



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CURRICULAR

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
RIEGOS DE DESASTRES**

TEMA:

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS
PUENTES URBANOS EN LA CIUDAD DEL TENA ANTE DESBORDAMIENTO
DEL RÍO TENA, CANTÓN TENA, EN EL PERIODO 2024.

PRESENTADO POR:

LISANDRO JOSÉ PAZMIÑO NARVÁEZ

DIRECTOR:

ING. JOHANA DUEÑAS DURA

GUARANDA - ECUADOR

2024-2025

TEMA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION CURRICULAR

Análisis de la vulnerabilidad estructural de los puentes urbanos en la ciudad del Tena ante desbordamiento del río Tena, cantón Tena.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fuente de fortaleza a lo largo de este camino. A todos las y los ecuatorianos, cuyo trabajo y contribución han hecho posible mi preparación. A la Universidad Estatal de Bolívar y toda su comunidad administrativa y académica, por brindarme las herramientas y conocimiento esenciales para mi formación profesional. De manera especial, agradezco a mis docentes: Flores, Montero, Barragán, Paucar, Paul, Ocampo, Oswaldo, Iñiguez, Pazmiño, Villacis, Numa, Dueñas, cuyo compromiso y enseñanza han sido pilares fundamentales en mi desarrollo. Y a mi familia, por su incondicional apoyo, y a mis amigos, así como a todas aquellas personas que creyeron y apoyaron en mí, les estaré eternamente agradecido.

DEDICATORIA

Este esfuerzo y logro no es solo mío, sino también de quienes creyeron en mí desde el principio. A mi familia, por apostar por mi futuro sin dudarlo ni un segundo. A mi madre, Magda Narváez, quien con su amor, valentía y sacrificio ha sido madre y padre a la vez, un verdadero ejemplo de fuerza, constancia y lucha. A mis hermanos Henry, Dayana, Anahí y Carlos, por ser el pilar de perseverancia, apoyo y unión que siempre necesité. A mis sobrinos Ivanna, Ithan, Thiago y Janali, quienes, sin saberlo, fueron ese motorcito de ánimo que me impulsó a seguir adelante. A mis amigos Jinson, Jade, Jamieth, Martha y mi panicima Nelson, por ser un refugio en los momentos más difíciles y estar siempre cuando más los necesité.

Cada uno de ustedes ha sido parte fundamental de mi camino, ayudándome a ser más resiliente en cada etapa de mi vida. Sin ustedes, este logro no habría sido posible. De todo corazón, mil gracias.

Gracias por ser parte de este camino.....

CERTIFICACION DEL DIRECTOR Y PAR ACADEMICO



Guaranda, 04 de abril del 2025

Certificado del director

En calidad de Director del Trabajo de Titulación, mediante la modalidad de Trabajo de investigación elaborado por el estudiante: LISANDRO JOSE PAZMINO NARVAEZ, con cedula de identidad N° 1501221426, que tiene como título: “ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES URBANOS EN LA CIUDAD DEL TENA ANTE DESBORDAMIENTO DEL RÍO TENA, CANTÓN TENA, EN EL PERIODO 2024.”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Riesgos de Desastres , una vez que el trabajo ha sido revisado y se han cumplido los requisitos académicos y legales establecidos en el reglamento de titulación de la Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano.

Por lo tanto, se encuentra en condiciones de proceder al empastado correspondiente.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Johanna Dueñas', enclosed within a blue circular scribble.

Ing. Johanna Dueñas

Director del proyecto de investigación

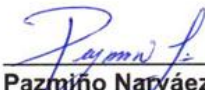
DERECHOS DE AUTORIA

DERECHOS DE AUTOR

Yo, **Pazmiño Narváez Lisandro José**, portador de la Cédula de Identidad No. **1501221426**, en calidad de autor/res y titular de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **"Análisis de la Vulnerabilidad estructural de los puentes urbanos en la ciudad del Tena ante desbordamiento del río Tena, Cantón Tena, en el periodo septiembre-diciembre 2024"**, modalidad Proyecto de Investigación de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



Pazmiño Narváez Lisandro José
C.C.: 1501221426

**CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO,
EMITIDO POR EL TUTOR**

**CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO
INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.**

Guaranda, 12 de marzo de 2024.

El suscrito Ingeniera. Johana Dueñas Dura Msc., Directora del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Administración para Desastres y Gestión del Riesgo de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS PUENTES URBANOS EN LA CIUDAD DEL TENA ANTE DESBORDAMIENTO DEL RÍO TENA, CANTÓN TENA, EN EL PERIODO 2024”; realizado por el señor: **Lisandro José Pazmiño Narváez** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



**ING. JOHANA DUEÑAS DURA
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO**

1. ÍNDICE DE CONTENIDO

1. ÍNDICE DE CONTENIDO.....	6
RESUMEN EJECTIVO	13
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPITUTLO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	20
3. OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS	20
4. JUSTIFICACIÓN	20
5. VARIABLES	22
5.1. Operacionalización de variables	22
CAPITULO II. MARCO TEORICO	23
6. MARCO TEÓRICO	23
6.1. Marco referencial y georreferencial	23
6.2. Información climática	23
6.3. Mapas referenciales del área de estudio, limitación de cuenca, y amenaza de inundación.....	24
7. BASES TEÓRICAS.....	28
7.1. Inundaciones en el Ecuador.....	28
7.2. Antecedentes.....	28
7.3. Inundación en el Cantón Tena.....	30
7.4. Inundación en la zona de estudio	31
7.5. Tipos de inundación	31
7.6. Puentes ante la amenaza de inundación	31
7.7. Causas generales de los colapsos	32
7.8. Relación entre vida útil y vida residual de un puente.	33
7.9. Prevenir o reducir un mayor deterioro.....	33
7.10. Factores que desencadenan.....	34
7.11. PUENTES	34
7.11.1.1. Tipos de puentes	35
7.11.1.2. Puentes colgantes	35
7.11.1.3. Puentes atirantados.....	35
7.11.1.4. Puentes Bailey.....	36
7.11.1.5. Puentes celosía	37
7.11.1.6. Puentes arco con tablero:	38
7.12. Materiales de construcción	38

7.13.	Partes de un Puente	39
8.	CIENTÍFICO	42
8.1.	Aplicación del informe de inspección para puentes y Guía de inspección visual de puentes “Costa Rica”	42
8.2.	Guía para la determinación de la condición en puentes	42
8.2.1.1.	Elementos del puente	44
8.2.1.2.	Limitaciones de la metodología.....	46
8.3.	Esclerómetro Schmidt.....	46
8.3.1.1.	Campo de Aplicación.....	47
8.3.1.2.	Descripción del aparato y del método	47
8.4.	Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos.....	48
9.	LEGAL	49
10.	CONCEPTUAL.....	53
	CAPITULO III. METODOLOGIA	56
11.	METODOLOGÍA.....	56
	CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
12.	RESULTADOS.....	60
12.1.	Objetivo 1	60
12.2.	Objetivo 2	65
12.2.1.1.	Informe de inspección	66
12.2.1.1.1.	Informe puente #1 Atirantado.....	66
12.2.1.1.2.	Informe puente #2 Arco con tablero inferior	72
12.2.1.1.3.	Informe puente #3 Celosía de tipo Warren	76
12.2.1.2.	Ensayo no destructivo.....	81
12.2.1.3.	Resumen General	87
12.2.1.3.1.	Nivel de vulnerabilidad Estructural (Puente)	89
12.2.1.3.2.	Nivel de vulnerabilidad en función de la condición de calificación y la resistencia hormigón	92
12.3.	Objetivo 3	94
	CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
13.	CONCLUSIONES.....	100
14.	RECOMENDACIONES	101
15.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	103
16.	ANEXOS.....	107
16.1.	Anexo Identificación objetivo 1	107
16.2.	Anexo informes objetivo 2.....	112

16.3. Anexo planos puentes	127
----------------------------------	-----

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Principales parámetros climáticos del cantón Tena.....	24
Tabla 2: Tabla de evento por desbordamiento, Tena.....	29
Tabla 3: Número de fallas clasificados por la causa general de colapso	33
Tabla 4: Listado de componentes de los puentes.....	44
Tabla 5: Elementos de protección del puente contra amenazas naturales	45
Tabla 6: Catalogo puentes urbanos del Tena.....	63
Tabla 7: Identificación de los puentes a mayor susceptibilidad de sufrir daños.....	64
Tabla 8: Sistemas de protección del puente.....	67
Tabla 9: Subestructura del puente.....	68
Tabla 10: Accesorios, accesos y seguridad peatonal del puente.....	68
Tabla 11: Superestructura del puente.....	70
Tabla 12: Calificación de la condición global del puente (CP).....	71
Tabla 13: Sistemas de protección del puente.....	72
Tabla 14: Subestructura del puente.....	72
Tabla 15: Accesorios, accesos y seguridad vial del puente.....	73
Tabla 16: Superestructura del puente.....	74
Tabla 17: Calificación de la condición global del puente (CP).....	75
Tabla 18: Sistemas de protección del puente.....	76
Tabla 19: Informe basado en la condición y deficiencia en la subestructura del puente	76
Tabla 20: Accesorios, accesos, y seguridad vial del puente.....	77
Tabla 21: Superestructura del puente.....	78
Tabla 22: Calificación de la condición global del puente (CP).....	80
Tabla 23: Nivel de vulnerabilidad, resistencia del hormigón	82

Tabla 24: Ensayo de esclerómetro Puente Peatonal #2 La isla.....	84
Tabla 25: Nivel de vulnerabilidad de los componentes del puente atirantado ...	85
Tabla 26: Ensayo de esclerómetro Puente Carrozable #2 Celosía de tipo Warren	86
Tabla 27: Nivel de vulnerabilidad de los componentes del puente celosía	87
Tabla 28: Calificación de la condición global del puente (CP)	89
Tabla 29: Rango de clasificación para el nivel de vulnerabilidad en función a la calificación de la condición global.	90
Tabla 30: Nivel de Vulnerabilidad de los puentes	91
Tabla 31: Nivel de vulnerabilidad en hormigón y estructural puente Atirantado	92
Tabla 32: Nivel de vulnerabilidad en hormigón y estructural puente Arco.....	93
Tabla 33: Nivel de vulnerabilidad en hormigón y estructural puente Celosía....	93
Tabla 34: Propuesta medidas de mitigación y recomendaciones puente atirantado	95
Tabla 35: Propuesta medidas de mitigación y recomendaciones puente arco ...	96
Tabla 36: Propuesta medidas de mitigación y recomendaciones puente celosía	97
Tabla 37: Descripción del tipo de medida	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.	25
Figura 2: Mapa de limitación de cuenca.....	26
Figura 3: Mapa de Amenaza de Inundación	27
Figura 4: Tipos de materia de construcción en puentes.....	39
Figura 5: Descripción de los niveles de calificación de la condición para elementos.	43
Figura 6: Daños y defectos típicos en puentes.....	44
Figura 7: Esquema de algunos de los componentes de puentes	45
Figura 8: Metodología heurística: niveles de vulnerabilidad de las edificaciones ante inundaciones	48
Figura 9: Esquema metodológico	59
Figura 10: Vista general del plano del puente atirantado.	66
Figura 11: Vista del plano de la torre del puente atirantado.....	67
Figura 12: Vista general del plano del puente Arco-Acero tablero inferior "Carrozable"	72
Figura 13: Vista general del plano del puente celosía de tipo Warren "Carrozable"	76
Figura 14: Escala de nivel de vulnerabilidad mediante esclerómetro	85
Figura 15: Descripción de los niveles de calificación de la condición para elementos y componentes del puente y para el puente de forma global y programa de trabajo recomendado para su intervención.	88

RESUMEN DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Rio Pano y Tena, 2010.....	28
Ilustración 2: Puente colgante, sobre el Rio Tena.....	35
Ilustración 3: Puente atirantado.....	36
Ilustración 4: Puentes Bailey.....	37
Ilustración 5: Puentes celosía de tipo Warren	37
Ilustración 6: Puentes arco con tablero inferior, sobre el rio Tena	38
Ilustración 7: Tablero o plataforma.....	40
Ilustración 8: Martillo para ensayos de hormigón, modelo N/L.....	46
Ilustración 9: Puente atirantado, la isla.	61
Ilustración 10: Puente Colgante, Sobre el Rio Tena.	61
Ilustración 11: Puente Arco-Acero tablero inferior, sobre el Rio Tena.	61
Ilustración 12: Puente Celosía de tipo Warren, sobre el Rio Tena.	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Puente 1, atirantado observación in situ	107
Anexo 2: Puente 2, colgante observación in situ.....	109
Anexo 3: Puente 3, arco observación in situ	110
Anexo 4: Puente 4, celosía observación in situ	111
Anexo 5: Informe Puente Peatonal #1 Atirantado.....	112
Anexo 6: Informe de Puente Peatonal #2 Colgante.....	118
Anexo 7: Informe puente Carrozable #3 Arco-Acero	122
Anexo 8: Informe puente Carrozable #4 Celosía Warren	124
Anexo 9: Salida a campo vuelo de dron.....	129
Anexo 10: Salidas a Campo ensayo esclerómetro Puente atirantado.....	130
Anexo 11: Salidas a Campo ensayo esclerómetro Puente Celosía.....	134

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Colapso de puente por inundación, sobre el Rio Blanco, Sto. Domingo, 2023.	32
Fotografía 2: Trabajo in situ, esclerómetro	82

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes urbanos de la ciudad de Tena, frente a los desbordamientos de los ríos Pano y Tena. La metodología empleada para evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes se basa en la elaboración de informes de inspección visual, complementados con la guía de determinación de la condición de puentes de "Costa Rica", se implementó ensayos no destructivos in situ, para verificar la calidad y resistencia del concreto. A través de esta actividad planteada, se lograron obtener la calificación de la condición, y el nivel de vulnerabilidad de los puentes, lo que permitirán plantear propuestas y recomendaciones de mejoramiento, garantizando la funcionalidad de estas estructuras.

A partir de los resultados obtenidos, se identificaron cuatro puentes en la zona urbana, de las cuales tres presentaron mayor susceptibilidad a sufrir daños. En base a la inspección visual y la calificación de sus condiciones, se determinó lo siguiente: el puente Atirantado mostro una condición deficiente; el puente Arco presento una condición regular y ambos puentes presentan un nivel de vulnerabilidad medio; y el puente Celosía tipo Warren evidencio una condición alarmante y un nivel de vulnerabilidad alto.

Ante estos hallazgos, se procedió a elaborar una propuesta de medidas de mitigación orientada a mitigar los riesgos identificados, y formular recomendaciones para mejorar los componentes estructurales y problemas hallado en los puentes, como el socavamiento y el debilitamiento estructural, con el fin de garantizar la seguridad de los puentes ante eventos adversos naturales. Además, estas medidas mitigación permitirán fortalecer la infraestructura ante futuros desbordamiento de los ríos.

Palabras claves: *Vulnerabilidad Estructural, Calificación Condición, Nivel de Vulnerabilidad, Desbordamiento, Socavamiento, Medidas Mitigación*

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the structural vulnerability of urban bridges in the city of Tena to the overflowing of the Pano and Tena rivers. The methodology used to evaluate the structural vulnerability of the bridges is based on the elaboration of visual inspection reports, complemented with the “Costa Rica” guide for determining the condition of bridges, non-destructive in situ tests were implemented to verify the quality and resistance of the concrete. Through this activity, it was possible to obtain the qualification of the condition and the vulnerability level of the bridges, which will allow proposals and recommendations for improvement, guaranteeing the functionality of these structures.

Based on the results obtained, four bridges were identified in the urban area, three of which were more susceptible to damage. Based on the visual inspection and the qualification of their conditions, the following was determined: the cable-stayed bridge showed a deficient condition; the Arco bridge presented a regular condition and both bridges presented a medium level of vulnerability; and the Warren type truss bridge evidenced an alarming condition and a high level of vulnerability.

In view of these findings, we proceeded to develop a proposal for mitigation measures aimed at mitigating the identified risks and formulate recommendations to improve the structural components and problems found in the bridges, such as undermining and structural weakening, in order to ensure the safety of the bridges in the face of adverse natural events. In addition, these mitigation measures will strengthen the infrastructure against future river flooding.

Keywords: *Structural Vulnerability, Rating Condition, Vulnerability Level, overflow, undermining, Mitigation Measures*

INTRODUCCIÓN

Los puentes cumplen una función fundamental en la conectividad y el desarrollo de las regiones. El análisis de vulnerabilidad estructural de estas infraestructuras constituye un proceso esencial para identificar y evaluar sus condiciones, permitiendo la implementación de medidas adecuadas que garanticen su funcionamiento óptimo y la prestación ininterrumpida de sus servicios.

Las inundaciones son un problema a nivel mundial, son fenómenos naturales más frecuentes y destructivos, como una complejidad, de fuerzas sobre naturales e incontrolables. El Ecuador, mediante el gobierno nacional, provincial, cantonal y parroquial, así como su secretaria nacional de gestión de riesgos y emergencia (SNGRE), en conjunto con sus oficinas técnicas, son los responsables de asumir y buscar estrategias, medidas, y planes, para enfrentar y abordar estos temas, con el fin de reducir su impacto, ya que refleja significativamente pérdidas económicas, humanas, materiales tangibles, ambientales, infraestructuras y estructuras, entre otros elementos.

Las inundaciones tienen un impacto directo sobre el desarrollo y actividades cotidianas de las personas, y no solo, interrumpiendo la vida diaria, sí no, también sobre el funcionamiento de la economía, los servicios, sectores productivos e infraestructura.

Dicho de esta manera, la percepción sobre el riesgo, es importante saber gestionarla y manejarla eficaz, efectiva, y operativa mediante mecanismos que permitan salvaguardar y garantizar la integridad de las vidas, así también de las estructuras e infraestructuras que son esenciales como hospitales, centros de salud, bomberos, policía, red de transporte (puentes, vías, y aeropuertos), refugios y albergues, red y medios de comunicación, centros educativos, entre otros, ya que estos permitirán de una u otra forma brindar una respuesta rápida sobre la atención, además de que los puentes juegan un papel significativo en situaciones de emergencia, desastre u catástrofe, ya que facilitan el acceso, y la conectividad en momentos críticos, claramente si, estas se encuentren en un buen estado para su operatividad de uso.

El objetivo de esta investigación, es evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes urbanos de la ciudad del Tena, frente a la causa de desbordamiento por los ríos Pano y Tena. Los cuales permitirán comprender, conocer e identificar la situación en la que se entren los puentes. Así además de proponer medidas y recomendaciones en función a los resultados que se vayan obteniendo mientras se desarrolla esta investigación. Cabe

recalcar lo dicho que, son estructuras vitales que proporcionan un desarrollo esencial así el cantón, la atención y conectividad en momentos críticos sobre la emergencia.

Es por ello, que se debe prestar mayor atención hacia, estas estructuras de gran aporte, y su invaluable costo de inversión con la que se construyó. Además, esta investigación aporta desde un ángulo académico, y una integración a futuros proyectos e instituciones, ya que la Gestión de riesgos e Ingeniería en Riesgos de Desastres, escudriñan por mejorar e impulsar la resiliencia para las comunidades frente a los fenómenos naturales.

CAPITULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El análisis de vulnerabilidad estructural del estado de los puentes urbanos ante amenazas de inundación y desbordamiento de ríos es fundamental, dado que estos fenómenos pueden generar impactos negativos significativos, afectando su estabilidad e incluso provocando su colapso y la destrucción de estas infraestructuras interrumpiendo la conectividad de comunidades y poblaciones, limitando el acceso a servicios y asistencia en situaciones de emergencia.

En el caso de los puentes urbanos de la ciudad de Tena, se plantea una necesidad de evaluar la vulnerabilidad de estos puentes, ya que compromete no solo el desarrollo socioeconómico, sino también la capacidad de respuesta ante eventos adversos. Estas estructuras desempeñan un papel esencial en la movilidad, el comercio, el transporte y a la asistencia de ayuda humanitaria, por lo que su evaluación estructural resulta crucial para garantizar su condición y funcionalidad frente a posibles desbordamientos del río Tena.

En el Ecuador existe una diversidad climática notable debido a sus distintas regiones geográficas, así la Costa, se caracteriza por poseer un clima cálido y húmedo, con temperaturas promedio entre 25°C y 31°C; en la Sierra, que incluye la cordillera de los Andes, el clima varía según la altitud, siendo más frío a mayor altura, con temperaturas que oscilan entre 7°C y 25°C. La región amazónica presenta un clima tropical con altas precipitaciones y temperaturas que rondan los 26°C a 30°C. Las Islas Galápagos, posee un clima subtropical seco con temperaturas que oscilan entre 20°C y 30°C, con estaciones húmedas y secas bien definidas. Esta variedad climática del Ecuador se debe a una serie de factores como la convergencia de corrientes marinas, latitud geográfica, altitud del terreno, dirección de las cadenas montañosas y dirección del viento (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2024).

Por lo que el país siempre se ha visto envuelto en constantes amenazas como inundaciones, deslizamientos, y por anegamientos, etc.; Lo cual faculta una vulnerabilidad social, económica, estructural y ambiental.

La región amazónica presenta un clima tropical con altas precipitaciones y temperaturas que rondan los 23°C a 30°C, lo que le convierte en una región predominante

a eventualidades de tipo: inundaciones, crecientes y desbordamientos con grandes arrastres de sedimentos y empalizadas, lo que podría provocar daños sobre los puentes. Estos se dan por diferentes factores ambientales y climáticas; época lluvioso o invierno, por eventos meteorológicos (fenómeno del niño - niña), y en la actualidad por la alteración y aceleración en el cambio climático lo que provoca grandes inundación y desbordamientos.

La provincia de Napo, posee un entorno boscoso, con un clima tropical-húmedo, lo que influye a que ocasione mayor precipitación y por ello a enfrentar amenazas como, desbordamiento de ríos, producto de las intensas lluvias que, a su vez, la unión de sus cuencas afluentes microcuencas, subcuenca sumada impacta con intensidad sobre las zonas urbanas, infraestructuras, comercio, ocasionando daños severos entre otros. Por ello se busca analizar el estado y evaluar el nivel de vulnerabilidad de estos componentes estructurales. Estas son debido a su contorno y características meteorológico extremos, conciben que la provincia esté envuelta en constante riesgo, y sea más vulnerables por estos fenómenos naturales.

La ciudad del Tena, ha palpado y evidenciado eventualidades ende ha desbordamientos de los ríos Pano y Tena, subyacente a la microcuenca río Tena. Con perturbación en los habitantes y a la vez afectaciones en las zonas urbanas del sector del Malecón de Tena, atribuyéndose principalmente por las condiciones meteorológicas prevalecientes, de las intensas precipitaciones, también eventualidad de fenómenos cada cierta anualidad de tiempo. Ya que estos eventos se reflejan con mayor influencia entre los meses de mayo, junio, julio y agosto. Además, se agregan eventos y fenómenos meteorológicos, con periodo de retorno cada 3 o 4 años, y no olvidar la aceleración en el cambio climático, ya que de igual manera afecta y atribuye a estas eventualidades que ponen en peligro la vida de los y las familias que residen en dicha zona de impacto. El Gobierno Municipal de Tena 2021, afirma que:

Esta área urbana forma parte de la subcuenca alta del río Misahuallí y de dos microcuencas de los ríos Pano y Tena respectivamente, además de una densa red de esteros, los mismos que son oportunidades para la promoción turística, las mismas que viene acompañados de una geomorfología que ratifica este potencial de recursos naturales y obviamente también de riesgos por el aumento de caudales en temporadas lluviosas (TENA, 2021) .

De acuerdo al PDOT 2021-2023, Dos de las últimas grandes inundaciones de la ciudad de Tena se han producido por el desbordamiento de los ríos Tena, Pano y Misahuallí en los años 2010 y 2017 que ocasionaron el anegamiento de viviendas y arrasando puentes, vehículos y arterias viales hasta en 3 metros de altura en los sectores de Las Sogas, Islas del Amor, El tereré, Bellavista Baja. La última inundación que tuvo un carácter de extraordinaria ocurrió el 6 en abril del 2010 debido a los derrumbes y posteriores deslizamientos en los flancos de la cuenca alta del río Colonso. Otro de los factores a tomar en cuenta para que se produzcan estas inundaciones es el alto grado de deforestación y pérdida acelerada de la capa vegetal, por lo que se estima que los eventos de inundación podrían ser mucho más frecuentes y de impactos negativos altos.(TENA, 2021)

Según la página oficial El oriente, “Las lluvias siguen causando estragos en la región amazónica. Hoy, 12 de mayo, se registraron viviendas afectadas, moradores evacuados y un puente destruido en Tena, provincia de Napo. Además, añadió: “SNGRE y los Bomberos se encuentran activados atendiendo la emergencia. Al momento, existe un socavamiento del puente de ingreso a Tena y el paso vehicular cerrado “. (EL ORIENTE, 2022)

Ante estas problemáticas y factores identificados, se plantea propuestas de medidas y recomendaciones que fortalezcan la seguridad e integridad estructural de los puentes urbanos. Asimismo, se busca evaluar y determinar el nivel de vulnerabilidad de cada una de estas infraestructuras, con el propósito de garantizar su funcionamiento ininterrumpido y su capacidad de resistir futuras amenazas, contribuyendo así a la seguridad y conectividad de la ciudad.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad estructural de los puentes del sector urbano ante la amenaza de desbordamiento del río Tena?

3. OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la vulnerabilidad estructural de los puentes urbanos de la ciudad del Tena, frente a los desbordamientos de los ríos Pano y Tena.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los puentes urbanos de la ciudad del Tena susceptible a desbordamientos.
- Realizar un análisis estructural de los puentes identificados para determinar las condiciones y posibles puntos débiles frente a los desbordamientos.
- Proponer medidas de mitigación y recomendaciones para reforzar los componentes estructurales y puntos débiles de los puentes ante posibles desbordamientos futuros.

