabilitación en estado deficiente para conocer el estado actual de las estructuras.
- Con base al tipo de intervención de puentes sugerida como caso piloto se recomienda realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos y el cálculo de socavación-erosión de los puentes en estado deficiente candidatos a rehabilitación para efectuar la revisión de la capacidad hidráulica del puente (dimensiones de la sección hidráulica, geometría, morfología, entre otras).
- Con base al tipo de intervención de puentes sugerida como caso piloto se recomienda en caso de que el especialista así lo dictamine realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos y el cálculo de socavación-erosión de los puentes en estado deficiente candidatos a sustitución para validar su condición de servicio determinada en este modelo. No obstante, con base a la condición y el costo de intervención que se requiere para poner en servicio este puente, se recomienda realizar el reemplazo de la estructura.
- Con base a los Informes de Inspección de Inventario y Visual de Daños del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica se recomienda realizar una inspección detallada de los bastiones y pilas mediante la ejecución de ensayos destructivos y no destructivos para determinar si el acero de refuerzo de los bastiones y pilas tiene corrosión y además evaluar la profundidad de las grietas en los elementos estructurales y no estructurales.
- Realizar una evaluación de la capacidad de carga del puente (actualización de carga HL-93) y una valoración detallada de los bastiones, pilas, apoyos, juntas. También, del estado y condición de la superestructura, para definir un diseño de rehabilitación que incluya medidas para intervención y reforzamiento, utilizando la evaluación estructural los criterios de los Lineamientos para diseño Sismorresistente de puentes (CFIA, 2013) y los de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (AASHTO, 2014).
- Se recomienda diseñar o sustituir los apoyos y juntas de las estructuras de los puentes deteriorados basados en la evaluación estructural recomendada, (rotura, deformación extraña, inclinación, entre otras) para transmitir y atender las solicitaciones sismorresistentes.
- Se recomienda en el diseño considerar los mecánicos o sistema de reforzamiento para atender los incumplimientos en la longitud de asientos de los puentes evaluados (tope sísmico, conexiones: con placa, cadena, cable de acero y limitar de desplazamiento).
- Se recomienda al Ministerio de Obras Públicas realizar las evaluaciones y coordinaciones correspondientes para realizar las medidas de mitigación y obras de protección para atender las estructuras que presentan problemas graves de socavación y erosión, esto con el fin de que a un corto y mediano plazo se promuevan las contrataciones de los diseños para la rehabilitación y construcción de las estructuras de puentes en estado deficiente.
- Se recomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transporte establecer un programa de mantenimiento para los puentes que están en condición regular y satisfactoria, esto con el fin de mitigar el avance progresivo de deterioro de los elementos de las subestructuras y superestructura y que estas estructuras no se sumen a las que presentan afectaciones considerables.
- Es urgente realizar la actualización de los Informes de Inventario y Visual de Daños de puentes del proyecto eBridge del Tecnológico de Costa Rica y definir los periodos de inspección para la programación de obras de mantenimiento, rehabilitación y construcción de los puentes, principalmente por la edad de la construcción de estas estructuras.

