

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL



**Indicadores de evaluación de daños para apoyos en puentes simplemente
apoyados**

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

Grado académico de Maestría

Realizado por:

Ing. Alejandro Alfaro Acuña

Cartago, Junio 2024

DEDICATORIA

A Dios por la bendición de la vida, a mis padres Rafaela Acuña Orozco y Luis Aquiles Alfaro Rodríguez por su amor e incondicional apoyo en mi vida profesional, a mi hermano Mauricio Alfaro Acuña y mi esposa Carolina Badilla Lizano por su amor, apoyo y compañía en todos los ámbitos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por el extraordinario regalo de pertenecer a la mejor familia y la oportunidad de compartir y vivir junto a ellos sueños hechos realidad. A mis padres Luis Aquiles Alfaro Rodríguez y Rafaela Acuña Orozco por incondicional amor, enseñanzas, guía y apoyo durante toda mi vida, por su ayuda en la formación y crecimiento personal y profesional. A mi Hermano Mauricio, por su ejemplo y ayuda en este camino en busca del crecimiento profesional durante tantos años. A mi amada esposa Carolina Badilla, por su gran amor, acompañamiento y apoyo durante todo este proceso.

Un agradecimiento a la Maestría en Ingeniería Vial del Tecnológico de Costa Rica, en especial a la Ingeniera Giannina Ortiz Quesada por brindarme la oportunidad, la asesoría y confianza depositada en mi persona para la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
1. CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 Antecedentes	4
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Justificación del Estudio.....	6
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo General:	9
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	9
1.5 . Alcance y limitaciones.	9
1.5.1 Alcance.....	9
1.5.2 Limitaciones	10
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	11
2.1 Definiciones	11
2.2 Componentes de un puente	11
2.3 Apoyos	13
2.4 Funciones de los apoyos:.....	13
2.5 Tipos o configuraciones de apoyos	14
2.5.1 Apoyos elastoméricos.	17
2.5.2 Ventajas del uso de apoyos elastoméricos.	20
2.6 Apoyos mecánicos de acero	20
2.7 Inspección de los dispositivos de apoyo.	25
2.8 Sustitución de los dispositivos de apoyo.....	28
2.9 Levantamiento del puente para sustitución de apoyos	28
2.10 Lineamientos para la calificación del grado de deterioro de apoyos de un puente. MOPT (2007)	29
2.11 Indicadores	33
2.12 Propiedades de los indicadores	33
2.13 Clasificaciones de los indicadores.....	34
Indicadores cuantitativos y categóricos.....	34
Indicadores simples y complejos.....	34
3. CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO.	36
3.1 Revisión de información existente de puentes, de acuerdo con la configuración estructural.	37

3.2	Revisión de información de configuración de apoyos	37
3.3	Selección de estructuras con información de daños.....	37
3.4	Selección de puentes en rutas principales, identificación de tipos de apoyos.....	37
3.5	Información de daños evaluada previamente en los apoyos de cada puente	38
3.6	Propuesta de indicadores de deterioro para apoyos.	39
3.7	Método de cálculo de los indicadores:	42
3.8	Estimación del peso por tipo de daño y por componente:.....	43
3.9	Ponderación final:	44
3.9.1	Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos elastoméricos:	45
3.9.2	Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos mecánicos de acero:	45
3.10	Validación de los indicadores de evaluación visual de daños propuestos.....	46
4.	CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANALISIS	50
4.1	Resultados	50
4.1.1	Fuentes de información, procesamiento y análisis de datos.....	50
4.1.2	Tipos de apoyos de puentes de Costa Rica	51
4.1.3	Tipos de daños presentes en apoyos de puentes de Costa Rica	54
4.1.4	Comparación de normativa/metodología costarricense con metodologías internacionales.....	56
4.1.5	Estado de los apoyos de acuerdo a la calificación aplicada según normativa nacional	58
4.1.6	Daños recurrentes encontrados en apoyos de puentes de rutas nacionales. ..	60
4.1.7	Propuesta de estructura para los indicadores de valoración de daños de apoyos.	62
4.1.8	Estimación del peso por componente y tipo de daño:	65
4.1.9	Ponderación final:	68
4.1.10	Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos elastoméricos:	68
4.1.11	Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos mecánicos de acero: ..	68
4.2	Análisis.....	70
5.	CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1	Conclusiones.	72
5.2	Recomendaciones.....	73
6.	CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
7.	CAPÍTULO 7. ANEXOS	78
7.1	Puentes utilizados en el estudio.....	78
7.2	Instrumento utilizado para validación	80
7.3	Resultados de la validación:	82

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Clasificación de tipos de apoyo.....	15
Tabla 2. Escala de valoración de daño para Rotura de pernos	30
Tabla 3. Escala de valoración de daño para Deformación	31
Tabla 4. Escala de valoración de daño para inclinación	32
Tabla 5. Escala de valoración de daño para Desplazamiento	32
Tabla 6. Estructura de trabajo	41
Tabla 7. Ejemplo cálculo del valor para componente 1, IDAM	43
Tabla 8. Ejemplo de cálculo para componente 1, IDAE.....	44
Tabla 9. Estimación del peso para cada componente del IDAE y IDAM.....	44
Tabla 10. Descripción del valor del indicador	46
Tabla 11. Descripción de los niveles para cada indicador	47
<i>Tabla 12. Cálculo para componente: cuerpo principal Neopreno/elastoméricos</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 13. Cálculo para componente: sistema de Anclaje/Elastoméricos.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 14. Cálculo para componente: aparato/cuerpo del apoyo</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 15. Cálculo para componente: Anclaje (sistema de anclaje)</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 16. Cálculo del peso para cada componente/ambos indicadores.....</i>	<i>49</i>
Tabla 17. Cantidad de puentes de acuerdo a la ruta	51
Tabla 18. Tipos de apoyo	51
Tabla 19. Daños frecuentes en apoyos	54
Tabla 20. Comparación Normativa nacional con normativa internacional.....	56
Tabla 21. Escalas de valoración de daños	59
Tabla 22. Daños típicos en apoyos, puentes de Costa Rica	61
Tabla 23. Resumen estructura de evaluación propuesta	62
Tabla 24. Escala de valoración de daños para apoyos elastoméricos	63
Tabla 25. Escala de valoración de daños para apoyos mecánicos de acero	64
Tabla 26. Resultado cálculo para componente: Neopreno/elastoméricos.....	65
Tabla 27. Resultado cálculo para componente: Anclaje/Elastoméricos	65
Tabla 28. Resultado cálculo para componente: Limpieza/Elastoméricos.....	65
Tabla 29. Resultado cálculo para componente: aparato de apoyo	66
Tabla 30. Resultado cálculo para componente: Anclaje	66
Tabla 31. Resultado cálculo para componente: Limpieza general.....	66
Tabla 32. Resultado del cálculo del peso para cada componente	67
Tabla 33. Resultado Coeficientes para IDAE	67
Tabla 34. Resultado Coeficientes-Pesos para IDAM.....	68
Tabla 35. Niveles de intervención para cada IDA	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corrosión en apoyo tipo balancín	7
Figura 2. Daños en apoyos no contemplados en Manual de Inspecciones del MOPT	8
Figura 3. Partes del bastión	12
Figura 4. Componentes de una pila	13
Figura 5. Funciones de los apoyos (traducido)	13
Figura 6. Partes principales de los apoyos	14
Figura 7. Apoyo de expansión tipo balancín	14
Figura 8. Apoyo fijo	15
Figura 9. Apoyo rígido	15
Figura 10. Apoyo tipo patín y apoyo tipo rodillo	15
Figura 11. Ancho de asiento	16
Figura 12. Puente con articulaciones	16
Figura 13. Viga o losa simplemente apoyada.	16
Figura 14. Viga o losa continua	16
Figura 15. Viga o losa integral	17
Figura 16. Apoyo simple de neopreno	18
Figura 17. Apoyo de neopreno reforzado	18
Figura 18. Apoyo con anclaje de neopreno reforzado	18
Figura 19. Apoyo tipo Slide Flon	19
Figura 20. Apoyo tipo pot	20
Figura 21. Apoyo de articulación	21
Figura 22. Apoyo de deslizamiento	21
Figura 23. Apoyo tipo balancín	22
Figura 24. Apoyo tipo balancín	22
Figura 25. Apoyo tipo balancín de pasador	22
Figura 26. Apoyo tipo rodamiento de puente de un solo rodillo	23
Figura 27. Apoyo tipo rodamiento de puente de rodillos múltiples	23
Figura 28. Cojinete esférico para puentes.	24
Figura 29. Cojinete de disco-Rodamiento de disco	24
Figura 30: Apoyo tipo Guide Bearing	24
Figura 31. Desplazamiento del apoyo	26
Figura 32. Distorsiones excesivas	27
Figura 33. Desplazamiento del apoyo	27
Figura 34. Deformación del perno	30
Figura 35. Pernos de anclaje cortado	31
Figura 36. Deformación del apoyo (grado 5)	31
Figura 37. Inclinación de apoyo	32
Figura 38. Movimiento del apoyo (grado 5).	33
Figura 39. Metodología	36
Figura 40. Componentes a considerar en la evaluación de apoyos	39
Figura 41. Estructura establecida para desarrollo de indicadores IDA	41
Figura 42. Niveles de deterioro daños 4 y 5, componente 2	42
Figura 43. Cantidad y tipo de superestructuras ingresadas en el inventario nacional	50
Figura 44. Calificaciones de los apoyos según MOPT (2007)	60
Figura 45. Estructura propuesta para estimación de Indicadores	62

RESUMEN

El desarrollo de indicadores de evaluación de daños tiene como finalidad el contribuir con las buenas prácticas de gestión de activos, específicamente con la gestión de activos viales, en el caso de puentes, son importantes insumos que funcionan como guías que permiten generar buenas prácticas de administración de estos componentes de las rutas que nos conectan con facilidad con diferentes lugares y dan pie al desarrollo de la red vial.

Los indicadores propuestos, permiten cuantificar el estado de deterioro existente en los apoyos tipo elastoméricos y apoyos mecánicos de acero utilizados en puentes de rutas nacionales, toman en consideración las características particulares tales como el tipo de apoyo, material que los conforma, tipo de daño que los afecta, adaptados a las condiciones y particularidades de los dispositivos utilizados en el país, obteniendo resultados propios de los activos viales de Costa Rica.

Los indicadores parten de los datos tomados en campo a partir de una inspección visual de daños, en la cual, con la ayuda de una escala de valoración de daño, se cuantifica el deterioro de los diferentes componentes en un apoyo, de acuerdo al tipo y extensión del daño, obteniendo así un valor que refleje la verdadera condición de los apoyos, con estos valores obtenidos se propone adicionalmente medidas de intervención según sea el valor del indicador resultante, en una escala de 1 a 5, medidas que sirvan de insumo para los administradores viales.

Para la elaboración de la propuesta de indicadores se extrajo la información de la base de datos del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), tomando como muestra un total de 55 puentes de acero y concreto simplemente apoyados, para los cuales se cuenta con la totalidad de información necesaria como imágenes, tipos de apoyo e información de daños, se extrajo esta muestra tomando en consideración puentes ubicados en rutas nacionales primarias, secundarias y terciarias, abarcando así puentes ubicados en diferentes zonas del país.

Palabras clave: apoyos, indicadores, daños, inspección, puentes, superestructura, subestructura, mantenimiento, deterioro.

ABSTRACT

The development of damage assessment indicators aims to contribute to good asset management practices, specifically with the management of road assets, in the case of bridges, they are important inputs that function as guides that allow generating good administration practices. of these components of the routes that easily connect us with different places and give rise to the development of the road network.

The proposed indicators allow us to quantify with technical criteria the state of deterioration existing in the elastomeric type supports and mechanical steel supports used in national route bridges, taking into consideration the particular characteristics such as the type of support, material they are made of, pathologies. of damage that affects them, adapted to the conditions and particularities of the devices used in the country, obtaining results typical of the road assets of Costa Rica.

The indicators are based on data taken in the field from a visual damage inspection, in which, with the help of a damage assessment scale, the deterioration of the different components in a support is quantified, according to the type and extension of the damage, thus obtaining a value that reflects the true condition of the supports. With these obtained values, an additional intervention is proposed depending on the value of the resulting indicator, on a scale of 1 to 5, measures that serve as input for administrators. vials.

To prepare the indicator proposal, the information was extracted from the database of the Bridge Structure Evaluation Program (PEEP), taking as a sample a total of 55 simply supported steel and concrete bridges, for which there is All the necessary information such as images, types of support and damage information, this sample was extracted taking into consideration bridges located on primary, secondary and tertiary national routes, thus providing bridges located in different areas of the country.

Keywords: supports, indicators, damage, inspection, bridges, superstructure, substructure, maintenance, deterioration.

INTRODUCCIÓN

Llevar a cabo un buen diagnóstico de la condición de deterioro de la infraestructura vial, específicamente del estado actual de los puentes, y en este caso los apoyos, es una actividad esencial para mantener los puentes y las rutas de comunicación en excelentes condiciones, ya que un diagnóstico certero y a tiempo, permite dictaminar las estructuras, para gestionar así las políticas de mantenimiento y rehabilitación necesarias para la conservación y mejora de los activos, permitiendo así, dar continuidad al servicio que nos brindan los puentes en carreteras nacionales y disminuyendo el costo de las intervenciones.

En la presente propuesta de indicadores se describen los antecedentes relacionados con materia puentes en Costa Rica, específicamente en el tema de inventario e inspección de daños, puntualizando sobre deterioro en apoyos, tomado en cuenta las virtudes y debilidades de la metodología aplicada en el país en la actualidad, de acuerdo con la experiencia desarrollada durante la elaboración del inventario de puentes de rutas nacionales de Costa Rica.

El presente trabajo toma en cuenta el desarrollo de indicadores de inspección visual de daños para apoyos, adecuados a los tipos de apoyos existentes en puentes de Costa Rica, acorde al material de fabricación de estos, tipología, severidad y extensión del daño, ya que actualmente el Manual de Inspecciones del MOPT no cuenta con suficientes indicadores adecuados a los tipos de apoyos de puentes de rutas nacionales y cantonales, excluyendo factores de deterioro importantes, por lo tanto, el interés es mejorar la metodología de inspección visual de daños, así como la información recolectada para su procesamiento en un sistema de gestión de puentes, que brinde indicadores certeros y acorde con el estado real en el que se encuentran los apoyos de puentes a nivel nacional.

Se utiliza información de la base de datos del PEEP, donde posterior a la selección de los 55 puentes de estudio ubicados sobre rutas primarias, secundarias y terciarias, con superestructuras simplemente apoyadas, con información de daños completa así como de inventario de apoyos, se contemplan daños típicos de puentes nacionales, se propone una tipología de valoración de daños derivada de la experiencia y normativa internacional investigada, esta escala presenta valores del 1 al 5, acorde con la metodología de evaluación actual del Manual de Inspecciones del MOPT.

Se proponen indicadores de daño para apoyos elastoméricos y apoyos mecánicos de acero, se realizó una validación de la propuesta, lo anterior con la colaboración de un panel de expertos en la materia. Finalmente, de acuerdo con el valor obtenido para cada indicador, se proponen medidas de intervención para aplicar a los apoyos de acuerdo con el resultado.

Al contar con indicadores precisos resultado de un adecuado levantamiento de daños de apoyos, se tendrá un apropiado diagnóstico de su condición, de acuerdo con las características de estos elementos utilizados en puentes de Costa Rica, solventando deficiencias actuales del sistema de gestión de puentes, a la hora de priorizar intervenciones de acuerdo con los niveles de daño reales.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

Desde el año 2007 en Costa Rica se cuenta con un Sistema de Administración de Estructuras de Puentes, SAEP (Muñoz, 2017), el cual es administrado por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), donde se registra información de inventario como características geométricas y estructurales de los puentes, así como información de daños resultado de inspecciones visuales de daños, sin embargo, es hasta el año 2014 que se empieza a alimentar la base de datos con información de inventario y de daños con la realización de las primeras inspecciones.

Posteriormente durante los años 2014 al 2018 se llevó a cabo la elaboración del Inventario de puentes, realizando un total de 1600 inspecciones de inventario y visual de daños por parte del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), considerando una escala de valoración de daños para apoyos, establecidos en el Manual de Inspecciones del MOPT (MOPT, 2007), estos contemplan solamente la rotura de pernos, inclinación, deformación extraña y desplazamiento de los apoyos.

El registro de la información de daños, es el primer paso para la obtención de indicadores que permitan identificar los principales problemas en apoyos, que junto con estrategias de mantenimiento permitan priorizar su intervención a tiempo, sin embargo, actualmente en la información levantada en campo no se contemplan daños específicos para cada tipo de apoyo, dejando de lado importantes parámetros de medición para establecer una adecuada calificación y diagnóstico de la condición de los apoyos, por lo que se estaría subestimando la condición real de estos elementos.

La realidad nacional no escapa de lo sucedido en otros países de la región centroamericana, ya que se coincide con las mismas carencias de inspección sumados a los problemas de deterioro de los apoyos causado por falta de limpieza al puente, filtraciones de aguas por daños en juntas y sobrecarga de vehículos (CEPRENAC, 2010) coincidiendo así con estudios realizados desde el año 2007 donde se menciona que el MOPT y CONAVI han dado un “mantenimiento inapropiado” en relación al estado de los puentes analizados (JICA, 2007), resultado que se puede mejorar con la aplicación de nuevos indicadores que conlleven a una mejor interpretación del estado de las estructuras.

En relación con la inspección de los apoyos de puentes en servicio, dada la gran variedad de configuraciones de estos, existen diversos manuales y protocolos que abordan este tema, tales como el Manual de Procedimientos para la Inspección de Puentes de Australia (Wielinga, 2007), el Protocolo para la Inspección de Apoyos en Puentes de Columbia Británica (Limited, 2011), el Manual para la Inspección Principal del Sistema de Gestión de Puentes de Irlanda (Ireland, 2017), el Manual de Inspección de Puentes del Estado de Washington (WSDT, 2020), entre otros, sin embargo, son muy generales, solo clasifican los daños en bajo, moderado y alto y omiten de igual manera algunas configuraciones, por lo que no existen parámetros para medir el daño en apoyos de manera precisa.

En Costa Rica se identifican muchas oportunidades de mejora, es necesario contar con un sistema de gestión de puentes que sea alimentado con indicadores que reflejen la realidad de los daños,

tener claro el estado de conservación es indispensable para ser capaces de planificar y tomar decisiones justificadas técnicamente (Navareño Rojo, 2020).

Las decisiones de inversión en materia de conservación de infraestructura, se pueden optimizar bajo estándares de calidad y funcionalidad adecuados producto de una actualizada información de inventario (PEEP, 2019), por lo que inspecciones rutinarias cada cierto periodo de tiempo, son indispensables en un sistema saludable de gestión de activos de puentes.

El Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), posee un sistema de administración de puentes denominado SAEP, este sistema tiene una metodología tipo jerárquica para priorizar las intervenciones de los puentes inspeccionados, basado únicamente en inspecciones visuales y su condición estructural (Ortiz G et al, 2024), no obstante, esta metodología no incorpora otras variables que puedan afectar la salud de una estructura, (MOPT, 2017) carece de una metodología estandarizada para determinar la condición de una estructura utilizando indicadores o índices, basados en las inspecciones visuales.

Por lo tanto, un insumo y una contribución importante es el desarrollo de indicadores, como en este caso donde se analizan diferentes metodologías y maneras de determinarlos aplicadas a nivel internacional, proporcionando indicadores de daño que incorporen variables del entorno, adaptadas a las condiciones específicas de puentes de Costa Rica, esto contribuye así con el desarrollo de nuevas técnicas y metodologías que sirvan como insumo para la toma de decisiones por parte de los administradores de puentes en temas de mantenimiento y rehabilitación.

Según Bolaños (2018) el principal problema que se presenta en Costa Rica con respecto a los puentes, es el mantenimiento de estas estructuras. Según Villalobos (2017) en Costa Rica “(...) el dinero se está invirtiendo en donde salta la dificultad”; es decir cuando en un puente se note el daño es donde se invierte el dinero. Villalobos (2017) explica que esa no es la manera más adecuada, debido a que el presupuesto para estas estructuras es limitado y si se invierte en la reconstrucción, rehabilitación o mantenimiento de un solo puente, entonces puede provocar la falta de fondos para los demás puentes que también pueden estar en estado crítico con el paso del tiempo. Las instituciones públicas encargadas de la temática de puentes en el país son el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), encargada del diseño y construcción de puentes; y del Consejo Nacional de Viabilidad (CONAVI) encargada del mantenimiento, reparación, rehabilitación y reconstrucción de las estructuras. Pero, según profesionales de diversas instituciones involucradas en el tema, estas organizaciones no dan abasto para esta tarea, lo que impide plantear un plan de mantenimiento de puentes preciso, que dé paso a acciones correctivas preventivas que eviten mayores daños y consecuencias (cierre del puente, colapso del puente o incluso pérdida de vidas humanas) (Bolaños G, 2018).

1.2 Planteamiento del problema

Gracias a la información recopilada en Costa Rica en el inventario de puentes realizado entre los años 2014 y 2018, se obtiene como resultado en relación con su condición estructural, que el 37% de los puentes se encuentran en condición deficiente; el 60% se encuentra en una condición regular y, solamente, un 3% se encuentran en condición satisfactoria (Brenes, 2022). En Relación con los apoyos de los puentes, se refleja un preocupante deterioro en los apoyos, ya que cerca del 70% de los puentes que utilizan apoyos tipo fijos, expansivos u otros, tienen una condición deficiente (Ortiz, 2018), y de acuerdo con la experiencia desarrollada en campo por ingenieros inspectores de

puentes, se determina que los indicadores de daños y las escalas de valoración que se han utilizado en inspecciones de campo, son insuficientes para describir la verdadera condición de estos elementos, ya que se basan solamente en los rubros de rotura de pernos, deformación extraña, inclinación y desplazamiento, no se toma en cuenta daños importantes como la corrosión del acero de pernos de anclaje, confinamiento de los sistema de anclaje, condición de las placas de apoyo, agrietamiento en almohadillas de neopreno, entre otros.

Actualmente bajo la metodología de inspección de daños del Manual de Inspecciones del MOPT, no se hace diferencia entre los diferentes tipos de apoyo ni materiales, tampoco se especifica de manera clara la extensión de los daños, por lo que los resultados obtenidos a pesar de ser alarmantes, están subestimando el grado de deterioro real, y es en este punto donde se hace necesario contar con indicadores de daño adecuados a los tipos de apoyo, utilizados en puentes de Costa Rica.

Un adecuado levantamiento de daños en apoyos, con información adecuada y oportuna, permitirá establecer tareas de mantenimiento o rehabilitación de manera clara, ya que se contaría con información detallada acorde con las características estructurales de los apoyos, así como de su grado y extensión de daño, que permita un diagnóstico preciso e incluyente, que no deje de lado aspectos importantes en estos elementos.

Por lo anterior, se determina la necesidad de contar con indicadores de daños que permitan realizar un mejor diagnóstico del estado de los apoyos, su daño y extensión del mismo, así como características de inventario como tipo de material y tipo específico de apoyo.

