

Diseño de una guía de inspección de factores externos que inciden en el desempeño de estructuras de puentes

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Diseño de una guía de inspección de factores externos que inciden en el desempeño de estructuras de puentes


Llevado a cabo por el estudiante:

Flores Picado Carlos Antonio

Carné: 2019036817

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el jueves 04 de setiembre de 2025 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

 Firmado digitalmente por
JOSE ANDRES ARAYA
OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2025.09.12
16:08:28 -06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de Escuela

Firmado digitalmente
por BYRON GERARDO
PAEZ GONZALEZ
(FIRMA)
Fecha: 2025.09.05
13:29:01 -06'00'

Ing. Gerardo Páez González, MSc.
Profesor Guía

Firmado digitalmente
por GUSTAVO ADOLFO
ROJAS MOYA (FIRMA)
Fecha: 2025.09.09
14:27:24 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya, MSc.
Profesor Lector

Firmado digitalmente
por GIANNINA ORTIZ
QUESADA (FIRMA)
Fecha: 2025.09.09
07:42:10 -06'00'

Ing. Giannina Ortiz Quesada, MSc.
Profesora Observadora

Resumen

El siguiente proyecto final de graduación tuvo como objetivo principal el diseño de una guía para la inspección de factores externos en estructuras de puentes. Estos factores se refieren a elementos del entorno que, aunque ajenos a la estructura como tal, pueden influir de forma significativa en su estado y funcionamiento. La metodología empleada se desarrolló en tres fases principales. La primera consistió en una revisión bibliográfica de diferentes manuales y guías, tanto nacionales como extranjeros, así como en la consulta a especialistas en la inspección de puentes. En la segunda fase se diseñó la guía, la cual contempla objetivos, alcance, medidas de seguridad, equipo necesario, descripción de los factores externos, daños posibles, procedimientos de evaluación, escalas cualitativas, formulario de inspección, lista de verificación, indicaciones para la toma de fotografías y esquemas de apoyo. Finalmente, en la tercera fase se ejecutó una prueba piloto en campo, con el propósito de obtener observaciones y detectar aspectos por mejorar en el contenido de la guía. El resultado es una herramienta práctica y ágil, orientada a la recolección estandarizada de la información sobre los factores externos, con el propósito de complementar la evaluación de las estructuras de puentes.

Palabras clave: inspección visual, puentes, factores externos, entorno, amenazas naturales.

Abstract

The main goal of this final graduation project was to design a guide for inspecting external factors that affect bridge structures. These factors are elements from the surrounding environment that, although not part of the structure itself, can significantly impact its condition and performance. The methodology was divided into three main phases. The first phase involved a literature review of various national and international manuals and guides, along with consultations with bridge inspection experts. In the second phase, the guide was developed. It includes objectives, scope, safety measures, required equipment, descriptions of external factors, possible damages, evaluation procedures, qualitative rating scales, an inspection form, a checklist, photo-taking instructions, and support diagrams. Finally, a field pilot test was carried out in the third phase to gather feedback and identify areas for improvement in the guide. The result is a practical and easy-to-use tool designed to help collect standardized information about external factors, supporting the overall assessment of bridge structures.

Keywords: visual inspection, bridges, external factors, environment, natural hazards.

Diseño de una guía de inspección de factores externos que inciden en el desempeño de estructuras de puentes

CARLOS ANTONIO FLORES PICADO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Julio de 2025

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

IV

Contenido

Resumen ejecutivo	VI
Introducción	4
Objetivos	5
Alcance	6
Limitaciones	6
Agradecimientos	7
Capítulo 1: Marco teórico	8
Capítulo 2: Metodología	48
Capítulo 3: Resultados y análisis	56
Conclusiones y recomendaciones	86
Apéndices	93
Anexos	219

Resumen ejecutivo

Este proyecto final de graduación tuvo como objetivo principal el desarrollo de una guía para la inspección de factores externos que pueden representar un riesgo para la integridad de las estructuras de puentes a nivel nacional. Se entiende por factores externos aquellos elementos ajenos a la estructura física del puente, pero que ejercen influencia sobre su estabilidad, durabilidad o funcionamiento, tales como condiciones del entorno, ambientales, antrópicas y la presencia de obras civiles cercanas.

La motivación para este proyecto nace de la necesidad de fortalecer la labor realizada en el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO), que desde el 2011 ha ayudado a distintas instituciones estatales a generar información del estado en la que se encuentra la red de puentes del país a partir de inspecciones rutinarias y de inventario. En el 2021, el Programa generó un formulario para la recolección de información sobre los factores externos así como una serie de indicadores que evalúan las condiciones ambientales del entorno del puente, sin embargo, no se contaba con los procesos para evaluar de manera sistemática los elementos del entorno que pueden afectar directa o indirectamente a las estructuras, así mismo, los manuales existentes en el país para la inspección de puentes se centran principalmente atención en la evaluación estructural del puente, dejando en segundo plano estos factores.

Este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial con el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura y el ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles. A través del desarrollo de una guía de inspección que permita evaluar el entorno de las estructuras de puentes, se fortalece la infraestructura vial del país de forma resiliente, segura y sostenible. Esta herramienta no solo busca optimizar las labores técnicas de inspección, sino que también busca promover un enfoque de desarrollo más consciente y sostenible en la gestión del patrimonio vial.

La metodología de trabajo realizada en este trabajo se basó en tres fases principales que comprenden los tres objetivos planteados en el proyecto. En primer lugar, se realizó un análisis comparativo de guías y manuales existentes, tanto a nivel nacional como extranjeros, lo que permitió identificar criterios, escalas de valoración y procedimientos aplicables, además de estas actividades, se consultó a una serie de especialistas en el área mediante cuestionarios, cuyos aportes resultaron valiosos para ajustar el contenido técnico de la guía. A partir de esta comparación se realizó una matriz de información que sintetiza toda la información recabada en la investigación documental con los aportes realizados por los expertos consultados.

La segunda fase del proyecto consistió en la elaboración de la guía con ayuda de la información recopilada, esta guía incluyó objetivos, alcance, equipo y medidas de seguridad, descripción de cada factor externo, sus posibles efectos, procedimientos para su evaluación en campo u oficina, escalas cualitativas de valoración, la creación de un formulario de inspección y listas de verificación, instrucciones para la toma de fotografías y esquemas. La guía está orientada a facilitar el trabajo de los inspectores, estandarizando criterios y permitiendo una recolección ágil y completa de la información.

En la tercera fase, se llevó a cabo una prueba piloto en cuatro puentes con el objetivo de verificar la aplicabilidad tanto de la guía como del formulario realizado. Estas pruebas permitieron identificar aspectos de mejora tanto en la redacción de los factores, como el orden de evaluación y presentación de los instrumentos.

El principal resultado del proyecto es una herramienta práctica que complementa los procesos actuales de inspección del PEEP, enfocándose en el análisis del entorno inmediato a los puentes. Entre las conclusiones alcanzadas se destacan: se logró diseñar una guía que estandariza la evaluación de factores externos, considerando tanto observaciones en campo como el análisis en oficina. El contenido de este manual agrupa los factores por categorías y se definieron procedimientos claros de evaluación, con escalas cualitativas que permiten interpretar fácilmente el nivel del riesgo que se presenta en el entorno, y finalmente, la prueba piloto fue útil para ajustar aspectos prácticos del uso de la guía evidenciando la necesidad de realizar futuras validaciones con el personal especializado en distintas regiones del país.

Como parte del cierre del trabajo, se propusieron varias recomendaciones, entre las que se mencionan: tomar en cuenta las escalas de evaluación propuestas, y que, a partir de ellas, se pueda generar una matriz de riesgo que permita calificar el entorno de manera global y vincularlos con otros sistemas que ya valoran la condición estructural del puente. Ampliar las pruebas piloto a diferentes regiones del país, capacitar al personal de inspectores con el fin de asegurar una aplicación correcta y uniforme de los criterios establecidos y establecer un proceso de actualización periódica del manual con la intención de mejorar y mantener vigente el manual con respecto a los cambios en las condiciones ambientales, urbanas o de infraestructura.

El presente trabajo representa un aporte técnico significativo para el fortalecimiento de los procesos de inspección de puentes en el país, al ofrecer una herramienta que aborda una dimensión muchas veces subestimada: el entorno que rodea a las estructuras. Esta guía permitirá mejorar la planificación de mantenimiento, priorización de intervenciones y la prevención de riesgos asociados a factores externos, contribuyendo así a la conservación de la red vial nacional.

Introducción

Este trabajo final de graduación fue realizado con el propósito de ser un insumo para la labor realizada por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) en la inspección y evaluación de las estructuras de puentes. Desde el 2011, el Programa ha ayudado a distintas entidades gubernamentales a dar respuesta a una de las problemáticas más importantes que sufre la infraestructura vial costarricense que es la falta de monitoreo, mantenimiento y renovación, siendo las estructuras de puentes una de las más afectadas (Ortiz, 2012).

A partir del 2014, el Programa de Evaluación de Puentes ha estado prestando sus servicios de inspección de inventario e inspección visual a los puentes de las rutas nacionales que el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) considere convenientes (PEEP, 2019), sin embargo, estas inspecciones se basan en manuales como el Manual de Inspección de Puentes del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) que se centran en la evaluación visual de los daños en la estructura del puente así como en la realización de inventarios e inspecciones detalladas, dejando por fuera otros elementos como el entorno, seguridad vial y otros que son de igual importancia para el correcto funcionamiento de la estructura. (Ortiz et al., 2021)

Para ello desde el 2021 el PEEP realizó un “Formulario de Inspección de Puentes - Variables Ambientales” en donde se recoge información referente a distintos factores externos que podrían representar un riesgo a la estructura del puente, sin embargo, hasta el momento no se había definido un procedimiento para la inspección estas características de una forma ágil, estandarizada y validada, es por ello que se requirió la creación de una guía de inspección que pueda estandarizar las inspecciones y que la información recopilada pueda ser útil para la toma de decisiones.

Como menciona la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, 2015), en la mayoría de los casos los puentes se construyen para cruzar cuerpos de agua, esto los hace más susceptibles a diversos peligros producidos por el cambio climático, como la erosión, inundaciones, cambios asociados en los regímenes de flujo a largo plazo, cambios bruscos de temperatura e incluso la exposición a daños ocasionados por tormentas como fuertes vientos, lluvias torrenciales y huracanes.

Dentro del PEEP se ha tratado de realizar varios modelos de evaluación que toma en cuenta estas variables ambientales, como, por ejemplo, el plan piloto realizado para la Municipalidad de El Guarco, en donde se analizaron variables como la amenaza sísmica, riesgo hidrológico y fragilidad ambiental, con el fin

de generar una serie de indicadores que permitieran identificar aquellos puentes que requieran una pronta intervención (Ortiz et al., 2021).

A nivel internacional, existen diversos manuales en donde se analizan y se explican diversos factores externos, tal es el caso del Manual Canadiense de Inspección de Puentes, en donde se describen defectos y clasificaciones de los cauces, estado de los taludes y márgenes del río entre otros. También se encuentra la Guía de Inspecciones de España, donde se habla exhaustivamente de la medición, descripción, caracterización de cauces y márgenes de los ríos. Así mismo, diversos estados de Estados Unidos, como Nueva York, Iowa y Wisconsin, que cuentan con manuales que presentan secciones que evalúan específicamente las condiciones del cauce, pero que en la mayoría de los casos solo lo analizan desde la perspectiva de los factores hidrológicos.

Este proyecto busca aportar en dos de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, propuestos por las Naciones Unidas (2022): el N°9 referido a la Industria, innovación e infraestructura ya que se busca que se desarrolle infraestructura resiliente a los efectos del cambio climático y el N°11 de Ciudades y comunidades sostenibles ya que con este proyecto se busca recabar información del estado de la infraestructura actual para determinar su estado y alargando la vida útil del mismo, lo que a largo plazo significaría un ahorro de recursos públicos.

Objetivos

El objetivo general y específicos propuestos para esta investigación son los siguientes:

Objetivo General

- Desarrollar una guía metodológica para la evaluación de factores externos del sitio que pongan en riesgo la integridad de las estructuras de puente a nivel nacional.

Objetivos Específicos

- Elaborar una matriz de información donde se recopile las principales características, procedimientos y escalas de valoración de los factores externos.
- Proponer una guía de inspección visual en campo de los distintos factores externos de la estructura de puentes.
- Realizar una prueba piloto en un puente para revisar la funcionalidad en campo de la guía de inspección propuesta.

Alcance

El presente proyecto tiene como alcance la identificación, evaluación y documentación de diferentes factores externos a las estructuras de puentes que pueden afectar la integridad estructural, funcionalidad y vida útil de los puentes vehiculares que cruzan principalmente sobre cauces de ríos. Este proyecto se centró en aspectos relacionados con la susceptibilidad a amenazas naturales debido al entorno donde se ubica, las características del cauce por el que cruza y por las acciones producidas por el ser humano, relacionados con la contaminación, mantenimiento o intervención del entorno que pueden influir en el desempeño y deterioro de los puentes.

Las evaluaciones de estos factores son principalmente de carácter cualitativo, basadas en la observación visual y en la descripción detallada de los elementos y condiciones encontradas en la inspección. En algunos casos, debido a la naturaleza de los factores externos y la disponibilidad de información y las condiciones presentes, la evaluación se puede limitar a la descripción de las características observadas sin un análisis cuantitativo. Además, la valoración fue individual para cada factor y no abarca un análisis ni calificación global en todo su conjunto para determinar un estado general del entorno del puente.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar una guía práctica y detallada para la identificación y documentación de factores externos en puentes sobre cauces, que sirva como apoyo para futuras inspecciones y mantenimiento preventivo de las estructuras de puentes vehiculares.

Limitaciones

Durante el desarrollo de este proyecto se identificaron algunas limitaciones que es importante considerar al momento de interpretar sus resultados y alcances:

1. **Procedimientos y escalas de valoración:** La metodología empleada en el manual se basó en procedimientos y escalas de valoración ya existentes, tomados de guías, manuales y otros documentos técnicos previamente consolidados. Si bien esto permitió un respaldo confiable, también limitó la posibilidad de incorporar enfoques nuevos y en la necesidad de adaptar esta información a un entorno aplicable en el país. Además, estas evaluaciones de los factores fueron individualizadas y no se considera una valoración general de todos los factores considerados.
2. **Colaboración de especialistas:** La validación de ciertos aspectos del manual dependió de la colaboración y disponibilidad de especialistas que respondieron el cuestionario. Aunque su aporte

fue valioso, el número de participantes fue limitado, lo cual pudo restringir la diversidad de opiniones recogidas.

3. **Selección de factores de inspección:** Los factores incluidos en la propuesta de la guía se basaron, en gran medida, en un formulario de inspección previamente existente. A partir de este documento, se realizaron algunas modificaciones y se incorporaron nuevos elementos considerados relevantes.
4. **Alcance del plan piloto:** El plan piloto se aplicó únicamente a una muestra reducida de cuatro puentes ubicados en un punto geográfico específico. Además, las inspecciones no fueron realizadas por personal del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), debido a limitaciones de tiempo y recursos disponibles. Esto restringe la generalización de los resultados y deja abierta la posibilidad de nuevas pruebas en contextos más amplios y con personal especializado.

Agradecimientos

Primeramente, quisiera darle gracias a Dios que me ha otorgado sabiduría, entendimiento, consejo y fortaleza en cada momento de este camino universitario.

A mis padres y familiares cercanos por su amor, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de esta etapa. Sin su presencia constante, este logro no habría sido posible.

A mis amigos y compañeros de la universidad con quienes compartí tantas experiencias, aprendizajes y desafíos. Gracias por su compañía, colaboración y ánimo en los momentos difíciles.

Agradezco enormemente mi profesor tutor, el Ing. Gerardo Páez González, por su orientación, sus valiosos consejos y apoyo durante la realización de este trabajo. Su acompañamiento fue fundamental para alcanzar este objetivo.

Capítulo 1: Marco teórico

Los puentes son una parte fundamental de la red de transporte y comunicaciones de cualquier país, pues permiten el paso de personas y mercancías a través de ríos, valles y otros obstáculos, ya sean naturales o artificiales. Sin embargo, también representan uno de los eslabones más débiles de todas las redes de transporte, pues son los más susceptibles a una gran variedad de peligros, tanto naturales como causados por el ser humano, como lo son las inundaciones, terremotos o deslizamientos de tierra, lo que genera graves daños o incluso llegar a colapsar la estructura provocando enormes pérdidas económicas (Joshi et al., 2023).

Según Ortiz et al. (2021), la Red Vial Nacional de Costa Rica, que representa solo el 18% del total de la red vial del país, se contabilizan 1670 puentes, de los cuales únicamente el 3% se encuentran en un estado óptimo, un 37% en estado deficiente y el restante 60% en estado regular. Asimismo, los autores señalan, que en el caso de los puentes pertenecientes a la Red Vial Cantonal se espera un panorama similar, sin embargo, esto no se puede afirmar con certeza, ya que muchas municipalidades del país no cuentan con un inventario de puentes actualizado, lo que dificulta conocer con precisión la cantidad de puentes existentes y la condición en la que se encuentran.

Esta información sobre el estado de la red de puentes se ha llegado a conocer gracias a la realización de inspecciones rutinarias. Muñoz et al. (2015) señala que una inspección visual periódica y estandarizada, realizada por inspectores calificados, permite la pronta atención de daños incipientes, donde se identifica deterioros que pueden afectar o ya está afectando el correcto desempeño de la estructura e indica si es necesario recurrir a una investigación más detallada, dependiendo de la peligrosidad de los daños o la importancia de la ruta en la que se encuentra la estructura. No obstante, también se afirma que las inspecciones que se realizan actualmente aún se limitan a visualizar los daños a nivel estructural, dejando por fuera otros aspectos igualmente relevantes como lo son la seguridad vial, la durabilidad de los elementos y su vulnerabilidad ante amenazas sísmicas e hidrológicas y del entorno.

1.1 Impacto del Entorno en la Infraestructura Vial

Antes de profundizar en la descripción de los factores externos que afectan a las estructuras de puentes, es importante conocer las principales generalidades tanto de las propias estructuras como de su entorno, así como el impacto que el cambio climático puede producir sobre el entorno de las estructuras de puentes, en las siguientes secciones, se describirán estos elementos.

1.1.1 Generalidades de los puentes y su entorno

A continuación, se presentan algunas definiciones generales tanto de las estructuras de puentes como de su entorno.

1.1.1.1 Generalidades de los puentes

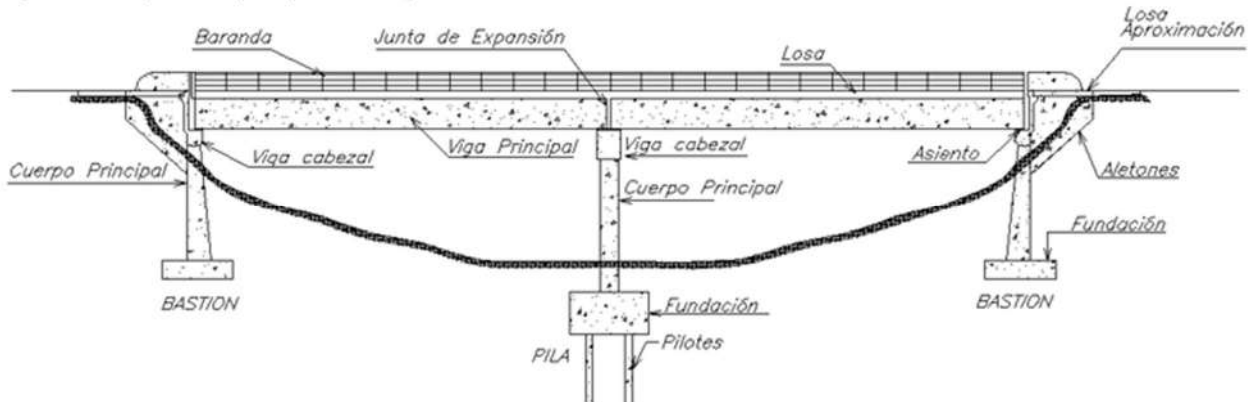
Primeramente, es importante conocer la terminología que el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT, 2007) aplica para las diferentes estructuras que permite el paso de vehículos y/o peatones a través de los diferentes obstáculos naturales o artificiales, estas estructuras se clasifican en:

- **Puentes:** corresponden a las estructuras construidas para atravesar un cauce o extensión de agua como quebradas, ríos, canales, lagos bahías, entre otros.
- **Paso a desnivel:** es una estructura hecha para poder cruzar sobre una vía existente, puede ser un paso inferior o superior dependiendo de si la nueva estructura estará por debajo o encima de la ruta existente respectivamente.
- **Alcantarilla:** corresponde a una estructura de una a cuatro celdas, que pueden llegar a tener forma circular, rectangular u ovalada y que no sean de una longitud mayor a 6 metros, con piso revestido y con aletones, cabezales y delantales en la boca y salida de estas celdas para asegurar su correcto funcionamiento.
- **Vado:** es una estructura de más de cuatro celdas, donde la capacidad hidráulica en la que es diseñado no le permite que sea de paso permanente de vehículos y su uso se da principalmente durante la época seca y con pequeñas crecidas durante la época lluviosa.

De las anteriores estructuras, se hará énfasis en las estructuras de puentes, de los cuales es importante identificar los principales elementos que las conforman, el MOPT (2007), menciona que una estructura de puente está compuesta por diversos componentes, los cuales se pueden apreciar en la Figura 1, estos elementos se pueden agrupar en cuatro categorías principales, las cuales corresponden a los siguientes:

- **Superestructura:** corresponde a todos los elementos estructurales que se encuentran sobre los apoyos, estos son: el sistema de piso o “losa” por la cual circula la carga vehicular, los elementos principales como las vigas, cerchas, arcos y sistemas de suspensión y los elementos secundarios como diafragmas, viguetas de piso, sistema de arriostramiento, portales y otros.
- **Subestructura:** involucra a todos los elementos estructurales diseñados para soportar las cargas de la superestructura, tales como los apoyos, bastiones y pilas.
- **Accesorios:** son elementos que no tienen una función estructural como tal, pero son vitales para el correcto funcionamiento de la estructura como lo son la superficie de rodamiento, barandas y juntas de expansión.
- **Accesos de aproximación:** corresponden a los rellenos y sus correspondientes protecciones y losa.

Figura 1. Componentes principales de un puente.



Fuente: Tomado de *Manual de Inspección de Puentes* (MOPT, 2007)

1.1.1.2 Generalidades de los cauces

En Costa Rica, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme, 2016) afirma que el 90,6% de los puentes que pertenecen a la Red Vial Nacional cruzan sobre ríos, lo que significa que una de las principales amenazas que pueden sufrir las estructuras de puentes son de índole hidrológico, como lo son las inundaciones y graves alteraciones topográficas, esto debido a que los cursos de agua son entornos dinámicos y activos, lo que significa que a lo largo del tiempo puede modificarse sus niveles, volúmenes y cauces lo que significa que toda estructura que cruza un curso de agua deba ser evaluado y monitoreado a lo largo de su vida útil (Departamento Nacional de Infra-Estructura de Transportes de Brasil [DNIT], 2004).

Según el New Zealand Transit Agency (2001), los niveles y volúmenes de agua en los ríos pueden verse modificados debido a diversos factores, entre los que se encuentran:

- El tipo de suelo, ya que esto afecta la infiltración y a la escorrentía.

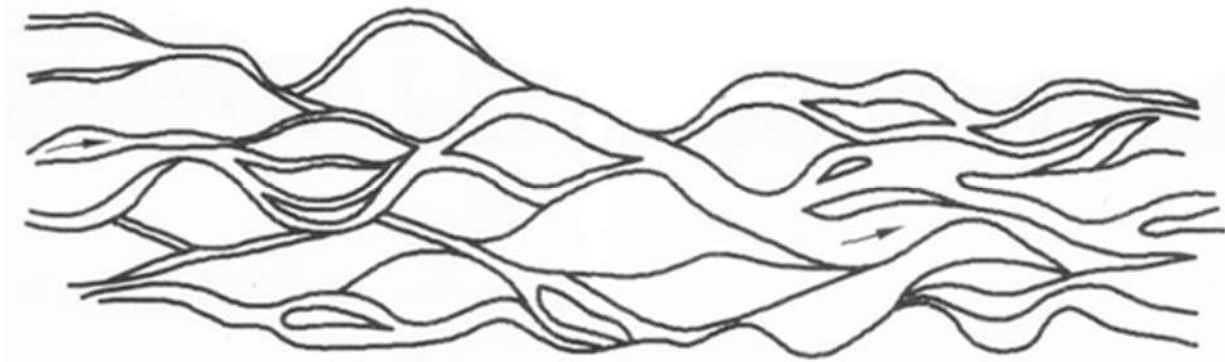
- Vegetación, afecta a la escorrentía, pero también el transporte de sedimentos desde la tierra de los alrededores hasta el río.
- Uso del suelo en los alrededores.
- Topografía y pendiente, ya que afectan la velocidad en la que la escorrentía llega al cruce del río.
- Características de las precipitaciones como la magnitud, intensidad, duración y distribución de las precipitaciones.
- Modificaciones realizadas en el cauce del río.

Además del comportamiento del entorno sobre el río, una problemática que se presenta en muchas estructuras es que, con el fin de disminuir el coste inicial de la superestructura, se acorta la longitud del puente, lo que provoca que este se construya dentro del cauce natural del río implicando que se disminuya la abertura hidráulica y, en consecuencia, se intensifiquen los daños ante un eventual aumento del volumen del agua ocasionado por fuertes precipitaciones.

Aunado a las características del entorno, es importante conocer el tipo de cauce en el cual se encuentra el puente, pues dependiendo de la forma en la que se comporte el río se podrán sufrir diversos daños. Para el caso de Centroamérica, la Secretaría de Integración Económica Centro Americana (SIECA, 2016), considera tres tipos de cauces:

- **Cauce trenzado:** corresponde a un cauce muy ancho y formado por numerosos canales inestables y entrelazados, entre estos canales se forman pequeñas islas denominados también como “barras de cauce”, tal y como se observa en la Figura 2. Debido a su inestabilidad, causa graves problemas de erosión y socavación, además que en ella se transporta grandes cantidades de sedimentos transportados y depositados.
- **Cauce recto:** este tipo de cauce se consideran como anomalías, ya que en la mayoría de las ocasiones son una condición temporal o transitoria, hasta el momento en que se forme un meandro o curva en el río. Un cauce se considera de este tipo cuando las riberas son paralelas entre sí, ya que el flujo sí puede oscilar de un lado hacia otro, como el de la Figura 3. El principal problema que genera este tipo de cauce es su inestabilidad, pues naturalmente buscará migrar a otro tipo de cauce.
- **Cauce sinuoso o con meandros:** se describe comúnmente como aquel que presenta forma de S con sinuosidad pronunciada como los de la Figura 4, son comunes en llanuras con poca pendiente. Su origen se debe principalmente a que en las secciones del cauce donde la velocidad del flujo de agua es mayor tenderá a erosionarse lo que origina la forma cóncava, mientras que el lado opuesto crece de deposición de los sedimentos debido a que la velocidad es menor por lo que la pared tendrá forma convexa.

Figura 2. Patrón de un río trenzado



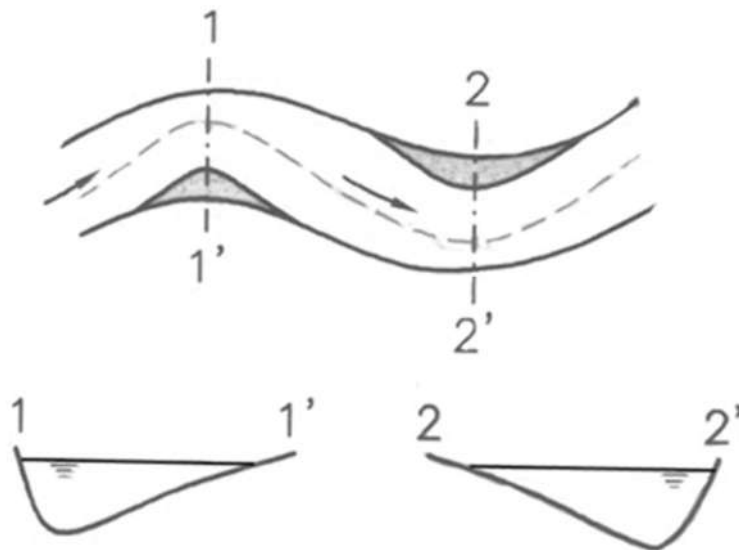
Fuente: Tomado de *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica* (SIECA, 2016)

Figura 3. Patrón de un río de cauce recto



Fuente: Tomado de *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica* (SIECA, 2016)

Figura 4. Patrón de un río de cauce sinuoso



Fuente: Tomado de *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica* (SIECA, 2016)

1.1.1.3 Tipos de protecciones

En algunos casos, debido al comportamiento dinámico que presentan los ríos, se han construido obras de protección para mitigar sus efectos sobre la estructura del puente y sobre las zonas aledañas (SIECA, 2016), la principal función de estas protecciones, que también puede ser catalogadas como contramedidas en el caso de que se construyan como medida de prevención, tratan de mitigar la socavación en los márgenes y reducir el riesgo de colapso del puente durante un evento de inundación (New York Department of Transportation [NYDoT] , 2022) y al formar parte del entorno del puente, es importante conocer los tipos que existen, sus características y el estado de estos.

El Department of Transportation de Wisconsin (WisDoT, 2017), cita varios tipos de protecciones para puentes entre los que se encuentran:

- **Protección natural:** consiste en conservar el entorno natural del cauce, manteniendo una vegetación bien cuidada y que los lechos se mantengan con los materiales del entorno como en los lechos de la roca, cantos rodados u otros. Un ejemplo de esta protección se muestra en la Figura 5.
- **Escollera (rip-rap):** consiste en la colocación de piedras o cantos rodados a lo largo de la orilla, como se observa en la Figura 6, estas permiten la estabilidad frente al flujo, además, es posible que se le coloque un geotextil con el fin de prevenir la erosión del suelo subyacente.
- **Gaviones:** comprende la construcción de unas grandes cestas con piedra contenidas en una malla de alambre como las de la Figura 7, estas cestas están unidas y ancladas a la orilla y son capaces de colocarse en zonas con pendientes muy pronunciadas.
- **Canales revestidos:** consiste en la colocación de una capa de concreto que cubre parte o la totalidad del canal para minimizar la socavación, un ejemplo de este tipo de protección se puede observar en la Figura 8.
- **Estabilización de taludes:** consiste en realizar un tratamiento de los márgenes del cauce ya sea con vegetación, geotextiles o mallas de alambre para prevenir la erosión de estos.
- **Faldones de zapata:** comprende a una capa protectora que rodea las fundaciones ya sea de un pilar, bastiones o muros de contención, similar a la Figura 9.
- **Diques o presas de contención:** son estructuras que dirigen o controlan los flujos naturales del agua con el fin de evitar que se formen meandros.
- **Diques de espolón:** corresponden a estructuras para redirigir la corriente de agua de forma fluida a través de la abertura del canal del puente, lo que protege los terraplenes, un ejemplo de esta estructura se presenta en la Figura 10.

Figura 5. Protección natural.



Fuente: Tomado de *Structure Inspection Chapter 8 – Waterways* (WisDOT, 2017)

Figura 6. Escollera.



Fuente: Tomado de *FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2 - Waterways* (Rossow, 2012)

Figura 7. Gaviones.



Fuente: Tomado de FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2 - Waterways (Rossow, 2012)

Figura 8. Protección con canales revestidos.



Fuente: Tomado de Structure Inspection Chapter 8 – Waterways (WisDOT, 2017)

Figura 9. Ejemplo de protección con faldones de fundación.



Fuente: Tomado de FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2 - Waterways (Rossow, 2012)

Figura 10. Protección espolones.



Fuente: Tomado de FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2 - Waterways (Rossow, 2012)

1.1.2 Impacto del cambio climático sobre los factores externos

De antemano se conoce que el comportamiento de los ríos y del entorno que conforma un puente son inestables y hasta en cierto punto impredecibles, pero en las últimas décadas, se ha sumado los efectos del cambio climático sobre el planeta, estos se han vuelto cada vez más evidentes, y se prevé que estas afectaciones se intensifiquen en los próximos años, por ejemplo, se espera que una serie de fenómenos meteorológicos, como las sequías, olas de calor, inundaciones, deslizamientos de tierra, tormentas e incendios forestales, aumenten su frecuencia e intensidad, convirtiéndolos en graves amenazas para la infraestructura vial, en especial los puentes, provocando en ellos efectos negativos tanto para la estructura como para los materiales en los que están contruidos (Pavic et al., 2023).

Según la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID,2015), normalmente los puentes se diseñan utilizando criterios de diseño que se han calculado a partir de datos históricos, bajos los supuestos de que estas condiciones promedio y extremas del pasado van a representar las condiciones que ocurrirán durante la vida útil de la estructura, lo que implica que no se contemplen en el diseño eventos más intensos provocados por el cambio climático, lo que genera que las estructuras actuales sean aún más susceptibles a estos fenómenos.

En el siguiente Cuadro 1 se presenta los principales impactos que generan diferentes factores climáticos.

CUADRO 1. Impactos que generan diferentes factores climáticos	
Puentes de gran escala	
Factores climáticos	Impactos y riesgos consecuentes
Aumento de la frecuencia de precipitaciones extremas e inundaciones	<p>El aumento de la frecuencia de precipitaciones extremas aumenta el riesgo de inundaciones, lo que puede reducir la vida útil de los puentes, principalmente al:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la tasa de socavación de los cimientos o pilas del puente y la acumulación de sedimentos. - Aumentar los niveles de humedad en el suelo que puede provocar la pérdida de la integridad estructural de las fundaciones. - El aumento de la intensidad de las tormentas puede ejercer presión adicional sobre los puentes.
Aumento del nivel del mar, marejada ciclónica y olas.	<p>A medida que el mar continúa subiendo, las costas cambiarán. Por lo tanto, la infraestructura que antes no estaba en riesgo podría estar expuesta a marejadas ciclónicas y daños por las olas en el futuro. La marejada ciclónica es causada por fuertes vientos y presiones de tormenta, que provocan aumentos en los niveles de agua. Tanto el aumento del nivel del mar como las marejadas ciclónicas pueden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dañar puentes y carreteras conectadas debido a inundaciones y socavación del terreno que alberga la infraestructura. - Las marejadas ciclónicas y las olas pueden superar varios metros y pueden generar varios daños significativos a la estructura del puente y de las carreteras conectadas. - Provocar socavación al erosionar los cauces de los ríos y exponer los cimientos y pilas del puente.
Aumento de las temperaturas extremas y las olas de calor	<p>Las temperaturas más altas y calor extremo pueden causar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Que los puentes se vean sometidos a tensiones por expansión térmica y el movimiento. - Deterioro prematuro de la infraestructura.
Puentes de pequeña escala	
Mayor frecuencia de precipitaciones extremas e inundaciones	<p>Al igual que los puentes a gran escala, los puentes de pequeña escala pueden sufrir daños por inundaciones causadas por precipitación extrema. Sin embargo, estos son más vulnerables ya que a menudo no están diseñados para soportar inundaciones o vientos fuertes. Por lo que una menor frecuencia e intensidad de las tormentas representará un mayor riesgo.</p>
Calor extremo y olas de calor, incendios forestales.	<p>Los puentes pequeños son menos susceptibles a los cambios de temperatura (tanto extremos como graduales) que los de mayor escala. Al ser más cortos están hechos con material local y puede que no tengan juntas de expansión, por lo que pueden presentar deterioro prematuro de los materiales ocasionado por periodos prolongados de calor. Además, los incendios forestales pueden ser un peligro para los puentes de madera en áreas afectadas por las olas de calor y sequías.</p>

Fuente: Tomado de USAID (2015)

Ante eso, Joshi et al. (2023), afirma que es necesario de que exista una gestión de estos peligros naturales y que se debe adoptar una actitud proactiva en donde se pueda identificar las áreas más vulnerables e implementar medidas de mitigación fortaleciendo a aquellos que pueden ser más susceptibles a sufrir daños.

1.2 Análisis del Escenario Internacional y Nacional

En esta sección se presentan algunas guías e investigaciones desarrolladas a nivel internacional y nacional, relacionadas con los factores externos que afectan a las estructuras de puentes.

1.2.1 Situación a nivel internacional

En diferentes países se han realizado diversos manuales con respecto a la inspección de diferentes factores externos de las estructuras de puentes. Por ejemplo, en Canadá el Public Works and Government Services (2010), tiene en el Manual de Inspección de Puentes un capítulo dedicado a la inspección de los cauces, este posee la siguiente información concerniente a:

- Descripción del cauce, distancia a la que se debe inspeccionar aguas arriba y aguas abajo.
- Indicios de mantenimiento del cauce.
- Estado de las fundaciones y de las protecciones en caso de que existan.
- Defectos varios presentes en el cauce.
- Escalas de valoración de los daños observados.
- Ejemplos reales de la aplicación de las escalas de evaluación.

Otro ejemplo es el Manual de Inspectores de Puentes del FHWA (Rossow, 2012), que muestra el capítulo que dedica la Federal Highway Administration (FHWA) para la valoración del cauce y los principales problemas que se pueden encontrar, principalmente relacionados a factores hidrológicos como socavación, erosión, asentamiento y fallas, caracterización del tipo de cauces, así mismo provee de procedimientos de inspección y evaluación de los daños encontrados.

A nivel hispanoparlante, se encuentra la Guía para la Realización de Inspecciones Principales de Obras de Paso en la Red de Carreteras del Estado de España (Ministerio de Fomento, 2012) que comprende un anexo completo a los procedimientos de inspección para la recolección de datos fundamentales sobre el cauce, entre los elementos se encuentran la anchura de cauce, ángulos de ataque aguas arriba y aguas abajo con respecto a la directriz longitudinal del tablero y en dirección a las fundaciones, perfil y caracterización del cauce, lecho y zonas aledañas, presencia y estado de las protecciones existentes en los márgenes de los cauces, tipos de limitaciones encontradas en el cauce como barras, obstrucciones, acumulaciones, posibilidad de bloqueo de la abertura del puente, recomendaciones para el listado de fotografías por realizar durante la inspección y una mención para la realización de croquis con la información recopilada.

En diversos estados de Estados Unidos como Iowa, Wisconsin y Nueva York poseen también secciones exclusivas a la inspección de cauces, estos se centran en factores hidrológicos y en daños relacionados principalmente con la socavación en las estructuras.

En el caso de los países europeos, si bien es cierto no existe un manual a nivel europeo, Muñoz et al. (2015), resalta los casos de Alemania, Noruega y Suecia, que poseen escalas de evaluación no solo para evaluar la seguridad estructural, sino que también la seguridad vial como durabilidad. Subraya el caso de Noruega, que también evalúa aspectos ambientales e incluso estéticos. Esto sucede debido a que la infraestructura de puentes de estos países posee buenas prácticas de mantenimiento por lo que su evaluación ya se enfoca en otros aspectos que para el ámbito de Costa Rica se considerarían secundarios.

1.2.2 Situación a nivel nacional

A nivel nacional, se cuenta con una serie de manuales que concentran su atención en la recolección de información sobre la condición estructural de los puentes y sus elementos. Tal como se observa en el Cuadro 2, donde se comparan los capítulos del *Manual de Puentes 2007* con el *Manual de Puentes 2024*, este último representa un avance significativo en la recopilación de información sobre la red de puentes del país. No solo se limita a la inspección de los elementos estructurales, sino que además propone un método para analizar los resultados obtenidos en una inspección, permitiendo calificar tanto los elementos individuales de los diferentes componentes del puente como otorgar una calificación global al conjunto. Asimismo, introduce una categorización de importancia que facilita a los responsables de la toma de decisiones identificar los puentes en condición más crítica. De igual forma, el manual brinda recomendaciones para la conservación, el monitoreo de la salud estructural y la ejecución de pruebas de carga.

CUADRO 2. Capítulos de los Manuales de puentes 2007 y 2024	
Manual 2007	Manual 2024
Capítulo 1: Introducción	Capítulo 1: Introducción
	Capítulo 2: Sistemas de gestión de puentes
Capítulo 2: Responsabilidades del inspector de puentes	Capítulo 3: Tipos e intervalo de inspección
	Capítulo 4: Programa de inspectores
Capítulo 3: Información general sobre el inventario e inspección periódica de puentes	Capítulo 5: Medidas de seguridad y procedimientos previos a las inspecciones
	Capítulo 6: Inspección de inventario e inspección rutinaria de puentes
Capítulo 4: Descripción de los formularios de inventario e inspección de puentes	Capítulo 7: Inspecciones detalladas
	Capítulo 8: Calificación de la condición y priorización de la intervención de puentes existentes
Capítulo 5: Guía de recopilación de datos	Capítulo 9: Conservación de puentes
	Capítulo 10: Evaluación de la capacidad y restricción de carga en puentes
Capítulo 6: lineamientos para la calificación del grado de deterioro del puente	Capítulo 11: Monitoreo de salud estructural en puentes
	Capítulo 12: Pruebas de carga en puentes

Fuente: Basado en la información de MOPT (2007) y MOPT (2024)

Ahora bien, dentro del Programa de Evaluación de Estructuras (PEEP) del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) también ha realizado esfuerzos para la determinar la priorización de intervención de los puentes considerando, además de la parte estructural de los diversos componentes del puente, se analizan los factores ambientales como lo son la amenaza a nivel sísmico y el riesgo hidrológico y la importancia de la ruta en la que se encuentra y su nivel socioeconómico, con esta información es que se elaboraron criterios de priorización para las labores de mantenimiento de la estructura, o en casos más severos, trabajos de rehabilitación o reemplazo de la estructura (Ortiz et al., 2024).

Para recabar la información suficiente para generar un criterio lo más fiel a la situación real del estado de los puntos anteriores, se han realizado formularios para la recolección de datos en campo, sin embargo, aún no se ha generado una guía que estandarice la inspección de los elementos ambientales como con el fin de que estos puedan ser fácilmente contrastados y certifiquen que la información recopilada se ajusta con las condiciones reales que sufre el puente.

1.3 Factores externos que afectan las estructuras de puentes

En términos generales, el término de factores externos es equivalente al de variables ambientales, tal y como se emplea en Ortiz et al. (2021) para referirse a aquellas características del entorno en el que se encuentra el puente y que pueden representar un riesgo a la estructura. Estos autores incluyen dentro de estas variables ambientales la evaluación del cauce como sus dimensiones y la presencia de contaminación, las condiciones de los márgenes, ángulo de ataque presente hacia los bastiones, el uso del suelo en las proximidades de la estructura, entre otras variables.

Por su parte, el Ministerio de Fomento (2012) señala que el deterioro de los materiales estructurales es un proceso lento y progresivo, pero que puede acelerarse debido a la influencia de diversos factores externos. Estos factores pueden clasificarse en diferentes tipos según la naturaleza de la acción que los provoca, tal y como se presenta en el Cuadro 3.

CUADRO 3. Descripción de las categorías y de los factores externos	
Tipo de factores	Factores
Acciones accidentales	Abrasión Erosión Impactos Explosiones Deslizamientos Inundaciones
Físicos	Hielo-deshielo Sales fundentes Fuego
Químicos	Reacción árido-álcali Ataques por ácidos Ataques por sulfatos Ataques por aguas puras Iones de amonio, magnesio y otros
Biológicos	Contaminantes Acción de organismos vivos
Corrosión	Carbonatación Picaduras por presencia de cloruros Corrientes parásitas Contacto entre elementos no protegidos Presencia de agua de lluvia
Acción sísmica	Terremotos

Fuente: Tomado de Ministerio de Fomento (2012)

1.2.1 Factores externos: descripción, daños y valoración

Con base en los factores propuestos en el Cuadro 3, y tras comparar estos con los incluidos en el Formulario de Variables Ambientales del PEEP, se seleccionaron una serie de factores que conformarán el contenido del presente manual. A continuación, se presenta la descripción detallada de cada uno de ellos.

1.2.1.1 Actividad sísmica

Se refiere a la consideración de la amenaza sísmica que puede presentar la estructura debido a su ubicación, así como las condiciones físicas que presenta la estructura para afrontar a un sismo y que su funcionalidad no se vea comprometida durante y después de estos eventos. Los sismos pueden llegar a originar diversos daños dependiendo de su magnitud, Transport and Road Research Laboratory (2004), menciona que los dos daños más graves que se pueden presentar debido a los sismos son:

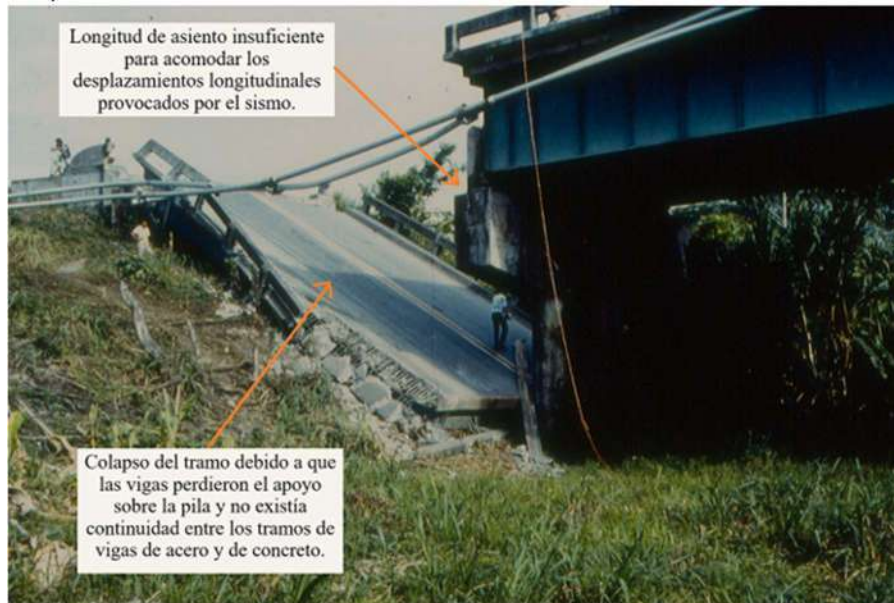
- Fallo de las fundaciones, que provocan el movimiento de los bastiones o pilas.
- Desplazamiento de la superestructura de sus apoyos.

Así mismo, Rodríguez et al. (2021), menciona otros daños producidos en el terremoto de Limón de 1991, donde se produjeron varios colapsos en puentes se originaron por:

- Licuefacción, que es un fenómeno que ocurre cuando el terreno conformado particularmente de sedimentos recientes como grava o arena pierden su firmeza y fluyen debido a los esfuerzos producidos por los temblores (US Geological Survey, 2021)
- Pérdida de soporte del tablero debido a longitudes de asiento menores a las requeridas.
- Falta de continuidad de las superestructuras.
- Ausencia de sistemas de restricción en puentes que contaban con superestructuras de vigas simplemente apoyadas.
- Rotación de los bastiones por el empuje lateral del suelo.
- Fallas de los pilotes tanto en bastiones como en las pilas causadas por el desplazamiento del terreno.
- Asentamientos en los accesos y pilas.

Ejemplos de los daños provocados por este sismo, se puede mostrar la Figura 11, que corresponde al puente sobre el río Chirripó en la Ruta 32 o el de la Figura 12 que corresponde al puente sobre el río Bananito en la Ruta 36.