- El Departamento de Transportes del Gobierno (MOPT) deberá contar a corto y mediano plazo con la implementación de un Sistema de Gestión y Administración de Puentes para la Construcción, rehabilitación y Mantenimiento de Puentes donde consideré la evaluaciones y monitoreos de cada elemento y componente de un puente (construcción de curvas de deterioro) para administrar y optimizar los recursos del Estado.
- Se recomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transportes realizar un análisis de costo beneficio o de ciclo de vida del tipo de intervención a realizar con base a las consideraciones y evaluaciones: estructurales, geotécnicos, hidráulicos, entre otras.
- Establecer un programa a corto plazo de mantenimiento rutinario y cíclico que incluya el seguimiento de los daños leves identificados en cada una de las estructuras de puentes en estado deficiente: limpieza del puente, limpieza de bordillos, limpieza de entradas del sistema de drenaje, remoción de escombros en el cauce (considerando medidas de seguridad ante la presencia de fauna peligrosa), limpieza de maleza en taludes de rellenos de aproximación, monitoreo y la conservación de la demarcación horizontal, la reposición de elementos dañados o del faltante de elementos en la barrera del puente, la colocación de sistemas de contención vehicular con el fin de garantizar la seguridad funcional y vial de cada una de estas estructuras.
- Realizar los estudios geotécnicos/licuefacción/ reutilización de fundaciones y efectuar una evaluación readecuación sísmica de los puentes que están en estado deficiente y que son candidatos rehabilitación para definir la propuesta de intervención (amenaza sísmica en caso de que amerite), para definir las técnicas de rehabilitación y reforzamiento de las estructuras.
- Se recomienda al Ministerio de Obras Públicas y Transportes realizar la construcción de una base de datos con los costos de cada uno de los elementos y componentes de un puente, que permita facilitar la elaboración de un presupuesto detallado con base a su alcance u objeto contractual.
- Se recomienda al Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes del Tecnológico de Costa Rica realizar un sobrevuelo con un dron en cada una de las estructuras en estado deficiente para identificar, determinar y dictaminar aspectos hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos del puente, trascendentales para ampliar, aspectos relevantes tanto aguas arriba como aguas abajo del puente (secciones transversales, tipo de material, entre otras) y que sea considerado para la creación de un futuro indicador o criterio de priorización para este modelo.
- Con base a las determinaciones e investigaciones realizadas se recomienda realizar la Construcción de un modelo de Priorización específicamente en el Ámbito del Hidráulica, ya que este uno de los criterios de priorización con más de un 60% fallo de las estructuras nivel internacional, lo cual les permitirá a los departamentos de transportes realizar la optimización de los recursos y validar la estrategia de intervención.
- Se recomienda que el parámetro de redundancia sísmica de las estructuras de puentes se evaluado por tipo categoría de longitud del cada puente.

6. CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.

- AASHTO. (2010). *Bridge Element Inspection Guide Manual. 1st Edition American Asociation of State Highway and Transport Officials*. USA.
- AASHTO. (2010). *Bridge Element Inspection Guide. 1st Edition. American Association of State Highway and Transport Officials*. USA.
- AASHTO, L. (2017). *Bridge Design Specifications 8t*. USA.
- Alcides J. León Méndez, Y. G. (2018). *Hidraulica de Puentes*. Cujae.
- Álvarez Sánchez, L., Castillo Barahona, R., & Vargas Alas, L. (2014). *Evaluación de la carga viva vehicular de Puentes en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Unidad de Puentes, PITRA, LanammeUCR,.
- Araya Con, M., Villalobos Vega, E., & Castillo Barahona, R. (s.f.). *Asesoría CONAVI "Programa de Intervención de Puentes en Estado Deficiente Parte 2 Análisis de Costos de Ciclo de Vida*. Unidad de Puentes, LanammeUCR.
- Association, D. T. (2012). *Evaluating Scour at Bridges*. USA.
- Austroroads. (2013). *Bridge Management Using Performance Models*. Australia: Roads and Maritime Service NSW.
- Barrantes Jiménez, R., Badilla Vargas, G., Sibaja Obando, D., & Porras, J. (2008). *Variaciones a los rangos para la clasificación estructural de la red vial nacional de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.
- Barrantes, J. M. (2017). *Guía para la Determinación de la Condición en Puentes mediante Congreso Estructuras 2017 y XIV Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica*. Costa Rica: Unidad de Puentes LanammeUCR.
- Carretera, A. M. (2016). *Análisis de Riesgos y Gestión de Riesgos en Puentes*. Francia.
- Centroamericana, S. d. (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la infraestructura Vial en Centroamerica*. Salvador.
- Department Transportation, F. H. (2002). *en Bridge Inspector's Reference Manual*,. USA.
- Department of Transportation, F. H. (1998). *Recording and coding Guide for the structure, Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges*. USA.
- Department of Transportation, F. H. (2004). *Bridge Preservation Guide*. USA.
- Economía, M. d. (2014). *Metodología de Análisis de Amenazas Naturales para proyectos de Inversión Publica en etapa de perfil, Costa Rica*. San José.
- España, G. d. (2012). *Guía para la realización de Inspecciones principales de obras de pasos en la red de carreteras del Estado*. España.
- Estes, A. (1999). *Repair Optimization of Highway Bridges Using Sytem Reliabilty Approach*. *Journal of Structural Engineering*. USA.
- Estructural, G. O.-R. (2018). *Sustitución de Apoyos en Grandes Puentes Viaducto de Rontegi(Vizcaya)*.
- Geotecnia, A. C. (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica*. San José Costa Rica.