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge a partir de las amenazas que enfrenta la ciudad del Tena debido a la vulnerabilidad de sus puentes urbanos, cuya condición estructural actual es desconocida. Estas infraestructuras son de vital importancia, ya que se ven afectadas durante la temporada lluviosa y por fenómenos meteorológicos como El Niño y La Niña, los cuales generan inundaciones y desbordamientos de ríos. Estas condiciones adversas impactan negativamente la calidad de vida de la población y el funcionamiento de las áreas urbanas cercanas, poniendo en riesgo tanto a los residentes como a las infraestructuras aledañas.

La conectividad proporcionada por estos puentes es esencial para la movilidad vehicular y peatonal, así como para la rápida y eficiente atención de servicios de emergencia. Sin embargo, la falta de mantenimiento, seguimiento y evaluación estructural puede ocasionar daños potenciales en estas infraestructuras, afectando su funcionamiento y seguridad a largo plazo. La ubicación geográfica, las características topográficas y la climatología del sector agravan la situación, aumentando el riesgo de desbordamientos y erosión de los cimientos. En este contexto, la inspección y análisis de

los componentes estructurales, tales como cimientos, pilotes, estribos y tableros, permitirán identificar deficiencias y proponer medidas de intervención oportunas, las cuales serán reflejadas en un informe.

Por lo tanto, esta investigación se centra en la evaluación de la vulnerabilidad estructural de los puentes urbanos del Tena, con el propósito de determinar su nivel de riesgo y generar conciencia sobre la importancia de su mantenimiento. Actualmente, el interés de las autoridades competentes es limitado, lo que hace necesario un estudio fundamentado que proporcione información técnica relevante y motive la implementación de proyectos orientados a garantizar la integridad estructural de estas infraestructuras. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan a prolongar la vida útil de los puentes y fortalezcan la capacidad de respuesta ante futuras amenazas naturales.

Desde una perspectiva académica y científica, este estudio representa un aporte significativo en el campo de la ingeniería civil y la gestión de riesgos, al desarrollar y validar nuevas metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad estructural. Además, proporciona datos técnicos valiosos que servirán de base para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Asimismo, el trabajo se constituye en un recurso formativo, fomentando el desarrollo de nuevos proyectos de investigación y colaboración interinstitucional.

En cuanto a sus beneficiarios, la investigación impacta directamente en los habitantes del cantón Tena, garantizando su seguridad y accesibilidad mediante infraestructuras viales en óptimas condiciones. También beneficia a los comerciantes locales, al facilitar el transporte de bienes, y fortalecer la economía local y regional. Entre los beneficiarios indirectos se encuentran los sectores del transporte público y privado, que requieren rutas (vías), infraestructuras (puentes) seguras y eficientes, así como el sector turístico, que depende de una conectividad estable para promover la actividad económica en la zona. Finalmente, las autoridades y organismos encargados de la gestión vial y puentes, se verán favorecidos al contar con información técnica para la planificación de estrategias de mantenimiento y rehabilitación de los puentes.

El trabajo de investigación, busca alcanzar un análisis de comprensión sobre el nivel de vulnerabilidad de los puentes urbanos del Tena, considerando las amenazas constantes que representan los desbordamientos de los ríos. De este modo, cumpliendo con todos los objetivos planteados, los cuales direccionaran a que la investigación, opte

por medidas y recomendaciones más eficientes, además, que fortalezca la seguridad estructural de estas infraestructuras, sino que también sienta las bases para una gestión y planificación más eficiente en zonas de alto riesgo.

5. VARIABLES

(Análisis de la vulnerabilidad estructural de los puentes urbanos en la ciudad del Tena ante desbordamiento del río Tena, cantón Tena)

VARIABLE DEPENDIENTE	Vulnerabilidad Estructural
VARIABLE INDEPENDIENTE	Amenaza de Inundación (desbordamiento)

Nota: Variables dependientes y dependientes, 2024. Fuente: Elaboración propia.

5.1. Operacionalización de variables

Variables	Descripción	Dimensión	Indicador	Instrumento
Variable Dependiente Vulnerabilidad Estructural de los puentes	Son daños en las estructuras y componentes del puente, debido a factores naturales, capaces de inhabilitar o destruir (colapso).	Análisis estructural	Calificación de la condición Resistencia del hormigón Nivel de vulnerabilidad	Fuentes bibliográficos, documentos, informes, etc. (antecedentes y análisis en puente) Informe inspección visual (daños y deterioro) Esclerómetro (resistencia)
Variable Independiente Amenaza de Inundación (desbordamiento)	Fenómeno natural donde el río excede su cauce y provoca inundaciones: durante intensas lluvias o debido a eventos climáticos extremos	Impactos en las estructuras y componentes (puentes).	Max Inundación Antecedes Registros	Mapa Informes Artículos científicos

Nota: Operacionalización de las variables dependiente e independiente, 2024. Elaboración propia.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Marco referencial y georreferencial

El cantón Tena se encuentra localizado en la provincia de Napo, al oeste de la región oriental del Ecuador, dentro de las Coordenadas X: 186919, Y: 989002, en la zona 18 S. Ubicado entre los límites al Norte con: Archidona, al Sur: Arosemena Tola, al Este con: Orellana (Orellana), y al Oeste con: Latacunga (Cotopaxi), Salcedo (Cotopaxi). (Sacha, s. f.).

La ciudad del Tena, según, “el censo de la población y vivienda del 2022 Ecuador, contabilizó una población total de 80.816 habitantes, siendo 40.128 hombres y siendo 40.688 mujeres”.(INEC, 2022)

El Tena, es una entidad territorial subnacional ecuatoriana, de la Provincia de Napo. Está ubicada sobre el valle del río Misahuallí y está situada a una altitud de 510 msnm., en la Región Amazónica del Ecuador. Su clima en promedio de 25 grados centígrados, siendo cálido-húmedo por la presencia de la selva.(Topographic-map, s. f.)

6.2. Información climática

El clima de la Amazonía, caracterizado por altos niveles de precipitación a lo largo del año, presenta variaciones estacionales. Aunque la mayor parte del tiempo se registran precipitaciones constantes, existen períodos de menor intensidad durante la estación seca, los cuales están asociados a los movimientos convergentes de la Zona de Convergencia Intertropical.

De acuerdo con el GAD-Municipal de Tena, PDOT 2021-2023; La Región Amazónica Ecuatoriana con sus 115,745 Km², constituye el 2% de la Cuenca del Amazonas, la misma que se divide en 2 zonas climáticas de acuerdo a la clasificación de Koppen: Amazónico Húmedo y Amazónico Semi-húmedo cuyas características típicas en ambos casos son temperaturas altas y abundantes precipitaciones a lo largo de todo el año, con una alta humedad relativa, lo cual ha permitido la existencia de una abundante vegetación, pudiendo definirse como área de alta pluviosidad.(TENA, 2021)

Además, dentro del PDOT 2021-2023; Para la caracterización climática de Tena se ha tomado en cuenta la información de la ex-estación climatológica Tena (ordinaria),

que se ubicaba en las coordenadas geográficas: 00o59'57''Sur, 77o59'57''Oeste en una cuya altitud de 665 msnm, debido a su cercanía y por tener datos mensuales sin interrupciones, durante su periodo de registro.(TENA, 2021)

Variable	Descripción
Precipitación	4600 mm – 800 mm
Temperatura	24.48 °C - 23.41 °C
Humedad	90.27% - 87.73%
Pisos climáticos	Paramo Lluvioso, Tropical semi-húmedo y húmedo
Humedad	80 – 90%

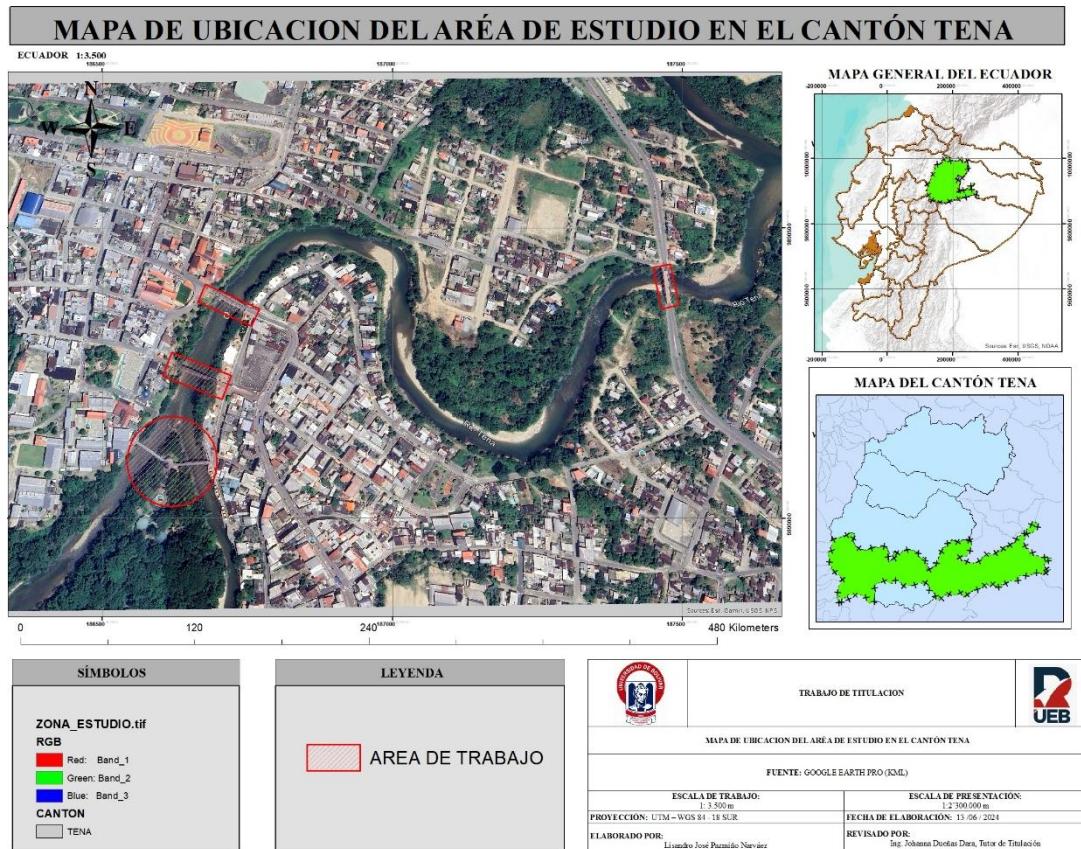
Tabla 1: Principales parámetros climáticos del cantón Tena.

Fuente: (TENA, 2021)

6.3. Mapas referenciales del área de estudio, limitación de cuenca, y amenaza de inundación.

La investigación planteada se lleva a cabo en la ciudad de la tena, cantón Tena, de la provincia de Napo. Esta investigación abarca un énfasis en el estudio de los 4 puentes urbanos y lateral que son esenciales, como base primordial para el desarrollo social, económico y productivo en torno a la ciudad del cantón, así como para la provincia y el ecuador.

Figura 1: Mapa de ubicación del área de estudio.



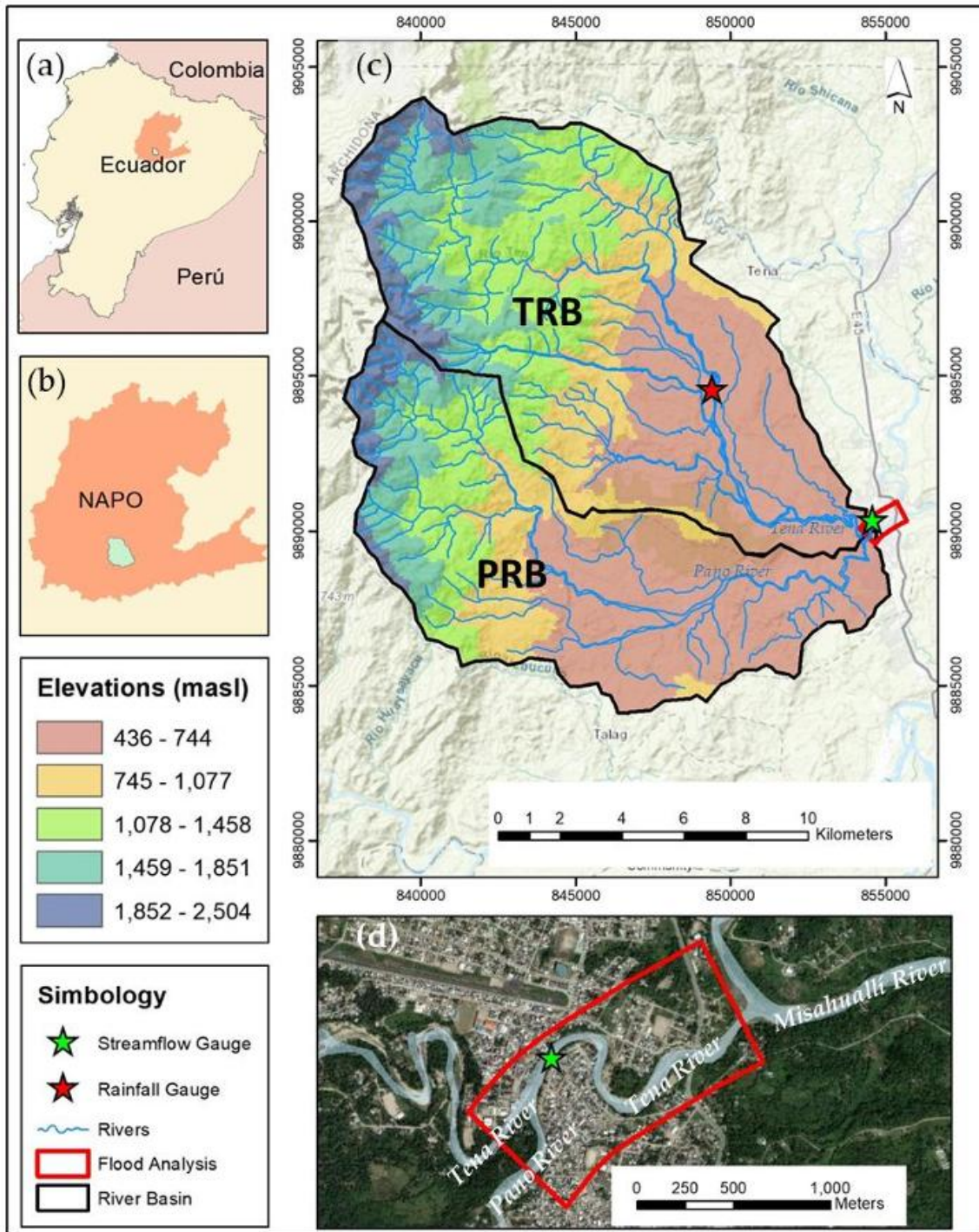
Nota: Mapa de ubicación del área de estudio, 2024. **Fuente:** Elaboración propia.

Figura 1. a) Ubicación del área de estudio. b) Ubicación de la provincia de Napo en el Ecuador. c) Ubicación del área de estudio del Cantón Tena en la provincia de Napo. d) Polígonos del área de trabajo en la zona de estudio.

En el mapa de ubicación del área de estudio, muestra una representación geográfica que está siendo estudiada. Se observa, su limitación de investigación, donde se ejecutará, permitiendo conocer la realidad en la que se encuentre estas estructuras.

Además, esta investigación tiene, una cierta inclinación bajo el artículo “Flood Hazard Assessment in Data-Scarce Watersheds Using Model Coupling, Event Sampling, and Survey Data”, donde se puede evidenciar datos mas fuertes sobre la parte de inundación, precipitación, caudales de las cuencas Pano y Tena. Donde se observa en el siguiente mapa sobre su delimitación de la cuenca hídrica, nacientes, drenajes hasta la conformación de la cuenca principal Rio Tena.

Figura 2: Mapa de limitación de cuenca.

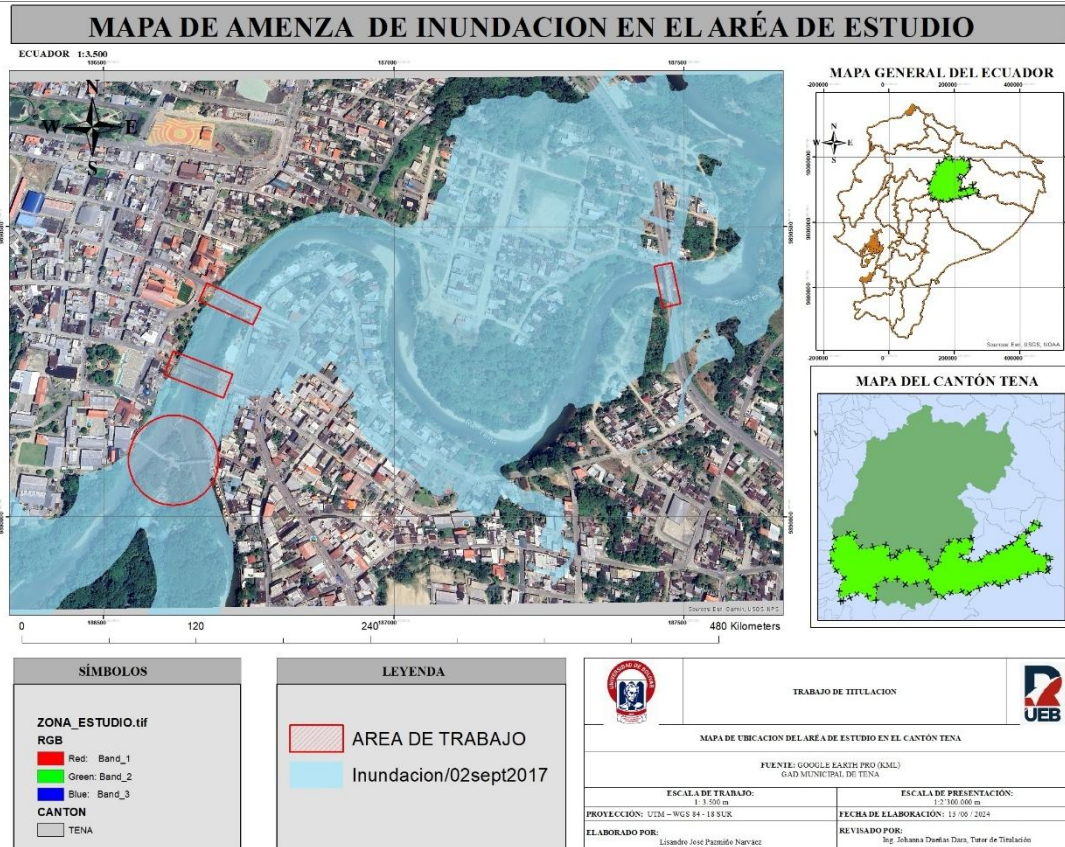


Fuente: (Hurtado-Pidal et al., 2020)

Figura 2. a) Características generales de la zona de estudio. b) Ubicación de la provincia del Napo en el Ecuador; c) zona de estudio dentro de la provincia de Napo. d) Limite de cuencas primarios, y drenajes menores. f) Ubicación del área de estudio. g) Elevación del terreno y la ubicación de los medidores de precipitaciones y caudales del río.

El mapa presenta la elevación en conjunto con la delimitación de las zonas de drenaje que recoge en el tramo las aguas lluvias, y la canalización hacia el cuerpo principal del río. Logrando una comprensión y comportamiento de estos cuerpos de agua.

Figura 3: Mapa de Amenaza de Inundación



Nota: Mapa de amenaza del área de inundación, 2024. Fuente: Elaboración propia

Figura 3. a) Ubicación del área de estudio. b) Ubicación de la provincia de Napo en el Ecuador. c) Ubicación del área de estudio del Cantón Tena en la provincia de Napo. d) Polígono azul amenaza de inundación. e) Polígono rojo área de trabajo.

Las inundaciones son fenómenos naturales de alto riesgo, estas causan destrucción, en todo su paso, como se observa en el polígono azul tiende mayor probabilidad a inundarse debido a las intensas lluvias, por lo cual hace que el río se desborde, alcanzando de 3 hasta 4 metros de altura. En el mapa de amenaza se puede observar cómo el riesgo tiene influenciada sobre el área de estudio.

7. BASES TEÓRICAS

7.1. Inundaciones en el Ecuador

El país tiene una estación lluviosa de invierno que cae en gran parte entre noviembre y junio, y una estación seca de verano con menos precipitaciones de junio a diciembre (SGR/ECOH/UNISDR, 2012); sin embargo, la estacionalidad se ve influenciada y modificada por otros fenómenos climáticos, por ejemplo, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Ecuador cuenta con una extensa red hidrográfica, excepto en las zonas áridas de la costa occidental y suroccidental. La mayoría de los ríos se originan en la región altoandina, y luego se dirigen hacia la llanura amazónica o hacia el océano Pacífico. Dos de las principales cuencas hidrográficas del país son: la cuenca del río del Guayas, formada por los ríos Daule y Babahoyo y sus afluentes; y la cuenca del río de Napo Inundación (Desbordamiento de los ríos).(Mena et al., 2021)

7.2. Antecedentes

En la cabecera cantonal las inundaciones provocan el crecimiento los drenes principales como el Tena, Pano, y la confluencia con el Misahuallí causadas por las fuertes precipitaciones continuas en periodos muy cortos de tiempo, esto se ve agravado por la ubicación de las viviendas en antiguos cauces de ríos y en las áreas de protección natural de los esteros y ríos lo que ha ocasionado afectaciones a los bienes muebles e inmuebles.(TENA, 2021)



Ilustración 1: Rio Pano y Tena, 2010

Fuente: [Rio Tena y Rio Pano / Mapio.net](http://Mapio.net)

Las inundaciones en el cantón tena, en los últimos años como se observa en la (*Tabla 1*), esta tabla se pudo elaborar a una exhaustiva investigación y recopilación de

información de documentos y registros históricos sobre las inundación producido en la ciudad del Tena, la percepción de este fenómeno natural, lo describe el GAD-Tena, PDOT 2021-2023, Sin duda el riesgo natural más importante existente en el cantón Tena es el referente a las crecidas de los ríos principales que recorren el cantón, estos son: Ríos Tena, Pano, Anzu, Misahuallí, Arajuno, Napo es decir que todas las parroquias de Tena han presentado en los últimos años afectaciones por este fenómeno.(TENA, 2021)

Tabla 2:Tabla de evento por desbordamiento, Tena.

Nº	REGISTRO	CUENCA (RIO)	AMENAZA
1	24/06/2024	Rios Pano y Tena	Inundación (desbordamiento)
2	28/12/2023	Rios Pano y Tena	Inundación (desbordamiento)
3	12/052022	Rios Pano y Tena	Inundación (desbordamiento)
4	02/08/2017	Rios pano, Tena y Misahually	Inundación (Desbordamiento)
5	12/03/2016	Rios Pano, Tena y Misahually	Inundación (desbordamiento)
6	2014	Rios Pano y Tena	Inundación (desbordamiento)
7	06/04/2010	Rios Pano, Tena, Misahually y Colonso	Inundación (desbordamiento)
8	22/09/2008	Rios Pano, Tena, Misahually	Inundación (Desbordamiento)
9	30/03/2008	Rios Pano, Tena y Misahually	Inundación (desbordamiento)

Nota: Antecedentes de eventos por desbordamiento e inundación, 2024. **Fuente:** Elaboración propia.

Estos eventos se dan con mayor intensidad en los meses de mayo, junio y julio, debido a que entra en estado de invierno (Época Lluvioso), además de que estos eventos ocurren cada 3-4 años de retorno con mayor grado de intensidad, claramente tomando en cuenta el factor del cambio climático, y con su influencia por la intensa vegetación que contiene la amazonia, confluyentes a precipitación.

7.3. Inundación en el Cantón Tena

Inundaciones registradas en los años 2008, 2010 y 2016 (marzo) en los barrios del área de estudio, a causa del desbordamiento del río Tena, ponen en evidencia la vulnerabilidad existente que tienen dichos barrios, debido a las condiciones geográficas y sociales con las que viven.(Cruz Cueva, 2016)

El 6 de abril del 2010, lluvias torrenciales provocan el desbordamiento de los ríos Pano, Tena y Misahuallí, afluentes del río Napo. El agua alcanza hasta 3 metros de altura dentro de la ciudad de Tena, arrasando con puentes, casas, carros y cultivos.(Cruz Cueva, 2016)

Según el comercio, “Unas 18 personas afectadas, cuatro viviendas, cuatro bienes públicos y un puente es el balance que se conoce sobre las inundaciones en Tena, en la amazónica provincia del Napo”.(Narváez, 2017)



Fuente: Estado de emergencia y suspensión de clases en Tena tras inundación por lluvias. (Narváez, 2017)

7.4. Inundación en la zona de estudio

Los principales ríos de Tena son el Napo, Tena, Pano y Misahuallí. La provincia experimenta inundaciones regulares debido a los desbordamientos naturales y recurrentes de los ríos que son causados por lluvias prolongadas e intensas, o por lluvias cortas, pero extremadamente fuertes en terrenos planos (PDOT Napo 2019). La provincia experimenta inundaciones regulares por el desbordamiento de los ríos Tena, Pano y Misahuallí que afectan a las comunidades de las riberas, así como a la parte central de la ciudad de Tena durante los meses de julio a septiembre (PDOT Napo 12 2019). Napo reconoce que el 3% de su superficie es altamente susceptible a las inundaciones, mientras que otro 2,36% tiene una susceptibilidad media a las mismas.(Mena et al., 2021)

7.5. Tipos de inundación

Inundaciones pluviales: Suceden cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno para drenarla, acumulándose por horas o días sobre éste(Subdirección de Protección Civil, 2007).