Al contar con una escala de valoración de daños adecuada a los típicos tipos de apoyo para el levantamiento de daños, se tendrá un adecuado diagnóstico de su condición, de acuerdo con las características de estos elementos utilizados en puentes en Costa Rica, mejorando y solventando deficiencias actuales del sistema de gestión de puentes, a la hora de priorizar intervenciones de acuerdo con los niveles de daño reales.

1.3 Justificación del Estudio

En la actualidad en nuestro país se cuenta con la metodología de inspección de daños de puentes establecida en el Manual de Inspecciones del MOPT, donde para los apoyos se contemplan 4 rubros básicos: rotura de pernos, inclinación, deformación extraña y desplazamiento de apoyos en una escala de 1 a 5, donde 5 representa el mayor deterioro y 1 se encuentran en buen estado.

Tomando en cuenta esta categoría de tipos de daños se ha obtenido resultados preocupantes, donde el 70% de los puentes que utilizan apoyos tipo fijos, expansivos u otros, tienen una condición deficiente (Ortiz, 2018), lo anterior dejando de lado parámetros o indicadores que describan de manera amplia y precisa la condición de estos elementos, ya que, por ejemplo, la oxidación y corrosión de las diferentes partes de los apoyos, la limpieza y mantenimiento, son parte de los problemas recurrentes encontrados en muchos apoyos, y no se están cuantificando en las evaluaciones de campo. Un caso típico y de uso frecuente en puentes de Costa Rica, es el uso de apoyos tipo balancín que en su totalidad es de acero, el cual cuando se inspecciona, no se toma en cuenta la oxidación ni la corrosión o la limpieza, que juega un papel importante en la reducción y pérdida de sección del acero y por ende en su capacidad.

En la Figura 1. Corrosión en apoyo tipo balancín, se observa un apoyo en el cual utilizando los rubros de evaluación actuales, se califica como excelente, grado 1, ya que no presenta desplazamiento o alguna inclinación importante, sin embargo se aprecia que se encuentra afectado por la corrosión que ha producido reducción de sección y limita el adecuado movimiento debido a la obstrucción por los residuos dejados por la corrosión y deficiente limpieza, dejando ver a simple vista un deterioro significativo, que no está quedando registrado ni evaluado para esta estructura, condición que podría modificar hasta el comportamiento estructural de distribución de cargas en un sismo y cargas de servicio debido al cambio de función del apoyo por la restricción del movimiento.



*Figura 1. Corrosión en apoyo tipo balancín
Fuente: Autor (2015)*

De manera similar para apoyos fijos donde se utiliza almohadillas de neopreno, en el que las vigas transmiten su carga mediante placas de acero estructural al neopreno o almohadilla y este al bastión o pila, fijando las vigas al bastión o pila mediante pernos de anclaje, para este caso no existe una adecuada tipificación de daños para llevar a cabo una evaluación integral, ya que la corrosión, oxidación en pernos o placas no es contemplado, así como el aplastamiento o agrietamiento de las almohadillas, por lo que se deja de lado detalles importantes que deben ser cuidadosamente incorporados a un formulario integral de inspección de apoyos de puentes.

En la siguiente imagen se muestran dos apoyos tipo fijo, donde la placa que transmite la carga de la viga a la almohadilla de neopreno presenta corrosión avanzada, con delaminación y pérdida de sección, al igual que el perno de anclaje, daños que no son evaluados ni contemplados en las metodologías de inspección visual actuales según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, situación que pone en evidencia una condición crítica que no refleja la gravedad del daño en una evaluación, ya que para este apoyo solamente se calificaría deformación en el perno de anclaje y deformación en la almohadilla de neopreno, en este caso que está considerablemente dañada.



*Figura 2. Daños en apoyos no contemplados en Manual de Inspecciones del MOPT
Fuente. El Autor (2014.)*

Problemas adicionales encontrados en la literatura que no son tomados en cuenta en consideración en el Manual de inspecciones del MOPT, tales como: grietas en soldadura o en placas de acero, aplastamiento de almohadillas de neopreno, acumulación de escombros en apoyos, degradación del material, abultamiento excesivo, desgarrar o rompimiento en apoyos elastoméricos, acero de refuerzo corroído, entre otros, son factores importantes para la determinación o clasificación de la condición del estado de un apoyo.

Para un buen desempeño de un sistema de gestión de mantenimiento de puentes es necesario información precisa y actualizada, que sirva de base para la determinación de tareas de mantenimiento y priorización de intervenciones en caso de ser necesario, por lo que la incorporación de indicadores de daños que actualmente no se utilizan y son importantes para la descripción clara de la condición de los apoyos, es un insumo invaluable para la conservación y su mantenimiento, ya que apoyos en mal estado no identificados, podrían ser parte de los motivos que contribuyan al colapso de un puente.

La vida útil de los puentes depende directamente del estado de la estructura, de sus características funcionales, así como de los trabajos oportunos de mantenimiento y rehabilitación que se realicen, resulta más económico reparar que sustituir, siempre y cuando se tengan resultados de análisis profundos y detallados, fundamentados en inspecciones de daños con criterios adecuados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Desarrollar una propuesta de indicadores para la evaluación visual de daños para apoyos en puentes simplemente apoyados, que tomen en consideración el grado de daño y su extensión, de acuerdo con las características específicas de cada tipo de apoyo.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Identificar los tipos de apoyos más comunes presentes en puentes de rutas nacionales.
- Identificar los daños recurrentes presentes en apoyos de puentes de rutas nacionales.
- Comparar la normativa asociada a la inspección de apoyos para estructuras de puentes simplemente apoyadas utilizadas en Costa Rica y otros países.
- Desarrollar indicadores de evaluación visual de daños para apoyos, con sus respectivos grados de severidad y extensión de daño.
- Validar los indicadores de evaluación visual de daños propuestos mediante consulta a expertos en materia de puentes.

1.5 . Alcance y limitaciones.

1.5.1 Alcance

Realizar una propuesta de escalas de valoración de daños que sirvan de insumo para obtener indicadores de evaluación de daño para puentes simplemente apoyados, con apoyos tipo fijos y móviles, instalados en puentes de rutas en nacionales primarias, secundarias y terciarias, utilizando información disponible de la base de datos del inventario de puentes de rutas nacionales, realizado por el PEEP durante los años 2014-2018 y la información de puentes de reciente inspección.

Estos indicadores de daño toman en cuenta el tipo de apoyo, el tipo de material, tipo de daño, grado y extensión del daño.

Para este estudio se tomaron como referencia 55 puentes simplemente apoyados, con diferentes tipos de apoyo tales como: almohadillas de neopreno, balancín, barras y rodillos de acero, estos ubicados principalmente en rutas nacionales primarias, secundarias.

No se consideró para este trabajo puentes de superestructura tipo marco rígido, estructuras que apoyan las vigas directamente sobre los bastiones o pilas, ni alcantarillas mayores, ya que no cuentan con elementos de apoyo para su estudio.

1.5.2 Limitaciones

Se utilizó solamente una muestra de la totalidad de los puentes ya inventariados de rutas nacionales, ya que, por el tiempo de procesamiento de información, no fue posible en el período disponible para la realización de este proyecto, tomar la totalidad de los puentes inventariados que se adaptan a las condiciones de este estudio.

No fue posible realizar visitas al campo para cada uno de los puentes, debido a la distancia y tiempos de recorrido que implica en zonas alejadas, así como por lo complejo de llegar a los apoyos de puentes ya inspeccionados. Se utilizó solamente la información registrada disponible de inventario y la información relacionada con daños previamente recopilada en las inspecciones visuales de daños.

No se toman en cuenta puentes de rutas cantonales debido a que no existe un inventario de puentes de rutas cantonales, ni tampoco información completa y actualizada de puentes ubicados en diferentes zonas del país, información de la que se pueda extraer una muestra representativa.

No se realiza un análisis de las longitudes o anchos de asiento para los puentes analizados, ya que su análisis implica una demanda de mayor tiempo de trabajo y no es posible realizarlo en el periodo de tiempo disponible para este proyecto.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones

Puente:

Un puente es una estructura que permite salvar un accidente geográfico como un río, un cañón, un valle, una carretera, un camino, una vía férrea, un cuerpo de agua o cualquier otro obstáculo físico, con el fin de unir dos puntos de un camino para el transporte de mercancías.

La configuración de los puentes es muy variada, por lo que se pueden clasificar por: La estructura (fijos y móviles), materiales que los constituyen, por su longitud, por ubicación del tablero, mecanismos de transmisión de cargas a la subestructura, condición estática, por el ángulo que forma con respecto al paso inferior(sesgo), entre otros.

2.2 Componentes de un puente

Según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT (2007), los puentes están compuestos por:

- **Accesos de aproximación**, están compuestos por los rellenos con sus respectivas protecciones y la losa de aproximación cuando exista.
- **Accesorios**, elementos sin función estructural pero vitales para garantizar el buen funcionamiento del puente tales como la superficie de rodamiento, barandas y juntas de expansión.
- **Superestructura**, trasporta las cargas desde la plataforma a través de las vigas y hacia los soportes, soporta la superficie de rodamiento, así como las cargas aplicadas a esta; compuesta por el piso, los elementos principales (vigas, cerchas y arco) y los elementos secundarios (diafragmas, sistemas de arriostramiento, portales, aceras, etc.)
- **Subestructura**, es el componente del puente que soporta la superestructura y transfiere esas cargas hacia la fundación de suelo o roca, comprende los apoyos, los bastiones y las pilas.

La subestructura está formada por los elementos estructurales diseñados para soportar el peso de la superestructura y las cargas que se le transmiten (verticales), así como el empuje del terreno (horizontales). En las subestructuras se encuentran los apoyos, por lo que se mencionan como uno de sus componentes.

Los componentes de la subestructura son:

Bastiones: elemento de la subestructura que sirve de apoyo en los extremos de la superestructura, puede ser construida de concreto, acero, madera o mampostería. Dado que los bastiones están en contacto con los rellenos de aproximación del puente, una de sus funciones principales es de absorber el empuje del terreno.

Los bastiones están compuestos por:

- **Aletones:** Paredes laterales cuya función es confinar la tierra o material de relleno detrás del bastión, se diseñan como muros de contención.
- **Viga cabezal:** Parte superior de un bastión sobre la cual se apoya el extremo de un tramo de la superestructura. La viga cabezal posee pedestales, que son columnas cortas sobre las que se apoyan directamente las vigas principales de la superestructura.
- **Cuerpo principal:** Como su nombre lo dice es el componente principal del bastión. Puede ser tipo pared (muro de retención con o sin contrafuertes) o marco rígido (dos o más columnas unidas en su parte superior a la viga cabezal).
- **Fundación:** Es el conjunto formado por el cimiento o base del cuerpo principal y el suelo o roca soportante. En función del mecanismo de transmisión de las cargas se clasifican en superficiales (placas aisladas o corridas) y profundas (pilotes, pozos, Caissons, cabezales sobre pilotes).

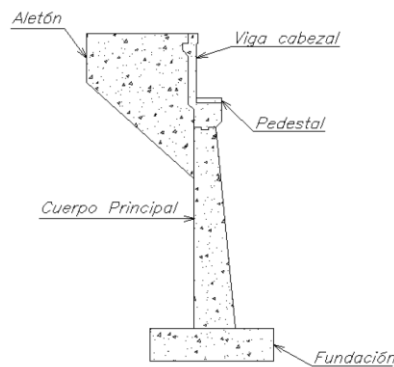


Figura 3. Partes del bastión
Fuente: MOPT (2007).

De acuerdo con la función requerida existen varios tipos de bastiones, dependen de la topografía del sitio, la capacidad admisible del suelo, la superestructura y la preferencia del diseñador.

- | | |
|-------------|--------------------------|
| ✓ Gravedad. | ✓ Muro con contrafuerte. |
| ✓ Voladizo. | ✓ Cabezal sobre pilotes. |
| ✓ Marco. | ✓ Tierra armada |

Pilas: Estructuras que sirven de apoyos intermedios a lo largo de los tramos de la superestructura. Por lo general, las pilas son construidas en concreto reforzado, ocasionalmente concreto preesforzado, acero o madera. Los componentes más comunes de las pilas son:

- **Viga cabezal:** Parte superior de la pila sobre la que descansan el extremo inicial y final, respectivamente, de dos tramos continuos de la superestructura. La viga cabezal posee los pedestales sobre los que se colocan los apoyos de las vigas principales.
- **Cuerpo principal:** Estructura sobre la que se apoya la viga cabezal. Puede ser una única columna, columnas múltiples, una pared o un grupo de pilotes.
- **Fundación:** Base del cuerpo principal que tiene la función de transmitir las cargas de la subestructura al suelo. La fundación puede ser superficial o profunda, está compuesta por una placa, pilotes o una combinación de estos.

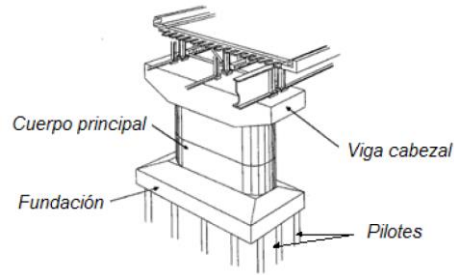


Figura 4. Componentes de una pila
Fuente: MOPT (2007).

Existen gran variedad de pilas de acuerdo con su configuración, forma y tamaño. El tipo de pila a utilizar dependerá en gran parte del tipo de superestructura que se posea. Los más comunes son:

- ✓ Muro.
- ✓ Marco.
- ✓ Columna sencilla.
- ✓ Columna múltiple.

2.3 Apoyos

Los apoyos son elementos diseñados para transmitir las cargas desde la superestructura a la subestructura y permitir la expansión y rotación de la superestructura (Martínez M, 2017), proveen una interfaz entre la superestructura y la subestructura. dependiendo del tipo de apoyo que se trate, permitirá o restringirá ciertos movimientos de la subestructura. En la medida en que la superestructura es más grande las reacciones son mayores y requieren apoyos más apropiados (SCT, 2018).

2.4 Funciones de los apoyos:

Varias de las principales funciones de los apoyos se enumeran a continuación:

- ✓ Transmitir las cargas de una parte del puente a otra, usualmente de la superestructura a la subestructura.
- ✓ Permitir el movimiento longitudinal de la superestructura debido a la expansión y contracción térmica.
- ✓ Permitir la rotación causada por la deflexión de la carga muerta y viva.

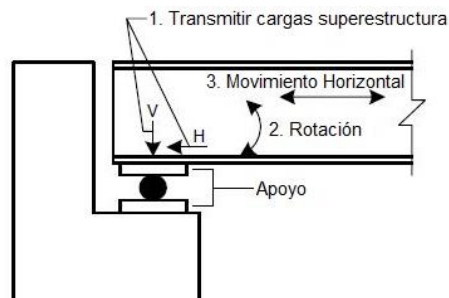
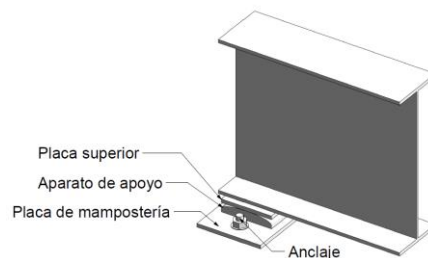


Figura 5. Funciones de los apoyos (traducido)
Fuente: modificado de FHWA - NHI1 (2006).

Los apoyos en su mayoría están compuestos por cuatro partes fundamentalmente:

- ✓ Placa base (superior): es una placa de acero que se une a la parte inferior de viguetas, vigas o cuerdas de armadura. Se puede incrustar una placa base en una viga de concreto pretensado. Puede funcionar como placa base la parte inferior de vigas de hormigón, viguetas o losas.
- ✓ Apoyo o superficie de apoyo: está asegurada entre las placas y proporciona la función de transmitir las fuerzas.
- ✓ Placa de mampostería (inferior): es una placa de acero que está unida al asiento del apoyo en la viga cabezal del bastión o pedestal en una pila, sirve para distribuir las fuerzas verticales a la subestructura.
- ✓ Anclaje: Los pernos de anclaje conectan el apoyo a la subestructura (puede ser con soldadura en caso de vigas de acero). Los pernos de anclaje están diseñados para restringir la placa de mampostería de la traslación horizontal. Sin embargo, los pernos de anclaje pueden pasar a través o junto al apoyo en apoyos de expansión para proporcionar restricción contra el movimiento transversal.

No todos los apoyos cuentan con estos cuatro componentes, pero al menos deberían contar con el apoyo o superficie de apoyo.

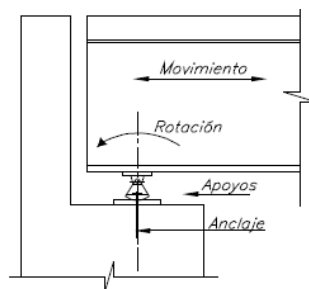


*Figura 6. Partes principales de los apoyos
Fuente: modificado de FHWA - NHI (2006).*

2.5 Tipos o configuraciones de apoyos

De acuerdo con su configuración, los apoyos se pueden clasificar en 3 grandes grupos:

- ✓ Apoyo de expansión: permite que la estructura rote y se traslade en el sentido longitudinal, puede ser de placa, de neopreno, de nódulo o balancín.



*Figura 7. Apoyo de expansión tipo balancín
Fuente: MOPT (2007).*

- ✓ Apoyo fijo: Restringe la traslación y permite únicamente la rotación de la estructura.

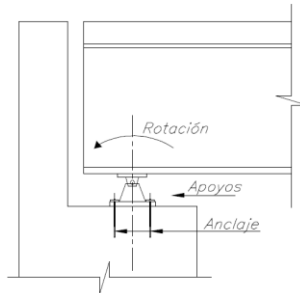


Figura 8. Apoyo fijo
Fuente: MOPT (2007).

- ✓ Apoyo rígido o empotrado: los apoyos rígidos restringen todos los movimientos de traslación y rotación.

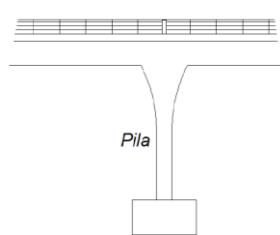


Figura 9. Apoyo rígido
Fuente: MOPT (2007).



Figura 10. Apoyo tipo patín y apoyo tipo rodillo
Fuente: MOPT (2007)

En resumen, se enumeran los tipos de apoyos de acuerdo con el Manual de Inspecciones de Puentes del MOPT.

Tabla 1. Clasificación de tipos de apoyo

Datos de tipo de apoyo en subestructura	
01	Apoyo fijo
02	Apoyo expansivo
03	Apoyo rígido
04	Otros

Fuente: MOPT (2007)

Ancho de asiento:

Es importante asociar con los apoyos el tema de longitud o ancho de asiento, este se refiere a la máxima distancia de apoyo posible desde el borde exterior del elemento principal o viga hasta el extremo inferior de la viga cabezal o martillo. Esta medida debe ser anotada en metros.

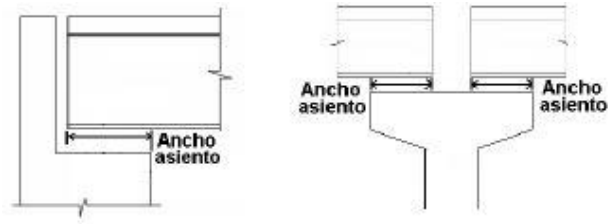


Figura 11. Ancho de asiento
Fuente: MOPT (2007)

Adicionalmente, es posible encontrar dispositivos de apoyos en las articulaciones de las vigas principales.

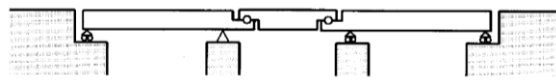


Figura 12. Puente con articulaciones
Fuente: Toma et al. (1999).

Los soportes de la superestructura en las pilas pueden ser:

- ✓ La losa o las vigas simplemente apoyadas permitiendo grados de rotación y desplazamiento según sea el apoyo requerido.

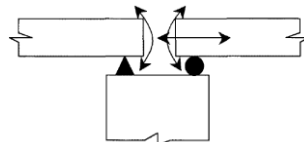


Figura 13. Viga o losa simplemente apoyada.
Fuente: Highways Agency (2007).

- ✓ Las vigas o la losa son continuas sobre el apoyo, no existe discontinuidad en las vigas o losas en los diferentes tramos.

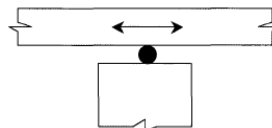


Figura 14. Viga o losa continua
Fuente: Highways Agency (2007).

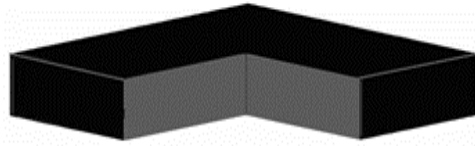


Figura 16. Apoyo simple de neopreno

Fuente: <https://www.eymproductostecnicos.com/tipos-usos-de-apoyos-de-neopreno-para-puentes-eym>

Este tipo de apoyo se emplean generalmente en puentes de luces cortas y cargas bajas, un ejemplo son los puentes peatonales, ya que comúnmente la aplicación de este tipo de apoyos en puentes es en área pequeña.

Apoyos en neopreno reforzado: a diferencia de los apoyos simples, están compuestos de capas intercaladas de elastómero y acero, con el fin de soportar cargas de trabajo mayores. Se hacen en forma rectangular y circular. Se fabrican vulcanizando conjuntamente las capas de elastómero y acero, garantizando una perfecta adherencia entre ellos.



Figura 17. Apoyo de neopreno reforzado

Fuente: <https://www.eymproductostecnicos.com/tipos-usos-de-apoyos-de-neopreno-para-puentes-eym>

Este tipo de apoyo se ancla a la estructura de puentes vehiculares donde se pueden utilizar placas de asiento en las superficies superiores e inferiores. Además, existen otros materiales como los de fibra de vidrio o tela de algodón, que son capas más delgadas.

Apoyo con anclajes en neopreno reforzados: estos apoyos se utilizan cuando la carga vertical en el apoyo no es suficiente para garantizar que la estructura no se deslizará sobre éste. Los apoyos con anclajes en neopreno reforzado se fabrican adicionando dos láminas de acero en las caras externas superior e inferior de un apoyo en neopreno reforzado. Sobre estas láminas se fijan unos pernos de anclaje que garantizan la sujeción a la estructura.

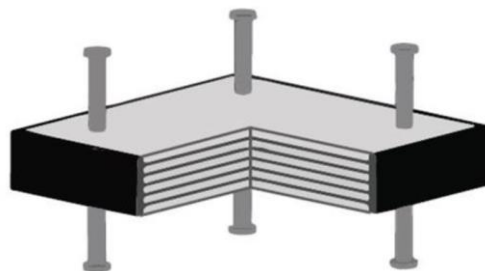


Figura 18. Apoyo con anclaje de neopreno reforzado

Fuente: <https://www.eymproductostecnicos.com/tipos-usos-de-apoyos-de-neopreno-para-puentes-eym>

Este apoyo no permite que los puentes queden endeble, ya que les proporciona más fortaleza por sus anclajes o zunchados; además son ideales para las construcciones de concreto, obras civiles y edificios.