- Germán Giraldo Arenas, D. E. (2013). *Propuesta metodológica para la evaluación de la susceptibilidad y socavación de puentes apoyada en un Sistema de Información Geográfico (SIG)*. Bogotá D.C.
- Gutiérrez Corrales,, Y., Muñoz Peralta,, G., & Ramírez González,, M. (2013). *Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP)*. San José, Costa Rica: Ministerio de Obras Publicas y Transportes.
- J, H. (2004). *Reliability Vulnerability versus Costs/ Benefits. Proceedings of the 2nd International Symposium on Transportation*. Queenstown and Cristchurch New Zealand.
- 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*. San José, Costa Rica: Minsiterio de Obras Públicas y Transportes.
- LanammeUCR. (2015). *Guía para la determinación de la condición de los puentes en Costa Rica mediante la Inspección Visual*. San José, Costa Rica: Unidad de Puentes.
- LanammeUCR, U. d. (2018). *Informe Ejecutivo de la Evaluación de la Condición de 34 Puentes Ubicados en el Tramo Cruce ee Río Frío - Limón Ruta Nacional No. 32*. San José, Costa Rica.
- Mideplan. (2014). *Metodología de análisis de amenazas naturales para proyectos de inversión pública en etapa de perfil*. San José, Costa Rica.
- Molina Schulz, N. (2012). *Diseño de un sistema de gestión de puentes bajo enfoque de la priorización de la Inversión*. Valdivia,Chile.
- Mora, I. N. (2020). *Métodos para el Reforzamiento parte 1 y parte 2*. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.
- Naiyu, W. (2010). *Reliabilitu Bases Condition Assessement of Existing Higway Bridges*. USA.
- Ochoa Rubia, T. (2002). *Hidrología Hidraulica y Socavación en Puentes*. Colombia.
- Ortiz Quesada, G., & Carranza Solano, M. (2020). *Uso de pruebas de carga para caracterización de un puente existente*. San José, Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica.
- Ortiz Quesada, G., Garita Rodriguez, C., Navarro Mora, Á., & Páez González, G. (2021). *Priorización de Intervenciones en Puentes utilizando Indicadores*. Cartago,Costa Rica.
- Parra Palacio, S., & Sedano Agudelo , A. (2011). *Desarrollo de una Metodología para la Evaluación del Estado de Puentes Existentes*. Bogotá D.C, Colombia.
- Programa de Ingeniería Sísmica, L. (1999). *Evaluación del Impacto Ingenieril de un Terremoto en la Peninsula de Nicoya*. San José, Costa Rica.
- Rica, C. F. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Rica, C. F. (2013). *Lineamientos para el diseño Sismoresistente de Puentes*. San José, Costa Rica: LanammeUCR.
- Rica, L. N. (2019). *Informe de Evaluación de la red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica*. San José,Costa Rica.
- Salazar Aguiar, D. (2018). *Inspección, evaluación y priorización de 15 puentes en el cantón de Buenos Aires*. Cartago, Costa Rica: Tecnológico de Costa RICA.
- Sasso Steele, R. (2010). *Análisis hidráulico de las condiciones del sitio del Puente sobre el Río Chirripo en la ruta nacional N°32*. Limón,Costa Rica.
- Sauter, F. (2011). *Evaluación de daños en puentes y otras estructuras civiles causadas en el terremoto de Limón*. San José: UCR.