Inundaciones fluviales: Se generan cuando el agua que se desborda de ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos(Subdirección de Protección Civil, 2007).

Inundaciones por ruptura de bordos, diques y presas: Cuando falla una obra contenedora de agua, ocurre una salida repentina de una gran cantidad de agua, provocando efectos catastróficos e inundación de amplias extensiones de terreno.(Subdirección de Protección Civil, 2007).

7.6. Puentes ante la amenaza de inundación

Las causas más frecuentes de fallas de puentes se atribuyeron a crecientes de ríos, sobrecargas e impactos. Las inundaciones y la socavación, contribuyeron al pico de frecuencia de fallas con un 46% de todas las fallas. La sobrecarga del puente y las fuerzas de impacto lateral de camiones y barcos constituyen el 25% de las fallas totales. Otras causas principales frecuentes son el diseño, los detalles, la construcción, el mantenimiento y eventos sísmicos.(Marín & Maldonado, 2022)



Fotografía 1: Colapso de puente por inundación, sobre el Rio Blanco, Sto. Domingo, 2023.

Fuente: Fotografía del autor.

Según datos obtenidos en Desinventar, desde el año 1970 hasta la actualidad, las inundaciones representan el mayor número de eventos de amenaza reportados y son la principal causa de muerte por amenazas hidrometeorológicas, y la tercera causa de todas las muertes relacionadas con amenazas en el país. (DesInventar, 2019)

7.7. Causas generales de los colapsos

Como se mencionó anteriormente, las causas de las fallas de los puentes se clasifican en dos grupos, causas originadas por factores naturales y causas originadas por factores humanos, como se muestra en la Tabla 5. Dentro de los factores naturales están los eventos catastróficos, por ejemplo, inundaciones, deslizamientos de tierra, flujo de escombros, socavaciones y terremotos, que a menudo son inevitables y causan graves daños a cualquier tipo de estructuras, en este caso los puentes. Además de los factores naturales, los factores humanos, que contempla; el diseño y el método de construcción defectuosos, impactos, sobrecargas, falta de inspección y mantenimiento, etc., también pueden provocar el colapso de puentes. La Tabla 5. revela que el número de casos relacionados con causas por factores naturales y factores humanos es el mismo, 36 (50%) colapsos para cada categoría. En el siguiente apartado se detallan las causas principales o específicas del colapso de los 72 puentes analizados en esta investigación (Marín & Maldonado, 2022).

Tabla 3: Número de fallas clasificados por la causa general de colapso

Causas de las fallas	Número de colapsos	%
Factores naturales	36	50%
Factores humanos	36	50%
Total	72	100%

Fuente: (Marín & Maldonado, 2022)

7.8. Relación entre vida útil y vida residual de un puente.

La vida útil de un puente depende de varios factores, como el diseño estructural, los materiales utilizados, la calidad de la construcción, el mantenimiento regular y las condiciones ambientales a las que está expuesto. Un puente bien diseñado, construido y mantenido adecuadamente puede tener una vida útil de varias décadas o incluso más. (de Luna, 2024)

La vida útil y la vida residual de un puente se determinan a través de cálculo, usan la fórmula matemática: $(VU=Cd/Ca)$ y $(VR=VU-Vr)$. El ingeniero civil debe disponer de toda la información necesaria para llevar a cabo este análisis. En esta investigación, dichos conceptos se emplean únicamente como referencia para comprender la seguridad de los puentes en función de la implementación de las propuestas planteadas.

7.9. Prevenir o reducir un mayor deterioro.

Esta acción deberá realizarse cuando la afectación es incipiente y se detecta la posibilidad de que la misma pueda ser detenida con una simple acción. Por ejemplo, en el nivel de la afectación detectada la Figura 4 Izquierda se recomendaría una simple pintura y una solución para que no continúe acumulándose agua en la zona afectada. (de Luna, 2024)



Figura 4. Izquierda, Muestra el grado de oxidación de la viga principal del puente sobre el apoyo. Derecha, muestra la reparación realizada en otro apoyo, al parecer debido a la misma situación. Foto del autor.

Fuente: Vida útil de un puente. Algunas consideraciones prácticas para su determinación.

(Pinto, 2014)

7.10. Factores que desencadenan

La precipitación en Napo oscila en promedio entre 150 y 270 mm/mes, y la mayor cantidad de precipitaciones se produce de marzo a mayo. Hay una estación más seca que se produce de julio a septiembre, pero hay lluvias durante todo el año. La temperatura media de Napo fluctúa poco, oscilando entre 18° y 19°C.(NAPO, 2020)

La última inundación que tuvo un carácter de extraordinaria ocurrió el 6 de abril del 2010 debido a los derrumbes y posteriores deslizamientos en los flancos de la cuenca alta del río Colonso. Otro de los factores a tomar en cuenta para que se produzcan estas inundaciones es el alto grado de deforestación y pérdida acelerada de la capa vegetal, por lo que se estima que los eventos de inundación podrían ser mucho más frecuentes y de impactos negativos altos.(TENA, 2021)

7.11. PUENTES

Un puente es una estructura que se utiliza para conectar dos puntos separados, como ríos, valles o carreteras con el fin de prolongar la continuidad de estos extremos de los puntos.

Según, Alberto Pinto; “Su propósito principal es proporcionar un paso seguro y estable para el transporte de personas, vehículos y carga de un lado al otro. Los puentes son importantes para facilitar la movilidad y la conectividad en diferentes áreas geográficas, permitiendo el flujo continuo de tráfico y reduciendo las distancias de viaje”. (Pinto, 2014)

7.11.1.1. Tipos de puentes

Existen varios tipos y formas de puentes alrededor del mundo, centrándonos en nuestra área de estudio la mayoría de construcciones de puentes conforman en 5 tipos de puentes como:

7.11.1.2. Puentes colgantes

En esta clase de construcciones de gran altura, el peso del puente se sostiene sobre los soportes verticales que se apoyan en el suelo y en los anclajes de las cuerdas. Las torres se fijan a los pilares de sujeción, que pueden estar muy separados entre sí, y sirven de apoyo para los distintos cables. (Pinto, 2014)

Ilustración 2: Puente colgante, sobre el Rio Tena



Fuente: <https://mapio.net/pic/p-11818607/>

7.11.1.3. Puentes atirantados

Otros puentes llamados atirantados con cables de acero son, en realidad, estructuras compuestas con torres de hormigón, vigas principales de borde, vigas de piso (y posiblemente largueros), de acero estructural, y una placa de tablero compuesta prefabricada o vaciada en el sitio. (Cueva Ingeniero Civil, 2024)

Ilustración 3: Puente atirantado



Fuente: (Gobernación de Napo, 2013)

7.11.1.4. Puentes Bailey

Un **puente Bailey** es un tipo de puente de celosía portátil, prefabricado. Fue desarrollado en 1940-1941 por los británicos para uso militar durante la Segunda Guerra Mundial y fue ampliamente utilizado por unidades de ingeniería militar británicas, canadienses y estadounidenses. Un puente Bailey tiene la ventaja de que no requiere herramientas especiales ni equipo pesado para ensamblarlo. Los elementos del puente de madera y acero eran lo suficientemente pequeños y livianos como para transportarlos en camiones y colocarlos en su lugar a mano, sin el uso de una grúa. Los puentes eran lo suficientemente fuertes para transportar tanques. Los puentes Bailey continúan utilizándose ampliamente en proyectos de construcción de ingeniería civil y para proporcionar cruces temporales para el tráfico de peatones y vehículos. Un puente Bailey y su construcción ocuparon un lugar destacado en la película de 1977 *A Bridge Too Far*. (Academia-Lab, 2024)

Ilustración 4: Puentes Bailey

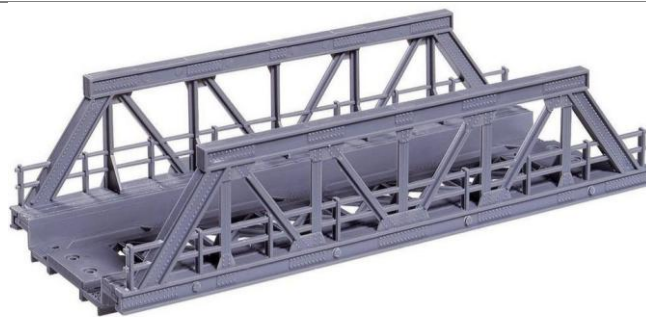


Fuente: <http://spanish.prefabricatedsteelstructures.com/sale-11130980-200-type-prefabricated-steel-bailey-bridge-with-galvanized-or-painted-surface.html>

7.11.1.5. Puentes celosía

Se trata de vigas esqueléticas de hierro forjado con planta triangular, como las que desde entonces se han llamado vigas Warren, y que algunos consideran una combinación recién inventada. Pero son simplemente cerchas con cordones paralelos y diagonales, o más bien, miembros oblicuos, con una sola serie de oblicuos, y sin verticales, excepto para concentrar el peso en los oblicuos desde puntos intermedios a lo largo del cordón superior o inferior, según se cargue la viga en dicho cordón superior o inferior. (Arquidia, 2021)

Ilustración 5: Puentes celosía de tipo Warren



Fuente: <https://www.otto.de/p/noch-modelleisenbahn-bruecke-h0-vorflut-bruecke-S07470DO/>

7.11.1.6. Puentes arco con tablero:

Este tipo de puentes reparten el peso sobre los pilares de apoyo, los arcos contiguos y los apoyos en la tierra firme. De esta manera consiguen mayor distancia entre los pilares. (Pinto, 2014)

Ilustración 6: Puentes arco con tablero inferior, sobre el río Tena



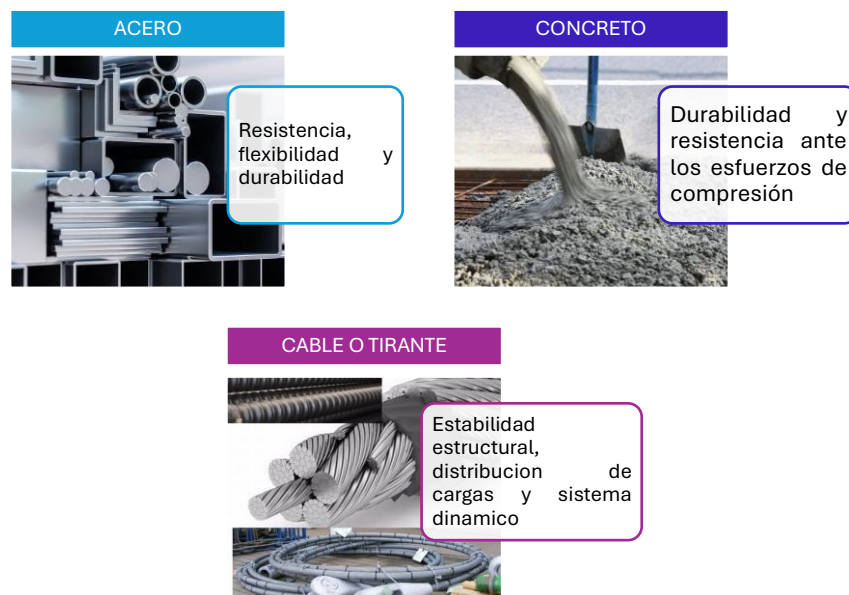
Fuente: Puente Río Tena - Cuerpo de Ingenieros del Ejército

7.12. Materiales de construcción

En cuanto a los puentes urbanos en la ciudad del Tena, los materiales con los que están compuestas estas estructuras son: Acero, hormigón (concreto) y cable. Por ejemplo, cuando se habla de un puente de metálico, se entiende que la estructura principal es de acero-metal, pero la losa y las bases puede ser de hormigón.

- **Acero:** Es uno de los materiales más comunes utilizados en la construcción de puentes debido a su alta resistencia y durabilidad.
- **Hormigón (concreto):** El hormigón es otro material común utilizado en la construcción de puentes, ya que es fuerte y resistente a la compresión.
- **Cable:** Los puentes colgantes o suspendidos utilizan cables de acero o fibra de vidrio para sostener la estructura del puente y distribuir las cargas. (Pinto, 2014)

Figura 4: Tipos de materia de construcción en puentes



Nota: Elaboración propia: Lisandro Pazmiño N

7.13. Partes de un Puente

- **Pilas:** Son los apoyos de la superestructura que se encuentran entre los dos estribos. Al igual que los estribos, las pilas son elementos de apoyo que conducen los esfuerzos de la superestructura hacia los cimientos o fundaciones. Están diseñadas para resistir todas las fuerzas verticales, horizontales y transversales que actúan sobre el puente. Habitualmente son de hormigón o de camisa de acero macizada con hormigón, de una sección transversal constante o variable dependiendo de su altura, o de sección maciza o hueca, atendiendo a criterios económicos, estructurales y estéticos.(Erzilla, 2024)
- **Cimentación del puente:** Los cimientos, habitualmente soterrados, conforman la base de un puente ya que son los elementos encargados de soportar las cargas que llegan a través de la subestructura y transferirlas al terreno que al final es quien absorbe todos los esfuerzos de peso propio y sobrecargas de todo tipo a las que se ve sometido.(Erzilla, 2024)
- **Tablero o Plataforma:** Es la superficie por la cual circulan los vehículos o peatones. El tablero o plataforma suele estar construido con acero o concreto y puede estar compuesto por varias vigas horizontales unidas.
- **Diafragmas:** A fin de evitar el movimiento de las vigas se les ajustan unas vigas de manera perpendicular o transversal al puente llamadas

diafragmas. Los diafragmas hacen posible la resistencia a las deformaciones transversales del puente, incrementan la distribución de las cargas a todas las vigas y ofrecen una estructura más estable a la construcción. Estos elementos suelen ser del mismo material que el de las vigas.(Erzilla, 2024)

Ilustración 7: Tablero o plataforma



Fuente: Tablero y plataforma puente. Fotografía del autor, 2024. Pazmiño

- **Estribos:** Los estribos son los elementos estructurales de retención del suelo que soportan la carga vertical de la superestructura del puente en sus dos extremos. Completados por otras estructuras denominadas **aletas**, que pueden estar integradas o separadas del estribo, su función consiste en colaborar junto a las pilas en la sustentación del tablero, además de servir como muros de contención unidos a un talud tanto al inicio como al final del puente. Están contruidos con hormigón armado y son capaces de soportar altos niveles de fuerza horizontal.(Erzilla, 2024)
- **Las juntas de calzada o de dilatación:** Estos elementos salvan las discontinuidades que existen entre tablero y estribos o entre distintos tableros de la estructura si se disponen de juntas intermedias.(Erzilla, 2024)
- **Pilón:** Los pilonos o torres forman parte de la subestructura de los puentes atirantados, en voladizo, extradosados y colgantes. Sobrepasan verticalmente el tablero del puente en forma de torres que sirven para la sujeción y el anclaje tanto de tirantes como de cables de acero.(Erzilla, 2024)

- **Apoyos:** Los apoyos son los puntos en los que se asienta una estructura y a través de los cuales se transmiten las cargas al suelo. Los apoyos suelen estar contruidos con acero o concreto y pueden ser de una sola pieza o compuestos de varias piezas unidas.
- **Losa de aproximación:** Como la deformabilidad de los terraplenes de acceso es mucho mayor que la de los estribos, tiende a formarse un escalón brusco entre las tierras y el muro del estribo.
- **Cables o Tirantes:** Los cables o tirantes son elementos que ayudan a sostener y transmitir las cargas en puentes colgantes o suspendidos.
- **Apoyo neopreno:** Los dispositivos de apoyo son elementos mediante los que el tablero transmite las acciones que le solicitan a las pilas y estribos. La vinculación que los apoyos establecen entre tablero y subestructura debe permitir los movimientos relativos de giro y/o desplazamiento en la dirección longitudinal y/o transversal.(Erzilla, 2024)
- **Aislamiento sísmico:** Permite disipar las vibraciones, y movimientos causados por los vehículos y sismos.
- **Barandillas:** Son elementos de seguridad que se colocan en los bordes del tablero o plataforma para evitar que los vehículos o peatones caigan al agua o al suelo.

8. CIENTÍFICO

8.1. Aplicación del informe de inspección para puentes y Guía de inspección visual de puentes “Costa Rica”.

“Informe de inspección rutinaria del puente sobre el río Virilla en Ruta Nacional n.º 27”

Según los resultados de la inspección rutinaria realizada, la calificación de la condición global del puente es **Deficiente (4)**. Lo anterior, corresponde a que se observaron deficiencias serias, pero que no llegan a comprometer la estabilidad del puente. Se observan deficiencias moderadas en elementos estructurales primarios: Tablero [40001], deficiencias significativas en elementos estructurales secundarios: Apoyos [50006], en elementos funcionales primarios: Losa de aproximación [20001] y en elementos funcionales secundarios: Juntas de expansión [10001], Sistema de drenaje del tablero (salida) [10003], Sistemas de drenajes (accesos) [20005] y Sistema de contención vehicular (acceso) [30002], que pueden afectar su capacidad estructural u operativa. (LanammeUCR, 2022)

Tabla 7.1 Calificación de la condición global del puente (CP)

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN GLOBAL	DESCRIPCIÓN
4 DEFICIENTE	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.

De acuerdo con la calificación de la condición global del puente (CP), se recomienda incluir la estructura en un programa de intervención de Mantenimiento basado en la condición. (LanammeUCR, 2022)

8.2. Guía para la determinación de la condición en puentes

La evaluación visual de puentes mediante una descripción de su “estado o condición” es una herramienta básica para la Gestión de Puentes. Su principal objetivo es monitorear la integridad y segura operación de los puentes, alertando de forma temprana sobre deterioros observados. De esta forma se salvaguarda la seguridad de los usuarios del sistema de transporte y se optimizan las inversiones mediante el mejoramiento de las labores de mantenimiento y rehabilitación. Luego de una evaluación visual realizada por

inspectores calificados, se pueden identificar deterioros que podrían afectar la capacidad de carga del puente o que constituyen evidencia de que un estado límite de diseño fue excedido, y detectar defectos constructivos o de diseño.(Muñoz et al., 2015)

La determinación inicial de la condición del puente es el primer paso para decidir si se deben realizar investigaciones más profundas por especialistas que incluyan otros ensayos no destructivos y destructivos, la generación de modelos estructurales, análisis hidrológicos e hidráulicos y estudios geotécnicos. La profundidad y tipo de estas investigaciones depende de la peligrosidad de los daños encontrados, la importancia del puente, la información requerida para el análisis de seguridad estructural o de la existencia de dudas luego de la evaluación visual inicial.(Muñoz et al., 2015)

Figura 5: Descripción de los niveles de calificación de la condición para elementos.

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN	PROGRAMA DE TRABAJO RECOMENDADO PARA LA INTERVENCIÓN
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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente. - Mantenimiento basado en la condición de elementos aplica si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como aceptables.
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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento basado en la condición de elementos.
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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento basado en la condición de elementos. - Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
5 ALARMANTE	La estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en uno o varios elementos estructurales primarios del puente, o a deficiencias severas extendidas en uno o varios elementos estructurales secundarios o elementos funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> - Rehabilitación de elementos. - Sustitución de elementos aplica si se considera que las acciones de rehabilitación no son efectivas para mejorar la condición de los elementos.
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 primarios del puente. Daño irreversible que posiblemente requiera la sustitución del puente o al menos la sustitución de los elementos dañados.	<ul style="list-style-type: none"> - Sustitución de elementos. - Sustitución del puente aplica solo si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican con falla inminente.

Fuente: Guía para la determinación de la condición en puentes mediante inspección visual.pdf

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

Figura 6: Daños y defectos típicos en puentes

8.2.1.1. Elementos del puente

Luego de un análisis de los elementos del puente como el realizado mediante el uso del cuadro 2 y observando aquellos de los aspectos del puente en que se busca enfatizar mediante el uso de esta metodología, se presenta en las Tabla 3 y 4 un listado de elementos del puente que se evalúan en este método. También, muchos de los elementos nombrados en los cuadros se muestran en la figura 8. En los cuadros se clasifican los elementos según estos formen parte de la superestructura, subestructura, seguridad vial/accesorio/acceso, o si su función es de protección ante eventos como sismos o crecidas de los cuerpos de agua. (Muñoz et al., 2015)

Tabla 4: Listado de componentes de los puentes

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

Tabla 5: Elementos de protección del puente contra amenazas naturales

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

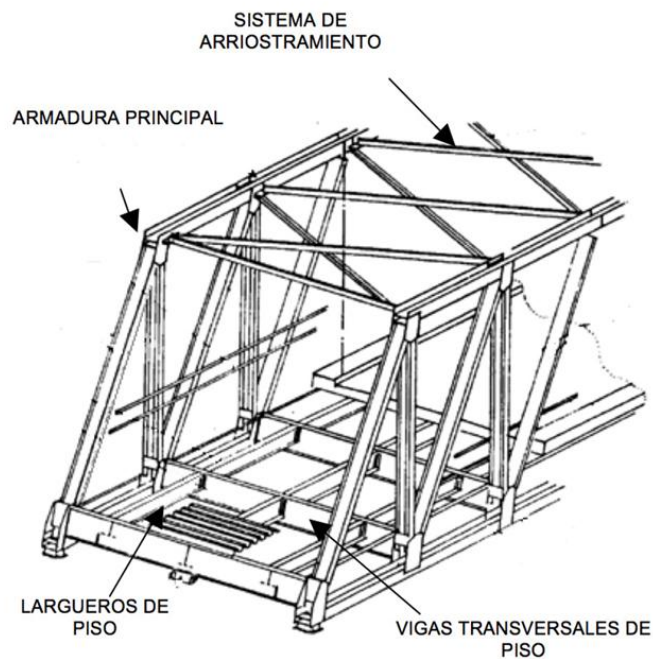
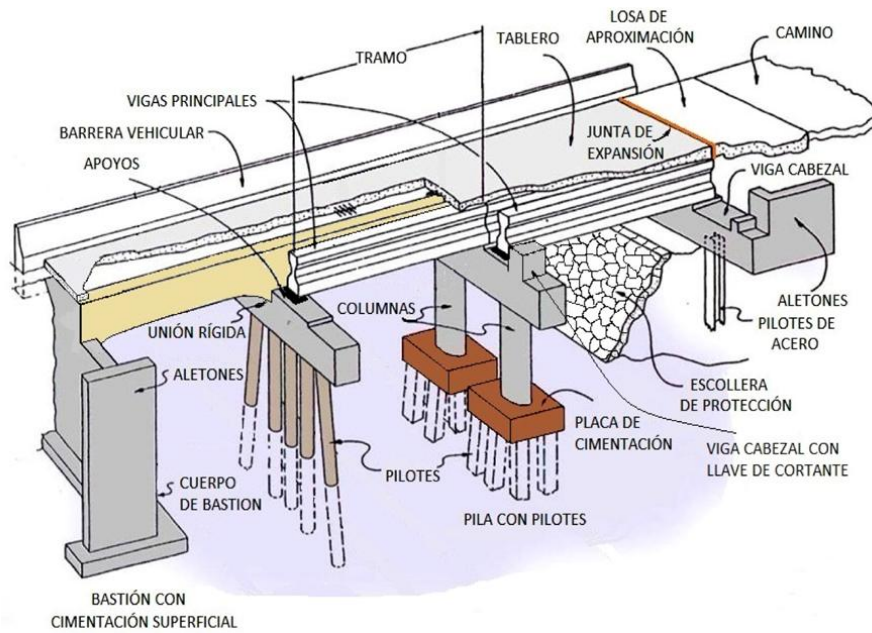


Figura 7: Esquema de algunos de los componentes de puentes

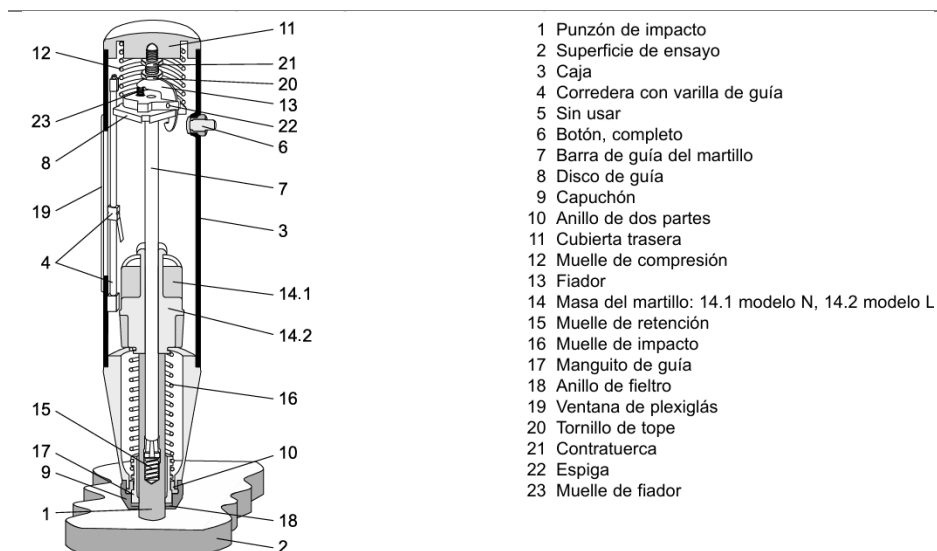
8.2.1.2. Limitaciones de la metodología

El método de evaluación visual no se puede desvincular enteramente del criterio del evaluador. La ponderación de aspectos descrita mediante el conjunto de variables propuesto es un recurso para aumentar la objetividad, sin embargo, puede ser necesario que el evaluador recurra al criterio experto propio o de otro evaluador con más experiencia en deterioro de elementos de puentes para determinar con certeza el grado de deterioro. La variabilidad a la hora del cálculo del grado de daño se puede disminuir mediante el uso de un catálogo de deterioros que proporcione una guía en la detección y calificación de daños. (Muñoz et al., 2015)

8.3. Esclerómetro Schmidt

El esclerómetro, también conocido como martillo para ensayos de dureza o martillo de rebote, es un dispositivo utilizado en ingeniería civil para medir la dureza superficial y, por ende, la resistencia del concreto en obras de construcción. Funciona al dejar caer un martillo de masa y resorte sobre la superficie del concreto, midiendo el rebote de impacto. Este rebote se correlaciona con la resistencia a la compresión del concreto, permitiendo a los profesionales evaluar la calidad y fortaleza del material de forma no destructiva, lo que resulta crucial para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras. (GRUPO KB, 2018)

Ilustración 8: Martillo para ensayos de hormigón, modelo N/L



Fuente: Sección longitudinal a través del martillo para ensayos de hormigón.