Apoyo Slide Flon para puentes: los apoyos slide flon para puentes se usan cuando los movimientos requeridos entre la superestructura y el apoyo sobrepasan las condiciones de estabilidad garantizadas por los apoyos vistos anteriormente. Los apoyos se fabrican de la misma manera que los apoyos reforzados, salvo que en la vulcanización se adhiere sobre la cara superior una capa de PTFE (Teflón) de 5 mm de espesor. Además, se fabrica una lámina en acero pulido tipo espejo, que se situará por encima de la capa de PTFE y que irá soldada a una lámina de acero de mayor sección a la cual se fijan unos pernos de anclaje.

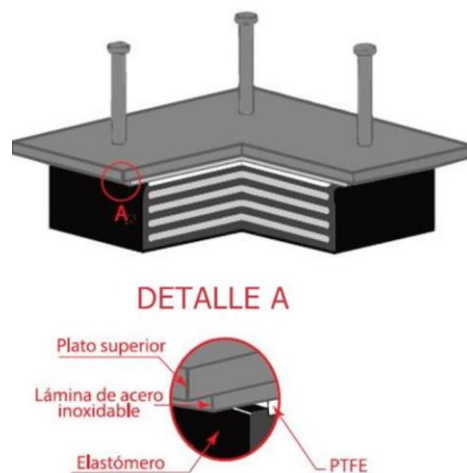


Figura 19. Apoyo tipo Slide Flon

Fuente: <https://www.eymproductostecnicos.com/tipos-usos-de-apoyos-de-neopreno-para-puentes-eym>

Se utiliza para permitir un desplazamiento entre la estructura y el apoyo leve, con una fricción menor al 3 % de la carga. Este apoyo actúa como una ayuda que se le proporciona al apoyo de neopreno simple cuando no es suficiente.

Apoyos Tipo POT: este tipo de apoyos se utiliza cuando se requiere soportar grandes cargas que superan la resistencia de un apoyo reforzado convencional. Los apoyos tipo POT maximizan la resistencia al cortante del elastómero encerrándolo en un cilindro de acero. El elastómero al estar dentro del cilindro de acero mantiene su volumen constante, actuando como un pistón en un cilindro hidráulico y ofreciendo una mínima resistencia a cualquier rotación.

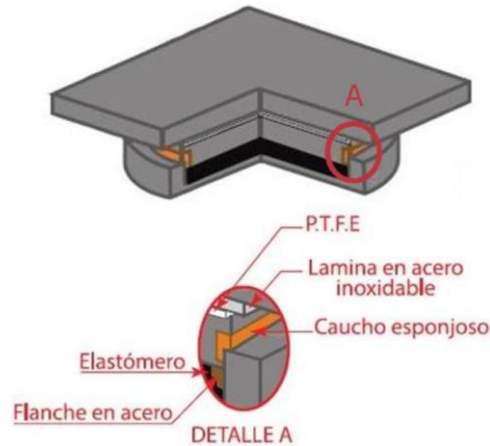


Figura 20. Apoyo tipo pot

Fuente: <https://www.eymproductostecnicos.com/tipos-usos-de-apoyos-de-neopreno-para-puentes-eym>

Este apoyo se utiliza específicamente en puentes para que haya un control de la interacción de cargas y movimientos de las vigas y pilas. El apoyo tipo POT ayuda a absorber parcialmente la energía de la dilatación térmica de las vigas.

2.5.2 Ventajas del uso de apoyos elastoméricos.

Según Abril (2004) las placas de hule para apoyos de puentes tienen tres ventajas importantes, son económicos, efectivos y no requieren de mantenimiento mayor. Los apoyos de neopreno no tienen partes móviles, constan simplemente de una placa o más de neopreno de 2.5 cm de espesor aproximadamente, colocada entre la trabe y la corona de la pila o estribo.

Una ventaja muy importante del apoyo de neopreno es su efectividad como medio para la transferencia de la carga. Cuando soporta cargas de compresión la placa de hule, absorbe las irregularidades de la superficie y de esa manera las imperfecciones salientes como las hundidas que tiene la superficie de concreto todas soportan la carga.

La tercera ventaja importante de un apoyo de neopreno es que necesita menos conservación que cualquier otro elemento del puente. El neopreno actualmente se usa para apoyos de puentes por dos razones importantes: tiene las propiedades físicas que se requieren y es altamente resistente al deterioro debido al intemperismo.

2.6 Apoyos mecánicos de acero

Además de los apoyos elastoméricos, los puentes utilizan una variedad de tipos de apoyos de acero para garantizar su estabilidad y funcionalidad, del mismo modo estos apoyos soportan las cargas y movimientos que experimenta un puente. Los apoyos metálicos pueden volverse inoperativos debido a corrosión, acumulación de escombros, u otras interferencias (Arias Flores, 2010).

A continuación, se detallan algunos de los tipos más comunes de apoyos de acero utilizados en puentes:

Apoyos de Articulación (Hinge Bearings): Estos apoyos permiten que el puente gire o se articule alrededor de un punto específico. Son útiles en puentes de tipo basculante o levadizo.

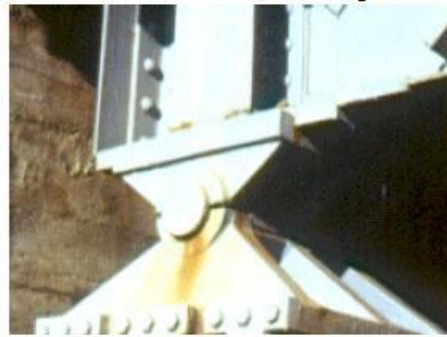


Figura 21. Apoyo de articulación
Fuente: Sherif A Mourad y M. Hassainien.

Apoyos de Deslizamiento (Sliding Bearings): Estos apoyos permiten el deslizamiento horizontal del puente para acomodar movimientos causados por cargas o sismos. Son esenciales en áreas propensas a terremotos.

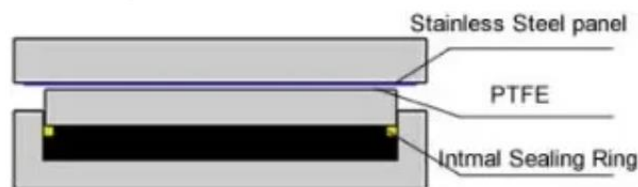


Figura 22. Apoyo de deslizamiento
Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

En este tipo de apoyo se genera una fuerza de fricción en el cojinete deslizante y se impone sobre la subestructura, la superestructura y el propio cojinete deslizante. Por lo tanto, puede ser necesario proporcionar lubricante como politetrafluoroetileno (PTFE) para disminuir la fricción generada. ASSHTO especifica que no se pueden utilizar cojinetes deslizantes a menos que el tramo del puente sea inferior a 15 m. Esto se debe a que el cojinete deslizante no se puede utilizar únicamente si el puente experimenta un movimiento de rotación. Sin embargo, la restricción de luz para el uso de cojinetes deslizantes se puede ignorar cuando se usa en combinación con otros tipos de cojinetes.

Apoyo de balancines y pasadores (Rocker and pin bearings): El balancín es un cojinete de expansión compuesto por una superficie curva en la parte inferior, que se adapta al movimiento de traslación y un pasador en la parte superior deja espacio para el movimiento de rotación, como se ilustra en detalle en las Figuras 2 y 3

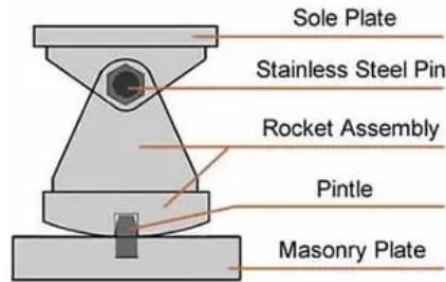


Figura 23. Apoyo tipo balancín.

Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

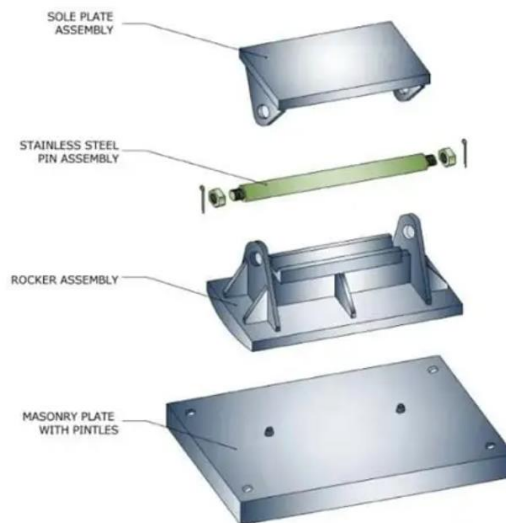


Figura 24. Apoyo tipo balancín.

Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

El cojinete de pasador: es un cojinete fijo que deja espacio para el movimiento de rotación mediante la aplicación de un pasador de acero. Tiene una estructura y un componente similar a un cojinete de balancín, excepto que la parte inferior del cojinete de pasador es plana y está fijada al pilar de concreto, como se puede observar en la siguiente figura.

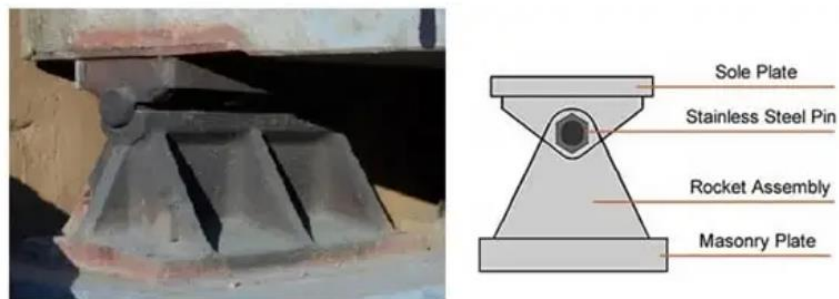


Figura 25. Apoyo tipo balancín de pasador.

Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

Tanto los cojinetes de balancín como los de pasador se emplean principalmente en estructuras de puentes de acero. Se deben considerar los cojinetes de balancín y pasador cuando el movimiento del puente se conoce y describe adecuadamente, ya que dichos cojinetes pueden dejar espacio para movimientos tanto de traslación como de rotación en una sola dirección. Es probable que estos rodamientos sufran deterioro y corrosión, por lo que es necesario realizar inspecciones y mantenimiento periódicos.

Apoyos de rodillos para puentes (Roller Bearings for Bridges):

Los rodamientos de rodillos se pueden utilizar en la construcción de estructuras de puentes de acero y hormigón armado. Hay dos configuraciones principales, incluido el rodamiento de rodillos único, que se compone de un rodillo colocado entre dos placas, y el rodamiento de rodillos múltiples, que consta de varios rodillos instalados entre dos placas. El primero, como se muestra en la siguiente figura, puede acomodar movimientos de rotación y traslación en dirección longitudinal y es económico de fabricar, pero su capacidad de carga vertical es limitada.



Figura 26. Apoyo tipo rodamiento de puente de un solo rodillo.

Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

Por el contrario, el aparato de apoyo que se muestra en la siguiente figura, puede dejar espacio únicamente para el movimiento de traslación y el movimiento de rotación puede acomodarse si los rodillos se combinan con un cojinete de pasador. Los rodamientos de rodillos múltiples son costosos y soportan cargas verticales considerablemente grandes.

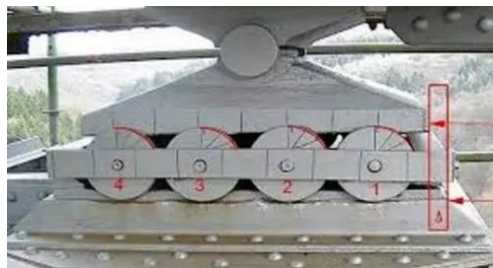


Figura 27. Apoyo tipo rodamiento de puente de rodillos múltiples.

Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

Apoyos de rodamientos curvos para puentes (Curved Bearings for Bridges)

Consta de dos placas curvas que coinciden entre sí como se muestra en la siguiente figura. Si el rodamiento curvo es cilíndrico, solo admite movimientos de rotación. Sin embargo, tanto los movimientos de rotación como los de traslación se pueden abordar si el rodamiento curvo es esférico. Debido al hecho de que tanto las cargas de gravedad como la geometría curva generan

resistencia lateral y, en consecuencia, el movimiento lateral sería limitado, es por eso que se adhiere un deslizador de politetrafluoroetileno (PTFE) a los cojinetes para dejar espacio para los movimientos laterales. Los detalles de los rumbos de las curvas se pueden ver en la siguiente figura.

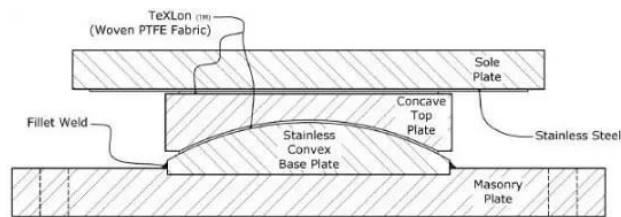


Figura 28. Cojinete esférico para puentes.

Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

Apoyos de disco para puentes

En la siguiente figura se muestra en detalle los diferentes componentes del cojinete de disco. El movimiento de rotación se adapta mediante la deformación del elastómero, mientras que el movimiento de traslación se considera mediante la aplicación de un deslizador de PTFE.

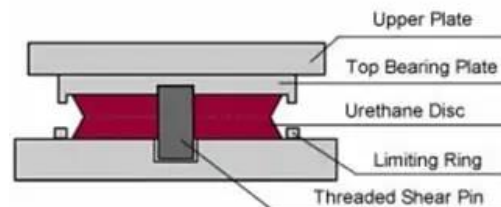


Figura 29. Cojinete de disco-Rodamiento de disco

Fuente: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>

El elastómero utilizado debe tener la dureza adecuada para soportar cargas verticales sin sufrir grandes deformaciones y ser suficientemente flexible para permitir el movimiento rotacional. Tanto las cargas verticales como las cargas laterales están soportadas por un disco elastomérico y un anillo metálico en el centro del rodamiento, respectivamente.

Apoyos fijos (Fixed Bearings): Estos apoyos no permiten movimiento, lo que significa que el puente está fijado en su lugar. Son comunes en extremos de puentes de viga.

Apoyos de Guía (Guide Bearings): Estos apoyos guían el movimiento del puente en una dirección específica, lo que es útil en puentes colgantes o suspendidos.

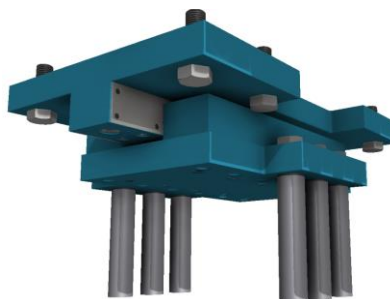


Figura 30: Apoyo tipo Guide Bearing

Fuente: <https://freysinet.co.uk/bridge-bearings/>

Apoyos Especiales (Special Bearings): Algunos puentes pueden requerir apoyos personalizados o especiales para adaptarse a sus diseños únicos o requisitos de carga.

La selección del tipo de apoyo de acero adecuado depende del diseño del puente, las cargas que debe soportar y las condiciones ambientales, como la temperatura y la ubicación sísmica. Los ingenieros estructurales evalúan cuidadosamente estos factores para asegurarse de que el puente sea seguro y funcional (<https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>).

Es importante tomar en cuenta que los apoyos metálicos pueden volverse inoperativos debido a corrosión, acumulación de escombros, u otras interferencias (Arias Flores, 2010). Otros tipos de daños que pueden presentarse es la pérdida de seguros, rotura de soldadura, corrosión en la superficie deslizante (Veramendi Mendoza, 2010).

2.7 Inspección de los dispositivos de apoyo.

Los apoyos de los puentes están sometidos a grandes cargas y esfuerzos. Con frecuencia es conveniente revisarlos para ver su estado. En caso de mostrar defectos, el puente puede ir lentamente desplazándose y esto puede ser un peligro para todos. Esto es de vital importancia, ya que mantener la infraestructura en buen estado es sinónimo de eficiencia y ahorro. Cambiar un apoyo es relativamente barato, mientras que arreglar los daños provocados por no hacerlo a tiempo pueden ser enormes (<https://www.azulconstruccion.com/>, 2024)

Según Mopu (1982) los dispositivos o aparatos de apoyo, sean estos apoyos fijos o apoyos móviles, deben ser examinados periódicamente para asegurar que funcionen adecuadamente. El mal comportamiento de los apoyos puede ser causa de movimiento de pilares o estribos (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2006).

Los apoyos como todos los elementos del puente, están vulnerables a degradarse a lo largo de la vida útil de este por causas como: malas prácticas de colocación, mala calidad de los materiales, mal diseño y filtraciones a través de las juntas (Dirección General de Carreteras, 1995).

Los apoyos requieren una inspección detallada ya que los altos esfuerzos y la contaminación en estas zonas puede generar diversos daños, en particular, si los apoyos no se colocaron adecuadamente o no cuentan con un buen diseño (Grupo Técnico-convenio 587 de 2003, 2006).

Para la inspección visual de los apoyos se deben considerar como mínimo los siguientes aspectos (Grupo Técnico-convenio 587 de 2003, 2006):

- Inspeccionar todos los dispositivos de apoyo, verificando que están funcionando correctamente.
- Comprobar que las tuercas de los pernos de anclaje se encuentren correctamente instaladas en los apoyos. Además, que los apoyos móviles están correctamente lubricados, limpios, que puedan moverse libremente, y que estén localizados correctamente.
- Verificar la separación de las láminas de los apoyos de neopreno y comprobar que no se presenten irregularidades que puedan indicar sobrecargas.

- En apoyos metálicos es importante verificar que éstos no presenten evidencias de corrosión que impidan su correcto funcionamiento.
- En apoyos de concreto se debe examinar que no presenten fisuras o descascaramientos en la base de los estribos o en los cabezales de las pilas donde normalmente se apoyan las vigas.

Adicionalmente, si existe o identifica algún tipo de problema con los apoyos, debe tomar en cuenta los siguientes puntos durante la inspección (Veramendi Mendoza, 2010):

- Verificar si hay suciedad o escombros alrededor de los dispositivos de apoyo (Veramendi Mendoza, 2010), en especial en apoyos mecánicos de acero.
- Observar los rodillos y su condición de apoyo móvil (Veramendi Mendoza, 2010), para que se garantice la libertad de movimiento.
- Los apoyos pueden sufrir daños por causa del tráfico pesado, por suciedad acumulada. Si se advierte un mal funcionamiento, debe notificarse de inmediato (Veramendi Mendoza, 2010).

Por otra parte, según (Mopu,1982) antes de la recepción definitiva de obra y en posteriores visitas de inspección es necesario un control de los aparatos de los apoyos y su entorno.

Los puntos a verificar serán:

- Conformidad de la colocación de los aparatos de apoyo de acuerdo con los planos de proyecto.
- Ausencia de restos de encofrado que sirvió para hormigonar las almohadillas.
- Aplastamiento uniforme del aparato de apoyo y ausencia de espacios vacíos entre el aparato de apoyo y las almohadillas.
- Ausencia de desplazamientos del apoyo de su posición original.

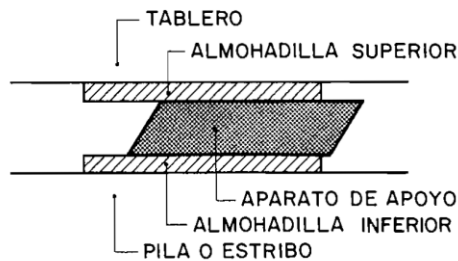


Figura 30

Figura 31. Desplazamiento del apoyo

Fuente: Mopu(1982).

- Las “barrigas” que se producen al deformarse el apoyo debido a las cargas verticales no deben ser muy pronunciadas hasta llegar a solaparse unas con otras.
- Encastramientos parciales del aparato de apoyo en el hormigón de las almohadillas.
- Distorsiones excesivas (en comparación con las previstas para la misma temperatura y tracción y fluencia equivalentes).

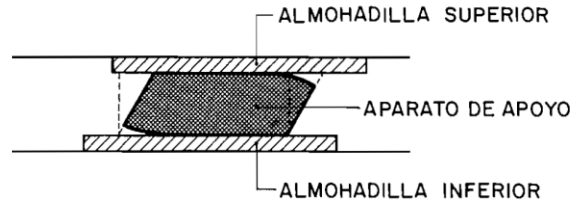


Figura 32. Distorsiones excesivas
Fuente: Mopu (1982).

- Degradaciones en el elastómero y las armaduras (despegues en la unión goma metal, grietas, astillado del elastómero).
- Grasas, aceites, gasolina, barro, etc.
- Movimientos relativos entre los distintos bloques elastoméricos que forman un solo punto de apoyo.

En caso de utilizar aparatos de apoyo deslizantes se deberá verificar lo siguiente:

- Funcionamiento correcto del aparato de apoyo. Para ello deben de ser visibles sobre la placa de deslizamiento trazas bien marcadas de su desplazamiento sobre el teflón.
- Una disposición relativa adecuada entre el bloque elastomérico y la placa de deslizamiento teniendo en cuenta la temperatura del ambiente y las deformaciones diferidas.
- En particular, si el bloque elastomérico está parcialmente desplazado con respecto a la placa de deslizamiento (figura WW), será necesario proceder inmediatamente a una operación de levantamiento y colocar de nuevo el apoyo en su posición correcta.

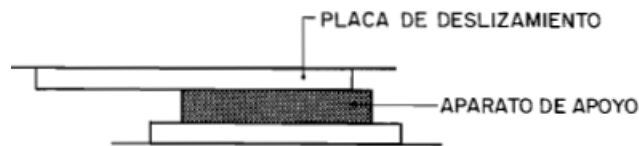


Figura 33. Desplazamiento del apoyo
Fuente: Mopu(1982).

- Ausencia de:
 - Manchas en el acero inoxidable.
 - Abombamiento en la placa de deslizamiento.
 - Separación entre la lámina de hacer inoxidable de la placa de deslizamiento y la propia placa de deslizamiento.

En caso de los apoyos en los que no se cuenta con recubrimiento de las chapas de acero, será necesario comprobar cuidadosamente la ausencia de corrosiones en los zunchos.

La conservación de los aparatos de apoyo se limita a una eventual reparación de las caras laterales de los aparatos de apoyo y la limpieza de las almohadillas, bastiones y pilas.

Daños típicos que se pueden encontrar en apoyos elastoméricos son: excesivo abultamiento, rompimiento o desgarramiento, corte y falla por corrimiento (Arias Flores, 2010).

2.8 Sustitución de los dispositivos de apoyo.

En determinadas ocasiones, cuando la patología de los aparatos de apoyo y la incidencia de esta patología en la subestructura así lo aconsejan, es necesario sustituir los aparatos de apoyo. Cualquier operación de sustitución de aparatos de apoyo pasa por un levantamiento del tablero que debe ser objeto de un cuidadoso estudio y definición. En las operaciones de levantamiento de tableros es necesario, con carácter general, considerar los siguientes aspectos: (MOPTMA, 1995)

- Tipos de gatos hidráulicos a utilizar (convencionales o gatos planos) lo que será función del espacio que exista entre la parte inferior del tablero y la subestructura.
- Esquema del circuito hidráulico a usar para el levantamiento; una bomba independiente para cada gato o varios gatos conectados a una sola bomba. (MOPTMA, 1995)

De acuerdo con Mopu (1982), cuando se observe alguna irregularidad en el funcionamiento de los apoyos puede llegar a ser necesaria la sustitución de los mismos.