Figura 11. Daños en el puente sobre el río Chirrió ruta 32 en el Terremoto de 1991



Fuente: Tomado de *Impacto del terremoto de Limón de 1991 en el diseño estructural de puentes* (Rodríguez et al., 2021)

Figura 12. Daños en el puente sobre el río Bananito ruta 36 en el Terremoto de 1991

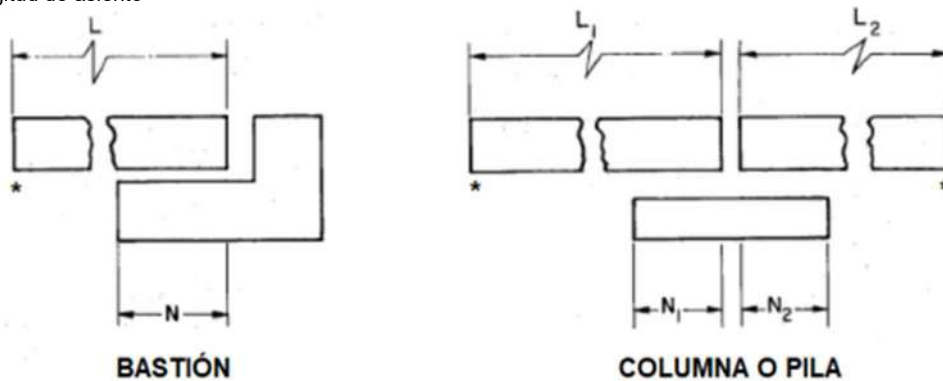


Fuente: Tomado de *Impacto del terremoto de Limón de 1991 en el diseño estructural de puentes* (Rodríguez et al., 2021)

Ante esto, para la valoración de la amenaza sísmica, Ortiz et al. (2024) evalúa el riesgo sísmico, llamado índice de Condición Sísmica (SCI), comparando dos aspectos:

- **Cumplimiento de la longitud de asiento mínimo:** la longitud de asiento corresponde a la longitud de traslape entre la viga de la superestructura y el asiento con la viga cabezal de la pila o con el bastión (Johanning 2021), como se observa en la Figura 13, y para ello se compara la longitud teórica proveniente de los Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes con la longitud existente en el sitio. Su evaluación, según Ortiz et al. (2024), correspondería a un SCI igual a 1 en caso de cumplir con la longitud de asiento, o de 5 en caso contrario, siendo este último la peor condición posible.
- **La amenaza sísmica:** valor calculado que depende de la ubicación en la zonificación sísmica del puente, del tipo de suelo en el que se encuentra cimentado y de la cercanía con una falla activa cercana. Este valor puede ir de 1 a 5, siendo 5 la peor condición posible.

Figura 13. Longitud de asiento



Fuente: Tomado de Revisión de la longitud de asiento de las vigas principales del viaducto de Circunvalación Norte Ruta Nacional n°. 39 (Johanning, 2021)

Comparando el cumplimiento de la longitud de asiento y la amenaza sísmica, se elige el mayor, siendo este el más crítico y con ello se evalúa el SCI con ayuda del Cuadro 4.

CUADRO 4. Evaluación de la amenaza sísmica		
Valor de SCI	Código de color	Descripción
1 a 2		La estructura presenta una amenaza sísmica baja.
2 a 3		La estructura presenta una amenaza sísmica media.
3 a 4		La estructura presenta una amenaza sísmica media-alta.
4 a 5		La estructura presenta una amenaza sísmica alta.

Fuente: Tomado de Ortiz et al. (2024).

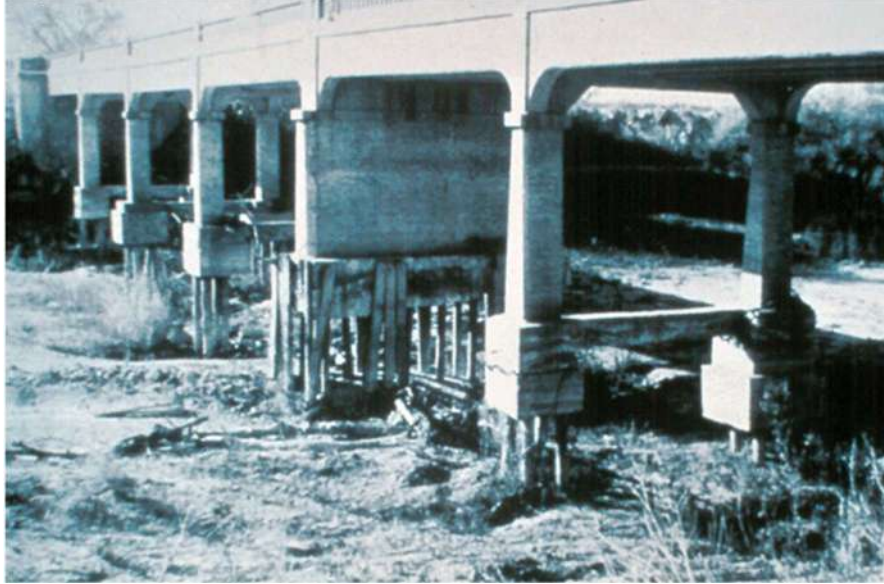
Este valor de SCI, en el estudio de Ortiz et al. (2021) usado en el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) para la evaluación de la priorización de la estructura, es posteriormente comparado con índices de valoración de la integridad estructural del puente y la amenaza por fenómenos hidrometeorológicos, donde el mayor de los tres valores definirá la criticidad del puente y con ello la priorización de atención a la estructura.

1.2.1.2 Uso de suelos en las zonas colindancias

Corresponde a la identificación de los tipos de coberturas de las zonas colindantes de los puentes, con el fin de registrar su evaluación en el tiempo. Entre las principales problemáticas que se puede presentar son las socavaciones generales, que consiste en la degradación (o socavación general) de una sección del cauce del río, como se muestra en la Figura 14, que si bien es cierto es un proceso que se da de forma natural, puede acelerarse debido a la conversión de un estado natural del cauce o de agricultura a uno más urbanizado, que acelera el proceso debido a mayor cantidad de escorrentía (Rossow, 2012).

Así mismo, dependiendo del uso de las zonas aledañas, pueden surgir otras problemáticas, como la presencia de árboles, troncos o vegetación variada, presencia de descargas de alcantarillas o tuberías en zonas urbanas, el tipo de vehículos que pueden circular sobre el puente, la vulnerabilidad del puente debido a vandalismo o exposición a ambientes agresivos.

Figura 14. Socavación general del cauce



Fuente: Tomado de FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2 - Waterways (Rossow, 2012)

Un ejemplo para la clasificación de estas zonas puede basarse en la presentada por el Ministerio de Fomento (2012), que las cataloga de la siguiente manera:

- Sin vegetar (árido)
- Incendio reciente
- Cultivos
- Pastos
- Matorral
- Arbolado
- Con revestimiento

1.2.1.3 Ambientes agresivos

Este factor corresponde al tipo de exposición ambiental en la que se encuentra la estructura debido a la existencia de diversas sustancias en el ambiente y que pueden afectar la durabilidad de los materiales que componen las estructuras. En el MOPT (2024), menciona el análisis de los siguientes cuatro tipos de ambientes:

- **Marino:** Los ambientes marino y costeros corresponden a entornos sumamente corrosivos para materiales como concreto reforzado, el concreto pretensado y acero estructural, debido a que el aire costero contiene una alta concentración de iones de cloruro presentes de la sal marina procedente del agua de mar, estos iones provocan la corrosión del acero ya sea expuesto como elemento o para aquel que se encuentra embebido en el concreto. Se debe considerar que el aire transporta estas

partículas de cloruro, sin embargo, conforme se ingresa tierra adentro, esta concentración irá disminuyendo, así mismo, la concentración también puede variar dependiendo de las condiciones topográficas de la zona y del régimen del viento (Alogdianakis et al., 2020). Su exposición se evalúa dependiendo de la distancia de la línea de la costa y se puede observar en el Cuadro 5.

CUADRO 5. Evaluación de los ambientes marinos		
Escala	Exposición	Parámetro
1	Alta	A menos de 1 km de distancia de la costa.
2	Media	Entre 1 a 3 km de distancia de la costa.
3	Baja	A más de 3 km de la costa.

Fuente: Tomado de MOPT (2024).

- **Volcánico:** En Álvarez y Villalobos (2018), se explica el efecto que produce la ceniza proveniente de erupciones volcánicas en las estructuras de puentes. La ceniza lo que provoca es que acidifica las aguas de los cauces de los ríos cercanos y sus afluentes, así como la de los suelos de sus márgenes al depositarse el material volcánico en esas zonas. Los elementos de concreto reforzado son los más afectados ya que es un material muy susceptible al ataque de ácidos y provocan la disolución o pérdida de la pasta de cemento y la corrosión del acero de refuerzo. Su evaluación se puede observar en el Cuadro 6.

CUADRO 6. Evaluación de los ambientes expuestos a influencia volcánica		
Escala	Exposición	Parámetro
1	Alta	Puente en interacción directa con el río y perteneciente a un río cuya cuenca tiene posibilidad de afectación por actividad volcánica.
2	Media	Puente donde NO hay interacción directa con el río, pero cuyo río pertenece a una cuenca con posibilidad de afectación por actividad volcánica.
3	Baja	Puente que no presenta ninguna de las condiciones anteriores.

Fuente: Tomado de MOPT (2024).

- **Zonas urbanas:** El MOPT (2024) indica como otro ambiente agresivo las zonas urbanas ya que los puentes con elementos de concreto reforzados situados en estos entornos, son susceptibles al proceso de carbonatación debido a la mayor concentración de dióxido de carbono en el aire debido a los altos volúmenes de tráfico. Su valoración, se puede observar en el Cuadro 7.

CUADRO 7. Evaluación de los ambientes urbanos expuestos a carbonatación		
Escala	Exposición	Parámetro
1	Alta	Puentes ubicados en los cantones de San José, Tibás, Montes de Oca y Curridabat.
2	Media	Puentes ubicados en el resto de los cantones de la Gran Área Metropolitana.
3	Baja	Puentes en el resto del país.

Fuente: Tomado de MOPT (2024).

- **Zonas de plantaciones agrícolas:** Vargas y Villalobos (2017), también señala a las zonas colindantes a las plantaciones agrícolas como un ambiente nocivo para los materiales que componen los puentes, siendo el acero estructural el más afectado por la presencia de contaminación química en el concreto debido a los sulfatos presentes en los químicos utilizados en las plantaciones agrícolas que pueden estar contiguas al puente. Señalan que algunos síntomas de la presencia de contaminación química corresponden a manchas oscuras que degrada el concreto progresivamente. Para su valoración, se muestra el Cuadro 8.

CUADRO 8. Evaluación de los ambientes expuestos a sulfatos por plantaciones		
Escala	Exposición	Parámetro
1	Alta	Puente contiguo a plantaciones agrícolas o fábricas de agroquímicos.
2	Baja	Puentes no contiguos a plantaciones o fábricas de agroquímicos

Fuente: Tomado de MOPT (2024).

1.2.1.4 Flujos de lodo y lahares

Son fenómenos que se dan principalmente en zonas montañosas, los flujos de lodo corresponden a movimientos de grandes masas heterogéneas compuestas por rocas, suelo, escombros y agua. Si bien es cierto, son de una composición variable, se caracterizan por contener los fragmentos más grandes y gruesos en la cabeza del flujo y conforme avanza el flujo este será de elementos más finos y fluidos debido al mayor cantidad de agua que contiene. Estos flujos de lodo pueden desencadenarse debido a lluvias intensas, terremotos, deslizamientos de tierra y por erupciones volcánicas. Estos últimos son los denominados como lahares y contienen ceniza volcánica originada por la erupción. (Friedl et al., 2024)

1.2.1.5 Estado de los márgenes

El estado de los márgenes se refiere a la visualización de la condición presente en las orillas del cauce, con el fin de evaluar la erosión que naturalmente se puede presentar debido al paso del flujo de agua y que, dependiendo del tipo de suelo presente en la zona como los suelos débiles, lavables, sin vegetación o por riberas empinadas puede llegar a acelerarse este proceso. Sin embargo, en algunos casos debido a la inestabilidad de los taludes, puede que fuera necesario la construcción de algún tipo de protección al lado del puente o aguas arriba o abajo del mismo, (DNIT, 2004), lo que implica que en esos casos lo que se deba evaluar es el estado de estas estructuras y que cumplan con la función con el que han sido construidas y que no presenten alguna afectación.

Entre los daños que puede provocar un estado deficiente de los márgenes tanto naturales como artificiales se mencionan:

- Movimiento, asentamiento o deslizamiento de las protecciones de los taludes.

- Erosión del talud o terraplén.
- Pérdida de materiales de protección de los taludes, donde se incluye vegetación y la protección de las fundaciones de las contramedidas o protecciones.
- Riesgo de bloqueo de la abertura del puente debido al desprendimiento de material y agradación sobre el cauce.
- Asentamientos o deformaciones en las protecciones.
- Erosión por expansión, que consiste en la erosión de los márgenes en zonas de expansión geométrica brusca aguas abajo que se generan cuando el flujo busca expandirse bruscamente aguas abajo del puente y las proximidades de los márgenes (Ministerio de Fomento, 2012), como se observa en la Figura 16.

Para su valoración, el Ministerio de Fomento (2012), valora la condición de los dos tipos de márgenes, cuando se encuentra en estado natural y cuando se cuenta con protecciones, esta valoración, se muestra en el Cuadro 9.

CUADRO 9. Evaluación del estado de los márgenes		
Márgenes naturales		
Valor	Descripción	Figura de ejemplo
1	Sin erosión	Figura 15
2	Erosión por expansión	Figura 16
3	Erosión suave	Figura 17
4	Erosión severa	Figura 18
Márgenes con protección		
Valor	Descripción	Figura de ejemplo
1	Sin daños	Figura 19
2	Daños medios	-
3	Daños graves	Figura 20

Fuente: Tomado de Ministerio de Fomento (2012)

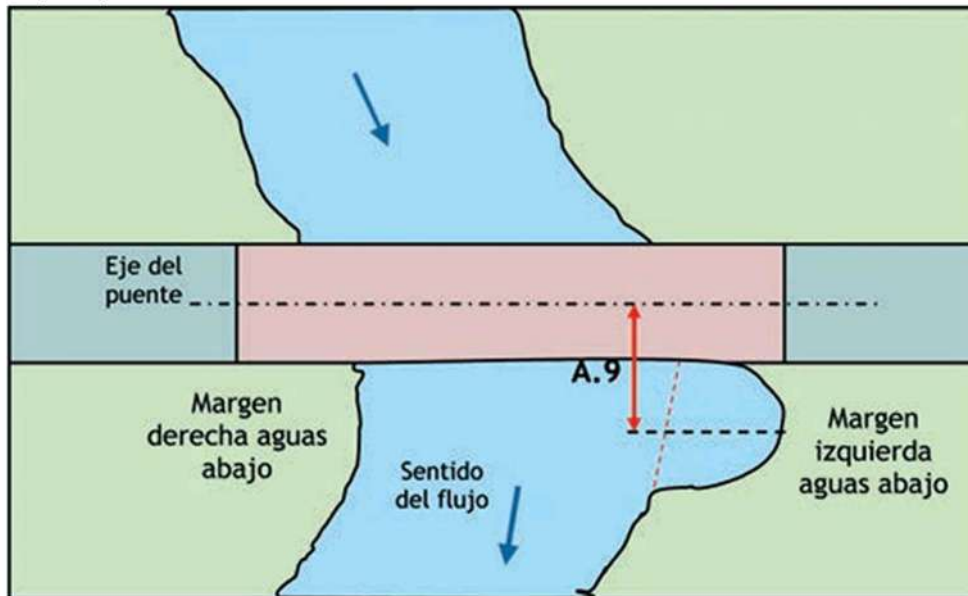
En el caso de los márgenes con protección, se describe los daños graves como aquellos en donde afectan la integridad estructural de la protección como erosiones locales importantes, desprendimientos, fallos o colapsos como se encuentran en la Figura 20, mientras que los daños medios corresponden a aquellos en donde se afecta principalmente la durabilidad y si no se realizaran medidas correctivas de los daños presentados pueden convertirse en daños graves, como fisuras claramente visibles, pequeñas fracturas, erosiones leves o moderadas entre otros. Un daño medio también puede incluir un fallo total de la protección siempre y cuando tenga un carácter local, es decir, que el daño no represente más del 5% de la longitud total de la protección y que este está ubicado lejos de la estructura del puente (Ministerio de Fomento, 2012).

Figura 15. Margen sin erosión.



Fuente: Tomado de *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado* (Ministerio de Fomento, 2012)

Figura 16. Erosión por expansión.



Fuente: Tomado de *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado* (Ministerio de Fomento, 2012)

Figura 17. Erosión suave.



Fuente: Tomado de Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado (Ministerio de Fomento, 2012)

Figura 18. Erosión severa.



Fuente: Tomado de Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado (Ministerio de Fomento, 2012)

Figura 19. Protecciones en los márgenes sin daños



Fuente: Tomado de *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado* (Ministerio de Fomento, 2012)

Figura 20. Daños graves en las protecciones de los márgenes.



Fuente: Tomado de *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado* (Ministerio de Fomento, 2012)

Así mismo, en el Manual de Inspección de Puentes del estado de Nueva York (NYDoT, 2017), también cuenta con una escala de valoración para la erosión de los márgenes y de las protecciones en caso de que existan, esta escala se puede visualizar en el Cuadro 10.

CUADRO 10. Valoración del estado de los márgenes		
Estado natural		
Escala	Condición	Descripción
1	Buena	Ninguna presente en un radio de 250 ft (76,2 m)
2	Aceptable	Erosión menor dentro de los 250 ft (76,2 m)
3	Pobre	Los bancos cercanos de la estructura muestran una erosión significativa
4	Severa	Es necesario la valoración de un ingeniero hidráulico para determinar los efectos y la capacidad de servicio por las condiciones hidráulicas cerca y a través del puente
Con protecciones en los márgenes		
Escala	Condición	Descripción
1	Buena	Protección de la ribera en condiciones como nuevas.
2	Aceptable	Desplazamiento menor en el material de protección del banco.
3	Pobre	Lavado o desplazamiento significativo del material de protección del banco.
4	Severa	Es necesario la valoración de un ingeniero hidráulico para determinar los efectos y la capacidad de servicio por las condiciones hidráulicas cerca y a través del puente.

Fuente: Tomado de NYDoT (2017)

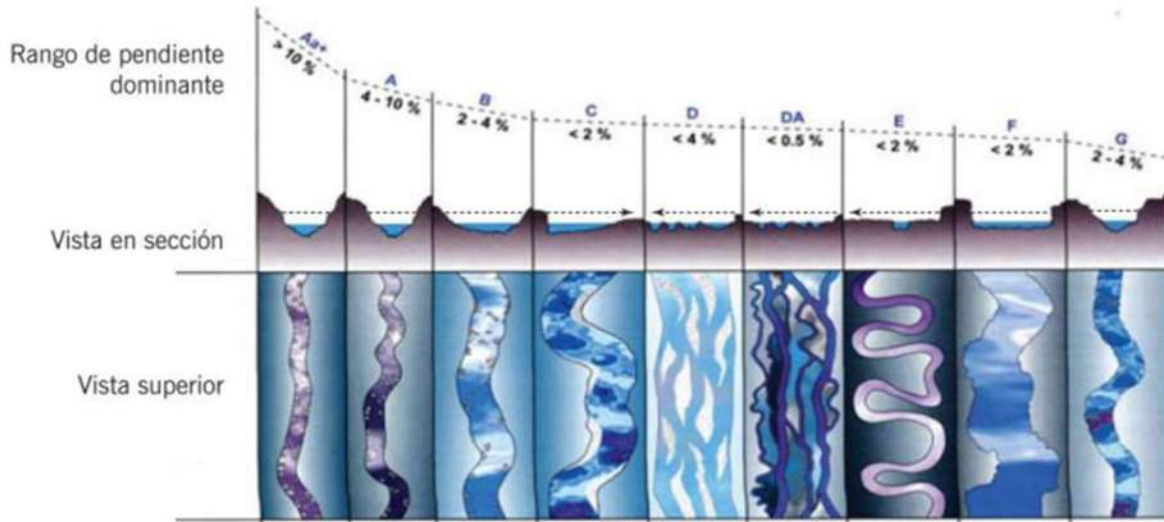
1.2.1.6 Caracterización del cauce

Se refiere a la identificación y descripción del material que conforma el lecho del río. Este factor influye notablemente en el riesgo de socavación del cauce (socavación general) y de la socavación local en las fundaciones de la subestructura, ya que, según Rossow (2012), aunque el material del lecho no influye en la profundidad de la socavación, sí lo hace notablemente en el tiempo necesario para alcanzar esta profundidad, por ejemplo, el caso de los materiales cohesivos que tardan más tiempo en socavarse que los lechos de arena. En el Ministerio de Fomento (2012), clasifica los materiales del lecho en los siguientes tipos:

- Arena
- Grava
- Bolos/ guijarros (bloques de piedra)
- Limo/arcilla
- Roca

Otro aspecto que puede evaluarse para caracterizar un cauce es la variación del gradiente de la pendiente del río. Según el Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador (MOPTVDU, 2013), la pendiente de los ríos disminuye conforme lo hace el gradiente fluvial. Asimismo, se establece que la capacidad de arrastre de sedimentos depende en gran medida de la pendiente, del tipo de cauce, del caudal del río y de las características del material del lecho. En la Figura 21 se presentan los diferentes tipos de cauce, junto con las pendientes típicas en las que suelen desarrollarse.

Figura 21. Tipos de cauce según la pendiente.



Fuente: Tomado de Manual de Uso de Ficha De Evaluación de la Vulnerabilidad en Puentes Ante Fenómenos Hidrometeorológicos (MOPTVDU,2013)

Para su valoración, el MOPTVDU utiliza la puntuación del periodo de retorno (PPR) como criterio para evaluar diferentes parámetros relacionados con la vulnerabilidad de los puentes ante amenazas naturales. En el caso de la diferencia de gradiente de la pendiente (DGP), la evaluación se plantea en dos escenarios: cuando la pendiente es más pronunciada aguas arriba que aguas abajo, y cuando la pendiente es más pronunciada aguas abajo que aguas arriba dentro de una longitud de 100 m, hacia aguas arriba y aguas abajo. Es importante considerar que esta escala constituye únicamente un parámetro dentro de una calificación global que integra varios factores; por lo tanto, a mayor puntuación corresponde una mejor calificación, y viceversa. En el Cuadro 11 se muestra la escala utilizada para ambos escenarios.

Cuadro 11. Evaluación de la pendiente del cauce	
Si aguas abajo es más pronunciada que aguas arriba	
Escala (PPR17)	Diferencia de gradiente de la pendiente DGP
20	DGP < 10%
10	DGP ≤ 10%
Si aguas arriba es más pronunciado que aguas abajo	
Escala (PPR17)	Diferencia de gradiente de la pendiente DGP
10	DGP < 10%
15	DGP ≤ 10%

Fuente: Tomado de MOPTVDU (2013)

1.2.1.7 Ancho del cauce

Corresponde a la medición del ancho del cauce que permite el paso del flujo de agua en una situación normal considerando los posibles estrechamientos que se puede producir por las restricciones existentes (Ministerio de Fomento, 2012).

Entre los principales daños que puede provocar un estrechamiento del cauce, son la socavación por contracción, que se produce por la aceleración del flujo de agua debido a que se contrae el cauce, esta socavación se puede dar debido a que para ahorrar costes se construye un puente más corto en longitud lo que implica que se estreche el cauce, sin embargo, también se puede originar debido al depósito de sedimentos en el cauce, presencia de vegetación densa o de rocas en las orillas lo que de igual forma estrecha el cauce. Así mismo, el estrechamiento del cauce puede presentar socavación en las cimentaciones de los bastiones y pilas, denominado también como socavación local (DNIT, 2004).

Para valorar este factor, Ortiz et al. (2024) evalúa el estrechamiento del cauce a partir de las medidas del ancho del cauce, usando la relación entre aguas arriba y aguas abajo, como se observa en la Ecuación 1.

$$\text{Estrechamiento del cauce} = \frac{\text{ancho aguas arriba}}{\text{ancho aguas abajo}} \quad \text{Ec. 1}$$

Dependiendo del valor de estrechamiento, así puede ser su valoración, tal y como se observa en el Cuadro 12. Donde se evalúa como 1 como la mejor condición y 5 como la peor condición posible.

Cuadro 12. Evaluación del estrechamiento del cauce	
Escala	Estrechamiento E (m)
1	$E < 0,9$
2	$0,9 < E \leq 1,1$
3	$1,1 < E \leq 1,3$
4	$1,3 < E \leq 1,5$
5	$1,5 < E$

Fuente: Tomado de Ortiz et al. (2024).

1.2.1.8 Ángulo de ataque

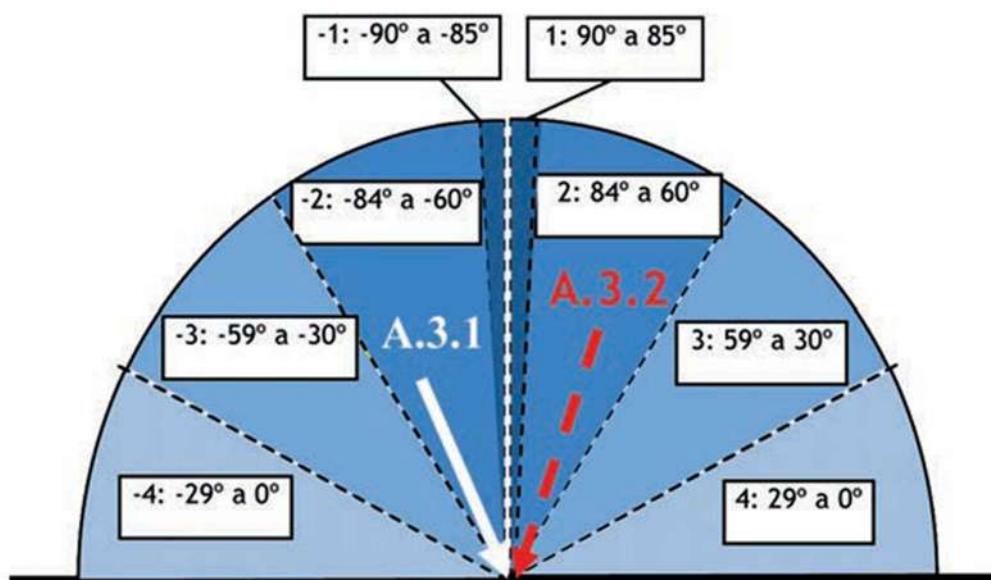
La idea fundamental en el diseño de un puente, es que el flujo de agua discurra de la forma más paralela posible a los ejes de los bastiones, sin embargo, debido a los movimientos laterales continuos del flujo, este puede irse desviando de modo en dirección hacia los bastiones con ángulo de inclinación que puede llegar a ser significativo, provocando que la capacidad de la vía fluvial puede verse reducida y que pueda existir una socavación local en las fundaciones de los elementos de la subestructura. Así mismo, estos cambios del alineamiento del cauce, también contribuyen a reducir la capacidad de agua que puede soportar el cauce, lo que implicaría también una amenaza de inundación y bloqueo del cauce (Rossow, 2012).

Para determinar la criticidad del ángulo de ataque el NYDoT (2017) lo valora tal y como se observa en el Cuadro 13, donde se toma en consideración la abertura existente entre un eje perpendicular imaginario al eje longitudinal del puente y el sentido de flujo, así como la categorización del tipo del cauce dependiendo de su ángulo, siendo 1 la mejor condición posible y 5 la peor. También se puede observar en la Figura 22, la valoración de los ángulos en España, donde se toma en consideración el ángulo formado entre el eje del puente y el sentido del flujo, así mismo indica una diferenciación del sentido del flujo.

Cuadro 13. Evaluación del estrechamiento del cauce		
Escala	Ángulo (°)	Tipo de río
1	0° a 15°	Ríos rectos
2	Para ríos trenzados	
3	15° a 30°	Ríos sinuosos
4	30° a 45°	Ríos sinuosos
5	>45°	Ríos sinuosos

Fuente: Tomado de NYDoT (2021)

Figura 22. Valoración del ángulo de ataque



Fuente: Tomado de Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado (Ministerio de Fomento, 2012)

1.2.1.9 Indicios de inundaciones

Corresponde a la recolección de evidencia que indique la altura máxima que el nivel del agua ha podido alcanzar durante una fuerte avenida, entre las principales consecuencias que puede provocar un alto nivel de agua durante una crecida, es que se puede arrasar con el puente, los márgenes y la carretera aislando el puente, o arrasar con el relleno de aproximación y excavando grandes agujeros en el lecho del río. (Transport and Road Research Laboratory, 2004)

Así mismo, las causas que provocan las inundaciones se encuentran: que se presente agradación o depósito de sedimentos en el lecho del cauce o bloqueos por acumulaciones de materiales, troncos o desechos que producen que se limite la abertura del puente limitando su capacidad.

El Public Works and Government Services (2010), menciona que para detectar el nivel máximo de agua que ha llegado a suceder, se puede tomar en cuenta:

- Socavación de las fundaciones de las pilas o bastiones.
- Cicatrices o daños en la subestructura.
- Marcas de agua.
- Presencia de escombros gruesos como ramas y árboles pequeños, atrapados o encajadas en la subestructura.
- Escombros finos como hierba o pequeñas ramas cerca de árboles, terraplenes, estructuras u otros.
- Líneas de lavado en los taludes.
- Marcas o manchas en las estructuras.
- Consultar a vecinos de la zona.

Para la evaluación, se cuenta con el realizado por Ortiz et al. (2024) en el Cuadro 14, que analiza la altura libre desde el nivel de agua alcanzado hasta la parte más baja de la superestructura, siendo 1 la mejor condición y 5 la peor.

Cuadro 14. Evaluación de la altura libre inferior	
Escala	Altura libre inferior h (m)
1	$6,0 < h$
2	$4,5 < h \leq 6,0$
3	$3,0 < h \leq 4,5$
4	$1,5 < h \leq 3,0$
5	$h \leq 1,5$

Fuente: Tomado de Ortiz et al. (2024).

Otras valoraciones de la altura libre inferior del puente se presentan en los Cuadros 15 y 16. El Cuadro 15 corresponde a la escala propuesta en el Manual de Inspección de Puentes de Canadá (Public Works and Government Services, 2010), la cual evalúa de manera general el nivel alcanzado por el agua en relación con la estructura. Por su parte, el Cuadro 16 muestra la valoración de la altura de caída considerada para el diseño de puentes según lo establecido por la SIECA (2016).

Cuadro 15. Evaluación del nivel máximo de agua en el puente	
Escala	Nivel máximo de agua (m)
1	Probable nivel máximo de agua alta a menos de 0,5 m de la parte inferior de la superestructura.
2	Probable nivel máximo de agua en la zona inferior de la superestructura.
3	Probable nivel máximo de agua en la parte superior de la losa de la superestructura.
4	Probable nivel máximo de agua por encima de la losa de la superestructura.
5	Probable nivel máximo de agua por encima de la losa de la superestructura.

Fuente: Adaptado de Public Works and Government Services (2010)

Cuadro 16. Evaluación de la altura de caída (altura vertical inferior)	
Escala	Altura de caída H (m)
1	$5,0 < H$
2	$2,0 < H$
3	$1,0 < H \leq 2,0$
4	$H \leq 1,0$

Fuente: Adaptado del SIECA (2016)

1.2.1.10 Contaminación por basura

Se inspecciona principalmente la presencia de residuos sólidos en el cauce del río, las principales problemáticas que este factor presenta es que representan un elemento que puede provocar obstrucciones en el cauce lo que conlleva posteriormente a inundaciones o a socavaciones locales debido a la contracción del cauce (Office of Bridges and Structures, 2014), así mismo, su presencia masiva, representa dificultades en el mantenimiento e inspección de la estructura.

1.2.1.11 Presencia de descarga de tuberías

Corresponde a la identificación de la presencia de descargas de aguas residuales en las cercanías del puente, ya que pueden afectar a la estabilidad de la zona dependiendo de la altura, velocidad y caudal de la descarga provocando socavaciones locales que pueden verse aumentadas si no se cuenta con protecciones o no se realiza en una zona con un material competente (SIECA,2016), así mismo, puede llegar a afectar a la durabilidad y operación del puente debido al tipo de descargas que se realizan en el cauce.

1.2.1.12 Presencia de vegetación

La presencia de vegetación alrededor de las riberas, según la Office of Bridges and Structures de Iowa (2014), cumple la función clave de proteger las riberas de la erosión provocada por el flujo normal del agua, sin embargo, el Transport and Road Laboratory (2004) menciona que la vegetación ligera como pastos o matorrales son útiles para las riberas ya que estas se fijan en el suelo gracias a sus raíces, sin embargo, en aquellas donde se encuentran árboles, arbustos de importante tamaño no son tan beneficiosas ya que pueden

representar una amenaza para un futura obstrucción del cauce durante fuertes avenidas como se observa en la Figura 23. Además, el crecimiento excesivo de vegetación también puede provocar socavación por contracción.

Figura 23. Escombros de vegetación en el cauce



Fuente: Tomado de FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2 - Waterways (Rossow, 2012)

1.2.1.13 Presencia de fauna

Debido al entorno natural en el que se encuentra muchos puentes, es esperable la presencia de diferentes tipos de fauna, por lo que es relevante tomar nota de la fauna presente o indicios de esta, ya que pueden originar diversos problemas debido a los excrementos producidos como el de las aves y murciélagos que pueden llegar a corroer el acero (Spennemann, 2016) hasta problemas de seguridad para el equipo de inspección como la existencia de avispas, abejas serpientes o reptiles de mayor tamaño.

1.2.1.14 Presencia de estructuras en los alrededores

Es un factor que considera la existencia de edificaciones, instalaciones u otras obras civiles que se ubiquen dentro del propio cauce o en las cercanías inmediatas del puente, como se observa en la Figura 24, se pueden catalogar estas estructuras como obstrucciones que son aquellas limitaciones que disminuyen el ancho del cauce disponible creados por el ser humano (Ministerio de Fomento, 2012). Entre los daños que se pueden producir van desde socavaciones locales en la estructura del puente como en la de la estructura externa, socavación por contracción, mayor riesgo de inundaciones al disminuir la abertura del puente y que también puede significar un problema para la accesibilidad, seguridad y durabilidad de la estructura, así como que puede representar un problema para labores de futuras labores de ampliación o mantenimiento del puente.

Figura 24. Presencia de estructuras en el cauce



Fuente: Tomado de *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado* (Ministerio de Fomento, 2012)

1.2.1.15 Intervención del cauce y contramedidas

Se refiere a la existencia de obras o de acciones realizadas en el cauce o sus márgenes con el fin de modificar su comportamiento hidráulico, geomorfológico o estructural (New Zealand Transit Agency, 2001). Las intervenciones incluyen dragados, canalizaciones, rectificaciones, revestimientos, construcción de espigones, muros de encausamiento, diques u otros. En los tipos de contramedidas o protecciones, pueden presentar varios beneficios:

- El dragado del cauce permite aumentar la capacidad hidráulica del cauce, ayuda a reducir el riesgo de inundación reduciendo la cantidad de sedimentos en el cauce.
- Canalización del cauce permite mejorar el control del flujo del río y con ello la erosión lateral o socavación (Ministerio de Fomento, 2012)
- Protecciones ayudan a proteger los taludes y bastiones frente a la erosión.
- Espigones ayudan a redireccionar el flujo protegiendo zonas vulnerables.

Además de que su existencia es un indicio de que se han realizado cuidados para mitigar problemas existentes con la socavación y de reducir riesgos como el fallo del puente durante un evento de inundación (NYDoT, 2022). Sin embargo, como se menciona en el Ministerio de Fomento de España (2012), este tipo de medidas también pueden implicar la socavación a largo plazo, por lo que hay que considerar también estos efectos.

1.2.1.16 Tipo de tráfico real

Se refiere a la descripción del tipo de tráfico que se presenta en el puente. Esto se debe a que los puentes se diseñan a un tipo determinado de cargas, sin embargo, durante el ciclo operativo del puente, el uso que se le dé puede cambiar, por lo que es importante registrar el tipo de vehículos que circulan realmente por el mismo.

Entre los principales riesgos que puede sufrir la estructura por un aumento de la carga, se resalta el asentamiento en la subestructura, fatiga de los elementos, deformación de los elementos entre otros (Ministerio de Fomento, 2012).

1.2.1.17 Estado de conservación del cauce

Según el SIECA (2010), el mantenimiento del cauce correspondería a la limpieza de todos los materiales ya sean arenas, rocas, escombros o cualquier exceso de sedimentos que se encuentren colindantes con las pilas y bastiones que interrumpan la correcta circulación del flujo del río, así como la remoción de troncos, maleza, basura retenida u otros que de igual forma alteren el cauce. Entre las obras de mantenimiento se pueden encontrar:

- Limpieza.
- Restitución del cauce, que consiste en la remoción del lecho y su posterior transporte, colocación y compactación en los bordes naturales del cauce, para formar una especie de canal, formando una especie de protección para evitar su desbordamiento.
- Construcción de diques.
- Construcción de protecciones.

1.4 Análisis global de los factores externos que afectan la integridad de las estructuras de puentes.

Como se ha observado en la descripción de los factores, gran parte de ellos poseen una escala de valoración propia, sin embargo, hay casos en los que se puede valorar de una manera conjunta, ya que en muchos casos pueden facilitar la comprensión de estos y generan un mejor criterio para determinar el estado real de la estructura y de su entorno, la Federal Highway Administration (FHWA) de los Estados Unidos propone una escala de valoración de 10 niveles donde considera un estado de una excelente condición a condición de falla (Office of Bridges and Structures, 2014), a partir de estos grados de evaluación, el MOPT (2024) ha realizado una equivalencia de las mismas a un entorno aplicable al estado del país, estas valoraciones se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Escala de valoración de daños		
Condición FHWA	Condición MOPT	Descripción de la condición según MOPT (2024)
9.Excelente estado	1.Satisfactoria	Elementos sin deficiencias o con deficiencias leves que afectan únicamente la durabilidad del elemento. La estabilidad estructural y la seguridad vial están aseguradas.
8.Muy buen estado		
7.Buen estado	2.Aceptable	Elementos con deterioros ligeros. Se observan deficiencias leves en elementos funcionales o estructurales que pueden afectar su capacidad estructural u operativa, o deficiencias moderadas que afectan únicamente la durabilidad del elemento.
6.Condición satisfactoria		
5.Estado regular	3.Regular	Deficiencias importantes, pero los componentes del puente aún funcionan de forma adecuada. Se observan deficiencias moderadas en elementos funcionales o estructurales que pueden afectar su capacidad estructural u operativa, o deficiencias significativas que afectan únicamente la durabilidad del elemento
4.Mal estado	4.Deficiente	Deficiencias serias, pero, que no llegan a comprometer la estabilidad del puente. Se observan deficiencias moderadas en elementos estructurales primarios o deficiencias significativas en elementos estructurales secundarios o elementos funcionales que pueden afectar su capacidad estructural u operativa. O bien, se observan deficiencias severas que afectan únicamente la durabilidad del elemento.
3.Condición grave	5.Alarmante	La estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en uno o varios elementos estructurales secundarios o elementos funcionales.
2.Estado crítico		
1.Condición de falla inminente	6.Falla inminente	Inestabilidad estructural del puente o de sus componentes. Riesgo alto de colapso de la estructura debido a deficiencias severas extendidas en uno o varios elementos estructurales principales del puente. Daño irreversible que posiblemente requiera la reconstrucción (sustitución) del puente o al menos de la reconstrucción de los elementos dañados.
0.Condición de fallo		

Fuente: Tomada de MOPT. (2024)

A partir de dichas conversiones de las escalas de evaluación, la FHWA ha realizado una evaluación del entorno del puente que se presenta en el Cuadro 18, así mismo, con la información aportada en el Cuadro 18, se ha realizado la equivalencia que tendría esta escala del FHWA a los niveles de calificación utilizados en Costa Rica en el nuevo Manual de Puentes del MOPT (2024).

CUADRO 18. Escala de valoración de daños		
Escala FHWA	Escala MOPT	Descripción
N	No aplica	El puente no se encuentra sobre un canal
9 y 8	1. Satisfactoria	No hay deficiencias notables que afecten el canal y las riberas están protegidas o bien cubiertas de vegetación. No se ha requerido dispositivos de control fluvial como diques de espolón y protección de terraplenes o se encuentran en buen estado.
7 y 6	2. Aceptable	La protección de la ribera necesita reparaciones menores. Los dispositivos de control del río y la protección del terraplén presentan daños leves. Se puede observar ligeros movimientos del lecho del río y hay una ligera presencia de escombros obstruyendo el canal.
5	3. Regular	La protección de la ribera se está erosionando. Los dispositivos de control del río o de los taludes presentan daños importantes, hay presencia de árboles y maleza que obstruyen el cauce.
4	4. Deficiente	La protección de las orillas y terraplenes está gravemente deteriorada. Los dispositivos de control del río presentan graves daños. Hay grandes depósitos de escombros en el canal.
3 y 2	5. Alarmante	La protección de la ribera ha fallado. Los dispositivos de control del río han sido destruidos. La agradación, degradación o el movimiento lateral del lecho del río han alterado el cauce, lo que amenaza el puente o la carretera de acceso. Así mismo, abarca cuando el canal ha cambiado hasta el punto de que el puente está cerca de un estado de colapso.
1 y 0	6. Falla inminente	El puente está cerrado debido a una falla en el canal. Y solo puede rehabilitarse con una acción correctiva para restablecerlo o en el peor de los escenarios está cerrado debido al canal por lo que es necesario reemplazarlo.

Fuente: Basada en la información de WisDoT. (2017)

Así mismo, el Public Works and Government Services (2010) posee una escala similar con seis niveles donde valora principalmente las marcas de inundaciones, riesgo a bloqueos, socavación, alineación y presencia de alcantarillas y otros, así mismo lo observa desde dos puntos de vista a nivel de rendimiento (*Performance Condition Rating*, PCR) y a nivel del estado del material (*Material Condition Rating*, MCR). Esta escala se muestra en el Cuadro 19.

CUADRO 19. Escala de valoración de daños del cauce	
Escala	Descripción
6	No se observaron defectos relacionados con el material o el rendimiento.
5	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel máximo probable de agua alta a menos de 0,5 m de la parte inferior de la superestructura. - Bloqueo del canal que reduce la abertura bajo la estructura hasta un 5%. - Daños leves a los componentes de la estructura por escombros arrastrados por el río. - Vía fluvial dirigida contra los componentes de la estructura previamente protegidos. Lo que resulta en defectos leves en los materiales de dichos componentes. - Socavación y pérdida de soporte en hasta un 5% de la cimentación. - Algunos puntos de socavación o degradación del lecho o las orillas de la vía fluvial, sin exponer las cimentaciones. - Ligera socavación en la entrada o en la salida de alcantarillas y estructuras de suelo-acero. -Algunos puntos de agradación que no afectan el flujo fluvial en la estructura.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel máximo de agua probable en el borde inferior de la superestructura. -Bloqueo del canal que reduce la abertura bajo la estructura entre un 5% y 10% de la cimentación. -Vía fluvial dirigida contra componentes de la estructura, lo que resulta en defectos de material moderados en dichos componentes. -Socavación y pérdida de soporte en más de 5 al 10% de la cimentación. -Daños moderados a los componentes de la estructura por escombros por la vía fluvial. -Numerosos puntos de socavación o degradación del lecho o a las orillas de la vía fluvial, sin exponer los cimientos. Socavación leve en la entrada o la salida de alcantarillas y estructuras de suelo-acero. - Desplazamiento de la alineación de la vía fluvial e invadiendo componentes que anteriormente no estaba sujetos al flujo de la vía fluvial. - Varios puntos de agradación que afectan marginalmente el flujo de la vía fluvial en la estructura.
3	<ul style="list-style-type: none"> -Nivel máximo de agua probable en la parte superior de la losa. -Obstrucción del canal que reduce la abertura bajo la estructura entre un 10% y un 15%. -Caudal dirigido contra componentes de la estructura, lo que provoca graves defectos materiales en dichos componentes. -Socavación y pérdida de soporte en más del 10% al 15% de la cimentación. -Daños graves a los componentes por escombros arrastrados por el cauce. -Socavación o degradación del lecho o las riberas del cauce hasta la parte superior de cimentaciones previamente cubiertas. -Socavación significativa en la entrada o salida de alcantarillas y estructuras de suelo-acero. -Desplazamiento de la alineación del cauce con el flujo dirigido hacia un componente que anteriormente no estaba sujeto al flujo del cauce. -Agradación media que afecta significativamente el flujo del cauce en la estructura.
2	<ul style="list-style-type: none"> -Nivel máximo probable de agua por encima de la losa. -Obstrucción del canal que reduce la abertura del puente entre un 15 a un 20% -Vía fluvial dirigida contra componentes de la estructura, lo que resulta en defectos materiales muy graves que pueden afectar la resistencia o la estabilidad de dichos componentes.

	<p>-Socavación y pérdida de soporte en más del 15 al 20% de la cimentación.</p> <p>-Daños muy graves a los componentes de la estructura por escombros arrastrados por el río, que pueden afectar la resistencia o estabilidad de dichos componentes.</p> <p>-Socavación o degradación del lecho o de los márgenes del río por debajo de la parte superior de las cimentaciones previamente cubiertas.</p> <p>-Socavación grave en la entrada o salida de alcantarillas y estructuras de suelo-acero.</p> <p>-Desplazamiento de la alineación de la vía fluvial con el flujo directamente contra la mayor parte de un componente que no estaba antes sujeto a la corriente del río.</p> <p>-Agradación que afecta gravemente el flujo de la vía fluvial en la estructura.</p>
1	<p>-Nivel de agua máximo por encima de la superestructura.</p> <p>-Obstrucción del canal que reduce la abertura del puente en más de un 20%.</p> <p>-Vía fluvial dirigida contra los componentes de la estructura, lo que ha afectado gravemente la resistencia o estabilidad de dichos componentes.</p> <p>- Socavación y pérdida de soporte en más de 20% de la cimentación.</p> <p>- Daños muy graves a los componentes de la estructura por escombros arrastrados por la vía fluvial, lo que ha afectado gravemente la resistencia o estabilidad de dichos componentes.</p> <p>Socavación o degradación del lecho o los márgenes del río hasta el fondo de las cimentaciones previamente cubiertas.</p> <p>-Deslaves extensos alrededor de la entrada o salida de alcantarillas y estructuras suelo-acero con pérdida del relleno del terraplén.</p> <p>-Desplazamiento de la alineación de la vía fluvial con el flujo directamente contra la totalidad de un componente que anteriormente no estaba sujeto al flujo de la vía fluvial.</p> <p>Agradación extensa que afecta gravemente el flujo del río en la estructura.</p>

Fuente: Public Works and Government Services (2010)

A nivel nacional, el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del Centro de Investigación de la Vivienda y Construcción (CIVCO) ha realizado valoraciones integrales para la evaluación de puentes, como el índice de Salud de puentes (BHI), donde integra el Índice de Condición de la Estructura (BCI) y con el valor mayor entre el SCI o el HCI.

Para el cálculo HCI, se considera los siguientes ítems:

- Si la zona donde está el puente es inundable o no, si lo es se asigna un valor de 5, de lo contrario un 1, esta información puede ser obtenida de los mapas cantonales de la Comisión Nacional de Emergencias y Prevención (CNE),
- Estrechamiento del cauce, mencionado en la Sección 1.2.1.7
- La altura inferior libre mencionada en la sección 1.2.1.9

También se verifica el ángulo de ataque presente hacia los bastiones y hay que investigar si existe alguna alerta sobre el puente en análisis. A partir de las valoraciones de los riesgos se elige el mayor de estos y se califica de la siguiente forma mostrada en el Cuadro 20.