Esclerómetro Análogo Original Schmidt

8.3.1.1. Campo de Aplicación

Originalmente, fue propuesto como un método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto, estableciendo curvas de correlación en laboratorio. Sin embargo, por los diferentes factores que afectan los resultados y la dispersión que se encuentra, en la actualidad se le emplea mayormente en los siguientes campos:

- Evaluar la uniformidad del concreto en una obra.
- Delimitar zonas de baja resistencia en las estructuras.
- Informar sobre la oportunidad para desencofrar elementos de concreto.
- Apreciar, cuando se cuenta con antecedentes, la evolución de la resistencia de estructuras.
- Determinar niveles de calidad resistentes, cuando no se cuenta con información al respecto.
- Contribuir, conjuntamente con otros métodos no destructivos a la evaluación de las estructuras.(CIVILGEEKS, 2011)

8.3.1.2. Descripción del aparato y del método

El ensayo se efectúa apretando el percutor contra la superficie examinar, hasta que el martillo, impulsado por un resorte, se descargue sobre el percutor. Después del golpe, el martillo rebota un acierta distancia, la cual se indica por una aguja en una escala graduada. La lectura de la posición de la aguja representa la medida del retroceso en porcentaje del avance del martillo.

Básicamente el proceso está constituido por una masa móvil, con una cierta energía inicial, que impacta la superficie de una masa de concreto, produciendo una redistribución de la energía cinética inicial. Parte de la energía es absorbida como fricción mecánica en el instrumento y otra parte como energía de formación plástica del concreto. La parte restante es restituida a la masa móvil en proporción a la energía disponible. Para tal distribución de energía es condición básica que la masa de concreto sea prácticamente infinita con relación a la masa del percutor del aparato, lo que se da en la mayoría de las estructuras. En consecuencias, el rebote del esclerómetro es un indicador de las propiedades del concreto, con relación a su resistencia y grado de rigidez.(CIVILGEEKS, 2011)

8.4. Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos

La metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones en centros urbanos, se aplica después de contar con la evaluación de amenazas y un diagnóstico físico del centro urbano en estudio. Para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones, se diseñaron dos metodologías: **Cualitativa**: Identificación de manzanas y/o lotes con indicadores críticos de las variables seleccionadas para el análisis, comparándolas con las zonas de amenaza a inundaciones, obteniendo niveles de vulnerabilidad y riesgo a la vez. **Heurística**: Asignación de una ponderación a cada variable seleccionada, según su importancia ante inundaciones y asignación de un valor, a cada indicador de cada variable, según su nivel de criticidad. Los niveles de vulnerabilidad de cada manzana quedan establecidos mediante rangos.(Lozano, 2008)

Figura 8: Metodología heurística: niveles de vulnerabilidad de las edificaciones ante inundaciones

NIVELES DE VULNERABILIDAD			RANGOS
Muy Alto	4		De 98 a 120
Alto	3		De 75 a 97a
Medio	2		De 53 a 74
Bajo	1		De 30 a 53

Fuente: olga-lozano.pdf

9. LEGAL

Normativa Competencia Gestión de Riesgos

Gestión de Riesgos

Art. 389.- “El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

Constitución de la República del Ecuador

2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.

3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.

5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.

6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir,

mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional.

Art. 390.- Los riesgos se gestionan bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implica la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad” (CRE, 2008).

**Código Orgánico de
Organización Territorial,
Autonomía y
Descentralización
(COOTAD)**

Art. 140.- La gestión de riesgos, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley.

**Reglamento a la
Ley de Seguridad Pública
y del Estado**

Art. 3.- Del órgano ejecutor de Gestión de Riesgos. - La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos es el órgano rector y ejecutor del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos. Art. 18.- Rectoría del Sistema. - El Estado ejerce la rectoría del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo. Art. 24.- De los Comités de Operaciones de Emergencia (COE). - son instancias interinstitucionales responsables en su territorio de coordinar las acciones tendientes a la reducción de riesgos, y a la respuesta y recuperación en situaciones de emergencia y desastre.

CLASIFICACION DE LAS VIAS

**LEY SISTEMA
NACIONAL DE
INFRAESTRUCTURA
VIAL TRANSPORTE
TERRESTRE**

Art. 8.- Red vial cantonal urbana. Se entiende por red vial cantonal urbana, cuya competencia está a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados municipales o metropolitanos, al conjunto de vías que conforman la zona urbana del cantón, la cabecera parroquial rural y aquellas vías que, de conformidad con cada planificación municipal, estén ubicadas en zonas de expansión urbana. Dado que la conectividad y movilidad es de carácter estratégico, cuando una vía de la red vial nacional, regional o provincial atraviese una zona urbana, la jurisdicción y competencia sobre el eje vial, pertenecerá al gobierno central, regional o provincial, según el caso.

Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial: Regula el transporte terrestre y la construcción de infraestructuras viales.

Ley Orgánica de Régimen Municipal: Establece las competencias y responsabilidades de los gobiernos locales.

**Marco de Sendai
para la Reducción del
Riesgo de Desastres y su
aplicación.**

El principal propósito del Marco de Sendai 2015-2030 es la reducción sustancial del riesgo de desastres y de las pérdidas ocasionadas por los desastres, tanto en vidas, medios de subsistencia y salud, así como en bienes económicos, físicos, sociales, culturales y ambientales de las personas, las empresas, las comunidades y los países.

Las 4 Prioridades:

-
1. Comprender el riesgo de desastres.
 2. Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo
 3. Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.
 4. Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.
-

LEY ORGÁNICA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES

CAPÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES

Art. 57.- Instrumentos para el análisis y evaluación de la vulnerabilidad ante el riesgo de desastres. Los niveles territoriales y sectoriales, en atención al principio de descentralización subsidiaria, contarán con estudios de vulnerabilidad de la infraestructura y servicios básicos, así como de la vulnerabilidad de las comunidades, pueblos y nacionalidades con la finalidad de definir acciones para reducir las mismas dentro de la planificación.(Asamblea Nacional, 2024)

Art. 69.- Evaluaciones de efectos e impactos y estimación de necesidades de recuperación post desastre. -El ente rector de la planificación nacional en coordinación con el ente rector de la gestión integral del riesgo de desastres definirá los lineamientos técnicos y la implementación del instrumento de evaluación de efectos e impactos de emergencias y desastres y la estimación de necesidades post desastre para el apoyo a la planificación de la recuperación.(Asamblea Nacional, 2024)

Art. 70.- Planes de fortalecimiento de los gobiernos autónomos descentralizados. -El Consejo Nacional de Competencias evaluará las capacidades de los gobiernos autónomos descentralizados y regímenes especiales para dar cumplimiento a la presente Ley y diseñará, en coordinación con las entidades asociativas de los gobiernos autónomos descentralizados correspondientes cuando corresponda, el proceso y planes de fortalecimiento institucional, los mismos que serán de cumplimiento obligatorio. Sección Sexta Transparencia, control y rendición de cuentas.(Asamblea Nacional, 2024)

10. CONCEPTUAL

Amenaza. - Es un proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, disrupciones sociales y económicas o daños ambientales.(SNGR, 2018)

Colapso estructural de infraestructura. - Disminución de la resistencia y ductilidad de una estructura o elemento estructural, por condiciones externas o internas, provocando la incapacidad de su función, pérdida de estabilidad y destrucción.(SGR, 2018)

Emergencia. - Es un evento que pone en peligro a las personas, los bienes o la continuidad de los servicios en la comunidad y que requieren una respuesta inmediata y eficaz a través de las entidades locales.(SNGR, 2018)

Eventos Climáticos. - Una suma de factores, entre ellos la acción humana y la devastación del medio ambiente, intervienen en el aumento de las catástrofes naturales.(National Geographic, 2024)

Exposición. - Situación en que se encuentran las personas, infraestructuras, viviendas, capacidades de producción y otros activos humanos tangibles situados en zonas expuestas, considerando la dimensión ambiental de los Ecosistemas naturales y socio naturales.(SNGR, 2018)

Elementos de un puente. - Son los miembros individuales que conforman los dos subsistemas del puente. En el subsistema de la superestructura son: las vigas principales, travesaños, largueros, juntas de dilatación, arriostramientos, etc. En el subsistema de subestructura son: los aparatos de apoyo, estribos, cepas y fundaciones.(de Luna, 2024)

Inundación. – Son eventos que se presentan cuando las precipitaciones sobrepasan la capacidad máxima de retención de agua e infiltración del suelo (Inundación por saturación de suelo), o el caudal de agua supera la capacidad máxima de transporte de los ríos, quebradas o esteros (Inundaciones por desbordamientos de ríos).(SGR, 2018)

Mitigación. - Disminución o reducción al mínimo de los efectos adversos de un suceso peligroso a través de la implementación de medidas estructurales y no estructurales.(SNGR, 2018)

Riesgos de Desastres. - Es la probable pérdida de vidas o daños ocurridos en una sociedad o comunidad en un período de tiempo específico, que está determinado por la amenaza, vulnerabilidad y capacidad de respuesta.(SNGR, 2018)

Rehabilitación. - Cuando en una estructura se realiza la reparación o restitución de un elemento o un subsistema, llevándolo a sus condiciones originales de diseño, que le permite alargar la vida útil al sistema como un todo, verificándose que, en estas condiciones, cumple con la normativa vigente al momento de la intervención.(de Luna, 2024)

Socavamiento. - Excavación lateral y del fondo del suelo por acción del agua, conocido como erosión hídrica, dejando en falso o sin apoyo a la superficie estableciéndose como zona de riesgo.(SGR, 2018)

Puentes. - Los puentes pueden ser desde las estructuras más sencillas hasta enormes obras de ingeniería, pero siempre cumplen una misma función, atravesar un tramo que de otra forma sería difícil o imposible. Ya sea para salvar un valle, un río o una carretera, la constante innovación ha dado lugar a diferentes estructuras que combinan la ingeniería con variedad de materiales que han permitido prolongar la vida de un puente durante siglos.(Iur, 2023)

Puente Atirantado. - Un puente atirantado es un tipo de puente colgante que conecta por medio de cables el tablero con los pilonos o las torres. Estos tirantes utilizan la tensión para ayudar a mantener el tablero del puente estable y en su sitio. El puente atirantado es el ideal para salvar distancias muy largas.(Iur, 2023)

Puente colgante. - El tablero o la calzada está suspendida de tirantes verticales más pequeños unidos a los cables de suspensión que se extienden a cada lado del puente y se anclan firmemente en el terreno. Dependerá del tamaño del puente, pero requiere de varias torres para sostener los cables de suspensión. Cualquier carga aplicada al puente se convierte en tensión a través de los cables de suspensión, que son la parte integral de la estructura. Pero como estos tipos de puentes sólo están fijados en el terreno en ambos extremos y los cables de suspensión tienen cierta capacidad de flexión, pueden balancearse con el viento o vibrar cuando los atraviesa el tráfico pesado.(Iur, 2023)

Puente celosía. – La celosía tipo Warren consiste en barras longitudinales unidas solo por barras transversales en ángulo, formando triángulos equiláteros a lo largo de toda la longitud, alternativamente apoyados sobre la base e invertidos, asegurando que ningún

puntal individual, viga o tirante este sujeto a solicitaciones de flexión o torsión, sino solo tracción o compresión.(Castillo & Martínez, 2020)

Puente arco. – Un puente de arco es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma de arco con la que se transmiten las cargas. El tablero puede estar apoyado o colgado de esta estructura principal, dando origen a distintos tipos de puentes.(Unknown, 2026)

Plan de Emergencias. - Definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales de reacción y alerta institucional, inventario de recursos, coordinación de actividades operativas y simulación para la capacitación, con el fin de salvaguardar la vida, proteger los bienes y recobrar la normalidad de la sociedad tan pronto como sea posible después de que se presente un fenómeno peligroso(SNGR, 2018).

Reforzamiento. - El refuerzo o la modernización de las estructuras existentes para lograr una mayor resistencia y resiliencia a los efectos dañinos de las amenazas.(SNGR, 2018)

Plan de Preparación y Respuesta. - Establece, con antelación, las disposiciones normativas y jerárquicas que permitan a los actores involucrados en la gestión del riesgo de desastres intervenir y dar respuestas oportunas, eficaces y apropiadas a posibles sucesos peligrosos concretos o situaciones de desastre emergentes que puedan suponer una amenaza para la sociedad o el medio ambiente.(SNGR, 2018)

Vulnerabilidad. - Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes o los sistemas a los efectos de las amenazas.(SNGR, 2018)

Hidrometeorológicas. - De origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico. Cabe citar como ejemplo los ciclones tropicales (también conocidos como tifones y huracanes); las inundaciones, incluidas las crecidas repentinas; la sequía; las olas de calor y de frío, y las mareas de tormenta en las zonas costeras. Las condiciones hidrometeorológicas también pueden ser un factor que interviene en otras amenazas, como los desprendimientos de tierras e incendios forestales, entre otros.(SNGR, 2018)

CAPITULO III. METODOLOGIA

11. METODOLOGÍA

11.1. Tipo de Investigación`

El tipo de investigación será descriptivo, permitirá conocer el estado en la que se encuentre los puentes permitiendo un análisis y la ponderación para la determinación del nivel de vulnerabilidad de las estructuras.

La investigación In situ, en el cual consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados en campo, de tal manera que los datos serán más confiables y ayudan a establecer medidas, donde éstas permitan fortalecer una resiliencia de las estructuras, garantizando la adecuada funcionalidad y seguridad para los transeúntes (peatonal y vehicular).

Además, para la aplicación de ensayos no destructivos, centrándose en la recopilación y análisis de datos, sin causar daños a las estructuras de los puentes. Este enfoque es crucial para mantener la integridad de los puentes mientras se determina su resistencia y calidad del material.

11.2. Enfoque de la investigación

El enfoque cualitativo, se asocia a la descripción, es decir método cualitativo (Observación). Se busca aplicar conocimientos teóricos a un problema práctico, observando, describiendo y analizando la vulnerabilidad estructural de puentes específicos ante la amenaza de desbordamiento de los ríos (Informe de inspección visual).

El enfoque del método cuantitativo (Numérico), usa datos numéricos, se analiza los componentes y determina la distribución de ponderación bajo sus condiciones (Calificación de la condición y principales deficiencias de variables asociados), buscando relaciones causales, entre las 6 categorías, y condiciones propuestas para puentes en Costa Rica.

También, se trabaja bajo el enfoque Heurístico, un método exploratorio basado en la experiencia, la intuición y la creatividad para encontrar soluciones o descubrir conocimientos sobre un problema.

11.3. Métodos de Investigación

Revisión Bibliográfica: Análisis de información de estudios previos, informes, documentos existentes de antecedentes sobre inundación, y vulnerabilidad estructural sobre puentes.

Estudios de Caso: Elección y análisis de puentes definidos que han sido afectados por desbordamientos en el pasado. Optando el método cuantitativo y cualitativo con el fin de recolectar datos, definir, identificar y analizar las características de los elementos en perspectiva ante el evento adverso.

Método cualitativo: Comprender, observar y describir con el fin de analizar sin una profunda del fenómeno:

- Tipo de estructura
- Tipo de material
- Año de construcción
- Mantenimiento

Método cuantitativo: Se basada en los datos numéricos, generaliza un resultado que abarque la calificación de las condiciones a la cual debe estar sujeta cada categoría.

Para la calificación de los puentes ya establece un catálogo, donde: (1 Satisfactorio; 2 Aceptable; 3 Regular; 4 Deficiente; 5 Alarmante y 6 Falla inminente).

Finalmente, se consideran los seis rangos tanto para la calificación de la condición estructural. Como resultado, estos se agrupan en tres niveles de vulnerabilidad: Bajo (1-2), Medio (3-4) y Alto (5-6).

Además, para los rangos de resistencia y su nivel se emplea 6 rangos, donde: (>500kg/cm² Negligible (muy resistente); 300 - 400kg/cm² Muy baja; 200 - 300kg/cm² Baja; 150 - 200kg/cm² Moderada; 100 - 150kg/cm² Alta; <100kg/cm² Muy alta).

11.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

Informe Inspección Visual: Evaluación directa de los puentes mediante inspecciones visuales para identificar signos de deterioro o vulnerabilidad.

Fotografías: Evidencia, garantiza y respalda el informe de inspección visual.

Ensayos extracción de muestras: Uso del esclerómetro, como indicador de las propiedades del concreto, con relación a su resistencia y grado de rigidez.

11.5. Población

La población de estudio, se centra en los puentes ya identificados previamente: Puente Atirantado, como el puente Arco, y también el puente Celosía. Estas estructuras benefician significativamente y son claves en la conectividad entre la zona norte y sur de la ciudad. Además, estos puentes desempeñan un papel fundamental en el desarrollo en los sectores urbanos y rurales, tanto así, sobre el crecimiento de la población, el comercio local y el transporte público y privado, por ello la necesidad de conocer el estado actual de los puentes y evaluar la vulnerabilidad y proponer medidas y recomendaciones (de ser el caso) suficientes y necesarias para la seguridad e integridad del puente.

11.6. Procesamiento de la Información

Clasificación, Categorización y Elaboración: Organización y clasificación de los datos recopilados en categorías relevantes, para concretar los resultados planteados en los objetivos.

Análisis estructural: Observación directa sobre las estructuras, para conocer el estado en el que se encuentre la zona de estudio y vulnerabilidad ante el desbordamiento del río, mediante el informe de inspección visual (Informe Inspección visual-Formularios de inspección rutinaria según Manual de Inspección de Puentes del MOPT (2007a)).

Interpretación de Resultados: Análisis de los resultados obtenidos para determinar, las condiciones de calificación (Guía para la determinación de la condición de puentes en costa rica mediante inspección visual), y el nivel de vulnerabilidad de la resistencia del hormigón (Esclerómetro), también determinando el nivel de vulnerabilidad los puentes (Metodología análisis de vulnerabilidad y riesgos), dicha metodología será adaptada en función a la investigación e interpretación.

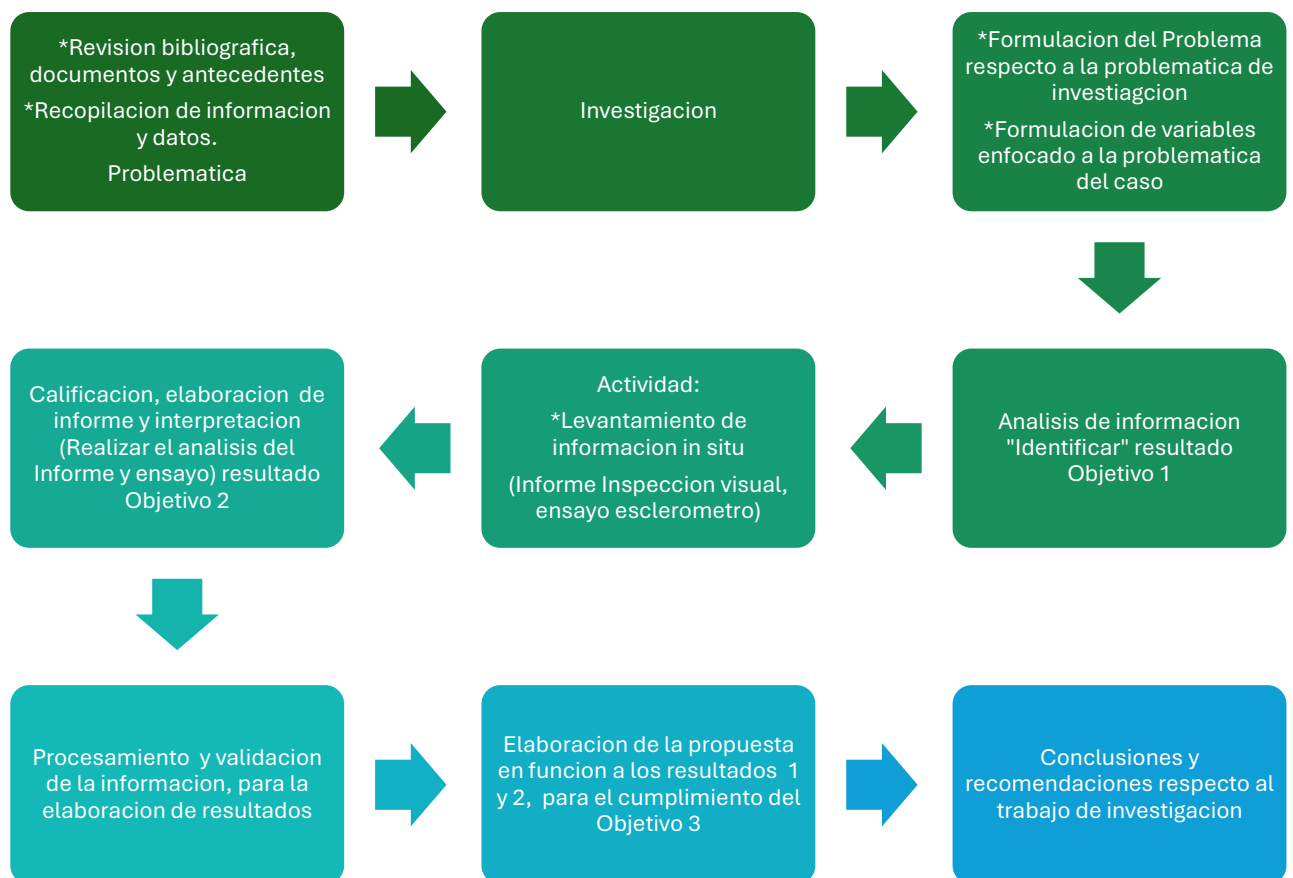
- Guía para la determinación de la condición de puentes en costa rica mediante inspección visual; Esta metodología trabaja con 6 categorías.
- Nivel de vulnerabilidad de la resistencia del hormigón; se trabaja en función a las categorías de la condición, con 6 categorías de resistencia.
- Metodología análisis de vulnerabilidad y riesgos; de acuerdo a los dos resultados obtenidos tanto del informe y ensayo, se generó un nuevo rango que abarca las 6 categorías en 3 niveles; (Bajo 1-2) (Medio 3-4) (Alto 5-6).

Elaboración de propuestas: En base a la construcción del informe donde se presenten los hallazgos de la investigación, así sobre la interpretación de resultados (condición de calificación y el nivel de vulnerabilidad), permitiendo elaborar las conclusiones relevantes sobre la vulnerabilidad, incluyendo recomendaciones para mejorar la resiliencia de los puentes ante desbordamiento.

11.7. Marco Metodológico

El marco metodológico busca responder el interés de la problemática de disertación en la zona de estudio, y sigue el proceso de actividades para cumplir con los objetivos planteados en dicha zona de trabajo. En este tramo el siguiente esquema representa la secuencia metodológica, en conjunto con las actividades a desarrollar.

Figura 9: Esquema metodológico



CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

12. RESULTADOS

12.1. Objetivo 1

Identificación los puentes urbanos de la ciudad del Tena susceptible a desbordamientos.

Uno de los pasos fundamentales en el desarrollo de esta investigación es la aplicación de la metodología propuesta, la cual incluye revisión bibliográfica, observación, investigación y trabajo de campo (in situ). Esta metodología permite identificar la existencia y características de los puentes ubicados en la zona urbana de la ciudad de Tena. Para respaldar los hallazgos obtenidos, se presentan evidencias y registros en el anexo 16.2.

La ciudad del Tena cuenta con 4 puentes dentro de la parte urbana como se muestra en la (Tabla 6): Dos de tipo carrozable arco y celosía, uno peatonal colgante, además de un puente atirantado. Estas estructuras son esenciales para los transeúntes, la movilidad vehicular, y el desarrollo del cantón, permitiendo generar un aporte económico, turístico. Asimismo, facilitan la conexión entre las zonas norte y sur, consolidándose como elementos estratégicos para el progreso y la funcionalidad urbana de la región.

Los puentes identificados en la ciudad del Tena presentan una alta susceptibilidad a sufrir daños, como se evidencian durante estos últimos eventos registrados en la (Tabla 2). Los habitantes de la zona a la amenaza han experimentado de primera mano la afección, y en la Figura 3, se puede observar las áreas máximo que alcanzo en el 2017. Esto se debe a que la unión de los ríos Pano y Tena, que conforman la cuenca rio Tena, la cual es responsable de los incrementos y desbordamientos por exceso sobre el caudal.