Antes de tomar una decisión de este tipo es necesario analizar la irregularidad observada, analizando las causas que la han producido. Si se sustituye un aparato de apoyo sin remediar las causas que producirán su mal funcionamiento es seguro que, con el tiempo, el apoyo volverá a estar en malas condiciones (Mopu, 1982).

A título de ejemplo, una distorsión excesiva puede, entre otras, ser debida a las siguientes causas:

Una ejecución o funcionamiento de la estructura no acorde con la hipótesis de cálculo previstas (Repartición de los movimientos del tablero entre los distintos aparatos de apoyo de manera diferente a lo calculado, colocación del aparato de apoyo a una temperatura muy diferente de aquella que se ha tenido en cuenta en los cálculos).

Movimiento de pilas o bastiones.

Siempre que se tome la decisión de sustituir un apoyo será necesario realizar un levantamiento del tablero, que, de una manera general será del orden de los 2cm.

2.9 Levantamiento del puente para sustitución de apoyos

De acuerdo con Mopu (1982) en el caso de pilas o bastiones de poca altura se puede admitir levantar el tablero mediante apeos provisionales. Para las pilas se pueden utilizar en otros casos estructuras auxiliares que la rodean y que transmiten la carga a su fuste.

En cualquier caso, la solución más adecuada por su simplicidad y rapidez de ejecución es la de utilizar gatos convencionales o, en su caso, gatos planos que se colocan entre el tablero y las pilas o bastiones en la proximidad de los aparatos de apoyo.

Siempre que se vaya a realizar un levantamiento, el proyectista o la persona encargada de la operación deberá comprobar, entre otros los siguientes puntos:

- Transmisión de los esfuerzos del tablero a las pilas y estribos.
- Posibilidades de carga del puente: en vacío, solo con tráfico de vehículos ligeros, con tráfico reglamentario a marcha lenta.
- Levantamiento máximo admisible de la línea de apoyo considerada con respecto a las adyacentes. (Quede bien entendido que para sustituir un solo aparato de apoyo es necesario levantar toda la línea de apoyo correspondiente). Levantamiento del orden de 1 a 2cm son generalmente admisibles, salvo, por ejemplo, para puentes de vigas con losa continua, en que será necesario levantar las dos líneas de apoyo de la pila.
- Desnivel máximo admisible entre dos puntos de la misma línea de apoyo. Si las reacciones de apoyo en los gatos no son las mismas de un gato a otro, el levantamiento según el circuito hidráulico utilizado, puede no ser uniforme y ser excesivos los asentamientos diferenciales para la estructura.

Para las estructuras muy rígidas transversalmente se tratará de que los esfuerzos de levantamiento sean idénticos en todos los gatos, para no crear esfuerzos a flexión transversal o torsión (no se consideran puentes esviados).

En general, antes de realizar la operación de levantamiento será necesario tomar precauciones con las juntas y barreras metálicas del tablero.

El número de gatos y de bombas necesarios para la operación de levantamiento será función del puente y del esquema hidráulico utilizado.

En general se recomienda el siguiente esquema:

- “n” gatos con “n” bombas, lo que corresponde a “n” circuitos independientes, “n” se entiende que es el número de gatos necesarios para levantar toda la línea de apoyo
- “n” gatos asociados a una sola bomba, que suele ser el esquema clásico.

El primer esquema permite que las fuerzas ejercidas para cada uno de los gatos sean idénticas, de manera que se obtenga un levantamiento uniforme. Este sistema puede resultar peligroso en el caso de rotura de un circuito.

En el segundo caso, el levantamiento se ejecutará de manera que no sobrepasen los asentamientos diferenciales fijados por el proyectista.

2.10 Lineamientos para la calificación del grado de deterioro de apoyos de un puente. MOPT (2007)

Se toma como referencia los lineamientos establecidos en el Manual de Inspecciones del MOPT (2007) debido a que estos lineamientos son los utilizados en Costa Rica y la base de datos fue

elaborada basada en este Manual de Inspecciones. Como parte del procedimiento de inspección de puentes se cuenta con una hoja de inspección donde se califica el grado de deterioro del puente, tomando en cuenta la condición en que se encuentran los diferentes elementos que componen los accesorios, la superestructura y la subestructura. Cada uno de estos elementos se evalúan según el grado de daño que presentan en una escala progresiva, es decir, por ejemplo, el número 1 significa que no existen daños y el número 5 que hay gran deterioro en el elemento.

En el caso de los apoyos, de acuerdo con MOPT (2007) primero el inspector debe determinar qué tipo de apoyo fue previsto en el diseño (fijo, expansivo o rígido). El inspector debe consultar con los planos los tipos de apoyo utilizados en el puente. En Costa Rica la causa principal de daños en los apoyos es el movimiento de la tierra en un sismo. Se debe registrar el número de apoyos utilizados para el puente y el grado de daño de la peor condición del apoyo. El inspector debe registrar las fotografías de los apoyos.

Se detalla cada uno de los 4 daños evaluados según la escala de valoración:

- a. Rotura de pernos: El perno de anclaje es una pieza de acero comúnmente enroscado y ubicado con una tuerca y una arandela en un extremo. Se utiliza para asegurar en posición fijo el apoyo del puente sobre la estructura.

La descripción para cada grado de daño en el caso de Rotura de pernos se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2. Escala de valoración de daño para Rotura de pernos

Grado de daño por rotura del perno de anclaje	
Grado de daño	Descripción
1	No se observan daños en el perno de anclaje
2	La tuerca no se encuentra en su posición.
3	El perno de anclaje está deformado.
4	El perno de anclaje se desplazó más de 5 cm.
5	El perno de anclaje está completamente cortado.

Fuente: MOPT(2007)

En la figura siguiente se muestra un perno de anclaje deformado (grado de daño 3).



Figura 34. Deformación del perno

Fuente: MOPT (2007)

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un apoyo con grado de daño 5 en rotura de perno de anclaje, donde se observa un perno del anclaje cortado.



Figura 35. Pernos de anclaje cortado
Fuente: MOPT (2007)

b. Deformación.

La descripción para cada grado de daño en el caso de Deformación se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3. Escala de valoración de daño para Deformación

Tabla 6-38 Grado de daño por deformación del apoyo	
Grado de daño	Descripción
1	No se observan deformaciones.
2	Se observa una ligera deformación.
3	Se observa deformaciones, pero todavía funciona.
4	El apoyo está considerablemente deformado y deberá ser reemplazado.
5	El apoyo está completamente deformado y no funciona como apoyo.

Fuente: MOPT (2007)

En la siguiente figura se muestra un apoyo tipo balancín con deformación grado de daño 5.



Figura 36. Deformación del apoyo (grado 5)
Fuente: MOPT (2007)

c. Inclinación.

La descripción para cada grado de daño en el caso de inclinación se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4. Escala de valoración de daño para inclinación

Grado de daño por inclinación del apoyo	
Grado de daño	Descripción
1	No se observa ninguna inclinación.
2	No aplica.
3	Ligeramente inclinado.
4	No aplica.
5	Está considerablemente inclinado y no tiene función como apoyo.

Fuente: MOPT (2007)

En la siguiente figura se muestra un apoyo tipo balancín inclinado con grado de daño 5.



Figura 37. Inclinación de apoyo

Fuente: MOPT (2007)

d. Desplazamiento.

La descripción para cada grado de daño en el caso de desplazamiento transversal se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5. Escala de valoración de daño para Desplazamiento

Grado de daño por desplazamiento del apoyo	
Grado de daño	Descripción
1	No hay desplazamiento en el apoyo.
2	No aplica.
3	El apoyo está ligeramente desplazado.
4	No aplica.
5	El apoyo se desplazó más de 5 cm de su posición original.

Fuente: MOPT (2007)

En la siguiente figura se muestra un apoyo con desplazamiento con grado de daño 5.



*Figura 38. Movimiento del apoyo (grado 5).
Fuente: MOPT (2007)*

2.11 Indicadores

En general un indicador es una expresión cuantitativa que sirve para medir el cambio de una o varias variables comparadas con otras. Sirve para valorar el resultado medido y para estimar el logro de objetivos de políticas, programas y proyectos. Un buen indicador debe ser claro, relevante con el objeto de medición y debe proporcionarse periódicamente. (DNP, 2003).

Los indicadores permiten efectuar seguimiento a las metas sobre presupuestos, acciones, políticas, y actividades para continuar, liquidar o repensar caminos a seguir. Por ello, la medición eficaz de éstos determinará, entre otros factores, el éxito o no, de las metas propuestas en los objetivos que buscan estos (SDDE, 2007).

En conclusión, se tiene que un indicador es un conjunto de relaciones entre variables que permiten conocer una situación determinada en forma continua (es una señal). A través de los indicadores se puede conocer el cambio o el comportamiento de una variable respecto de otra, pero no es una simple correlación sino una causalidad lo que se busca con la medición (SDDE, 2007).

2.12 Propiedades de los indicadores

Las cualidades más representativas son las siguientes (DNP, 2002):

Validez: Deben reflejar y medir los efectos y resultados del programa o proyectos, y los factores externos a éstos.

Pertinencia: Deben guardar correspondencia con los objetivos y la naturaleza del programa o proyecto, así como con las condiciones del contexto (Medio social) en donde se gestiona.

Demostrables: Deben evidenciar los cambios buscados.

Relevancia: Deben servir efectivamente al usuario para la toma de decisiones. Es decir, deben captar un aspecto esencial de la realidad que buscan expresar, en términos descriptivos y en su dimensión temporal, teniendo en cuenta que su importancia se dará según el momento en el que brinden resultados; en otras palabras, pueden ser irrelevantes en determinado momento.

Representatividad: Deben expresar efectivamente el significado que los actores le otorgan a determinada variable.

Confiabilidad: Las mediciones que se realicen, por diferentes personas deben arrojar los mismos resultados.

Sensibilidad: Deben reflejar el cambio de la variable en el tiempo, es decir, debe cambiar de forma efectiva y persistente a lo largo del periodo de análisis.

Fácticos: Deben ser objetivamente verificables.

Eficiencia: Deben ser exactos al expresar el fenómeno.

Suficiencia: Por sí mismos, deben expresar el fenómeno, sin ser redundantes.

Flexibilidad: Con la virtud de adecuarse a la realidad de lo que se pretende medir y a la disponibilidad y confiabilidad de la información.

2.13 Clasificaciones de los indicadores

Indicadores cuantitativos y categóricos (SDDE, 2007).

Los indicadores son una representación, cuantitativa (ordinal) o categórica (descriptiva o cardinal) de las actividades o alguna medición en específico. Las variables de los indicadores son cuantitativas y cualitativas. Proveen un medio para medir resultados de las metas reflejando los cambios de una intervención o para medir la gestión frente a un objetivo planteado. . Aquellas variables cualitativas, o mejor, categóricas, en tanto permiten establecer si el resultado está en un rango bueno, regular o malo, igualmente deberán ser numéricas; por ejemplo, “bienestar” podrá ser una variable medida que se califica a través de encuestas a los afectados por una intervención. Recordemos que el umbral son las medidas que resultan de las buenas prácticas, que son los resultados óptimos y que permiten establecer el rango para la categorización.

Todo indicador tiene dimensiones:

Categóricas, cualitativas o cardinales: Se basa en la descripción de las variables y/o del indicador. Igualmente se pretende calificar el indicador en rangos previamente definidos. Cabe anotar que los umbrales son los niveles óptimos y el rango que se establece entre dichos niveles óptimos (también llamados mejores prácticas), es el espacio en el que se debe mover el resultado de un indicador para que se pueda categorizar como aceptable.

Cuantitativas u ordinales- Expresión porcentual, numérica, promedio, número absoluto, etc. Todo indicador puede ser presentado como:

Cifra absoluta: Refleja características particulares en un momento dado (Por ej.: Número de estudiantes a nivel primario del colegio / Número total de estudiantes del colegio o número total de mujeres frente al total de la población).

Porcentajes: Se refiere fundamentalmente a aspectos de distribución (Por ej.: Porcentaje de analfabetos en el total de la población, participación del gasto social en el PIB).

Promedios y otras medidas estadísticas: Representa comportamientos típicos tales como: promedios, mediana, moda, etc. (Por ejemplo, ingreso per-cápita, la mediana de los salarios de los profesionales y técnicos, Tasa de crecimiento del PIB). En definitiva, los indicadores sirven para “observar” y medir los cambios cuantitativos (mayores o menores) y categóricos (positivos o negativos) que presenta cierta variable, en determinado momento del tiempo o entre periodos de tiempo.

Indicadores simples y complejos

Los indicadores se pueden clasificar en simples y complejos. Un indicador simple, es aquel que se define como la conjugación de por lo menos dos variables en una fórmula matemática simple para

analizar las causas del cambio de una respecto de la otra. Esto porque una sola variable no “indica” cómo se está comportando frente a otra. Por ejemplo, la variable “número de niños alfabetizados de una comunidad x” no es un indicador per se pues no representa si el número es adecuado, bajo, o sobresaliente, frente a otra variable, por ejemplo “número total de niños de una comunidad x”.

Los indicadores pueden ser distinguidos por su grado de complejidad: un carácter que depende del grado de elaboración teórica y/o práctica y el grado de dificultad de su cómputo o cálculo. Sin embargo, como se muestra enseguida, un indicador puede manifestarse como un cálculo aritmético elemental mientras su elaboración teórica puede resultar complicada; así mismo, un indicador definido de manera sencilla en lo teórico puede ser muy difícil de calcular por exigencias matemáticas

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO.

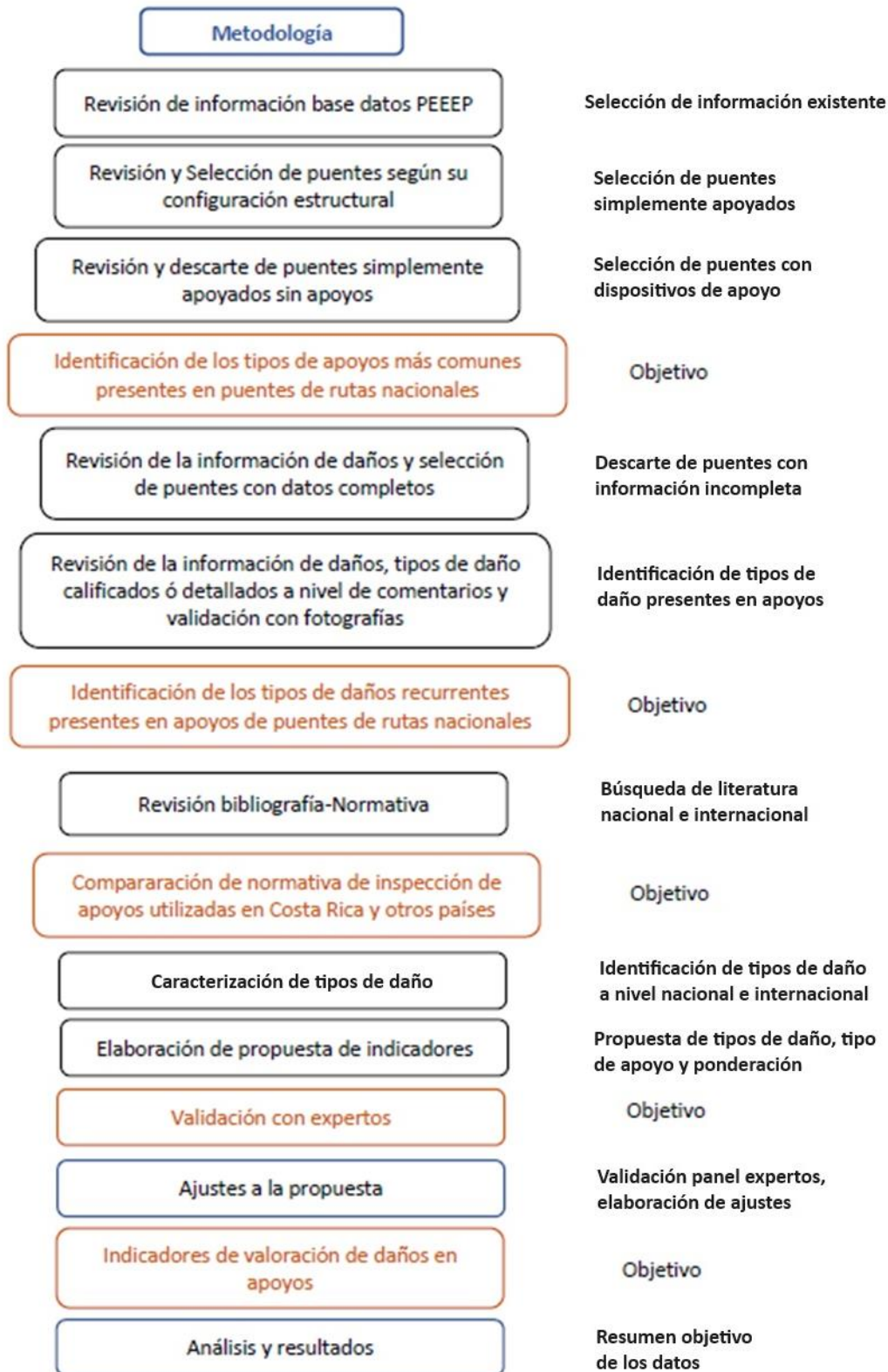


Figura 39. Metodología
Fuente: El autor

Para lograr los objetivos en el presente proyecto y desarrollar una propuesta de indicadores para la evaluación visual de daños para apoyos en puentes simplemente apoyados, que tomen en consideración el grado de daño y su extensión, de acuerdo con las características específicas de cada tipo de apoyo, se procedió de la siguiente manera desarrollando las siguientes actividades.

Actividades objetivo 1: Identificar los tipos de apoyos más comunes presentes en puentes de rutas nacionales.

Inicialmente, para completar el primer objetivo, y poder identificar los tipos de apoyos más comunes presentes en puentes de rutas nacionales se procedió con la revisión de información existente de puentes, de acuerdo con la configuración estructural.

3.1 Revisión de información existente de puentes, de acuerdo con la configuración estructural.

Se realizó una revisión de la información existente en la base de datos del PEEP, haciendo un barrido de los puentes en todas las rutas primarias registradas en el inventario de puentes de rutas nacionales, con el fin de llevar a cabo el primer filtro de información, tomando en cuenta solamente los puentes en la que las superestructuras se encuentren simplemente apoyadas.

Durante esta primera revisión se descartan los puentes de configuración estructural tipo marco rígido, puentes colgantes, puentes de madera con vigas de troncos, arcos de concreto o mampostería y alcantarillas mayores, ya que estos puentes no cuentan en su mayoría con apoyos.

3.2 Revisión de información de configuración de apoyos

Posteriormente se lleva a cabo una revisión de información de configuración de apoyos, donde una vez identificados los puentes con superestructuras simplemente apoyadas, se descartaron los puentes de acero o concreto, en los cuales las vigas se encuentran apoyadas directamente sobre los bastiones sin la utilización de dispositivos de apoyos, además se descartaron aquellos puentes que no cuentan con registro completo de información de inventario o daños de los apoyos, debido a que no se pudieron observar parcial o totalmente durante las inspecciones por la complejidad de su ubicación, obstrucción con sedimentos o asfalto, así como la poca o nula información existente de planos, y por ende nula, parcial o escasa información del estado de deterioro.

Actividades objetivo 2: Identificar los daños recurrentes presentes en apoyos de puentes de rutas nacionales.

3.3 Selección de estructuras con información de daños

Seguidamente, como actividades para llevar a cabo el objetivo 2, con la totalidad de información de la evaluación visual de daños y con el respectivo registro de calificaciones e imágenes resultado de dicha evaluación, se eligieron los puentes que cuenten con imágenes claras de los apoyos, con el fin de corroborar los tipos de apoyo reportados en información de inventario, así como para su posterior evaluación de condición de deterioro, descartando puentes con información incompleta, escueta o sin imágenes que permitan verificar la totalidad de los datos de la evaluación.

3.4 Selección de puentes en rutas principales, identificación de tipos de apoyos

Una vez seleccionados los puentes, con las características descritas anteriormente, que cuenten con suficiente información de interés, se toman en total para este estudio 55 puentes, en su mayoría

sobre rutas primarias, tomando en cuenta la totalidad de estas, seis puentes de rutas secundarias y un puente de una ruta terciaria.

Posteriormente para los puentes seleccionados se trabajó en la identificación de los tipos de apoyo tales como fijos y móviles, y sus diferentes configuraciones, así como el tipo de material que los conforma, identificando así, los tipos de apoyos más comunes utilizados en puentes de rutas nacionales, elaborando una tabla con las características principales para cada tipo de apoyo.

Se elaboró una recopilación de los tipos de apoyos, con imágenes de estos, así como la respectiva referencia al puente que pertenece.

De acuerdo con los datos extraídos se determinó la representatividad de cada tipo de apoyo para la muestra utilizada en este estudio.

3.5 Información de daños evaluada previamente en los apoyos de cada puente

Para cada uno de los puentes se extrajo información relacionada con los daños, grado de daño y extensión, evaluados en la inspección visual de daños de acuerdo con la metodología del Manual de Inspecciones del MOPT 2007.

De acuerdo con la información disponible y seleccionada de los daños e información de imágenes tomadas de las inspecciones visuales de daños, se realizó un estudio y un listado de los tipos de daños encontrados en los apoyos, para cada tipo de apoyo, tomando en cuenta tanto los daños evaluados como daños no contemplados en datos de las evaluaciones, ya que se consideraron importantes por su implicación en el funcionamiento adecuado de estos elementos.

En esta revisión se identifican los daños recurrentes presentes en apoyos de puentes de rutas nacionales, se realiza un listado detallado de estos para su posterior análisis.

Actividades objetivo 3: Comparar la normativa asociada a la inspección de apoyos para estructuras de puentes simplemente apoyadas utilizadas en Costa Rica y otros países.

Se realizó una investigación de literatura relacionada con la normativa nacional e internacional asociada a la inspección de apoyos de estructuras de puentes simplemente apoyados, extrayendo información importante para su comparación con la realidad nacional y lo evaluado hasta el momento en el país.

Se revisó a detalle cada uno de los aspectos utilizados en la evaluación de los apoyos de puentes carreteros utilizados en diferentes países y se comparó con los aspectos utilizados en la evaluación de daños de apoyos en Costa Rica.

Se agrupó en una tabla resumen los aspectos más importantes asociados a la normativa nacional, relacionada con la inspección de apoyos en puentes simplemente apoyados, y así llevar a cabo una comparación de la normativa nacional con otros países.

Actividades objetivo 4: Desarrollar indicadores de evaluación visual de daños para apoyos, con sus respectivas escalas de valoración conforme al tipo de apoyo, tipo y extensión del daño.

3.6 Propuesta de indicadores de deterioro para apoyos.

Por otra parte, para desarrollar y completar el objetivo 4, se llevaron a cabo una secuencia de tareas para desarrollar los indicadores de deterioro para los apoyos IDA (Indicador de Deterioro de Apoyo), el cual toma en cuenta el tipo y características de material, nivel de daño y extensión de daño.

Estos indicadores se definieron bajo una estructura de 3 niveles,

- Nivel 1: Tipos de apoyo
- Nivel 2: Componentes del apoyo
- Nivel 3: Tipo de daño evaluados.