CUADRO 20. Evaluación de la amenaza hidrológica		
Valor de HCI	Código de color	Descripción
1 a 2		La estructura presenta una amenaza de inundación baja.
2 a 3		La estructura presenta una amenaza de inundación media.
3 a 4		La estructura presenta una amenaza de inundación media-alta.
4 a 5		La estructura presenta una amenaza de inundación alta.

Fuente: Tomada de Ortiz et al. (2024)

Para el caso del SCI, como se mencionó en la Sección 1.2.1.1, se evalúa dos ítems: la longitud de asiento y la amenaza sísmica. Estas se valúan de la siguiente manera:

- **Longitud de asiento**

Se debe comparar la longitud de asiento obtenido en campo con el calculado teóricamente con base en los Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes, este se calcula con la Ecuación 2 en caso de puentes no sesgados, es decir sin inclinación con respecto a la vía.

$$N_{teórica} = I \cdot (305 + 2,50 \cdot L) \cdot (1 + 0,000125 \cdot S^2) \quad Ec. 2$$

De la anterior Ec. 2, se tiene que:

- **N:** longitud de asiento mínima teórica en milímetros (mm)
- **I:** factor de importancia, obtenido de los Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013) presentada en el Anexo 1.
- **L:** longitud de la superestructura en metros (m)
- **S:** ángulo de sesgo del apoyo medido a partir de una línea normal al claro, en grados (°).

Obtenido dicho valor, se define el SCI para la longitud de asiento, siendo 1 si la teórica es mayor a la medida en campo y 5 si no lo cumple.

- **Amenaza sísmica**

Para este valor, se debe conocer el sitio de cimentación, la zonificación sísmica y la cercanía a una falla cercana. Los dos primeros se utilizarán para definir el Coeficiente sísmico espectral (C_a), calculado y este valor de C_a junto con la determinación de la cercanía se calcula la amenaza sísmica. El C_a se calcula con ayuda del Cuadro 21.

CUADRO 21. Definición del coeficiente sísmico espectral (C_a)			
Sitio de cimentación	Zona de amenaza sísmica		
	II	III	IV
S1	0,240	0,360	0,480
S2	0,287	0,374	0,480
S3	0,317	0,410	0,490
S4	0,360	0,367	0,432

Fuente: Tomada de Ortiz et al. (2024)

Definido el Ca , se calcula la aceleración pico efectiva (CaM) modificada por la presencia de fallas activas en las cercanías del puente. Esta se calcula de acuerdo con la Ecuación 3.

$$CaM = Coeficiente \cdot Ca \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

- **Coeficiente:** se define como 1,2 cuando hay fallas activas cercanas y 1 si no las hay, aplicando el parámetro de la ubicación de acuerdo con el Mapa de Amenazas del CNE y definido en el procedimiento.
- **Ca:** corresponde al Coeficiente Sísmico Espectral, valor encontrado en el Cuadro 18.

Definido el CaM , se puede calcular la Amenaza Sísmica de acuerdo con la Ecuación 4. Este valor de amenaza sísmica correspondería al SCI por amenaza sísmica y tendrá que ser comparado con el obtenido por la longitud de asiento, se elige el mayor de estos dos valores y con ello se determina el nivel de amenaza con base en el Cuadro 22.

$$Amenaza \text{ sísmica} = \frac{CaM}{0,588} \cdot 4 + 1 \quad \text{Ec 4.}$$

CUADRO 22. Evaluación de la amenaza sísmica		
Valor de SCI	Código de color	Descripción
1 a 2		La estructura presenta una amenaza sísmica baja.
2 a 3		La estructura presenta una amenaza sísmica media.
3 a 4		La estructura presenta una amenaza sísmica media-alta.
4 a 5		La estructura presenta una amenaza sísmica alta.

Fuente: Tomada de Ortiz et al. (2024)

Para Ortiz et al. (2024), la valoración para determinar el BHI se elegiría entre los valores más críticos entre el BCI de la parte estructural del puente y los BCI por amenaza sísmica y de riesgo hidrológico dando como resultado la criticidad del puente. Este valor aunado a la importancia del puente da como resultado el BHI final del puente y dependiendo de su valor se determinaría la prioridad de atención de la estructura.

Capítulo 2: Metodología

El presente trabajo final de graduación tuvo como objetivo principal, desarrollar una guía metodológica para la evaluación e inspección de los factores externos que afectan la integridad de las estructuras de puentes en el país, realizado para el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del Centro de Investigación en Vivienda Construcción (CIVCO), y para cumplir este objetivo se propuso tres objetivos específicos con sus respectivas actividades, que se describirán más adelante.

En primer lugar, cabe resaltar el tipo de investigación que se realizó, corresponde a una investigación mixta, es decir, que combina una parte cuantitativa y otra cualitativa, como lo menciona Rus (2020), la ventaja de este tipo de investigación permitió un estudio más completo y detallado. Esta investigación se considera de este tipo ya que por un lado se tiene un aspecto cualitativo como lo es la descripción de los diferentes deterioros y sus escalas de valoración que pueden implicar juicios subjetivos y por otro lado hay variables cuantitativas como las mediciones de cauce, ángulos de ataque que son medibles directamente en campo.

Seguidamente, se definieron las variables y las categorías que van a estar presentes en esta investigación, una categoría, según Rivas (2015), se define como una estrategia metodológica para describir un fenómeno mediante varias categorías de estudio y se aconseja que estas no sean mayores a cinco para no generar confusiones. Del mismo modo, define a las variables como aquellos datos que cambian su valor y están asociadas a unidades concretas. En el Cuadro 23, se presenta las categorías que se aplicarán en esta investigación con su definición y las variables correspondientes a estas.

CUADRO 23. Categorías y variables consideradas	
Categoría	Variables
Factores del estado del entorno	Longitud de asiento (Actividad sísmica) Amenaza sísmica (actividad sísmica) Uso de suelo de las zonas colindantes Ambiente marino (ambiente agresivo) Ambiente expuesto a zonas urbanas (ambiente agresivo) Ambiente expuesto a influencia volcánica (ambiente agresivo) Ambiente expuesto a zonas agrícolas (ambiente agresivo) Susceptibilidad a flujos de lodo y lahares
Factores del cauce	Estado de los márgenes naturales Estado de las protecciones en los márgenes Tipo de cauce Tipo de material del cauce Presencia de socavación del lecho del río Presencia de elevación del lecho del río Ancho de cauce Ángulo de ataque Indicios de inundaciones Susceptibilidad a inundaciones
Factores químicos y contaminación	Contaminación por basura Manejo de aguas
Factores biológicos	Presencia de vegetación Presencia de fauna
Factores humanos	Invasión del cauce Intervención del cauce y contramedidas Tráfico Estado de conservación del cauce

Fuente: Elaboración propia

Estas variables fueron elegidas tanto de las consideradas en el formulario de evaluación de variables ambientales proporcionadas por el PEEP, como de la investigación documental y de los cuestionarios realizados a expertos que serán detalladas más adelante.

2.1 Metodología para el cumplimiento de los objetivos

Para esta investigación, se realizó la siguiente metodología, sintetizada en la Figura 25, y explicado más a detalle en las siguientes subsecciones.

Figura 25. Resumen de la metodología de la investigación



2.1.1 Matriz de información para la descripción, procedimientos y escalas de valoración de los factores externos.

El fin de este objetivo constó en la confección de una matriz de información donde se sintetizó la definición de cada factor, los daños que se pueden producir en la estructura, procedimientos de inspección y escalas de evaluación para cada factor. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica a través de normativas, estándares, manuales de inspección nacionales y extranjeros y artículos científicos para completar con lo propuesto en la matriz.

Así mismo, se realizó un cuestionario a una serie de expertos que han trabajado en diferentes fases del ciclo de vida de los puentes para conocer su opinión sobre los factores considerados previamente y cuáles más pueden ser tomados en cuenta en la inspección de este tipo de factores, además de recomendaciones que debería aplicarse para a la hora de diseñar estas variables.

Conforme se fue obteniendo la información, esta se resumió en una matriz que cumplió con la principal función sintetizar los datos recolectados para una facilitar la comprensión de estos, y con ello cumplir con el objetivo planteado

2.1.2 Guía de inspección visual en campo de los factores externos en puentes

A partir de la información recopilada en la matriz de información, se diseñó un procedimiento en campo para la inspección de factores externos. En el caso de ocho de estos factores, se requiere además una revisión previa en oficina mediante el uso de mapas u otras fuentes. En la guía se explica la definición de cada factor, los posibles daños que pueden provocar en la estructura, el procedimiento de inspección, así como las escalas de valoración. También se incluye una lista de fotografías sugeridas y un formato para esquemas, con el fin de complementar y evidenciar los hallazgos detectados en campo y consignados en los formularios.

Para la elaboración de este material se contó con la asesoría del Ing. Gerardo Páez, miembro del equipo de inspección del PEEP, cuya experiencia fue fundamental para asegurar que los procedimientos propuestos resultaran útiles y prácticos dentro del contexto nacional, y que la información recolectada sea confiable y útil para análisis posteriores.

Además de la guía, se elaboraron formularios de inspección y listas de verificación para facilitar la recopilación de información en campo y comprobar la funcionalidad de la herramienta. Para su diseño, se recurrió a documentación técnica, como manuales, guías y formularios previamente desarrollados en el PEEP, lo cual permitió mantener homogeneidad en el formato y asegurar que fueran claros, accesibles y ágiles de completar.

2.1.3 Prueba piloto de la guía de inspección propuesta en puentes

Una vez finalizada la elaboración de la guía de inspección, se llevaron a cabo pruebas piloto con el objetivo de revisar y comprobar su funcionalidad, claridad y aplicación en campo. Estas pruebas permitieron evaluar la utilidad práctica de los formularios, las listas de verificación, y los procedimientos propuestos, identificando aspectos que requerían ajustes o mejoras. Además, se observaron elementos como el tiempo requerido para cada evaluación, la comprensión de las escalas de valoración y la facilidad de recolección de la información, lo cual aportó aspectos importantes para mejorar la versión final de la guía.

Las inspecciones se realizaron en los siguientes puentes:

- **Puente 1:** sobre la quebrada Guatuso (Código: MGU 024) sobre ruta cantonal 3-08-153 en la localidad de Guatuso de El Guarco, Cartago.

- **Puente 2:** sobre la quebrada Guatuso (Código: MGU 025) sobre ruta cantonal 3-08-070 en la localidad de Guatuso de El Guarco, Cartago.
- **Puente 3:** sobre la quebrada El Pedregal (Sin código) sobre una ruta cantonal en la localidad de Higuito de El Guarco, Cartago.
- **Puente 4:** sobre la quebrada El Pedregal (Código: MGU 021) sobre una ruta cantonal 3-08-040 en la localidad de Higuito de El Guarco, Cartago.

Estos puentes fueron seleccionados de forma aleatoria, priorizando su cercanía geográfica, con el fin de facilitar la ejecución del trabajo de campo y asegurar una accesibilidad adecuada al cauce. Asimismo, se tomó en consideración que dichas estructuras fueron inspeccionadas anteriormente por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) en el año 2018 y se contó con el acceso a la documentación de esas inspecciones. Esto permitió no solo evaluar el entorno actual, sino también observar posibles cambios o variaciones ocurridas en el sitio desde la última revisión técnica, aportando un elemento comparativo de gran valor para la validación de la guía, además de que se simula la situación de una inspección rutinaria de puentes.

Las inspecciones realizadas fueron útiles para identificar observaciones importantes relacionadas con la aplicación práctica de la guía. Permitieron detectar oportunidades de mejora en aspectos como el formato del manual, la estructura y contenido de los formularios, y el procedimiento de inspección de algunos factores. Asimismo, se evaluó la claridad y comprensión de las escalas de valoración propuestas, la utilidad de las fotografías sugeridas como evidencia documental, y la efectividad de los esquemas incluidos en la guía, valorando su practicidad durante el trabajo en campo.

2.2 Fuentes y sujetos de información

En la presente sección, se describen las principales fuentes y sujetos de investigación utilizados en el proyecto.

2.2.1 Fuentes de información

Las fuentes de información, según Suárez (2024) se refiere a aquel recurso que se utiliza para satisfacer una necesidad de información. Se puede considerar dos tipos de fuentes de información:

- **Primarias:** son aquellas que provienen de la observación directa de los hechos o de la experiencia adquirida. En este caso, las fuentes de información primarias aplicables para esta investigación, corresponden a los cuestionarios y las observaciones realizadas en el sitio.

- **Secundarias:** corresponden a toda aquella información que recoge y sintetiza información que ya otras fuentes han publicado con anterioridad. Las fuentes secundarias corresponden a los manuales, guías, artículos científicos e informes obtenidas en internet, bases de datos como ScienceDirect y ScienSpace.

2.2.2 Sujetos de información

Como sujetos de información para este trabajo de investigación se contó con fuentes documentales como manuales, guías, artículos, entre los que se encuentran:

- *La Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la red de carreteras del Estado* (Ministerio de Fomento de España, 2012): manual de inspección de puentes utilizado en España.
- *FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2 -Waterways* (Rossow, 2012): sección del manual de inspección de puentes utilizado por el FHWA para la inspección de cauces.
- *Structure Inspection Chapter 8 – Waterways* (WisDoT,2017)
- *Guía para la evaluación de puentes* (Ortiz et al., 2024) realizado por el PEEP para evaluar la condición estructural, ambiental y socioeconómica para realizar una priorización de atención a puentes.
- *Manual de Puentes Tomo I* (MOPT, 2024): nueva versión del manual de inspección de puentes en Costa Rica.
- *Lineamientos Diseño Sismorresistente de Puentes* (CFIA,2013): manual para el diseño de estructuras de puente en Costa Rica.

Entre otros más, con el fin de obtener información importante sobre los factores externos considerados, para el cuestionario se contó con la colaboración de los ingenieros Giannina Ortiz, Eduardo Pereira, Israel Monge y Alejandro Alfaro, aportes que fueron importantes para conocer su criterio en las fases iniciales de la investigación.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección

Este apartado aborda las técnicas e instrumentos de recolección de la información utilizadas en la investigación.

2.3.1 Descripción de técnicas

Esta investigación al categorizarse como una investigación mixta, combinó técnicas cualitativas como cuantitativas, por un lado, se tienen las técnicas cualitativas, que correspondieron a describir y evaluar las condiciones mediante observaciones en sitio para identificar y evaluar los daños, revisión documental para

definir las variables y escalas de valoración y consultas y entrevistas con los expertos mencionados en la sección 2.2.2 para obtener criterios a tomar en cuenta para el diseño de la guía.

Por otro lado, se contaron con técnicas cuantitativas referentes a la medición y registro de datos, como las mediciones directas en campo con diferentes instrumentos de medición y con las escalas de valoración a realizar que tienen como función asignar valores numéricos a las variables analizadas.

2.3.2 Descripción de los instrumentos

Entre los principales instrumentos realizados se encuentra un cuestionario realizado una serie de especialistas en el tema de puentes, los inspectores y los diferentes especialistas mencionados en la Sección 2.2.2, el objetivo de esta fue recoger información útil que, desde el punto de vista de estos expertos, es fundamental a la hora de inspeccionar diversos factores externos y qué elementos pueden resaltar en su inspección en campo. La entrevista constaba dos secciones importantes:

- Perfil profesional del experto.
- Consultas sobre los factores externos

2.3.2.1 Sección 1: Perfil profesional

En esta sección se buscó conocer el perfil de las personas entrevistadas, con el fin de contar con información relevante sobre su formación y experiencia profesional, y así corroborar que disponen del conocimiento técnico necesario para brindar criterios que aporten significativamente a la investigación. Para ello, se plantearon las siguientes preguntas:

1. Nombre completo
2. Profesión
3. Cargo que desarrolla actualmente
4. Experiencia en inspección o diseño de puentes

2.3.2.2 Sección 2: Consultas sobre los factores externos

Esta sección correspondía a la parte más relevante del cuestionario, ya que la información suministrada por los especialistas resultó de gran utilidad para complementar el trabajo documental realizado en relación con la descripción de los factores externos analizados. Además, permitió identificar aspectos clave que deben ser considerados al momento de realizar la inspección de estas características, lo cual fue fundamental para su incorporación en la guía propuesta. Las preguntas planteadas en esta parte de la encuesta fueron las siguientes:

Del siguiente Cuadro 24, favor responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Existen otros factores externos que deberían considerarse en la inspección de puentes y que no estén incluidos en este cuadro? Si es así, ¿cuáles y por qué?
2. ¿Hay algún factor en el cuadro que, en su experiencia, no aporta información relevante para la evaluación de la estructura del puente?
3. ¿Qué factores de la lista considera que representan un mayor riesgo para la integridad estructural del puente y por qué?
4. De los anteriores factores, ¿cuáles considera que sean los más complicados de medir o evaluar a la hora de realizar la inspección en sitio?

CUADRO 24. Factores externos a estructuras de puentes del cuestionario	
Categoría	Factores externos
Factores climáticos y ambientales	Estado de los márgenes Actividad sísmica Caracterización de zonas aledañas Caracterización del cauce Ambientes agresivos
Factores hidrológicos	Ancho de cauce Ángulo de ataque Inundaciones
Factores químicos y contaminación	Contaminación Tuberías de descarga
Factores biológicos	Vegetación Fauna
Factores humanos	Presencia de estructuras en los alrededores Intervención del cauce Tráfico

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3: Resultados y análisis

En el presente capítulo, se aborda el desarrollo obtenido para los tres objetivos propuestos para el diseño de la guía de inspección de los factores externos a puentes.

3.1 Matriz de información de los factores externos

Para dar cumplimiento a este objetivo, se plantearon los siguientes productos:

- Lista de factores externos
- Descripción de los factores
- Síntesis de los principales procedimientos para su evaluación
- Escalas de valoración

Con el fin de simplificar su comprensión y organización, se elaboró una matriz en la que se recopiló toda la información relacionada. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica de diversas fuentes nacionales e internacionales, así como un cuestionario dirigido a especialistas, cuyo propósito fue identificar los factores externos más relevantes a considerar. En la siguiente sección se presentan los principales hallazgos obtenidos a partir de este proceso.

3.1.1 Resultados del cuestionario

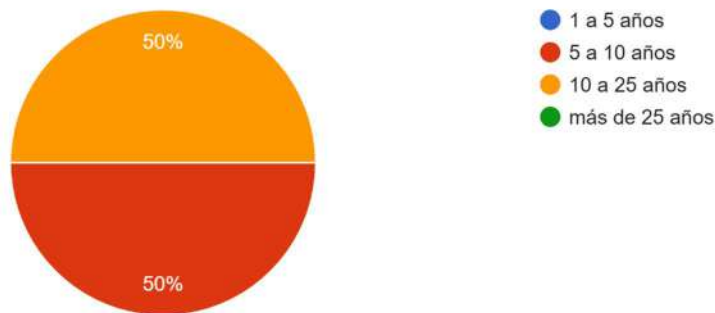
Las respuestas completas del cuestionario se encuentran en el Apéndice 1. No obstante, a partir de estas se extrajeron las siguientes observaciones relevantes:

- Se recomendó especificar con mayor claridad el término “factores externos”, ya que puede prestarse a confusión o interpretaciones ambiguas. Para ello, se sugiere incluir en la guía una definición precisa y detallada del concepto, de manera que cualquier persona interesada en aplicarla comprenda con exactitud el alcance de lo que se evalúa.
- Los factores sísmicos e hidrológicos fueron identificados como los aspectos más importantes a considerar, por lo que deben tratarse con especial atención y explicarse en detalle dentro de la guía para asegurar su utilidad y aplicabilidad en el campo.

- A partir del análisis de otros documentos y la recomendación directa de uno de los especialistas encuestados, se decidió incluir un nuevo factor relacionado con la vulnerabilidad de la zona ante eventos como flujos de lodo y lahares, por su potencial impacto sobre las estructuras.
- Asimismo, con base en las observaciones recibidas, se realizaron cambios en los nombres de algunos factores y categorías con el fin de mejorar su comprensión y lograr una clasificación más clara y funcional, que facilitara su aplicación en las inspecciones

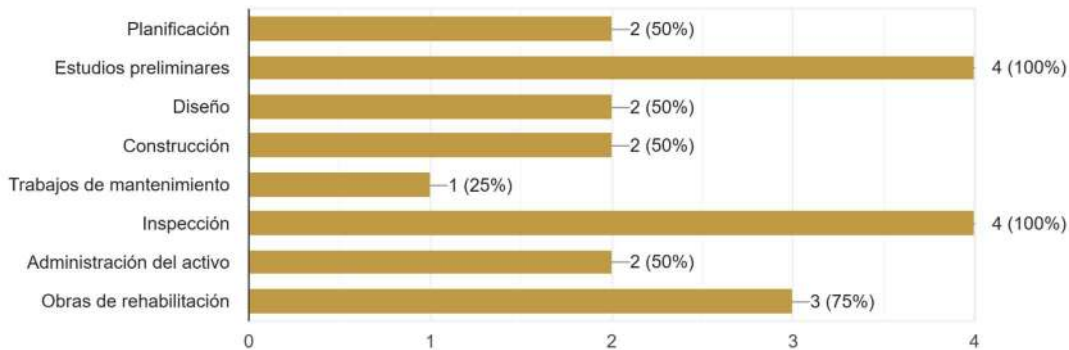
A continuación, se presentan los resultados relacionados con el perfil profesional de las personas encuestadas. En la Figura 26, se detallan los años de experiencia de los profesionales, mientras que la Figura 27 muestra las fases del ciclo de vida de los distintos tipos de puentes en las que han participado. Esta información permitió confirmar que los encuestados cuentan con la experiencia técnica necesaria, por lo que sus aportes resultaron valiosos y pertinentes para el desarrollo de la presente investigación.

Figura 26. Años de experiencia de los profesionales consultados
 Cantidad de años de experiencia en inspección y/o diseño de puentes
 4 respuestas



Fuente: Elaboración propia, producto de Google Forms

Figura 27. Puestos de experiencia de los profesionales.
 Durante el ciclo de vida del puente, ¿en qué fase del proyecto ha generado trabajos o insumos?
 4 respuestas



Fuente: Elaboración propia, producto de Google Forms

3.1.2 Matriz de información

A partir de la información dada por los especialistas encuestados y por la revisión bibliográfica como manuales, guías y normativas, se obtuvo la siguiente lista de factores externos que se muestra en el Cuadro 25, que por una parte se muestra los primeros factores considerados al inicio de la investigación con su correspondiente categoría y por otro lado la lista final que se abarcó tanto en la matriz de información como en el diseño del manual.

CUADRO 25. Lista comparativa de los de factores externos			
Consideradas al inicio de la investigación		Lista final	
Categoría	Factor	Categoría	Factor
Factores climáticos y ambientales	Estado de los márgenes Actividad sísmica Caracterización de zonas aledañas Caracterización del cauce Ambientes agresivos (costero)	Factores del estado del entorno	Actividad sísmica Uso de suelo zonas aledañas Ambientes agresivos Amenaza por flujos de lodo y lahares
Factores hidrológicos	Ancho de cauce Ángulo de ataque Inundaciones	Factores del cauce	Estado de los márgenes Caracterización del cauce Ancho de cauce Ángulo de ataque Indicios de Inundaciones
Factores químicos y contaminación	Contaminación Tuberías de descarga	Factores químicos y contaminación	Contaminación por basura Manejo de aguas
Factores biológicos	Vegetación Fauna	Factores biológicos	Vegetación Fauna
Factores humanos	Presencia de estructuras en los alrededores Intervención del cauce Tráfico	Factores humanos	Invasión del cauce Intervención del cauce y contramedidas Tráfico Estado de conservación del cauce

Fuente: Elaboración propia

Definidos los factores que se van a considerar, y las categorías pertenecientes para cada uno, en el Cuadro 26, se presenta la definición de cada categoría, su definición y la lista de todos los factores y elementos que se evaluaron en la guía.

CUADRO 26. Descripción de las categorías y de los factores externos		
Categoría	Concepto	Factores externos
Factores del estado del entorno	Se refiere a los factores relacionados con las condiciones del ambiente y de la zona en la que se ubica el puente, así como las condiciones en las que se encuentra el cauce del río.	Actividad sísmica (vulnerabilidad y condiciones de la estructura) Uso de suelo zonas aledañas Ambientes agresivos (Costero, urbano, volcánico y agrícola) Amenaza por flujos de lodo y lahares
Factores hidrológicos	Involucra las condiciones presentes del flujo del río, así como la amenaza existente a fenómenos hidrológicos.	Estado de los márgenes Caracterización del cauce (tipo de material, presencia de socavación o de elevación del lecho) Ancho de cauce Ángulo de ataque Indicios de Inundaciones (vulnerabilidad y nivel máximo de agua)
Factores químicos y contaminación	Se relaciona con la detección de elementos contaminantes como descarga de tuberías y presencia de basura dentro del cauce.	Contaminación por basura Manejo de aguas
Factores biológicos	Se analiza el impacto que puede tener la vegetación y la fauna nativa alrededor de la estructura del puente.	Vegetación Fauna
Factores humanos	Referido al impacto de las acciones humanas sobre el cauce y sobre el puente.	Invasión del cauce Intervención del cauce y contramedidas Tráfico Estado de conservación del cauce

Fuente: Elaboración propia

Definida la lista final de factores externos, se procedió a la elaboración de las matrices de información, en los Cuadros 27, 28, 29, 30 y 31 se muestran las matrices con las descripciones, daños y procedimientos para cada factor resumiendo toda aquella información recopilada. Y en el Cuadro 32, se presenta escalas de valoración de algunos de los factores considerados.

CUADRO 27. Características y procedimientos de factores del estado del entorno

Factor	Descripción	Daños	Procedimiento
Actividad sísmica	Riesgo que puede presentar el puente dependiendo de su cercanía con una falla sísmica. Se evalúa la longitud de asiento y la amenaza sísmica presente.	Pérdida del soporte del tablero Rotación de los bastiones Falla de los pilotes en bastiones y pilas Asentamientos y fallas Colapso	Verificar con los mapas cantonales de riesgos del Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) la cercanía del puente a una falla activa. Medición de las longitudes de asiento en bastiones o pilas.
Uso de suelo zonas aledañas	Descripción del uso del suelo alrededor del puente. Ejemplo: sin vegetación, incendio reciente, cultivos, pastos, matorral, arbolado, urbanizado.	Inundaciones Aumento de la escorrentía en dirección al río. Erosión	Verificación visual durante la inspección. Uso de imágenes satelitales.
Ambientes agresivos - marino	Referido a la distancia que se encuentra el puente del mar, ya que, si este se encuentra cerca, puede verse afectado por la presencia de cloruros en el aire traídos desde el mar.	Corrosión del acero estructural o del acero de refuerzo por la presencia de iones de cloruro.	Verificar la distancia del puente a la costa utilizando imágenes satelitales.
Ambientes agresivos - volcánico	Verificación si el puente es susceptible a tener contacto con agua acidificada por la presencia de ceniza volcánica.	Corrosión debido al ataque de ácidos	Comprobar la ubicación de volcanes en la cuenca del río y que los elementos de este estén en interacción o no con el río.
Ambientes agresivos - urbano	Afectación que sufre el puente por el proceso de carbonatación presente en zonas con alta concentración de dióxido de carbono.	Corrosión Carbonatación en el concreto reforzado	Comprobación de que el puente se encuentre en cantones de la Gran Área Metropolitana o no.
Ambientes agresivos - cultivos	Susceptibilidad que puede tener la estructura debido a su cercanía a zonas con liberación de sulfatos provenientes de fumigaciones de plantaciones agrícolas.	Corrosión del acero de refuerzo o acero estructural.	Comprobación visual de que el puente se encuentra o no cerca de una plantación agrícola.
Amenaza por flujos de lodo y lahares	Susceptibilidad que puede tener la zona a los flujos de lodo que consisten en una avalancha de lodo, agua, rocos y escombros. En caso de los lahares están compuestos también por ceniza volcánica proveniente de volcanes en erupción.	Riesgo de bloqueo Colapso de la estructura Socavación general del cauce Elevación del lecho	Comprobación de que el puente se encuentre o no en una zona con riesgo de flujo de lodo.

CUADRO 28. Características y procedimientos de factores del cauce

Factor	Descripción	Daños	Procedimiento
Estado de los márgenes	Estado de la condición de los márgenes del cauce ocasionados por la fuerza erosiva del agua, ya sea en condición natural o protecciones en caso de que existan.	Erosión Socavación Riesgo de bloqueo Asentamientos Deslizamientos	Inspección visual a lo largo del margen a una distancia D.
Tipo de cauce	Describir el tipo del cauce que se presenta, reconociendo la existencia de curvas o meandros en el río, forma de los márgenes o tamaño del cauce.	Socavación general Cambios de alineamiento del cauce Elevación del lecho Colapso del puente	Reconocer las características del cauce y describir el tipo de cauce que se presenta.
Caracterización del cauce	Descripción del lecho del río, principalmente del material que está compuesto: arcilla, grava, bolos de piedra, limos o roca	Erosión Socavación Bloqueos	Inspección visual del material que compone el lecho del río.
Ancho de cauce	Propiedad que describe el ancho disponible del cauce aguas arriba y aguas abajo, para conocer si el puente produce estrechamientos en el cauce o existen restricciones que lo limitan.	Erosión Socavación por contracción Riesgo de bloqueo Socavación local en las fundaciones de la subestructura.	Medición con cintas de medir o con medidores láser o similares.
Ángulo de ataque	Ángulo formado entre el sentido del flujo y el eje longitudinal de los bastiones, para conocer si el flujo incide sobre estos y produce socavaciones. Este ángulo se produce por el movimiento lateral en el cauce.	Disminución de la capacidad de la estructura. Socavación local	Estimar el ángulo formado entre el sentido del flujo con respecto al eje longitudinal del puente o directamente con el eje de los bastiones en caso de ser sesgado
Inundaciones	Consiste en detectar indicios de fuertes avenidas de agua en el cauce. Así como conocer si la zona en la que se encuentra el puente es susceptible a inundaciones.	Socavación local o general Cambio de alineamiento del flujo Bloqueos Daños estructurales Colapso en casos extremos Agradación	Indagar con vecinos, observar marcas evidentes como manchas, presencia de escombros u otro y medir la altura disponible entre el nivel del agua y la zona más baja de la superestructura.

CUADRO 29. Características y procedimientos de los factores químicos y contaminación

Factor	Descripción	Daños	Procedimiento
Contaminación por basura	Referido a la existencia de basura, escombros u otros residuos en el cauce del río.	Bloqueos/ acumulación dentro del cauce. Dificultades en el mantenimiento	Inspección visual, con evidencia fotográfica al respecto.
Manejo de aguas	Describe a la existencia de descargas de tuberías en las inmediaciones del puente y conocer sus vertidos	Contaminación del agua dependiendo de los desechos vertidos. Socavación local dependiendo de la altura en la que se descargue el agua y si más si no tiene protección.	Comprobación visual de la existencia de tuberías en las inmediaciones del puente y verificar la afectación de la descarga.

CUADRO 30. Características y procedimientos de los factores biológicos

Factor	Descripción	Daños	Procedimiento
Vegetación	La vegetación en el margen ayuda a proteger la erosión, sin embargo, también puede representar una restricción dependiendo de su tamaño. Por lo que se requiere conocer el tipo de vegetación existente en el cauce y la afectación que puede llegar a tener	Erosión Socavación por contracción Riesgo de bloqueo	Tipificar y evidenciar el tipo de vegetación existente en el margen.
Fauna	Trata de evidenciar la presencia de animales debajo del puente.	Corrosión debido a los excrementos de los animales. Amenaza para la seguridad para el personal de inspección	Detectar la presencia de seres vivos o indicios de su estadía en el puente como excrementos, nidos u otros.

CUADRO 31. Características y procedimientos de los factores humanos

Factor	Descripción	Daños	Procedimiento
Invasión del cauce	Referido a la presencia de estructuras en las cercanías ajenas a protecciones y parte de la estructura, que obstruyen el paso del agua o que limitan el espacio del cauce.	Socavación por contracción Riesgo de bloqueo Socavación local	Inspección visual de las estructuras aledañas y si estas interfieren en el cauce.
Intervención del cauce y contramedidas	Describe los trabajos de intervención como dragados en el cauce del río o la construcción de contramedidas para evitar socavaciones en los márgenes.	Socavación local Socavación general	Identificar visualmente la presencia de intervenciones en el cauce o la existencia de contramedidas como diques en la zona.
Tráfico	Se refiere a la descripción del tráfico que pasa sobre el puente	Sobrecargas por vehículos pesados. Fatiga Impactos sobre los elementos del puente.	Observación del tráfico que pasa por la carretera donde está situado el puente.
Estado de conservación del cauce	Trata de describir el aspecto visual del cauce y del entorno y detecta si este se mantiene en buenas condiciones y si estas se realizan de manera correcta.	Riesgo de bloqueo Dificultad para la accesibilidad a la subestructura.	Identificar el estado general el cauce y su entorno.

CUADRO 32. Escalas de valoración de factores externos

Factor externo	Autor u organización y país	Escala	Observaciones
Estado de los márgenes naturales	Ministerio de Fomento – 2012 (España)	1 Erosión severa 2 Erosión suave 3 Erosión por expansión 4 Sin erosión	Escala se puede aplicar para conocer el estado por erosión en los márgenes.
Estado de los márgenes con protecciones	Ministerio de Fomento - 2012 (España)	1 Daños graves 2 Daños medio 3 Sin daños	Escala aplicable para el estado de las protecciones en los márgenes
Actividad sísmica	Ortiz et al. – 2024 (Costa Rica)	Escala de 1 a 5, donde 1 es una amenaza baja mientras que 5 es la más alta.	Compara la longitud de asiento y la amenaza sísmica que depende de la cercanía a una falla activa, de ambas se elige la mayor.
Ambientes agresivos-marinos	MOPT – 2024 (Costa Rica)	Exposición baja: lejos de la costa Exposición media Exposición alta: cerca de la costa	Considera solo la distancia lineal de la ubicación del puente hacia la costa, mas no otros efectos como la topografía o la altitud.
Ambiente agresivo por influencia volcánica	MOPT – 2024 (Costa Rica)	Exposición baja Exposición media Exposición alta	Siendo alta cuando el puente está en un río en contacto directo con el mismo y en una cuenca con afectación, media cuando no hay interacción, pero el río está en una cuenca con volcanes y baja en ninguno de los casos.
Ambiente agresivo por zona urbana	MOPT (2024)	Exposición baja Exposición media Exposición alta	Alta para los cantones de San José, Tibás, Montes de Oca y Curridabat, media para el resto de los cantones de la GAM y baja para el resto del país
Ambiente agresivo por zona de cultivos	MOPT (2024)	Exposición baja Exposición alta	Considera solo alta si está contiguo a plantaciones agrícolas o baja si no lo está.
Ancho de cauce	Ortiz et al. (2024)	Escala de 5 a 1 donde 1 es la mejor calificación, 5 la más baja.	Más que la medición del ancho de cauce califica el estrechamiento, que corresponde a la relación entre el ancho aguas arriba y aguas abajo. Siendo 1 el menor estrechamiento
Ángulo de ataque	New York Department of Transportation	Escala de 0 a 5, siendo 0 la mejor, 5 la peor	0 correspondería a un ángulo de ataque entre 0° a 15° (perpendicular al puente) y 5 a más de 45° dirección directo hacia los bastiones
Inundaciones	Ortiz et al. (2024)	Escala de la altura libre inferior, siendo 1 lo mejor, 5 lo más bajo	Evalúa la altura libre del agua, aplicado ya sea al flujo actual o a las marcas de inundaciones, siendo 5
Presencia de tuberías (erosión por la descarga)	Ministerio de Fomento (2012)	1 Erosión severa 2 Erosión suave 3 Erosión por expansión 4 Sin erosión	Escala aplicable para conocer el grado de erosión de la zona de descarga de la alcantarilla.
Vegetación	New York Department of Transport	Escala de 1 a 3 donde 3 es la mejor calificación	Aplica principalmente para la evaluación de escombros en el cauce, siendo 1 libre de escombros o restos leñosos y 3 escombros que obstruyen el flujo de agua.

3.1.2 Guía de inspección visual en campo de los factores externos en puentes

En este objetivo, el principal producto desarrollado fue la guía de inspección, la cual puede consultarse en el Apéndice 2 y cuya portada se encuentra en la Figura 28. Este manual representa una herramienta metodológica que busca estandarizar el proceso de evaluación del entorno de las estructuras de puente, y está diseñado para ser aplicado principalmente por personal técnico en labores de inspección. El contenido de la guía se organiza en las siguientes secciones:

- **Introducción:** presenta un resumen general del propósito del manual y la importancia de considerar los factores externos en la evaluación de puentes y una breve contextualización del tema.
- **Objetivo general y específicos del manual:** se describen las metas del manual, orientadas a facilitar una inspección estandarizada y coherente de los factores externos, alineada con las necesidades actuales del país en materia de infraestructura vial.
- **Alcance del manual:** delimita el tipo de estructuras y condiciones en que se recomienda aplicar la guía, haciendo énfasis en puentes vehiculares que atraviesan cauces de ríos, debido a la alta incidencia de riesgos asociados a este tipo de entorno.
- **Recomendaciones de seguridad:** incluye sugerencias básicas para la protección del personal durante las inspecciones, con énfasis en aspectos como el trabajo en cercanía de cuerpos de agua y el uso de equipo de protección personal.
- **Equipo de seguridad y de inspección:** equipo a tomar en cuenta durante la inspección.
- **Procedimiento de inspección:** síntesis rápida de las fases de inspección y el orden de evaluación de los diferentes factores.
- **Inspección de los factores externos:** constituye el núcleo del manual. Se detallan los factores seleccionados, incluyendo su definición, los posibles daños que pueden ocasionar a la estructura, los procedimientos recomendados para su evaluación (ya sea en campo o en oficina), y las escalas de valoración utilizadas. Esta sección se acompaña de fotografías de referencia y ejemplos.
- **Esquemas y fotografías:** se enlista las fotografías que se deben realizar y los elementos que se deben colocar en los esquemas. Lo que se busca es estandarizar la documentación gráfica, facilitando la comparación de inspecciones futuras.

Figura 28. Portada de la Guía de inspección



Así mismo, los formularios y listas de verificación de las inspecciones se pueden observar en el Apéndice 3.

3.1.3 Prueba de la guía de inspección propuesta en un puente piloto

Una vez que se realizó la propuesta de la guía, se realizó unas pruebas piloto para observar la funcionalidad de la guía en campo, mientras se realizó la guía, se observaron algunos puntos por mejorar, estos aspectos se pueden visualizar en el Cuadro 33.

CUADRO 33. Revisión de la guía y formularios		
Factor Externo	Deficiencias observadas de la guía	Observaciones
Ambiente agresivo (Volcánico)	En la escala se menciona que el nivel alto y medio el río debe estar en una cuenca con posibilidad de afectación por actividad volcánica.	Término ambiguo, hay que especificar que el cauce del río aparte de la afectación volcánica se encuentre dentro de una zona susceptible a la caída de ceniza volcánica.
Actividad sísmica	Detectar fallas activas, el mapa de amenazas no menciona si es activa solo su ubicación.	Utilizar la lista de fallas activas que brinda los Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013)
Uso de suelo	El orden en que se dieron nombre a las áreas de los márgenes es incómodo de evaluar ya que se encontraba aguas arriba A1 y A3 y aguas abajo A2 y A4, además de que en el formulario es enredoso de marcar el tipo de zona.	Colocar el área A1 y A2 aguas arriba y A3 y A4 aguas abajo, siendo este un orden lógico y fácil de evaluar. El formulario se puede simplificar.
Ángulo de ataque	Se menciona que se evalúe desde el centro del cauce, durante las pruebas se ha comprobado que es difícil determinar el centro del flujo para realizar la valoración del ángulo de ataque.	Utilizar una orilla como referencia para determinar ángulo de ataque.
Tráfico	Falta en el formulario el paso de bicicletas	Agregar las bicicletas y sección de otros si es necesario otro tipo de vehículos.
Ancho del cauce	No se define una distancia desde dónde se debe medir el cauce.	Proponer una distancia para la medición.

3.1.4 Resultados de las pruebas piloto

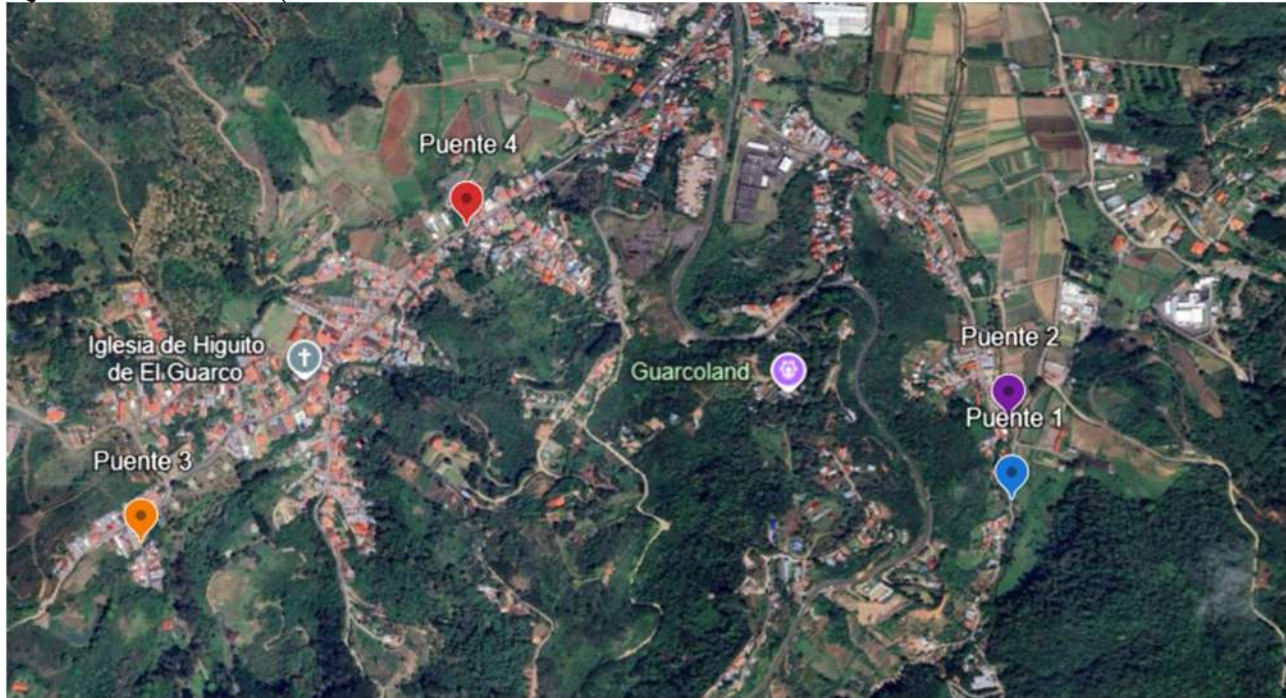
En esta sección se recopiló la información obtenida de las inspecciones realizada a los puentes piloto.

La inspección se realizó en cuatro puentes de la región de El Guarco en la provincia de Cartago, estos corresponden a los siguientes:

- **Puente 1:** sobre la quebrada Guatuso (Código: MGU 024) sobre ruta cantonal 3-08-153 en la localidad de Guatuso de El Guarco, Cartago.
- **Puente 2:** sobre la quebrada Guatuso (Código: MGU 025) sobre ruta cantonal 3-08-070 en la localidad de Guatuso de El Guarco, Cartago.
- **Puente 3:** sobre la quebrada El Pedregal (Sin código) sobre una ruta cantonal en la localidad de Higuito de El Guarco, Cartago.
- **Puente 4:** sobre la quebrada El Pedregal (Código: MGU 021) sobre una ruta cantonal 3-08-040 en la localidad de Higuito de El Guarco, Cartago.

La ubicación de estos puentes se puede mostrar en la Figura 29.

Figura 29. Ubicación de los puentes



Fuente: Tomada de Google Earth

3.1.4.1 Resultados de las pruebas piloto

A continuación, se presenta un resumen de los datos obtenidos en la inspección de los cuatro puentes evaluados, con el fin de brindar una visión general del estado de sus factores externos. En el caso del Cuadro 34, se presenta los resultados correspondientes a los factores del estado del entorno, en el Cuadro 35 los relacionados con los factores del cauce, en el Cuadro 36 la evaluación de los factores biológicos, en el Cuadro 37 los correspondientes a los químicos y contaminación y por último en el Cuadro 38 los relacionados con los factores humanos

CUADRO 34. Resumen de los resultados obtenidos de los factores del estado del entorno				
Factores	Puente 1	Puente 2	Puente 3	Puente 4
Ambiente marino (Ambiente agresivo)	Exposición Baja	Exposición Baja	Exposición Baja	Exposición Baja
Ambiente expuesto a influencia volcánica (Ambiente agresivo)	Exposición alta	Exposición alta	Exposición alta	Exposición alta
Ambiente expuesto a zonas urbanas (Ambiente agresivo)	Exposición Media	Exposición Media	Exposición Media	Exposición Media
Ambiente expuesto a zonas con plantaciones (Ambiente agresivo)	Exposición Baja	Exposición Baja	Exposición Baja	Exposición Baja
Amenaza por flujos de lodo o lahares	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo
Vulnerabilidad a amenaza sísmica (Actividad sísmica)	4,35 - riesgo alto	4,35 - riesgo alto	4,35 - riesgo alto	4,35 - riesgo alto
Longitud de asiento (Actividad sísmica)	0,50 m Cumple	0,90 m Cumple	0,50 m Cumple	0,43 m Cumple
Uso de suelo en zonas aledañas (Área 1)	Agrícola / ganadera	Urbano / residencial	Urbano / residencial	Urbano / residencial
Uso de suelo en zonas aledañas (Área 2)	Zona verde-forestal	Urbano / residencial	Urbano / residencial	Urbano / residencial
Uso de suelo en zonas aledañas (Área 3)	Zona verde-forestal	Zona verde-forestal	Urbano / residencial	Urbano / residencial
Uso de suelo en zonas aledañas (Área 4)	Agrícola / ganadera	Zona verde-forestal	Urbano / residencial	Zona verde-forestal

CUADRO 35. Resumen de los resultados obtenidos de los factores del cauce				
Factores	Puente 1	Puente 2	Puente 3	Puente 4
Estado de los márgenes (A1)	Aceptable	Satisfactorio	Satisfactorio	Deficiente
Estado de los márgenes (A2)	Satisfactorio	Satisfactorio	Aceptable	Aceptable
Estado de los márgenes (A3)	Aceptable	Satisfactorio	Satisfactorio	Aceptable
Estado de los márgenes (A4)	Satisfactorio	Aceptable	Satisfactorio	Aceptable
Tipo de cauce	Sinuoso	Recto	Recto	Sinuoso
Ángulo de ataque	+ 60° a 75°	- 60° a 75°	90°	90°
Material del lecho del cauce	Bloques de piedras	Bloques de piedra	Bloques de piedra	Bloques de piedra
Socavación del lecho del cauce	Leve alteración	Estable	Alteración severa	Leve alteración
Elevación del lecho del cauce	Estable	Estable	Estable	Alteración moderada
Ancho de cauce aguas arriba	2,95 m	2,0 m	1,40 m	1,10 m
Ancho de cauce aguas abajo	3,40 m	3,50 m	2,30 m	2,30 m
Estrechamiento	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio	Satisfactorio
Altura libre inferior (indicios de inundaciones)	1,85 m	2,36 m	1,74 m	3,00 m
Vulnerabilidad a inundaciones (Indicios de inundaciones)	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo bajo	Riesgo bajo

CUADRO 36. Resumen de los resultados obtenidos de los factores biológicos				
Factores	Puente 1	Puente 2	Puente 3	Puente 4
Vegetación	Regular	Regular	Crítica	Regular
Presencia de fauna	No se encontró	No se encontró	No se encontró	No se encontró

CUADRO 37. Resumen de los resultados obtenidos de los factores químicos y contaminación				
Factores	Puente 1	Puente 2	Puente 3	Puente 4
Contaminación por basura	Adecuada	Adecuada	Adecuada	Inadecuada
Manejo de aguas	Inadecuada	Adecuada	Inadecuada	Inadecuada

CUADRO 38. Resumen de los resultados obtenidos de los factores humanos				
Factores	Puente 1	Puente 2	Puente 3	Puente 4
Invasión del cauce	Adecuada	Regular	Regular	Adecuada
Intervención del cauce y contramedidas	Regular	Adecuada	Adecuada	Inadecuada
Estado de conservación del cauce	Regular	Inadecuada	Regular	Regular
Tráfico	Bicicletas Camiones de dos ejes Automóvil Motocicletas	Motocicletas Automóvil Autobuses Camiones de dos ejes Camiones no articulados Bicicletas	Motocicletas Automóvil	Motocicletas Automóvil Microbuses Autobuses Camiones de 2 ejes Camiones no articulados Bicicletas

A continuación, en la Sección 3.1.4.1, se presenta en detalle los resultados obtenidos en la inspección del Puente #4, correspondiente al puente sobre la quebrada El Pedregal, en la ruta cantonal 3-08-040. Los resultados correspondientes al resto de puentes inspeccionados con sus evidencias fotográficas se pueden visualizar en el Apéndice 4. En el caso de Apéndice 5, se presentan como evidencia, los formularios que se aplicaron en campo durante la inspección de los puentes.