El **Puente Peatonal Turístico del Parque La Isla** (Ilustración 9), es el primer puente identificado como afectado por esta amenaza de inundación. Su vulnerabilidad radica por su ubicación, que lo coloca directamente en la trayectoria de las crecientes del río, las cuales son generadas por las altas precipitaciones en la región. Este puente constituye un punto crítico para el estudio, dado que su exposición a las fuerzas hidrometeorológicas lo convierte en un referente para evaluar su estado estructural y las

posibles intervenciones necesarias para mitigar los riesgos asociados a futuros desbordamientos.

Ilustración 9: Puente atirantado, la isla.



Fuente: Fotografía del autor, 2024. Pazmiño

El segundo puente expuesto a la amenaza de inundación, es el **puente peatonal colgante** (Ilustración 10), mientras que el tercer puente, es el **puente carrozable urbano** (Ilustración 11). Ambos presentan una vulnerabilidad estas debido a los niveles máximos de inundación que podrían alcanzarse, particularmente en el área estructural del puente. Esta vulnerabilidad se ve exacerbada por los impactos de las empalizadas y la velocidad de las aguas durante las crecidas, lo que genera una fuerza considerable que actúa sobre la estructura. En muchos casos, esta dinámica puede inducir la deformación de los elementos estructurales, incluso llevando al colapso total del puente si no se cuentan con las medidas adecuadas para mitigar los efectos de la creciente.

Ilustración 10: Puente Colgante, Sobre el Rio Tena.



Fuente: Fotografía del autor, 2024. Pazmiño.

Ilustración 11: Puente Arco-Acero tablero inferior, sobre el Río Tena



Fuente: Fotografía del autor, 2024. Pazmiño

El cuarto puente identificado, es el **puente carrozable del paso lateral o perimetral E-45** (Ilustración 12), el cual se encuentra expuesto a una vulnerabilidad significativa debido a las fuertes fuerzas de arrastre y la alta velocidad de flujo del río. En eventos previos, esta dinámica ha ocasionado daños severos en los componentes estructurales y en ambos tramos del puente. Este fenómeno natural representa un riesgo considerable para la infraestructura, ya que la erosión provocada por el río, junto con los desbordamientos recurrentes, genera socavamientos en la interfase entre el puente y la vía, comprometiendo la estabilidad de la estructura.

Las investigaciones y antecedentes históricos corroboran esta situación, evidenciando el impacto destructivo de las crecientes del río sobre estructuras esenciales que conectan vías, pueblos y comunidades. Dichos estudios han permitido avanzar en el entendimiento de la potencialidad destructiva de este fenómeno, lo cual resulta crucial para la gestión de riesgos y la implementación de medidas preventivas que garanticen la seguridad y la funcionalidad de estas infraestructuras frente a futuras amenazas.

Ilustración 12: Puente Celosía de tipo Warren, sobre el Río Tena.



Fuente: Fotografía del autor, 2024. Pazmiño

Tabla 6: *Catálogo puentes urbanos del Tena.*

Catálogo puentes Urbanos del Tena									
Nº	Descripción	Susceptible a Inundación	Tipo de puente	Año de construcción	Tipo de estructura	Código-Norma	Mantenimiento	Amenaza	Coordenada
1	Puente Peatonal	Si	Colgante (cable)	1970	Acero	DESCONOCE	2015	Inundación, Desbordamiento, sismo	186654.00 m E 9890246.00 m S
2	Puente Carrozable, río Tena	Si	Arco (tablero inferior)	2010	Mixto Acero/Concreto	ASSHTO	Ninguno	Inundación, Desbordamiento, sismo	186717.00 m E 9890379.00 m S
3	Puente peatonal, la isla	Si	Atirantado (cable)	2013	Mixto Acero/Concreto	DESCONE	Ninguno	Inundación, Desbordamiento, sismo	186613.00 m E 9890094.00 m S
4	Puente Carrozable paso lateral.	Si	Celosía (tipo Warren con tablero)	2005	Mixto Acero/Concreto	ASSHTO	Ninguno	Inundación, Desbordamiento, sismo	187471.00 m E 9890401.00 m S

Nota: Identificación de los puentes en el sector urbano del Tena, 2024. Elaboración propia: Pazmiño.

Las inundaciones en el territorio ecuatoriano han sido un factor determinante que pone en riesgo las infraestructuras viales, especialmente los puentes. En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo conocer y comprender los daños que estas estructuras pueden sufrir debido a los fenómenos de inundación, específicamente en el cantón Tena. A través de la elaboración de la *Tabla 6: Identificación de los puentes*, se analizó que los cuatro puentes ubicados en el centro de la ciudad son altamente susceptibles a daños causados por el desbordamiento de los ríos cercanos.

Uno de los aspectos clave para avanzar y cumplir con el primer objetivo de la investigación fue la catalogación de los puentes con mayor vulnerabilidad a sufrir daños estructurales. Para ello, se realizó un trabajo de campo, observando y evaluando las condiciones de los puentes in situ, con el fin de llevar a cabo un análisis detallado que permitiera establecer la clasificación de las estructuras. Este proceso fue esencial para identificar y priorizar los puentes que requieren medidas preventivas y de intervención frente al riesgo de inundación.

Se determinó que tres de los cuatro puentes identificados en la zona urbana de Tena, presentan una mayor probabilidad de sufrir daños debido a una combinación de factores ambientales, climáticos y estructurales. Entre las principales causas de vulnerabilidad se incluyen el socavamiento, la corrosión de los materiales, y las fuerzas ejercidas por las aguas durante los desbordamientos. Además, las condiciones meteorológicas extremas, la ubicación geográfica y la topografía del área contribuyen significativamente a la susceptibilidad de estos puentes. Estas características, junto con la exposición continua a eventos de inundación, aumentan el riesgo de que las estructuras sufran daños importantes.

En la etapa final del estudio, se procedió a clasificar los puentes según su nivel de susceptibilidad a sufrir daños, como se detalla en la *Tabla 7: Identificación de los puentes a mayor susceptibilidad de sufrir daños*. En primer lugar, se realizó un análisis exhaustivo, considerando aspectos como los antecedentes históricos de inundaciones y otros factores relevantes. En segundo lugar, a través de la observación directa y la evaluación in situ de las estructuras, se concluyó que tres de los cuatro puentes presentan una mayor vulnerabilidad frente al fenómeno natural de desbordamiento de los ríos.

Tabla 7: *Identificación de los puentes a mayor susceptibilidad de sufrir daños*

N°	Descripción	Puentes susceptibles	Tipo de estructura	Dato con más influencia de inundación
1	Puente Arco carrozable, río Tena	Desbordamiento	Mixto Acero/Concreto	2017

2	Puente Celosía	Desbordamiento	Mixto	2022
	carrozable perimetral, río Tena		Acero/Concreto	2017
3	Puente Atirantado	Desbordamiento	Mixto	2017
	peatonal turístico, río Pano y Tena.		Acero/Concreto	

Nota: Mediante este catálogo previamente ya identificado sobre los puentes vulnerables a desbordamiento se trabajará con solo tres puentes, 2024. Elaboración propia: Pazmiño.

12.2. Objetivo 2

Realización de análisis estructural de los puentes identificados para determinar las condiciones y posibles puntos débiles frente a los desbordamientos.

El objetivo 2, es fundamental para el desarrollo y avance de esta investigación, ya que permitirá analizar, calificar y realizar ensayos de resistencia del hormigón, logrando validar de manera más precisa el estado actual de las estructuras identificadas. En esta etapa, se trabajó in situ, considerando la magnitud de la recolección de información y datos sobre las tres estructuras con mayor probabilidad de sufrir daños.

En primer lugar, se elaboró un informe de inspección visual, con el fin de poder aplicar la "**Guía para la Determinación de la Condición de Puentes mediante Inspección Visual**", desarrollada por la Universidad de Costa Rica y el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Esta guía fue seleccionada por su facilidad de aplicación y se implementó para evaluar los tres puentes identificados como más vulnerables.

En segundo lugar, se llevó a cabo un ensayo de esclerometría para recolectar datos mediante el golpe de martillo de rebote. Este ensayo se aplicó a las estructuras de hormigón con el objetivo de determinar la resistencia del material. Factores como las amenazas externas y el entorno ambiental también fueron considerados, ya que influyen en el debilitamiento, desgaste y fragilización de las partes estructurales de los puentes.

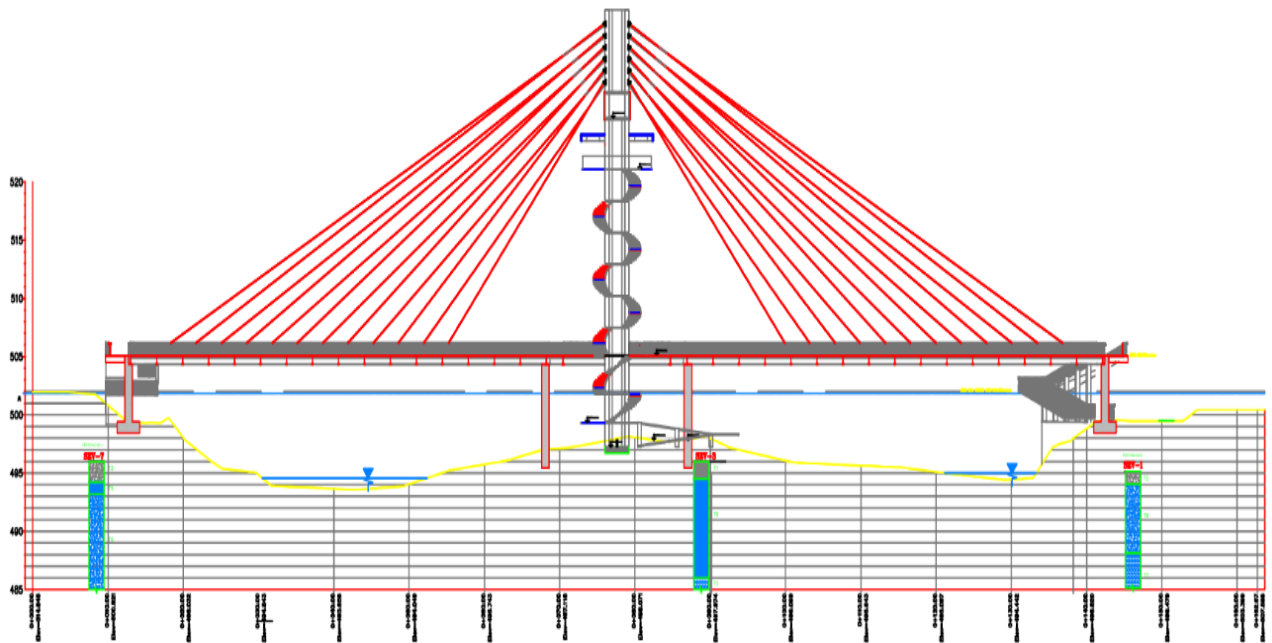
Esta fase es primordial para el avance del trabajo de investigación, ya que los resultados obtenidos permitirán procesar y analizar la información recopilada. Con ello, se busca identificar las necesidades de mantenimiento y emitir recomendaciones orientadas a garantizar la seguridad de los puentes. Además, se espera alertar a las autoridades competentes sobre la importancia de una atención integral a estas estructuras y sus componentes.

12.2.1.1. Informe de inspección

La elaboración de este informe de inspección sobre los puentes, consiste bajo la metodología cualitativa (Observación), además de la parte descriptiva, lo que permitirá conocer sobre las deficiencias, es decir fallas, y daños, dando paso a las necesidades a la cual se deba atender, para que estas estructuras de soporte significativo, que son clave para el cantón Tena, puedan seguir en funcionamiento de forma ininterrumpida. Y finalizando con la calificación de la condición de los puentes (cuantitativo).

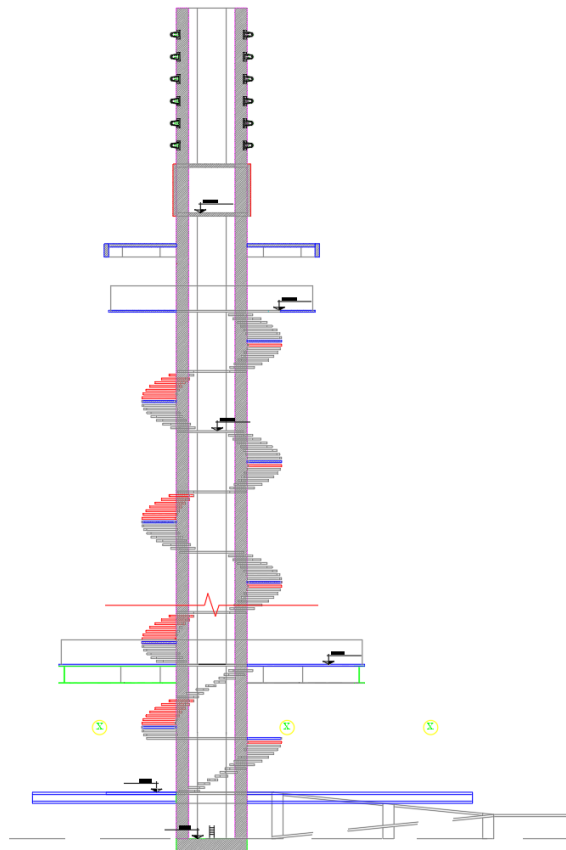
12.2.1.1.1. Informe puente #1 Atirantado

Figura 10: Vista general del plano del puente atirantado.



Fuente: GAD-TENA

Figura 11: Vista del plano de la torre del puente atirantado.



Fuente: GAD-TENA

Tabla 8: Sistemas de protección del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Sistema de protección	1	Sistema de protección sísmica	Ninguno	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Sistema de protección hidráulica	No Aplica	N/A	N/A.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias en los sistemas de protección del puente Atirantado. **Fuente:** Elaboración propia. (2024)

Tabla 9: Subestructura del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Apoyos	2	Apoyo expansivo	No Aplica	N/A	N/A
		Apoyo fijo	Grado de corrosión notable	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Bastiones	3	Cabezal/Muro del cabezal	Daños en esquina de estructura cabezal estribo y desprendimiento	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos
		Muro o cuerpo	Agrietamientos más de 4 mm	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Pilas	3	Cuerpo: Muro o marco con pantalla, marco y columna	Agrietamiento 2 o 3 mm	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias de la subestructura del puente Atirantado.

Fuente: Elaboración propia. (2024)

Tabla 10: Accesorios, accesos y seguridad peatonal del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Accesorios	2	Juntas de expansión	No Aplica	N/A	N/A
		Sistema de drenaje del tablero (entrada)	Ninguno	1	- Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Sistema de drenaje del tablero (salida)	Ninguno	1	- Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Superficie de desgaste (plataforma)	Plataforma Desgaste de las placas (Antiderrapante)	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Accesos		Plataforma	Deformaciones en placa	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.

	4	Rampa acceso A y B	Desgaste en placa (Antiderrapante) rampa dos direcciones	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Rampa acceso C, centro conjunto torre	Desgaste en placa (Antiderrapante) rampa dos direcciones	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Obras de retención integrales	No Aplica	N/A	N/A
		Plataforma Descansó	Daño en placa y vigas acero. Grado de corrosión notable por condición climática, alarmante	4	- Mantenimiento basado en la condición de elementos. -Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
		Escalón	Daño en placa y viga acero. Grado de corrosión por condición climática alarmante	5	- Mantenimiento basado en la condición de elementos. -Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCIÓN RECOMENDADO
Seguridad Peatonal	3	Pasarela peatonal	Ninguno	1	- Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Señalización y demarcación	No existe elementos de señalización	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Baranda peatonal	Corrosión por condición climática	1	- Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Plataforma acero (plataforma o tablero y rampa)	Desgaste superficial Antiderrapante, y deformaciones en placa de plataforma	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias en los accesorios, accesos, y seguridad peatonal del puente Atirantado, Fuente: Elaboración propia. (2024)

Tabla 11: Superestructura del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Elementos Primarios	4	Tablero o Plataforma	Deformación por comprensiones laterales, hundimientos, y desgaste atiderrapante	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Estructura de acero	Presencia y desprendimiento de material corrosivo de acero en la mayoría de la estructura.	4	-Mantenimiento basado en la condición -Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
		Cables, anclajes y torre	Ninguno	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Elementos Secundarios	4	Vigas transversales y largueros de piso	Corrosión gradual por condición climática en su totalidad de componentes entre la torre y largueros de piso “plataformas”, descanso y escalones	4	-Mantenimiento basado en la condición -Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
		Armadura/viga (colgante o atirantado)	No Aplica	NA	NA

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias en los sistemas de protección del puente Atirantado, **Fuente:** Elaboración propia. (2024)

Tabla 12: Calificación de la condición global del puente (CP).

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN GLOBAL	DESCRIPCIÓN
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.

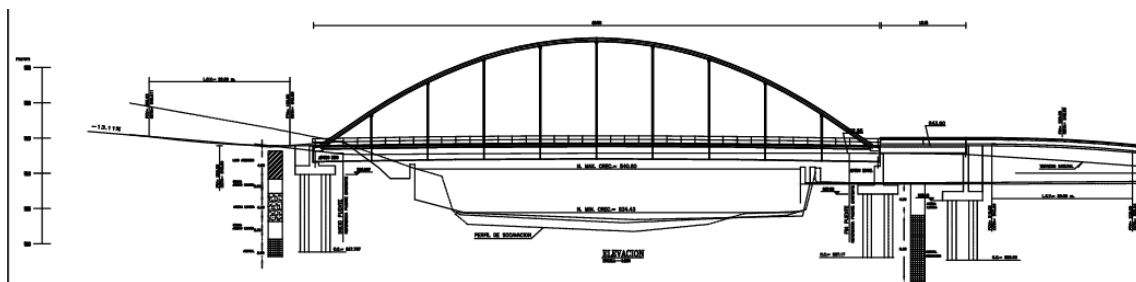
Nota: Resultado obtenido en base al informe de calificación de los elementos, para la calificación de la condición global del puente Atirantado. *Fuente:* Elaboración propia.

Según la evaluación realizada y las condiciones de calificación del puente atirantado, se determinó que la calificación global del puente es **Deficiente**. Aunque los componentes del sistema de protección no presentaron mayores problemas, se identificaron deficiencias significativas en áreas como los accesorios, los accesos y la seguridad peatonal, donde se encontraron mayores fallos en los elementos estructurales.

En cuanto a la subestructura, también se observaron deficiencias, mientras que en la superestructura se evidenciaron fallos tanto en los elementos primarios como secundarios. El puente atirantado presenta un alto grado de corrosión en toda su estructura, y se observó que algunos componentes se estaban desprendiendo debido a factores ambientales y naturales. Por estos motivos, se le asignó una calificación global de **Deficiente**.

12.2.1.1.2. Informe puente #2 Arco con tablero inferior

Figura 12: Vista general del plano del puente Arco-Acero tablero inferior "Carrozable"



Fuente: GAD-TENA

Tabla 13: Sistemas de protección del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Sistema de protección	1	Sistema de protección sísmica	Ninguno	1	- Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Sistema de protección hidráulica	Ninguno	1	- Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias en los sistemas de protección del puente Arco Tablero inferior). **Fuente:** Elaboración propia. (2024)

Tabla 14: Subestructura del puente.

Erosión y desgaste	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
COMP.					
Apoyos	2	Elastómerico	Presencia de componentes físicos y químicos.	2	- Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Apoyo expansivo	No Aplica	N/A	N/A
		Apoyo fijo	Presencia de corrosión	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Bastiones	1	Cabezal/Muro del cabezal	No Insp. Tramo B Tramo A Humedad	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO

Pilas		Cuerpo: Muro o marco con pantalla, marco y columna	No insp.	N/I	No se tuvo acceso visual
-------	--	--	----------	-----	--------------------------

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias en la subestructura del puente Arco (Tablero inferior). Fuente: Elaboración propia. (2024)

Tabla 15: Accesorios, accesos y seguridad vial del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Accesorios	3	Juntas de expansión	Obstrucción, desgaste, acumulación de material asfáltico. Desalineación de junta	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Sistema de drenaje en puente	Obstrucción de desagües y acumulación de agua en tablero	2	- Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Superficie de ruedo del puente	Desgaste y fisuras del pavimento	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.
Accesos	3	Relleno de aproximación	Erosión del relleno Hundimiento	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Losa de aproximación	Grietas en dos direcciones Y juntas	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Muro de contención	Presencia de corrosión y grietas de 3 o 4 mm	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos.
Seguridad Peatonal	2	Acera peatonal	Desgaste y agrietamiento	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Señalización y demarcación	Falta de mantenimiento y no muy visible	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.

		Estructura de señales			
		Barrera peatonal y vehicular	Corrosión y deformación	2	Mantenimiento cíclico
		Iluminación	Reparación de red eléctrica e cambio de faros	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias en los accesorio, accesos y seguridad vial del puente Arco (Tablero inferior). **Fuente:** Elaboración propia. (2024)

Tabla 16: Superestructura del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCIÓN RECOMENDADO
Elementos Primarios	3	Tablero	Desgaste superficial y agrietamiento en dos direcciones	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Puente con vigas de concreto o acero	Deformación y corrosión	2	- Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Puente tipo cajón	N/A	N/A	N/A
		Estructura de acero	Corrosión en acero y fatiga	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Cables, anclajes y torre	N/A	N/A	N/A
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCIÓN RECOMENDADO
Elementos Secundarios	3	Vigas transversales y largueros de piso	Presencia de corrosión	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Armadura/viga rigidizadora (colgante o atirantado)	Corrosión viga regizadora	2	- Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Diafragma	Corrosión y deformación	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.
		Arriostres	Presencia de Corrosión	1	-Mantenimiento cíclico de aspectos para el puente.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias en la subestructura del puente Arco (Tablero inferior). **Fuente:** Elaboración propia. (2024)

Tabla 17: Calificación de la condición global del puente (CP)

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN GLOBAL	DESCRIPCIÓN
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.

Nota: Resultado obtenido en base al informe de calificación de los elementos, para la calificación de la condición global del puente Arco. *Fuente:* Elaboración propia.

Se le asignó una calificación **Regular** al puente arco, ya que no se encontraron deficiencias significativas que comprometan la seguridad estructural del mismo. Aunque no representa un peligro inmediato para la comunidad, se identificaron áreas que requieren mantenimiento, como los accesos, el sistema de seguridad vial y peatonal, el sistema de protección y los elementos primarios y secundarios. La corrosión es moderada en la estructura, pero es necesario realizar reparaciones y mantenimiento preventivo para asegurar el buen funcionamiento y prolongar la vida útil del puente.

Así, su calificación **Regular** refleja que los problemas detectados afectan principalmente la durabilidad de algunos de sus componentes, sin representar un riesgo estructural grave.

12.2.1.1.3. Informe puente #3 Celosía de tipo Warren

Figura 13: Vista general del plano del puente celosía de tipo Warren "Carrozable"

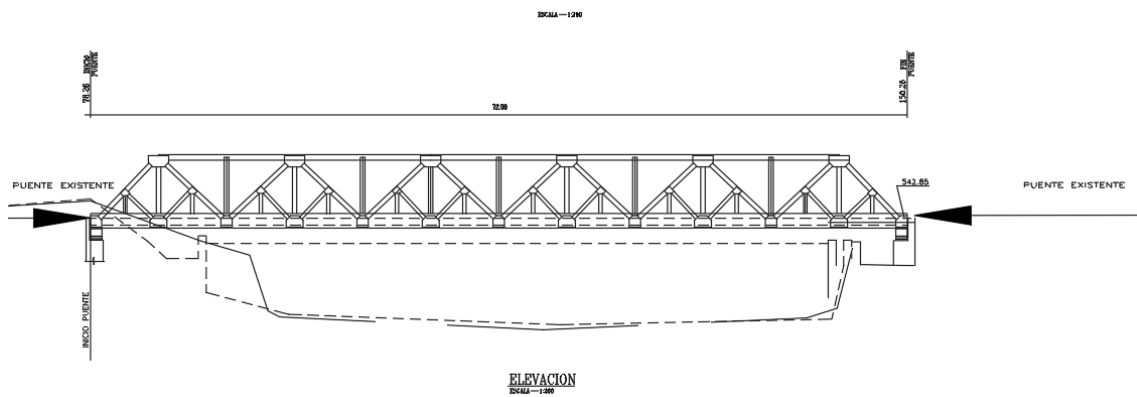


Tabla 18: Sistemas de protección del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Sistema de protección	3	Sistema de protección sísmica	Fatiga de los dispositivos de amortiguación	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Sistema de protección hidráulica	Erosión de los cimientos, deficiencias en las defensas contra inundaciones	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias de los sistemas de protección del puente Celosía (Tipo Warren). Fuente: Elaboración propia. (2024)

Tabla 19: Informe basado en la condición y deficiencia en la subestructura del puente

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Apoyos	3	Apoyo expansivo	Desgaste de los componentes, desalineación, y pérdida de capacidad de expansión	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Apoyo fijo	N/A	N/A	N/A
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Bastiones o estribos	5	Cabezal/Muro del cabezal	Desgaste por acción del agua, y grietas	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.

		Cuerpo estribo	Desgaste por acción del agua, fatiga estructural, y falta de protección contra el agua	4	Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
		Cimiento estribo	Erosión del terreno, socavamiento, corrosión en los cimientos de acero, y asentamientos diferenciales	5	Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCIÓN RECOMENDADO
Pilas	NA	NA	NA	NA	NA

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias de la subestructura del puente Celosía (Tipo Warren). Fuente: Elaboración propia. (2024)

Tabla 20: Accesorios, accesos, y seguridad vial del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCIÓN RECOMENDADO
Accesorios	4	Juntas de expansión	Deformación, obstrucción con material asfáltico, falta de mantenimiento	4	Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
		Sistema de drenaje en puente	Obstrucción de drenaje	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Superficie de ruedo del puente	Desgaste de la capa de rodadura, fisuras, y deformaciones	4	Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la

					condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
--	--	--	--	--	--

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Accesos	3	Relleno de aproximación	Hundimiento	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Losa de aproximación	Grietas en dos direcciones / Hundimiento	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Muro de contención	Grietas / Hundimiento	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Seguridad Peatonal □	3	Pasarela peatonal	Frágil y corrosión	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Señalización y demarcación	No cuenta	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Baranda peatonal	Corrosión, y reforzamiento	3	Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Barreras vehiculares (en puente y en acceso)	Deformación	2	-Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
		Iluminación	No cuenta con iluminación	3	-Mantenimiento basado en la condición de elementos.