Los apoyos por sus diferentes características de configuraciones y material que los conforma, se agruparon en dos grandes grupos: apoyos elastómeros y apoyos mecánicos de acero, por lo tanto, se definió un índice o indicador de deterioro para cada uno de estos grupos:

- IDAE: indicador de deterioro apoyos elastoméricos
- IDAM: indicador de deterioro de apoyos mecánicos de acero

Se realizó una caracterización de los tipos de daño evaluados en Costa Rica y en otros países, según la literatura internacional, se definieron 3 componentes a evaluar para cada tipo o grupo de apoyos:

- Cuerpo principal o aparato de apoyo.
- Sistema de anclaje.
- Limpieza y mantenimiento mecánico.

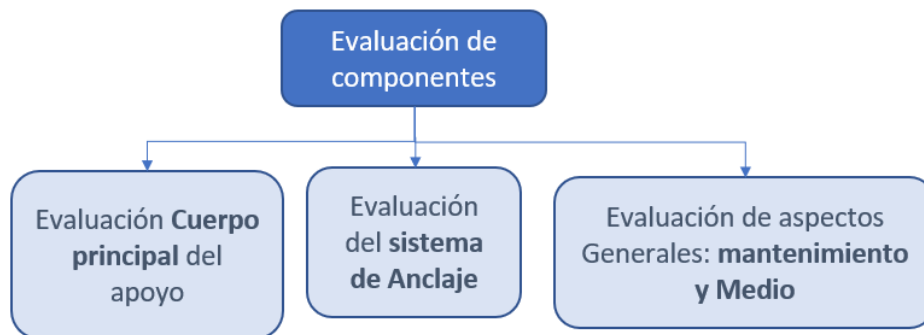


Figura 40. Componentes a considerar en la evaluación de apoyos
Fuente: El autor

Como se indicó anteriormente, el indicador IDAE contempla almohadillas de neopreno reforzadas o sin refuerzo, con restricciones laterales o sin restricción lateral.

El indicador IDAM para los apoyos de acero, toma en cuenta apoyos tipo rodillos con barras rectangulares y tipo balancín con los patines de acero, en sus diferentes configuraciones.

Los 3 componentes con sus características específicas para cada tipo de apoyo, se describen a continuación:

- **El cuerpo principal o aparato de apoyo**, ya sea este un apoyo elastómero como las almohadillas de neopreno con o sin refuerzo y/o apoyos de acero como rodillos, balancines o patines, en las distintas configuraciones de apoyos usados en puentes de rutas nacionales ya destacadas en este estudio.
- **El sistema de anclaje de estos apoyos**, ya sea mediante pernos embebidos en el concreto que fijan los desplazamientos de los apoyos mediante placas de acero o las diferentes configuraciones.
- **Limpieza y mantenimiento mecánico de los apoyos**, componente importante identificado en la literatura internacional y en las inspecciones realizadas, evaluando su entorno, así como el buen funcionamiento del dispositivo o sistema que compone cada apoyo.

Posteriormente se seleccionaron los 6 tipos de daño a partir de los siguientes requerimientos:

- Daños encontrados con mayor frecuencia en los puentes analizados de rutas nacionales.
- Daños presentes y en normativa nacional.
- Daños no contemplados en normativa nacional, pero considerados en normativa internacional y considerados importantes por la afectación que genera su presencia en los dispositivos de apoyo.

De esta manera se completa el Nivel 3 de la estructura de los indicadores. El tipo de daño seleccionado para cada tipo de apoyo, se detalla en la Tabla 23: Resumen estructura de evaluación propuesta.

Para el caso de los apoyos elastoméricos se propone evaluar dos tipos de daño para el componente 1 y evaluar 3 tipos de daño para el componente 2. Para el caso de apoyos mecánicos se propone evaluar 3 patologías para el componente 1 y 2 tipos de daño para el componente 2.

Para el componente 3 en los dos tipos de apoyo se propone evaluar solamente un tipo de daño en los dos casos. Por lo tanto, se presentan diferencias representativas para cada ecuación obtenida en los resultados.

Tabla 6. Estructura de trabajo

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Indicador
Tipo de apoyo	Componente	Tipo de daño	
Elastomérico	Componente 1	Tipo 1	IDAE Elastomérico/Neopreno
		Tipo 2	
	Componente 2	Tipo 3	
		Tipo 4	
		Tipo 5	
	Componente 3	Tipo 6	
Mecánico de acero	Componente 1	Tipo 1	IDAM Rodillo-Barras de acero / Balancín-Patín de acero
		Tipo 2	
		Tipo 3	
	Componente 2	Tipo 4	
		Tipo 5	
	Componente 3	Tipo 6	

Fuente: El autor.

Se detalla a continuación un resumen de la estructura propuesta para la definición de los indicadores IDEA y e IDAM, con los respectivos tipos de apoyo, componentes y tipos de daño.

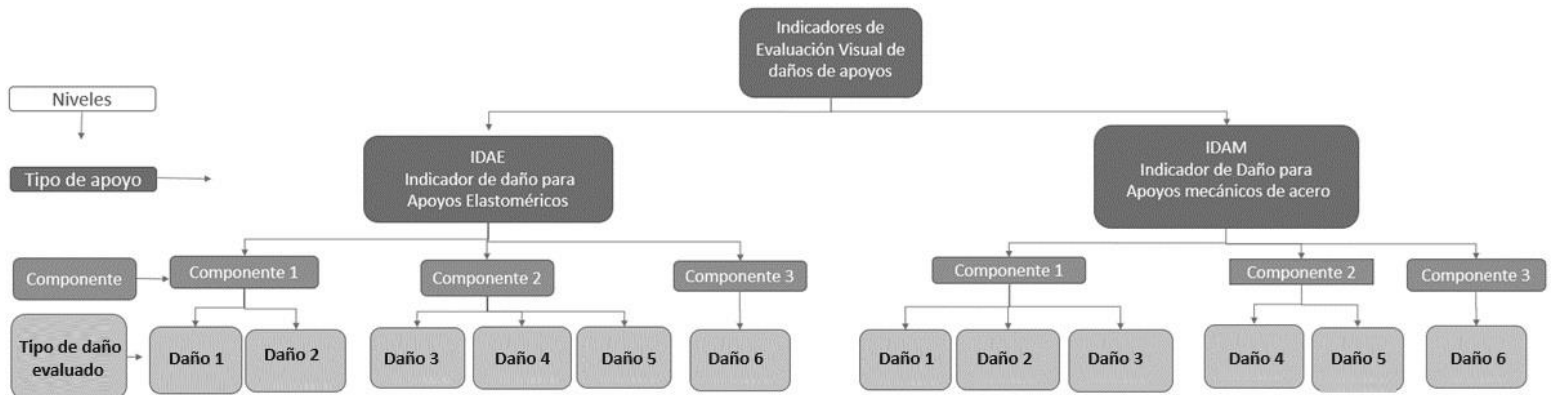


Figura 41. Estructura establecida para desarrollo de indicadores IDA

Fuente: El Autor

Para cada tipo de daño se definieron 5 niveles de severidad o extensión del daño, con valores en una escala de 1 a 5, de acuerdo con rúbricas establecidas en tablas de inspección de daños propuestas en este estudio. Estas tablas se usarán en primera instancia como escalas de evaluación de daños en campo en la inspección de puentes. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de apoyos mecánicos de acero, para el componente 2 con los respectivos tipos de daño.

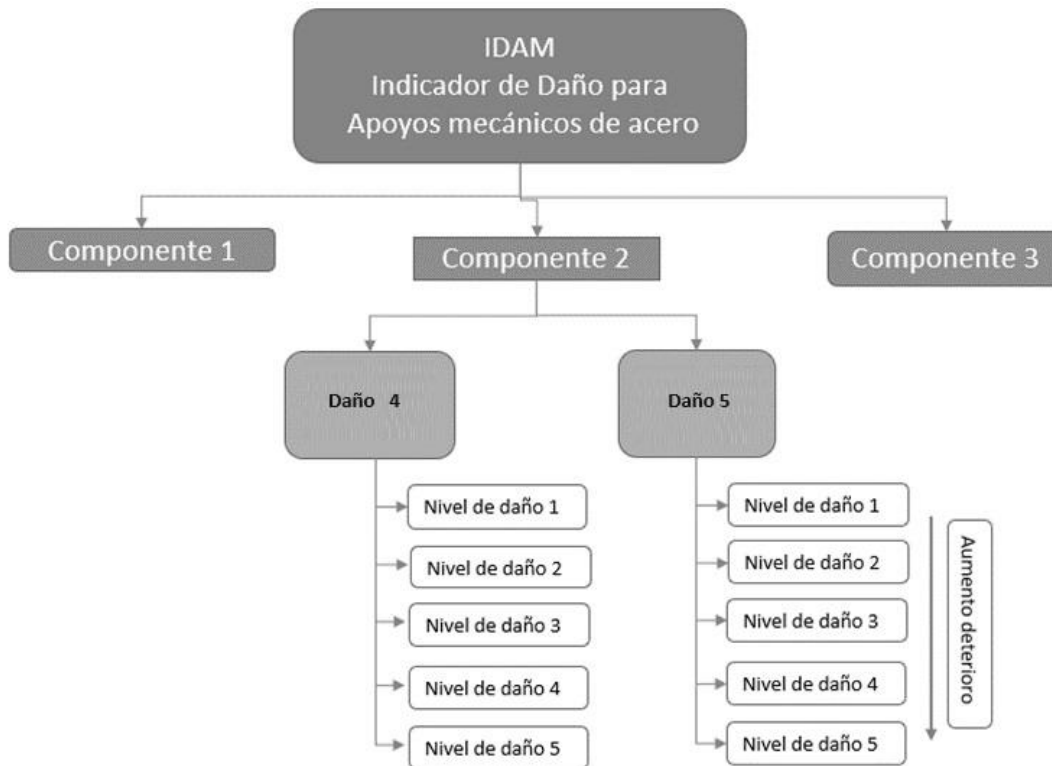


Figura 42. Niveles de deterioro daños 4 y 5, componente 2
Fuente: El Autor

Se utiliza esta escala de valoración de daños de 1 a 5, dado que el Manual de inspecciones del MOPT utiliza una escala con estos valores, y así tener una correspondencia con los valores recolectados en campo y archivados en las bases de datos del inventario de puentes.

De acuerdo con el resultado del valor del índice de deterioro de apoyo IDA obtenido, se proponen diferentes niveles de intervención para cada condición.

3.7 Método de cálculo de los indicadores:

El método propuesto está basado en proporciones, ya que combina varios métodos para su estimación. Dadas las condiciones de almacenamiento de la información, y la necesidad de priorización de los recursos disponibles de acuerdo a la condición de deterioro de los apoyos, se considera que la metodología que genera mejor información está basada en promedios ponderados.

Para la estimación del IDA (Indicador de Daño en Apoyo) se tomaron en cuenta aspectos como estado del aparato de apoyo o cuerpo principal de apoyo, sistema de anclaje y aspectos generales de mantenimiento.

Para definir el método de cálculo y asignarle peso a cada uno de los componentes y tipo de daño, se utilizó el criterio experto, así como información obtenida de consultas a expertos. Para la ponderación se utilizó el método Delphi, donde la capacidad de predicción de la Delphi se basa en la utilización sistemática de un juicio intuitivo emitido por un grupo de expertos según Astigarraga, Eneko (2003).

La condición de estado de los apoyos se calcula a partir de resultados de una inspección visual de daños realizada para los apoyos, esta evaluación se lleva a cabo con la propuesta de escalas de valoración de daños planteada, la cual se propone como una mejora para la evaluación de daños en apoyos establecida en el Manual de Inspección de Puentes del MOPT (2007) en el apartado de apoyos.

3.8 Estimación del peso por tipo de daño y por componente:

Daño:

Este se encuentra en el nivel más bajo del indicador (Patología de daño), donde existe un conjunto de valores asociados de 1 a 5 que corresponden al grado o nivel de deterioro asociado a cada tipo de daño particular.

Componente:

Los componentes corresponden a partes específicas de un apoyo, cada componente considera cierta cantidad de variables de daño o patología con su respectivo valor y peso.

La suma de los pesos de los daños para un componente es igual a 1.

$$Valor\ de\ componente_i = \sum_{k=1}^n Valor\ de\ daño_k * peso\ daño_k$$

Para el cálculo de los pesos de cada una de las patologías de daño se utilizaron las siguientes matrices:

Para apoyos mecánicos de acero, se muestra un ejemplo de cálculo de los pesos para cada patología de daño del componente 1 del indicador IDAM:

Tabla 7. Ejemplo cálculo del valor para componente 1, IDAM

Componente 1	Daño 1	Daño 2	Daño 3	Sumatoria horizontal	Peso
Daño 1	1	A	B	1+A+B	(1+A+B)/6
Daño 2	1-A	1	C	(1-A)+1+C	((1-A)+1+C)/6
Daño 3	1-B	1-C	1	(1-B)+(1-C)+1	((1-B)+(1-C)+1)/6
Suma Vertical				6	1

Fuente: El Autor

- Donde se asignan valores para A, B y C, con un valor binario de 0 y 1, correlacionando los tipos de daños entre ellos.
- Se indica el valor de 1 cuando el daño de la columna izquierda se considera más importante que el daño de la fila superior con el cual se está comparando.
- Por ejemplo, si el tipo de daño 1 se considera más importante que el daño 2, el valor de A es igual a 1.

Para apoyos elastoméricos, se muestra un ejemplo de cálculo de los pesos para cada tipo de daño del componente 1 del indicador IDAE:

Tabla 8. Ejemplo de cálculo para componente 1, IDAE

Componente 1	Daño 1	Daño 2	Sumatoria horizontal	Peso
Daño 1	1	A	1+A	(1+A)/3
Daño 2	1-A	1	(1-A)+1	((1-A)+1)/3
Suma Vertical			3	1

Fuente: El autor

Por otra parte, para la estimación del peso para cada componente, se utilizó la siguiente matriz:

Tabla 9. Estimación del peso para cada componente del IDAE y IDAM

Componente	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Sumatoria horizontal	Peso
Componente 1	1	A	B	1+A+B	(1+A+B)/6
Componente 2	1-A	1	C	(1-A)+1+C	((1-A)+1+C)/6
Componente 3	1-B	1-C	1	(1-B)+(1-C)+1	((1-B)+(1-C)+1)/6
Suma Vertical				6	1

Fuente: El Autor

Del mismo modo, se compara todos los componentes de la siguiente manera:

- Se asignan valores para A, B y C, con un valor binario de 0 y 1, correlacionando los tipos de daños entre ellos.
- Se indica el valor de 1 cuando el componente de la columna izquierda se considera más importante que el componente de la fila superior con el cual se está comparando.
- Por ejemplo, si el componente 1 se considera más importante que el componente 2, el valor de A es igual a 1.

3.9 Ponderación final:

Una vez calculado el valor del peso para cada uno de los tipos de daño, según el componente, y el valor del peso para cada componente, se define una ecuación que describe la forma general en la cual será calculado el indicador de deterioro IDA de la siguiente manera:

$$IDA_{E,M} = \sum_{i=1}^3 C_{iE,M} * W_{Ci}$$

Donde,

$$E = \text{apoyos elastoméricos}, \quad M = \text{apoyo mecánico de acero}$$

$$C_{iE,M} = \text{Valor del componente } i \text{ de apoyo elastomérico } E \text{ o mecánico } M$$

$$W_{Ci} = \text{Peso del componente } i$$

El valor de cada componente i , se calcula de la siguiente manera:

$$C_{iE,M} = \sum_{i=1}^n w_{piE,M} * Gr_{pi}$$

Donde,

$$w_{piE,M} = \text{peso del tipo de daño } i$$

$$Gr_{pi} = \text{grado de daño de 1 a 5 asignada al tipo de daño } i$$

n depende del número de tipos de daño que se evalúa a cada componente

Por lo tanto, se obtiene la siguiente ecuación:

$$IDA_{E,M} = C_{1E,M} * W_1 + C_{2E,M} * W_2 + C_{3E,M} * W_3$$

3.9.1 Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos elastoméricos:

$$IDA_E = \sum_{i=1}^3 C_{iE} * W_{Ci}$$

$$IDA_E = C_{1E} * W_1 + C_{2E} * W_2 + C_{3E} * W_3$$

Donde, cada valor de componente C_{iE} corresponde a:

$$C_{1E} = w_{p1E} * Gr_{p1E} + w_{p2E} * Gr_{p2E}$$

$$C_{2E} = w_{p3E} * Gr_{p3E} + w_{p4E} * Gr_{p4E} + w_{p5E} * Gr_{p5E}$$

$$C_{3E} = w_{p6E} * Gr_{p6E}$$

Obteniendo así la ecuación para el Indicador de Deterioro para apoyos Elastoméricos:

$$IDA_E = (w_{p1E} * Gr_{p1E} + w_{p2E} * Gr_{p2E}) * W_{C1} + (w_{p3E} * Gr_{p3E} + w_{p4E} * Gr_{p4E} + w_{p5E} * Gr_{p5E}) * W_{C2} + (w_{p6E} * Gr_{p6E}) * W_{C3}$$

3.9.2 Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos mecánicos de acero:

$$IDA_M = \sum_{i=1}^3 C_{iM} * W_i$$

$$IDA_M = C_{1M} * W_1 + C_{2M} * W_2 + C_{3M} * W_3$$

Donde, cada valor de componente C_{iM} corresponde a:

$$\begin{aligned} C_{1M} &= w_{p1M} * Gr_{p1M} + w_{p2M} * Gr_{p2M} + w_{p3M} * Gr_{p3M} \\ C_{2M} &= w_{p4M} * Gr_{p4M} + w_{p5M} * Gr_{p5M} \\ C_{3M} &= w_{p6M} * Gr_{p6M} \end{aligned}$$

Obteniendo así la ecuación para el Indicador de Deterioro para apoyos mecánicos:

$$IDA_M = (w_{p1M} * Gr_{p1M} + w_{p2M} * Gr_{p2M} + w_{p3M} * Gr_{p3ME}) * W_{C1} + (w_{p4M} * Gr_{p4M} + w_{p5M} * Gr_{p5M}) * W_{C2} + (w_{p6M} * Gr_{p6M}) * W_{C3}$$

Finalmente, el indicador está concebido para obtener valores finales en un rango de 1 a 5, donde 1 es una condición excelente y 5 deficiente.

Tabla 10. Descripción del valor del indicador

Resultado IDA	Condición de apoyos
1 – 2	Satisfactoria
2 – 3	Aceptable
3 – 4	Inaceptable
4 – 5	Deficiente

Fuente: El Autor

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con el resultado del valor del índice de deterioro de apoyo (IDAE o IDAM) obtenido, adicionalmente se proponen diferentes niveles de intervención para cada condición.

3.10 Validación de los indicadores de evaluación visual de daños propuestos

Finalmente, se somete a valoración y validación por parte de un panel de expertos sobre el tema, se obtuvieron los pesos del algoritmo para la obtención de los valores de los indicadores por medio del método Delphi, el cual consistió en unificar y acercarse al consenso de un grupo de expertos profesionales en el tema, basados en el análisis por medio del recurso del juicio subjetivo de estos. Por lo tanto, se llevar a cabo la validación de estos indicadores de daños, desde sus componentes y los respectivos tipos de daño formuladas, sus ponderaciones y resultados finales, se realizó una mejora y calibración de los valores de las ponderaciones de los tipos daño propuestos, basadas en conocimiento y criterio experto de profesionales, tomando en consideración las coincidencias en la mayoría de los profesionales.

En la validación participaron 8 profesionales expertos en la materia, se procede inicialmente con una explicación del tema de investigación, estructura y niveles propuestos para los indicadores, componentes y tipos de daño definido para cada componente y cada tipo de apoyo.

Para ello se utiliza la siguiente información resumen:

Tabla 11. Descripción de los niveles para cada indicador

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Indicador
Tipo de apoyo	Componente	Tipo de daño evaluada	
Elastomérico Almohadilla de Neopreno	Cuerpo principal: Neopreno	Deformación: se refiere a deformaciones laterales o aplastamiento, deformación en una/dos direcciones, agrietamiento del neopreno, oxidación.	IDAE
		Desplazamiento: se refiere al desplazamiento de la almohadilla de apoyo con respecto a su posición original, o si se ha perdido el contacto viga-apoyo por desplazamiento.	
	Sistema de anclaje	Rotura de pernos: se refiere desde la falta de tuercas en pernos, deformación del perno de anclaje, desplazamientos o corte de pernos de anclaje.	
		Corrosión pernos/placas: se refiere a la presencia desde oxidación o corrosión, hasta la reducción de espesor o pérdida de sección por corrosión en pernos/tuercas ó placas del sistema de anclaje	
		Confinamiento anclajes: se refiere al adecuado confinamiento del sistema de anclaje, agrietamiento en pedestales, desprendimientos de concreto y pérdida de la base del apoyo.	
General	Limpieza/ mantenimiento: se refiere a la existencia de humedad por filtraciones, sedimento o crecimiento de maleza en los asientos del puente/zona de apoyo		
Mecánico de acero Rodillo-Barras de acero / Balancín-Patín de acero	Cuerpo principal: Aparato de apoyo	Desplazamiento: se refiere a Desplazamiento o desalineamiento del apoyo con respecto a su posición original	IDAM
		Corrosión (sist. Anclaje y aparato): se refiere desde oxidación hasta corrosión con reducción o pérdida de espesor en pernos, tuercas o placas	
		Inclinación: se refiere desde pequeñas variaciones en la inclinación de los apoyos con respecto a la posición original, hasta inclinaciones permanentes excesivas.	
	Sistema de Anclaje	Rotura de pernos: se refiere desde la falta de tuercas en pernos, deformación del perno de anclaje, desplazamientos o corte de pernos de anclaje.	
		Confinamiento anclajes: se refiere al confinamiento del sistema de anclaje, agrietamiento en pedestales, desprendimientos de concreto y pérdida de concreto en la base del apoyo.	
	General	Limpieza/mantenimiento: Se refiere desde lubricación en pasadores y tuercas, suciedad y filtraciones en zona de apoyos, hasta bloqueo del apoyo por sedimento-corrosión.	

Fuente: El Autor

Se agregan imágenes ilustrativas de ejemplos de apoyos reales para las descripciones y una mejor comprensión.

Para la validación y realización del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) se recurre a 5 matrices, las cuales son utilizadas para que los profesionales indiquen cuál componente y tipo de daño posee mayor importancia según su conocimiento y criterio, comparándolos todos entre sí.

Se considera cada criterio definido en la columna y se compara directamente con el criterio ubicado en la fila.

- Donde se asignan con un valor binario de 0 y 1, correlacionando los tipos de daños entre ellos.
- Se indica el valor de 1 cuando el daño de la columna izquierda se considera más importante que el daño de la fila superior con el cual se está comparando.

- Por ejemplo, si el tipo de daño 1 se considera más importante que el tipo de daño 2, el valor de A es igual a 1 y por ende el valor de B es 0.