- Schanack, F., Marguirott, E., González, T., & Molina, N. (2014). *Priorización de la Mantención de Puentes en una red vial*. Valdivia, Chile.
- SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*.
- SIECA. (2016). *Manual de Consideración Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura en Centroamerica*. Salvador.
- Sobrado, C. S. (2011). *Zonificación de sitios para la valoración de la aceleración pico efectiva según los criterios de Código Sísmico de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Tapia Rodríguez, G., Molina Aguilar, J., Pérez Morales, B., & Torres Acosta, A. (2012). *Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río en el diagnóstico de la socavación en pilas de un puente, utilizando un dispositivo electrónico*. Sanfandila, México.
- Tecnológico de Costa Rica, E. (2019). *Inventario de Puentes en Rutas Nacionales de Costa Rica*. Carago, Costa Rica.
- Tecnológico de Costa Rica, E. (2019). *Propuesta para la valoración del estado y costeo de puentes*. Cartago, Costa Rica.
- Transport, D. o. (2006). *Seismic Retrofitting Manual For Highway Structures Part1 Bridges*. USA.
- Transportation, F. D. (2015). *Bridge Costs Florida*. USA: Area de Programa de Estructura y Mantenimiento de Puentes.
- Transportation, G. D. (2012). *Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual*. Georgia.
- Transportation, V. D. (2018). *Good State of Good Repair(SGR)*. USA: Programa Bridge Priorization Virginia.
- Transportes, M. d. (2007). *Manuel de Inspección de Puentes*. San José, Costa Rica.
- Transportes, M. d. (2011). *Plan Nacional de Trasnportes 2011-2035*. San José, Costa Rica: INECO.
- Transportes, M. d. (2015). *Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, Carreteras y Puentes(MCV 2015)*. San José.
- Valenzuela Díaz, S. (2008). *Metodología de gestión de Puentes a nivel de red basada en inspección visual*. Santiago, Chile.
- Vialidad, C. N. (2009). *Documentos de Licitación Internacional N°2011LI-000026-ODE00 Diseño y Construcción de 18 Puentes en la Ruta Nacional N°1 Carretera Interamericana Norte, Sección: Cañas Liberia*. Costa Rica.
- Villalobos Vega, E., Castillo Barahona, R., & Vargas Alas, L. (2019). *Asesoría al CONAVI "Programa de Intervención de Puentes en Estado Deficiente" Parte 1 Priorización*. San José, Costa Rica.
- Villalta V, C. (2020). *Análisis de diferentes tópicos en materia de infraestructura vial y sugerencias para definir un Plan Vial a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo*. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Zamora Rojas, J., Jiménez Romero, D., & Acosta Hernández, E. (2012). *Evaluación de Seguridad Vial en Costa Rica*. San Jose, Costa Rica: Unidad de Seguridad Vial y Transporte – LanammeUCR.

7. CAPITULO VII. ANEXOS.

DATOS TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO UTILIZADOS PARA EL PROYECTO.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO A003 PUENTE SOBRE EL RÍO KOOPER A003



SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN SECTORIAL
Planificación Estratégica Multimodal de Infraestructura y Servicios de Transporte

20/11/2021 - 6:25 pm

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 191 **Ruta:** 4 **Sección:** 21011
Tramo: SAN JOSE DE AGUAS ZARCAS(R.751)-MUELLE(R.35)
Ubicación: PUENTE RÍO KOOPER
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2007	2933	39.95	33.23	1.82	14.53	4.49	0	5.98
2011	3323	38.84	29.35	0.92	16.82	6.42	0	7.65
2015	4229	42.49	30.7	1.88	11.49	5.03	1.17	7.24

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO AGUAS ZARCAS A225



SECRETARÍA DE PLANIFICACIÓN SECTORIAL
Planificación Estratégica Multimodal de Infraestructura y Servicios de Transporte

04/11/2021 - 6:56 pm

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 0 Ruta: 140 Sección: 20662

Tramo: LA MARINA(R.748)-AGUAS ZARCAS(R.250)

Ubicación: QUEBRADA ZAPOTAL

Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2013	7294	62.61	24.5	2.82	6.74	1.74	0	1.59
2016	7096	70.43	15.71	1.76	8.17	1.44	0	2.48

Nomenclatura:

- Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
- Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
- C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
- C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO DELICIAS A282

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 296 **Ruta:** 250 **Sección:** 20671

Tramo: LOS CHILES AGUAS ZARCAS (R.751)-PITAL(R.744)

Ubicación: IGLESIA DE LAS DELICIAS

Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2009	3825	50.38	29.01	2.86	11.18	3.23	0	3.34
2015	4919	50.85	28.07	2.08	10.47	2.51	0.31	5.71
2017	5338	52.28	34.22	2.28	7.41	2.28	0	1.52