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias de los accesorios, accesos, y seguridad vial del puente Celosía (Tipo Warren). **Fuente:** Elaboración propia. (2024)

Tabla 21: Superestructura del puente.

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Elementos Primarios	3	Tablero o Plataforma	Agrietamiento y desgaste superficial por tráfico y deformaciones	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Puente con vigas de concreto o acero	Fatiga estructural y deformaciones	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.

		Puente tipo cajón	NA	NA	NA
		Unión rígida (puente tipo marco)	Corrosión en acero uniones	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Estructura de acero	Corrosión en acero, vibración alta.	3	-Mantenimiento basado en la condición Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
		Cables, anclajes y torre	NA	NA	NA

COMP.	CC	ELEMENTO	DEFICIENCIAS PRINCIPALES	CE	PROGRAMA DE INTERVENCION RECOMENDADO
Elementos Secundarios	3	Diafragma	Corrosión y deformación	3	- Mantenimiento basado en la condición de elementos.
		Arriostres (superior o inferior)	NA	NA	NA
		Vigas transversales y largueros de piso	Corrosión viga acero	4	-Mantenimiento basado en la condición -Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
		Armadura/viga rigidizadora (colgante o atirantado)	NA	NA	NA

Nota: Calificación de la condición y principales deficiencias de los sistemas de protección del puente Celosía (Tipo Warren). **Fuente:** Elaboración propia. (2024)

Tabla 22: Calificación de la condición global del puente (CP)

CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN GLOBAL	DESCRIPCIÓN
5 ALARMANTE	La estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en uno o varios elementos estructurales primarios del puente, o a deficiencias severas extendidas en uno o varios elementos estructurales secundarios o elementos funcionales.

Nota: Resultado obtenido en base al informe de calificación de los elementos, para la calificación de la condición global del puente celosía. **Fuente:** Elaboración propia.

A este puente se le asignó una calificación **Alarmante** debido a las graves deficiencias encontradas durante el trabajo in situ, las cuales comprometen la estabilidad de la estructura. Entre los problemas identificados se destacan: en la subestructura, esta debido al socavamiento en la cimentación del estribo y partes laterales; en los accesorios, daños en la junta de expansión y aproximación; en los accesos, agrietamientos y hundimientos; y en la seguridad vial y peatonal, inexistencia de iluminación y señalización adecuada. Además, se observó la falta de mantenimiento y limpieza, junto con la presencia de corrosión, objetos que aumenta la vibración del puente y desgaste de la pintura, lo que agrava aún más su condición.

La falta de protección y atención en la estructura aumenta el riesgo de un fallo significativo. Por estas razones, el puente recibe una calificación global **Alarmante**, lo que requiere una intervención urgente para evitar un posible colapso.

12.2.1.2. Ensayo no destructivo

Técnica Aplicada; Ensayo de Esclerómetro

El ensayo no destructivo es una técnica aplicada con el propósito de evaluar las propiedades de una estructura sin causar daño alguno. En este caso, la herramienta clave utilizada es el **martillo de rebote**, que permite medir la dureza del material y analizar en detalle la composición del concreto, considerando factores como la abrasión y el desgaste. Este método, conocido como ensayo de esclerometría, también facilita la comparación de materiales, el diagnóstico de envejecimiento y el control de calidad.

El objetivo principal de esta investigación es obtener conclusiones sobre las propiedades mecánicas y la calidad del material, lo que permitirá comprender mejor la resistencia de las estructuras de los puentes analizados. La implementación de este ensayo resulta especialmente relevante debido a las características ambientales únicas de la región amazónica, que difieren significativamente del resto del Ecuador.

El trabajo se realiza in situ, en el área de estudio, centrándose en los puentes con mayor grado de daño en sus componentes de hormigón, como el Puente Atirantado y el Puente Celosía. Estas estructuras poseen elementos clave de hormigón, incluidos pilares, bases, columnas, cimientos, estribos y tableros, los cuales son evaluados detalladamente durante la investigación. Así además se utilizará un rango propuesta (Tabla 23), que determinará el nivel de vulnerabilidad de la resistencia de la calidad del hormigón.

Tabla 23: Nivel de vulnerabilidad, resistencia del hormigón

Rango de Resistencia (kg/cm ²)	Nivel de Vulnerabilidad	Comentario
> 400 kg/cm ²	Negligible (muy resistente)	Hormigón de alta resistencia para infraestructuras críticas o proyectos especiales.
300 - 400 kg/cm ²	Muy baja	Hormigón de buena calidad para estructuras de mayor exigencia.
200 - 300 kg/cm ²	Baja	Hormigón común para construcciones residenciales y comerciales estándar
150 - 200 kg/cm ²	Moderada	Apto para estructuras ligeras o elementos con bajo requerimiento estructural.
100 - 150 kg/cm ²	Alta	Hormigón de baja resistencia, adecuado solo para elementos no estructurales.
< 100 kg/cm ²	Muy alta	Hormigón extremadamente débil, inadecuado para estructuras de carga.

Nota: Escala para determinar la resistencia y calidad del hormigón, 2024. **Fuente:** Elaboración propia

Mediante este análisis de vulnerabilidad, se busca clasificar el nivel de resistencia del hormigón, a partir de los resultados obtenidos y previamente procesados, con el objetivo de identificar el grado de vulnerabilidad de las estructuras.

Fotografía 2: Trabajo in situ, esclerómetro



Los datos obtenidos in situ permiten evaluar la capacidad de resistencia del hormigón, así como su calidad y durabilidad, lo cual es fundamental para garantizar la seguridad estructural del puente. El primer ensayo de esclerómetro se realizó en el Puente Atirantado, donde se extrajeron 10 muestras distribuidas en diferentes elementos estructurales, como el muro, la torre y la columna que lo componen.

En la Tabla 24 se presentan los resultados, donde la resistencia del material varió entre 225 y 392 kg/cm². Esta variabilidad refleja la heterogeneidad del concreto o de las superficies evaluadas, lo que puede estar influenciado por diversos factores, como la calidad del material, la edad del concreto y el nivel de compactación alcanzado durante su construcción.

Adicionalmente, se observa que el rango promedio de los valores obtenidos se encuentra entre 30 y 40 unidades. Este intervalo promedio podría estar relacionado con la mezcla de concreto utilizada, lo que resalta la importancia de considerar diferentes aspectos para una interpretación precisa y coherente de los resultados. Entre estos aspectos destacan la calibración del equipo utilizado, las condiciones específicas del sitio, y posibles variaciones en los parámetros durante el ensayo, las cuales pueden influir significativamente en los valores obtenidos.

Tabla 24:Ensayo de esclerómetro Puente Peatonal #2 La isla

OBRA:	"ENSAYO DE ESCLEROMETRIA PARA EL PUENTE ATIRANTADO LA ISLA, UBICADO EN EL CANTON TENA"					NORMA:			
USUARIO:	LISANDRO JOSE PAZMINO NARVAEZ					N OT°:			
DESCRIPCION:	PUENTE PEATONAL TURISCO "LA ISLA"					FECHA INFORME :		19 DE NOVIMBRE, 2024	
FECHA DE ENSAYO:	20 DE NOVIEMBRE, 2024					N° INFORME :		INC-001	
OBSERVACIONES:	PUENE ATIRANTADO/ TEM-AMBIENTE 23°					HORA DEL ENSAYO:		9:30 a. m.	
RESISTENCIA DE DISEÑO:									
ENSAYO N°	1	2	3	4	5				
LOCALIZACION	MURO CENTRO A	TORRE CENTRO	MURO S-B	MURO CENTRO B	COLUMNA CENTRO 2				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	MURO	TORRE	MURO	MURO	COLUMNA				
POSICION ÁNGULO	0°	0°	0°	0°	0°				
LECTURA L 1	40	38	34	44	32	0,0	-4,0	-7,4	-1,4
LECTURA L 2	46	40	34	38	30	-6,0	-4,0	-1,4	0,6
LECTURA L 3	48	42	28	38	32	-8,0	2,0	-1,4	-1,4
LECTURA L 4	40	36	30	36	28	0,0	0,0	0,6	2,6
LECTURA L 5	46	40	24	36	30	-6,0	6,0	0,6	0,6
LECTURA L 6	44	38	24	38	32	-4,0	6,0	-1,4	-1,4
LECTURA L 7	32	40	40	34	30	8,0	-10,0	2,6	0,6
LECTURA L 8	34	44	26	34	34	6,0	4,0	2,6	-3,4
LECTURA L 9	36	42	32	32	30	4,0	-2,0	4,6	0,6
LECTURA L 10	34	36	28	36	28	6,0	2,0	0,6	2,6
PROMEDIO	40,00	39,60	30,00	36,60	30,60	40	30	30	30
EQUIVALENTE Mpa	40,0	39,6	30,0	36,6	30,6				
IE CORRECIDO (xFC)	0,18	0,18	0,22	0,19	0,22				
EQUIVALENTE Kg/cm2	392	385	225	332	234				
EQUIVALENTE PSI	5801,5	5743,5	4351,1	5308,4	4438,2				
PORCENTAJE RESISTENCIA CON RESPECTO A F' C	100,00%	132,00%	100,00%	122,00%	102,00%				

Nota: Resultado de los datos interpretados en Excel, sobre la resistencia de los componentes en hormigón del puente Peatonal, Atirantado, 2024. **Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo al rango propuesta (Tabla 23), se asume el nivel de vulnerabilidad de los componentes del puente como: torre, columna, y muro.

Figura 14: Rango de nivel de vulnerabilidad mediante esclerómetro

Rango de Resistencia (kg/cm²)	> 500 kg/cm ²	300 - 400 kg/cm ²	200 - 300 kg/cm ²	150 - 200 kg/cm ²	100 - 150 kg/cm ²	< 100 kg/cm ²
Nivel de Vulnerabilidad	Negligible (muy resistente)	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta

Tabla 25: Nivel de vulnerabilidad de los componentes del puente atirantado

MURO CENTRO A	392 kg/cm ²	MUY BAJA
TORRE CENTRO	385 kg/cm ²	MUY BAJA
MURO LADO A	225 kg/cm ²	BAJA
MURO CENTRO B	332 kg/cm ²	MUY BAJA
COLUMNA CENTRO 2	234 kg/cm ²	BAJA

Nota: Nivel de Vulnerabilidad de los Componentes de hormigón del Puente Atirantado, 2024.

Fuente: Elaboración propia.

El segundo ensayo de esclerometría se realizó en el Puente Celosía de tipo Warren con tablero de hormigón. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 25, donde se evaluaron 10 muestras distribuidas en diferentes componentes de la estructura del puente: el tablero inferior, el estribo del tramo A y la base del aletón B.

Los valores promedios obtenidos fueron los siguientes:

1. **Tablero inferior:** Se registró un promedio de **50**, correspondiente a una resistencia de **523,4 kg/cm²**.
2. **Estribo del tramo A:** El promedio obtenido fue de **31,2**, equivalente a una resistencia de **243,7 kg/cm²**.
3. **Base del aletón B:** El promedio alcanzó **25,2**, con una resistencia equivalente de **157,1 kg/cm²**.

Estos resultados reflejan diferencias significativas en la resistencia de los materiales, las cuales pueden atribuirse a factores como la variabilidad en la mezcla de concreto, el grado de compactación, la calidad de los materiales empleados en cada componente, y las condiciones ambientales que han influido en el desgaste de las distintas partes del puente. El análisis detallado de estos valores es clave para entender el estado actual del puente y establecer recomendaciones específicas para su mantenimiento y seguridad estructural.

Tabla 26: *Ensayo de esclerómetro Puente Carrozable #2 Celosía de tipo Warren*

OBRA:	"ENSAYO DE ESCLEROMETRIA PARA EL PUENTE CELOSIA CARROZABLE PERIMETRAL, UBICADO EN EL CANTON TENA"			NORMA:		
USUARIO:	LISANDRO JOSE PAZMINO NARAVEZ			N OT°:		
DESCRIPCION:	PUENTE CARROZABLE-PERIMETRAL			FECHA INFORME:	21 DE NOVIEMBRE, 2024	
FECHA DE ENSAYO:	22 DE NOVIEMBRE, 2024			N° INFORME:	INC-002	
OBSERVACIONES:	PUENTE CELOSIA- TEM-AMBIENTE 22°			HORA DEL ENSAYO:	9:30 a. m.	
RESISTENCIA DE DISEÑO:	HORMIGON (SE DESCONOCE) (APROXIMADO 4000 PSI)					
ENSAYO N°	1	2	3			
LOCALIZACION	TABLERO IN	ESTRIBO BASE A	BASE ALETON B			
ELEMENTO ESTRUCTURAL	TABLERO IN	ESTRIBO BASE A	BASE ALETON B			
POSICION ANGULO	90°	0°	0°			
LECTURA L1	52	34	28	-2	-2,8	-2,8
LECTURA L2	50	28	22	0	3,2	3,2
LECTURA L3	50	32	24	0	-0,8	1,2
LECTURA L4	42	38	28	8	-6,8	-2,8
LECTURA L5	54	32	30	-4	-0,8	-4,8
LECTURA L6	58	32	22	-8	-0,8	3,2
LECTURA L7	48	26	24	2	5,2	1,2
LECTURA L8	50	26	24	0	5,2	1,2
LECTURA L9	46	32	26	4	-0,8	-0,8
LECTURA L10	50	32	24	0	-0,8	1,2
PROMEDIO	50,0	31,2	25,2	50	30	20
EQUIVALENTE Mpa	50	31,2	25,2			
IE CORREGIDO (xFC)	0,16	0,22	0,27			
EQUIVALENTE Kg/cm2	523,4	243,7	157,1			
EQUIVALENTE PSI	7251,9	4525,2	3655,0			
PORCENTAJE RESISTENCIA CON RESPECTO A f' C	100%	104%	126%			

Nota: Resultado de los datos interpretados en Excel, sobre la resistencia de los componentes de hormigón del puente carrozable Celosía, 2024. **Fuente:** Elaboración propia.

Para el segundo ensayo, acuerdo al rango propuesta (Tabla 23), se asume el nivel de vulnerabilidad de los componentes del puente como: tablero, estribo, y base o aleton, los siguientes niveles de vulnerabilidad:

Tabla 27: Nivel de vulnerabilidad de los componentes del puente celosía

Tablero inferior	523,4 kg/cm ²	Negligible (muy resistente)
Estribo	243,7 kg/cm ²	Baja
Base o aleton	157,1 kg/cm ²	Moderada

Nota: Nivel de Vulnerabilidad conforme a la resistencia de los componentes de hormigón del Puente Celosía, 2024. **Fuente:** Elaboración propia.

Los ensayos de esclerometría realizados en el Puente Atirantado y el Puente Celosía tipo Warren proporcionaron datos fundamentales para la evaluación de la resistencia, calidad y durabilidad del hormigón en estas estructuras. Es importante destacar que, en el tercer puente, el Puente Arco, no fue posible realizar dicho ensayo, ya que sus bases se encuentran cubiertas por un material grueso. Según la normativa vigente, la prueba debe aplicarse directamente sobre el concreto para evitar alteraciones en los resultados, lo que impidió su ejecución en esta estructura.

Estas diferencias ponen de manifiesto la influencia de las condiciones específicas de construcción y el desgaste diferencial en los componentes del puente, especialmente en un entorno ambiental y climática desafiante como el de la región amazónica, propensas a producir inundaciones por las intensas precipitaciones.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten comprender el estado actual de las estructuras analizadas, identificar sus puntos críticos y establecer una base sólida para la planificación de medidas, mantenimiento y refuerzo. Asimismo, proporcionan una guía para alertar a las autoridades competentes sobre la necesidad de intervenciones oportunas que garanticen la seguridad y funcionalidad de los puentes evaluados.

12.2.1.3. Resumen General

Una vez completada la fase de inspección de los puentes, se ha logrado identificar sus posibles puntos débiles, lo que permitirá implementar mejoras, mantenimientos, y medidas, para que estas estructuras puedan resistir y enfrentar futuros desbordamientos

causados por los ríos Pano y Tena, fenómenos naturales que se presentan durante la temporada de lluvias e invierno.

Con base en los resultados obtenidos, se realiza una tabla general sobre la calificación global de los puentes, tal como se describió en la investigación. En esta fase, se determinará la calificación de la condición (CC) de los puentes, considerando los informes previos. En conforme a los elementos calificados; y para determinar la calificación de la condición global del puente, se eleva en la calificación de elementos (CE), se asignará esa misma calificación como la calificación de la condición (CC) del puente.

Figura 15: Descripción de los niveles de calificación de la condición para elementos y componentes del puente y para el puente de forma global y programa de trabajo recomendado para su intervención.

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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente.
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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento cíclico de aspectos preestablecidos para el puente. - Mantenimiento basado en la condición de elementos aplica si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como aceptables.
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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento basado en la condición de elementos.
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.	<ul style="list-style-type: none"> - Mantenimiento basado en la condición de elementos. - Rehabilitación de elementos aplica si se considera que las acciones de mantenimiento no son efectivas para mejorar la condición del elemento, si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican como deficientes.
5	ALARMANTE	La estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en uno o varios elementos estructurales primarios del puente, o a deficiencias severas extendidas en uno o varios elementos estructurales secundarios o elementos funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> - Rehabilitación de elementos. - Sustitución de elementos aplica si se considera que las acciones de rehabilitación no son efectivas para mejorar la condición de los elementos.
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 primarios del puente. Daño irreversible que posiblemente requiera la sustitución del puente o al menos la sustitución de los elementos dañados.	<ul style="list-style-type: none"> - Sustitución de elementos. - Sustitución del puente aplica solo si hay deficiencias en 2 o más elementos estructurales primarios o si más del 25 % de elementos del puente califican con falla inminente.

Fuente:(Muñoz et al., 2015)

En la *Tabla 28* se muestra la calificación de la condición global de los puentes, asignándose una calificación *deficiente* al puente atirantado, *regular* al puente arco y *alarmante* al puente celosía. Estas calificaciones se basan en las deficiencias observadas en los elementos estructurales de cada puente, lo queⁱ refleja el nivel de deterioro y la necesidad de intervención en cada uno de ellos.

Tabla 28: Calificación de la condición global del puente (CP)

Puente Atirantado	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.
Puente Arco con tablero inferior	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.
Puente celosía tipo Warren	5 ALARMANTE	La estabilidad del puente podría estar comprometida en el corto plazo debido a deficiencias significativas en uno o varios elementos estructurales primarios del puente, o a deficiencias severas extendidas en uno o varios elementos estructurales secundarios o elementos funcionales.

Nota: Resultado final conforme a la calificación de la condición global de los puentes, 2024.

Fuente: Elaboración propia.

12.2.1.3.1. Nivel de vulnerabilidad Estructural (Puente)

La determinación del nivel de vulnerabilidad del puente, se dio en base a la metodología (Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos), esta metodología se adaptó, con la finalidad de categorizar el nivel de vulnerabilidad respecto a la calificación de la condición.

Se trabaja el nivel de vulnerabilidad, mediante los rangos establecidos en la (Tabla 29), dado que se tiene 6 parámetros de calificación de la condición de los elementos en el informe de inspección, entonces se clasifican en tres categorías, según la escala por la calificación de la condición, con los siguientes rangos.

- Nivel Bajo (CC): Interpretado entre 1 y 2, indicando una baja vulnerabilidad.
- Nivel Medio (CC): Interpretado entre los valores de 3 y 4, reflejando una vulnerabilidad moderada.
- Nivel Alto (CC): Interpretado entre 5 y 6, denotando una alta vulnerabilidad.

Concepto de niveles de vulnerabilidad estructural:

- **● Nivel Bajo:** Indica que la estructura se encuentra en buenas condiciones, con una resistencia adecuada ante amenazas externas. Aunque pueda presentar desgastes menores debido al tiempo y factores ambientales, no compromete su funcionalidad ni seguridad de manera inmediata. Sin embargo, es recomendable mantener inspecciones periódicas y acciones preventivas para conservar su integridad a largo plazo.
- **● Nivel Medio:** Representa un estado de vulnerabilidad moderado, donde la estructura aún puede funcionar, pero presenta daños que comprometen su estabilidad a mediano o largo plazo. Puede requerir reparaciones, mantenimiento preventivo y medidas de mitigación para evitar un deterioro acelerado y posibles fallos ante eventos extremos, como crecidas de ríos o sismos.
- **● Nivel Alto:** Indica una condición crítica en la estructura, con un alto grado de deterioro y deficiencias significativas en su capacidad. En este nivel, el riesgo de fallas estructurales es elevado, lo que pone en peligro la seguridad de los usuarios y la operatividad del puente. Requiere intervenciones urgentes, que pueden incluir refuerzos estructurales inmediatos o incluso la demolición y reconstrucción de la infraestructura.

Tabla 29: Rango de clasificación para el nivel de vulnerabilidad en función a la calificación de la condición global.

TEMÁTICA		1-2 BAJO	3-4 MEDIO	5-6 ALTO
		NIVEL DE VULNERABILIDAD		
NIVEL DE VULNERABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS (PUENTES), ANTE DESBORDAMIENTO (INUNDACIÓN)		BAJO		
		MEDIO		
		ALTO		

Nota: Clasificación para interpretar el nivel de vulnerabilidad estructural de los puentes, 2024.

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la clasificación prevista, se procede a determinar el nivel de vulnerabilidad de los tres puentes, lo que permitirá priorizar su atención para prevenir fallos y garantizar que continúen operando de manera ininterrumpida. Los programas de trabajo recomendados para la intervención ya han sido preestablecidos, como se establece el concepto de cada nivel, y mediante estas proponer las medidas necesarias para la ejecución y las recomendaciones orientadas al aseguramiento de cada puente.

Según el nivel de vulnerabilidad mostrado en la *Tabla 30* y en función del rango establecido con base en su condición, se concluyó lo siguiente: el puente atirantado y el puente arco presentan un nivel de vulnerabilidad **Medio**, mientras que el puente celosía se clasifica con un nivel de vulnerabilidad **Alto**. Este último resulta especialmente preocupante, por lo que requiere una atención prioritaria.

Dado que las amenazas naturales, como desbordamientos e inundaciones, son impredecibles e incontrolables, se recomienda realizar mantenimientos preventivos, limpieza, y refuerzos estructurales en estas infraestructuras. Además, es fundamental elaborar las propuestas que mitiguen los riesgos y garantizando la durabilidad y seguridad de los puentes, dichas propuestas se plantearan en el objetivo 3.

Tabla 30: Nivel de Vulnerabilidad de los puentes

<p>Puente Atirantado</p>	<p>NIVEL MEDIO 4</p>	<p>● Nivel Medio: Representa un estado de vulnerabilidad moderado, donde la estructura aún puede funcionar, pero presenta daños que comprometen su estabilidad a mediano o largo plazo. Puede requerir reparaciones, mantenimiento preventivo y medidas de mitigación para evitar un deterioro acelerado y posibles fallos ante eventos extremos, como crecidas de ríos o sismos.</p>
<p>Puente Arco con tablero</p>	<p>NIVEL MEDIO 3</p>	<p>● Nivel Medio: Representa un estado de vulnerabilidad moderado, donde la estructura aún puede funcionar, pero presenta daños que comprometen su estabilidad a mediano o largo plazo. Puede requerir reparaciones, mantenimiento preventivo y medidas de mitigación para evitar un deterioro acelerado y posibles fallos ante eventos extremos, como crecidas de ríos o sismos.</p>
<p>Puente celosía tipo Warren</p>	<p>NIVEL ALTO 5</p>	<p>● Nivel Alto: Indica una condición crítica en la estructura, con un alto grado de deterioro y deficiencias significativas en su capacidad. En este nivel, el riesgo de fallas estructurales es elevado, lo que pone en peligro la seguridad de los usuarios y la operatividad del puente. Requiere intervenciones urgentes, que pueden incluir refuerzos estructurales inmediatos o incluso la demolición y reconstrucción de la infraestructura.</p>

Nota: Nivel de vulnerabilidad estructural del estado de los puentes ante la amenaza de desbordamiento, 2024. **Fuente:** Elaboración propia.

12.2.1.3.2. Nivel de vulnerabilidad en función de la condición de calificación y la resistencia hormigón

De acuerdo al nivel de vulnerabilidad del puente, se procede a contrastar el nivel de vulnerabilidad con la resistencia del hormigón, que permite comparar el nivel de vulnerabilidad y la resistencia del hormigón.

El análisis de la tabla 31, muestra una variación en la resistencia del hormigón de los diferentes componentes del puente y su correspondiente nivel de vulnerabilidad. Los elementos como el muro centro A (392 kg/cm²), la torre centro (385 kg/cm²), y el muro centro B (332 kg/cm²) presentan una resistencia relativamente alta, lo que otorga a un nivel de vulnerabilidad del hormigón *muy baja*. Sin embargo, el nivel de vulnerabilidad estructural del puente nivel *medio*, lo que sugiere que otros factores, como la carga aplicada, la distribución de esfuerzos o el estado general del elemento, pueden influir en su clasificación global.