3.1.4.1 Resultados de la prueba piloto en el Puente # 4

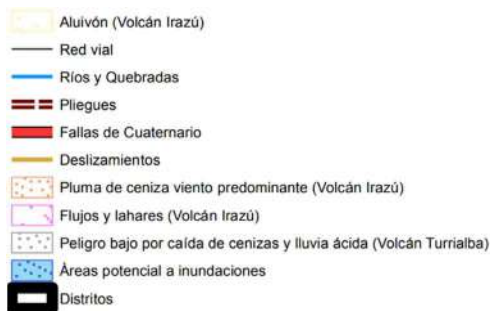
En la siguiente sección, se muestran los resultados obtenidos en la inspección de los factores externos, en el siguiente Cuadro 39, se muestran los datos básicos del puente evaluado #4.

CUADRO 39. Información básica del puente.				
Nombre del puente	Código	Ruta	Kilómetro	Encargado
Quebrada El Pedregal	MGU021	Cantonal 3-08-040	No brindado	Municipalidad de El Guarco
Localización				
Provincia	Cantón	Distrito	Latitud Norte	Longitud Oeste
Cartago	El Guarco	San Isidro	9° 49' 22.9"	83° 57' 25.8"
Ubicación:				
<i>Fuente: Fotografía satelital tomada de Google Earth</i>				
Longitud total	Ancho total	Ancho de acceso	Sesgo	Ancho de calzada
13,5 m	5,66 m	4,9 m	No	4,5 m

En el Cuadro 40, se presenta resultados obtenidos en la sección de los factores externos evaluados mediante mapas de amenazas y mapas satelitales.

CUADRO 40. Evaluación de factores externos valorados en oficina		
Factor (tipo)	Evaluación	Justificación
Ambiente marino - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: el puente situado en la provincia de Cartago, a una distancia mayor a 3 km de la costa pacífica o atlántica.
Ambiente expuesto a influencia volcánica - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(3) Alta	Exposición alta: puente situado en un río, perteneciente a una cuenca con influencia volcánica por la caída de ceniza del Volcán Turrialba y la estructura se encuentra en interacción con el agua del río.
Ambiente expuesto a zonas urbanas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(2) Media	Exposición media: Puente ubicado en el cantón de El Guarco, perteneciente a la Gran Área Metropolitana.
Ambiente expuesto a plantaciones agrícolas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: El puente NO está contiguo a grandes plantaciones agrícolas o fábricas de agroquímicos.
Susceptibilidad a flujos de lodo y/o lahares (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Amenaza baja: El río NO posee amenazas de flujo de lodo
Susceptibilidad a inundaciones - Indicios de inundaciones (Factor del cauce)	(1) Baja	Amenaza baja: El puente NO se ubica en una zona susceptible a inundaciones

Mapa de riesgos



Fuente: Extracto tomado del mapa de amenazas de El Cantón de El Guarco (CNE, s.f.)

De los factores analizados, el ambiente asociado a zonas volcánicas representa una amenaza importante para la estructura, dado que el puente se ubica en la cuenca del río Reventazón. Aunque este río no nace directamente en una zona volcánica activa, los mapas de riesgo indican que el área es susceptible a la caída de ceniza volcánica o a la presencia de lluvia ácida, principalmente por influencia del volcán Turrialba. Estas condiciones podrían generar un ataque de sulfatos, especialmente considerando que el puente se encuentra en contacto con el agua. No obstante, no existe riesgo identificado de flujos de lodo o

lahares, por lo que la afectación por actividad volcánica se considera mínima, a menos que ocurra una fuerte caída de ceniza o lluvia ácida en la zona.

En el Cuadro 41, se muestran los datos obtenidos en la evaluación de la actividad sísmica.

Cuadro 41. Evaluación de la actividad sísmica (factor del estado del entorno)		
Aspecto evaluado	Valor	Justificación
Zonificación sísmica	III	Puente perteneciente al cantón de El Guarco, por lo que su zonificación es III (CFIA,2013)
Tipo de suelo	S3	Se desconoce el tipo de suelo de cimentación, se eligió el más crítico.
Cercanía a una falla activa	Sí	Puente ubicado a menos de 5 km de la falla de Aguacaliente-Orosi
Amenaza sísmica	4,35	Amenaza sísmica calculada con el tipo de suelo, zonificación sísmica y la cercanía a una falla activa.
Importancia del puente	1,00	Puente convencional, al ser un puente en vía cantonal (CFIA, 2013)
Longitud de asiento teórica	0,33 m	Valor calculado con la importancia del puente, longitud de este y con un sesgo de 0.
Longitud de asiento medida en campo	0,43 m	Valor medido en campo únicamente en el bastión 2 que cuenta con fácil acceso.
Cumplimiento longitud de asiento	1 satisfactorio	Comparación entre la medición en campo y la teórica

Cercanía a fallas activas


Fuente: Extracto tomado del mapa de amenazas de El Cantón de El Guarco (CNE, s.f.)

En lo que respecta a la evaluación de la longitud de asiento, se valoró la longitud de asiento presente en el puente, se inspeccionó únicamente la longitud en el bastión 2 debido a las dificultades en el acceso en el bastión 1, esta longitud es mayor a la longitud teórica requerida por lo que cumple satisfactoriamente y

representa riesgo bajo. En el caso de la amenaza sísmica, realizando la suposición del suelo de cimentación como S3, y considerando su cercanía con la falla Aguacaliente-Orosi según lo visualizado en el mapa de riesgos, se obtuvo un valor de 4,35, lo que de acuerdo con las escalas de la guía lo cataloga como una amenaza sísmica alta.

En el Cuadro 42 se muestra la valoración del uso de suelo de las zonas aledañas a la estructura de puente correspondiente a un factor del estado del entorno, y en el Cuadro 43, se muestra la valoración del tipo de cauce presente y el ángulo de ataque pertenecientes a los factores del cauce.

CUADRO 42. Uso de suelo zonas aledañas (factor del estado del entorno)			
Margen A1	Urbano / residencial	Margen A2	Urbano / residencial
Observaciones		Observaciones	
Presencia de 2 viviendas con zonas libres.		Presencia de viviendas unifamiliares.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Margen A3	Urbano / residencial	Margen A4	Zona verde / forestal
Observaciones		Observaciones	
Presencia de viviendas.		Se visualizó la presencia de árboles de bambú y otros en este margen.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			





CUADRO 43. Evaluación tipo de cauce y ángulo de ataque (factor del cauce)		
Tipo de cauce	Ángulo de ataque	Valoración ángulo de ataque
Sinuoso	90°	Satisfactorio
Observaciones	Observaciones	
Se visualizó curvas muy cercanas en el puente, además el río cuenta con tendencia a dirigirse hacia el margen A1.	Flujo de agua dirigido a 90° actualmente, se detectó un cambio en el cauce que redirige el flujo en esta dirección.	
Evidencia fotográfica	Evidencia fotográfica	
		


El puente en estudio se observó que se encuentra rodeado de viviendas unifamiliares en los márgenes A1, A2 y A3, mientras que en el caso de la A4 se encuentra una zona boscosa donde se encuentran algunos árboles de bambú y otras especies de árboles, por lo que, de acuerdo con la guía, el A1, A2 y A3, se consideran como zonas residenciales y para el caso de A4, correspondería a una zona forestal.

El tipo del cauce corresponde a uno sinuoso ya que se evidenció la presencia de curvas tanto aguas arriba como aguas abajo del cauce, a pesar de encontrarse en una zona de montaña. El ángulo de ataque aguas arriba medido con ayuda de la ruleta de medición corresponde a 90° siendo paralelo al eje longitudinal de los bastiones del puente encontrándose en una condición satisfactoria.

En el Cuadro 44 se presenta el estado de los márgenes y en el Cuadro 45 se muestran los datos obtenidos en la medición del ancho del cauce y de las marcas de inundaciones.

CUADRO 44. Estado de los márgenes (factor del cauce)




Tipo de margen A1		Tipo de margen A2	
Natural		Natural	
Condición	Deficiente	Condición	Aceptable
Observaciones		Observaciones	
Talud pronunciado con evidencia de inestabilidad.		Margen con vegetación, pero muy descuidado, además cuenta con inicio de erosión en la orilla del flujo.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Tipo de margen A3		Tipo de margen A4	
Natural		Natural	
Condición	Aceptable	Condición	Aceptable
Observaciones		Observaciones	
Zona no cubierta con vegetación e indicios de desprendimientos.		Zona no cubierta en su totalidad de vegetación, con inicios de erosión y zonas con desprendimientos.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

CUADRO 45. Ancho de cauce e indicios de inundaciones (factor del cauce)			
Ancho aguas arriba	1,10 m	Estrechamiento	0,47
Ancho aguas abajo	2,30 m	Valoración estrechamiento	(1)
Altura inferior desde el máximo nivel	3,0 m	Valoración de la altura libre inferior del máximo nivel	(4)
Evidencia fotográfica			
			

En el caso del estado de los márgenes se evaluó a una distancia de 10 m aproximadamente que fue la distancia que se pudo tener acceso, el margen A1 se observó un talud con pendiente abrupta, que, aunque presenta vegetación, muestra indicios de desprendimientos lo que se le otorga una condición deficiente, el resto de los márgenes poseen una valoración aceptable, presentando pequeños indicios de erosión y zonas con pérdida de vegetación.

Para el caso del estrechamiento, este fue medido a una distancia aproximada de un ancho del puente, según las recomendaciones realizadas durante las inspecciones. El estrechamiento correspondiente a los anchos medidos posee una calificación de 1 siendo la mejor calificación, por lo que el estrechamiento es mínimo en el cauce. La altura libre inferior medida, según la guía, desde el punto inferior de la viga de la superestructura hasta las marcas de agua encontradas, esta altura fue de 3,0 m representando una calificación de 4 siendo una condición inaceptable, presentando una altura libre inferior insuficiente en caso de se produzcan fuertes avenidas de agua.

En el Cuadro 46 se muestra el tipo de material y la presencia de socavación o elevación del lecho del cauce, y en el Cuadro 47 la evaluación de los factores biológicos.

CUADRO 46. Caracterización del cauce (factor del cauce)			
Tipo de material	Bloques de roca		
Observaciones	Ninguna		
Evidencia fotográfica			
			
Socavación del lecho		Elevación del lecho	
Condición	Leve alteración	Condición	Alteración moderada
Observaciones		Observaciones	
Indicios de socavación en algunas zonas del puente en los bastiones, por donde pasa el flujo del agua.		Presencia de grandes barras de cauce, que han cambiado el flujo de agua.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

CUADRO 47. Evaluación factores biológicos	
Presencia de vegetación	
Condición	Regular
Observaciones	
Indicios de presencia de maleza importante dentro del cauce y en los márgenes, el acceso por el margen A4 totalmente bloqueado por maleza.	
Presencia de fauna	
Fauna encontrada	
No se encontró fauna ni evidencias de su existencia	
Evidencia fotográfica - vegetación	
	

Para el caso del cauce, el material mayoritario observado en el lecho del cauce corresponde a un lecho compuesto principalmente por bloques de piedra, y que las condiciones de socavación o degradación del lecho del cauce del río se presenta una leve alteración debido a que el río se encuentra ligeramente erosionado y de una alteración moderada en el caso de la agradación del cauce (depósito de sedimentos) debido a la presencia de una barra de sedimentos de importante tamaño en el centro del cauce, que disminuye el tamaño del cauce y lo dirige levemente hacia el bastión 2.




Para el caso de la vegetación, se observó presencia maleza en varias zonas del cauce, en el caso del margen A1, se notó la presencia de maleza recién cortada, por lo que la presencia de maleza era aún más abundante a la encontrada en el momento de inspección, exceptuando en el margen A3 se encontró un área árida, sin vegetación. Según las escalas mencionadas en la guía la presente en el sitio presenta una condición regular, debido tanto a la presencia abundante de vegetación, como la ausencia de esta en el margen A3.

En el Cuadro 48 se presenta los factores químicos y de contaminación.

CUADRO 48. Evaluación factores químicos y contaminación			
Contaminación por basura		Manejo de aguas	
Condición	Inadecuada	Condición	Inadecuada
Observaciones		Observaciones	
Presencia de basura en el cauce como en algunas zonas de los márgenes, margen A2 es utilizado como botadero recurrente debido a la gran cantidad de basura. Presencia un sillón viejo y otros objetos por lo que se interpreta que el sitio es utilizado como refugio para personas indigentes.		Presencia de descargas de tuberías en el margen A2 y A4. El del margen A4 no cuenta con protección y discurre por varios metros en el margen, pero no afecta la subestructura. Se catalogan como residuos domésticos por el color grisáceo del agua.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

En el cauce se halló una gran cantidad de residuos tanto en el cauce como en los márgenes, entre los elementos encontrados están: escombros tanto de materiales como de material orgánico como un árbol de ciprés seco, residuos dentro del cauce, presencia de un sillón viejo junto con los bastiones, lo que se deduce que hay personas indigentes que habitan en el sitio. En el caso del manejo de aguas, existen dos salidas de agua en el margen A4 y A2, estos producen erosión significativa en la zona de descarga ya que no cuentan con protección en la salida, pero sin llegar a tocar la estructura del puente.

En el siguiente Cuadro 49, se muestran los resultados obtenidos para los factores humanos.

CUADRO 49. Evaluación invasión e intervención del cauce (factores humanos)			
Invasión del cauce		Intervención del cauce y contramedidas	
Condición	Adecuada	Condición	Inadecuada
Observaciones		Observaciones	
No existen estructuras o troncos que invadan el cauce, exceptuando una estructura de acero antigua que se encuentra entre A1 y A2 que no invade el cauce.		Se encontró una acumulación de material en el cauce que trata de impedir que el cauce fluya por esa zona. Funcional para caudales menores, pero no para fuertes avenidas y puede representar una acumulación.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Estado de conservación del cauce		Tipo de tráfico	
Condición	Regular	Tráfico	Motocicletas Automóvil Microbuses Autobuses Camiones de dos ejes Camiones no articulados Bicicletas
Observaciones			
Evidencia de que el cauce fue limpiado en su vegetación, debido a que se encontró maleza recién cortada, pero existe evidencia de basura, escombros, troncos y maleza en otras zonas del cauce, lo que le otorga un entorno ligeramente descuidado.			
Fotografía			
			

En el caso de los factores humanos, no hay presencia de estructuras que interfieran en el cauce, sin embargo, entre el margen A1 y A2 hay una estructura metálica antigua y en malas condiciones, que puede llegar a caer en algún momento si esta no se remueve o se reemplaza. En el caso de intervenciones en el cauce, se ha colocado un montículo de tierra en el cauce en el margen A1, con el fin de impedir de que el cauce siga fluyendo por esa zona, esta intervención, si bien es cierto ha evitado que el flujo siga por ese margen, es probable que durante una fuerte avenida sea arrastrado u ocasione problemas de bloqueo. El

mantenimiento del cauce se encuentra en estado regular, ya que si bien es cierto hubo evidencia de limpieza de la maleza en los márgenes, el cauce se mantiene con muchos escombros y basura.

Seguidamente, en el Cuadro 50, 51 y 52 se muestra las fotografías que menciona la guía como las requeridas para la corroboración de los factores evaluados y en el Cuadro 53, el esquema del cauce, solicitado en la guía.

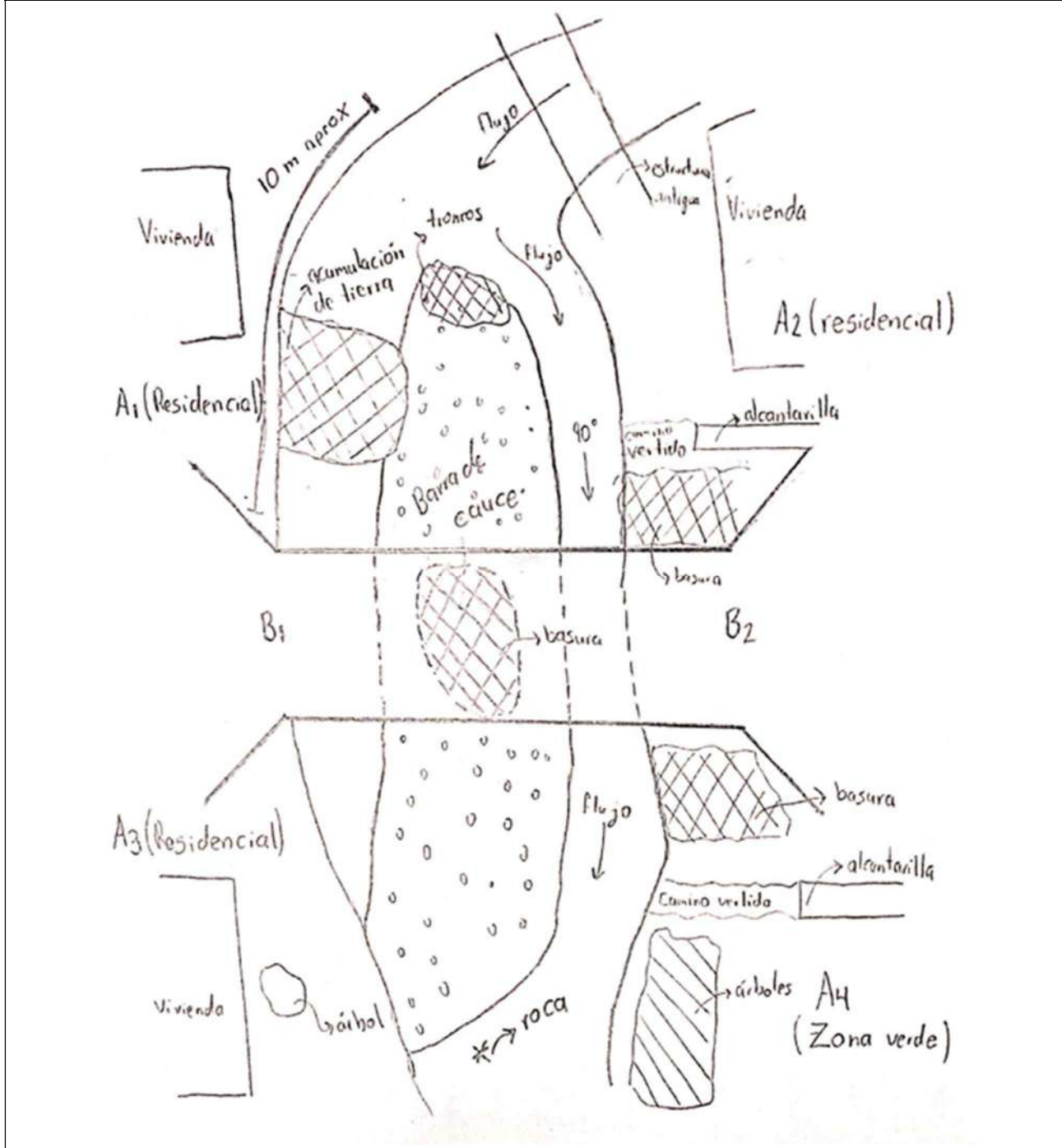
CUADRO 50. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puente # 4	
Uso de suelo de las zonas aledañas	
Área 1	Área 2
	
Área 3	Área 4
	
Vista del cauce	
Aguas arriba	Aguas abajo
	

CUADRO 51. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puente #4	
Estado de los márgenes	
Margen A1	Margen A2
	
Margen A3	Margen A4
	
Vista perpendicular (ángulo de ataque)	Vista material del lecho
	
Marcas de inundaciones	
	

CUADRO 52. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puente #4	
Presencia de vegetación	
Vegetación aguas arriba	Vegetación aguas abajo
	
Manejo de tuberías	
Descarga de alcantarilla A2	Descarga de alcantarilla en A4
	
Presencia de basura	
	
Intervenciones en el cauce	
	

CUADRO 53. Esquema del cauce Puente #4

Esquema



Observaciones

Esquema del cauce, se indica la ubicación de la vegetación existente, uso de suelo en los alrededores, manejo de agua, presencia de basura y barras de cauce y la ubicación de estructuras aledañas.

Conclusiones y recomendaciones

En el siguiente capítulo, se muestran las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el proyecto.

Conclusiones

- A partir de la información recopilada durante la investigación bibliográfica se logró diseñar una guía de inspección visual en campo para la evaluación de los factores externos que conforman el entorno de las estructuras de puentes. Esta guía define cada factor, los posibles daños que pueden ocasionar en la estructura debido a un deficiente estado, así como los procedimientos de inspección, tanto en campo para aquellos que son visibles (siendo estos los relacionados principalmente como las características del cauce, su mantenimiento, invasión o intervención, así como aquellos elementos como la presencia de vegetación, fauna, de residuos sólidos, el manejo de aguas o el tipo de tránsito que circula) como en oficina para aquellos en donde se analiza la exposición o la amenaza que representan para el puente.
- Aunque la participación en los cuestionarios dirigidos a especialistas fue limitada, los aportes recibidos fueron sumamente importantes para la identificación de aquellos factores que requerían un mayor énfasis y claridad en su descripción, como lo eran los factores del cauce, como los indicios de inundaciones o las mediciones del ancho del cauce, por ejemplo. Además, los comentarios y observaciones brindadas por los profesionales fueron tomadas en cuenta al diseño final de la guía, con el fin de generar un producto que sea aplicable y de fácil comprensión.
- Como resultado del presente trabajo, se elaboró una guía aplicable para la inspección de factores externos en puentes, la cual proporciona una base metodológica clara y estructurada para identificar condiciones del entorno que puedan afectar la estructura. Además, esta guía puede adaptarse y servir como punto de partida para el análisis de estos mismos factores en otros tipos de infraestructuras, como las alcantarillas, pasos a desnivel u otras estructuras de la red vial, contribuyendo así a una evaluación más integral de los elementos expuestos al entorno.
- El contenido de la guía ofrece de una manera detallada toda la información básica para la correcta inspección de los factores, también incluye recomendaciones de seguridad y una descripción de aquellos elementos como las fotografías o características que deben poseer los esquemas del cauce, además de los formularios y listas de verificación necesarias para recabar la información, esto con el fin de que toda la información recabada sea estandarizada y útil para la toma de decisiones, además considerando que todo el flujo del procedimiento de inspector, se adapte a otros tipos de inspección ya realizados a la estructura.
- Las pruebas piloto realizadas en los cuatro puentes permitieron verificar en campo la utilidad de la guía y del formulario propuesto. Durante su aplicación se identificaron aspectos importantes por

mejorar, como la redacción de los procedimientos, el orden lógico de evaluación, la necesidad de mejorar las referencias visuales y el orden de los formularios, pues este determinaba de gran manera la facilidad en su llenado y la mitigación de errores en la recopilación de la información, esto con el fin de facilitar su uso por parte de los inspectores.

- Los resultados de las pruebas piloto evidencian que los cuatro puentes evaluados presentan una amenaza alta debido a su proximidad con la falla Aguacaliente-Orosi. En el caso específico de los puentes 1 y 2, se recomienda especial atención durante la época lluviosa, ya que se ubican en zonas susceptibles a inundaciones. Asimismo, se identificó la necesidad de un mantenimiento constante en las cuatro estructuras, principalmente por el crecimiento de maleza en sus márgenes, así como la ejecución de obras de mejoramiento en el manejo de aguas en los puentes 1, 3 y 4, los cuales carecen de un sistema adecuado de descarga hacia el cauce. Estos hallazgos resaltan la importancia de mantener un monitoreo continuo de los factores externos, complementado con evaluaciones periódicas de la condición estructural, a fin de garantizar la funcionalidad y seguridad de los puentes en el mediano y largo plazo.

Recomendaciones

- Se recomienda incentivar la realización de futuras investigaciones dentro del Programa, orientadas a estudiar y calibrar de forma continua las escalas utilizadas para evaluar la exposición a ambientes. Esto permitirá ajustarlas en función de posibles variaciones en las condiciones ambientales del entorno nacional. De esta forma, se garantizará que la guía se mantenga actualizada, precisa y útil como herramienta técnica a largo plazo.
- La valoración de los factores se han realizado de manera individual, ya que el principal objetivo del proyecto es crear una guía de inspección con el fin de comenzar una recolección estandarizada de datos, sin embargo, se genera la oportunidad para futuros trabajos finales o estudios académicos dentro del seno de la Escuela de Ingeniería en Construcción utilicen todas las escalas propuestas y con ellas construir una matriz de riesgo, que permita valorar de manera integral a toda la estructura del puente con el fin de generar más índices o calificaciones para complementar el trabajo que el PEEP ha venido realizando.
- Debido a las limitaciones de tiempo y recursos, se realizaron únicamente cuatro inspecciones dentro de una misma región geográfica, por ello se incentiva a realizar más pruebas piloto en otras zonas y cuencas del país por parte del PEEP. Además, se sugiere que estas inspecciones sean ejecutadas por el personal especializado en evaluación de puentes, para generar observaciones más técnicas y valiosas que fortalezcan y validen la guía propuesta.
- Se recomienda desarrollar capacitaciones técnicas dirigidas al personal encargado de la inspección de estructuras del PEEP, con el fin de garantizar una correcta interpretación y aplicación de los criterios

propuestos en la guía. Esto ayudaría a generar una estandarización de los criterios de los profesionales y con ello genera uniformidad en la recolección de datos y a una mejor toma de decisiones en el mantenimiento y gestión de los puentes.

- Dado que los factores del entorno pueden variar con el tiempo y las condiciones geográficas del país, se sugiere que la guía sea revisada y actualizada periódicamente por parte de los especialistas del PEEP, incorporando nuevas observaciones, estudios técnicos o cambios en las condiciones climáticas, urbanas o ambientales, así como otros tipos de factores o agregarlos en las categorías ya existentes, con el fin de detectar a tiempo problemas que puedan influir en la seguridad estructural de los puentes y con ello darles solución y alargar la vida útil de la estructura.
- Como parte de futuras mejoras, se sugiere que se incorporen el uso herramientas tecnológicas que permitan optimizar las inspecciones y el monitoreo de los factores externos que afectan a los puentes. En particular, se podría hacer el uso de drones en estructuras de gran envergadura o de difícil acceso, lo cual facilitaría la obtención de información detallada en menor tiempo y con mayor seguridad. Asimismo, el empleo de imágenes satelitales y de fotogrametría con drones podría fortalecer el seguimiento de los cambios en el entorno de los puentes, como variaciones en el cauce, procesos de erosión o alteraciones en la cobertura vegetal, aportando así una base de datos más precisa y actualizada para la gestión de riesgos y la toma de decisiones.
- Se sugiere que los factores externos analizados en esta investigación sean incorporados en las etapas iniciales de diseño de nuevas estructuras de puentes. Considerar estos elementos desde la planificación y concepción del proyecto permitirá anticipar riesgos asociados al entorno, implementar medidas de mitigación oportunas y, en consecuencia, garantizar una mayor durabilidad, seguridad y funcionalidad de la infraestructura a lo largo de su vida útil.

Referencias

- Alogdianakis F., Charmpis D. y Balafas I. (2020). *Macroscopic effect of distance from seacoast on bridge deterioration- Statistical data assessment of structural condition recordings*.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.052>
- Álvarez-González, S. G., y Villalobos-Vega, E. (2018). *Inspección especial del puente sobre el río Toro Amarillo Ruta Nacional n.º 32: Evaluación de la condición de las pilas* (Proyecto n.º LM-PIE-UP-P04-2018). San José: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1429>
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2013). *Lineamientos de Diseño sismorresistente de Puentes*. <https://www.codigosismico.or.cr/images/lineamientos.pdf>
- Department of Transportation Wisconsin (2017). *Structure Inspection Chapter 8- Waterways*.
<https://wisconsindot.gov/dtsdManuals/strct/inspection/insp-fm-pt2ch8.pdf>
- Departamento Nacional de Infra-Estructura de Transportes.(2004). *Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias*. https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/709_manual_de_inspecao_de_pontes_rodoviaras.pdf
- Dhakal S. y Muhaimin A. (2020). *Understanding critical impacting factors and trends on bridge design, construction and maintenance for future planning*. <https://abc-utc.fiu.edu/research-projects/fiu-research-projects/understanding-critical-impacting-factors-and-trends-on-bridge-design-construction-and-maintenance-for-future-planning/>
- Johanning D. (2021). *Revisión de la longitud de asiento de las vigas principales del viaducto de Circunvalación Norte, Ruta Nacional n.º 39*. DOI:
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2301>
- Joshi S., Thorat A., Dehadray H. y Tundalwar M. (2023). *Sustainability of Bridges: Risk mitigation for natural hazards*. *Journal of Architectural Environment & Structural Engineering Research*. 6(3): 4-16. DOI:
<https://doi.org/10.30564/jaeser.v6i3.5807>
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Lanamme.(2016). *Información de Inventario para Puentes en la Red Vial Nacional de Costa Rica*.
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1035/LM-PI-UP-02-2016%20Informaci%C3%B3n%20de%20inventario%20para%20puentes%20de%20la%20Red%20Vial%20Nacional%20de%20CR.pdf?sequence=1>

- Ministerio de Fomento-Gobierno de España. (2012). *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado*. Editorial de Publicaciones- Secretaría General Técnica. https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/0870250.pdf
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2007). *Manual de Inspección de Puentes*. <https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/infraestructura/obraspublicas/puentes/manuales/inspeccion/manual-de-inspeccion-de-puentes-2007.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2024). *Manual de Puentes de Costa Rica Tomo I: Gestión, inspección y bobservación de puentes*. <https://www.mopt.go.cr/destacados/planificacion-sectorial/normativa>
- Ministerio de Obras Públicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano de El Salvador (2013). *Manual de Uso de Ficha De Evaluación de la Vulnerabilidad en Puentes Ante Fenómenos Hidrometeorológicos* https://dacger.mop.gov.sv/wp-content/uploads/download-manager-files/manual%20ficha%20hidrometeorologica%20puentes.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Muñoz, J., Agüero P., Vargas S., Villalobos E., Vargas L., Barrantes R. y Loría G. (2015). *Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/626/Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20condici%C3%B3n%20en%20puentes%20mediante%20inspecci%C3%B3n%20visual.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- New York Department of Transportation (2022). *Hydraulic Vulnerability Manual*. https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/structures/repository/manuals/bridge_safety/NYS DOT_Hydraulic%20Vulnerability%20Manual_2022.pdf
- New Zealand Transit Agency (2001). *Bridge Inspection and Maintenance Manual*. <https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/bridge-inspection-maintenance-manual/docs/10-waterway.pdf>
- Organismo de las Naciones Unidas (2022). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ortiz-Quesada, G. (2012) *e-Bridge: Predicción remota de fallas en puentes*. InvestigaTEC. Pág 10-11. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/download/695/616
- Ortiz, G., Garita C., Navarro A. y Páez G. (2021). Priorización de intervenciones en puentes utilizando indicadores. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-3 Julio-Setiembre 2021. Pág 134-142 <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5120>
- Ortiz, G., Páez G., Navarro A., Alfaro A. y Garita C. (2024). *Guía para la evaluación de puentes*. <http://tec.ac.cr/guia-evaluacion-puentes>

- Pavic M., Jokanovic I. y Glavic D. (2023). *Research on the vulnerability and resilience of bridges to climate change and disasters: the current practice in Serbia*. Journal of Road and Traffic Engineering. DOI: 10.31075/PIS.69.03.01
- Office of Bridges and Structures- Iowa (2014). *Bridge Inspection Manual*. https://publications.iowa.gov/16343/1/iowa_DOT_TR-646_Bridge_Inspection_Manual_2014.pdf
- Ortiz-Quesada, G; Garita-Rodríguez, C; Navarro-Mora, A; Paez, G. Priorización de intervenciones en puentes utilizando indicadores. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-3 Julio-Setiembre 2021. Pág 134-142. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5120>
- Ortiz-Quesada, G; e-Bridge: Predicción remota de fallas en puentes. *InvestigaTEC*. Setiembre 2012. Pág 10-11. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/download/695/616
- Programa de Evaluación de Puentes (2019). *Inventario de puentes en rutas nacionales de Costa Rica 2014-2018*. https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/informe_final_inventario_y_evaluacion_puentes-2014-2018.pdf
- Public Works and Government Services-Canadá. (2010). *Bridge Inspection Manual*. https://buyandsell.gc.ca/cds/public/2021/05/28/1afa8d386ff1a2224333e8f59ea33331/appendix_h_-_pwgsc_-_bridge_inspection_manual_2010.pdf
- Rivas L. (2015). *Definición de variables o categorías de análisis*. https://www.edumargen.org/docs/curso43-11/unid02/complem05_02.pdf
- Rodríguez M., Lobo S., Vargas L. y Castillo R. (2021). *Impacto del terremoto de Limón de 1991 en el diseño estructural de puentes*. <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i65.46880>
- Rossow, M. (2012). *FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2- Waterways*. <https://pdhonline.com/courses/c488/FHWA%20Bridge%20Inspector's%20Manual%20Section%2011-1&2-Inspection%20of%20Waterways.pdf>
- Rus E. (2020). *Tipos de investigación Qué es, definición y concepto*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-investigacion.html>
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana-SIECA (2010). *Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. <http://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/NO%20DE-41271/Version1/Manual%20Centroamericano%20de%20mantenimiento%20de%20carreteras%20con%20enfoque%20de%20gesti%F3n%20de%20riesgo%20y%20seguridad%20vial.pdf>
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana-SIECA (2016). *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. http://www.pgrweb.go.cr/DocsDescargar/Normas/NO%20DE-41271/Version1/Manual_consideraciones_tecnicas_hidrologicas_e_hidraulicas_para_infraestructura_vial_CA.pdf

- Spennemann, D., Pike M. y Watson M. (2016). *Effects of acid pigeon excreta on building conservation*.
<https://doi.org/10.1108/IJBPA-09-2016-0023>
- Suárez, E. (2024). *Fuentes de Información: qué son, tipos y ejemplos*. Experto Universitario.
<https://expertouniversitario.es/blog/fuentes-de-informacion/>
- Transport and Road Research Laboratory. (2004). *Bridge Inspector's Handbook*.
<https://www.trl.co.uk/uploads/trl/documents/ORN7%20V2.pdf>
- United States Agency International Development – USAID (2015). *A guide for USAID project managers: Bridges / Incorporating climate change adaptation in infrastructure planning and design*.
- US Geological Survey (2021). *What is liquefaction?* <https://www.usgs.gov/faqs/what-liquefaction>
- Vargas-Alas, L. G., y Villalobos-Vega, E. (2017). *Evaluación de la condición del puente sobre el río Jesús María Ruta Nacional n.º 27 (Proyecto n.º LM-PIE-UP-P18-2017)*. San José: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1119>

Apéndices

Apéndice 1 – Encuesta realizada a los profesionales

Encabezado de la encuesta:

Este formulario forma parte de mi Trabajo Final de Graduación, cuyo objetivo es diseñar una guía de inspección de factores externos que afectan la infraestructura de puentes. A través de esta encuesta, se busca recopilar la opinión de expertos en inspección y especialistas varios para identificar los principales agentes externos que influyen en el estado y seguridad de los puentes, así como las mejores prácticas para su evaluación.

La información obtenida será fundamental para desarrollar una guía que contribuya a mejorar los procesos de inspección. Agradezco su tiempo y valiosa experiencia en completar esta encuesta.

Respecto a la sección de los factores externos este contenía lo siguiente:

“En la investigación, se han contemplado los siguientes factores externos con sus respectivas categorías que se encuentran en el siguiente cuadro.”

Entrevista 1

Profesional: Eduardo Pereira Alonso

Profesión: Ingeniero Estructural

Fases del ciclo de vida de un puente que ha trabajado:

- Estudios preliminares
- Diseño
- Construcción
- Inspección
- Obras de rehabilitación

Experiencia: de 5 a 10 años

Pregunta 1: ¿Hay algún factor en el cuadro que, en su experiencia, no aporta información relevante para la evaluación de los factores externos en puentes?

R/ Todo es relevante para la evaluación de la estructura.

Pregunta 2: ¿Existen otros factores externos que deberían considerarse en la inspección de puentes y que no estén incluidos en este cuadro? Si es así, ¿cuáles y por qué?

R/ Cercanía a volcanes, afectación por lahares. En factores ambientales el análisis del viento para puentes especial o de gran longitud.

Pregunta 3: ¿Qué factores de la lista considera que representan un mayor riesgo para la integridad del puente y por qué?

R/ Históricamente los sismos, han sido los eventos que han causado mayores daños a las estructuras de puentes, y los eventos de precipitación intensa que produce inundaciones o cabezas de agua. Produciendo socavación, golpes a la estructura con palos o piedras.

Pregunta 4: De los anteriores factores, ¿cuáles considera que sean los más complicados de medir o evaluar a la hora de realizar la inspección en sitio?

R/ Considero que eventos que no suceden con regularidad como crecidas del río, o deslizamientos de terrenos aledaños. Los indicios de estos son un tanto discretos o inexistentes, como la afectación en la vegetación, material orgánico en arboles circundantes al río. Caída de árboles o desplazamiento de la vegetación, presencia de grietas en el terreno.

Pregunta 5: ¿Tiene alguna sugerencia o recomendación adicional que se deba tomar en cuenta en el momento de realizar la inspección del entorno o de factores externos que pongan en riesgo la estructura de puente?

R/ Considero que la inspección no debería de ser exclusivamente en la estructura puente. Debería de abarcar una mayor zona, identificar posibles riesgos, y buscar otros indicios de factores que indican en la integridad del puente.

Entrevista 2

Profesional: Giannina Ortiz Quesada

Profesión: Ingeniero en Construcción

Fases del ciclo de vida de un puente que ha trabajado:

- Planificación
- Estudios preliminares
- Inspección
- Administración del activo
- Obras de rehabilitación

Experiencia: de 10 a 15 años

Pregunta 1: ¿Hay algún factor en el cuadro que, en su experiencia, no aporta información relevante para la evaluación de los factores externos en puentes?

R/ No estoy tan segura de la terminología específicamente el términos factores?

Pregunta 2: ¿Existen otros factores externos que deberían considerarse en la inspección de puentes y que no estén incluidos en este cuadro? Si es así, ¿cuáles y por qué?

R/ Si, la inspección debe responder a un modelo de evaluación, con la información suministrada no me queda claro el modelo ni el objetivo de la evaluación

Pregunta 3: ¿Qué factores de la lista considera que representan un mayor riesgo para la integridad del puente y por qué?

R/ El tema hidrológico y sísmico

Pregunta 4: De los anteriores factores, ¿cuáles considera que sean los más complicados de medir o evaluar a la hora de realizar la inspección en sitio?

R/ Condiciones del cauce y del río

Pregunta 5: ¿Tiene alguna sugerencia o recomendación adicional que se deba tomar en cuenta en el momento de realizar la inspección del entorno o de factores externos que pongan en riesgo la estructura de puente?

R/ Recomiendo revisar la terminología utilizada

Entrevista 3

Profesional: Israel Monge

Profesión: Ingeniero en Construcción

Fases del ciclo de vida de un puente que ha trabajado:

- Estudios preliminares
- Inspección

Experiencia: de 5 a 10 años

Pregunta 1: ¿Hay algún factor en el cuadro que, en su experiencia, no aporta información relevante para la evaluación de los factores externos en puentes?

R/ No

Pregunta 2: ¿Existen otros factores externos que deberían considerarse en la inspección de puentes y que no estén incluidos en este cuadro? Si es así, ¿cuáles y por qué?

R/ Considerar casos en los que puentes estén cerca de costas que puedan someter al puente a condiciones salinas. También el tipo de actividad productiva de la ruta puede implicar paso de vehículos pesados.

Pregunta 3: ¿Qué factores de la lista considera que representan un mayor riesgo para la integridad del puente y por qué?

R/ Considero que la actividad sísmica y la erosión son los más propensos a afectar las estructuras en vista de que Costa Rica es un país sísmico y montañoso en el cual los cauces de los ríos suelen provocar problemas de socavación o de cargas y desplazamientos importantes en las subestructuras

Pregunta 4: De los anteriores factores, ¿cuáles considera que sean los más complicados de medir o evaluar a la hora de realizar la inspección en sitio?

R/ Los factores hidrológicos usualmente requieren estudios costosos o complejos que no se pueden determinar a simple vista

Pregunta 5: ¿Tiene alguna sugerencia o recomendación adicional que se deba tomar en cuenta en el momento de realizar la inspección del entorno o de factores externos que pongan en riesgo la estructura de puente?

R/ Definir criterios claros para la evaluación de los aspectos ambientales, y capacitar al personal de inspección para reducir la subjetividad. En la definición de la metodología para evaluar los aspectos externos se pueden usar como complementos información secundaria como mapas de la CNE, o el código sísmico; y que la inspección valide esta información en sitio

Entrevista 4

Profesional: Alejandro Alfaro

Profesión: Ingeniero Civil

Fases del ciclo de vida de un puente que ha trabajado:

- Planificación
- Estudios preliminares
- Diseño
- Construcción
- Trabajos de mantenimiento

- Inspección
- Administración del activo
- Obras de rehabilitación

Experiencia: de 10 a 25 años

Pregunta 1: ¿Hay algún factor en el cuadro que, en su experiencia, no aporta información relevante para la evaluación de los factores externos en puentes?

R/ 1. Tuberías de descarga no aporta: yo lo cambiaría por manejo de aguas adecuado/inadecuado/inexistente, ya sea pluvial o descarga de aguas residuales. 2. Caracterización de zonas aledañas no aporta, propongo cambiarlo por "uso del suelo". 3. Presencia de estructura en los alrededores no aporta, sugiero cambiarlo por "invasión del cauce". Ya que estructuras puede referirse a obras de manejos de agua, diques (adecuadas) etc y al mismo tiempo a construcciones como casas, granjas porcinas, corrales etc(inadecuadas).

Pregunta 2: ¿Existen otros factores externos que deberían considerarse en la inspección de puentes y que no estén incluidos en este cuadro? Si es así, ¿cuáles y por qué?

R/ Cambiaría la categoría "factores hidrológicos" por "Factores del cauce" y agregaría a factores externos tipo de cuenca, curso del río, esto complementa con el ángulo de ataque, ancho de cauce, erosión. En la categoría "Factores climáticos y ambientales" quitaría los factores externos: "Estado de las márgenes y caracterización del cauce" y los pasaría a "Factores del cauce" Propuesto anteriormente. Agregaría un factor humano: Mantenimiento rutinario.

Pregunta 3: ¿Qué factores de la lista considera que representan un mayor riesgo para la integridad del puente y por qué?

R/ 1. sísmico, dependiendo de la zona implica un riesgo inminente de caída del puente si no se consideró un adecuado ancho de asiento. 2. Factores del cauce: ya que de acuerdo a las características del río (ángulo de ataque, ancho del cauce, curso del río) son críticos y por experiencia podrían fácilmente socavar bastiones o pilas si no se consideran adecuadamente. 3. Ambientes agresivos, dependiendo de la ubicación de los puentes estos se ven afectados seriamente por ambientes agresivos naturales como zona marina, volcanes etc. 4. Mantenimiento rutinario: sin mantenimiento cualquier estructura está en riesgo.

Pregunta 4: De los anteriores factores, ¿cuáles considera que sean los más complicados de medir o evaluar a la hora de realizar la inspección en sitio?

R/ Factores del cauce, ya que dependen de varios factores, que varían con la temporada climática y de la expertise del profesional que evalúa, así como de equipo especial.

Pregunta 5: ¿Tiene alguna sugerencia o recomendación adicional que se deba tomar en cuenta en el momento de realizar la inspección del entorno o de factores externos que pongan en riesgo la estructura de puente?

R/ para medir algunos factores como los del cauce, es necesario contar con equipo especial, así como con información de oficina adicional para la medición de algunos factores.