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)

Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)

C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)

C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO AGUA CALIENTE C056

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 231 **Ruta:** 231 **Sección:** 30290
Tramo: B° LOS ANGELES, CARTAGO (RIO) - LOURDES (PORTON ENTRADA FABRICA DE CEMENTO)
Ubicación: CERRILLOS, FRENTE A LA LIGA DE LA CAÑA
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1987	1905	37.86	32.47	1.84	18.87	4.13	0.32	4.51
1989	2455	30.08	28.78	1.36	29.97	4.66	0	5.15
1990	2670	47.19	32.08	1.3	13.44	0.89	0	5.1
1993	2810	48.68	27.75	2.3	12.63	3.41	0	5.23
1994	3160	51.93	25.33	1.23	12.01	4.07	0.13	5.3
1995	3710	54.17	27.69	1.32	7.73	4.08	0.12	4.89
2006	7955	69.59	13.09	1.28	5.13	2.57	0	8.34
2010	8216	66.75	14.76	0.64	4.94	4.04	0	8.87
2015	9163	76.5	13.44	0.71	3.93	1.06	0.5	3.86

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO GRANDE DE OROSÍ C084

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 635 **Ruta:** 224 **Sección:** 30450

Tramo: PUENTE NEGRO (RÍO AGUA CALIENTE)(LTE CANTONAL)-PALOMO(RÍO GRANDE DE OROSÍ)(CONOCIDO COMO RÍO REVENTAZON)

Ubicación: 200 M ANTES DEL CRUCE A RÍO MACHO (BENEFICIO COOPEANITA)

Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1987	625	47.16	35.37	5.68	9.26	2.32	0	0.21
1988	560	43.95	41	5.5	9.5	0.05	0	0
1989	610	41.28	40.7	7	8.32	0.3	2.4	0
1990	635	48.42	36.43	5.2	9.73	0.22	0	0
1991	640	51.85	35.35	6.05	6.28	0.47	0	0
1993	760	49.47	36.61	4.46	9.46	0	0	0
1994	965	47.15	42.17	5.27	4.84	0.57	0	0
1995	1175	51.65	35.25	4.16	8.7	0.12	0	0.12
2005	1726	58.78	29.39	5.75	5.75	0.33	0	0
2006	1882	63.43	26.39	4.4	4.86	0.69	0	0.23
2008	2263	63.25	23.79	4.84	7.93	0.19	0	0
2015	3215	68.92	20.96	4.87	3.97	1.04	0.05	0.19

Nomenclatura:

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO AGUA CALIENTE C175

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 689 **Ruta:** 231 **Sección:** 30290
Tramo: B° LOS ANGELES, CARTAGO (RIO) - LOURDES (PORTON ENTRADA FABRICA DE CEMENTO)
Ubicación: PUENTE RÍO AGUA CALIENTE
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1987	1160	25.44	26.59	9.59	25.03	6.05	0.52	6.78
1988	1365	23.24	27.5	7.83	25.07	6.79	0	9.57
1989	1480	29.62	25.02	8.91	24.66	4.95	0.09	6.75
1990	1640	28.81	27.97	8.14	22.54	2.54	0	10
1993	1960	32.1	25.89	7.9	20.24	5.73	0.08	8.06
1994	2235	38.66	27.69	6.55	13.62	4.47	0.06	8.95
1995	2590	41.28	27.06	5.83	11.89	5.94	0	8
2008	7256	52.41	20.87	3.63	6.9	3.69	0	12.5
2009	7241	57.95	19.64	4.04	5.54	4.2	0	8.63
2015	8460	68.18	16.15	3.4	4.74	1.39	0.37	5.77

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO TABACO G009

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de C conteo

Estación: 0 **Ruta:** 160 **Sección:** 50572
Tramo: SAN JUANILLO(CRUCE CENTRO POBLACIÓN)-MARBELLA(PLAZA-ESCUELA)
Ubicación: FRENTE A LA DELEGACIÓN DE LA FUERZA PÚBLICA
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2010	267	50	31.52	5.98	10.87	1.63	0	0