Para apoyos elastoméricos se utilizaron las siguientes 2 matrices:

Tabla 12. Cálculo para componente: cuerpo principal Neopreno/elastoméricos

Neopreno	Deformación	Desplazamiento	Sumatoria horizontal	Peso
Deformación	1	A	1+A	(1+A)/3
Desplazamiento	1-A	1	(1-A)+1	((1-A)+1)/3
Suma Vertical			3	1

Fuente: El Autor

Tabla 13. Cálculo para componente: sistema de Anclaje/Elastoméricos

Anclaje	Rotura de pernos	Corrosión: pernos / placas	Confinamiento sist. Anclaje	Sumatoria horizontal	Peso
Rotura de pernos	1	A	B	1+A+B	(1+A+B)/6
Corrosión: pernos / placas	1-A	1	C	(1-A)+1+C	((1-A)+1+C)/6
Confinamiento sist. Anclaje	1-B	1-C	1	(1-B)+(1-C)+1	((1-B)+(1-C)+1)/6
Suma Vertical				6	1

Fuente: El Autor

Para apoyos mecánicos de acero se utilizaron las siguientes 2 matrices:

Tabla 14. Cálculo para componente: aparato/cuerpo del apoyo

Aparato de apoyo	Desplazamiento	Corrosión (anclaje y aparato)	Inclinación	Sumatoria horizontal	Peso
Desplazamiento	1	A	B	1+A+B	(1+A+B)/6
Corrosión (anclaje y aparato)	1-A	1	C	(1-A)+1+C	((1-A)+1+C)/6
Inclinación	1-B	1-C	1	(1-B)+(1-C)+1	((1-B)+(1-C)+1)/6
Suma Vertical				6	1

Fuente: El Autor

Tabla 15. Cálculo para componente: Anclaje (sistema de anclaje)

Anclaje	Rotura de pernos	Confinamiento (Sist. Acla)	Sumatoria horizontal	Peso
Rotura de pernos	1	A	1+A	$(1+A)/3$
Confinamiento (Sist. Anclaje)	1-A	1	$(1-A)+1$	$((1-A)+1)/3$
Suma Vertical			3	1

Fuente: El Autor

Para el caso del componente 3 “General de Limpieza y mantenimiento”, al contar con un solo tipo de daño, se tomará en cuenta solamente la estimación del peso del componente 3 para los dos indicadores.

Del mismo modo para la estimación del peso para cada componente, se solicita la valoración en la siguiente matriz:

Tabla 16. Cálculo del peso para cada componente/ambos indicadores

Componente	Cuerpo Principal o aparato	Sistema de Anclaje	General: limpieza y mantenimiento	Sumatoria horizontal	Peso/ componente
1.Cuerpo principal o aparato	1	A	B	1+A+B	$(1+A+B)/6$
2.Sistema de Anclaje	1-A	1	C	$(1-A)+1+C$	$((1-A)+1+C)/6$
3.General: limpieza y mantenimiento	1-B	1-C	1	$(1-B)+(1-C)+1$	$((1-B)+(1-C)+1)/6$
Suma Vertical				6	1

Fuente: El Autor

Posterior a la validación realizada, se analizan los resultados para todos los casos, tomando como resultado final las coincidencias mayoritarias al 75% entre los profesionales en todos los casos, se resumen y presentan los resultados obtenidos para los indicadores de daño propuestos.

De esta manera se extrae de la experiencia y el conocimiento que han desarrollado los ingenieros, alcanzando el objetivo de ponderar los valores necesarios en la obtención de los indicadores, de acuerdo con funcionalidad e importancia estructural de los componentes y el nivel de afectación estructural de los tipos de daño analizados, ponderando los porcentajes de acuerdo a su criterio, conocimiento y experiencia ingenieril.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 Resultados

4.1.1 Fuentes de información, procesamiento y análisis de datos

Se toma información de la base de datos del PEEP, del total de los 1600 puentes que están compuestos por 2204 superestructuras, de las cuales para este estudio se analizaron solamente estructuras simplemente apoyadas, incluyendo estructuras tipo cerchas en sus diferentes configuraciones y tipos.

La base de datos cuenta con información de puentes con las siguientes características de acuerdo con el tipo de superestructura:

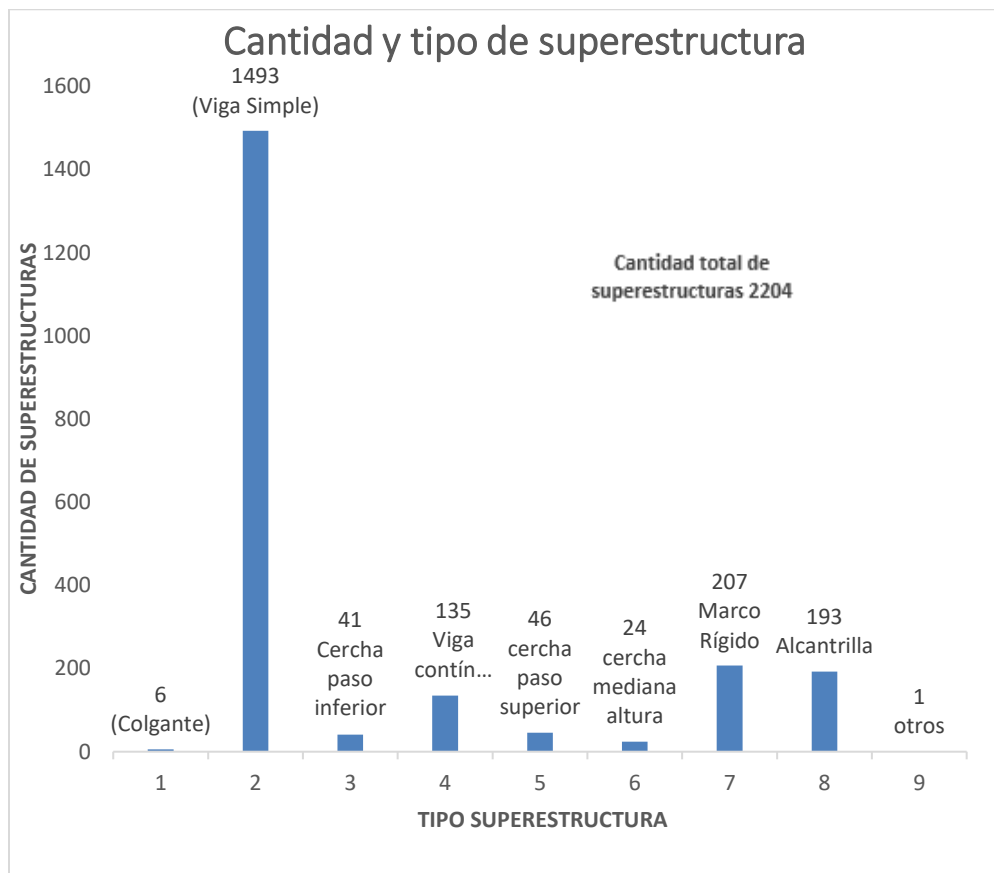


Figura 43. Cantidad y tipo de superestructuras ingresadas en el inventario nacional
Fuente el autor

Se revisa información y se seleccionan puentes con superestructuras tipo viga simple, que cuenten con información de apoyos clara y completa. Se seleccionan 55 puentes simplemente apoyados con información completa, para revisión de los tipos de apoyo, daños asignados, daños observados y la información existente.

La cantidad de puentes utilizados y ruta nacional donde se ubican se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 17. Cantidad de puentes de acuerdo a la ruta

Número de Ruta	1	2	4	6	10	14	18	21	23	27	32	34	35	36	140	219	250	160	141	314
Cantidad de puentes	13	5	3	3	6	1	1	1	1	4	3	2	1	4	1	2	1	1	1	1





Fuente: El Autor

4.1.2 Tipos de apoyos de puentes de Costa Rica

El tipo de apoyo más utilizado en puentes de rutas nacionales utilizados en Costa Rica son los apoyos de neopreno, en este estudio conforman aproximadamente el 50%, adicionalmente existen varios tipos de apoyos de acero, instalados en puentes de acero y concreto, pero en menor cantidad.

La variedad de tipos de apoyos se presenta en la siguiente tabla resumen, así como su representatividad en este estudio.








Tabla 18. Tipos de apoyo





Tipos de apoyo usados en puentes de Costa Rica			
Tipo de apoyo	Nombre del puente, ruta y kilómetro de ubicación	Representatividad En este estudio	
Neopreno Simple	 Rio La Vieja RN 141, km 41.46	 Puente Q Sin Nombre RN01 km 65.87  Q Mona RN 34 km 32.918	27.27%
	 Rio Costa Rica RN 32 km 54.083		

Tipos de apoyo usados en puentes de Costa Rica

Tipo de apoyo	Nombre del puente, ruta y kilómetro de ubicación	Representatividad En este estudio
Acero fijo	 <p>Rio Higuerón RN km 155.875</p>  <p>Rio abangares RN 01 km 126.445</p>	8.18%
Acero móvil (Balancín)	 <p>Rio Aranjuez RN 01 km 109.965</p>  <p>Rio Javillos RN 141 km 67.48</p>	10.91%
Acero Móvil (Rodillo)	 <p>PSS RN23 RN01 km 93.98</p>  <p>Q Yerbabuena RN219 km 17.285</p>	4.55%
Acero fijo	 <p>Rio Grande RN 01 km 47.64</p>  <p>Q Yerbabuena RN219 km 17.285</p>	3.64%

Tipos de apoyo usados en puentes de Costa Rica

Tipo de apoyo	Nombre del puente, ruta y kilómetro de ubicación		Representatividad En este estudio
Acero rotación-fija	 <p>Rio Cacao RN 02 km 174,715</p>	 <p>Rio abangares RN 01 km 126.445</p>	11.82%
Acero fijo	 <p>Rio Tres Amigos RN 250 km 8.93</p>	 <p>PSS RN23 RN01 km 93.98</p>	1.82%
Acero placas-fijo	 <p>Rio General RN 02 km 150.804</p>	 <p>Rio Viejo RN km 314</p>	9.09%
Acero rodillos Tipo "Roller"	 <p>Rio Guacimal RN01 km 111.99</p>		0.91%

Tipos de apoyo usados en puentes de Costa Rica		
Tipo de apoyo	Nombre del puente, ruta y kilómetro de ubicación	Representatividad En este estudio
Apoyos de Deslizamiento (Sliding Bearings)	 Rio Corobicí A RN 01 km 170.535	 Rio Corobicí B RN 01 km 170.535
Elastoméricos reforzados	 PSSRN 21 RN01 km 212.695	 Rio General RN 321

Fuente: El autor

4.1.3 Tipos de daños presentes en apoyos de puentes de Costa Rica

Posterior a la clasificación de los tipos de apoyos de los puentes seleccionados, se procedió con la revisión detallada de los daños encontrados en los apoyos, obteniendo como resultado información de los principales daños de mayor incidencia en los apoyos de los puentes analizados, el detalle de acuerdo con el tipo de apoyo y daño se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 19. Daños frecuentes en apoyos

Daños recurrentes presentes en apoyos de puentes de Costa Rica		
Material	Tipo de apoyo	Descripción del daño
Elastoméricos	Neopreno simple o reforzado	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación lateral de almohadilla • Deformación vertical-aplastamiento de almohadilla • Desplazamiento del apoyo. • Pernos de anclaje deformados • Pernos de anclaje oxidados • Pernos de anclaje corroídos • Faltante de tuercas en pernos de anclaje • Pernos de anclaje cortados • Oxidación y o corrosión en placa superior de fijación • Agrietamiento de la almohadilla de neopreno (Rotura) • Oxidación en almohadilla de neopreno • Pérdida de confinamiento del perno de anclaje (concreto pedestal)

Daños recurrentes presentes en apoyos de puentes de Costa Rica		
Material	Tipo de apoyo	Descripción del daño
Elastoméricos	Neopreno simple o Reforzado / Restrungido Sin placa superior	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación lateral de almohadilla • Deformación vertical-aplastamiento de almohadilla • Desplazamiento del apoyo. • Pernos de anclaje a las vigas o bastión deformados • Pernos de anclaje oxidados • Pernos de anclaje corroídos • Faltante de tuercas en pernos de anclaje • Pernos de anclaje cortados • Oxidación y o corrosión en fijación lateral de vigas • Agrietamiento de la almohadilla de neopreno • Oxidación en almohadilla de neopreno • Pérdida de confinamiento del perno de anclaje (concreto pedestal)
Acero móvil	Rodillo	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación del rodillo • Corrosión del rodillo • Obstrucción/acumulación de material alrededor del rodillo • Desplazamiento • Pérdida de tuercas en el aparato de apoyo o pernos de anclaje. • Oxidación pernos de anclaje • Corrosión pernos de anclaje • Corrosión / oxidación placas superior e inferior
Acero móvil	Balancín	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación del apoyo • Corrosión del apoyo • Inclinación permanente no recuperada • Oxidación y corrosión pernos de anclaje y tuercas • Deformación pernos de anclaje de fijación • Pérdida de tuercas del apoyo • Obstrucción/acumulación de material alrededor del apoyo
Acero fijo	Patín/rockers	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación del apoyo • Corrosión del apoyo • Inclinación permanente no recuperada • Oxidación y corrosión pernos de anclaje y tuercas • Deformación pernos de anclaje de fijación • Pérdida de tuercas del apoyo
Acero fijo	Placas	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de las placas • Corrosión de las placas • Obstrucción/acumulación de material alrededor o en medio de las placas • Desplazamiento • Pérdida de tuercas en el aparato de apoyo o pernos de anclaje. • Oxidación pernos de anclaje • Corrosión pernos de anclaje • Deformación perno de fijación/ anclaje
Acero fijo	Barra cuadrada	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de la barra • Corrosión en la barra • Oxidación en pernos de anclaje • Corrosión en pernos de anclaje • Oxidación/corrosión en placas superior e inferior

Daños recurrentes presentes en apoyos de puentes de Costa Rica		
Material	Tipo de apoyo	Descripción del daño
	Barra cuadrada	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de tuercas de fijación

Fuente: El Autor

4.1.4 Comparación de normativa/metodología costarricense con metodologías internacionales

Se compararon diferentes metodologías de evaluación de apoyos de puentes con la metodología utilizada en Costa Rica, obteniendo resultados muy variables en cuanto a escala de valoración de daños, grados de daños y tipología de daños para apoyos, el resumen se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 20. Comparación Normativa nacional con normativa internacional

Comparación de metodologías/normativa de evaluación de daños en apoyos				
Manual/guía/norma	Tipos de apoyo que evalúa	Tipos de daños evaluados en apoyos	Escalas de daño	País
Manual de Inspecciones del MOPT 2007	<ul style="list-style-type: none"> • Todos 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotura de pernos • Deformación extraña • Inclinación • Desplazamientos 	1-5	Costa Rica
Norma ADIF (Administrador de Infraestructura Ferroviaria) Plataforma. Inspección Principal de puentes	<ul style="list-style-type: none"> • Neopreno/ Neopreno zunchado 	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento/ Pérdida • Falta de contacto apoyo estructura • Deformaciones, abombamiento • Agrietamiento o roturas • Suciedad • Deterioro/ Rotura de mesetas • Bloqueo (pérdida de movilidad) 	1-4	Madrid, España
	<ul style="list-style-type: none"> • Pot 	<ul style="list-style-type: none"> • Bloqueo, perdida de movilidad • Carrera de movimientos fuera de la bandeja • Pérdida de elastoméricos confinado • Suciedad • Corrosión • Teflón visto en apoyos • Rotura o pérdida de tornillos de fijación 	1-4	
	<ul style="list-style-type: none"> • Lámina de plomo 	<ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento 	1-4	
	<ul style="list-style-type: none"> • Metálico 	<ul style="list-style-type: none"> • Bloqueo o estancamiento de apoyo móvil • Suciedad • Desplazamiento/ giros de rodillos de apoyos • Corrosión • Rotura o perdida de tornillos de fijación 	1-4	

Comparación de metodologías/normativa de evaluación de daños en apoyos				
Manual/guía/norma	Tipos de apoyo que evalúa	Tipos de daños evaluados en apoyos	Escalas de daño	País
Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la red de Carreteras del Estado	<ul style="list-style-type: none"> Todos 	<ul style="list-style-type: none"> Degradación Despegue Pérdida de la posición teórica original. Exceso de compresión Exceso de deformaciones o movimientos Pátinas Rotura Defectos en la base de apoyo 	-	España
Manual para inspecciones rutinarias de puentes y alcantarillas en servicio. 2007	<ul style="list-style-type: none"> Neopreno, Hierro, madera, fieltro o PB (pag22) 	<ul style="list-style-type: none"> Deformaciones Desplazamientos horizontales excesivos Rotura 	1-3 Bueno, regular, malo	Buenos aires, Argentina
Guía para la inspección de puentes, 2019	<ul style="list-style-type: none"> Apoyos de neopreno. Acero en general 	<ul style="list-style-type: none"> Deformación y distorsión de apoyos neopreno Desconches debajo de apoyos por falla del concreto Lubricación en apoyos tipo rodillos Corrosión Inclinación Faltante de anclajes o pernos Limpieza 	1-4 Baja, moderada, alta, severa.	Perú
Bridge Inspection Procedure Manual, Second Edition June 2007	<ul style="list-style-type: none"> Apoyos elastoméricos 	<ul style="list-style-type: none"> Agrietamiento Desalineamiento Corrosión pernos o pasadores Abultamientos Deformaciones por cortante Faltante de tuercas 	1-4	New South Wales, Australia
	<ul style="list-style-type: none"> Rodillos, balancines, sliding 	<ul style="list-style-type: none"> Lubricación Corrosión sin picaduras Acumulación escombros Inclinación/alineamiento Confinamiento pernos anclaje Llaves de corte 	1-4	
	<ul style="list-style-type: none"> Cojinetes de olla, pero no cojinetes elastoméricos 	<ul style="list-style-type: none"> Desplazamientos verticales u horizontales Agrietamiento de miembros Fuga de caucho 	1-4	
Manual para la Inspección visual de Puentes y Pontones	<ul style="list-style-type: none"> Balancín Rodillos Placas de neopreno 	<ul style="list-style-type: none"> Lubricación en apoyos móviles Limpieza Corrosión en apoyos de acero Desplazamiento 	-	Bogotá, Colombia

Comparación de metodologías/normativa de evaluación de daños en apoyos				
Manual/ guía/norma	Tipos de apoyo que evalúa	Tipos de daños evaluados en apoyos	Escalas de daño	País
	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyos fijos • Basculante 	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación excesiva • Descomposición 		
Guía para Inspección de Puentes	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo fijo Neopreno • Apoyo deslizante de neopreno • Apoyo deslizante de acero • Apoyo Roller Acero • Apoyo Rocker Acero • Apoyo articulado de acero • Apoyo articulado Concreto • Apoyo Rocker de Concreto • Apoyo Eslabón y Pin (Vigas Gerber) 	<ul style="list-style-type: none"> • Daños en tuercas, ajuste • Limpieza/escombros en zona de apoyos • Deformación/rotura en placas de apoyos 	1-5	Perú
Inspección y Evaluación de Puentes de Concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Placas elastoméricas 	<ul style="list-style-type: none"> • Abultamiento • Deformación • Rompimiento, desgarramiento • Corte y falla por corrimiento • Limpieza 	1-5	México
Sistema de administración de Puentes (SIAP) Instituto Mexicano del Transporte.	<ul style="list-style-type: none"> • Mecedora de acero • Mecedora de concreto • Rodillos metálicos • Neopreno • Neopreno con acero y teflón 	<ul style="list-style-type: none"> • Buen estado • Mal estado • No existen 	1-3	Querétaro, México

Fuente: El Autor

4.1.5 Estado de los apoyos de acuerdo a la calificación aplicada según normativa nacional

De acuerdo con los lineamientos del Manual de Inspecciones del MOPT vigentes en Costa Rica la escala de evaluación de daños contempla 4 tipos de patologías de daños, las cuales definen 5 niveles de severidad de daño de acuerdo con su extensión y estado de deterioro, esto para todos los tipos de apoyos existentes en puentes en el país, no se especifica tipo de apoyo. La descripción estos se detallan a continuación.

1. Rotura de pernos
2. Inclinación
3. Deformación extraña
4. Desplazamientos

Estos 4 tipos de daños se evalúan actualmente de acuerdo con la siguiente escala de valoración de daños:

Tabla 21. Escalas de valoración de daños

Grado de daño	Rotura De Pernos
1	-Sin daños en pernos.
2	-La tuerca no está en su posición original.
3	-El perno de anclaje esta deformado.
4	-El perno de anclaje se desplazó > 5 cm.
5	-El perno completamente cortado.

Grado de daño	Desplazamientos
1	-Sin desplazamiento.
2	-No aplica para desplazamientos
3	-El apoyo esta ligeramente desplazado.
4	-No aplica para desplazamientos
5	-El apoyo desplazo > 5 cm de posición original.

Grado de daño	Deformación Extraña
1	-Sin deformaciones.
2	-Ligera deformación.
3	-Todavía funciona.
4	-Considerable deformación y debe reemplazarse.
5	-Completamente deforme y no funciona.

Grado de daño	Inclinación
1	-Sin inclinación.
2	-No aplica para inclinación
3	-Ligeramente inclinado.
4	-No aplica para inclinación
5	-No aplica para inclinación

Fuente: MOPT, 2007

Se han recopilado las calificaciones asignadas a los apoyos de los 55 puentes analizados, se realizó un análisis de las calificaciones recibidas debidas a los daños establecidos en MOPT (2007), y se confirman las calificaciones asignadas con las imágenes registradas para todos los apoyos.

De la totalidad de puentes analizados, el 50% aproximadamente ha recibido una calificación perfecta lo cual indica que no presentan daños, sin embargo, se observa que apoyos con calificaciones perfectas, presentan daños significativos en algunos casos, omitiendo daños importantes no contemplados en las escalas de valoración de daños.

El resumen de la cantidad de puentes y suma de calificaciones recibidas se muestra en el siguiente gráfico:

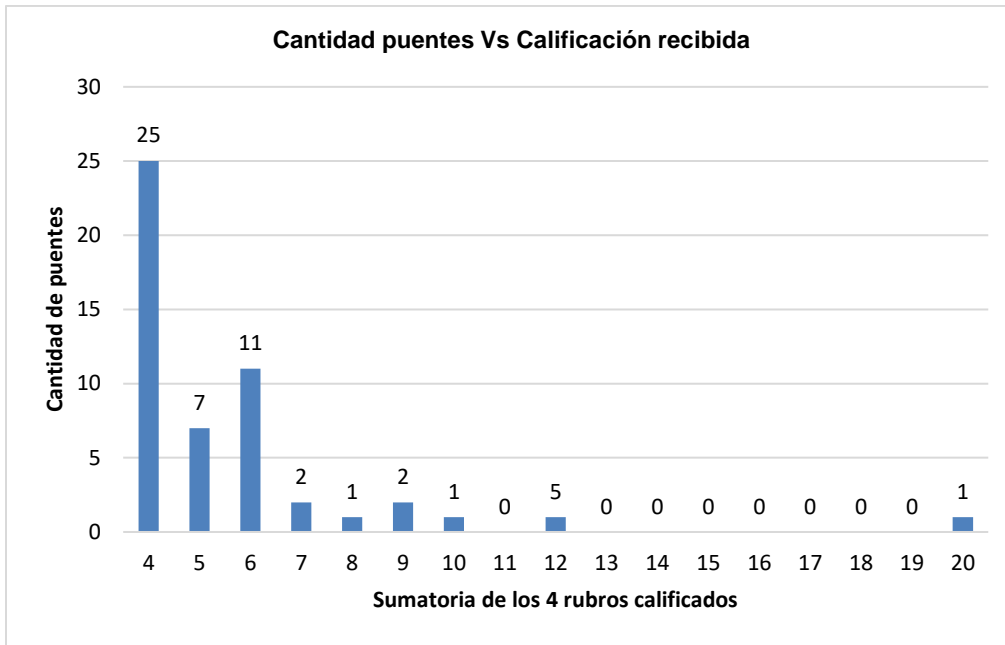


Figura 44. Calificaciones de los apoyos según MOPT (2007)
Fuente: Autor

Del gráfico anterior Figura 44, se puede observar que la suma de las calificaciones de cada rubro para 25 puentes es de 4, correspondiendo a apoyos en perfectas condiciones, sin embargo después de revisar con detalle cada caso por separado se observó que los apoyos presentan daños no considerados, que podrían comprometer la seguridad del puente ante una carga de sismo que desplace la estructura y que los apoyos por su mala condición permitan desplazamientos inadecuados y colapsen las superestructuras.