Apéndice 2 – Propuesta de la Guía de inspección

GUÍA DE INSPECCIÓN DE FACTORES EXTERNOS QUE INCIDEN EN EL DESEMPEÑO DE ESTRUCTURAS DE PUENTES

Creado por:

Carlos Antonio Flores Picado

Desarrollado para:

Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes –
Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción

Costa Rica

Año: 2025



Contenido

- 1. Introducción 3
- 2. Objetivos 3
 - 2.1 Objetivo General 3
 - 2.2 Objetivos Específicos 3
- 3. Alcance 4
- 4. Recomendaciones de seguridad 4
- 5. Equipo de seguridad e inspección 5
 - 5.1 Equipo de seguridad 5
 - 5.2 Equipo de inspección 5
- 6. Procedimiento de inspección 6
- 7. Inspección de factores externos 7
 - 7.1 Trabajo de oficina 8
 - 7.1.1 Distancia de inspección de los márgenes 8
 - 7.1.2 Exposición a ambientes agresivos 9
 - 7.1.2.1 Ambiente Marino 9
 - 7.1.2.2 Ambiente expuesto a erupciones volcánicas 10
 - 7.1.2.3 Ambiente expuesto a zonas urbanas 10
 - 7.1.2.4 Ambiente expuesto a zonas de plantaciones agrícolas 11
 - 7.1.3 Flujos de lodo y lahares 12
 - 7.1.4 Amenaza sísmica (actividad sísmica) 13
 - 7.1.5 Sitio propenso a inundaciones (indicios de inundaciones) 15
 - 7.2 Procedimiento en campo- sobre la estructura del puente 16
 - 7.2.1 Uso del suelo 16
 - 7.2.2 Tipo de cauce 18
 - 7.2.3 Ángulo de ataque 19
 - 7.2.4 Tipo de tráfico 21
 - 7.3 Procedimiento en campo- en el cauce 22



7.3.1	Estado de los márgenes	22
7.3.2	Ancho del cauce.....	26
7.3.3	Indicios de inundaciones	28
7.3.4	Longitud de asiento (actividad sísmica)	31
7.3.5	Caracterización del cauce (tipo de material, socavación o elevación del lecho)	33
7.3.6	Presencia de vegetación	35
7.3.7	Presencia de fauna	37
7.3.8	Contaminación por presencia de basura	38
7.3.9	Manejo de aguas	40
7.3.10	Invasión del cauce	43
7.3.11	Intervención del cauce y/o contramedidas.....	45
7.3.12	Estado de conservación del cauce	47
8.	Esquemas y fotografías.....	48
8.1	Fotografías.....	48
8.1.1	Desde el puente	48
8.1.2	Del cauce	50
8.2	Esquemas.....	51
9.	Referencias bibliográficas.....	52
10.	Anexos	55
10.1	Anexo 1: Fallas activas capaces de producir sismos mayores a Mw=6.5	55
10.2	Zonificación sísmica.....	57
10.3	Anexo 2: Factores de importancia de puentes	58
11.	Apéndices	59
11.1	Apéndice 1: Lista de cantones por la exposición a entornos urbanos (a 2025).....	59
11.2	Apéndice 2: Ruleta de valoración de ángulo de ataque.....	60
11.3	Apéndice 3: Formularios de evaluación de los márgenes y lista de verificación.....	60



1. Introducción

Todas las estructuras están expuestas a condiciones externas que pueden afectar su desempeño y durabilidad, sin embargo, los puentes presentan una vulnerabilidad especial debido a que, por su función de atravesar obstáculos, principalmente ríos, estas se ven directamente influenciadas por el comportamiento dinámico de los cauces. En Costa Rica, 90,6 % de los puentes pertenecientes a la Red Vial Nacional (RVN) se ubican sobre cauces de río (Lanamme, 2016), lo que resalta la importancia de monitorear periódicamente el entorno donde se emplazan. Esta necesidad se torna más urgente cuando se considera que el 97% del total de puentes de la RVN se encuentran en estado regular o deficiente (Ortiz et al., 2021).

Con este contexto, se ha propuesto el presente manual de inspección enfocado en identificar, evaluar y documentar aquellos elementos del entorno del puente que pueden comprometer significativamente su seguridad y funcionalidad, que serán denominados en adelante como **factores externos**, estas a pesar de que son variables críticas, han pasado desapercibidos y escasamente monitoreados en el país, es por ello por lo que se ha realizado esta propuesta para su respectiva valoración.

Este manual presenta el siguiente contenido:

- Objetivos y alcance del manual.
- Definición de los factores externos.
- Daños, procedimiento y valoración para cada factor.
- Recomendaciones de fotografías obligatorias y elaboración de los esquemas.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Establecer una guía técnica para la identificación, evaluación y valoración de factores externos que pueden influir en el desempeño, durabilidad y seguridad de puentes.

2.2 Objetivos Específicos

- Definir y clasificar los principales factores externos que pueden afectar la funcionalidad y estabilidad de los puentes.
- Proporcionar procedimientos estandarizados para la observación, recolección de datos y análisis de los factores.
- Establecer criterios de valoración para determinar el nivel de afectación que presenta cada factor y su posible impacto sobre la estructura.



3. Alcance

Este manual se enfoca en la inspección de factores externos que puedan afectar la funcionalidad, estabilidad y durabilidad de puentes vehiculares situados sobre los cauces de río. Se contemplan aspectos ambientales, hidrológicos, biológicos, químicos y originados por acciones humanas, presentes en el entorno del puente, que puedan representar una amenaza directa o indirecta para su integridad estructural.

El manual está orientado a estructuras permanentes utilizadas para el tráfico vehicular, independientemente de su tipología estructural o material con el que está construido, siempre y cuando estén ubicadas sobre cuerpos de agua como ríos o quebradas. No se incluye dentro del alcance la evaluación estructural detallada de los componentes internos del puente ni la inspección de puentes peatonales, ferrocarriles u otras estructuras especiales.

La metodología puede adaptarse a diferentes condiciones geográficas y climáticas del país, pero ha sido diseñada especialmente para contextos donde las estructuras de paso estén expuestas a procesos como socavación, erosión, sedimentación, amenazas sísmicas, volcánicas, actividades humanas cercanas y amenazas hidrológicas.

4. Recomendaciones de seguridad

La inspección de los factores externos puede ser un complemento para las inspecciones de inventario o rutinarias ya especificadas en el Manual de Puentes de Costa Rica (2024) y en el Manual de Inspección de Puentes (2007) ambas del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), por lo que es necesario que también se cumplan las mismas recomendaciones de seguridad ocupacional, estas se citan a continuación (MOPT, 2024):

- Realizar un reconocimiento del lugar de trabajo, identificando los posibles riesgos que se pueden presentar en el sitio de inspección.
- En caso de ser necesario, utilizar mascarillas para no respirar polvo proveniente de excrementos de animales como murciélagos o aves.
- Resguardar todas las herramientas y cuadernos de inspección, específicamente cuando se trabaja al lado del tránsito vehicular.
- No utilizar equipos defectuosos.
- Utilizar la vestimenta, calzado y equipo de protección personal (EPP) adecuado, que se encuentre en buen estado y zapatos de trabajo con suela antideslizante con poco o nulo desgaste.
- En caso de detectar personas en el equipo de trabajo que podrían estar intoxicados o utilizando drogas que impidan el buen juicio, reflejos o coordinación, reportarlo para hacer cambios en el equipo.

- Disminuir al mínimo el tiempo de exposición directa al sol, utilizar bloqueadores con niveles de protección adecuados y mantenerse hidratado.
- Llevar meriendas para disminuir los efectos de la fatiga, cansancio y hambre.

5. Equipo de seguridad e inspección

5.1 Equipo de seguridad

El Manual de Puentes de Costa Rica (MOPT, 2024) menciona el siguiente equipo mínimo de protección personal y de seguridad que se debe utilizar durante la inspección:

- Casco de seguridad.
- Zapatos de seguridad.
- Prendas de alta visibilidad retro reflectivas.
- Botiquín de primeros auxilios.
- Equipo de comunicación (como radios comunicadores o celulares).

5.2 Equipo de inspección

El MOPT (2024) menciona que el equipo de inspección se selecciona dependiendo de la información contenida en el archivo del puente, con el fin de que se cuente con todo el equipo necesario para su correcta inspección y no sea necesario saltarse una parte del procedimiento de la inspección por no contar con el equipo necesario para su correcta realización.

Una lista estándar de herramientas para utilizar durante la inspección de factores externos se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Lista de herramientas necesarias para la inspección	
Actividad	Herramientas
Limpieza	<ul style="list-style-type: none"> - Escoba pequeña, brocha y limpienes para quitar polvo y escombros. - Espátulas o cucharones para remover la corrosión de la superficie de un elemento, o acumulación de sedimento, vegetación y moho.
Medición	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta de medición de bolsillo. - Cinta de medición larga (se recomienda 50 m) para las dimensiones más grandes. - Distanciómetro electrónico, de preferencia con pantalla objetivo, para medir dimensiones de difícil acceso. - Odómetro para mediciones de longitudes de tramos y ancho del puente.
Observación	<ul style="list-style-type: none"> - Binoculares para examinar a distancia. Se recomienda que los binoculares tengan, como mínimo, aumento 10x y diámetro objetivo de la lente de 42 mm (10x42). - Foco para examinar lugares oscuros.



Herramientas de trabajo	<ul style="list-style-type: none">- Cuchillo de hoja ancha (machete)- Cinturón de herramientas con bolsa de herramientas para sostener las pequeñas.- Salveque o mochila de hombros para transporte del equipo necesario durante la inspección. En caso de usar tableta, se recomienda que posea compartimiento de almacenamiento y protección para la misma.
Registro	<ul style="list-style-type: none">- Formulario de inspección, en físico o en digital por medio de tableta o celular.- Lapicero.- Cámara fotográfica o dispositivo que cumpla esta función, con una capacidad de memoria y de tiempo de uso acorde con lo requerido para el tipo de inspección.- Tiza o marcadores para identificación de elementos en las fotografías.- GPS.- Como herramienta de apoyo se puede considerar el uso de un dron para fotografiar zonas de difícil acceso o grabar videos, pero su uso no es obligatorio para la inspección de los factores.

6. Procedimiento de inspección

El procedimiento de inspección consta de 3 fases: un trabajo previo en escritorio para la visualización de algunos factores por medio de mapas u otros recursos, una segunda fase en la inspección en campo la visualización de algunos factores que pueden ser visibles desde la calzada o acera de la vía y la última fase abajo en el cauce si las condiciones lo permiten, para inspeccionar el resto factores. Este proceso con las variables a inspeccionar en cada una se muestra en la Figura 1.

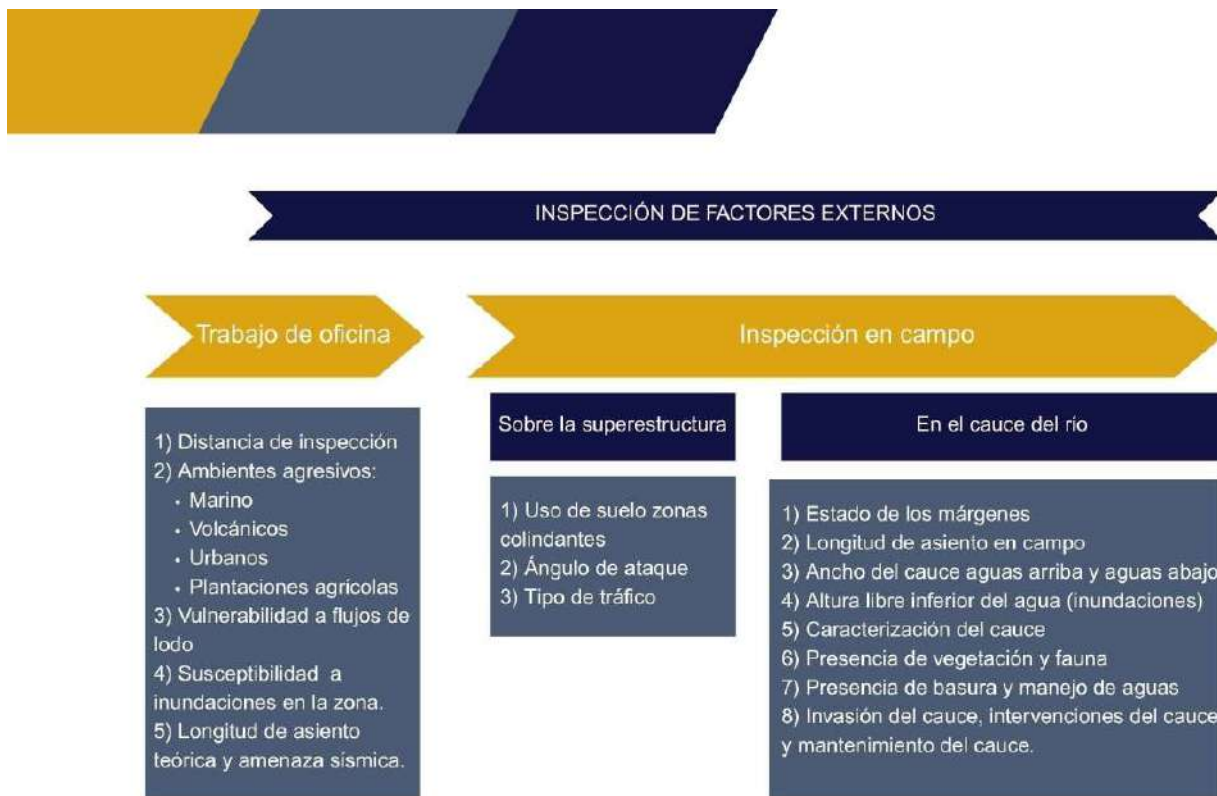


Figura 1. Proceso de inspección de los factores externos.

Fuente: Elaboración propia

7. Inspección de factores externos

En la siguiente sección, se explica la definición, el procedimiento de inspección y la evaluación de los diferentes factores externos, siguiendo el orden establecido en el procedimiento de inspección.

Los factores externos se han clasificado en 5 tipos, los cuales se encuentran representados en el Cuadro 2.



CUADRO 2. Descripción de las categorías y de los factores externos

Categoría	Concepto	Factores externos
Factores del estado del entorno	Se refiere a los factores relacionados con las condiciones del ambiente y de la zona en la que se ubica el puente.	Actividad sísmica Uso del suelo Ambientes agresivos Amenaza por flujos de lodo y lahares
Factores del cauce	Involucra las condiciones presentes en el cauce del río, así como la amenaza existente debido a fenómenos hidrológicos.	Estado de los márgenes Tipo de cauce Caracterización lecho del cauce Ancho de cauce Ángulo de ataque Indicios de Inundaciones
Factores químicos y contaminación	Se relaciona con la detección de elementos contaminantes como descarga de tuberías y presencia de basura dentro del cauce.	Contaminación por basura Manejo de aguas
Factores biológicos	Se analiza el impacto que puede tener la vegetación y la fauna nativa alrededor de la estructura del puente.	Vegetación Fauna
Factores humanos	Referido al impacto de las acciones humanas sobre el cauce y sobre el puente.	Invasión del cauce Intervención del cauce y contramedidas Tráfico Estado de conservación del cauce

Fuente: Elaboración propia

El orden en que se presentará la información de cada factor será por su valoración durante el proceso de inspección.

7.1 Trabajo de oficina

Antes de realizar la inspección en sitio, se puede realizar la verificación de algunos factores por medio de mapas, imágenes satelitales u otros recursos, así como la definición de la distancia de inspección a realizar.

7.1.1 Distancia de inspección de los márgenes

Para la valoración del estado de los márgenes, y cuando el acceso al cauce lo permita se considera el siguiente parámetro: el valor **MENOR** de las siguientes dos condiciones (Ministerio de Fomento, 2012), tanto aguas arriba como aguas abajo.

- 4 veces la longitud del puente L (distancia entre las caras de los bastiones)

- 100 metros

Nota: Si las condiciones no permiten realizar esta distancia, ya sea por inaccesibilidad, curvas en el cauce u otros, considerar al menos una distancia **L** hacia aguas arriba y aguas abajo.

Esta distancia surge con el fin de considerar una distancia razonable para monitorear los cambios que pueda producirse en el canal, sin embargo, está limitada por la accesibilidad con la que se cuente al cauce.

7.1.2 Exposición a ambientes agresivos

Tipo de factor: factor del estado del entorno.

Descripción:

Se refiere al tipo de exposición ambiental en la que se encuentra la estructura debido a la existencia de diversas sustancias presentes en el ambiente y que pueden afectar la durabilidad de los materiales que componen las estructuras. Se van a considerar los siguientes cuatro ambientes:

7.1.2.1 Ambiente Marino

Descripción y daños:

Corresponde a ambientes sumamente corrosivos para materiales como el concreto reforzado, el concreto pretensado y el acero estructural, debido a que el aire costero contiene una alta concentración de iones de cloruro presentes de la sal marina procedente del agua de mar, estos iones provocan la corrosión del acero ya sea expuesto como elemento o para aquel que se encuentra embebido en el concreto. Se debe considerar que el aire transporta estas partículas de cloruro, sin embargo, conforme se vaya se ingresa tierra adentro, esta concentración irá disminuyendo, además de la distancia también dependerá de las condiciones del relieve de la zona y del régimen del viento (Alogdianakis et al., 2020)

Procedimiento:

Verificar mediante imágenes satelitales, la distancia en línea recta del puente hacia la costa para comprobar la afectación por ambientes marinos.

Evaluación:

Cuadro 3. Evaluación para ambientes marinos			
Valor	Exposición	Código de color	Parámetro
3	Alta		A menos de 1 km de distancia de la costa
2	Media		Entre 1 a 3 km de distancia de la costa
1	Baja		A más de 3 km de la costa

Fuente: Tomada de MOPT (2024)

7.1.2.2 Ambiente expuesto a erupciones volcánicas

Descripción y daños:

En Álvarez y Villalobos (2018), explica el efecto que produce la ceniza proveniente de erupciones volcánicas en las estructuras de puentes. La ceniza lo que provoca es que acidifica las aguas de los cauces de los ríos cercanos y sus afluentes, así como la de los suelos de sus márgenes al depositarse el material volcánico en esas zonas. Los elementos de concreto reforzado son los más afectados ya que es material muy susceptible al ataque de ácidos y provocan la disolución o pérdida de la pasta del cemento y la corrosión del acero de refuerzo.

Procedimiento:

Verificar si el río en el que está situado el puente pertenece a una cuenca con presencia de volcanes activos, para considerar el efecto de ambientes volcánicos, se puede utilizar la siguiente información del Estudio de las cuencas hidrográficas de Costa Rica para determinar la existencia de volcanes y para determinar la amenaza a la caída de ceniza o lluvia ácida se puede visualizar en el Mapa de Amenazas del CNE. Enlace de referencia:

<http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/estudio-de-las-cuencas-hidrograficas-de-costa-rica/>

Evaluación:

Cuadro 4. Evaluación para ambientes expuestos a influencia volcánica			
Valor	Condición	Código de color	Parámetro
3	Alta	Rojo	Puente en interacción directa con el río y perteneciente a un río cuya cuenca tiene posibilidad de afectación por actividad volcánica, dentro del radio de caída sísmica de un volcán en erupción.
2	Media	Amarillo	Puente donde NO hay interacción directa con el río, pero cuyo río pertenece a una cuenca con posibilidad de afectación por actividad volcánica o dentro del radio de caída sísmica de un volcán en erupción.
1	Baja	Verde	Puente que no presenta ninguna de las condiciones anteriores.

Fuente: Tomada de MOPT (2024)

7.1.2.3 Ambiente expuesto a zonas urbanas

Descripción:

El MOPT (2024) indica como otro ambiente agresivo las zonas urbanas ya que los puentes con elementos de concreto reforzados situados en estos entornos son más susceptibles al proceso de



carbonatación debido a la mayor concentración de dióxido de carbono en el aire debido a los altos volúmenes de tráfico.

Procedimiento:

Verificar el cantón de la ubicación del puente si pertenece o no a la Gran Área Metropolitana para determinar si este se ve afectado por el ambiente urbano, como referencia, se puede usar la lista de cantones que se suministra en el Apéndice 1 de este documento.

Evaluación:

Cuadro 5. Evaluación para ambientes expuestos a zonas urbanas			
Valor	Condición	Código de color	Parámetro
3	Alta		Puentes ubicados en los cantones de San José, Tibás, Montes de Oca y Curridabat.
2	Media		Puentes ubicados en el resto de los cantones de la GAM. Puentes ubicados en localidades con alta densidad urbana fuera de la GAM.
1	Baja		Resto del país

Fuente: Elaboración propia basada en el MOPT (2024)

7.1.2.4 Ambiente expuesto a zonas de plantaciones agrícolas

Descripción:

Vargas y Villalobos (2017), señala a las zonas colindantes a las plantaciones agrícolas como un ambiente nocivo para los materiales que componen los puentes, siendo el acero estructural el más afectado por la presencia de contaminación química en el concreto debido a los sulfatos presentes en los químicos utilizados en las plantaciones agrícolas que pueden estar contiguas al puente. Señalan que algunos síntomas de la presencia de contaminación química corresponden a manchas oscuras que van degradando el concreto progresivamente.

Procedimiento:

Puede hacer uso de imágenes satelitales, pero se debe corroborar en el sitio la existencia de grandes plantaciones agrícolas o empresa de agroquímicos en las inmediaciones del puente.



Evaluación:

Cuadro 6. Evaluación para ambientes expuestos plantaciones agrícolas			
Valor	Condición	Código de color	Parámetro
3	Alta		Puente contiguo a plantaciones agrícolas o fábricas de agroquímicos.
1	Baja		Puente que no esté incluido en la anterior condición.

Fuente: Tomada de MOPT (2024)

7.1.3 Flujos de lodo y lahares

Tipo de factor: factor estado del entorno

Descripción:

Corresponden a un flujo violento compuesto por agua, fragmentos de roca y escombros que pueden descender de manera repentina desde la ladera de un volcán o en los valles de los ríos, siendo los lahares un tipo de flujos de lodo que como principal característica es que poseen escombros volcánicos producidos por erupción volcánica cercana. Al ser un fenómeno súbito y bastante catastrófico es fundamental considerar este fenómeno como una amenaza externa a la estructura del puente (Dagá J. et al., 2018)

Daños:

- Socavación general.
- Obstrucción del cauce.
- Impacto de grandes objetos como troncos o basura.
- Inestabilidad de taludes cercanos.
- Colapso del puente.

Procedimiento:

Verificar mediante el Mapa de Amenazas del CNE si el puente se encuentra en una zona susceptible a flujos de lodo.

Enlace de referencia:

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenzas/index.aspx



Evaluación:

Valor	Exposición	Código de color	Parámetro
5	Alta	Rojo	Zona propensa a flujos de lodo y/o lahares
1	Baja	Verde	Zona no propensa a flujos de lodo y/o lahares.

Fuente: Elaboración propia

7.1.4 Amenaza sísmica (actividad sísmica)

Tipo de factor: factor del estado del entorno

Descripción:

Corresponde al análisis de la amenaza sísmica debido a la cercanía existente a una falla activa cercana (información brindada por la Comisión Nacional de Emergencias), sitio de cimentación y zonificación sísmica brindada por Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes de Costa Rica (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos [CFIA], 2013)

Daños:

Entre los principales daños que se pueden producir por la actividad sísmica, Rodríguez et al. (2021) resalta los siguientes:

- Licuefacción.
- Pérdida de soporte del tablero.
- Rotación de bastiones.
- Falla de los pilotes de las fundaciones en bastiones y fallas.
- Colapso

Procedimiento:

- 1) Ubicar la cercanía a una falla activa: para ello se puede ubicar al puente y detectar fallas cercanas por medio de los Mapas de Amenazas de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

Enlace de referencia:

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenzas/index.aspx

Para conocer las fallas activas en Costa Rica, se puede visualizar en el Anexo 1 el mapa con la lista de las fallas obtenida en los Lineamientos de Diseño Sismorresistente de Puentes (CFIA, 2013).



Y para definir si una falla es cercana al sitio del puente, se puede usar un parámetro de Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA, 2013) que afirma que “Si el sitio está localizado a menos de 5 km de una falla activa conocida capaz de producir un sismo de magnitud MW = 6.5 o mayor, se deben evaluar los efectos de la sacudida en la cercanía a la falla” (p. 28). Por lo que se propone, considerar que una falla es cercana cuando el puente se encuentra a menos de 5 km de una falla activa.

- 2) Identificación del tipo de suelo de cimentación si se cuenta con dicha información.
- 3) Identificar la zonificación sísmica dependiendo de la ubicación del puente (Anexo 2)

Evaluación:

Con la información recabada, estimar el valor del Coeficiente Sísmico Espectral (C_a) de acuerdo con el Cuadro 8.

Cuadro 8. Definición del Coeficiente sísmico espectral (C_a)			
Sitio de cimentación	Zona de amenaza sísmica		
	II	III	IV
S1	0,240	0,360	0,480
S2	0,287	0,374	0,480
S3	0,317	0,410	0,490
S4	0,360	0,367	0,432

Fuente: Tomada de Ortiz et al. (2024)

Definido el C_a , se calcula la aceleración pico efectiva (CaM) modificada por la presencia de fallas activas en las cercanías del puente. Este se calcula de acuerdo con la Ecuación 1.

$$CaM = Coeficiente \cdot Ca \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- Coeficiente se define como **1,2** cuando hay fallas activas cercanas y **1** si no las hay, aplicando el parámetro de la ubicación de acuerdo con el Mapa de Amenazas del CNE y definido en el procedimiento.
- C_a corresponde al Coeficiente Sísmico Espectral, valor encontrado en el Cuadro 8.

Definido el CaM , se puede calcular la Amenaza Sísmica de acuerdo con la Ecuación 2.

$$Amenaza \text{ sísmica} = \frac{CaM}{0,588} \cdot 4 + 1 \quad \text{Ec. 2}$$

Este valor de amenaza sísmica correspondería al índice de condición sísmica (SCI) por amenaza sísmica y para comparar su nivel de amenaza, se puede valorar con el Cuadro 9.



Cuadro 9. Evaluación de la amenaza sísmica		
Valor de SCI	Código de color	Nivel de amenaza sísmica
1 a 2		La estructura presenta una amenaza sísmica baja.
2 a 3		La estructura presenta una amenaza sísmica media.
3 a 4		La estructura presenta una amenaza sísmica media – alta.
4 a 5		La estructura presenta una amenaza sísmica alta.

Fuente: Tomada de Ortiz et al. (2024)

7.1.5 Sitio propenso a inundaciones (indicios de inundaciones)

Tipo de factor: factor del cauce

Descripción:

Corresponde al análisis de la vulnerabilidad de la zona a las inundaciones.

Daños:

- Puede llegar a arrasar con el puente completo.
- Arrasar el terraplén con la carretera y rodear el puente.
- Arrasar el relleno frente a los bastiones y excavar grandes agujeros en el lecho del río
- Daños estructurales en los elementos de acero.
- Escombros gruesos que pueden llegar a representar futuros bloqueos
- Socavación general del cauce.

Procedimiento:

Mediante el Mapa de Amenazas del CNE del cantón al que pertenece el puente, comprobar si el sitio se encuentra en una zona susceptible a inundaciones.


Enlace de referencia:

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/index.aspx

Evaluación:

Cuadro 10. Susceptibilidad de la zona a inundaciones			
Valor	Condición	Código de color	Parámetro
5	Alta		Zona propensa a inundaciones.
1	Baja		Zona no propensa a inundaciones.

Fuente: Basado en Ortiz et al. (2024)



7.2 Procedimiento en campo- sobre la estructura del puente

Siguiendo el procedimiento de la inspección de puentes, se comienza primero desde los factores observables desde el puente para luego dirigirse al cauce, siempre y cuando el sitio lo permita.

7.2.1 Uso del suelo

Tipo de factor: factor del estado del entorno

Descripción y daños:

Corresponde a la identificación de los tipos de coberturas de las zonas colindantes de los puentes, con el fin de registrar el uso del suelo que se encuentra alrededor del puente y la evolución de la zona aledaña y poder advertir sobre futuras problemáticas que puedan impactar la operación, durabilidad o seguridad del puente.

Se va a diferenciar los siguientes usos:

- **Urbano / residencial:** se denota por la presencia de viviendas y/o comercios, se caracteriza por su alto flujo de tráfico y de peatones, susceptible a la descarga de vertidos domésticos en el cauce y debido a sus zonas aledañas, se produce una mayor impermeabilidad de los suelos lo que incide notablemente en la respuesta del cauce durante las precipitaciones. (ejemplo Figura 2a).
- **Agrícola o ganadero:** presencia de zonas de cultivo o destinados a la presencia de pastos para ganadería, el suelo es susceptible a la erosión debido al riego o por el uso intensivo de este, así mismo, puede aportar sedimentos al cauce, aunado a ello, en caso de las extensas plantaciones, debido a las fumigaciones, se liberan químicos que pueden llegar a afectar a las estructuras de concreto y acero, un ejemplo es el mostrado en la Figura 2b.
- **Zona verde / forestal:** ambiente amigable al puente, comprende la presencia de un ambiente natural, sin presencia de estructuras ni actividad humana, sin embargo, presenta la problemática de que la existencia de grandes árboles y troncos pueden representar una amenaza para el puente durante fuertes avenidas de agua. Un ejemplo de este tipo de uso se muestra en la Figura 2c.
- **Área o asentamientos informales:** puede representar diversas amenazas, como la ocupación de las zonas de protección o de los cauces, posiblemente pueden existir vertidos no regulados en el cauce y también puede representar una amenaza para la seguridad de la estructura, siendo vulnerable al vandalismo, por ejemplo, el mostrado en la Figura 2d.



a) Zona urbana residencial



b) Zona agrícola



c) Zona verde/forestal



d) Zona de asentamientos informales

Figura 2. Tipos de zonas aledañas

Fuentes: a), b) y c) Elaboración propia, d) La Nación, 2023

Procedimiento:

- 1) Identificar en el cauce la zona de aguas arriba y aplicar la nomenclatura de las zonas como se muestra en la Figura 3.
- 2) Describir el uso de las zonas aledañas, dependiendo de su tipo.
 - Urbano / residencial
 - Agrícola y/o ganadero
 - Zona verde/ forestal
 - Zona de asentamientos informales

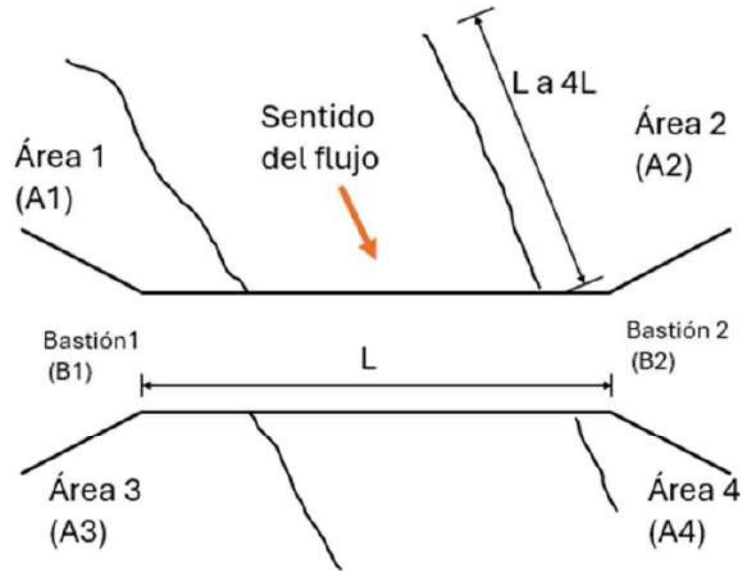


Figura 3. Ejemplo de la nomenclatura para las cuatro zonas aledañas.

Fuente: Elaboración propia

7.2.2 Tipo de cauce

Tipo de factor: factor del cauce

Descripción y daños:

Se inspecciona cualitativamente el tipo de geometría que presenta el cauce en el que se encuentra la estructura del cauce, ya que el comportamiento y tipo de río puede que se presenten diversas problemáticas, como el cambio constante del alineamiento del flujo, mayor presencia de sedimentos en el río, o la inestabilidad del cauce.

Procedimiento:

Se observa las características físicas del cauce y la existencia de meandros o curvas, si los márgenes se mantienen paralelos, su amplitud, la existencia de meandros u otros.

Evaluación:

- **Cauces sinuosos o con meandros:** el cauce presenta curvas o forma de S, se forman comúnmente en zonas con planicie (Figura 4 a)

- **Cauce recto:** cauce donde los márgenes son paralelos, el flujo del agua puede tener ligeras curvas, pero los márgenes no, más común en zonas de pendiente fuerte como montañas. (Figura 4 b)
- **Cauce trenzado:** cauce donde el flujo avanza en varios canales pequeños, formando una forma similar a trenzas, existen gran cantidad de pequeñas islas o barras de cauce compuesta por sedimentos. Comúnmente son cauces muy anchos (Figura 4 c).

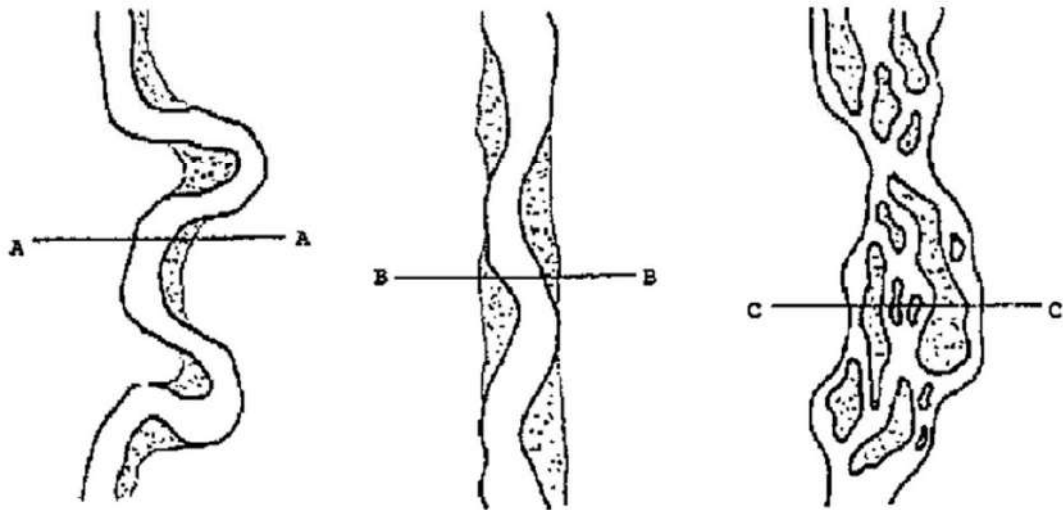


Figura 4. Tipos de cauce a) Cauce sinuoso o con meandros, b) cauce recto y c) cauce trenzado.

Fuente: Public Works and Government Services

7.2.3 Ángulo de ataque

Tipo de factor: factor del cauce

Descripción y daños:

La idea fundamental en el diseño de un puente, es que el flujo sea lo más paralelamente posible a los ejes de los bastiones y las pilas, sin embargo, debido a movimientos laterales continuos del flujo, este puede irse desviando de modo que se aproxime a los bastiones y las pilas con un ángulo de inclinación que puede llegar a ser significativo, provocando que la capacidad del cauce pueda verse reducida, además de la socavación local que puede surgir en las fundaciones de los elementos de la subestructura (Rossow, 2012).



Procedimiento:

En caso de que el puente no esté sesgado, la medición puede realizarse desde el mismo puente. Para ello, se debe ubicar en uno de los bordes del río y medir el ángulo más pequeño entre la perpendicular del puente y la dirección del flujo de agua, utilizando el medidor que se muestra en la Figura 5. Para determinar el rango del ángulo en el que se dirige el flujo, se puede tomar como referencia la Figura 6.

Para identificar el sentido del flujo si incide hacia el bastión B1 o el bastión B2 (nombrados así por la Figura 3), se coloca un “-“si se dirige en dirección del bastión B2, y un “+” si se dirige hacia el bastión B1.

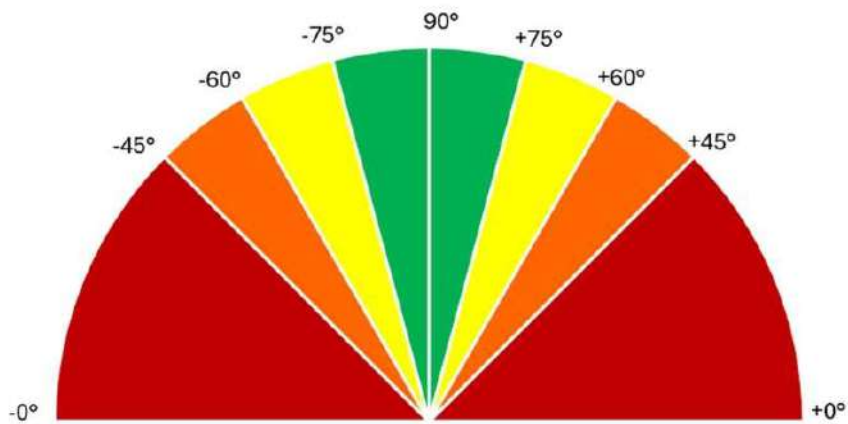


Figura 5. Ruleta de medición ángulo de ataque.

Fuente: Elaboración propia

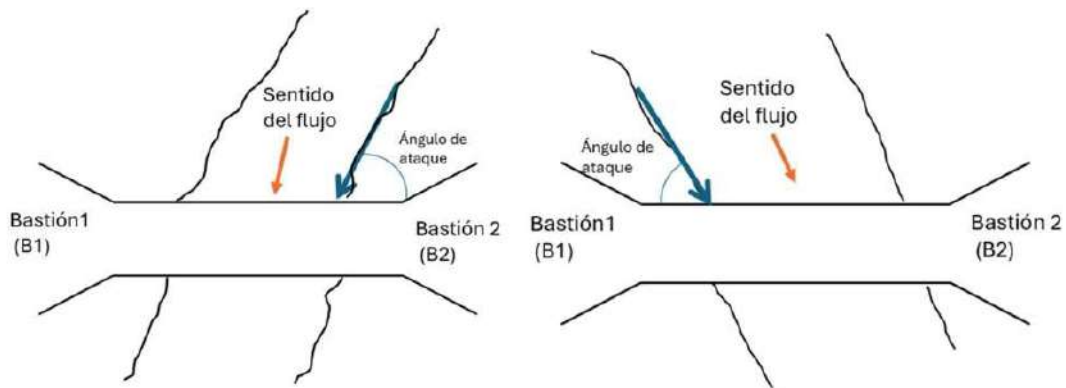


Figura 6. Medición del ángulo de ataque

Fuente: Elaboración propia



En caso de que el puente sea **sesgado**, realizar la inspección desde el cauce buscando que la base de la ruleta de evaluación esté en dirección perpendicular al eje de los bastiones.

Evaluación:

Cuadro 11. Escala de evaluación del ángulo de ataque			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Satisfactorio		75° a 90° (ríos rectos principalmente)
2			Uso exclusivo para cauces trenzados *
3	Aceptable		60° a 75°
4	Inaceptable		45° a 60°
5	Deficiente		Menor a 45°

Fuente: Basado en la información del NYDoT (2021)

7.2.4 Tipo de tráfico

Tipo de factor: factor humano

Descripción:

Se refiere a la descripción del tipo de tráfico que se presenta en el puente. Esto se debe a que los puentes se diseñan a un tipo determinado de cargas, sin embargo, durante el ciclo operativo del puente, el uso que se le dé puede cambiar, por lo que es importante registrar el tipo de vehículos que circulan realmente por el mismo. Si bien es cierto, el tipo de tráfico dependerá de la hora y el día en que se realice la inspección y de la duración en que se esté en el puente, esta información puede ser apoyada con la proporcionada por el MOPT en el Tráfico Promedio Diario mediante el siguiente enlace: <https://tpda.mopt.go.cr/transito/tpd.php>

Daños:


Entre los principales riesgos que puede sufrir la estructura por un aumento de la carga, se resalta el asentamiento en la subestructura, fatiga de los elementos, deformación de los elementos entre otros (Ministerio de Fomento, 2012).

Procedimiento:

Durante la inspección, se debe ir completando el tipo de tráfico que está circulando sobre el puente

En el formulario se señalan los del siguiente listado, considerado por el MOPT:

- Bicicletas
- Vehículos livianos
 - Motocicletas

- 
- Automóvil
 - Microbuses familiares
 - Camión de dos ejes
 - Bus
 - 2, 3 y 4 ejes- camiones no articulados (de carga, vagoneta y tráiler sin carreta).
 - 5 y 6 ejes – camión articulado (tráiler con carreta, equipo especial y vehículo de 6 ejes o más)

7.3 Procedimiento en campo- en el cauce

Esta fase se requiere bajar hasta el cauce para la mejor la visualización y evaluación de los factores.

7.3.1 Estado de los márgenes

Tipo de factor: factor del cauce

Descripción:

Consiste en la evaluación e inspección del estado de los márgenes del cauce situados aguas arriba y aguas abajo del puente a lo largo de la distancia de inspección D definida, esto con el fin de valorar la gravedad de la erosión presente en las orillas del río en el caso de que se mantenga el estado natural, y en caso de existir protecciones, que se evalúen el estado de estos.

Entre los tipos de protecciones que podrían existir en la estructura del puente se encuentra:

- **Escollera (rip-rap):** consiste en piedras o cantos rodados colocados a lo largo de la orilla, como se observa en la Figura 7 (a).
- **Gaviones:** comprende unas grandes cestas de piedra contenidas en una malla de alambre como las de la Figura 7(b).
- **Canales revestidos:** consiste en la colocación de una capa de concreto que cubre parte o la totalidad del canal para minimizar la socavación, un ejemplo de esta protección se muestra en la Figura 7(c).
- **Estabilización de taludes:** consiste en realizar un tratamiento de los márgenes del cauce ya sea con vegetación, geotextiles o mallas de alambre para prevenir la erosión de estos.
- **Faldones de zapata:** comprende a una capa protectora que rodea las fundaciones ya sea de una pila, bastiones o muros de contención, similar al de la Figura 7(d).
- **Diques o presas de contención:** son estructuras que dirigen o controlan los flujos naturales del agua con el fin de evitar que se formen meandros.
- **Diques de espolón:** corresponden a estructuras para redirigir la corriente de agua de forma fluida a través de la abertura del canal del puente, lo que protege a los terraplenes, un ejemplo de este tipo de estructura se presenta en la Figura 7(e).



Figura 7. Tipos de protecciones.

Fuente: (a) y (c) WisDOT (2017), (b), (d) y (e) Rossow (2012)

Daños:

- Movimiento, asentamiento o deslizamiento de la protección de los taludes.
- Erosión del talud o terraplén.
- Pérdida de materiales de protección de taludes, incluyendo vegetación y en particular pérdida de protección de los cimientos.
- Riesgo de bloqueo.
- Asentamientos.
- Erosión por expansión, que consiste en la erosión de los márgenes en zonas de expansión geométrica que se generan cuando el flujo busca expandirse bruscamente aguas abajo del puente y las proximidades de los márgenes (Ministerio de Fomento de España, 2012).

Procedimiento:

Si se tiene fácil acceso, se recorre la distancia D determinada para la valoración de los márgenes del puente aguas arriba y se revisa el estado de estas, en caso de que no sea posible, ubicarse en un punto donde pueda verse la mayor parte de esta distancia y realizar la valoración. Anotar el tipo de protección ya sea natural o no y dependiendo de su tipo, ver el estado. Todo lo anterior evidenciarlo con fotografías.



Evaluación:

Márgenes naturales:

Cuadro 12. Evaluación de los márgenes naturales			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Satisfactorio		Márgenes estables, sin erosión visible. No se observa ningún daño, no hay desprendimientos, bien cubiertas de vegetación si la hay.
2	Aceptable		Márgenes con inicio de erosión, con pérdida parcial de vegetación si la hay, pequeños surcos o inclinación moderada en las orillas
3	Inaceptable		Márgenes inestables, erosión o asentamiento evidente y significativa, vegetación escasa o ausente, taludes con inicio de derrumbe.
4	Deficiente		Márgenes gravemente afectados, con desprendimientos, socavación profunda, arrastre de suelo.

Fuente: Elaboración propia basado en el MOPT (2024), Public Works y WisDoT (2017).

Márgenes con protección:

Cuadro 13. Evaluación del estado de las protecciones			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Satisfactorio		Protecciones en buen estado, sin desplazamientos, ni grietas, ni socavación local.
2	Aceptable		Protección en buen estado, pero con detalles menores generalizados, pequeñas grietas, pequeñas zonas socavadas o con desalineación leve.
3	Inaceptable		Protección dañada o parcialmente comprometida, con presencia de grietas grandes, desprendimientos de elementos, socavación activa en sus fundaciones o detrás de la estructura, elementos faltantes.
4	Deficiente		Protección fallida o con riesgo estructural, presencia de deslizamiento pérdida total de su funcionalidad.

Fuente: Elaboración propia basado en el MOPT (2024), Public Works and Government Services (2010) y WisDoT (2017).

Ejemplos prácticos de estas evaluaciones se muestra en las Figuras 8, 9, 10 y 11.



Figura 8. Márgenes naturales en buen estado (Condición 1)

Fuente: PEEP (2024)



Figura 9. Márgenes naturales con indicios de erosión (Condición 2)

Fuente: PEEP (2018)



Figura 10. Márgenes naturales con indicios de erosión (Condición 2)

Fuente: PEEP (2018)



Figura 11. Protecciones de margen tipo gaviones fallido (Condición 4)

Fuente: PEEP (2018)

7.3.2 Ancho del cauce

Tipo de factor: factor del cauce

Descripción:

Corresponde a la medición del ancho del cauce que permite el paso del flujo de agua en una situación normal considerando los posibles estrechamientos que se puedan producir por las restricciones existentes (Ministerio de Fomento de España, 2012).

Daños:

Entre los principales daños que se pueden producir debido a los estrechamientos de cauce ligados por fuertes diferencias en el ancho del cauce son los siguientes:

- Bloqueo del cauce, lo que disminuye su abertura.
- Inundaciones.
- Socavación por contracción.

Procedimiento:

Se procede a medir el ancho del cauce a una distancia de un ancho del puente (nombrado w) aproximadamente como se observa en la Figura 12 y midiéndolo de forma tal que sea perpendicular el eje longitudinal del río, esta medición se realiza de orilla a orilla del río y en caso de que existan marcas que identifiquen un flujo mayor al actual, se puede medir desde esa zona, haciendo la observación y la evidencia fotográfica de las consideraciones realizadas.

Esta medición puede realizar con una cinta larga o con un medidor láser, en caso de que no sea posible debido a las condiciones presentes del río y el puente lo permita, se puede hacer esta medición desde el puente procurando de que los puntos utilizados para determinar las orillas del río sean lo más cercanas a los existentes por debajo.

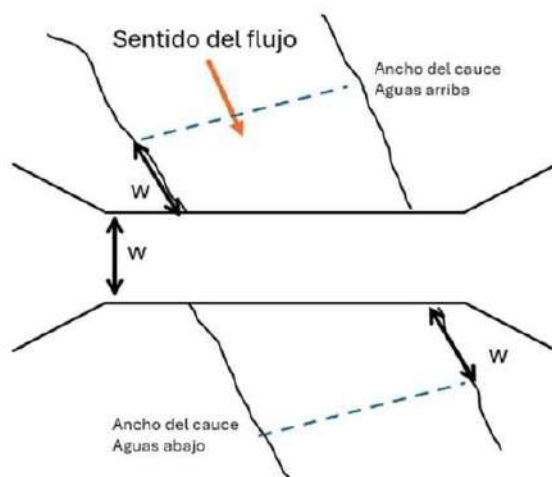


Figura 12. Medición del ancho

Fuente: Elaboración de propia

Evaluación:

Entre la valoración para dicho factor, Ortiz et al. (2024) analiza el estrechamiento del cauce, comparando el ancho del cauce aguas arriba y aguas abajo del puente, como se muestra en la siguiente Ecuación 3:

$$\text{Estrechamiento del cauce} = \frac{\text{ancho aguas arriba}}{\text{ancho aguas abajo}} \quad \text{Ec 3.}$$

Con esta relación que define el estrechamiento de cauce, los mismos autores evalúan de 1 a 5 el estrechamiento del cauce, siendo 5 la peor y 1 la mejor calificación posible en este factor. Esta evaluación se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Escala de valoración del estrechamiento del cauce.		
Calificación	Código de color	Estrechamiento (E) (m)
1		$E < 0,9$
2		$0,9 < E \leq 1,1$
3		$1,1 < E \leq 1,3$
4		$1,3 < E \leq 1,5$
5		$1,5 < E$

Fuente: Basado de Ortiz et al. (2024)

7.3.3 Indicios de inundaciones

Tipo de factor: factor del cauce

Descripción:

Este factor contempla medir la altura máxima que ha podido alcanzar el agua en los elementos de la subestructura durante una avenida de agua, tal y como se puede apreciar en la Figura 25. (Ministerio de Fomento de España, 2012), así como las características del lugar donde se ubica el río.

Daños:

Entre los principales daños que pueden existir originados por las inundaciones el Transport and Road Research Laboratory (2004) menciona:

- Puede llegar a arrasar con el puente completo.
- Arrasar el terraplén con la carretera y rodear el puente.
- Arrasar el relleno frente a los bastiones y excavar grandes agujeros en el lecho del río
- Daños estructurales en los elementos de acero.
- Escombros gruesos que pueden llegar a representar futuros bloqueos
- Socavación general del cauce.