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO BELÉN G026

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 549 **Ruta:** 21 **Sección:** 50082
Tramo: LLANO GRANDE(ENTRADA AEROPUERTO)-GUARDIA (RIO TEMPISQUE)(LTE. CANTONAL)
Ubicación: GUARDIA, PUENTE RÍO TEMPISQUE
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1987	1720	44.34	40.43	4.73	7.91	0.96	0	1.63
1989	1620	33.47	40.21	6.34	16.37	1.44	0.16	2.01
1990	1525	31.05	46.71	5.45	13.32	1.04	0.35	2.08
1992	1705	37.14	41.68	5.92	10.89	2.4	0	1.97
1995	3165	44.12	34.64	4.65	10.51	0.86	0	5.22
2006	5413	44.13	34.64	4.65	10.5	0.86	0	5.22
2010	10695	64.66	21.77	4.91	6.93	0.72	0	1.01
2015	11005	67.76	19.66	3.17	6.67	1.49	0.15	1.1

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO NANDAYURE G167

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 578 **Ruta:** 161 **Sección:** 51000
Tramo: SANTA RITA(R.21)-CARMONA(PARQUE)
Ubicación: SALIDA DE SANTA RITA A CARMONA, A 100 M DE LA R.21
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2005	1413	54.2	33.59	1.91	9.73	0.57	0	0
2007	1569	47.13	30.53	1.72	17.94	1.53	0	1.15
2015	1861	60.94	25.95	4.43	6.29	2.21	0.09	0.09

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA H020

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 0 **Ruta:** 3 **Sección:** 19007
Tramo: LA URUCA(R.1)(PUENTE JUAN PABLO II)-LTE PROV.SAN JOSÉ/HEREDIA(R.VIRILLA)
Ubicación: 200 M ANTES DEL RÍO VIRILLA
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2019	44869	71.44	16.01	3.11	6.2	1.15	0.05	2.03

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO CHIRRIPO L005

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 155 **Ruta:** 4 **Sección:** 70110
Tramo: LA Y GRIEGA,POCOCI(R.32)-R.CHIRRIPO (LTE PROVINCIAL)
Ubicación: SALIDA DE R.32 A HORQUETAS, 100 M DESPUÉS DE LA R.229 A RÍO FRÍO
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2005	3356	45.21	25.47	2.95	11.89	4.92	0	9.56
2006	3765	43.73	27.23	2.92	13.02	3.63	0	9.47
2007	4416	36.24	21.82	2.16	13.24	6.23	0	20.31
2008	4095	45.85	26.34	2.05	11.52	3.23	0	11.01
2015	5406	47.57	18.76	2.16	11.33	4.97	1.05	14.16

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO TORO AMARILLO L047

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 328 **Ruta:** 32 **Sección:** 70150
Tramo: LA Y GRIEGA(R.4)-GUÁPILES(R.247)(CALLE EMILIA)
Ubicación: 1 KM DESPUÉS DEL INICIO DE LA R.4, PUENTE RÍO CORINTO
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1999	7670	38.73	24.47	3.68	15.76	0	0	17.36
2004	9319	44.03	22.33	3.61	10.84	4.96	0	14.23
2006	9289	44.58	18.53	2.72	10.74	4.08	0	19.35
2007	10304	42.75	19.15	4.73	10.31	4.14	0	18.92
2008	9845	45.15	21.63	4.16	10.5	2.75	0	15.81
2015	11890	50.17	21.41	2.24	7.78	2.38	0.9	15.12

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE LA QUEBRADA WESTFALIA L002

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 695 Ruta: 36 Sección: 70050

Tramo: LIMÓN(R.32)-RÍO BANANO(R.241)

Ubicación: 200 M DESPUÉS DEL AEROPUERTO DE LIMÓN

Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1987	980	36.76	43.05	9.36	9.36	0.4	0	1.07
1988	825	39.2	40.09	9.4	9.25	1.03	0	1.03
1989	940	42.51	34.04	12.01	10.73	0.71	0	0
1990	900	37.69	36.92	12.93	11.37	0.31	0	0.78
1991	925	38.51	40.3	12.79	6.74	0.83	0	0.83
1994	1025	43.54	37.47	10.29	7.78	0.66	0	0.26
2005	2112	54.33	21.05	7.7	9.22	2.34	0	5.36
2007	3517	67.03	11.9	6.95	7.44	2.76	0	3.92
2010	3931	62.84	17.97	6.47	7.36	2.18	0	3.18
2015	4385	65.43	20.28	4.38	6.71	1.84	0.2	1.16