4.1.6 Daños recurrentes encontrados en apoyos de puentes de rutas nacionales.

De acuerdo con la revisión realizada, para cada tipo de apoyo se encontraron daños recurrentes en sus componentes, que presentan diferentes niveles de severidad y extensión, que son importantes debido a que generan el deterioro y la obsolescencia de muchos de los apoyos, por lo que se consideró necesario realizar un registro de estos daños repetitivos, los tipos de daño que afecten y pongan en compromiso el buen estado y funcionamiento adecuado de los apoyos, y por ende de los puentes en general.

El resumen de los tipos de daño de acuerdo con el material, tipo de apoyo se describen en la siguiente tabla resumen:

Tabla 22. Daños típicos en apoyos, puentes de Costa Rica

Material	Tipo de apoyo	Descripción de daños típicos encontrados
Elastomérico	Neopreno simple o reforzado	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación lateral de almohadilla • Deformación vertical-aplastamiento de almohadilla • Pernos de anclaje oxidados • Pernos de anclaje corroídos • Oxidación y o corrosión en placa superior de fijación • Agrietamiento de la almohadilla de neopreno (Rotura) • Oxidación en almohadilla de neopreno • Pérdida de confinamiento del perno de anclaje (concreto pedestal)
Elastomérico	Neopreno simple o Reforzado / Restringido Sin placa superior	<ul style="list-style-type: none"> • Deformación lateral de almohadilla • Deformación vertical-aplastamiento de almohadilla • Pernos de anclaje oxidados • Pernos de anclaje corroídos • Oxidación y o corrosión en fijación lateral de vigas • Agrietamiento de la almohadilla de neopreno • Oxidación en almohadilla de neopreno • Pérdida de confinamiento del perno de anclaje (concreto pedestal)
Acero (móvil)	Rodillo	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación del rodillo • Corrosión del rodillo • Obstrucción/acumulación de material alrededor del rodillo • Pérdida de tuercas en el aparato de apoyo o pernos de anclaje. • Oxidación pernos de anclaje • Corrosión pernos de anclaje • Corrosión / oxidación placas superior e inferior
Acero(móvil)	Balancín	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación del apoyo • Corrosión del apoyo • Oxidación y corrosión pernos de anclaje y tuercas • Pérdida de tuercas del apoyo • Obstrucción/acumulación de material alrededor del apoyo
Acero (fijo)	Patín/rockers	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación del apoyo • Corrosión del apoyo • Oxidación y corrosión pernos de anclaje y tuercas • Pérdida de tuercas del apoyo
Acero (fijo)	Placas	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de las placas • Corrosión de las placas • Obstrucción/acumulación de material alrededor o en medio de las placas • Pérdida de tuercas en el aparato de apoyo o pernos de anclaje. • Oxidación pernos de anclaje • Corrosión pernos de anclaje
Acero (fijo)	Barra cuadrada	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de la barra • Corrosión en la barra • Oxidación en pernos de anclaje • Corrosión en pernos de anclaje • Oxidación/corrosión en placas superior e inferior • Pérdida de tuercas de fijación

Fuente: El Autor

4.1.7 Propuesta de estructura para los indicadores de valoración de daños de apoyos.

De acuerdo con el deterioro observado en los puentes y los tipos de daño utilizadas en normativa internacional, se propone la siguiente estructura, evaluando los componentes tales como cuerpo principal (aparato de apoyo), el sistema de anclaje y de manera general la limpieza de la zona de apoyos y mantenimiento de estos, en el siguiente esquema se resume la estructura planteada para el desarrollo de los indicadores de daños, con el respectivo tipo de daño para cada componente.

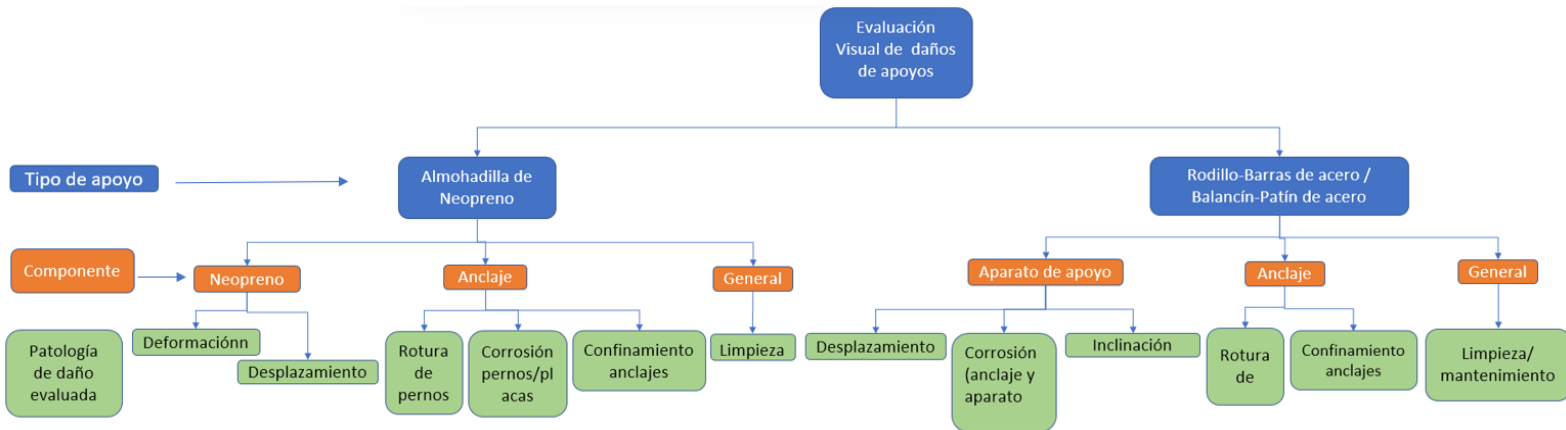


Figura 45. Estructura propuesta para estimación de Indicadores

Fuente: Autor

Tabla 23. Resumen estructura de evaluación propuesta

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Indicador
Tipo de apoyo	Componente	Tipo de daño evaluada	
Elastomérico	Neopreno	Deformación	IDAE Almohadilla de Neopreno
		Desplazamiento	
	Sistema de anclaje	Rotura de pernos	
		corrosión pernos/placas	
		Confinamiento anclajes	
General	Limpieza/ mantenimiento		
Mecánico de acero	Aparato de apoyo	Desplazamiento	IDAM Rodillo-Barras de acero / Balancín-Patín de acero
		Corrosión (sist. Anclaje y aparato)	
		Inclinación	
	Anclaje	Rotura de pernos	
		Confinamiento anclajes	
	General	Limpieza/mantenimiento	

Fuente: El Autor

Para cada tipo de apoyo y componente, se proponen los tipos de daño para su evaluación. En la escala de valoración de daños se establecen 5 grados de severidad, de 1 a 5, donde 1 es una condición excelente y 5 representa una condición deficiente.

El detalle de las escalas de valoración para los dos tipos de apoyos se describe a continuación:

Apoyo Almohadillas de neopreno

Tabla 24. Escala de valoración de daños para apoyos elastoméricos

Anclaje

Grado de daño	Rotura de pernos
1	-Sin daños en pernos.
2	-La tuerca no está en su posición original/faltante de tuercas
3	-El perno de anclaje esta deformado.
4	-El perno de anclaje se desplazó > 5 cm.
5	-El perno completamente cortado.

Neopreno

Grado de daño	Deformación
1	-Sin deformaciones.
2	-Ligera deformación lateral o aplastamiento
3	-Deformación en una dirección/ aplastamiento/ agrietamiento
4	-Deformación en dos direcciones/agrietamiento/oxidación.
5	-Completamente deforme y no funciona.

Neopreno

Grado de daño	Desplazamientos
1	-Sin desplazamiento.
2	-El apoyo esta ligeramente desplazado.
3	-El apoyo se encuentra desplazado/rotado.
4	-Falta de contacto apoyo-viga
5	-El apoyo desplazo > 5 cm de posición original.

Anclaje

Grado de daño	Corrosión-oxidación pernos anclaje/placas
1	-Sin daños en pernos.
2	-Oxidación en pernos / tuercas/placas
3	-Inicios de corrosión pernos/tuercas/placas
4	-Reducción de espesor por corrosión
5	-Pérdida de sección en pernos/placas por corrosión

Anclaje

Grado de daño	Confinamiento del sistema de anclaje
1	-Sin daños en pedestal/viga cabezal
2	-Arietamiento zona de apoyo / pedestal
3	-Grietas y desprendimiento concreto
4	-Desprendimiento concreto y acero expuesto
5	-Pérdida de la base / confinamiento pernos

General

Grado de daño	Limpieza
1	-Sin filtraciones ni sedimento
2	-Filtraciones / humedad en apoyos
3	-Crecimiento de maleza en zona de apoyos / sedimento
4	-Sedimento que obstruye completamente apoyos
5	-No se observan apoyos por obstrucción

Fuente: El autor

Apoyos mecánicos de acero: Balancín y Patín/ Rodillos y barras rectangulares

Tabla 25. Escala de valoración de daños para apoyos mecánicos de acero

Anclaje

Grado de daño	Rotura de pernos
1	-Sin daños en pernos de anclaje.
2	-La tuerca no está en su posición original / faltante de tuercas
3	-El perno de anclaje ligeramente deformado. Menos de 5cm
4	-El perno de anclaje se desplazó > 5 cm.
5	-El perno completamente cortado.

Cuerpo del apoyo

Grado de daño	Desplazamientos
1	-Sin desplazamiento.
2	-El apoyo esta ligeramente desplazado.
3	-El apoyo presenta desalineamiento
4	-Desplazamiento entre 2-5cm
5	-El apoyo desplazo > 5 cm de posición original.

Anclaje / Cuerpo del apoyo

Grado de daño	Corrosión pernos anclaje/cuerpo del apoyo
1	-Sin daños en pernos.
2	-Oxidación en pernos / tuercas/placas
3	-Inicios de corrosión pernos/tuercas/placas
4	-Reducción de espesor/sección por corrosión
5	-Pérdida de sección en pernos/ tuercas/ placas por corrosión

Anclaje

Grado de daño	Confinamiento anclajes en concreto
1	-Sin daños en pedestal/viga cabezal
2	-Agrietamiento zona de apoyo/pedestal
3	-Grietas y desprendimiento concreto
4	-Desprendimiento concreto y acero expuesto
5	-Pérdida de apoyo / pérdida confinamiento pernos

General

Grado de daño	Limpieza
1	-Sin filtraciones ni sedimento
2	-Faltante lubricación en pasadores / humedad en zona
3	-Suciedad y filtraciones en zona de apoyo
4	-Bloqueo del apoyo por sedimentos o deterioro (corrosión)
5	-No se observan los apoyos por obstrucción

Cuerpo del apoyo

Grado de daño	Inclinación
1	-Sin inclinación.
2	-Ligeramente inclinado
3	-Inclinación excesiva.
4	-Inclinación excesiva/fractura o deformación de componentes
5	-Inclinación excesiva/choque vigas con pared cabezal

Fuente: El Autor

4.1.8 Estimación del peso por componente y tipo de daño:

Como resultado de la validación por parte de profesionales expertos en la materia, se obtienen los siguientes resultados.

Para cada uno de los componentes y sus respectivos tipos de daño según el tipo de apoyo se detallan los resultados obtenidos:

Para apoyos elastoméricos:

Cuerpo principal del apoyo:

Tabla 26. Resultado cálculo para componente: Neopreno/elastoméricos.

Neopreno	Deformación	Desplazamiento	Sumatoria horizontal	Peso
Deformación	1	0	1	0,33
Desplazamiento	1	1	2	0,67
		Suma Vertical	3	1

} Distribución fraccionada

Fuente: El autor

Sistema de anclaje:

Tabla 27. Resultado cálculo para componente: Anclaje/Elastoméricos

Sistema de Anclaje	Rotura de pernos	Corrosión: pernos / placas	Confinamiento sist. Anclaje	Sumatoria horizontal	Peso
Rotura de pernos	1	1	1	3	0,5
Corrosión: pernos / placas	0	1	0	1	0,17
Confinamiento sist. Anclaje	0	1	1	2	0,33
			Suma Vertical	6	1

} Distribución fraccionada

Fuente: El autor

Para mantenimiento y limpieza:

Tabla 28. Resultado cálculo para componente: Limpieza/Elastoméricos

General: limpieza y mantenimiento	General: limpieza y mantenimiento	Sumatoria horizontal	Peso
General: limpieza y mantenimiento	1	1	1
	Suma Vertical	1	1

Fuente: El autor

Para apoyos mecánicos de acero:

Para el cuerpo principal o aparato de apoyo:

Tabla 29. Resultado cálculo para componente: aparato de apoyo

Cuerpo del apoyo	Desplazamiento	Corrosión (anclaje y aparato)	Inclinación	Sumatoria horizontal	Peso
Desplazamiento	1	1	1	3	0,5
Corrosión (anclaje y aparato)	0	1	0	2	0,17
Inclinación	0	1	1	1	0,33
Suma Vertical				6	1

} Distribución fraccionada

Fuente: El autor

Para el sistema de anclaje se obtuvo:

Tabla 30. Resultado cálculo para componente: Anclaje

Anclaje	Rotura de pernos	Confinamiento (Sist. Aclaje)	Sumatoria horizontal	Peso
Rotura de pernos	1	1	2	0,67
Confinamiento (Sist. Aclaje)	0	1	1	0,33
Suma Vertical			3	1

} Distribución fraccionada

Fuente: El Autor

Para el mantenimiento mecánico y limpieza:

Tabla 31. Resultado cálculo para componente: Limpieza general

General: limpieza y mantenimiento	General: limpieza y mantenimiento	Sumatoria horizontal	Peso
General: limpieza y mantenimiento	1	1	1
Suma Vertical		1	1

Fuente: El autor

Del mismo modo para la estimación del peso por componentes, se utilizó la siguiente matriz:

Tabla 32. Resultado del cálculo del peso para cada componente

Componente	Cuerpo principal / aparato	Sistema de Anclaje	General: limpieza y mantenimiento	Sumatoria horizontal	Peso
Cuerpo principal / aparato	1	1	1	3	0,5
Sistema de Anclaje	0	1	1	2	0,33
General: limpieza y mantenimiento	0	0	1	1	0,17
Suma Vertical				6	1

} Distribución fraccionada

Fuente: El autor

En las siguientes tablas se muestra un resumen de las ponderaciones a utilizar para el cálculo de cada indicador IDEA y IDAM.

Para apoyos elastoméricos

Tabla 33. Resultado Coeficientes para IDAE

Apoyos elastoméricos					
Componente	Peso para cada componente		Patología	Peso/patología de daño	
Cuerpo principal	W_{C1}	0.50	Deformación	w_{p1E}	0.33
			Desplazamiento	w_{p2E}	0.67
Sistema de anclaje	W_{C2}	0.33	Rotura de pernos	w_{p3E}	0,5
			Corrosión: pernos / placas	w_{p4E}	0,17
			Confinamiento sist. Anclaje	w_{p5E}	0,33
Limpieza	W_{C3}	0.17	Limpieza	w_{p6E}	1

Fuente: el Autor

Para apoyos Mecánicos de acero

Tabla 34. Resultado Coeficientes-Pesos para IDAM

Apoyos Mecánicos de acero					
Componente	Peso para cada componente		Patología	Peso/patología de daño	
Cuerpo principal	W_{C1}	0.50	Desplazamiento	w_{p1M}	0.50
			Corrosión (anclaje y aparato)	w_{p2M}	0.17
			Inclinación	w_{p3M}	0.33
Sistema de anclaje	W_{C2}	0.33	Rotura de pernos	w_{p4M}	0.67
			Confinamiento sist. Anclaje	w_{p5M}	0.33
Limpieza	W_{C3}	0.17	Limpieza	w_{p6M}	1

Fuente: el Autor

4.1.9 Ponderación final:

Las ecuaciones resultantes para el cálculo de los indicadores de deterioros para apoyos se resumen a continuación:

4.1.10 Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos elastoméricos:

$$IDA_E = (0.33 * Gr_{p1E} + 0.67 * Gr_{p2E}) * 0.50 + (0.50 * Gr_{p3E} + 0.17 * Gr_{p4E} + 0.33 * Gr_{p5E}) * 0.33 + (1 * Gr_{p6E}) * 0.17$$

Recordando, los Gr_{piE} corresponde a los valores del grado de daño asignado a cada patología i, de acuerdo con la escala de valoración de 1 a 5 fijados durante la inspección realizada en campo en apoyos elastoméricos.

4.1.11 Ecuación para el cálculo del indicador para apoyos mecánicos de acero:

$$IDA_M = (0.50 * Gr_{p1M} + 0.17 * Gr_{p2M} + 0.33 * Gr_{p3ME}) * 0.50 + (0.33 * Gr_{p4M} + 0.67 * Gr_{p5M}) * 0.33 + (1 * Gr_{p6M}) * 0.17$$

De manera similar, los Gr_{piM} corresponde a los valores del grado de daño asignado a cada tipo de daño i, de acuerdo con la escala de valoración de 1 a 5 fijados durante la inspección realizada en campo en apoyos mecánicos de acero.

De acuerdo con el resultado del valor del índice de deterioro de apoyo IDA obtenido, se propone diferentes niveles de intervención para cada condición, basado en consulta a expertos, bibliografía y experiencia en la materia:

Tabla 35. Niveles de intervención para cada IDA

Calificación	Condición	Descripción general	Descripción detallada	Atención
1 – 2	Satisfactoria	Sin daños visibles	No se nota ningún deterioro o el deterioro es mínimo.	Mantenimiento cíclico o rutinario. Que tiene como objetivo preservar y retrasar el deterioro con acciones mínimas programadas.
2 – 3	Aceptable	Daños menores, deterioro inicial en componentes principales.	Los componentes presentan deterioro menor.	Mantenimiento rutinario o por condición. Atenciones menores, así como atenciones a daños conocidos y puntuales.
3 – 4	Inaceptable	Daños en componentes principales, deterioro de forma localizada	Apoyos estables con elementos de acero con reducción de sección por corrosión, deformación o desplazamiento importante en apoyos, Estos daños conducen a un pronto estado deficiente	Mantenimiento por condición. Actividades en el mediano plazo de atención a elementos principales y secundarios, en respuesta a los daños conocidos de acuerdo a su magnitud y extensión.
4 – 5	Deficiente	Daños críticos, deterioro avanzado en elementos principales que puede comprometer la seguridad estructural.	Pérdida de parte de elementos por corrosión, fractura de placas, deformaciones excesivas, pernos de anclajes cortados o deformados en apoyos, pérdida de confinamiento.	Las reparaciones o rehabilitación de los elementos deben ser realizadas en el corto plazo, así como señales de advertencia. Implica un trabajo importante para restaurar la integridad estructural.

Fuente: el Autor

4.2 Análisis.

- Durante la selección y clasificación de los puentes a utilizar en este estudio, se identificó una condición especial en la información de los datos que puede generar de manera indirecta daños en la estructura, esto se refiere a la falta de apoyos en los puentes cuando las vigas de concreto o acero se apoyan directamente sobre los bastiones, sin ningún dispositivo de apoyo. Daños como deformación en alas inferiores de vigas de acero, despunte del concreto de las vigas o en los bordes de los asientos de los bastiones donde se apoyan las vigas, son unos de los daños observados en puentes debido a la falta de dispositivos de apoyo. Adicionalmente al no existir algún dispositivo de apoyo que disipe energía durante sismos y así disminuyan las cargas de sismo que le traslada la superestructura a los bastiones, se generan fuerzas de sismo resultantes mayores hacia los bastiones, situación que va en detrimento de la integridad de la estructura.
- De la Figura 43. Cantidad y tipo de superestructuras ingresadas en el inventario nacional, se puede determinar que cerca del 70% de las superestructuras de los puentes del país corresponden a estructuras simplemente apoyadas, las cuales utilizan en la mayoría de los casos dispositivos de apoyo, que requieren mantenimiento y una inspección visual de daños asertiva y minuciosa, por lo que mejorar las escalas de valoración y contar con indicadores de daño para apoyos, es un factor valioso en la gestión de estos activos viales.
- Por la cantidad de puentes con superestructuras simplemente apoyadas, se puede estimar que en el país se tienen instalados al menos 6000 apoyos en los puentes de rutas nacionales, que requieren una gestión seria y atención oportuna en caso necesario, por lo que su valoración es indispensable para mantener estructuras saludables en buenas condiciones.
- Por lo observado en los resultados resumidos en la Figura 44, se puede concluir que en la actualidad la información que se ha recolectado en la evaluación de los apoyos, en muchos de los casos no refleja la verdadera condición de los apoyos, y se está subestimando el daño que estos elementos experimentan en la realidad.
- Se constató que muchos de los daños importantes presentes en la mayoría de los puentes analizados, no están siendo contemplados en el registro de calificaciones de las evaluaciones visuales de daños, reduciendo así de manera indirecta el grado de deterioro real de los apoyos.
- Los apoyos para su buen desempeño necesitan estar libres de maleza, sedimentos y de ser posible de filtraciones de agua, ya que un apoyo con sedimento alrededor, no es posible que se deslice o desplace de acuerdo a su diseño, ya que varía la fricción en la superficie, además de la pérdida de lubricación y libertan de movimiento en las partes que lo requieren.
- De la Tabla 18. Tipos de apoyo, se observa que aproximadamente el 55% de los apoyos de este estudio son apoyos elastoméricos, lo anterior es una pequeña muestra que refleja la supremacía en cantidad de apoyos elastoméricos sobre apoyos mecánicos instalados en puentes del país, y las escalas de evaluación visual de daños actual, solamente califican 3 rubros de daños para este tipo de apoyos, lo que parece insuficiente en la identificación del verdadero deterioro.