Procedimiento:

- 1) Detectar el nivel máximo que haya podido llegar el agua, para ello se puede contar con las siguientes evidencias, mencionadas por Public Works and Government Services (2010):
 - Socavación de las fundaciones de las pilas o bastiones.
 - Cicatrices o daños en la subestructura.
 - Marcas de agua en los bastiones u otras estructuras.
 - Presencia de escombros gruesos como ramas y árboles pequeños, atrapados o encajados en la subestructura.
 - Escombros finos como hierba o pequeñas ramas cerca árboles, terraplenes, estructuras u otros.
 - Líneas de lavado en los taludes
 - Marcas o manchas en las estructuras.
 - Consultar a vecinos de la zona.

Para detectar estas marcas, se recomienda que las inspecciones se puedan realizar al final de la época lluviosa, con el fin de que las evidencias se encuentren en un estado más reciente y se pueda tener un resultado lo más cercano al nivel máximo alcanzado.

- 2) Posteriormente, medir en metros la distancia libre que habría desde el nivel máximo del agua con respecto al elemento más bajo de la superestructura, mediante medidor de distancia láser, como se muestra en la Figura 13.
- 3) En caso de que no exista evidencia de un nivel de agua mayor al existente en el momento de dicha inspección, medir la distancia de la altura libre desde el nivel que presente el río en ese momento.

Evaluación:

Se analiza la altura vertical libre existente desde el nivel máximo de agua hasta el punto más bajo de la estructura del puente, Ortiz et al. (2024), lo califica de la siguiente manera que se muestra en el Cuadro 15, siendo 5 la peor calificación y 1 la mejor.

Cuadro 15. Escala de valoración de la altura libre inferior del agua		
Calificación	Código de color	Altura libre inferior (m)
1		$6,0 < h$
2		$4,5 < h \leq 6,0$
3		$3,0 < h \leq 4,5$
4		$1,5 < h \leq 3,0$
5		$h < 1,5$

Fuente: Tomada de Ortiz et al. (2024)



Figura 13. Medición del nivel máximo del agua.

Fuente: Ministerio de Fomento (2012)

Ejemplos de los indicios de inundaciones, se muestra en la Figura 14 y 15.



Figura 14. Indicios de inundación: daños en la subestructura.

Fuente: PEEP (2018)



Figura 15. Indicios de inundación: manchas de lodo en la superestructura y subestructura.

Fuente: PEEP (2018)

7.3.4 Longitud de asiento (actividad sísmica)

Tipo de factor: factor estado del entorno

Descripción:

Se refiere a la comprobación de la longitud de asiento del puente. La longitud de asiento corresponde a aquella distancia existente entre el traslape entre la viga de la superestructura y el asiento con la viga cabezal de la pila o con el bastión, como se muestra en la Figura 16.

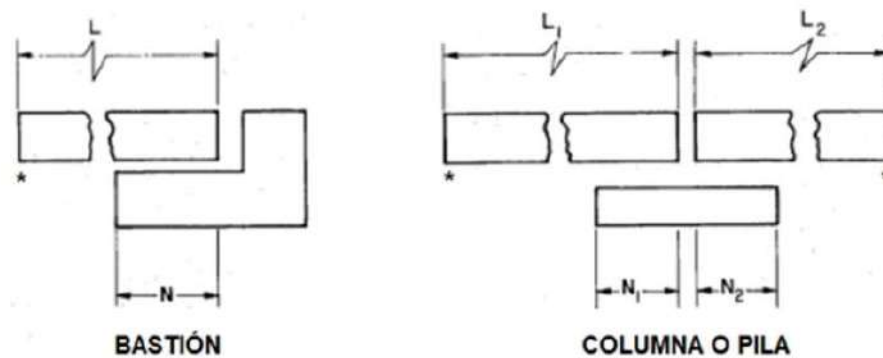


Figura 16. Longitud de asiento en puentes.

Fuente: Johanning (2021)

Daños:

- Pérdida de soporte del puente.
- Asentamientos



- Colapso

Procedimiento:

En caso de contar con acceso a la zona alta de los bastiones o pilas, realizar la medición de la longitud de asiento en ambos bastiones o en la cantidad de pilas existentes.

En caso de que no se cuente con acceso, se podría realizar desde el puente, verificando que los puntos de referencia sean cercanos a lo existente en el lugar o utilizar los presentes en los planos o de los esquemas brindados en informes anteriores en caso de que se cuenten con ellos.

Evaluación:

Se debe comparar la longitud de asiento más crítico obtenido en campo con el teórico calculado en la siguiente Ecuación 4, realizable en un trabajo previo.

$$N_{teórica} = I \cdot (305 + 2,50 \cdot L)(1 + 0,000125 \cdot S^2) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

- N: longitud de asiento mínima teórica (mm).
- I: factor de importancia, obtenido de la tabla de los Lineamientos de Diseño Sismorresistentes de Puentes (CFIA 2013)- Anexo 3.
- L: longitud de la superestructura en metros (m)
- S: Ángulo de sesgo del apoyo medido a partir de una línea normal al claro, en grados (°) (para puentes sesgados)

Obtenido el teórico y el medido en campo, se comparan entre sí, si la longitud de asiento real es mayor o igual a la teórica se calificaría de acuerdo con el siguiente Cuadro 12, siendo 1 la mejor y 4 la peor calificación posible.

Cuadro 16. Valoración de la condición por longitud de asiento			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Satisfactoria		Longitud de asiento en sitio es mayor a longitud de asiento teórica
5	Alarmante		Longitud de asiento en sitio es menor a longitud de asiento teórica

Fuente: Basada en Ortiz et al. (2024)

7.3.5 Caracterización del cauce (tipo de material, socavación o elevación del lecho)

Tipo de factor: factor del cauce

Descripción y daños:

Comprende la identificación y descripción del material que conforma el lecho del río, ya que el material influye notablemente en el riesgo de socavación del cauce y de los elementos principalmente en la velocidad que este se produce (Rossow, 2012)

Así mismo, este factor contempla la observación de los tipos de limitaciones que pueden existir en el cauce (Ministerio de Fomento de España, 2012), estas son:

- **Barras:** corresponde a las acumulaciones de sedimentos ya sea en la zona lateral o intermedia del cauce, afecta principalmente la capacidad del cauce, así como el sentido del flujo en la zona de aguas arriba.
- **Obstrucciones (obstáculos):** referidos a otros factores contemplados como la existencia de estructuras en medio del cauce o en zonas contiguas que limiten el ancho disponible.
- **Acumulaciones:** presencia de materiales arrastrados o vertidos, ocasionando una limitación en el cauce.

Así como describir si existe un proceso de degradación o socavación del lecho que consiste en un proceso natural de socavación general del cauce (Figura 17) o de agradación o elevación del lecho, que consiste en el ascenso de todo el lecho del río provocada por el depósito de sedimentos (Figura 18)

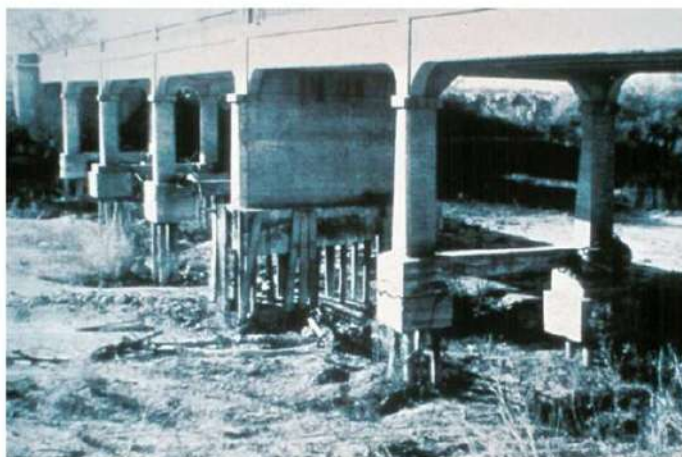


Figura 17. Degradación del cauce con exposición de fundaciones.

Fuente: Rossow (2012)



Figura 18. Agradación del cauce.

Fuente: Rossow (2012)

Procedimiento:

- 1) Definir el material predominante en el lecho del río, anotándolo en la lista respectiva:
 - Arena
 - Grava
 - Piedras
 - Limo/arcillas
 - Roca maciza
- 2) Así mismo, se observa la presencia de barras de cauce, acumulaciones y las obstrucciones presentes dentro del cauce y colocar en los esquemas su ubicación aproximada.
- 3) Así como observar los indicios de socavación general del cauce que es cuando el lecho se profundiza/ se socava de forma generalizada o de agradación o elevación del lecho cuando es el depósito de sedimentos lo que provoca que el lecho se eleve.

Evaluación:

El fin de este factor es registrar el material presente en el lecho para anticipar posibles procesos erosivos que puedan comprometer la integridad del puente. Para valorar la degradación o la agradación, se evalúa con el Cuadro 17 y 18 respectivamente. Y para valorar el material del lecho se ha contemplado describir cinco tipos de materiales que componen el lecho del río que corresponderían:

- Arena
- Grava
- Piedras

- Limo/arcillas
- Roca

Cuadro 17. Evaluación de la socavación del lecho

Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Estable		Algunos puntos de socavación o degradación del lecho sin exponer los cimientos.
2	Leve alteración		Socavación o degradación del lecho o hasta la parte superior de las fundaciones previamente cubiertas.
3	Alteración moderada		Socavación o degradación del lecho por debajo de la parte superior de las fundaciones previamente cubiertas.
4	Alteración severa		Socavación o degradación del lecho hasta el fondo de las fundaciones previamente cubiertas.

Fuente: Basado de Public Works and Government Services (2010)

Cuadro 18. Evaluación de la elevación del lecho.

Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Estable		Algunos puntos de elevación del lecho que no afectan el flujo fluvial.
2	Leve alteración		Varios puntos de elevación del lecho que afectan marginalmente el flujo de la vía fluvial.
3	Alteración moderada		Elevación del lecho media que afecta significativamente el flujo del cauce.
4	Alteración severa		Elevación del lecho extensa que afecta gravemente el flujo del río.

Fuente: Basado de Public Works and Government Services (2010)

7.3.6 Presencia de vegetación

Tipo de factor: factor biológico

Descripción y daños:

La presencia de vegetación alrededor de las riberas, según la Office of Bridges and Structures (2014), cumple una función clave para proteger a las riberas de la erosión provocada por el flujo normal de agua, sin embargo, el Transport and Road Research Laboratory (2004) menciona que principalmente aquella vegetación ligera como pastos o matorrales son realmente útiles para las riberas ya que fijan el suelo de alrededor gracias a sus raíces, sin embargo, cuando esta está compuesta por grandes arbustos, árboles o plantas grandes pueden llegar a ser no tan beneficiosas ya que pueden obstruir el cauce o representar una amenaza para futuros obstáculos durante una fuerte avenida.



Procedimiento:

Comprobar el tipo de vegetación existente en las orillas del río.

Evaluación:

Cuadro 19. Evaluación de la presencia de vegetación			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Adecuada		Vegetación abundante, cobertura natural que ayuda a estabilizar el suelo y evitar la erosión. No interfiere con las estructuras ni con el cauce.
2	Regular		Cobertura vegetal moderada, pueden estabilizar el terreno, pero son poco efectivas y requiere mantenimiento. Existencia de zonas descubiertas.
3	Inadecuada		Presencia de vegetación leñosa o invasiva que bloquean parcialmente el flujo de agua, o que representan un riesgo de caída. O zonas con extensas áreas sin vegetación o plantas secas.
4	Crítica		Presencia de árboles grandes, caídos o mal ubicados, amenazan con la obstaculización del flujo. Presencia de escombros vegetales que bloquean el flujo del cauce O zonas donde se encuentra nula vegetación en los márgenes.

Fuente: Elaboración propia de basada en WisDoT (2017)

Ejemplos de la evaluación de la presencia de vegetación, se muestra en las Figuras 19, 20, 21.



Figura 19. Cauce de río con vegetación ligera (Condición 2)

Fuente: Elaboración propia (2024)



Figura 20. Cauce de río con presencia de escombros de vegetación (Condición 4).

Fuente: PEEP (2018)



Figura 21. Cauce de río con presencia de árboles y troncos (Condición 4).


Fuente: Elaboración propia (2024)

7.3.7 Presencia de fauna

Tipo de factor: factor biológico

Descripción y daños:

Debido al entorno natural en el que se encuentran muchos puentes, es esperable la presencia de diferentes tipos de fauna, por lo que es relevante tomar nota de la fauna presente o indicios de esta, ya que pueden originar diversos problemas debido a los excrementos producidos como el de las



aves y murciélagos (Figura 22) que pueden llegar a corroer el acero (Spennemann, 2016) hasta problemas de seguridad para el equipo de inspección como la existencia de avispas, abejas, serpientes o reptiles de mayor tamaño.

Procedimiento:

Durante la inspección y la estancia en el cauce, verificar la existencia de animales o indicios de su anterior presencia debajo del puente o sus inmediaciones. Se sugiere que se anote animales que representen un peligro real para la estructura o para la seguridad en obras de mantenimiento o inspección, por ejemplo:

- Murciélagos
- Aves
- Avispas/abejas o similares
- Cocodrilos o serpientes
- Mamíferos en caso de que estos tengan sus refugios debajo del puente o sobre elementos de este.
- Termitas para el caso de puentes de madera



Figura 22. Murciélagos debajo del puente.
Fuente: Holmes (2021)

7.3.8 Contaminación por presencia de basura

Tipo de factor: factor químico y contaminación

Descripción y daños:

Determina la presencia de residuos sólidos en el cauce del río, puede representar un factor de riesgo para la estructura, ya que su acumulación puede representar un bloqueo dentro del cauce, lo que posteriormente favorece la socavación local y aumenta el riesgo a inundación, además de ello, la presencia de basura dificulta el mantenimiento preventivo de la estructura del puente y del cauce y representa un fuerte impacto negativo a nivel ambiental y sanitario.

Procedimiento:

Detectar la presencia de basura dentro del cauce y anotar el nivel de basura

Evaluación:

Cuadro 20. Evaluación de la presencia de basura			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Adecuada	Verde	Cauce con nula presencia de basura.
2	Regular	Amarillo	Presencia aislada de pequeños desechos, fácilmente arrastrados por el agua (botellas, bolsas plásticas) y fáciles de remover.
3	Inadecuada	Naranja	Acumulación visible de basura, posible punto de vertido habitual de residuos puede representar una obstrucción parcial del cauce del río.
4	Crítica	Rojo	Cauce con gran cantidad de residuos, zona de vertidos ilegales. Puede obstruir el flujo u afectar directamente a elementos de la estructura.

Fuente: Elaboración propia

Ejemplos de la evaluación de la presencia de vegetación, se muestra en las Figuras 23, 24 y 25.



Figura 23. Cauce de río con nula o poca presencia de basura (Condición 1)

Fuente: Stanley (2023)



Figura 24. Cauce de río presencia importante de basura (Condición 3)

Fuente: PEEP (2024)



Figura 25. Cauce de río con alta presencia de basura. (Condición 4)

Fuente: Municipalidad de Desamparados, CR (2020)

7.3.9 Manejo de aguas

Tipo de factor: factor químico y contaminación

Descripción y daños:

Corresponde a la identificación de descargas de aguas residuales en las cercanías del puente, ya que puede afectar a la estabilidad dependiendo de la altura, velocidad y caudal de la descarga provocando con ello socavaciones locales en la zona de descarga aún más si esta no cuenta con protección o no se realiza en una zona con un material competente (SIECA,2018), así mismo, puede

llegar a afectar la durabilidad y operación del puente debido al tipo de descargas que se realicen al cauce. Así mismo, la presencia de descargas mal realizadas, pueden llegar a producir humedad y corrosión en la estructura.

Procedimiento:

Verificar la existencia de descargas de tuberías o alcantarillados en la cercanía de los puentes, anotar si estas cuentan con protección o no, y si han producido socavaciones locales en la boca de descarga.

Si es posible, se puede determinar el tipo de descarga que poseen: pluvial, sanitaria, industrial o en caso de que sea desconocido.

Evaluación:

Cuadro 21. Evaluación del manejo de aguas			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Adecuada		Vertido principalmente de origen pluvial. Ligera o nula socavación en la salida de agua. Cuenta con protección para su correcta descarga.
2	Regular		Vertido ocasional pluvial. Con una socavación leve con o sin protección en la salida de la tubería o alcantarillado.
3	Inadecuada		Vertido constante, de bajo volumen, la descarga puede contar con cierta turbidez u olor que indiquen el origen del vertido. Socavación grave en la zona de descarga, no cuenta con protección o esta se encuentra en mal estado.
4	Crítica		Vertido permanente de aguas servidas, industriales o mixtas y de gran volumen. Socavación severa que provoca deslaves extensos alrededor de la descarga o fuertemente erosionada.

Fuente: Basado de Public Works and Government Services (2010)

Ejemplos de la evaluación del manejo de aguas, se muestra en las Figuras 26,27 y 28.



Figura 26. Descarga de alcantarillado en el puente (Condición 3)

Fuente: PEEP (2018)



Figura 27. Descarga de alcantarillado en el puente (Condición 3)

Fuente: PEEP (2018)



Figura 28. Descarga de alcantarillado en el puente (Condición 4)

Fuente: PEEP (2018)

7.3.10 Invasión del cauce

Tipo de factor: factor humano


Descripción y daños:

Se refiere a la existencia de edificaciones, instalaciones, obras civiles u otros, tanto dentro del propio cauce como en las inmediaciones del puente, se pueden catalogar como obstrucciones que son aquellas limitaciones que disminuyen el ancho disponible en el cauce, lo que puede generar desde socavaciones locales de en la estructura del puente, socavación por contracción, mayor riesgo a inundaciones y también puede influir en la accesibilidad, seguridad y durabilidad del puente, así como el impacto que puede tener la presencia de este en futuras labores de mantenimiento o ampliación del puente.

Procedimiento:

Detectar la presencia de estructuras que no cumplan la función de contramedidas, que afecten o limiten el ancho del cauce (conocidas también como obstrucciones): como, por ejemplo, muros, casas, locales u otros. Tomar fotografías de dichas estructuras.

Evaluación:

Cuadro 22. Evaluación de la invasión del cauce			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Adecuada		Nula presencia de estructuras que obstruyen el cauce. O presencia de estructuras cerca del cauce, pero se encuentran bien ubicadas y no afectan el cauce, se encuentran en buen estado, no presentan socavaciones.
2	Regular		Presencia de estructuras que bloquean ligeramente el cauce. Presenta una ligera socavación local en sus fundaciones.
3	Inadecuada		Presencia de estructuras que bloquean significativamente el flujo del cauce e impacta directamente en él. Presenta una importante socavación, inclinación o asentamientos
4	Crítica		Estructuras que bloquean gravemente el cauce. Estado de colapso de la estructura externa al puente.

Fuente: Elaboración propia

Ejemplos de la evaluación de la invasión del cauce, se muestra en las Figuras 29 y 30.



Figura 29. Presencia de estructuras en el cauce (Condición 3)

Fuente: PEEP (2018)



Figura 30. Presencia de estructuras en el cauce (Condición 3)

Fuente: PEEP (2018)

7.3.11 Intervención del cauce y/o contramedidas

Tipo de factor: factor humano

Descripción y daños:

Se refiere a la existencia de obras o de acciones realizadas en el cauce o sus márgenes con el fin de modificar su comportamiento hidráulico, geomorfológico o estructural. Las intervenciones incluyen dragados, canalizaciones, rectificaciones, revestimientos, construcción de espigones, muros de encausamiento, diques u otros. En los tipos de contramedidas o protecciones, pueden presentar varios beneficios:

- El dragado del cauce permite aumentar la capacidad hidráulica del cauce, ayuda a reducir el riesgo de inundación reduciendo la cantidad de sedimentos en el cauce.
- Canalización del cauce permite mejorar el control del flujo del río y con ello la erosión lateral o socavación.
- Protecciones ayudan a proteger los taludes y bastiones frente a la erosión.
- Espigones ayudan a redireccionar el flujo protegiendo zonas vulnerables.

Además de que su existencia es un indicio de que se han realizado cuidados para mitigar problemas existentes con la socavación y de reducir riesgos como el fallo del puente durante un evento de inundación (NYDoT, 2022). Sin embargo, como se menciona en el Ministerio de Fomento de España (2012), este tipo de medidas también pueden implicar la socavación a largo plazo, por lo que hay que considerar también estos efectos.

Procedimiento:

De existir evidencias sólidas de dragados, o la presencia de contramedidas, anotar la presencia de estas y del tipo que correspondan durante la revisión del estado de los márgenes.

Evaluación:

Cuadro 23. Evaluación de la intervención del cauce y contramedidas			
Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Adecuada	Verde	Cauce con pocas o nulas modificaciones. Se mantiene el flujo y la forma natural. Si existen intervenciones han sido mínimas y de mantenimiento.
2	Regular	Amarillo	Modificaciones parciales en el cauce, pero manteniendo su comportamiento natural, como dragados puntuales, canalización con taludes suaves
3	Inadecuada	Naranja	Modificación significativa del cauce o rectificaciones con concreto. Efectos visibles de erosión en el cauce debido a intervenciones mal realizadas.
4	Crítica	Rojo	Cauce completamente artificial. Taludes en los márgenes abruptos, sin estabilización. Riesgo alto de socavación o colapso. Presencia de intervenciones mal realizadas en el cauce.

Fuente: Elaboración propia

Ejemplos de la intervención del cauce o contramedidas, se muestra en las Figura 31.



Figura 31. Intervención en el cauce (Condición 3)

Fuente: PEEP (2018)

7.3.12 Estado de conservación del cauce

Tipo de factor: factor humano

Descripción y daños:

Corresponde a los trabajos de conservación del área circundante al puente con el fin de que se cuente con las condiciones adecuadas para su operación, mantenimiento, visibilidad, seguridad y acceso a la subestructura y al cauce.

Entre los daños presentes con un poco mantenimiento del cauce, sintetizan los anteriores factores como presencia de basura, vegetación, estado de los márgenes, presencia de residuos e intervenciones del cauce. Entre los daños producidos se encuentran:

- Bloqueo en el cauce.
- Exceso de vegetación.
- Acumulaciones u obstrucciones.
- Socavaciones en los márgenes.

Procedimiento:

Observar el mantenimiento general del cauce y valorarlo según la escala.

Evaluación:

Valor	Condición	Código de color	Descripción
1	Adecuada	Verde	El cauce se mantiene en buenas condiciones, limpio, cuidado, con la vegetación controlada, sin acumulación de basura o sedimentos.
2	Regular	Amarillo	El cauce presenta algunos detalles menores como vegetación o residuos, pero no afectan significativamente el cauce.
3	Inadecuada	Naranja	El entorno del puente se observa descuidado, con abandono parcial, basura acumulada, vegetación densa o sin control, accesos a la subestructura con deterioro.
4	Crítica	Rojo	Ausencia total de mantenimiento, presenta obstrucciones severas, sedimentación excesiva, vegetación invasiva, residuos acumulados, accesos a la subestructura sumamente limitados, posibles focos de inundación y otros problemas

Fuente: Elaboración propia

8. Esquemas y fotografías

8.1 Fotografías

Entre las fotografías mínimas a considerar son las siguientes:

8.1.1 Desde el puente

- Vista de las 4 zonas aledañas, las dos correspondientes aguas arriba y las dos aguas abajo, como en la Figura 32.



Figura 32. Vista de las zonas aledañas

Fuente: Elaboración propia

- Vista aguas arriba perpendicular a la dirección del puente (como evidencia para el ángulo de ataque, en caso de que no sea sesgado), como por ejemplo el de la Figura 33.



Figura 33. Vista del ángulo de ataque aguas arriba

Fuente: Elaboración propia

- Vista de los 4 márgenes vistas desde el puente, similar al de la Figura 34.



Figura 34. Vista de los márgenes

Fuente: Elaboración propia

- Vista del cauce aguas arriba y aguas abajo (Figura 35)



Figura 35. Vista aguas arriba y aguas abajo

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Del cauce

- Fotografía del lecho del río (para visualizar el material mayoritario del lecho), por ejemplo el mostrado en la Figura 36.



Figura 36. Vista del lecho del río

Fuente: Elaboración propia

- Vista frontal del bastión y el pilar u otro elemento donde se evidencie el nivel del agua máximo ocurrido o en su defecto el nivel actual, por ejemplo las manchas mostradas en la Figura 37.



Figura 37. Vista de los indicios de inundaciones

Fuente: Elaboración propia




- Fotografías para evidenciar las siguientes condiciones: presencia de basura, fauna presente, salida de las tuberías o alcantarillados que viertan su contenido al río, intervenciones en el cauce, presencia de estructuras que limiten el cauce y posibles bloqueos a la estructura.

8.2 Esquemas

Para la elaboración de los esquemas estos se hacen a mano alzada en el sitio, donde se contemple el puente y una aproximación de la forma del cauce a lo largo de las dos distancias D contempladas. Estos esquemas contemplarán:

- Nomenclatura de las juntas.
- Sentido del flujo con el ángulo de ataque del flujo aguas arriba.
- Distancia aproximada de la evaluación de los márgenes.
- Descripción del material del cauce.
- Anotar en las zonas aledañas el tipo correspondiente.
- Ubicación aproximada de árboles, vegetación, estructuras aledañas y de las zonas de descarga de la tuberías o alcantarillado.
- Ubicación aproximada de las protecciones en caso de que hubiera y/o presencia de deslizamientos en los márgenes naturales en caso de haber.
- Colocar la presencia de barras de sedimentos, obstrucciones como estructuras aledañas que limitan el cauce o acumulaciones de basura, troncos u otros, según corresponda, para ello se puede utilizar la simbología que se muestra en el Cuadro 25.
- Etiquetar todos los hallazgos para facilitar la comprensión.



Cuadro 25. Simbología para los esquemas	
Descripción	Símbolo
Barra de cauce	
Obstrucción (estructuras, árboles, troncos u otros que obstruyen el cauce)	
Acumulación (escombros o basura)	

Fuente: Elaboración propia basado en Ministerio de Fomento (2012)

Un ejemplo de esquema se muestra en la Figura 38.

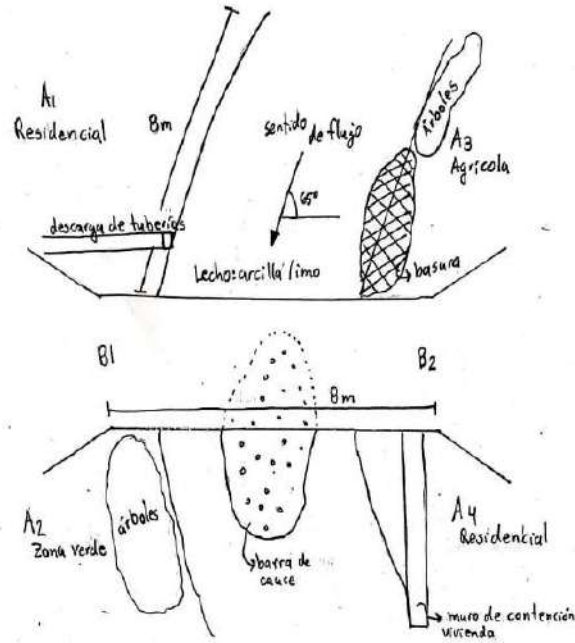



Figura 38. Ejemplo de esquema.

Fuente: Elaboración propia (2024)

9. Referencias bibliográficas

Alogdianakis F., Charmpis D. y Balafas I. (2020). *Macroscopic effect of distance from seacoast on bridge deterioration- Statistical data assessment of structural condition recordings.*
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.05.052>



Álvarez-González, S. G., y Villalobos-Vega, E. (2018). *Inspección especial del puente sobre el río Toro Amarillo Ruta Nacional n.º 32: Evaluación de la condición de las pilas (Proyecto n.º LM-PIE-UP-P04-2018)*. San José: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR.
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1429>

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (2013). *Diseño sismorresistente de Puentes*. <https://www.codigosismico.or.cr/images/lineamientos.pdf>

Dagá J., Chamorro A., de Solminihac H. y Echaveguren T. (2018). *Development of fragility curves for road bridges exposed to volcanic lahars*. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2111-2018>

Department of Transportation Wisconsin (2017). *Structure Inspection Chapter 8- Waterways*.
<https://wisconsindot.gov/dtsdManuals/strct/inspection/insp-fm-pt2ch8.pdf>

Holmes E. (2021). *Engineers at UVA finding, tracking bats under bridges*. [Fotografía]
<https://www.29news.com/2021/09/23/engineers-uva-finding-tracking-bats-under-bridges/>

Johanning D. (2021). *Revisión de la longitud de asiento de las vigas principales del viaducto de Circunvalación Norte, Ruta Nacional n.º 39*. DOI:
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/2301>

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales – Lanamme (2016). *Información de Inventario para Puentes en la Red Vial Nacional de Costa Rica*.
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1035/LM-PI-UP-02-2016%20Informaci%C3%B3n%20de%20inventario%20para%20puentes%20de%20la%20Red%20Vial%20Nacional%20de%20CR.pdf?sequence=1>

La Nación (2023). *2.000 casas corren enorme riesgo por deslizamiento activo a orillas del río Reventado en Cartago* [Fotografía]. <https://www.nacion.com/sucesos/desastres/2000-casas-corren-enorme-riesgo-por-deslizamiento/GDGNJ5FBJFHAPMBLITWSWHJ3VE/story/>

Ministerio de Fomento-Gobierno de España. (2012). *Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado*. Editorial de Publicaciones- Secretaría General Técnica.
https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/0870250.pdf





Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2007). *Manual de Inspección de Puentes*.
<https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/infraestructura/obraspublicas/puentes/manuales/inspeccion/manual-de-inspeccion-de-puentes-2007.pdf>

- 
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2024). *Manual de Puentes de Costa Rica Tomo I: Gestión, inspección y observación de puentes*.
<https://www.mopt.go.cr/destacados/planificacion-sectorial/normativa>
- Municipalidad de Desamparados (2020). 173 mil botellas plásticas se sacaron del cauce del río Cucubres. [Fotografía]. <https://www.desamparados.go.cr/es/the-city/news/ambiente/173-mil-botellas-plasticas-se-sacaron-del-cauce-del-rio-cucubres>
- New York Department of Transportation (2022). *Hydraulic Vulnerability Manual*.
https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/structures/repository/manuals/bridge_safety/NYSDOT_Hydraulic%20Vulnerability%20Manual_2022.pdf
- Ortiz, G., Páez G., Navarro A., Alfaro A. y Garita C. (2024). *Guía para la evaluación de puentes*.
<http://tec.ac.cr/guia-evaluacion-puentes>
- Ortiz-Quesada, G; Garita-Rodríguez, C; Navarro-Mora, A; Paez, G. Priorización de intervenciones en puentes utilizando indicadores. *Tecnología en Marcha*. Vol. 34-3 Julio-Setiembre 2021. Pág 134-142. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5120>
- Public Works and Government Services-Canadá. (2010). *Bridge Inspection Manual*.
https://buyandsell.gc.ca/cds/public/2021/05/28/1afa8d386ff1a2224333e8f59ea33331/appendix_h_-_pwgsc_-_bridge_inspection_manual_2010.pdf
- Rodríguez-Roblero M., Lobo-Aguilar S., Vargas-Alas L. y Castillo-Barahona R. (2021). *Impacto del terremoto de Limón de 1991 en el diseño estructural de puentes*.
<http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i65.46880>
- Rosow, M. (2012). *FHWA Bridge Inspector's Manual Section 11.1 and 11.2- Waterways*.
<https://pdhonline.com/courses/c488/FHWA%20Bridge%20Inspector's%20Manual%20Section%2011-1&2-Inspection%20of%20Waterways.pdf>
- Spennemann, D., Pike M. y Watson M. (2016). Effects of acid pigeon excreta on building conservation. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-09-2016-0023>
- Stanley K. (2024). *Reportaje de El Colectivo 506 sobre los ríos urbanos de Costa Rica recibe premio global*. [Fotografía]. <https://elcolectivo506.com/reportaje-de-el-colectivo-506-sobre-los-rios-urbanos-de-costa-rica-recibe-premio-global/>
- Transport and Road Research Laboratory. (2004). *Bridge Inspector's Handbook*.
<https://www.trl.co.uk/uploads/trl/documents/ORN7%20V2.pdf>
- Vargas-Alas, L. G., y Villalobos-Vega, E. (2017). Evaluación de la condición del puente sobre el río Jesús María Ruta Nacional n.º 27 (Proyecto n.º LM-PIE-UP-P18-2017). San José: Programa de Ingeniería Estructural, LanammeUCR

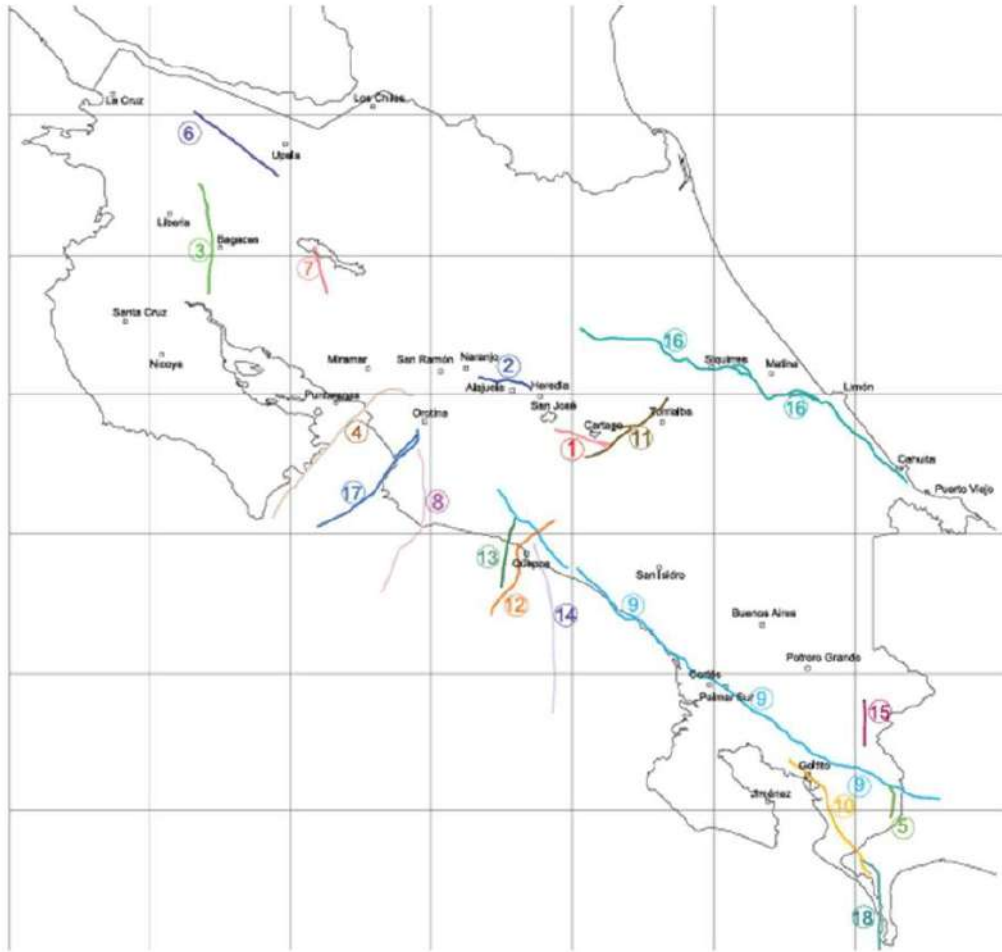


10. Anexos

10.1 Anexo 1: Fallas activas capaces de producir sismos mayores a Mw=6.5

Código de color	Número	Nombre	Provincia
	1	Aguacaliente Orosi	Cartago
	2	Alajuela	Alajuela
	3	Bagaces (♣)	Guanacaste
	4	Barranca	Puntarenas / San Jos
	5	Canoas	Puntarenas
	6	Caño Negro	Alajuela / Guanacaste
	7	Chiripa	Guanacaste
	8	Delicias	Puntarenas
	9	Falla Longitudinal	Puntarenas
	10	Golfito	Puntarenas
	11	Navarro	Cartago
	12	Paquita	Puntarenas
	13	Parrita (♣)	Puntarenas
	14	Quepos	Puntarenas
	15	San Vito	Puntarenas
	16	Siquirres - Matina	Limón
	17	Turkeyes	Puntarenas / San Jos
	18	Zona de Falla Media	Puntarenas

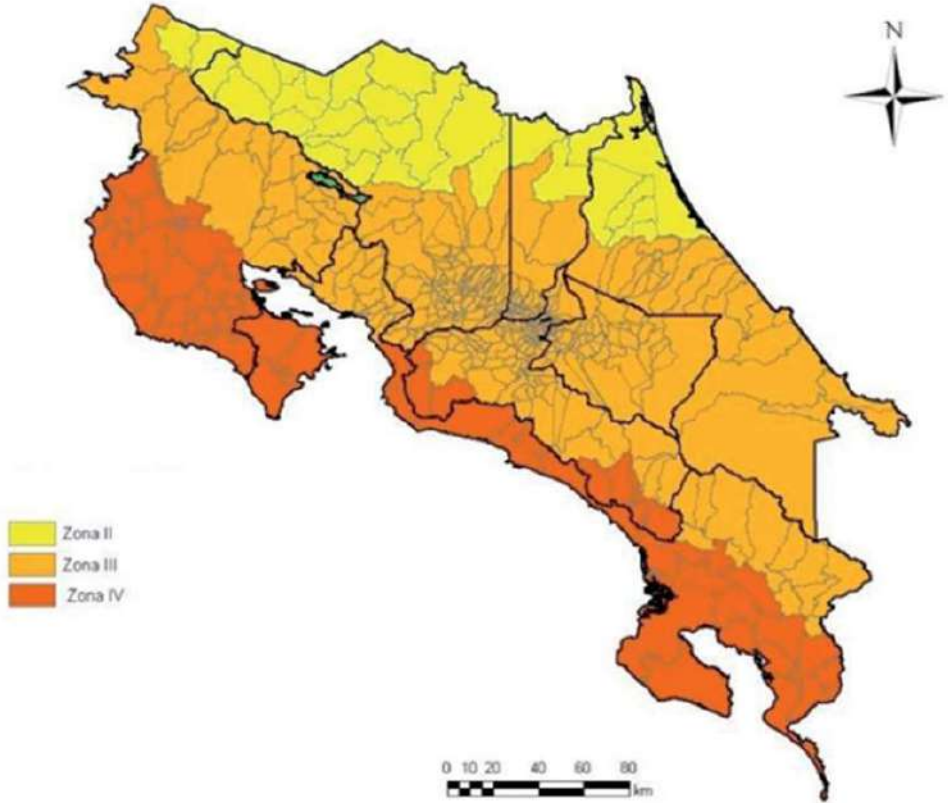
Fuente: Tomado de CFIA (2013)



Fuente: Tomado de CFIA (2013)



10.2 Anexo 2: Zonificación sísmica



Fuente: Tomado de CFIA (2013)

10.3 Anexo 3: Factores de importancia de puentes

Clasificación de importancia	Descripción	Valor
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. 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	<p>Puentes a lo largo de rutas primarias, secundarias y terciarias y caminos cantonales que no cumplen con los requisitos para puentes críticos y esenciales.</p>	1.00
Otros puentes	<p>Puentes temporales (vida útil menor o igual a 3 años). 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: Tomado de Ortiz et al. (2024)

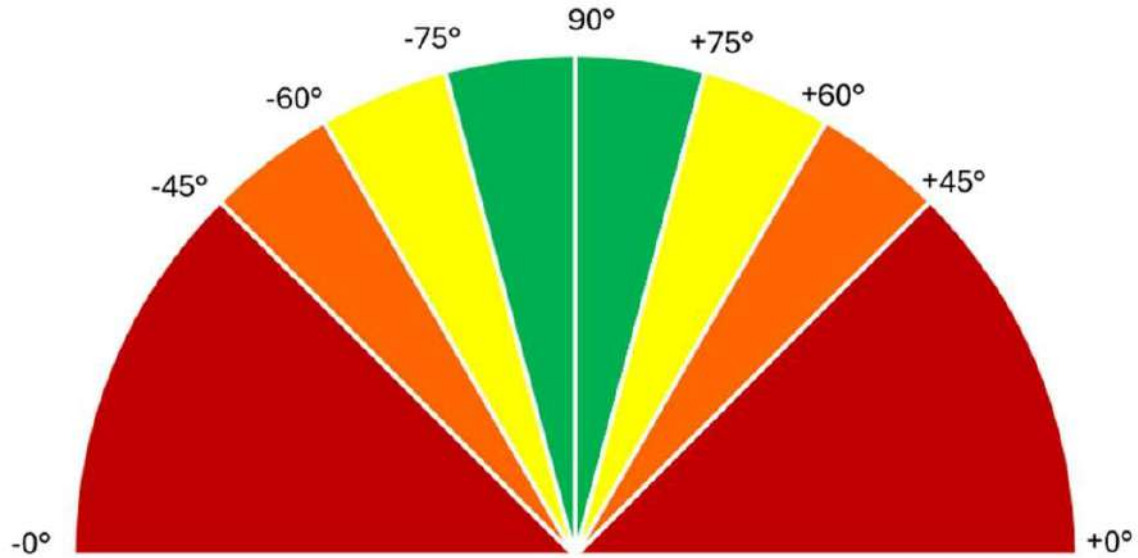
11. Apéndices

11.1 Apéndice 1: Lista de cantones por la exposición a entornos urbanos (a 2025)

Condición	Provincia	Cantones		
Alta	San José	San José Tibás Montes de Oca Curridabat		
Media	San José	Escazú Mora Alajuelita	Desamparados Goicoechea Vásquez de Coronado	Aserri Santa Ana Moravia
	Alajuela	Alajuela	Atenas	Poás
	Cartago	Cartago Oreamuno	Paraíso Alvarado	La Unión El Guarco
	Heredia	Heredia Santa Bárbara Belén	Barva San Rafael Flores	Santo Domingo San Isidro San Pablo
Baja	San José	Puriscal Turrubares	Tarrazú Dota León Cortés	Acosta Pérez Zeledón
	Alajuela	San Ramón Grecia San Mateo Naranjo	Zarcelero Sarchí Upala Los Chiles San Carlos	Palmares Guatuso Orotina Río Cuarto
	Cartago	Jiménez		Turrialba
	Heredia		Sarapiquí	
	Guanacaste	Liberia Tilarán Bagaces Hojancha	Abangares Santa Cruz La Cruz	Nicoya Nandayure Carrillo Cañas
	Puntarenas	Puntarenas Coto Brus Montes de Oro Puerto Jiménez	Golfito Buenos Aires Garabito Corredores Monteverde	Esparza Parrita Osa Quepos
	Limón	Limón Matina	Talamanca Siquirres	Pococí Guácimo



11.2 Apéndice 2: Ruleta de valoración de ángulo de ataque



11.3 Apéndice 3: Formularios de evaluación de los márgenes y lista de verificación

Se presenta:

- Formulario de inspección en campo
- Formulario de inspección en oficina
- Lista de verificación de factores, fotografías y esquemas.