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO TÁRCOLES P006

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 653 **Ruta:** 34 **Sección:** 21300
Tramo: COYOLAR DE OROTINA(RADIAL POZON)(R.27)-LAGUNILLA DE COYAR(CRUCE GUACALITO)(LTE. PROVINCIAL)
Ubicación: POZON (0+500 M DESPUÉS DEL INICIO DE LA RUTA)
Comentario: /ANTES DEL 2015 UBICADA EN: SALIDA DE POZON A JACO, A 100 M DE LA R.27

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1995	1690	45.78	35.54	5.23	8.15	1.92	0.15	3.23
2006	7563	60.22	20.42	3.23	10.21	2.99	0	2.93
2009	6918	59.21	20.27	4.6	9.71	2.09	0	4.12
2011	9119	64.4	19.14	3.24	7.3	1.51	0	4.41
2015	10843	58.87	22.31	4.67	7.08	1.64	0.48	4.95

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO SAN MIGUEL L141

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 0 **Ruta:** 32 **Sección:** 70471
Tramo: SAN MIGUEL(ENTRADA PRINCIPAL)-TORO(RÍO TORO)(LTE CANTONAL)
Ubicación: 100 M ANTES DEL CRUCE A BATÁN (BARBILLA)
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2007	6791	34.77	19.78	3.07	8.72	2.57	0	31.09

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO TUSUBRES P059

Tránsito Promedio Diario Anual (TDPA) de una Estación de Conteo

Estación: 0 **Ruta:** 34 **Sección:** 60140
Tramo: JACÓ(PRIMERA ENTRADA CENTRO POBLACIÓN)-QUEBRADA AMARILLA (RIO TUSUBRES)(LTE CANTONAL)
Ubicación: QUEBRADA PALMA REAL (KM 42+765)
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2011	7835	67.85	18.57	1.87	6.7	1.11	0	3.9
2017	12057	68.72	21.07	1.48	4.43	0.67	0	3.62

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL ESTERO BOCA VIEJA P065

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 792 **Ruta:** 235 **Sección:** 60462
Tramo: JUNTA NARANJO(R.34)-QUEPOS(R.618)
Ubicación: JUNTA DE NARANJO (A 0+100 M DEL INICIO DE LA RUTA)
Comentario:/ANTES DEL 2015 UBICADA EN: 100 M DESPUES DE LA R.34

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1987	740	31.89	40.32	10.22	16.85	0.72	0	0
1989	845	37.95	43.07	8.42	8.25	0.99	0	1.32
1991	1030	31.06	42.3	9.91	14.86	1.2	0	0.67
2006	4788	71.43	17.94	4.11	5.6	0.57	0	0.35
2011	8817	73.98	17.22	2.74	4.52	1.34	0	0.2
2015	9211	77.15	15.76	2.11	4.39	0.55	0	0.04

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO JORCO S025

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 156 **Ruta:** 209 **Sección:** 10212
Tramo: EL CRUCE(R.206)-LTE CANT.DESAMPARADOS/ASERRÍ(R.CAÑAS)
Ubicación: PUENTE RÍO JORCO
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1988	5045	48.55	33.13	12.47	5.35	0.38	0	0.12
1989	6020	49.73	33.32	11.92	4.75	0.28	0	0
1991	7115	53.56	30.19	11.03	4.95	0.21	0	0.06
1993	9135	52.84	28.38	13.8	4.25	0.56	0	0.17
1994	10540	57.04	27.15	10.9	4.35	0.42	0	0.14
1995	11280	63.57	22.83	9.3	3.79	0.31	0	0.2
2005	25286	76.36	15.38	5.19	2.81	0.12	0	0.14
2006	26529	60.3	24.99	10.1	4.07	0.37	0	0.17
2015	28484	80.31	9.02	5.78	3.94	0.42	0.22	0.31