La falta de información sobre la vulnerabilidad estructural, como la torre centro y otros componentes, dificulta una evaluación integral, pero resalta la necesidad de realizar un análisis complementario que incorpore factores como diseño, condiciones de carga y mantenimiento para determinar la seguridad estructural general del puente.

Tabla 31: Nivel de vulnerabilidad en hormigón y estructural puente Atirantado

Descripción	Resistencia	Nivel de vulnerabilidad Hormigón	Nivel de vulnerabilidad Estructural
MURO CENTRO A	392 kg/cm ²	MUY BAJA	MEDIO
TORRE CENTRO	385 kg/cm ²	MUY BAJA	
MURO LADO A	225 kg/cm ²	BAJA	
MURO CENTRO B	332 kg/cm ²	MUY BAJA	
COLUMNA CENTRO 2	234 kg/cm ²	BAJA	

Nota La tabla resume la vulnerabilidad del hormigón y la evaluación estructural del puente atirantado, basada en la condición de sus componentes y observaciones in situ, para priorizar mantenimiento y refuerzo. **Fuente:** Elaboración propia.

En el Puente Arco, la falta de accesibilidad a sus componentes de hormigón representó una limitación significativa, ya que estos se encontraban cubiertos por un material grueso de carácter decorativo. Esta condición impidió la realización del ensayo de esclerometría, dificultando la determinación precisa de la resistencia del hormigón. No obstante, con base en la calificación de su condición estructural y conforme a la clasificación establecida en la agrupación de rangos de seis a tres niveles, se determinó que la estructura presenta un nivel de vulnerabilidad medio.

Tabla 32: Nivel de vulnerabilidad en hormigón y estructural puente Arco

Descripción	Resistencia	Nivel de vulnerabilidad Hormigón	Nivel de vulnerabilidad Puente
No aplica	No Aplica	No aplica	MEDIO

Nota: No se aplicó el ensayo de esclerómetro, debido a su inaccesibilidad, y solo se conoce la condición estructural y el nivel de vulnerabilidad. **Fuente:** Elaboración propia.

El análisis de los resultados de la tabla 33, revela diferencias significativas entre la resistencia del hormigón en los componentes del puente y su nivel de vulnerabilidad estructural. Estos resultados destacan la importancia de considerar no solo la resistencia del material, sino también el contexto estructural, las condiciones ambientales y el estado general de los elementos en el análisis de riesgos y priorización de intervenciones.

Tabla 33: Nivel de vulnerabilidad en hormigón y estructural puente Celosía

Descripción	Resistencia	Nivel de vulnerabilidad Hormigón	Nivel de vulnerabilidad Puente
Tablero inferior	523,4 kg/cm ²	Negligible (muy resistente)	ALTO
Estribo	243,7 kg/cm ²	Baja	
Base o aleton	157,1 kg/cm ²	Moderada	

Nota: La tabla resume la vulnerabilidad del hormigón y la estructura del puente celosía, basándose en la condición de los materiales y las condiciones estructurales, para identificar los elementos críticos que requieren atención. **Fuente:** Elaboración propia.

12.3. Objetivo 3

Propuesta de medidas de mitigación y recomendaciones para reforzar los componentes estructurales y puntos débiles de los puentes ante posibles desbordamientos futuros.

Los resultados obtenidos en el cumplimiento del segundo objetivo permiten avanzar en la investigación hacia el tercer objetivo, enfocado en la elaboración de propuestas de medidas de mitigación y recomendaciones para mejorar la condición estructural de los puentes ante posibles desbordamientos futuros. Con base en estos hallazgos, se implementarán estrategias de mitigación, planes de mantenimiento y recomendaciones específicas que contribuyan al fortalecimiento de la infraestructura y garanticen la prolongación de la vida útil de los puentes.



Nota: Los tres puentes a sufrir daños, condición y nivel de vulnerabilidad, propuestas de medidas y recomendaciones para mejorar dichas estructuras, 2024. **Fuente:** Elaboración propia.

Estas medidas deberán ser implementadas por las autoridades competentes para garantizar el mantenimiento adecuado de las estructuras y preservar su integridad, dado que presentan condiciones deficientes, regulares y alarmantes, con niveles de vulnerabilidad que oscilan entre medio y alto. La aplicación de las medidas y recomendaciones propuestas permitirá fortalecer la seguridad y estabilidad de estas infraestructuras clave para el cantón Tena, beneficiando la movilidad de los habitantes, el turismo, el transporte público y privado, así como la actividad comercial a nivel local, cantonal y nacional.

Las medidas propuestas para el Puente Atirantado "Parque La Isla", ubicado sobre los ríos Pano y Tena, requieren una atención inmediata, ya que la estructura presenta una calificación deficiente y un nivel de vulnerabilidad medio. Durante la evaluación, se identificó un deterioro significativo en varios de sus componentes, lo que podría aumentar el riesgo de accidentes o incluso el colapso de algunas de sus partes. Por ello, es fundamental implementar las medidas recomendadas, asegurando así la estabilidad de la estructura y prolongando su vida útil.

Tabla 34: Propuesta medidas de mitigación y recomendaciones puente atirantado

Descripción	Nivel de Vulnerabilidad	Propuesta			
		Medidas de Mitigación	Mantenimientos	Recomendación	Responsable
Puente Atirantado	MEDIO	Elaborar un plan de contingencia estructural Desarrollar un Plan de Emergencia. Plan de Gestión de Riesgos ante Inundación. Elaboración de informes de evaluación estructural Plan de Rehabilitación y Reparación Post-Inundación.	Mantenimiento General en toda la estructura partes de acero Mantenimiento de placas antiderrapante Mantenimiento de los componentes metálicos ante los efectos corrosivos. Mantenimiento y cambio de placas, vigas. Mantenimiento cambio y reforzamiento en áreas críticas: escalones, vigas, tornillos y tuercas	Se recomienda la construcción de barreras de protección, sobre sus columnas y torre Se recomienda protección contra la corrosión Se recomienda materiales de impermeabilización Se recomienda el uso de materiales resistentes al agua	GAD-Municipal de Tena (Dept. Obras Publicas, Dept. Planificación y Proyectos) Oficina Técnica SGR ZONA 3

Nota: Medidas y recomendaciones Puente Atirantado, 2024. Elaboración propia: Pazmiño.

Las medidas propuestas para el Puente Arco, que obtuvo una calificación regular y un nivel de vulnerabilidad medio, contribuirán al fortalecimiento y seguridad de la estructura, siempre que sean implementadas de manera adecuada. Su aplicación permitirá prolongar la vida útil del puente y garantizar su estabilidad a largo plazo.

Tabla 35: Propuesta medidas de mitigación y recomendaciones puente arco

Descripción	Nivel de Vulnerabilidad	Medidas de Mitigación	Propuesta		Responsable
			Mantenimientos	Recomendación	
Puente Arco-Acero	MEDIO	Mejoras en los Drenajes Superficiales Desarrollar un plan de emergencia Plan de Gestión de Riesgos de Inundación Elaboración de informes de evaluación estructural Plan de Rehabilitación y Reparación Post-Inundación	Mantenimiento General en la estructura y tablero del puente Mantenimiento en superficie de rodamiento Vehicular Mantenimiento capas de pintura y aislante. Mantenimiento de las bases Mantenimiento de las juntas de expansión. Mantenimiento en el relleno de aproximación	Se recomienda mejorar la iluminación. Se recomienda implementar medidas de seguridad Se recomienda implementar señalización Se recomienda un mantenimiento cíclico	GAD-Municipal de Tena (Dept. Obras Publicas, Dept. Planificación y Proyectos) Oficina Técnica SGR ZONA 3

Nota: Medidas y recomendaciones Puente Arco o viga, 2024. Elaboración propia: Pazmiño.

Las medidas y recomendaciones propuestas contribuirán a reforzar y garantizar la estabilidad del Puente Celosía tipo Warren, siempre que sean implementadas en su mayoría. Dado que su calificación es alarmante y presenta un alto nivel de vulnerabilidad, es fundamental atender su estado con urgencia para minimizar el riesgo de colapso, fallas estructurales o problemas en la cimentación. Considerando los daños identificados, se recomienda la elaboración de un informe técnico más detallado que evalúe la viabilidad de su rehabilitación o, en caso necesario, la sustitución completa de la estructura por un puente nuevo.

Tabla 36: Propuesta medidas de mitigación y recomendaciones puente celosía

		Propuesta				
Descripción	Nivel de Vulnerabilidad	Medidas de Mitigación	Mantenimientos	Recomendación	Responsable	
Puente Atirantado	ALTO	Informe técnico de mantenimiento preventivo Plan de Rehabilitación y Reparación Post-Inundación	Mantenimiento en la superficie de rodamiento. Mantenimiento en losa de aproximación ambos tramos. Mantenimiento en bastión o estribo cuerpo y cimiento. Mantenimiento de la estructura Mantenimiento en la junta de expansión	Se recomienda implementar iluminación Se recomienda atender la estructura Se recomienda la construcción de barreras de protección temporales (proteger ante el socavamiento del agua) Se recomienda quitar objetos (poste-metálico), ya que aumenta la oscilación vibratoria del puente, falla por fatiga de la estructura. Se recomienda un mantenimiento cíclico	MTOP (Dept. Obras Públicas, Dept. Planificación y Proyectos) Oficina Técnica SGR ZONA 3	

Nota: Medidas y recomendaciones Puente celosía, 2024. Elaboración propia: Pazmiño.

En la tabla 37, se presenta una descripción detallada de los tipos de medidas, con el fin de proporcionar una comprensión clara de su propósito y de cómo estas pueden contribuir a mejorar y garantizar el adecuado mantenimiento de la estructura.

Tabla 37: Descripción del tipo de medida

TIPO DE MEDIDA	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE DE EJECUCIÓN
Evaluación del riesgo de desastres	Enfoque cualitativo o cuantitativo para determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de las posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad que conjuntamente podrían causar daños a las personas, los bienes, los servicios, los medios de vida y el medio ambiente del cual dependen (UNISDR - Indicadores y terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres, Asamblea General, Naciones Unidas, 2016).(SNGR, 2018)	-GAD TENA MT -Oficina Técnica SGR ZONA 3
Gestión Integral del Riesgo	Enfoque y práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales. Este enfoque abarca la evaluación y análisis del riesgo (interrelación e interacción entre amenazas y vulnerabilidades), como también la ejecución de estrategias y acciones específicas para controlar, reducir y transferir el riesgo. (ONEMI, 2021)	-GAD TENA -Oficina Técnica SGR ZONA 3
Plan de Rehabilitación y Reparación Post-Inundación	Su propósito es enriquecer el proceso de planificación municipal, con un enfoque de recuperación post desastre, desarrollo integral y de largo plazo. Desde esta perspectiva, la planificación municipal para la recuperación post desastres debe ser abordada desde múltiples puntos de vista; desde el bienestar de las poblaciones afectadas, la reducción de la vulnerabilidad y el fortalecimiento de la	-GAD TENA MTOP-ZONA DISTRITAL TENA -Oficina Técnica SGR ZONA 3

	resiliencia.(<i>SINAPRED-PNUD ULTIMO GUIA MUNICIPAL.pdf</i> , s. f.)	
Informe técnico de mantenimiento preventivo	El informe técnico de mantenimiento preventivo tiene como objetivo proporcionar una descripción detallada de las acciones tomadas para evitar averías, prolongar la vida útil de las estructuras, y asegurar el rendimiento de estos sistemas. Este informe es una herramienta fundamental para la planificación, control y seguimiento del mantenimiento en cualquier organización.	-GAD-TENA MTOPI-ZONA DISTRITAL TENA Dpat de planificación y obras publicas
Programa de Gestión y Mantenimiento	La metodología que se presenta en este trabajo es la base para una simplificación de lo indicado en el documento ISO 16311 (2014) “Mantenimiento y Reparación de Estructuras de Hormigón”, que está dirigida a todo tipo de estructuras de hormigón para que pueda ser particularizados al caso específico de los puentes y generalizado para todo tipo de estructuras.(de Luna, 2024)	-GAD-TENA Dpat de planificación y obras publicas

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13. CONCLUSIONES

Las amenazas naturales han sido constantes y latentes en el contexto dinámico de las comunidades, representando uno de los principales desafíos a nivel nacional e internacional, con efectos negativos en el desarrollo social y económico de las naciones y sus poblaciones. En esta investigación, hemos abordado un tema de gran relevancia, dado que resulta imposible predecir o detener los fenómenos naturales, cuya intensidad destructiva atrae la atención de investigadores, académicos y científicos.

La presente investigación permitió un análisis estructural de los puentes urbanos en la ciudad de Tena, susceptibles ante desbordamientos, proporcionando un diagnóstico sobre el estado actual de los puentes y permitiendo conocer el nivel de vulnerabilidad.

Se identificaron los puentes urbanos de la ciudad del Tena que presentan susceptibilidad a sufrir daños: cuatro de los tres puentes identificados son gradualmente vulnerables a los desbordamientos causados por los ríos Pano y Tena, que conforman la cuenca del río Tena.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis estructural de los puentes identificados para determinar las condiciones y posibles puntos débiles frente a los desbordamientos. Presentan condiciones estructurales variables: el puente atirantado (deficiente); puente arco (regular) y el puente celosía (alarmante), con niveles de vulnerabilidad (Puente atirantado y el puente Arco: Nivel Medio; Puente celosía: Nivel alto), lo que resalta la necesidad de intervenciones urgentes para garantizar la seguridad y prolongar la vida útil. En este sentido, se han propuesto medidas de mitigación y recomendación orientadas a fortalecer los componentes estructurales de estas infraestructuras, con el objetivo de reducir los riesgos de deterioro progresivo, fallas estructurales, socavamiento o colapsos ante futuros adversidades.

La aplicación de estas medidas propuestas, deberán ser ejecutadas por las autoridades competentes, serán claves para preservar la funcionalidad de los puentes, mejorando la movilidad urbana y garantizar la seguridad de estas estructuras. A la vez, estas medidas implementadas optimizaran la funcionalidad y el impulso del desarrollo sobre las actividades comercial y calidad de vida de la población del cantón Tena.

De igual forma, este estudio resalta la importancia de una buena planificación y un monitoreo continuo de los puentes, a fin de reducir los riesgos asociados a fenómenos naturales y el desgaste progresivo de los materiales. Ya que es muy preocupante, lo que motiva, a que se ejecuten dichas propuestas para mejorar y asegurar estas estructuras, así como realizar más estudios técnicos que permitan determinar si es necesario construir un puente nuevo, más resistente y capaz de soportar las condiciones y amenazas presentes en el cantón.

Finalmente, se espera que los resultados hallados sirvan como base para futuras investigaciones y proyectos de infraestructura en la región, promoviendo una gestión eficiente y sostenible de los puentes. A partir de los informes de inspección de cada puente, se han propuesto diversas acciones y recomendaciones, incluyendo la decisión de rehabilitar, reforzar o reemplazar algunas partes de los elementos afectados. Es esencial que este trabajo sirva como base para que los organismos competentes desarrollen guías, documentos y normativas que aseguren un mantenimiento adecuado, con el fin de prolongar la vida útil de las estructuras o al menos su funcionalidad temporal. Existe un vacío en este ámbito, y es necesario prestar más atención a estos componentes esenciales, que son fundamentales para el desarrollo vial, social, económico y productivo de la región local.

14. RECOMENDACIONES

Implementación de un protocolo de mantenimiento: Se recomienda diseñar y establecer un protocolo de mantenimiento periódico para las estructuras de los puentes, considerando su importancia en el desarrollo social, económico y productivo de la ciudad, el cantón y la provincia de Napo. Dicho protocolo deberá incluir inspecciones regulares, evaluaciones estructurales y acciones preventivas para garantizar su óptimo funcionamiento y prolongar su vida útil.

Fortalecimiento de la coordinación interinstitucional: Es fundamental fomentar la colaboración estratégica entre entidades gubernamentales, académicas y del sector privado para generar estudios e informes técnicos que permitan evaluar continuamente el estado de los puentes. Esta sinergia facilitará la identificación de vulnerabilidades, la planificación de intervenciones adecuadas y la toma de decisiones basadas en evidencia técnica.

Seguimiento y mantenimiento preventivo: Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo para las estructuras estratégicas, con el objetivo de evaluar su estado y programar intervenciones oportunas. La implementación de mantenimientos rutinarios y cíclicos garantizará la operatividad y seguridad de los puentes, fortaleciendo su resiliencia ante fenómenos naturales adversos y minimizando riesgos de deterioro o colapso.

Gestión Integral del Riesgo y Políticas de Intervención: Se aconseja que las entidades gubernamentales diseñen políticas y protocolos de emergencia específicos para la protección de los puentes ante desastres naturales, asegurando una respuesta rápida y efectiva en caso de inundaciones.

15. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Academia-Lab. (2024). *Puente bailey*. <https://academia-lab.com/enciclopedia/puente-bailey/>

Arquidia, M. (2021). *Revista STRUCTURE | La celosía Warren | Arquidia Mantina*. <https://arquidiamantina.org/es/la-celos%c3%ada-warren/>

Asamblea Nacional. (2024). *LEY ORGÁNICA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES*. <https://institutoicp.edu.ec/wp-content/uploads/2024/07/LEY-ORGANICA-PARA-LA-GESTION-INTEGRAL-DEL-RIESGO-DE-DESASTRES-1.pdf>

Castillo, J., & Martínez, C. (2020). *Tipos de Puentes de Celosías Puentes | PDF | Braguero | Ingeniería de Edificación*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/487842573/TIPOS-DE-PUENTES-DE-CELOSIAS-PUENTES>

CIVILGEEKS. (2011). Evaluación del concreto por el esclerómetro. *CivilGeeks.com*. <https://civilgeeks.com/2011/12/10/evaluacion-del-concreto-por-el-esclerometro/>

Cruz Cueva, G. (2016). *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE CONTINGENCIA POR INUNDACIÓN DEL RÍO TENA EN LOS BARRIOS: BELLAVISTA, LAS HIERBITAS, EL TERERÉ Y BARRIO CENTRAL DE LA CIUDAD DE TENA [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR]*. <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=ba6329710bee71e851249565545d2eabcca4c9e769e1ebee556ecf7347f265JmltdHM9MTczNDEzNDQwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=0b11e6e3-3d75-6b34-0505-f5cb3cda6a70&psq=Elaboraci%c3%b3n+de+un+plan+de+contingencia+por+inundaci%c3%b3n+del+r%c3%ado+Tena+en+los+barrios%3a+Bellavista%2c+Las+Hierbitas%2c+El+Terer%c3%a9+y+barrio+central+de+la+ciudad+de+Tena&u=a1aHR0cHM6Ly9yZXBvc2l0b3Jpby5wdWNlMmVkdS5lYy9iaXRzdHJlYW1zL2E1NjhmMTkxLTI4MzQtNGM3OS1hMzI4LTEzY2IzYmMxMTE4My9kb3dubG9hZA&ntb=1>

Cueva Ingeniero Civil. (2024). *Tipos de puentes atirantados*. <https://www.cuevadelcivil.com/2011/03/tipos-de-puentes-atirantados.html>

de Luna, J. B. (2024). *Vida útil de un puente. Algunas consideraciones prácticas para su determinación Useful life of a bridge. Some practical considerations for its determination.*

DesInventar. (2019). *DesInventar—Profile*.
<https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=ecu&continue=y&datalng=LL>

EL ORIENTE. (2022, mayo 12). *Moradores de dos sectores fueron evacuados por el desbordamiento del río Tena*. <https://www.elorientecom/articulo/moradores-de-dos-sectores-fueron-evacuados-por-el-desbordamiento-del-rio-tena/36266>

Erzilla, A. (2024). *Partes de un puente | ULMA* [BlogItem].
<https://www.ulmaconstruction.es/es-es/ulma/blog/partes-puente>

Gobernación de Napo. (2013). *Reseña Histórica—Gobernación de Napo*.
<https://www.gobernacionnapo.gob.ec/new/resena-historica/>

GRUPO KB. (2018). *Esclerómetro Análogo Original Schmidt*.
<https://www.grupokb.com.mx/esclerometro-analogo-para-concreto-original-schmidt>

Hurtado-Pidal, J., Acero Triana, J. S., Espitia-Sarmiento, E., & Jarrín-Pérez, F. (2020). Flood Hazard Assessment in Data-Scarce Watersheds Using Model Coupling, Event Sampling, and Survey Data. *Water*, 12(10), 2768.
<https://doi.org/10.3390/w12102768>

INEC. (2022). *Censo Ecuador*. <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>

LanammeUCR. (2022). *INFORME DE INSPECCIÓN RUTINARIA* [Ingeniería].
<file:///C:/Users/Det-Pc/OneDrive/Documentos/TESIS/MODELO%20DE%20INFORME%20PUENTE-TESIS.pdf>

Lozano, O. (2008). *METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ANTE INUNDACIONES Y SISMOS, DE LAS EDIFICACIONES EN CENTROS URBANOS*. <https://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/olga-lozano.pdf>

lur. (2023). *Tipos de puentes y sus características | ULMA* [BlogItem].
<https://www.ulmaconstruction.es/es-es/ulma/blog/tipos-puentes>

Marín, C. R., & Maldonado, J. S. (2022). Estudio de las causas del colapso de puentes en Ecuador (2000-2022). *MQRInvestigar*, 6(4), 368-395. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.368-395>

Mena, M., Scheffczyk, Urrutia, Huerta, & Walz. (2021). *Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador*. ©UNU-EHS 2021. https://collections.unu.edu/eserv/UNU:8434/VALE_Flood_Risk_Assesment_Report_Ecuador_SPA_FINAL_META.pdf

Muñoz, J., Agüero, P., Vargas, S., Villalobos, E., Vargas, L., Barrantes, R., & Salazar, L. (2015). *Guía para la determinación de la condición en puentes mediante inspección visual*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/626/Gu%C3%A1%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20condici%C3%B3n%20en%20puentes%20mediante%20inspecci%C3%B3n%20visual.pdf?sequence=1>

NAPO. (2020). *ACTUALIZACIÓN PDOT-PUGS-2020-2023*. <https://www.tena.gob.ec/images/convocatoria/ACTUALIZACION-PDOT-2020-2023.pdf>

Narváez, J. C. (2017). *Estado de emergencia y suspensión de clases en Tena tras inundación por lluvias*. El Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/ecuador-inundaciones-lluvias-tena-emergencia.html>

National Geographic. (2024, mayo 10). *¿Qué son los fenómenos meteorológicos extremos y por qué son tan peligrosos?* National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2024/05/que-son-los-fenomenos-meteorologicos-extremos-y-por-que-son-tan-peligrosos>

ONEMI. (2021). *GLOSARIO GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES*. https://www.ssffaa.cl/media/GLOSARIO%20GESTI%C3%93N%20DEL%20RIESGO%20DE%20DESASTRE_2021.pdf

Pinto, A. (2014). *TIPOS DE PUENTES: CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS*. <https://ingenieriareal.com/tipos-de-puentes/>

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2024). *FENOMENO DEL NIÑO 2024*. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/09/FENOMENO-DEL-NINO-LIBRO_FINALSGR-comprimido.pdf

SGR. (2018). *GLOSARIO DE TÉRMINOS DE GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES GUÍA DE CONSULTA*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%C3%89RMINOS-DE-GESTI%C3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf>

SINAPRED-PNUD ULTIMO GUIA MUNICIPAL.pdf. (s. f.). Recuperado 22 de diciembre de 2024, de <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/R46/SINAPRED-PNUD%20ULTIMO%20GUIA%20MUNICIPAL.pdf>

SNGR. (2018). *PLAN NACIONAL DE RESPUESTA ANTE DESASTRES*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf>

Subdirección de Protección Civil. (2007). *Lluvia e inundaciones*. <http://www.mener.inah.gob.mx/archivos/38-1448582904.PDF>

TENA, G. (2021). *PDOT-TENA 2021-2023*. <https://sil.napo.gob.ec/wp-content/uploads/2022/10/PDOT-Tena-2021-2023.pdf>

Topographic-map. (s. f.). *Mapa topográfico Tena, altitud, relieve*. Mapas topográficos. Recuperado 18 de junio de 2024, de <https://es-ec.topographic-map.com/map-vt5rr/Tena/>

Unknown. (2026). *ESTRUCTURA DE PUENTES EN FORMA DE ARCO*. <http://estructuradepuenteenformadearco.blogspot.com/2016/03/1.html>

16. ANEXOS

16.1. Anexo Identificación objetivo 1

Anexo 1: Puente 1, atirantado observación in situ

Fotografía. - Vista de torre base de la estructura puente



Fotografía. -Presencia de humedad, y homo sobre la estructura



Fotografía. -Vista de la columna, muro, plataforma del puente.