Formulario de Inspección en campo Factores Externos a Puentes

Código del puente	Inspector
Nombre del puente	Fecha (año / mes / día)

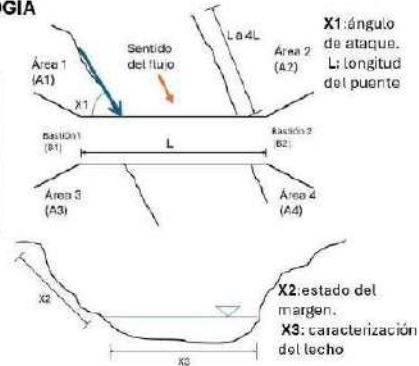
Ambiente Agresivo	Exposición	
	Sí	No
Ambiente contiguo a grandes plantaciones		

Usos de suelo (zonas aledañas)				
Áreas	Urb	Ver	Agr	Inf
A1				
A2				
A3				
A4				

Siglas:
 Urb: Urbana / residencial
 Ver: Zona verde / forestal
 Agr: Agrícola / ganadero
 Inf: Asentamiento informal

Margen	Estado de los márgenes (X2)							
	Natural				Artificial:			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A1								
A2								
A3								
A4								

SIMBOLOGÍA



Ángulo de ataque (X1)	°
Ancho de cauce aguas arriba	m
Ancho de cauce aguas abajo	m
Altura inferior libre	m
Longitud de asiento crítico	m

Tipo de cauce	
Sinuoso	<input type="checkbox"/>
Recto	<input type="checkbox"/>
Trenzado	<input type="checkbox"/>

Factor	Valoración			
	1	2	3	4
Socavación del cauce				
Elevación del cauce				
Presencia de vegetación				
Presencia de basura				
Manejo de aguas				
Invasión del cauce				
Intervención de cauce				
Mantenimiento del cauce				

Subestructura en contacto con el agua	Sí	No
Puente sesgado	Sí	No

Caracterización del cauce (X3)		
Arena	Bloques de piedra	
Grava	Roca	
Arcilla/limos		

Tipo de tráfico		
Motocicletas	Camiones de dos ejes	
Automóvil	Camiones no articulados	
Microbuses	Camiones articulados	
Autobuses	Bicicletas	
Otros:		

Fauna
Consulta a vecinos sobre inundaciones u otros fenómenos
Comentarios

Formulario en oficina sobre los factores externos a puentes

Código del puente		Inspector	
Nombre del puente		Fecha (año / mes / día)	

Ambiente Agresivo	Exposición		
	Baja	Media	Alta
Ambiente marino			
Ambiente expuesto a volcanes			
Ambiente urbano			
Ambiente cercano a plantaciones			

Factor	Valoración	
	1	5
Susceptibilidad a flujos de lodo		
Susceptibilidad a inundaciones		

Longitud de asiento

Factor de importancia del puente (I)	1,25	1,00	0,80

Longitud de asiento teórico	m
-----------------------------	---

Cálculo de la longitud de asiento teórica

Amenaza sísmica

Zonificación sísmica	II	III	IV

Tipo de suelo de cimentación	S1	S2	S3	S4

Coeficiente sísmico espectral (Ca)	
------------------------------------	--

Cercanía a falla activa menor a 5 km	Sí	No
--------------------------------------	----	----

Amenaza sísmica	
-----------------	--

Cálculo de la amenaza sísmica

Lista de verificación de inspección factores externos a puentes

Ap: Aplica. NA: No Aplica

Factores del estado del entorno		AP	NA
Ambientes agresivos	Ambiente marino		
	Ambiente volcánico		
	Ambiente urbano		
	Ambiente cercano a plantaciones		
Flujos de agua y/o lahares			
Actividad sísmica			
Uso de suelo (zonas aledañas)			
Factores del cauce		AP	NA
Inundaciones	Zona susceptible a inundaciones		
	Marcas de inundaciones		
Estado de los márgenes	Márgenes naturales		
	Presencia de protecciones		
Ancho del cauce	Aguas arriba		
	Aguas abajo		
Ángulo de ataque aguas arriba			
Caracterización del cauce	Material del lecho		
	Presencia de socavación del lecho		
	Presencia de elevación del lecho		
Tipo de cauce			
Factores químicos y contaminación		AP	NA
Presencia de basura			
Manejo de aguas			
Factores biológicos		AP	NA
Presencia de vegetación			
Presencia de fauna			
Factores humanos		AP	NA
Invasión del cauce			
Intervención del cauce y contramedidas			
Tráfico			
Mantenimiento rutinario del cauce			

Código del puente	
Nombre del puente	
Inspector	
Fecha (año/mes/día)	

Otros aspectos	AP	NA
Sesgo del puente		
Subestructura del puente en contacto con el agua		

Fotografías	AP	NA
Vista 4 zonas aledañas		
Evidencia ángulo de ataque		
Vista de los márgenes		
Vista del cauce aguas arriba		
Vista del cauce aguas abajo		
Fotografía del lecho		
Evidencia de las marcas de agua		
Evidencia de presencia de basura		
Evidencia de descargas de tuberías		
Intervenciones en el cauce		
Presencia de estructuras		

Esquemas	AP	NA
Nomenclatura de las juntas		
Sentido del flujo		
Distancia de evaluación de los márgenes		
Material del cauce		
Tipo zonas aledañas		
Ubicación árboles y/o vegetación		
Ubicación estructuras aledañas		
Ubicación protecciones		
Presencia de barras de cauce		
Presencia de acumulaciones		
Presencia de obstrucciones		

Apéndice 3 – Formularios y listas de verificación

Formulario de Inspección en campo Factores Externos a Puentes

Código del puente		Inspector	
Nombre del puente		Fecha (año / mes / día)	

Ambiente Agresivo	Exposición	
	Sí	No
Ambiente contiguo a grandes plantaciones		

Margen	Estado de los márgenes (X2)							
	Natural				Artificial:			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A1								
A2								
A3								
A4								

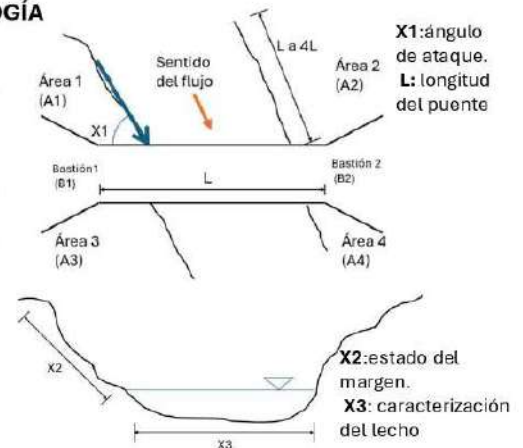
Usos de suelo (zonas aledañas)				
Áreas	Urb	Ver	Agr	Inf
A1				
A2				
A3				
A4				

Siglas:
Urb: Urbana / residencial
Ver: Zona verde / forestal
Agr: Agrícola / ganadero
Inf: Asentamiento informal

Ángulo de ataque (X1)	°
Ancho de cauce aguas arriba	m
Ancho de cauce aguas abajo	m
Altura inferior libre	m
Longitud de asiento crítico	m

Tipo de cauce	
Sinuoso	
Recto	
Trenzado	

SIMBOLOGÍA



Factor	Valoración			
	1	2	3	4
Socavación del cauce				
Elevación del cauce				
Presencia de vegetación				
Presencia de basura				
Manejo de aguas				
Invasión del cauce				
Intervención de cauce				
Mantenimiento del cauce				

Tipo de tráfico			
Motocicletas		Camiones de dos ejes	
Automóvil		Camiones no articulados	
Microbuses		Camiones articulados	
Autobuses		Bicicletas	
Otros:			

Subestructura en contacto con el agua		Sí	No
Puente sesgado		Sí	No

Caracterización del cauce (X3)			
Arena		Bloques de piedra	
Grava		Roca	
Arcilla/limos			

Fauna
Consulta a vecinos sobre inundaciones u otros fenómenos
Comentarios

Formulario en oficina sobre los factores externos a puentes

Código del puente		Inspector	
Nombre del puente		Fecha (año / mes / día)	

Ambiente Agresivo	Exposición		
	Baja	Media	Alta
Ambiente marino			
Ambiente expuesto a volcanes			
Ambiente urbano			
Ambiente cercano a plantaciones		/	

Factor	Valoración	
	1	5
Susceptibilidad a flujos de lodo		
Susceptibilidad a inundaciones		

Longitud de asiento

Factor de importancia del puente (I)	1,25	1,00	0,80

Longitud de asiento teórico	m
-----------------------------	---

Cálculo de la longitud de asiento teórica

Amenaza sísmica

Zonificación sísmica	II	III	IV

Tipo de suelo de cimentación	S1	S2	S3	S4

Coeficiente sísmico espectral (Ca)	
------------------------------------	--

Cercanía a falla activa menor a 5 km		Sí	No
--------------------------------------	--	----	----

Amenaza sísmica	
-----------------	--

Cálculo de la amenaza sísmica

Apéndice 4 – Resultados de las pruebas piloto

Apéndice 4.1 – Resultados Puente N° 1

A continuación, se muestra en el Cuadro Ap.4.1.1, la información básica del puente evaluado #1.

CUADRO Ap.4.1.1. Información básica del puente.				
Nombre del puente	Código	Ruta	Kilómetro	Encargado
Quebrada Guatuso	MGU024	Cantonal 3-08-153	2,91 km	Municipalidad de El Guarco
Localización				
Provincia	Cantón	Distrito	Latitud Norte	Longitud Oeste
Cartago	El Guarco	San Isidro	9° 49' 4,9"	83° 56' 49,3"
Ubicación:				
Fuente: Fotografía satelital tomada de Google Earth.				
Longitud total	Ancho total	Ancho vía acceso	Sesgo	Ancho de calzada
10,5 m	3,7 m	4,9 m	No	3,3 m

En el Cuadro Ap.4.1.2 se muestran los resultados obtenidos en la sección de los factores externos evaluados mediante mapas de amenazas y mapas satelitales.

CUADRO Ap.4.1.2. Evaluación de factores externos valorados en oficina		
Factor (tipo)	Evaluación	Justificación
Ambiente marino - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: el puente situado en la provincia de Cartago, a una distancia mayor a 3 km de la costa pacífica o atlántica.
Ambiente expuesto a influencia volcánica - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(3) Alta	Exposición alta: puente situado en un río, perteneciente a una cuenca con influencia volcánica por la caída de ceniza del Volcán Turrialba y la estructura se encuentra en interacción con el agua del río.
Ambiente expuesto a zonas urbanas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(2) Media	Exposición media: Puente ubicado en el cantón de El Guarco, perteneciente a la Gran Área Metropolitana.
Ambiente expuesto a plantaciones agrícolas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: El puente no está contiguo a grandes plantaciones agrícolas o fábricas de agroquímicos.
Susceptibilidad a flujos de lodo y/o lahares (Factor del estado del entorno)	(1). Baja	Amenaza baja: El río no posee amenazas de flujo de lodo
Susceptibilidad a inundaciones - Indicios de inundaciones (Factor del cauce)	(5) Alta	Amenaza alta: El puente se ubica en una zona susceptible a inundaciones

Mapa de riesgos

Aluivón (Volcán Irazú)
 Red vial
 Ríos y Quebradas
 Pliegues
 Fallas de Cuaternario
 Deslizamientos
 Pluma de ceniza viento predominante (Volcán Irazú)
 Flujos y lahares (Volcán Irazú)
 Peligro bajo por caída de cenizas y lluvia ácida (Volcán Turrialba)
 Áreas potencial a inundaciones
 Distritos

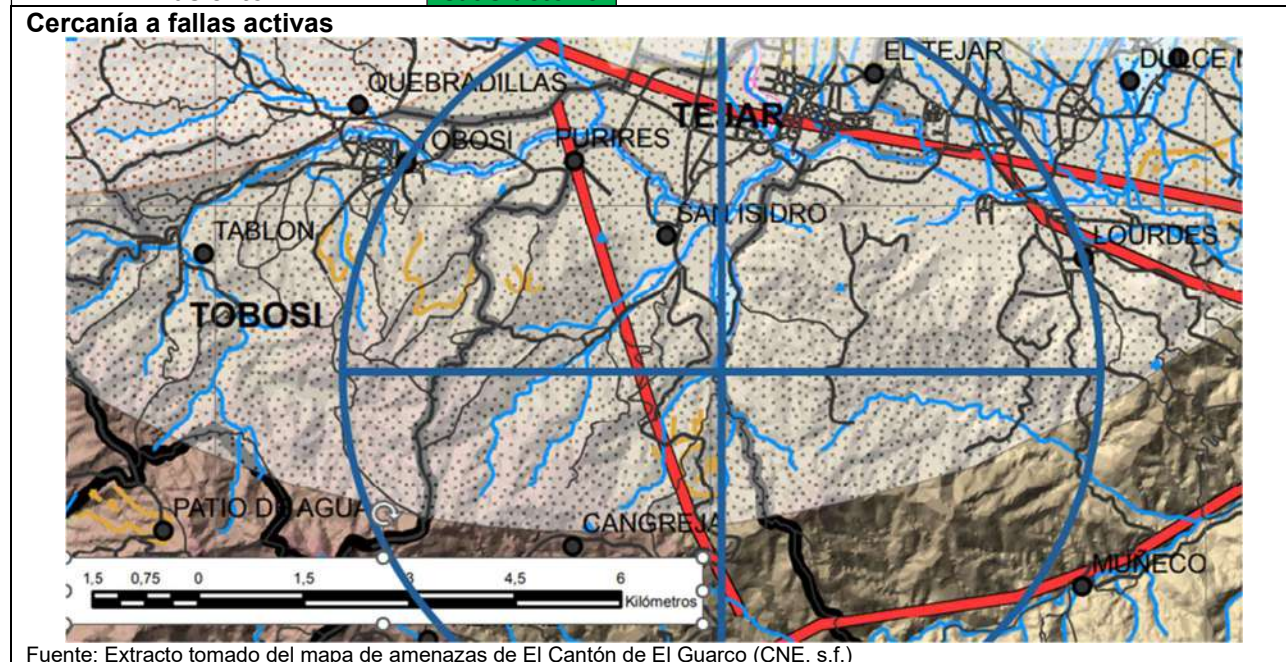
Fuente: Extracto tomado del mapa de amenazas de El Cantón de El Guarco (CNE, s.f.)

De estos factores, los que representan una importante amenaza para la estructura es el ambiente expuesto a zonas volcánicas, debido a que el puente se ubica en la cuenca del Reventazón y en esta cuenca se encuentra el volcán Irazú y el volcán Turrialba, además de ello, se puede observar en el mapa de riesgos, el puente está en una zona que puede verse afectado por la caída de cenizas y de lluvia ácida proveniente del volcán Turrialba, siendo su exposición alta para ambientes de zonas volcánicas, por lo que se recomienda un monitoreo del puente durante y después de emanaciones de cenizas o lluvia ácida en la erupción del

volcán Turrialba y que afecte directamente a la zona; y en el caso del riesgo por inundaciones, su riesgo es alto ya que este puente está al límite de una región detectada como vulnerable ante inundaciones.





A continuación, en el Cuadro Ap.4.1.3, se muestra los resultados de la actividad sísmica (factor del estado del entorno), con los datos obtenidos en el trabajo de oficina y con la longitud de asiento tomada en campo.

CUADRO Ap.4.1.3. Evaluación de la actividad sísmica		
Aspecto evaluado	Valor	Justificación
Zonificación sísmica	III	Puente perteneciente al cantón de El Guarco, por lo que su zonificación es III (CFIA,2013)
Tipo de suelo	S3	Se desconoce el tipo de suelo de cimentación, por lo que se eligió el más crítico.
Cercanía a una falla activa	Sí	Puente ubicado a menos de 5 km de la falla de Aguacaliente-Orosi
Amenaza sísmica	4,35	Amenaza sísmica calculada con el tipo de suelo, zonificación sísmica y la cercanía a una falla activa.
Importancia del puente	1,00	Puente convencional, al ser un puente en vía cantonal (CFIA, 2013)
Longitud de asiento teórica	0,33 m	Valor calculado con la importancia del puente, longitud de este y con un sesgo de 0.
Longitud de asiento medida en campo	0,50 m	Valor medido en campo.
Cumplimiento longitud de asiento	1 satisfactorio	Comparación entre la medición en campo y la teórica



En el análisis por la actividad sísmica, impera la amenaza sísmica sobre la longitud de asiento presente en el puente, siendo la amenaza sísmica de 4,35 considerándose una amenaza sísmica alta según los criterios dados en la guía de inspección.





Ahora bien, se presentan los resultados presentes en la inspección realizada en campo, comenzando con la visualización del uso de suelo de las zonas aledañas mostradas en el Cuadro Ap.4.1.4 y en el Cuadro Ap.4.1.5 se muestra la valoración del tipo de cauce presente y el ángulo de ataque correspondientes a factores del cauce.

CUADRO Ap.4.1.4. Uso de suelo zonas aledañas (factor del estado del entorno)			
Margen A1	Agrícola /ganadero	Margen A2	Zona Verde forestal
Observaciones		Observaciones	
Área comprendida por una zona de potrero		Zona verde compuesta principalmente por maleza.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Margen A3	Zona verde / forestal	Margen A4	Agrícola / ganadero
Observaciones		Observaciones	
Zona verde compuesta principalmente por maleza.		Zona comprendida por una pequeña hortaliza, que no llega a considerarse como plantación.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

CUADRO Ap.4.1.5. Evaluación tipo de cauce y ángulo de ataque (factor de cauce)		
Tipo de cauce	Ángulo de ataque	Valoración ángulo de ataque
Sinuoso	+ 75 °– 60 °	Aceptable
Observaciones		Observaciones
Se considera sinuoso debido a que posee curvas en las inmediaciones del puente		Ángulo que incide hacia el bastión 1. Sin embargo, el flujo de agua también incide notablemente en la pila que se encuentre en el sector del B2.
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica
		


En las zonas aledañas, el entorno del puente es principalmente rural, las zonas agrícolas se deben principalmente a ganadería o pequeñas hortalizas que no afectaría notablemente para considerarse una afectación por presencia de plantaciones agrícolas. El tipo de cauce se categoriza como sinuoso debido a la presencia de una curva tanto aguas arriba como aguas abajo, siendo previsible ya que la región cuenta con planicie. El ángulo de ataque es aceptable, sin embargo, por donde fluye el cauce socava la pila encontrada en el medio del puente.

En el Cuadro Ap.4.1.6, se muestra los resultados correspondientes al estado de los márgenes del cauce observados en el sitio.

CUADRO Ap.4.1.6. Estado de los márgenes (factor del cauce)			
Tipo de margen A1	Natural	Tipo de margen A2	Natural
Condición	(2) Aceptable	Condición	(1) Satisfactorio
Observaciones		Observaciones	
Márgenes ligeramente erosionados, con presencia de intervención donde se encuentra una especie de dique u escollera, con pérdidas de vegetación.		Márgenes con cubiertas con vegetación, no se encuentran indicios de socavación ni de desprendimientos.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Tipo de margen A3	Natural	Tipo de margen A4	Natural
Condición	(2) Aceptable	Condición	(1) Satisfactorio
Observaciones		Observaciones	
Zona con talud natural cubierta de maleza, con pequeños desprendimientos en las cercanías del bastión.		Margen natural con cubierta de maleza, no se observaron desprendimientos	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

Los márgenes A1 y A3 se encuentran en un estado aceptable mientras que en el caso de los márgenes A2 y A4 se encuentran en un estado satisfactorio, cabe acotar que el margen A1 se han realizado con anterioridad intervenciones pues se observan taludes realizados con el material del propio río con el fin de evitar el desbordamiento en el meandro que se forma en esa zona.


En el Cuadro Ap.4.1.7 observa los resultados obtenidos en las mediciones del ancho del cauce y de los indicios de inundación.

CUADRO Ap.4.1.7. Ancho de cauce e indicios de inundaciones (factor del cauce)			
Ancho aguas arriba	2,95 m	Estrechamiento	0,87
Ancho aguas abajo	3,40 m	Valoración estrechamiento	(1)
Altura inferior desde el máximo nivel	1,85 m	Valoración de la altura libre inferior del máximo nivel	(4)
Observaciones	Se evidenció el nivel del agua a partir de unas manchas observadas en la foto		
Evidencia fotográfica			
			

Los resultados obtenidos en las mediciones del ancho del cauce fueron realizadas a una distancia de 2 m aguas arriba y aguas abajo del puente, y arrojaron que el estrechamiento del cauce es menor a 0,9 lo que se encuentra en una calificación de 1 siendo la mejor posible en el caso de la valoración del estrechamiento. En el caso de los indicios de inundaciones, se midió, según indica la guía desde las marcas observables en la base de los cimientos hasta la zona inferior de las vigas de concreto pertenecientes a la superestructura, esta altura libre corresponde a 1,85 m, lo que significa una calificación de 4 de 5, siendo 5 un estado crítico, por lo que el puente cuenta con una valoración inaceptable para sobrellevar fuertes avenidas, aún más considerando que el puente se sitúa en una zona susceptible a inundaciones según el mapa de riesgos a amenazas naturales.

En el Cuadro Ap.4.1.8, se muestra los resultados obtenidos en la caracterización del cauce, comprendiendo el tipo de material del lecho, como la presencia de socavación o elevación del lecho.

CUADRO Ap.4.1.8. Caracterización del cauce (factor del cauce)



Tipo de material	Bloques de piedras		
Observaciones	Ninguna		
Evidencia fotográfica			
			
Socavación del lecho		Elevación del lecho	
Condición	Alteración severa	Condición	NA
Observaciones		Observaciones	
Indicios de socavación en el cauce, se observa si se compara con fotografías anteriores que el lecho de cauce ha bajado o ha sido intervenido, pues las fundaciones de los bastiones se encontraban cubiertas y ahora no, así mismo.		No se detectaron evidencias de elevación en el lecho, ni se presentan barras de cauce.	
Evidencia fotográfica			
			
Fotografía del puente en el 2018 (Fuente: PEEP, 2018)		Fotografía del puente, en el 2025	

El tipo de material mayoritario observado en el sitio corresponde a bloques de piedras, en el caso de la elevación o agradación del cauce debido a presencia de sedimentos, no se detectó señales de elevación

ya que no hay ni barras de cauce u otros indicios del depósito de sedimentos en el cauce. Lo que sí se evidenció es que el puente ha sufrido una degradación o erosión del cauce, se desconoce si fue de origen natural o como parte de una intervención realizada, pero si se compara la fotografía realizada en la inspección del 2018 a la actual, se visualiza que el cauce ha bajado su nivel notablemente en al menos unos 70 cm, considerando que, en la inspección realizada en el 2018, la altura libre inferior era de 1,14 m.




En el Cuadro Ap.4.1.9 se presenta los resultados obtenidos en la valoración de los factores biológicos correspondientes a la presencia de vegetación y de fauna y en el Cuadro Ap.4.1.10 los factores químicos y de contaminación.

CUADRO Ap.4.1.9. Evaluación factores biológicos		
Presencia de vegetación		Presencia de fauna
Condición	Regular	Fauna encontrada
Observaciones		No se detectó fauna, ni indicios de esta.
Zonas con exceso de maleza, no representan una obstrucción en el cauce		
Evidencia fotográfica vegetación		
		
Vegetación aguas arriba		Vegetación aguas abajo

CUADRO Ap.4.1.10. Evaluación factores químicos y contaminación			
Contaminación por basura		Manejo de aguas	
Condición	Aceptable	Condición	Inadecuada
Observaciones		Observaciones	
Cauce limpio, sin presencia de basura.		Descarga de pluvial en la zona A4, no existe protección en la descarga y esta ni siquiera se realiza directamente hasta el cauce, se deja que discurra por el margen, entrando por zonas de la subestructura.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			







En lo que respecta a la presencia de vegetación observada en el sitio, cabe resaltar que esta corresponde principalmente a maleza, que ayuda notablemente en la estabilización del margen, pero que requiere mantenimiento, no se presentaron árboles ni troncos cerca del cauce y que puedan representar un riesgo de desprendimiento durante grandes avenidas. En lo que respecta al manejo de agua se resaltan una descarga de una tubería en el margen A3, que al momento de la inspección no vertía ningún líquido, pero por su altura se denota que existe socavación local en la zona de la caída del agua, y la salida del alcantarillado pluvial en el margen A4, que es una salida sin protección y que no descarga directamente en el cauce si no que lo hace varios metros atrás provocando que se forme un camino que ingresa por la zona de la pila y del bastión.

En el Cuadro Ap.4.1.11, se observa los resultados obtenidos en la valoración de los factores humanos.





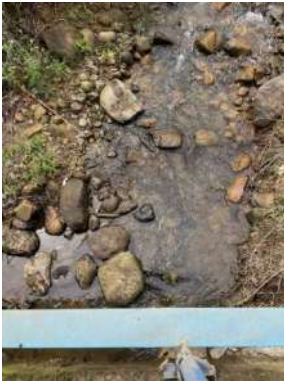


CUADRO Ap.4.1.11. Evaluación de los factores humanos			
Invasión del cauce		Intervención del cauce y contramedidas	
Condición	Adecuada	Condición	Regular
Observaciones		Observaciones	
Nula invasión de estructuras en el cauce. Más allá de una especie de espigones “caseros” de piedras del propio cauce.		Existe evidencias que el cauce se ha modificado en el margen A1, construyendo una especie de talud con el fin de que el río no se desborde en esa zona, se encuentra en condiciones regulares a deficientes.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Estado de conservación del cauce		Tipo de tráfico	
Condición	Regular	Tipos de tráfico	Motocicletas. Bicicletas. Automóviles livianos. Camiones de dos ejes.
Observaciones			
El cauce presenta en ciertos márgenes con maleza alta, sin embargo, los accesos hacia los bastiones se mantienen limpios. No hay residuos de basura, pero se detectaron una especie de espigones con las mismas piedras del río dentro del cauce.			
Fotografía			
			


En el puente no se observó ninguna invasión por alguna estructura, lo que sí se detectó fue la intervención en el cauce principalmente en el margen A1, donde se extrajo material para formar una especie de dique para impedir el desbordamiento del cauce. En mantenimiento, el cauce se encuentra de manera regular, no ha basura, ni escombros, pero si existen zonas con maleza alta.

En los siguientes Cuadros Ap.4.1.12, Ap.4.1.13 y Ap.4.1.14 se muestran las fotografías solicitadas en la guía de inspección y en el Cuadro Ap.4.1.15 el esquema realizado del cauce con los elementos recomendados en la guía.

CUADRO Ap.4.1.12. Fotografías obligatorias inspección Puente #1	
Uso de suelo de las zonas aledañas	
Área 1	Área 2
	
Área 3	Área 4
	
Vista del cauce	
Aguas arriba	Aguas abajo
	

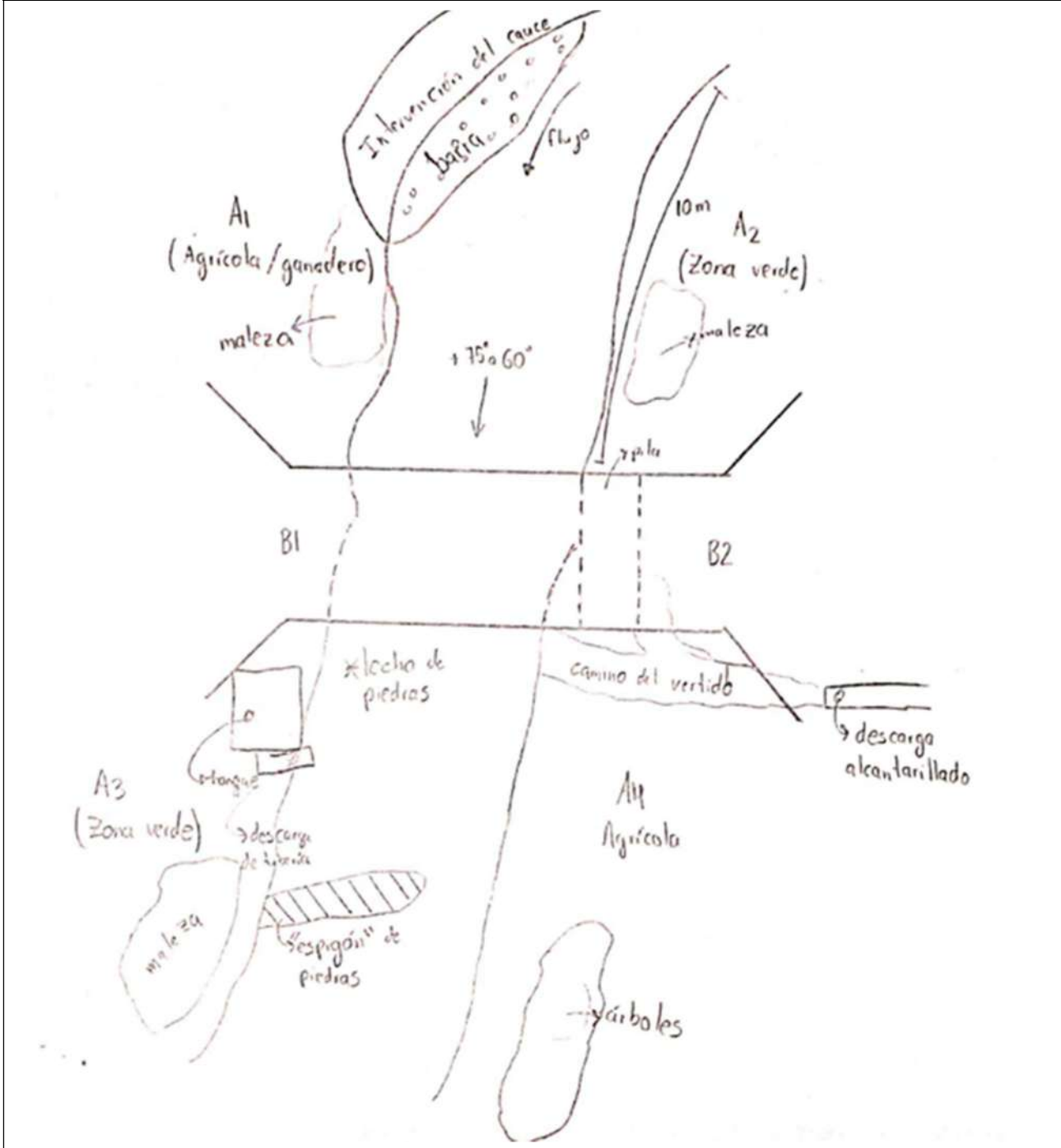
CUADRO Ap.4.1.13. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puesto #1

Estado de los márgenes	
Margen A1	Margen A2
	
Margen A3	Margen A4
	
Vista perpendicular (ángulo de ataque)	Vista material del lecho
	
Marcas de inundaciones	
	

CUADRO Ap.4.1.14. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puente #1	
Presencia de vegetación	
Vegetación aguas abajo	Vegetación aguas arriba
	
Manejo de aguas	
Descarga de alcantarillado A4	Descarga tuberías A3
	
Intervención del cauce	
Intervención del cauce en A1	
	

CUADRO Ap.4.1.15. Esquema del cauce Puesto #1

Esquema



Observaciones

Esquema donde se indica la presencia de la vegetación, tipología el uso de suelo en los alrededores, ubicación de las descargas de la tubería y alcantarillado, sentido del flujo e intervenciones del cauce.

Apéndice 4.2 – Resultados Puente N° 2

A continuación, se muestra en el Cuadro Ap.4.2.1, la información básica del puente evaluado #2.

CUADRO Ap.4.2.1. Información básica del puente.				
Nombre del puente	Código	Ruta	Kilómetro	Encargado
Quebrada Guatuso	MGU025	Cantonal 3-08-070	1,66 km	Municipalidad de El Guarco
Localización				
Provincia	Cantón	Distrito	Latitud Norte	Longitud Oeste
Cartago	El Guarco	San Isidro	9° 49' 10,2"	83° 56' 49.6"
Ubicación:				
Fuente: Fotografía satelital tomada de Google Earth				
Longitud total	Ancho total	Ancho vía acceso	Sesgo	Ancho de calzada
5,46 m	4,55 m	6,8 m	No	3,75 m

A continuación, se presenta en el Cuadro Ap.4.2.2 los resultados obtenidos en la sección de los factores externos evaluados mediante mapas de amenazas y mapas satelitales para el puente 2.

CUADRO Ap.4.2.2. Evaluación de factores externos valorados en oficina		
Factor (tipo)	Evaluación	Justificación
Ambiente marino - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: el puente situado en la provincia de Cartago, a una distancia mayor a 3 km de la costa pacífica o atlántica.
Ambiente expuesto a influencia volcánica - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(3) Alta	Exposición alta: puente situado en un río, perteneciente a una cuenca con influencia volcánica por la caída de ceniza del Volcán Turrialba y la estructura se encuentra en interacción con el agua del río.
Ambiente expuesto a zonas urbanas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(2) Media	Exposición media: Puente ubicado en el cantón de El Guarco, perteneciente a la Gran Área Metropolitana.
Ambiente expuesto a plantaciones agrícolas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: El puente NO está contiguo a grandes plantaciones agrícolas o fábricas de agroquímicos.
Susceptibilidad a flujos de lodo y/o lahares (Factor del estado del entorno)	(1). Baja	Amenaza baja: El río NO posee amenazas de flujo de lodo
Susceptibilidad a inundaciones - Indicios de inundaciones (Factor del cauce)	(5) Alta	Amenaza alta: El puente se ubica en una zona susceptible a inundaciones

Mapa de riesgos

- Aluivón (Volcán Irazú)
- Red vial
- Ríos y Quebradas
- Pliegues
- Fallas de Cuaternario
- Deslizamientos
- Pluma de ceniza viento predominante (Volcán Irazú)
- Flujos y lahares (Volcán Irazú)
- Peligro bajo por caída de cenizas y lluvia ácida (Volcán Turrialba)
- Áreas potencial a inundaciones
- Distritos

Fuente: Extracto tomado del mapa de amenazas de El Cantón de El Guarco (CNE, s.f.)

De estos factores, los que representan una importante amenaza para la estructura son el ambiente expuesto a zonas volcánicas y la susceptibilidad de la zona a inundaciones, en caso del ambiente agresivo por volcanes es debido a que el puente se ubica en la cuenca del Reventazón y en esta cuenca se cuenta con la existencia del volcán Irazú y el volcán Turrialba, además de ello, se puede observar en el mapa de riesgos, el puente está en una zona que puede verse afectado por la caída de cenizas y de lluvia ácida


proveniente del volcán Turrialba, lo que implica que su exposición es alta, por lo que se recomienda un monitoreo del puente durante y después de emanaciones de cenizas o lluvia ácida en la erupción del volcán Turrialba y que afecten directamente a esta zona. En el caso del riesgo por inundaciones, su susceptibilidad es alta, debido a que el puente se encuentra en una zona propensa a inundaciones según el mapa de amenazas.



En el Cuadro Ap.4.2.3, se muestra los resultados de la actividad sísmica, con los datos obtenidos en el trabajo de oficina y con la longitud de asiento tomada en campo.

CUADRO Ap.4.2.3. Evaluación de la actividad sísmica		
Aspecto evaluado	Valor	Justificación
Zonificación sísmica	III	Puente perteneciente al cantón de El Guarco, por lo que su zonificación es III (CFIA,2013)
Tipo de suelo	S3	Se desconoce el tipo de suelo de cimentación
Cercanía a una falla activa	Sí	Puente ubicado a menos de 5 km de la falla de Aguacaliente-Orosi
Amenaza sísmica	4,35	Amenaza sísmica calculada con el tipo de suelo, zonificación sísmica y la cercanía a una falla activa.
Importancia del puente	1,00	Puente convencional, al ser un puente en vía cantonal (CFIA, 2013)
Longitud de asiento teórica	0,32 m	Valor calculado con la importancia del puente, longitud de este y con un sesgo de 0.
Longitud de asiento medida en campo	0,50 m	Valor medido en campo.
Cumplimiento longitud de asiento	1 satisfactorio	Comparación entre la medición en campo y la teórica
Cercanía a fallas activas		
<p>El mapa muestra el territorio del cantón de El Guarco con varias fallas activas representadas por líneas rojas. Se destacan localidades como Quebradillas, Tobosi, Purires, El Tejar, Duce, Lourdes, San Isidro, Cangrejal y Misneco. Una zona central está delimitada por una línea púrpura. En la parte inferior izquierda hay una escala de kilómetros que va de 0 a 6.</p>		
Fuente: Extracto tomado del mapa de amenazas de El Cantón de El Guarco (CNE, s.f.)		

En el análisis por la actividad sísmica, la amenaza sísmica es más crítica que en el caso de la longitud de asiento presente en el puente, se detectó la cercanía del puente a la falla Aguacaliente – Orosi gracias al mapa de amenazas y se supuso un suelo tipo S3, por lo que se obtuvo una amenaza sísmica de 4,35 representando una amenaza sísmica alta según los criterios dados en la guía.

Ahora bien, se presentan los resultados presentes en la inspección realizada en campo, empezando con la visualización del uso de suelo de las zonas aledañas mostradas en el Cuadro Ap.4.2.4 y en el Cuadro Ap.4.2.5, se muestra la valoración del tipo de cauce presente y el ángulo de ataque.


CUADRO Ap.4.2.4. Uso de suelo zonas aledañas (factor del estado del entorno)			
Margen A1	Residencial	Margen A2	Residencial
Observaciones		Observaciones	
Presencia de una vía pública cantonal		Presencia de las instalaciones de una iglesia católica.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Margen A3	Zona verde / forestal	Margen A4	Zona verde / forestal
Observaciones		Observaciones	
Presencia de una zona con maleza		Presencia de un lote baldío bien cuidado, sin maleza.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

CUADRO Ap.4.2.5. Evaluación tipo de cauce y ángulo de ataque (factor del cauce)		
Tipo de cauce	Ángulo de ataque	Valoración ángulo de ataque
Recto	-60 ° a - 75°	Acceptable
Observaciones		Observaciones
Zona del cauce donde los márgenes se mantiene paralelos sin embargo cuenta con una inclinación hacia el bastión B2.		Ángulo de ataque que incide hacia el bastión B2.
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica
		

En las zonas aledañas observadas, el puente se encuentran zonas verdes en los márgenes A3 y A4, siendo en A3 una zona con maleza y en A4 un lote baldío, y la presencia de estructuras en el A1 y A2, resaltando una iglesia católica en el margen A2 y en el A1 la presencia de una vía pública. El tipo de cauce se categoriza como recto debido que, aunque existe una curva de río en cercano aguas arriba el resto del cauce, los márgenes se mantienen de forma recta y paralela, donde el río fluye por el medio.

En el Cuadro Ap.4.2.6, se muestra el estado de los márgenes del cauce y en el Cuadro Ap.4.2.7 el ancho del cauce y los indicios de inundación.

CUADRO Ap.4.2.6. Estado de los márgenes (factor del cauce)			
Tipo de margen A1	Natural	Tipo de margen A2	Natural
Condición	Acceptable	Condición	Satisfactorio
Observaciones		Observaciones	
Margen natural, con taludes rectos, presenta un alto volumen de vegetación, se detectó la presencia de una sección de un muro de gaviones, pero no se observa la longitud de este, el estado de esta sección se encuentra con grave deterioro debido a que la malla se encuentra rota.		Margen natural con vegetación tipo maleza y con algunos árboles, sin presencia notable de erosión ni desprendimientos	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Tipo de margen A3	Natural	Tipo de margen A4	Natural
Condición	Satisfactorio	Condición	Acceptable
Observaciones		Observaciones	
Margen natural, cubierta de vegetación, se observa, pequeñas zonas sin cobertura, pero no presenta desprendimientos ni indicios de erosión.		Zonas con pequeñas pérdidas de vegetación, con indicios de desprendimiento y piedras sueltas.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

CUADRO Ap.4.2.7. Ancho de cauce e indicios de inundaciones (factor del cauce)			
Ancho aguas arriba	2,0 m	Estrechamiento	0,57
Ancho aguas abajo	3,50 m	Valoración estrechamiento	(1)
Altura inferior desde el máximo nivel	2,36 m	Valoración de la altura libre inferior del máximo nivel	(4)
Observaciones	Altura libre inferior del máximo nivel se consideró manchas de agua situadas en la base del bastión.		
Evidencia fotográfica			
			

Los resultados obtenidos en el ancho del cauce arrojan que el estrechamiento del cauce es menor a 0,9 lo que se encuentra en una calificación de 1 siendo la mejor posible en el caso de la valoración del estrechamiento. En el caso de los indicios de inundaciones, debido a la existencia de manchas en la base de los bastiones, se determina la altura libre, siendo esta de 2,36 m, por lo que se le otorga una calificación de 4 de 5, siendo 5 una calificación deficiente, este valor debido ya que es menor a 3 m, por lo que el puente cuenta con una valoración inaceptable para sobrellevar fuertes avenidas, aún más considerando que el puente se sitúa en una zona susceptible a inundaciones.

En el Cuadro Ap.4.2.8, se muestra los resultados obtenidos en la caracterización del cauce, comprendiendo el tipo de material del lecho, como la presencia de socavación o elevación del lecho.

CUADRO Ap.4.2.8. Caracterización del cauce (factor del cauce)

Tipo de material	Bloques de piedra
Observaciones	El puente también presenta en la salida del puente un recubrimiento de concreto.

Evidencia fotográfica



Socavación del lecho

Elevación del lecho

Condición	Estable	Condición	Estable
Observaciones		Observaciones	
No se presenta ninguna degradación importante en el cauce.		No se presenta una elevación del cauce o barras de sedimentos en el lecho.	

Evidencia fotográfica



El tipo de material mayoritario del lecho del cauce corresponden a bloques de piedras; en el caso de la elevación del cauce no se detectó señales de elevación ya que no hay ni barras de cauce u otros indicios de elevación importantes. Del mismo modo no se encontraron indicios importantes de socavación del lecho lo que le confiere un estado estable en ambos rubros.

En el Cuadro Ap.4.2.9 se presenta los resultados obtenidos en la valoración de los factores biológicos de la presencia de vegetación y de fauna y en el Cuadro Ap.4.2.10 los factores químicos y de contaminación.




CUADRO Ap.4.2.9. Evaluación factores biológicos			
Presencia de vegetación		Presencia de fauna	
Condición	Regular	Fauna encontrada	
Observaciones		No se detectó fauna, ni indicios de esta.	
Presencia importante de maleza de gran tamaño en los 4 márgenes, zonas sin vegetación en el margen A4 y presencia de árboles y matas de plátano en el margen A2 en la orilla del cauce del río.			
Evidencia fotográfica			
			

CUADRO Ap.4.2.10. Evaluación factores químicos y contaminación			
Contaminación por basura		Manejo de aguas	
Condición	Adecuada	Condición	Adecuada
Observaciones		Observaciones	
Nula presencia de basura en el cauce, más que un par de elementos de basura aguas abajo.		No se detectó la presencia de descargas de alcantarillados o tuberías en el cauce.	

En lo que respecta a la presencia de vegetación, cabe resaltar que está compuesta principalmente maleza, que ayuda notablemente en la estabilización del margen, pero que requiere mantenimiento, hay presencia de árboles y matas de plátano en el margen A2 que podría ser susceptibles durante grandes

avenidas, ya que se encuentran en la orilla del cauce. En lo que respecta al manejo de aguas no se reportaron descargas de ningún tipo y tampoco ha presencia basura, más allá de un par de residuos aguas abajo, que no representan una acumulación grave en el cauce del río.

En el Cuadro Ap.4.2.11, se observa los resultados obtenidos en la valoración de los factores humanos

CUADRO Ap.4.2.11. Evaluación de los factores humanos			
Invasión del cauce		Intervención del cauce y contramedidas	
Condición	Regular	Condición	Adecuada
Observaciones		Observaciones	
Presencia de un muro de contención colapsado en el margen A4 que puede caer sobre el cauce.		No se detectó intervenciones realizadas en el cauce.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Estado de conservación del cauce		Tipo de tráfico	
Condición	Regular	Tráfico	Motocicletas Automóviles Microbuses Autobuses Camiones de dos ejes Camiones no articulados Bicicletas.
Observaciones			
Cauce con zonas con maleza alta, presencia de troncos y escombros aguas abajo del puente.			
Evidencia fotográfica			
			








En el cauce aguas abajo del puente se presenta una estructura de mampostería colapsada que si bien es cierto no representa aún una invasión al cauce, lo limita y con su desplome durante una fuerte avenida puede significar una obstrucción. No se detectó ninguna intervención en el cauce. En mantenimiento, el cauce se encuentra de manera regular, no se encuentran indicios de basura, ni escombros, pero si se encuentran

zonas con excesiva maleza, que puede dificultar el acceso al cauce, además de la presencia de estructuras deterioradas como el muro de gaviones aguas arriba del bastión B1 como el del muro de mampostería aguas abajo en el bastión 2, que funge de soporte de tuberías de cableado.

En los siguientes Cuadros Ap.4.2.12, Ap.4.2.13 y Ap.4.2.14, se encuentran las fotografías y en el Cuadro Ap.4.2.15, se encuentra el esquema del cauce, mencionadas en la guía de inspección.

CUADRO Ap.4.2.12. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puente #2	
Uso de suelo de las zonas aledañas	
Área 1	Área 2
	
Área 3	Área 4
	
Vista del cauce	
Aguas arriba	Aguas abajo
	

CUADRO Ap.4.2.13. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puesto #2

Estado de los márgenes	
Margen A1	Margen A2
	
Margen A3	Margen A4
	
Vista perpendicular (ángulo de ataque)	Vista material del lecho
	
Marcas de inundaciones	
	

CUADRO Ap.4.2.14. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puesto #2

Presencia de vegetación

Vegetación aguas arriba

Vegetación aguas abajo



Invasión del cauce

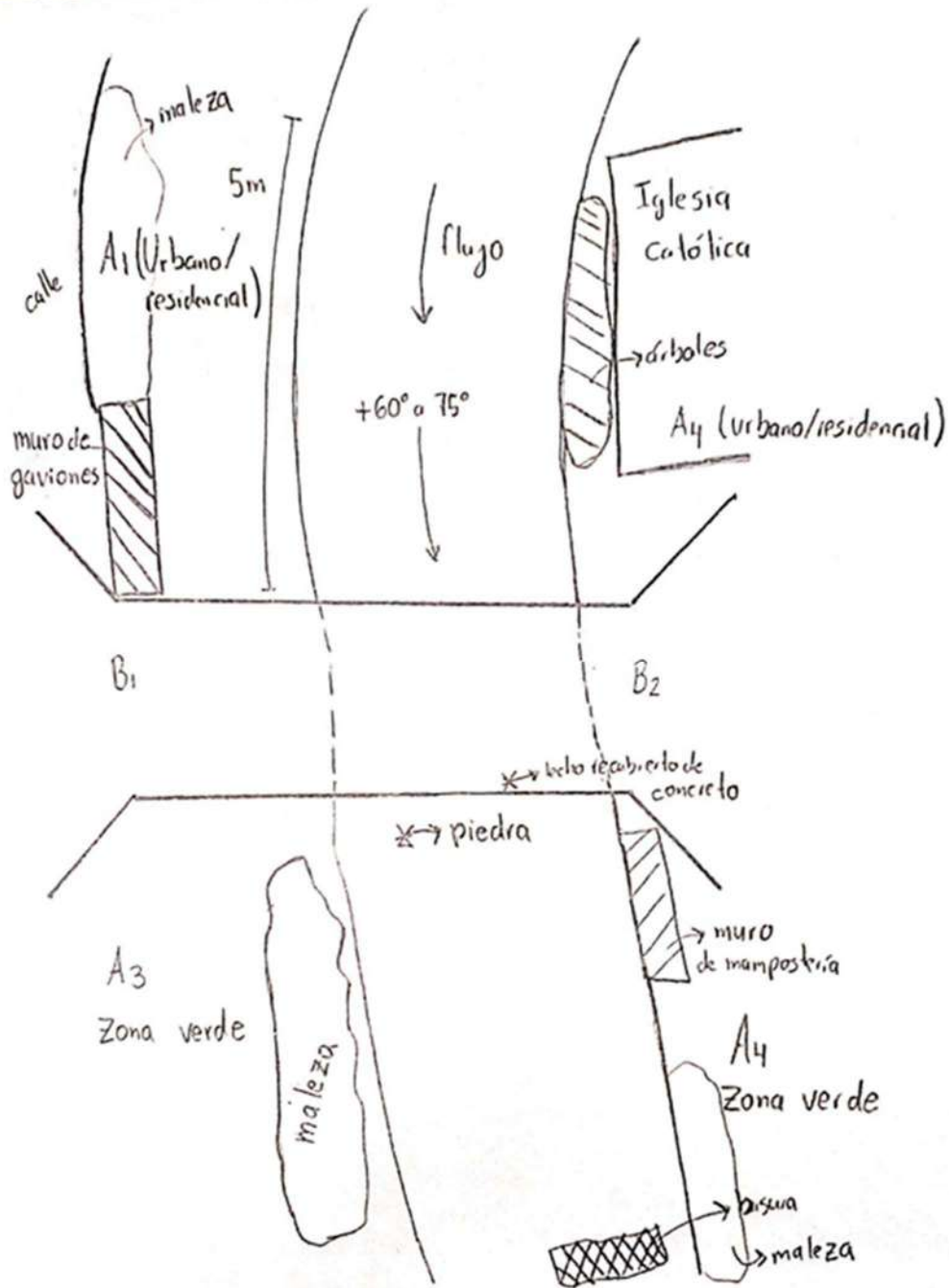
Presencia muro de gaviones A1

Presencia de muro de mampostería en A4



CUADRO Ap.4.2.15. Esquema del cauce Puesto #2

Esquema

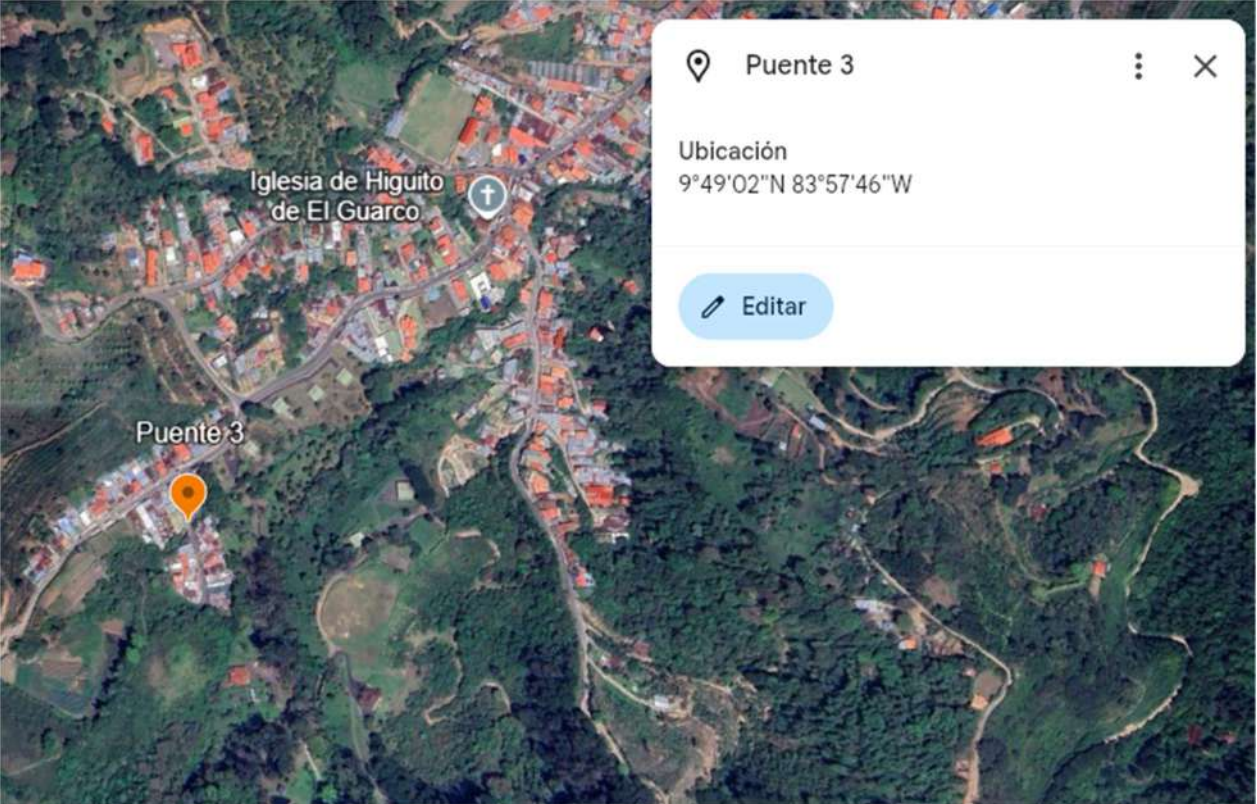


Observaciones

Esquema del cauce, se indica la ubicación de la vegetación existente, estructuras y tipos de las zonas aledañas, sentido del flujo y la ubicación de las estructuras aledañas al cauce.