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO PACUAR S051

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 0 **Ruta:** 244 **Sección:** 10831
Tramo: LAS JUNTAS DE PACUAR(R.2)-MOLLEJONES DE PLATANARES(R.329)
Ubicación: PUENTE QUEBRADA REYES (A 3.5 KM DEL INICIO DE LA RUTA)
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
2007	1611	49.8	37.7	2.25	8.2	1.23	0	0.82
2018	3289	62.75	23.53	0.65	11.76	0.65	0	0.65

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO SUCIO S110

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 14 **Ruta:** 32 **Sección:** 10950
Tramo: STA ELENA (LTE PROV)(R. PARA BLANCO) - RIO ZURQUI (LTE. CANT)
Ubicación: SANTA ELENA DE SAN ISIDRO
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1987	3546	35.58	34.13	5.98	9.68	3.65	0.37	10.61
1988	3488	41.49	31.79	6.5	7.59	1.97	0	10.66
1989	3936	37.11	34.38	4.75	11.75	1.43	0	10.58
1990	4433	37.68	31.94	6.25	9.32	3	0.07	11.74
1991	4577	32.5	34.91	6.73	12.74	1.24	0	11.88
1992	4910	35.86	34.92	5.38	10.55	1.56	0.09	11.64
1993	5462	38.7	34.91	6.02	10.09	1.33	0.12	8.83
1994	6950	39.18	32.79	4.86	10.06	2.01	0.05	11.05
1995	6993	41.26	29.17	5.87	8.26	1.94	0.03	13.47
1996	7040	42.35	27.74	5.48	9.66	1.7	0	13.07
1997	7075	39.48	26.97	5.97	10.45	2.12	0.05	14.96
1999	6770	38.28	23.71	4	10.06	2.6	0	21.35
2002	7811	49.3	19.13	4.42	8.55	3.11	0	15.49
2005	7874	46.45	18.1	3.28	9.25	2.76	0	20.16

2006	8409	46.06	17.63	4.15	10.34	2.83	0	18.99
2009	8370	45.14	18.42	2.81	10.41	4.18	0	19.04
2015	13173	53.03	18.6	3.28	6.29	1.84	1.33	15.63

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)

ACLARACIÓN:

Esta información es tomada de nuestra base de datos y el objetivo fundamental en el uso de la misma es la planificación estratégica de largo plazo. De esta manera, el empleo de los datos suministrados para labores de diseño estructural, funcional u otros tipos de análisis con necesidad de mayor nivel de detalle, queda exclusivamente a criterio del usuario. De igual forma, esta dependencia no se hace responsable por el uso posterior de la información brindada, ya que es responsabilidad del usuario revisar la misma y determinar si cumple con sus requerimientos.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO PUENTE SOBRE EL RÍO TIRIBRÍ S205

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de una Estación de Conteo

Estación: 156 **Ruta:** 209 **Sección:** 10212
Tramo: EL CRUCE(R.206)-LTE CANT.DESAMPARADOS/ASERRÍ(R.CAÑAS)
Ubicación: PUENTE RÍO JORCO
Comentario:

Año	TPDA	Liviano	Carga Liv.	Bus	C. 2 ejes	C. 3 ejes	C. 4 ejes	C. 5/6 ejes
1988	5045	48.55	33.13	12.47	5.35	0.38	0	0.12
1989	6020	49.73	33.32	11.92	4.75	0.28	0	0
1991	7115	53.56	30.19	11.03	4.95	0.21	0	0.06
1993	9135	52.84	28.38	13.8	4.25	0.56	0	0.17
1994	10540	57.04	27.15	10.9	4.35	0.42	0	0.14
1995	11280	63.57	22.83	9.3	3.79	0.31	0	0.2
2005	25286	76.36	15.38	5.19	2.81	0.12	0	0.14
2006	26529	60.3	24.99	10.1	4.07	0.37	0	0.17
2015	28484	80.31	9.02	5.78	3.94	0.42	0.22	0.31

Nomenclatura:

Liviano: Liviano (automóvil, 4x4 y microbuses familiares)
Carga Liv.: Carga Liviana (pick up y camión pequeños de 2 ejes con eje trasero sencillo)
C. 2, 3, 4 ejes: Camión No Articulado (de carga, vagoneta y trailer sin carreta)
C. 5/6 ejes: Camión Articulado (trailer con carreta, equipo especial y vehículo de 6 o más ejes)