- De la Figura 36. Deformación del apoyo (grado 5) y de la Figura 37. Inclinación de apoyo grado 5, figuras procedentes del Manual de Inspecciones del MOPT (2007), se muestra que, para dos daños muy diferentes, como lo son la deformación y la inclinación de un apoyo de acero, se cuentan con imágenes casi idénticas, por lo que no hay claridad de la descripción de los daños, lo que podría generar confusión, o duplicar el mismo grado de deterioro para 2 daños diferentes. Situación que refleja la necesidad de mejoras en las escalas de valoración de estos daños.
- De la descripción actual para inclinación y deformación de un apoyo, no es claro cómo se identificaría una inclinación en un apoyo elastomérico, situación muy diferente de la deformación, este es otro ejemplo de la necesidad de mejora en la descripción en escalas de valoración de los daños actualmente utilizadas.
- De acuerdo con los resultados registrados en la Tabla 19, sobre los daños recurrentes encontrados en apoyos de rutas nacionales, y comparando con las patologías de daño utilizadas en las escalas de valoración de daños (MOPT,2007), se aprecia que existen una gran cantidad de patologías de daño que no están siendo evaluadas en estos dispositivos, quedando por fuera probablemente condiciones de deterioro importantes no contempladas en las actuales inspecciones visuales de daños.
- De los resultados obtenidos en la revisión de las calificaciones asignadas a los apoyos de los puentes utilizados en este estudio, y graficados en la Figura 44, refleja que un gran porcentaje de los apoyos no presentan deterioro, sin embargo, a la hora de revisar las imágenes de estos apoyos, existen tipos de daños que no están siendo contempladas, y por ende, los resultados obtenidos no determinan un buen diagnóstico del deterioro o condición de los apoyos.
- De la validación de la propuesta de indicadores de daño para los apoyos elastoméricos y mecánicos de acero, se observa la coincidencia entre la mayoría de los expertos consultados que participaron en la validación, situación que pone de manifiesto la convergencia de opiniones y criterios, llegando a un consenso claro y resultados valiosos y confiables.
- De los resultados obtenidos para los dos indicadores, se observa que, para el cuerpo principal de los apoyos, el tipo de daño que preocupa más a los expertos y por ende recibió mayor ponderación, es el desplazamiento, al igual que la rotura de pernos en el sistema de anclaje para ambos apoyos, situación importante a la hora de experimentar un sismo, ya que una estructura desplazada con pérdida de pernos o del sistema de anclaje, podría contribuir con la caída de un puente.
- De los resultados obtenidos, se observa que se ha asignado un menor peso a la corrosión en pernos, cuerpo del apoyo, placas o sistema de anclaje en comparación con las otras patologías o tipos de daño, situación coincidente en la mayoría de los expertos.
- La propuesta de las escalas de valoración de daños planteadas en las tablas 24 y 25, mejoría en gran medida los rubros establecidos en el Manual de Inspecciones del MOPT, ya que contemplan de manera integral los dispositivos de apoyo.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- De acuerdo con lo observado y analizado en los apoyos de los puentes de este estudio, los defectos o daños típicos encontrados en los aparatos de apoyo pueden variar de acuerdo al tipo de apoyo, sea este móvil o fijo, y de acuerdo al material de fabricación utilizado.
- Según los tipos de daño encontrados en el estudio y selección de datos de los 55 puentes, se observa que, el deterioro en los apoyos se ve aumentado por la acumulación de sedimento o maleza, ya que se mantienen húmedos por periodos de tiempo prolongados, por lo que los apoyos se ven afectados por la oxidación y corrosión, tanto en tuercas, placas y pernos de anclaje, así como en el cuerpo del apoyo en caso de apoyos de acero. Lo anterior se deduce por el estado encontrado en apoyos de puentes de acero de relativa reciente construcción con problemas de limpieza en los asientos del puente.
- De la Tabla 19. Daños frecuentes en apoyos, se puede concluir que la mayoría de los daños no están siendo evaluados en los apoyos, daños que en el mediano o largo plazo generan problemas serios en apoyos, y en el comportamiento estructural del puente, por ello la necesidad de contemplar los daños más importantes en las inspecciones y contar con indicadores que contemplen la totalidad del problema de deterioro en los apoyos.
- De los resultados obtenidos correspondientes a los diferentes tipos de apoyo utilizados en puentes de rutas nacionales, y detallados en la Tabla 18, se concluye que, para el mantenimiento y conservación de los puentes, se requiere de equipos de trabajo especializados en dispositivos de apoyos, ya que en campo existe una gran variedad de tipos de apoyos, con características mecánicas diferentes y que requieren planes de mantenimiento específicos.
- De la Tabla 17 se puede concluir que la muestra utilizada en este estudio es representativa y muy valiosa, ya que es un reflejo fehaciente de la realidad de la condición general de los apoyos en país, debido a que se seleccionaron puentes ubicados en todo el territorio nacional, en la totalidad de rutas primarias, inclusive rutas secundarias y una terciaria, lo que enriquece la muestra utilizada y por ende los resultados obtenidos.
- Según la comparación realizada de metodologías y normativa de evaluación de daños en apoyos utilizada en Costa Rica y a nivel Internacional, queda en evidencia que en nuestro país no se contemplan tipos de daño importantes para la descripción completa del estado de deterioro de un apoyo, por lo que es importante considerar una mejora en los indicadores que estamos utilizando en la actualidad para la definición del deterioro en apoyos de puentes.
- El resultado obtenido para cada indicador de deterioro, considera tipos de daño, niveles de severidad y extensión, así como niveles de importancia para los diferentes componentes, por lo que se consideran un insumo fiable y asertivo, para el diagnóstico de la condición de deterioro en apoyos.

- Se constató que muchos de los daños importantes presentes en la mayoría de los puentes analizados, no están siendo contemplados en las evaluaciones visuales de daños, reduciendo así de manera indirecta el grado de deterioro real de los apoyos, situación preocupante debido a que, en un sistema de gestión y mantenimiento de puentes, no se estaría contemplando rehabilitaciones o mantenimiento esencial en algunos de los apoyos que lo requieren.
- De la validación de la propuesta de los indicadores realizada, se puede concluir un confiable resultado debido a las coincidencias en los criterios aportados por los expertos en la materia, situación observada tanto en los componentes como en los tipos de daño propuestas para cada indicador.
- Las escalas de valoración de daño propuestas en este estudio, son un insumo necesario en la evaluación de los apoyos de un puente, ya que a partir de la revisión de normativa internacional quedó en evidencia que en nuestro país en temas de inspección de apoyos no se contempla una serie de factores importantes a la hora de evaluar los daños en apoyos.

5.2 Recomendaciones.

- Se propone para una inspección visual de daños, evaluar la limpieza general y drenaje cercano a los apoyos, ya que estos factores están relacionados de manera directa con el deterioro a largo plazo de estos elementos.
- Los índices de deterioro de daños IDA calculados en este estudio, contemplan en su cálculo la evaluación de los apoyos desde la perspectiva estructural y funcional, así como su entorno. Por lo tanto, pueden ser utilizados por los administradores de puentes para dar seguimiento a sus objetivos de administración y gestión de activos, priorización en proyectos de mantenimiento, así como de rehabilitación o remplazo de apoyos, ya que son un reflejo directo de la condición real de estos elementos.
- Para puentes simplemente apoyados sin dispositivos de apoyo, se propone adicionalmente valorar evaluar en una inspección visual de daños, el faltante de apoyos para una superestructura simplemente apoyada, utilizando un grado de deterioro de 5, como indicador de la necesidad de colocación de estos dispositivos, equivalente a un apoyo con daños severos no funcional.
- En la inspección de los dispositivos de apoyo, a la hora de evaluar la gravedad de los daños existentes, se recomienda tomar en cuenta factores adicionales como la existencia de deterioros en otros elementos del puente, ya que pueden tener relación entre ellos, porque han sido consecuencia de los daños sufridos en los apoyos o viceversa, de manera tal que se realice así una inspección integral, y poder concluir de manera más precisa el origen de los daños, y la solución o corrección de estos.
- De la revisión realizada de la normativa internacional, así como nacional, se observa que en nuestro país no contemplamos una serie de factores importantes que describen la condición o estado real de los apoyos durante una inspección visual, por lo que es

importante realizar las mejoras necesarias en el procedimiento de inspección así como en la información recopilada en campo, para poder realizar mejores diagnósticos de los activos viales como lo son los puentes, y en este caso los apoyos particularmente.

- Se recomienda utilizar las escalas de valoración de daños planteadas en las tablas 24 y 25, para la evaluación visual de apoyos, ya que estas forman parte de una serie de mejoras que se proponen implementar cuando se lleva a cabo la recolección de datos en una evaluación visual de daños, necesidad identificada en campo durante las inspecciones de más de 1000 puentes de rutas nacionales.
- Se recomienda incluir como medida de mejora en el Manual de Inspecciones del MOPT las escalas de valoración de daños propuestas, para así realizar una mayor y mejor recopilación de datos en campo de la condición de daño de los apoyos.
- Se recomienda realizar estudios similares para la identificación de necesidades de mejora en las inspecciones de accesorios como lo son las juntas de expansión en puentes, ya que deterioro en juntas están relacionadas de manera directa con los apoyos, por ejemplo, la afectación resultante por filtraciones de agua a través de estas por mal funcionamiento.

CAPITULO 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril Frener, Juan Francisco (2004). Mantenimiento de Puentes. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala
- Arias Flores, E. Z. (2010). Evaluación de puentes - mejoramiento del tablero: monitoreo de conservación carretera Cañete - Huancayo km. 179+800. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Astigarraga, Eneko (2003). El método Delphi. Universidad de Deusto. España.
- Azul Construcción Repair (2024). Gateo y sustitución de apoyos. Recuperado de: <https://www.azulconstruccion.com/gateo-y-sustitucion-de-apoyos/>
- Bolaños Á, Darnel Gerardo. Metodología para la evaluación de la seguridad estructural de puentes. Tecnológico de Costa Rica. 2018
- Brenes Arce, Fabian. Modelo de priorización para la intervención de puentes en Costa Rica. Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Máster en Ingeniería Vial grado académico de Maestría. Tecnológico de Costa Rica. 2022
- CEPRENAC. (2010). Manual Centroamericano de Gestión del Riesgo en Puentes. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central. Secretaría de Integración Económica Centroamericana (Vol. 148).
- Departamento Nacional de Planeación. Guía General para Elaborar Indicadores. México. 2003.
- Departamento Nacional de Planeación. Marco Conceptual del Banco de Indicadores Sectoriales. México. 2002
- Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2006). Guía para Inspección de Puentes. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima. Perú
- Dirección General de Servicios Técnicos. Manual para Conservación de Puentes y Estructuras Similares. Secretaria de comunicaciones y transporte. México, Ciudad de México 2018.
- Gerencia Técnica, Subgerencia de Estudios y Proyectos. Departamento Obras de Arte.(2007). Manual Para Inspecciones Rutinarias de Puentes y Alcantarillas en Servicio. Buenos Aires, Argentina.
- Grupo Técnico-convenio 587 de 2003 (2006). Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá D.C., Colombia
- Ireland, T. I. (2017). EIRSPAN Bridge Management System Principal Inspection Manual. AM-STR-06054. 97p.

- JICA. (2007). El estudio sobre el desarrollo de capacidad en la planificación de rehabilitación, mantenimiento y administración de puentes basado en 29 puentes de la red de carreteras nacionales en Costa Rica.
- Limited, A. C. (2011). Protocol for the inspection of bridge bearings. Ministry of Forest, Land and Natural Resource Operations. British Columbia. 29p.
- Martínez González, Miguel (2017). Inspección y Evaluación de Puentes de Concreto. Tesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán México.
- MOPT. (2007). Manual de Inspección de Puentes. Dirección de Puentes. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica.
- MOPTMA. (1995). Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera. Dirección General de Carreteras. Madrid, España.
- Mopu(1982). Recomendaciones Para el Proyecto y Puesta en Obra de los Apoyos Elastoméricos Para Puentes de Carretera. Dirección General de Carretera. Madrid, España.
- Muñoz, J. (2017). Guía para la determinación de la condición en puentes mediante inspección visual. Congreso Estructuras 2017 y XIV Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica, 1(1), 1–14.
- Muñoz, J., Agüero, P., Vargas, S., Villalobos, E., Vargas, L., Barrantes, R., & Loria, G. (Octubre de 2015). Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual.
- Navareño Rojo, A. (2020). Las inspecciones de puentes de carreteras. Carreteras, pag 6, 6–13.
- Ortiz-Quesada, G; Garita-Rodríguez, C; Navarro-Mora, A; Paez-González, G; Alfaro-Acuña, A. Diseño de un índice de salud estructural de puentes para priorización de intervenciones técnicas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, No 2. Abril-Junio, 2024. Pág. 144-154.
- Ortiz, G. (2018). Estadísticas Generales de puentes de rutas nacionales. [diapositivas de PowerPoint]. Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes. Escuela de Ingeniería en Construcción. Tecnológico de Costa Rica.
- PEEP. (2019). Inventario de puentes en rutas nacionales de Costa Rica 2014-2018. Programa de Evaluación de Estructuras de puentes. Escuela de Ingeniería en Construcción. Tecnológico de Costa Rica.
- Programa de Evaluación de Estructura de Puentes PEEP (2014-2015), “Informes de inspección visuales y de inventario”. Costa Rica.

- Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP)(Tecnológico de Costa Rica). (2018). Base de Datos de Puentes. Cartago
- Secretaria Distrital de Desarrollo Económico. Metodología para la formulación de Indicadores para el Seguimiento y la Evaluación. Bogotá, 2007.
- Sherif A Mourad y M. Hassainien. *Lecture 8. STR403-Metallic Bridgees ‘‘Bearings’’*. Faculty of Engineering, Cairo University. Egipto
- Stanton, J F, Roeder, CW (1982). «Elastomeric Design, Construction, and Materials». NCHRP Report: 248.
- The Constructor. Building ideas. Bridge Bearings-Types of Bearings for Bridge Structures and Details. Recuperado de: <https://theconstructor.org/structures/bridge-bearings-types-details/18062/>
- Veramendi Mendoza, H. E. (2010). Evaluación del Pontón Km. 173+100: monitoreo de conservación carretera Cañete - Huancayo. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería
- Villalobos, E. (2017). *¿Cómo se podría mejorar el estado de los puentes en Costa Rica?* Construir: América Central y el Caribe.[Documento en línea]. Recuperado de <https://revistaconstruir.com/se-podriamejorar-estado-los-puentes-costa-rica/>
- Wielinga, L. (2007). *Roads and Traffic Authority of New South Wales. Australia.*
- WSDT. (2020). Washington State Bridge Inspection. Washington State Department of Transportation, 05(March).

CAPÍTULO 7. ANEXOS

7.1 Puentes utilizados en el estudio

#	Nombre del puente	Tipo de Apoyos	Ruta nacional
1	Rio Grande	Acero	1
2	Quebrada Sin Nombre	Elastomérico	1
3	Pssrn23 RN01	Acero	1
4	Rio Naranjo N°2	Acero	1
5	Rio Ciruelas	Acero	1
6	Rio Seco	Acero	1
7	Rio Abangares	Acero	1
8	Rio Higuierón	Acero	1
9	Rio Aranjuez	Acero	1
10	Rio Lagarto	Acero	1
11	Q Foresta	Acero	219
12	Q Yervebuena	Acero	219
13	Rio Viejo	Acero	314
14	Rio Desjarretado	Acero	1
15	Rio General	Acero	2
16	Rio La Unión	Acero	2
17	Rio Convento	Acero	2
18	Rio Cacao	Acero	2
19	Rio Olla Cinco	Acero	2
20	Rio Isla Grande	Elastomérico	4
21	Rio Pizote Rn04	Acero	4
22	Rio Frio Rn 04	Elastomérico	4
23	Rio Naranjo	Elastomérico	6
24	Rio Tenorio	Elastomérico	6
25	Rio Zapote	Acero	6
26	Rio Reventado A	Acero	10
27	Rio Reventado B	Acero	10
28	Rio Maravilla	Acero	10
29	Rio Reventazon	Acero	10
30	Rio Chitaría	Acero	10
31	P.S.S.Rn.32	Elastomérico	10
32	Q. La Purruja	Elastomérico	14
33	Rio Nacaome	Elastomérico	18
34	Rio Lepanto	Elastomérico	21
35	Rio Barranca	Elastomérico	23

#	Nombre del puente	Tipo de Apoyos	Ruta nacional
36	Río Corrogres A	Elastomérico	27
37	Río Corrogres B	Elastomérico	27
38	Río Caraña A	Elastomérico	27
39	Río Uruca A	Elastomérico	27
40	Q González,	Elastomérico	32
41	P.S.S.R.N.102 (A)	Elastomérico	32
42	Río Costa Rica	Elastomérico	32
43	Río Viscaya	Elastomérico	36
44	Río Bananito	Elastomérico	36
45	Q Estero Margarita	Elastomérico	36
46	Río La Estrella	Acero- elastomérico	36
47	Q Mona	Elastomérico	34
48	Q. Pedregosa	Elastomérico	34
49	Río San Rafael	Acero	35
50	Río Tres Amigos	Acero	250
51	Río Caño Grande	Acero	140
52	Río Soncoyo	Acero	160
53	Río La Vieja	Elastomérico	141
54	Río Corobicí A	Elastomérico	1
55	Río Guacimal	Acero	1

7.2 Instrumento utilizado para validación

Instrucciones.

Para la realización del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) se recurre a varias matrices, las cuales son utilizadas para que los profesionales indiquen cuál componente y patología de daño posee mayor importancia según su conocimiento y criterio, comparándolos todos entre sí.

Estimación del peso por patología de daño y por componente:

En las siguientes 5 tablas complete las celdas de colores con los valores de 1 y 0.

Para apoyos elastoméricos:

Cálculo para componente: cuerpo principal Neopreno/elastoméricos

Neopreno	Deformación	Desplazamiento	Sumatoria horizontal	Peso
Deformación	1			
Desplazamiento		1		
		Suma Vertical		

Cálculo para componente Sistema de anclaje

Anclaje	Rotura de pernos	Corrosión: pernos / placas	Confinamiento sist. Anclaje	Sumatoria horizontal	Peso
Rotura de pernos	1				
Corrosión: pernos / placas		1			
Confinamiento sist. Anclaje			1		
			Suma Vertical		

Para apoyo mecánico de acero

Cálculo para componente: aparato/cuerpo del apoyo

Aparato de apoyo	Desplazamiento	Corrosión (anclaje y aparato)	Inclinación	Sumatoria horizontal	Peso
Desplazamiento	1				
Corrosión (anclaje y aparato)		1			
Inclinación			1		
			Suma Vertical		

Cálculo para componente: Anclaje (sistema de anclaje)

Anclaje	Rotura de pernos	Confinamiento (Sist. Acla)	Sumatoria horizontal	Peso
Rotura de pernos	1			
Confinamiento (Sist. Aclaje)		1		
		Suma Vertical		

Cálculo del peso para cada componente

Componente	Cuerpo aparato	Sistema de Anclaje	General: limpieza y mantenimiento	Sumatoria horizontal	Peso/ componente
Cuerpo aparato	1				
Sistema de Anclaje		1			
General: limpieza y mantenimiento			1		
			Suma Vertical		

Profesionales participantes en la validación de los indicadores de daño en apoyos.

Ing. Andrés Felipe Zamora Coto
 Ing. Hugo Navarro Serrano
 Ing. Byron Gerardo Paez Gonzalez
 Ing. Rolando Pereira Calderón
 Ing. Ángel Navarro Mora
 Ing. Israel Eduardo Monge Leiva
 Ing. Yenia Dominguez García
 Ing. Alejandro Alfaro Acuña

7.3 Resultados de la validación:

Apoyos Elastoméricos

		Ponderación/coeficientes							
Componente	Daño	Andrés	Rolando	Hugo	Ángel	Israel	Gerardo	Yenia	Alejandro
Neopreno	Deformación	0,33	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33
	Desplazamiento	0,67	0,67	0,67	0,33	0,67	0,67	0,67	0,67
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Anclaje (sistema de anclaje)	Rotura de pernos	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50	0,33	0,50	0,50
	Corrosión: pernos / placas	0,33	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,33	0,17
	Confinamiento sist. Anclaje	0,17	0,33	0,50	0,33	0,33	0,50	0,17	0,33
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Apoyos Mecánicos de acero

		Ponderación/coeficientes							
Componente	Daño	Andrés	Rolando	Hugo	Ángel	Israel	Gerardo	Yenia	Alejandro
Aparato de apoyo	Desplazamiento	0,50	0,50	0,50	0,33	0,50	0,33	0,50	0,50
	Corrosión Anclaje y aparato	0,33	0,17	0,17	0,50	0,17	0,33	0,17	0,17
	Inclinación	0,17	0,33	0,33	0,17	0,33	0,33	0,33	0,33
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Anclaje	Rotura de pernos	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,33	0,67	0,67
	Confinamiento (sist. Anclaje)	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33
	Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Descarte realizado para asignación de pesos a las patologías de daños

Apoyos Elastoméricos

Resultado Coeficientes de ponderación apoyos elastoméricos

Componente	Daño	Ponderación / porcentaje validado			Resultado final
Neopreno	Neopreno	0,5	0,33	0,17	0,50
		75%	25%	0%	
	Deformación	0,33	0,67	0,33	
		88%	13%		
	Desplazamiento	0,33	0,67	0,67	
		13%	88%		
Anclaje (Sistema de Anclaje)	Sistema de Anclaje	0,5	0,33	0,17	0,33
		25%	75%	0%	
	Rotura de pernos	0,50	0,33	0,17	0,50
		75%	25%	0%	
	Corrosión: pernos / placas	0,50	0,33	0,17	0,17
		0%	25%	75%	
Confinamiento sist. Anclaje	0,50	0,33	0,17	0,33	
	25%	50%	25%		
General:	Limpieza y mantenimiento	0,50	0,33	0,17	0,17
		0%	0%	100%	

Apoyos Elastoméricos

Resumen de resultados

Componente	Daño	Ponderación
Neopreno		0,50
	Deformación	0,33
	Desplazamiento	0,67
	Total	
Anclaje (sistema anclaje) de		0,33
	Rotura de pernos	0,50
	Corrosión: pernos / placas	0,17
	Confinamiento sist. Anclaje	0,33
General:	Limpieza y mantenimiento	0,17

Apoyos Mecánicos de acero

Resultado Coeficientes de ponderación apoyos Mecánicos de acero

Componente	Daño	Ponderación/porcentaje validado			Resultado final
Aparato de apoyo	Desplazamiento	0,50	0,33	0,17	0,50
		75%	25%	0%	
	Corrosión Anclaje y aparato	0,50	0,33	0,17	0,17
		13%	25%	63%	
	Inclinación	0,50	0,33	0,17	0,33
		0%	75%	25%	
Anclaje	Rotura de pernos	0,33	0,67	0,67	
		13%	88%		
	Confinamiento (sist. Anclaje)	0,33	0,67	0,33	
		88%	13%		
General: Limpieza y mantenimiento	0,50	0,33	0,17	0,17	
	0%	0%	100%		

Apoyos Mecánicos de acero

Resumen de resultados

Componente	Daño	Pesos
Aparato Cuerpo principal		0,50
	Desplazamiento	0,50
	Corrosión Anclaje y aparato	0,17
	Inclinación	0,33
Anclaje (sistema anclaje) de		0,33
	Rotura de pernos	0,67
	Confinamiento sist. Anclaje	0,33
General: Limpieza y mantenimiento		0,17

Resultado para pesos por componente

Resultado Coeficientes de ponderación apoyos

Componente	Ponderación/porcentaje validado			Resultado
Aparato ó cuerpo de apoyo	0,50	0,33	0,17	0,50
	75%	25%	0%	
Sistema de anclaje	0,50	0,33	0,17	0,33
	25%	75%	0%	
General: Limpieza y mantenimiento	0,50	0,33	0,17	0,17
	0%	0%	100%	