Apéndice 4.3 – Resultados Puesto N° 3












A continuación, se muestra en el Cuadro Ap.4.3.1, la información básica del puente evaluado #3.

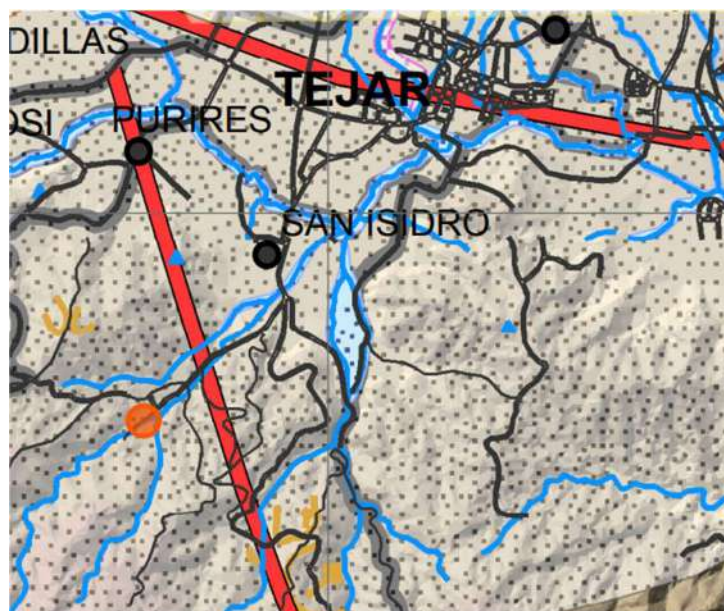
CUADRO Ap.4.3.1. Información básica del puente.				
Nombre del puente	Código	Ruta	Kilómetro	Encargado
Quebrada El Pedregal	Desconocida	Desconocida	-	Desconocido
Localización				
Provincia	Cantón	Distrito	Latitud Norte	Longitud Oeste
Cartago	El Guarco	San Isidro	9° 49' 0.2"	83° 57' 46"
Ubicación:				
				
Fuente: Fotografía satelital tomada de Google Earth				
Longitud total	Ancho total	Ancho vía acceso	Sesgo	Distancia inspección
5,46 m	4,55 m	6,8 m	No	5,5 m

A continuación, se presenta en el Cuadro Ap.4.3.2 los resultados obtenidos en la sección de los factores externos evaluados mediante mapas de amenazas y mapas satelitales.

CUADRO Ap.4.3.2. Evaluación de factores externos valorados en oficina		
Factor (tipo)	Evaluación	Justificación
Ambiente marino - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: el puente situado en la provincia de Cartago, a una distancia mayor a 3 km de la costa pacífica o atlántica.
Ambiente expuesto a influencia volcánica - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(3) Alta	Exposición alta: puente situado en un río, perteneciente a una cuenca con influencia volcánica por la caída de ceniza del Volcán Turrialba y la estructura se encuentra en interacción con el agua del río.
Ambiente expuesto a zonas urbanas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(2) Media	Exposición media: Puente ubicado en el cantón de El Guarco, perteneciente a la Gran Área Metropolitana.
Ambiente expuesto a plantaciones agrícolas - ambiente agresivo (Factor del estado del entorno)	(1) Baja	Exposición baja: El puente NO está contiguo a grandes plantaciones agrícolas o fábricas de agroquímicos.
Susceptibilidad a flujos de lodo y/o lahares (Factor del estado del entorno)	(1). Baja	Amenaza baja: El río NO posee amenazas de flujo de lodo
Susceptibilidad a inundaciones - Indicios de inundaciones (Factor del cauce)	(1) Baja	Amenaza baja: El puente NO se ubica en una zona susceptible a inundaciones.

Mapa de riesgos

-  Aluvión (Volcán Irazú)
-  Red vial
-  Ríos y Quebradas
-  Pliegues
-  Fallas de Cuaternario
-  Deslizamientos
-  Pluma de ceniza viento predominante (Volcán Irazú)
-  Flujos y lahares (Volcán Irazú)
-  Peligro bajo por caída de cenizas y lluvia ácida (Volcán Turrialba)
-  Áreas potencial a inundaciones
-  Distritos



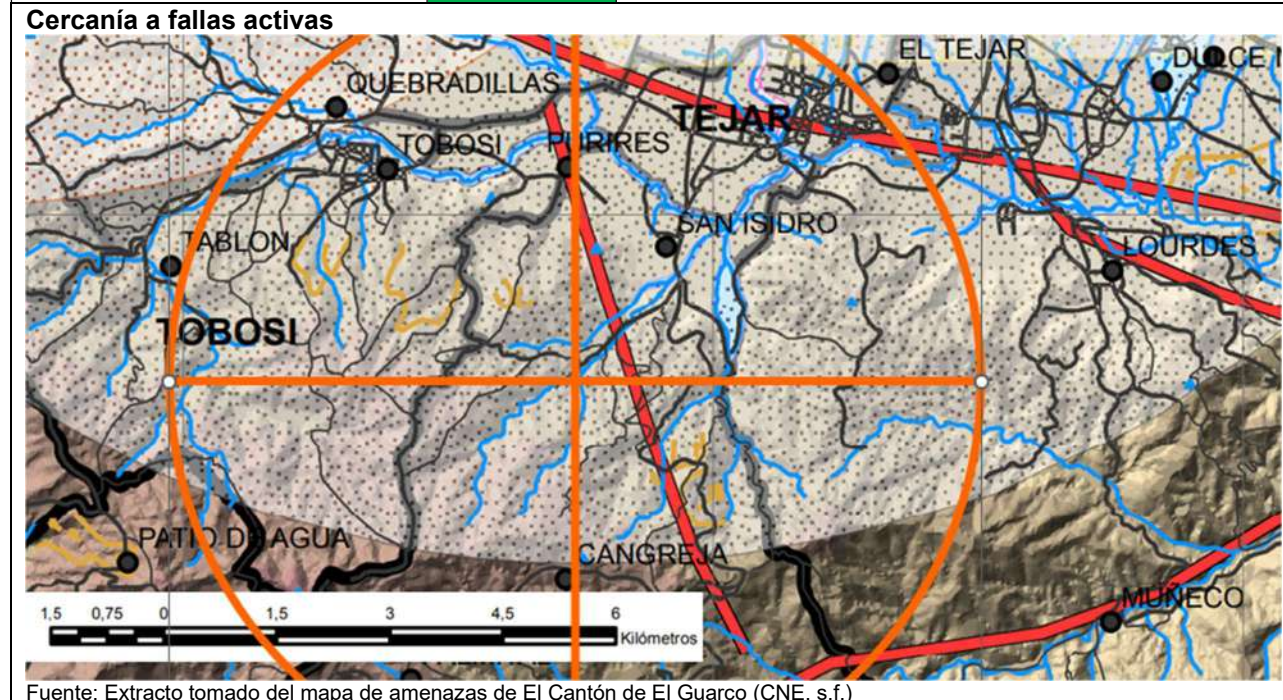
Fuente: Extracto tomado del mapa de amenazas de El Cantón de El Guarco (CNE, s.f.)

De los anteriores factores, el que representa una mayor amenaza para la estructura es el ambiente expuesto a zonas volcánicas, debido a que el puente se ubica en la cuenca del Reventazón y en esta cuenca se encuentra el volcán Irazú y el volcán Turrialba, además de ello, se puede observar en el mapa de riesgos, el puente está en una zona que puede verse afectado por la caída de cenizas y de lluvia ácida proveniente del volcán Turrialba, por lo que su exposición es alta, por lo que se recomienda un monitoreo del puente durante y después de emanaciones de cenizas o lluvia ácida en la erupción del volcán Turrialba y que afecten

la zona en la que se ubica el puente. Para el resto de los factores no existe una exposición o amenaza importante.

En el Cuadro Ap.4.3.3, se muestra los resultados de la actividad sísmica, con los datos obtenidos en el trabajo de oficina y con la longitud de asiento tomada en campo.



CUADRO Ap.4.3.3. Evaluación de la actividad sísmica		
Aspecto evaluado	Valor	Justificación
Zonificación sísmica	III	Puente perteneciente al cantón de El Guarco, por lo que su zonificación es III (CFIA,2013)
Tipo de suelo	S3	Se desconoce el tipo de suelo de cimentación
Cercanía a una falla activa	Sí	Puente ubicado a menos de 5 km de la falla de Aguacaliente-Orosi
Amenaza sísmica	4,35	Amenaza sísmica calculada con el tipo de suelo, zonificación sísmica y la cercanía a una falla activa.
Importancia del puente	1,00	Puente convencional, al ser un puente en vía cantonal (CFIA, 2013)
Longitud de asiento teórica	0,32 m	Valor calculado con la importancia del puente, longitud de este y con un sesgo de 0.
Longitud de asiento medida en campo	0,50 m	Valor medido en campo.
Cumplimiento longitud de asiento	1 satisfactorio	Comparación entre la medición en campo y la teórica



En el análisis por la actividad sísmica, la amenaza sísmica es mayor que las consideraciones sobre la longitud de asiento presente en el puente, siendo la amenaza sísmica de 4,35 considerándose una amenaza sísmica alta según los criterios dados en la guía.

Ahora bien, se presentan los resultados presentes en la inspección realizada en campo, empezando con la visualización del uso de suelo de las zonas aledañas mostradas en el Cuadro Ap.4.3.4 y en el Cuadro Ap.4.3.5, se muestra la valoración del tipo de cauce presente y el ángulo de ataque.


CUADRO Ap.4.3.4. Uso de suelo zonas aledañas (factor del estado del entorno)			
Margen A1	Urbano / residencial	Margen A2	Urbano / residencial
Observaciones		Observaciones	
Presencia de viviendas unifamiliares		Presencia de una vivienda	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Margen A3	Urbano / residencial	Margen A4	Urbano / residencial
Observaciones		Observaciones	
Presencia de viviendas unifamiliares		En este margen se ubica la vía de acceso al puente	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

CUADRO Ap.4.3.5. Evaluación tipo de cauce y ángulo de ataque (factor del cauce)		
Tipo de cauce	Ángulo de ataque	Valoración ángulo de ataque
Recto	90°	Satisfactorio
Observaciones		Observaciones
Márgenes y cauce en paralelo, no inciden hacia ninguno de los márgenes.		El cauce del río no incide en ninguno de los bastiones y discurre en paralelo al eje longitudinal de los bastiones.
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica
		

En las zonas aledañas, el entorno del puente es principalmente rural, pero rodeado por viviendas, por lo que es susceptible a descargas de tuberías y alcantarillado y la invasión del cauce. El tipo de cauce se categoriza como recto debido a que no presenta curvas en las zonas aledañas, en parte se debe a que se encuentra en una zona montañosa y de alta pendiente. El ángulo de ataque es satisfactorio, ya que se encuentra a 90° y pasa de manera paralela a los bastiones.



En el Cuadro Ap.4.3.6, se muestra el estado de los márgenes del cauce y en el Cuadro 65, se muestra los resultados obtenidos en la medición del ancho del cauce y de la altura libre inferior para conocer la susceptibilidad a inundaciones que sufre el puente.

CUADRO Ap.4.3.6. Estado de los márgenes (factor del cauce)			
Tipo de margen A1	Natural	Tipo de margen A2	Natural
Condición	(1) Satisfactorio	Condición	(2) Aceptable
Observaciones		Observaciones	
Margen natural, estable, sin indicios de socavación, en este margen se encuentra situado un muro de contención, sin embargo, no se considera que sea protección pues forma parte del cerramiento de la propiedad aledaña. No cuenta con vegetación.		Zona natural, con talud pronunciado, cuenta con vegetación, pero hay zonas en el que no, muestra cierta inclinación moderada.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			
Tipo de margen A3	Artificial	Tipo de margen A4	Natural
Condición	(1) Satisfactorio	Condición	(1) Satisfactorio
Observaciones		Observaciones	
Se detectó la presencia de un muro de contención, que forma parte de las propiedades aledañas, pero no se detectaron indicios de socavación en este, esto muros limitan el cauce hacia ese margen.		Margen cubierto de vegetación en esa zona, no se notaron indicios de erosión y tampoco cuenta con desprendimientos. Presencia de troncos caídos en este margen.	
Evidencia fotográfica		Evidencia fotográfica	
			

CUADRO Ap.4.3.7. Ancho de cauce e indicios de inundaciones (factor del cauce)			
Ancho aguas arriba	1,40	Estrechamiento	0,60
Ancho aguas abajo	2,30	Valoración estrechamiento	(1)
Altura inferior desde el máximo nivel	1,74 m	Valoración de la altura libre inferior del máximo nivel	(4)
Observaciones			
El ancho del cauce aguas abajo fue medido desde el puente debido a que su acceso aguas abajo era limitado, además de que se encuentra obstruido por dos enormes piedras que bloquean la salida del puente.			
Evidencia fotográfica			
			


Al encontrarse el puente en medio de un por lo que está rodeado de viviendas y estas limitan con el cauce, en términos generales, los márgenes naturales se encuentran en buen estado, para el caso del margen A3, el cauce presenta un muro de contención que limita el espacio del cauce, este muro no se observaron socavaciones ni desprendimientos o asentamientos, sin embargo, se encuentra una vivienda sobre este. En lo que respecta al ancho del cauce este se califica como satisfactorio, sin embargo, se encuentran dos enormes piedras que limitan la abertura de salida del puente. En lo que respecta a la altura libre disponible esta corresponde a 1,74 m que le otorga una calificación de 4 que es equivalente a una altura inaceptable para inundaciones o para desbordamientos del río.


En el Cuadro Ap.4.3.8, se presenta la caracterización del cauce, describiendo al material que está compuesto el lecho del río y la presencia de socavación o de elevación del lecho.

CUADRO Ap.4.3.8. Caracterización del cauce (factor del cauce)			
Tipo de material	Bloques de piedra		
Observaciones	Presencia de enormes piedras que dificultan la inspección.		
Evidencia fotográfica			
			
Socavación del lecho		Elevación del lecho	
Condición	Alteración severa	Condición	Aceptable
Observaciones		Observaciones	
Grave socavación hasta los cimientos de los bastiones.		No se observó evidencias elevaciones de lecho ni barras en el cauce.	
Evidencia fotográfica			
			

El puente posee un lecho compuesto por bloques de piedra, se hace la observación que debajo del puente existe una cantidad importante de rocas de gran tamaño. En lo que respecta a los procesos de socavación o elevación del lecho, el lecho se encuentra principalmente socavado hasta la base de los bastiones que posee el puente y no se observa ni acumulación de sedimentos u otro elemento que indique que el cauce tenga una elevación.

En el Cuadro Ap.4.3.9, se indica los resultados obtenidos por los factores biológicos y en el Cuadro Ap.4.3.10 los resultados de los factores químicos y de contaminación.



CUADRO Ap.4.3.9. Evaluación factores biológicos			
Presencia de vegetación		Presencia de fauna	
Condición	Crítica	Fauna encontrada	
Observaciones		No se observó indicios de animales en la estructura de puente.	
Presencia de troncos caídos sobre el cauce aguas abajo y presencia de árboles en el margen A2 y A3. Indicios de grande maleza en el cauce, pero este se encontraba recién cortado en el momento de la inspección.			
Evidencia fotográfica			
			

CUADRO Ap.4.3.10. Evaluación factores químicos y contaminación			
Contaminación por basura		Manejo de aguas	
Condición	Aceptable	Condición	Inadecuada
Observaciones		Observaciones	
No hay indicios de basura significativa en el cauce, se encontraba limpio.		Presencia de descargas domésticas en el margen A1, estas no contaban con protección en su salida por lo que discurría por el bastión B1, esta descarga cambiaba el color del agua por lo que aguas arriba se mantenía con un aspecto natural y aguas abajo se tornaba café claro o grisáceo por momentos.	
Evidencia fotográfica			
			

En lo que respecta a los factores biológicos, no se observó la presencia de algún tipo de fauna, sin embargo, sí se presenta vegetación en el cauce, resaltando que en el margen A2 se presentan árboles cerca del cauce y en el margen A3 y A4 presencia de árboles y troncos de árboles caídos sobre el cauce, si bien

es cierto, estos no afectan directamente la estructura del puente en análisis sí puede representarlo para zonas aguas abajo, aún más considerando que el puente se ubica en una zona montañosa.

Para los factores químicos y contaminación, no existió evidencia de basura en el cauce, sin embargo, sí se encontró la existencia de descarga de aguas en el puente, como se menciona en el Cuadro Ap.4.3.10, no hubo evidencia del contenido de ese flujo, pero por el olor, color y la existencia de viviendas alrededor, es evidente que corresponden a aguas domésticas, la salida de la descarga no tiene protección y se vierte muy cerca del bastión 2 del puente, además de que se observó indicios de socavación en la salida del puente. En el Cuadro Ap.4.3.11, se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de los factores humanos.

CUADRO Ap.4.3.11. Evaluación de los factores humanos			
Invasión del cauce		Intervención del cauce y contramedidas	
Condición	Regular	Condición	Adecuada
Observaciones		Observaciones	
Estructura rodeada por viviendas, margen A3 se encontraban casas sobre el muro de contención de ese margen, además se denota presencia de grandes árboles en esa zona. Además, en el margen A1 se encuentra el muro de contención de la vivienda que limita el cauce en esa zona.		No se detectaron evidencia de intervenciones en el cauce, ni la construcción de contramedidas.	
Evidencia fotográfica			
			
Estado de conservación del cauce		Tipo de tráfico	
Condición	Regular	Tipo de tráfico	Motocicletas Vehículos livianos
Observaciones			
Se denota que hay mantenimiento en la zona pues se encontraba la maleza recién cortada, sin embargo, aguas abajo se encuentran dos troncos de árboles que pueden significar un riesgo en futuras avenidas.			
Evidencia fotográfica			
			

La invasión se determinó un valor regular debido a la presencia de muro en el margen A1 y la presencia de viviendas sobre el muro de contención en el margen A3.

A continuación, en el Cuadro Ap.4.3.12, Ap.4.3.13 y Ap.4.3.14, se muestran las fotografías y en el Cuadro Ap.4.3.15 se muestra el esquema del cauce

CUADRO Ap.4.3.12. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puente #3	
Uso de suelo de las zonas aledañas	
Área 1	Área 2
	
Área 3	Área 4
	
Vista del cauce	
Aguas arriba	Aguas abajo
	

CUADRO Ap.4.3.13. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puesto #3

Estado de los márgenes

Margen A1



Margen A2



Margen A3



Margen A4



Vista perpendicular (ángulo de ataque)




Vista material del lecho



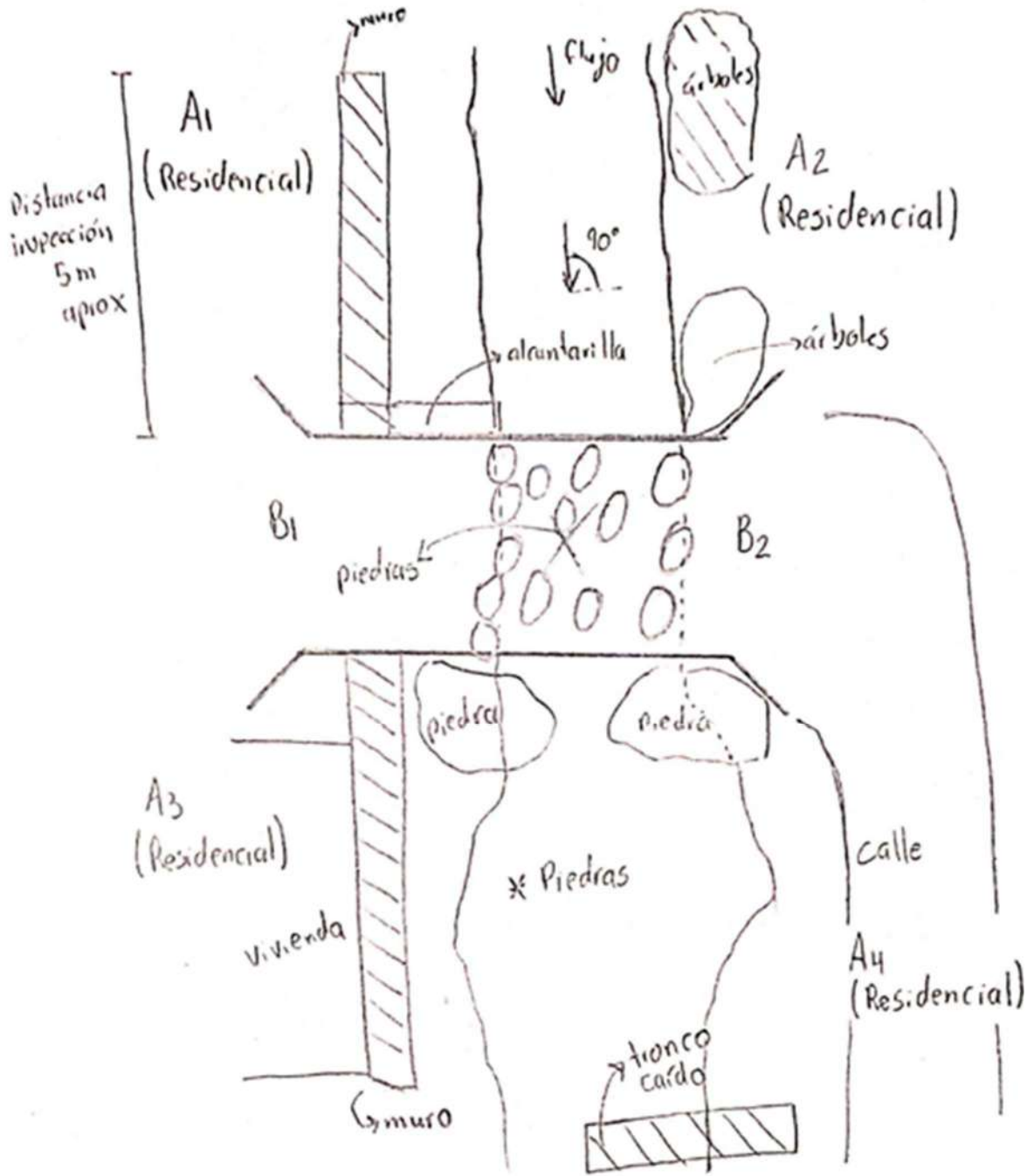
Marcas de inundaciones



CUADRO Ap.4.3.14. Fotografías mínimas requeridas de la inspección Puente #3	
Presencia de vegetación	
Vegetación aguas arriba	Vegetación aguas abajo
	
Manejo de tuberías	
Color del agua del cauce	Descarga de alcantarillado
	
Invasión del cauce	
Presencia muro en A1	Presencia de árboles en A4
	

CUADRO Ap.4.3.15. Esquema del cauce Puentes #3

Esquema



Observaciones

Esquema del cauce, se indica la ubicación de la vegetación existente, uso de suelo en los alrededores, manejo de agua, ubicación piedras en el cauce y presencia de estructuras cerca del cauce.

Apéndice 5– Formularios de inspección de las pruebas piloto

Apéndice 5.1 – Formularios de inspección Puente N° 1

Formulario de Inspección en campo Factores Externos a Puentes					
Código del puente	MGU 024	Inspector	Carlos Flores Picado		
Nombre del puente	Quebrada Guituso	Fecha	2025/06/07		

Ambiente Agresivo	Exposición	
	Sí	No
Ambiente contiguo a plantaciones		X

Usos de suelo (zonas aledañas)				
Tipos	A1	A2	A3	A4
Urbano/ residencial				
Agrícola/ganadero	X			X
Zona verde- forestal		X	X	
Áreas de asentamiento informales				

Ángulo de ataque (X1)	+75-60 °
Ancho de cauce aguas arriba	2,95 m
Ancho de cauce aguas abajo	3,40 m
Longitud de asiento crítico	0,90 m
Altura inferior libre	1,85 m

Tipo de tráfico		
Motocicletas	X	Camiones de dos ejes
Automóvil	X	Camiones no articulados
Microbuses		Camiones articulados
Autobuses		Otros: Bicicletas

Factor	Valoración			
	1	2	3	4
Degradación del cauce				X
Agradación del cauce	X			
Presencia de vegetación		X		
Presencia de basura	X			
Presencia de descargas tuberías			X	
Presencia de estructuras	X			
Intervención de cauce		X		
Mantenimiento del cauce		X		

Caracterización del cauce (X3)		
Arena		Bloques de piedra
Grava		Roca
Arcilla/limos		

Fauna	No se encontró	
Consulta a vecinos sobre inundaciones u otros fenómenos	_____	
Comentarios		

Estado de los márgenes (X2)								
Margen	Natural				Artificial			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A1		X						
A2	X							
A3		X						
A4	X							

SIMBOLOGÍA

Subestructura en contacto con el agua Sí No

Puente sesgado Sí No

Formulario en oficina sobre los factores externos a puentes

Código del puente	3-08-153	Inspector	Carlos Flores Picado
Nombre del puente	Quebrada Guatuso	Fecha	2025/06/06

Ambiente Agresivo	Exposición		
	Baja	Media	Alta
Ambiente marino	X		
Ambiente expuesto a volcanes			X
Ambiente urbano		X	
Ambiente cercano a plantaciones	X		

Dist de inspección = L = 10,5m

Cerca en zona volcánica, ver en campo exposición

Factor	Valoración	
	1	5
Susceptibilidad a flujos de lodo	X	
Susceptibilidad a inundaciones		X
Longitud de asiento teórico	0,33	m

I = 1,00

L = 10,5m

S = 0'

$$N_{teórica} = 1,00 (305 + 2,5 \cdot [10,5m]) \cdot (1)$$

$$= 331,25 \text{ mm}$$

$$= 0,33 \text{ en}$$

Cercanía a falla activa menor a 5 km	X	Sí	No
--------------------------------------	---	----	----

Zonificación sísmica	II	III	IV
		X	

Tipo de suelo de cimentación	S1	S2	S3	S4
			X	

Factor de importancia del puente	1,25	1,00	0,80
		X	

puente cantonal Importancia: puente convencional

* Amenaza sísmica

$$C_a = 0,41$$

$$C_{aM} = \left(\text{coeficiente} \right) \times C_a = 1,2 \cdot 0,41 = 0,492$$

$$\text{Amenaza sísmica} = \frac{0,492}{0,588} \cdot 4 + 1 = 4,35$$

Lista de verificación de inspección factores externos a puentes

Ap: Aplica. NA: No Aplica

Factores del estado del entorno		AP	NA
Ambientes agresivos	Ambiente marino	X	
	Ambiente volcánico		
	Ambiente urbano	X	
	Ambiente cercano a plantaciones	X	
Flujos de agua y/o lahares		X	
Actividad sísmica			
Uso de suelo (zonas aledañas)		X	
Factores del cauce		AP	NA
Inundaciones	Zona susceptible a inundaciones	X	
	Marcas de inundaciones		X
Estado de los márgenes	Márgenes naturales	X	
	Presencia de protecciones		X
Ancho del cauce	Aguas arriba	X	
	Aguas abajo	X	
Ángulo de ataque aguas arriba		X	
Caracterización del cauce	Material del lecho	X	
	Presencia de socavación del lecho	X	
	Presencia de elevación del lecho		X
Tipo de cauce		X	
Factores químicos y contaminación		AP	NA
Presencia de basura			X
Manejo de aguas		X	
Factores biológicos		AP	NA
Presencia de vegetación		X	
Presencia de fauna			X
Factores humanos		AP	NA
Invasión del cauce			X
Intervención del cauce y contramedidas		X	
Tráfico		X	
Mantenimiento rutinario del cauce		X	

Código del puente	3-09-153
Nombre del puente	Quebrada Gualuso
Inspector	Carlos Flores Pardo
Fecha	2025/06/07

Otros aspectos	AP	NA
Sesgo del puente		X
Subestructura del puente en contacto con el agua	X	

Fotografías	AP	NA
Vista 4 zonas aledañas		
Evidencia ángulo de ataque		
Vista de los márgenes		
Vista del cauce aguas arriba		
Vista del cauce aguas abajo		
Fotografía del lecho		
Evidencia de las marcas de agua		
Evidencia de presencia de basura		
Evidencia de descargas de tuberías		
Intervenciones en el cauce		
Presencia de estructuras		

Esquemas	Aplica	NA
Nomenclatura de las juntas	X	
Sentido del flujo	X	
Distancia de evaluación de los márgenes	X	
Material del cauce	X	
Tipo zonas aledañas	X	
Ubicación árboles y/o vegetación		X
Ubicación estructuras aledañas		X
Ubicación protecciones	X	
Presencia de barras de cauce	X	
Presencia de acumulaciones		X
Presencia de obstrucciones	X	

Apéndice 5.2 – Formularios de inspección Puentes N° 2

Formulario de Inspección en campo Factores Externos a Puentes

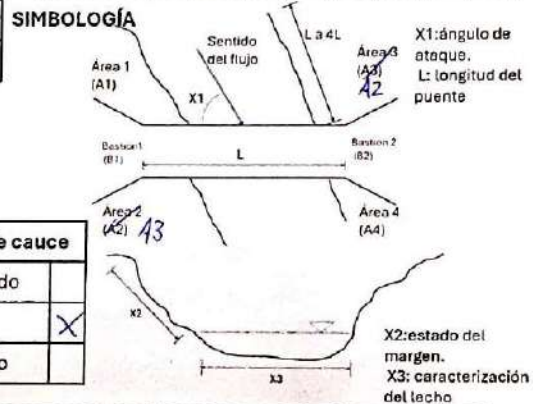
Código del puente	MGU 025	Inspector	Carlos Flores Picado
Nombre del puente	Quebrada Guatuso	Fecha	2025/06/07

Ambiente Agresivo	Exposición	
	Sí	No
Ambiente contiguo a plantaciones		X

Margen	Estado de los márgenes (X2)							
	Natural				Artificial			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A1	X							
A2	X							
A3	X							
A4		X						

Usos de suelo (zonas aledañas)				
Tipos	A1	A2	A3	A4
Urbano/residencial	X	X		
Agrícola/ganadero				
Zona verde- forestal			X	X
Áreas de asentamiento informales				

Ángulo de ataque (X1)	-60 a 75 °
Ancho de cauce aguas arriba	2,0 m
Ancho de cauce aguas abajo	3,50 m
Longitud de asiento crítico	0,50 m
Altura inferior libre	2,36 m



Tipo de tráfico			
Motocicletas	X	Camiones de dos ejes	X
Automóvil	X	Camiones no articulados	X
Microbuses		Camiones articulados	X
Autobuses	X	Otros: Bicicletas	

Tipo de cauce	
Trenzado	
Recto	X
Sinuoso	

Subestructura en contacto con el agua	X	Sí	No
Puente sesgado		Sí	X No

Factor	Valoración			
	1	2	3	4
Degradación del cauce	X			
Agradación del cauce				
Presencia de vegetación		X		
Presencia de basura	X			
Presencia de descargas tuberías	X			
Presencia de estructuras		X		
Intervención de cauce	X			
Mantenimiento del cauce			X	

Caracterización del cauce (X3)	
Arena	Bloques de piedra X
Grava	Roca
Arcilla/limos	

Fauna	No se encontró
Consulta a vecinos sobre inundaciones u otros fenómenos	
Comentarios	

Formulario en oficina sobre los factores externos a puentes

Código del puente	308070	Inspector	Carlos Flores Picado
Nombre del puente	Quebrada Guatuso	Fecha	2025/06/106

Ambiente Agresivo	Exposición		
	Baja	Media	Alta
Ambiente marino	X		
Ambiente expuesto a volcanes			X
Ambiente urbano		X	
Ambiente cercano a plantaciones	X		

D de inspección = 5,46 m aprox

Cerca zona volcánica, ver exposición

Factor	Valoración	
	1	5
Susceptibilidad a flujos de todo	X	
Susceptibilidad a inundaciones		X
Longitud de asiento teórico	0,32 m	

$$I = 1,00$$

$$L = 5,46 \text{ m}$$

$$S = 0$$

$$N_{teórico} = (1,00) \cdot (305 + 2,50 [5,46 \text{ m}]) \cdot (1)$$

$$= 318,65 \text{ mm}$$

$$= 0,32 \text{ m}$$

Cercanía a falla activa menor a 5 km	X	Sí	No
--------------------------------------	---	----	----

Zonificación sísmica	II	III	IV
		X	

Tipo de suelo de cimentación	S1	S2	S3	S4
			X	

Factor de importancia del puente	1,25	1,00	0,80
		X	

puente convencional.

$$C_a = 0,41$$

$$C_{em} = 0,442$$

$$A_{traza sísmica} = 4,35$$

Lista de verificación de inspección factores externos a puentes

Ap: Aplica. NA: No Aplica

Código del puente	3-08-070
Nombre del puente	Quebrada Guatuso
Inspector	Carlos Flores Picado
Fecha	

Factores del estado del entorno		AP	NA
Ambientes agresivos	Ambiente marino	X	
	Ambiente volcánico	X	
	Ambiente urbano	X	
	Ambiente cercano a plantaciones	X	
Flujos de agua y/o tahares		X	
Actividad sísmica		X	
Uso de suelo (zonas aledañas)		X	
Factores del cauce		AP	NA
Inundaciones	Zona susceptible a inundaciones	X	
	Marcas de inundaciones	X	
Estado de los márgenes	Márgenes naturales	X	
	Presencia de protecciones		X
Ancho del cauce	Aguas arriba	X	
	Aguas abajo	X	
Ángulo de ataque aguas arriba		X	
Caracterización del cauce	Material del lecho	X	
	Presencia de socavación del lecho	X	
	Presencia de elevación del lecho		X
Tipo de cauce		X	
Factores químicos y contaminación		AP	NA
Presencia de basura		X	
Manejo de aguas			X
Factores biológicos		AP	NA
Presencia de vegetación		X	
Presencia de fauna			X
Factores humanos		AP	NA
Invasión del cauce			X
Intervención del cauce y contramedidas			X
Tráfico		X	
Mantenimiento rutinario del cauce		X	

Otros aspectos	AP	NA
Sesgo del puente		X
Subestructura del puente en contacto con el agua	X	

Fotografías	AP	NA
Vista 4 zonas aledañas	X	
Evidencia ángulo de ataque	X	
Vista de los márgenes	X	
Vista del cauce aguas arriba	X	
Vista del cauce aguas abajo	X	
Fotografía del lecho	X	
Evidencia de las marcas de agua	X	
Evidencia de presencia de basura		X
Evidencia de descargas de tuberías		X
Intervenciones en el cauce		X
Presencia de estructuras	X	

Esquemas	Aplica	NA
Nomenclatura de las juntas	X	
Sentido del flujo	X	
Distancia de evaluación de los márgenes	X	
Material del cauce	X	
Tipo zonas aledañas	X	
Ubicación árboles y/o vegetación	X	
Ubicación estructuras aledañas	X	
Ubicación protecciones	X	X
Presencia de barras de cauce		X
Presencia de acumulaciones		X
Presencia de obstrucciones	X	

Apéndice 5.3 – Formularios de inspección Puente N° 3

Formulario de Inspección en campo Factores Externos a Puentes					
Código del puente	-	Inspector	Carlos Flores Priado		
Nombre del puente	Quebrada El Pedregal	Fecha	2025/06/07		

Ambiente Agresivo	Exposición	
	Sí	No
Ambiente contiguo a plantaciones		X

Usos de suelo (zonas aledañas)				
Tipos	A1	A2	A3	A4
Urbano/residencial	X	X	X	X
Agrícola/ganadero				
Zona verde-forestal				
Áreas de asentamiento informales				

Ángulo de ataque (X1)	90	°
Ancho de cauce aguas arriba	1,40	m
Ancho de cauce aguas abajo	2,30	m
Longitud de asiento crítico	0,50	m
Altura inferior libre	1,74	m

Tipo de tráfico		
Motocicletas	X	Camiones de dos ejes
Automóvil	X	Camiones no articulados
Microbuses		Camiones articulados
Autobuses		Otros:

Factor	Valoración			
	1	2	3	4
Degradación del cauce				X
Agradación del cauce	X			
Presencia de vegetación				X
Presencia de basura	X			
Presencia de descargas tuberías			X	
Presencia de estructuras		X		
Intervención de cauce	X			
Mantenimiento del cauce		X		

Estado de los márgenes (X2)								
Margen	Natural				Artificial			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A1	X							
A2		X						
A3	X							
A4	X							

SIMBOLOGÍA

X1: ángulo de ataque.
L: longitud del puente

X2: estado del margen.
X3: caracterización del techo

Tipo de cauce	
Trenzado	
Recto	X
Sinuoso	

Subestructura en contacto con el agua	X	Sí	No
Puente sesgado	Sí	X	No

Caracterización del cauce (X3)		
Arena	Bloques de piedra	X
Grava	Roca	
Arcilla/limos		

Fauna <i>No se encontró</i>
Consulta a vecinos sobre inundaciones u otros fenómenos <hr/>
Comentarios

Formulario en oficina sobre los factores externos a puentes

Código del puente	-	Inspector	Carlos Flores Pineda
Nombre del puente	Quebrada El Pedregal - Quebrada S. San Mateo	Fecha	2025/06/06

Ambiente Agresivo	Exposición		
	Baja	Media	Alta
Ambiente marino	X		
Ambiente expuesto a volcanes			X
Ambiente urbano		X	
Ambiente cercano a plantaciones			

expuesto a mar, en estudio

Factor	Valoración	
	I	II
Susceptibilidad a flujos de lodo	X	
Susceptibilidad a inundaciones	X	

Longitud de asiento teórico	0,32 m
-----------------------------	--------

$$N_{\text{asiento}} = I(305 + 2,50L) (1 + 0,000125 S^2)$$

$$I = 1,00$$

$$L = 5,35 \text{ m}$$

$$S = 0$$

$$= 1(305 + 2,50 \cdot 5,35) \cdot (1)$$

$$= 318,38 \text{ mm}$$

$$= 0,32 \text{ m}$$

Cercanía a falla activa menor a 5 km	X	Si	No
--------------------------------------	---	----	----

Zonificación sísmica	II	III	IV
		X	

Tipo de suelo de cimentación	S1	S2	S3	S4
			X	

Factor de importancia del puente	1,25	1,00	0,80
		X	

puente convencional

Lista de verificación de inspección factores externos a puentes

Ap: Aplica. NA: No Aplica

Factores del estado del entorno		AP	NA
Ambientes agresivos	Ambiente marino	X	
	Ambiente volcánico	X	
	Ambiente urbano	X	
	Ambiente cercano a plantaciones		X
Flujos de agua y/o lahares		X	
Actividad sísmica		X	
Uso de suelo (zonas aledañas)		X	
Factores del cauce		AP	NA
Inundaciones	Zona susceptible a inundaciones	X	
	Marcas de inundaciones	X	
Estado de los márgenes	Márgenes naturales	X	
	Presencia de protecciones		X
Ancho del cauce	Aguas arriba	X	
	Aguas abajo	X	
Ángulo de ataque aguas arriba		X	
Caracterización del cauce	Material del lecho	X	
	Presencia de socavación del lecho	X	
	Presencia de elevación del lecho		X
Tipo de cauce		X	
Factores químicos y contaminación		AP	NA
Presencia de basura			X
Manejo de aguas		X	
Factores biológicos		AP	NA
Presencia de vegetación		X	
Presencia de fauna			X
Factores humanos		AP	NA
Invasión del cauce		X	
Intervención del cauce y contramedidas			X
Tráfico		X	
Mantenimiento rutinario del cauce		X	

Código del puente	-
Nombre del puente	Quebrada sin nombre
Inspector	Carlos Flores Prado
Fecha	2025/06/06

Otros aspectos	AP	NA
Sesgo del puente		X
Subestructura del puente en contacto con el agua	X	

Fotografías	AP	NA
Vista 4 zonas aledañas	X	
Evidencia ángulo de ataque	X	
Vista de los márgenes	X	
Vista del cauce aguas arriba	X	
Vista del cauce aguas abajo	X	
Fotografía del lecho	X	
Evidencia de las marcas de agua	X	
Evidencia de presencia de basura		X
Evidencia de descargas de tuberías	X	
Intervenciones en el cauce		X
Presencia de estructuras	X	

Esquemas	Aplica	NA
Nomenclatura de las juntas	X	
Sentido del flujo	X	
Distancia de evaluación de los márgenes	X	
Material del cauce	X	
Tipo zonas aledañas	X	
Ubicación árboles y/o vegetación	X	
Ubicación estructuras aledañas	X	
Ubicación protecciones		X
Presencia de barras de cauce		X
Presencia de acumulaciones		X
Presencia de obstrucciones	X	

Apéndice 5.4 – Formularios de inspección Puentes N° 4

Formulario de Inspección en campo Factores Externos a Puentes							
Código del puente	MGU 021	Inspector	Carlos Flores Picado				
Nombre del puente	Quebrada El Redregal	Fecha	2025/06/07				

Ambiente Agresivo	Exposición	
	Sí	No
Ambiente contiguo a plantaciones		X

Usos de suelo (zonas aledañas)				
Tipos	A1	A2	A3	A4
Urbano/residencial	X	X	X	
Agrícola/ganadero				
Zona verde-forestal				X
Áreas de asentamiento informales				

Ángulo de ataque (X1)	90 °
Ancho de cauce aguas arriba	1,10 m
Ancho de cauce aguas abajo	2,30 m
Longitud de asiento crítico	0,43 m
Altura inferior libre	3,0 m

Tipo de tráfico			
Motocicletas	X	Camiones de dos ejes	X
Automóvil	X	Camiones no articulados	X
Microbuses	X	Camiones articulados	
Autobuses	X	Otros: Bicycletas	

Estado de los márgenes (X2)								
Margen	Natural				Artificial			
	1	2	3	4	1	2	3	4
A1				X				
A2		X						
A3		X						
A4		X						

SIMBOLOGÍA

X1: ángulo de ataque.
L: longitud del puente

X2: estado del margen.
X3: caracterización del lecho

Tipo de cauce	
Trenzado	
Recto	
Sinuoso	X

Subestructura en contacto con el agua	X	Sí		No
Puente sesgado		X	No	

Caracterización del cauce (X3)			
Arena		Bloques de piedra	X
Grava		Roca	
Arcilla/limos			

Fauna	No se encontró
Consulta a vecinos sobre inundaciones u otros fenómenos	
Comentarios	

Factor	Valoración			
	1	2	3	4
Degradación del cauce		X		
Agradación del cauce			X	
Presencia de vegetación		X		
Presencia de basura			X	
Presencia de descargas tuberías			X	
Presencia de estructuras	X			
Intervención de cauce			X	
Mantenimiento del cauce		X		

Formulario en oficina sobre los factores externos a puentes

Código del puente	Ruta 3-08-040 MQUOZI	Inspector	Carlos Flores P. cado
Nombre del puente	Quebrada El Pedregal	Fecha	2025 106 106

Ambiente Agresivo	Exposición		
	Baja	Media	Alta
Ambiente marino	X		
Ambiente expuesto a volcanes			X
Ambiente urbano		X	
Ambiente cercano a plantaciones	X	X	

Exposición a fuerza volcánica

Factor	Valoración	
	1	5
Susceptibilidad a flujos de lodo	X	
Susceptibilidad a inundaciones	X	

Longitud de asiento teórico	0,33 m
-----------------------------	--------

$$W_{sismica} = I(305 + 7,50 \cdot L)(1 + 0,000125 \cdot S^2)$$

$$I = 1,00$$

$$L = 13,5 \text{ m}$$

$$S = 0$$

$$W_{teórica} = 1,00(305 + 7,50[13,5])(1) =$$

$$= 338,75 \text{ mm}$$

$$= 33,8 \text{ cm} = 0,33 \text{ m}$$

Cercanía a falla activa menor a 5 km	X	Sí	No
--------------------------------------	---	----	----

Zonificación sísmica	II	III	IV
		X	

Tipo de suelo de cimentación	S1	S2	S3	S4
			X	

Factor de importancia del puente	1,25	1,00	0,80
		X	

puente convencional

Lista de verificación de inspección factores externos a puentes

AP: Aplica. NA: No Aplica

Código del puente	3-08040
Nombre del puente	Quebrada El Pedregal
Inspector	Carlos Flores Pardo
Fecha	2025/06/07

Factores del estado del entorno		AP	NA
Ambientes agresivos	Ambiente marino	X	
	Ambiente volcánico	X	
	Ambiente urbano	X	
	Ambiente cercano a plantaciones		X
Flujos de agua y/o lahares		X	
Actividad sísmica		X	
Uso de suelo (zonas aledañas)		X	
Factores del cauce		AP	NA
Inundaciones	Zona susceptible a inundaciones	X	CF *
	Marcas de inundaciones	X	
Estado de los márgenes	Márgenes naturales	X	
	Presencia de protecciones		X
Ancho del cauce	Agua arriba	X	
	Agua abajo	X	
Ángulo de ataque agua arriba		X	
Caracterización del cauce	Material del lecho	X	
	Presencia de socavación del lecho	X	
	Presencia de elevación del lecho	X	
Tipo de cauce		X	
Factores químicos y contaminación		AP	NA
Presencia de basura		X	
Manejo de aguas		X	
Factores biológicos		AP	NA
Presencia de vegetación		X	
Presencia de fauna			X
Factores humanos		AP	NA
Invasión del cauce		X	
Intervención del cauce y contramedidas		X	
Tráfico		X	
Mantenimiento rutinario del cauce		X	

Otros aspectos	AP	NA
Sesgo del puente		X
Subestructura del puente en contacto con el agua	X	

Fotografías	AP	NA
Vista 4 zonas aledañas	X	
Evidencia ángulo de ataque	X	
Vista de los márgenes	X	
Vista del cauce agua arriba	X	
Vista del cauce agua abajo	X	
Fotografía del lecho	X	
Evidencia de las marcas de agua	X	
Evidencia de presencia de basura	X	
Evidencia de descargas de tuberías	X	
Intervenciones en el cauce	X	
Presencia de estructuras	X	

Esquemas	Aplica	NA
Nomenclatura de las juntas	X	
Sentido del flujo	X	
Distancia de evaluación de los márgenes	X	
Material del cauce	X	
Tipo zonas aledañas	X	
Ubicación árboles y/o vegetación	X	
Ubicación estructuras aledañas	X	
Ubicación protecciones		X
Presencia de barras de cauce	X	
Presencia de acumulaciones	X	
Presencia de obstrucciones	X	

Anexos

Anexo 1 – Importancia en Puentes (Lineamientos del Diseño Sismorresistente)

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