Fotografía. – Vista General del puente, sobre el rio Pano y Tena



Anexo 2: Puente 2, colgante observación in situ

Fotografía. – Vista inferior del tablero del puente colgante



Fotografía. – Presencia de corrosión



Anexo 3: Puente 3, arco observación in situ

Fotografía. – Vista lateral del puente arco acero, con tablero de hormigón



Anexo 4: Puente 4, celosía observación in situ

Fotografía. – Vista general del puente



Fotografía. -Viste inferior de puente tipo Warren con tablero de hormigón






Fotografía. -Vista lateral del puente, presencia de corrosión, y vegetación arbustiva



16.2. Anexo informes objetivo 2

Anexo 5: Informe Puente Peatonal #1 Atirantado

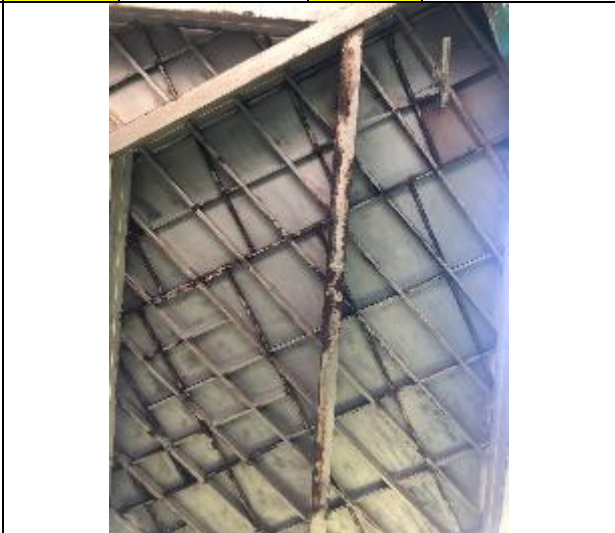
INSPECCION DE PUENTE					NUMERO DE SUPERESTRUCTURA:		3		Página 1-3					
NOMBRE DEL PUENTE:	Puente la isla-Atirantado				LOCALIZACION:	PROVINCIA:	Napo	ENCARGADO:	Ing. Ricardo Manzano		DIA	MES	AÑO	
CONOCIDO COMO:	Mirador					CANTON:	Tena	LATITUD:			FECHA DE DISEÑO:	S/DS	S/DS	2010
ESTADO PUENTE:	CRITICÓ - Habilitado					PARROQUIA:	GAD-Tena	LONGITUD:			FECHA DE CONSTRUCCION:	S/DS	S/DS	2013
RUTA N°:	Av. General Gallo	RUTA:	Av. Francisco de Orellana		KILIMETRO		1 km		FECHA DE REHABILITACION:	S/DS	S/DS	2013		
PUENTES #1 PUENTE ATIRANTADO LA ISLA														
N°	1	UBICACIÓN	Vista General		N°	2	UBICACIÓN	-D (-2)		N°	3	UBICACIÓN	-D (-1) (CC)	
														
NOTA	Sin mantenimiento, vista general centro del puente	DIA	MES	AÑO	NOTA	Corrosión, refuerzo de viga, limpieza, pintura y mantenimiento	DIA	MES	AÑO	NOTA	Corrosión, limpieza, pintura. Mantenimiento	DIA	MES	AÑO
		18	11	2024			18	11	24			18	11	2024
N°	4	UBICACIÓN	-D(-2) (CC)		N°	5	UBICACIÓN	-D(-1) (CC)		N°	6	UBICACIÓN	D-0 Base principal (CC)	



NOTA	Falta tornos, limpieza y pintura. Mantenimiento o presencia de corrosión.	DIA	MES	AÑO
		18	11	2024
N°	7	UBICACIÓN	Norte Tablero plancha metálico D-0 (A)	

NOTA	Corrosión, limpieza, pintura. Mantenimiento	DIA	MES	AÑO
		18	11	2024
N°	8	UBICACIÓN	Sur-Este Tablero plancha metálica D-0 (B)	

NOTA	Apoyos o vigas, limpieza, pintura. Mantenimiento	DIA	MES	AÑO
		18	11	2024
N°	9	UBICACIÓN	Vista General SE TABLERO PLANCHA METÁLICA D-0 (A)	



NOTA	Se observa corrosión, limpieza y pintura	DIA	MES	AÑO	NOTA	Se observa corrosión, reforzar correa. Limpieza y pintura. Mantenimiento	DIA	MES	AÑO	NOTA	Se observa corrosión, manchas de humedad, limpieza y pintura. Mantenimiento	DIA	MES	AÑO
		18	11	2024			18	11	2024			18	11	2024
N°	10	UBICACIÓN	E -28 31		N°	11	UBICACIÓN	D-4		N°	12	UBICACIÓN	1.1 pila SE	
														
NOTA	Reforzar-mantenimient o peldaño E-30. Peligró críticó	DIA	MES	AÑO	NOTA	Mantenimiento Descanso 4-corrosión	DIA	MES	AÑO	NOTA	Se observa agrietamiento de 1-2 mm	DIA	MES	AÑO
		18	11	2024			18	11	2024			18	11	2024
N°	13	UBICACIÓN	Columnas R S		N°	14	UBICACIÓN	Viga SE (B)		N°	15	UBICACIÓN	2.1 Pila N (A)	



NOTA	Agrietamiento s enlucida, humedad, manchas en todas	DIA	MES	AÑO	NOTA	Viga vertical, agrietamiento	DIA	MES	AÑO	NOTA	Agrietamiento 1-4 mm. Homo, humedad, Limpieza y pintura.	DIA	MES	AÑO
		19	11	2024			19	11	2024			19	11	2024
N°	16	UBICACIÓN	Columnas N (A)		N°	17	UBICACIÓN	Columna 2 , viga (A)		N°	18	UBICACIÓN		











NOTA	Agrietamiento s enlucida, humedad, manchas de moho	DIA	MES	AÑO	NOTA	Se observa aislamiento y deformación en la viga	DIA	MES	AÑO	NOTA	Dar limpieza	DIA	MES	AÑO
		19	11	2024			19	11	2024			19	11	2024
N°	19	UBICACIÓN	(A)		N°	20	UBICACIÓN	Viga (A)		N°		UBICACIÓN		



NOTA	Agrietamiento s enlucida, humedad, manchas en todas	DIA	MES	AÑO	NOTA	Moho, agrietamiento, humedad	DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO
		19	11	2024			19	11	2024			19	11	2024

Anexo 6: Informe de Puente Peatonal #2 Colgante

INSPECCION DE PUENTE					NUMERO DE SUPERESTRUCTURA:		1			Página 1					
NOMBRE DEL PUENTE:	Puente Colgate				LOCALIZACIÓN:	PROVINCIA:	Napo	ENCARGADO:	Ing. Ricardo Manzano		DIA	MES	AÑO		
CONOCIDO COMO:	Puente Peatonal					CANTON:	Tena	LATITUD:		FECHA DE DISEÑO:			1969		
ESTADO PUENTE:	MODERADO-Habilitado					DISTRITO:	GAD-TENA	LONGITUD:		FECHA DE CONSTRUCCION:			1970		
RUTA N°:		RUTA:		KILIMETRO	1km				FECHA DE REHABILITACION:			1970			
PUENTES #2 PUENTE COLGANTE															
N°	1		UBICACIÓN	Torre 1 (A)	N°	1		UBICACIÓN	Torre 2 (A)	N°	3		UBICACIÓN	Torre 3 (B)	
															
NOTA	Corrosión, en base de la torre			DIA	MES	AÑO	NOTA	Corrosión en la base de la torre			DIA	MES	AÑO		
			11							11					
N°	4		UBICACIÓN	Torre 4 (B)	N°	5		UBICACIÓN		N°	6		UBICACIÓN		



NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	7	UBICACIÓN		

NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	8	UBICACIÓN		

NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	9	UBICACIÓN		



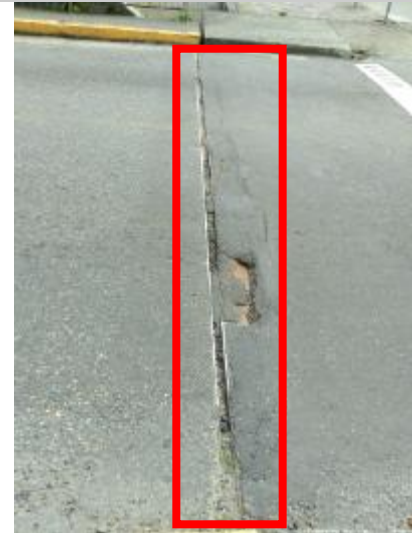
NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	10	UBICACIÓN			N°	11	UBICACIÓN			N°	12	UBICACIÓN		



NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	13	UBICACIÓN			N°	14	UBICACIÓN			N°	15	UBICACIÓN		

Anexo 7: Informe puente Carrozable #3 Arco-Acero

INSPECCION DE PUENTE					NUMERO DE SUPERESTRUCTURA:		1			Página 1						
NOMBRE DEL PUENTE:	Puente Arco o Viga				LOCALIZACION:	PROVINCIA:	Napó		ENCARGADO:	Ing. Ricardo Manzano			DIA	MES	AÑO	
CONOCIDO COMO:	Puente carrozable					CANTON:	Tena		LATITUD:				FECHA DE DISEÑO:			2008
ESTADO PUENTE:	MODERADO-Habilitado					DISTRITO:	GAD-Tena		LONGITUD:				FECHA DE CONSTRUCCION:			2010
RUTA N°:		RUTA:	Av. 15 de Noviembre		KILIMETRO							FECHA DE REHABILITACION:			2010	
PUENTES #3 PUENTE ARCO O VIGA																
N°	1	UBICACIÓN				N°	1	UBICACIÓN				N°	3	UBICACIÓN		
																
NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO		
N°	4	UBICACIÓN				N°	5	UBICACIÓN				N°	6	UBICACIÓN		



NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	7	UBICACIÓN		

NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	8	UBICACIÓN		

NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	9	UBICACIÓN		






NOTA		DIA	MES	AÑO

NOTA		DIA	MES	AÑO

NOTA		DIA	MES	AÑO

Anexo 8: Informe puente Carrozable #4 Celosía Warren

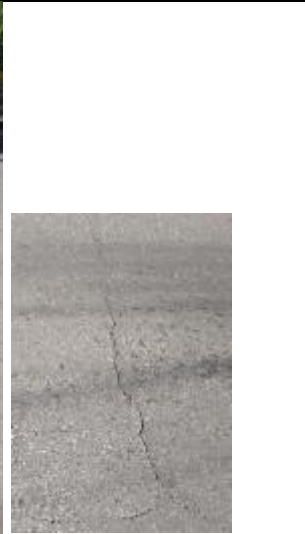
INSPECCION DE PUENTE					NUMERO DE SUPERESTRUCTURA:			1			Página 1					
NOMBRE DEL PUENTE:	Puente Celosía tipo WARREN de tablero inferior				PROVINCIA:	Napó		ENCARGADO:	Ing. Ricardo Manzano			DIA	MES	AÑO		
CONOCIDO COMO:	Puente carrozable Perimetral				LOCALIZACION:	CANTON:	Tena		LATITUD:				FECHA DE DISEÑO:			
ESTADO PUENTE:	CRITICO-Habilitado				DISTRITO:	MTOP-Distrito Napó		LONGITUD:				FECHA DE CONSTRUCCION:				
ruta N°:	45	RUTA:	Av. Troncal Amazónico		KILIMETRO			2 km			FECHA DE REHABILITACION:			2005		
PUENTES #4 PUENTE CELOSIÁ																
N°	1	UBICACIÓN			N°	2	UBICACIÓN			N°	3	UBICACIÓN				
																
NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO	NOTA		DIA	MES	AÑO		
N°	4	UBICACIÓN			N°	5	UBICACIÓN			N°	6	UBICACIÓN				



NOTA	Presencia de corrosión	DIA	MES	AÑO
N°	7	UBICACIÓN		

NOTA	Mantenimiento, limpieza	DIA	MES	AÑO
N°	8	UBICACIÓN		

NOTA	Limpieza, corrosión	DIA	MES	AÑO
N°	9	UBICACIÓN		



NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	10	UBICACIÓN		

NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	11	UBICACIÓN		

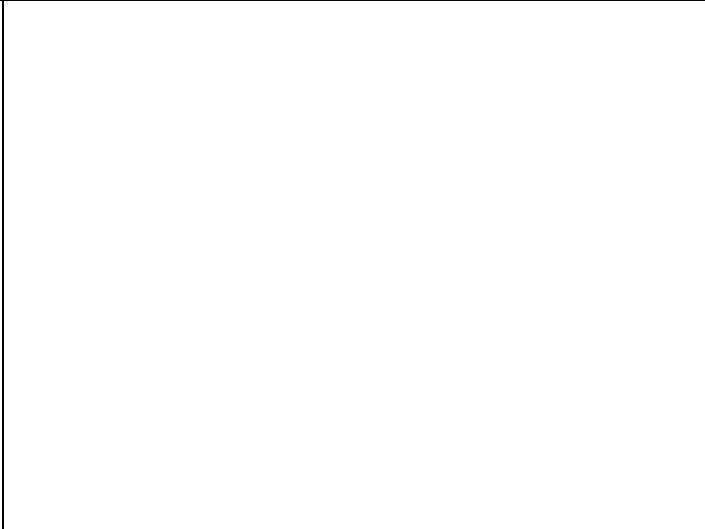
NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	12	UBICACIÓN		



NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	13	UBICACIÓN		

NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	14	UBICACIÓN		

NOTA		DIA	MES	AÑO
N°	15	UBICACIÓN		



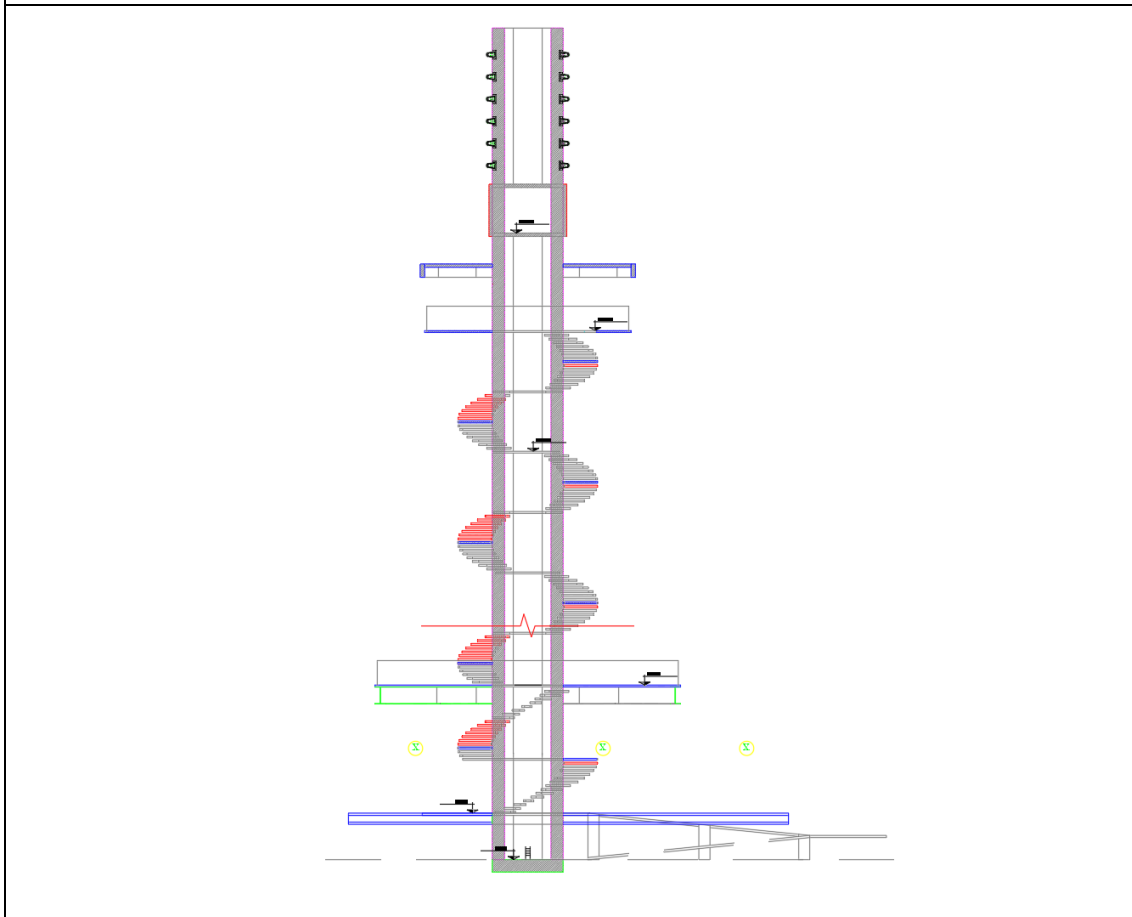
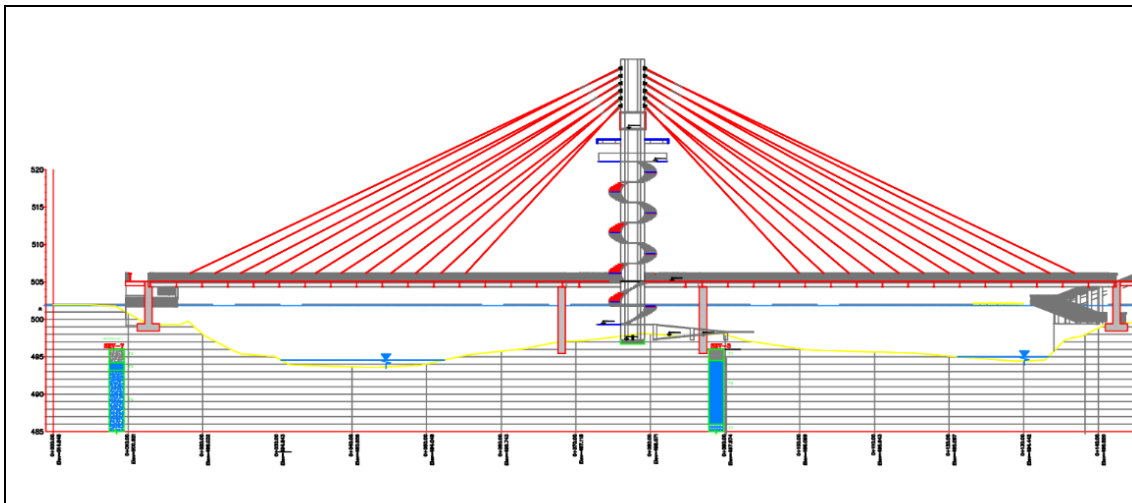
NOTA	16	DIA	MES	AÑO
------	----	-----	-----	-----

NOTA		DIA	MES	AÑO
------	--	-----	-----	-----

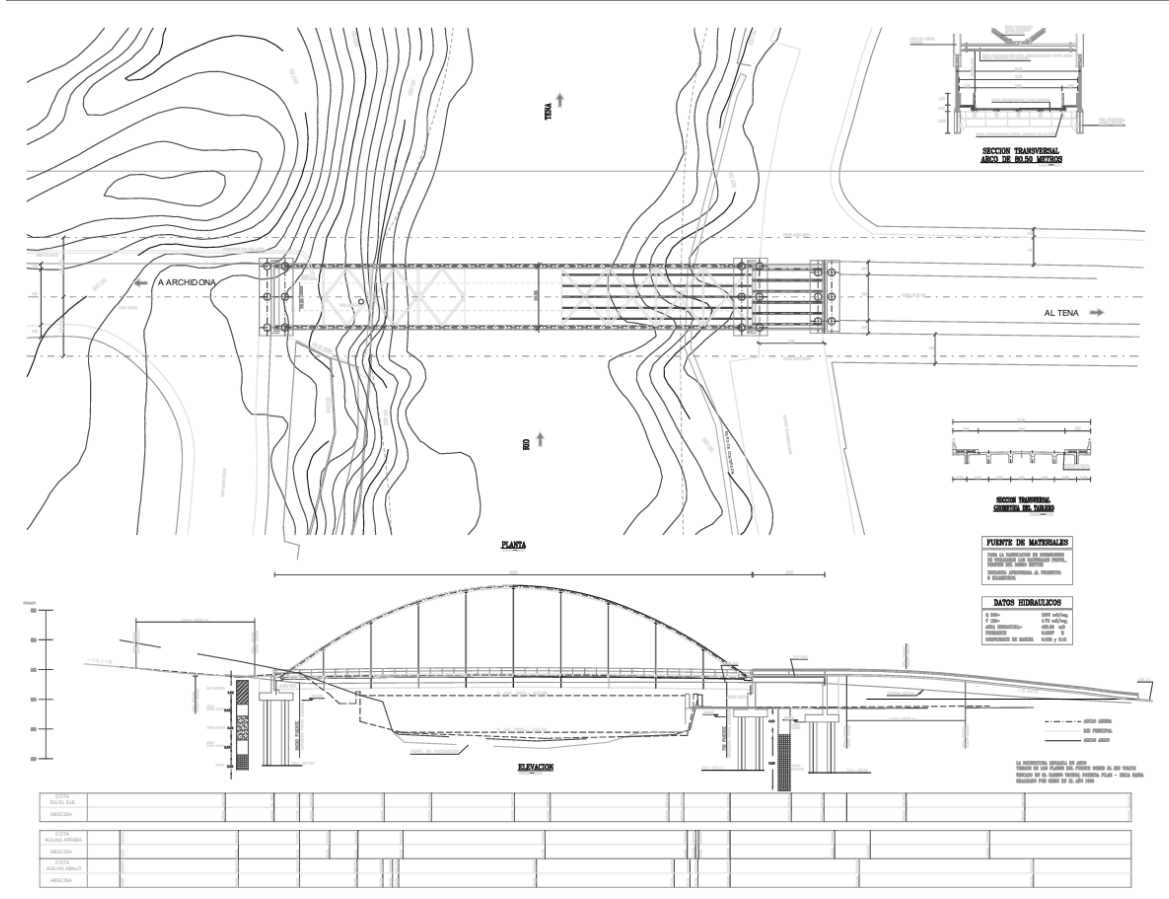
NOTA		DIA	MES	AÑO
------	--	-----	-----	-----

16.3. Anexo planos puentes

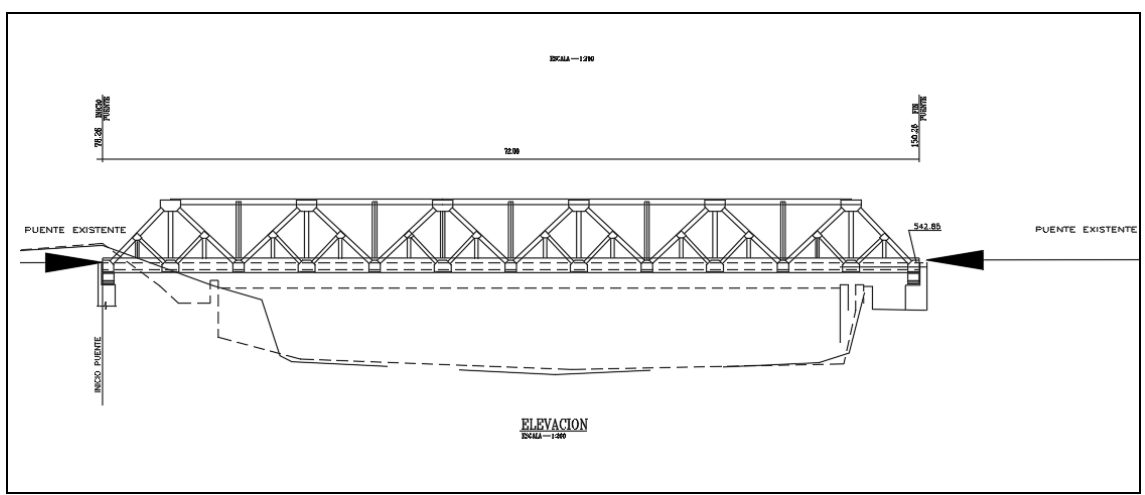
Plano puente #1 Atirantado



Plano puente #2 Arco o viga



Plano puente #3 Celosía



ANEXO_SALIDAD A CAMPO AREA DE ESTUDIO

Anexo 9: Salida a campo vuelo de dron

Fotografía. – Equipo control y componentes del dron.



Fotografía. -Verificación del equipo



Fotografía. -Verificación de control y trazo de barrido para el vuelo aéreo del dron



Fotografía. -Preparación, calibración para el vuelo sobre el área de estudio



Anexo 10: Salidas a Campo ensayo esclerómetro Puente atirantado

Fotografía. -Muro A, primer ensayo no destructivo con esclerómetro



Fotografía. -Resultado obtenido por rebote



Fotografía. -Segundo ensayo de esclerómetro, sobre la torre componente principal del puente



Fotografía. -Resultado obtenido por rebote



Fotografía. -Tercer ensayo, Muro B.B






Fotografía. -Muro B, cuarto ensayo



Fotografía. -Columna circulo centro,
quinto ensayo ejecutado



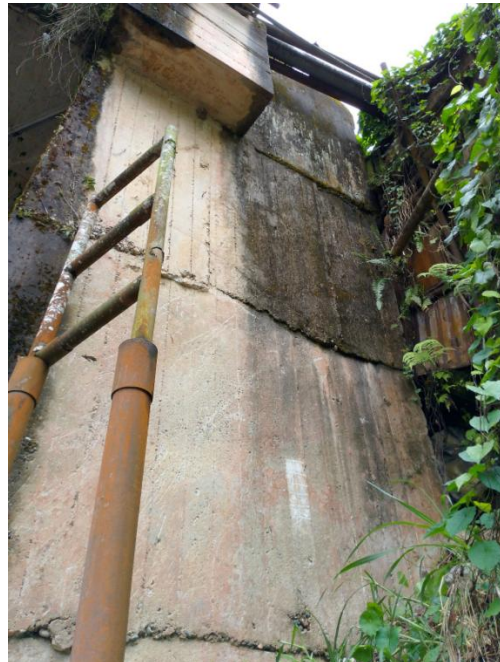
Anexo 11: Salidas a Campo ensayo esclerómetro Puente Celosía

<p>Fotografía. – Primer ensayo realizado, sobre la parte inferior del tablero</p>	
<p>Fotografía. -Resultado obtenido por rebote, sobre el tablero</p>	
<p>Fotografía. -Secundo ensayo, sobre el estribo principal del puente, limpieza para su ejecución</p>	

Fotografía. -Primer resultado obtenido de rebote sobre el estribo



Fotografía. -Vista lateral de la estructura y finalización de ensayo



Fotografía. -Anexo de corroboración de
trabajo in situ

