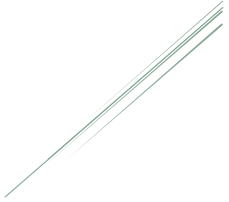


**REVISIÓN DE ESTADO DEL ARTE: “EVALUACIÓN E
IDENTIFICACIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES EN PUENTES
POSIBLES CAUSAS Y ACCIONES CORRECTIVAS”**

Cristian Fabian Mendoza Wilches

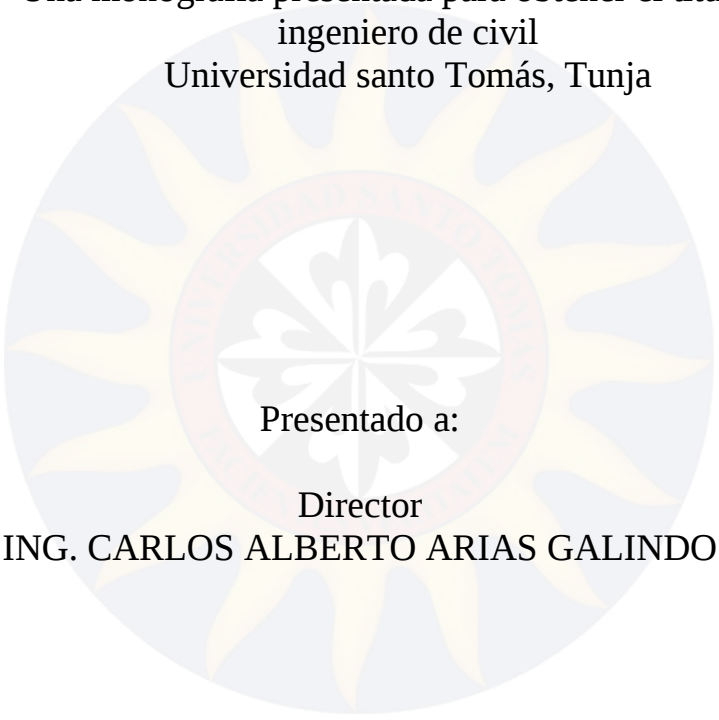
Universidad Santo Tomás Seccional Tunja
Facultad De Ingeniería Civil
Décimo Semestre
Tunja, Boyacá
2023





REVISIÓN DE ESTADO DEL ARTE: “EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES EN PUENTES POSIBLES CAUSAS Y ACCIONES CORRECTIVAS”

Una monografía presentada para obtener el título de
ingeniero de civil
Universidad Santo Tomás, Tunja



Presentado a:

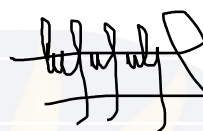
Director
ING. CARLOS ALBERTO ARIAS GALINDO

Universidad Santo Tomás - Seccional Tunja
Facultad de Ingeniería Civil
Décimo Semestre
Tunja, Boyacá
2023



Nota de aceptación

ACEPTADA
ACEPTADA

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

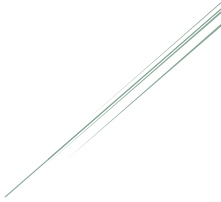
Tunja, 1 de noviembre 2022 (13 de junio de 2023)





Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por permitirme la oportunidad de vivir esta experiencia ~~para~~al estar cerca de mis metas profesionales, a mi familia por cada esfuerzo realizado, y a cada docente, compañero y amigo que me brindo su ayuda para culminar mi carrera.

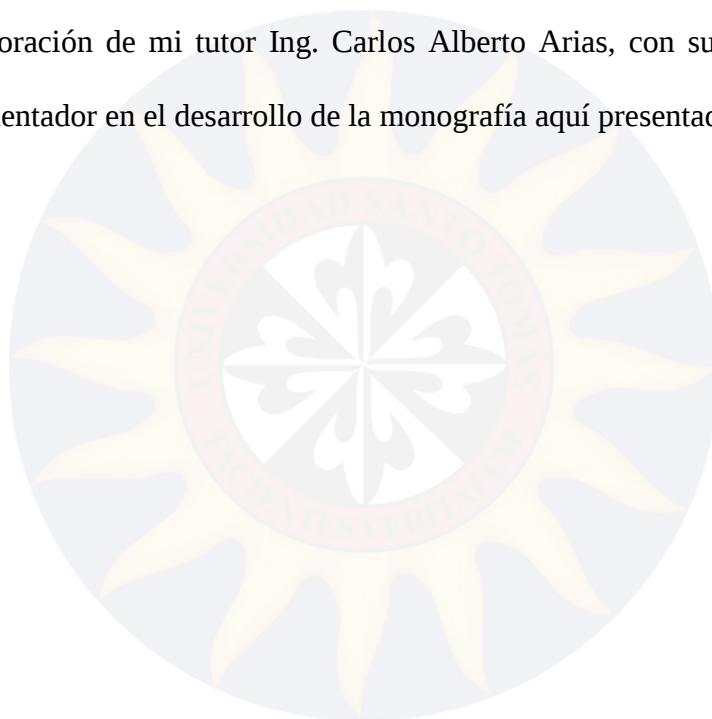




Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios, y mi familia por el aprendizaje y las bendiciones que recaen sobre este arduo trayecto; a la Universidad Santo Tomás que permite fortalecer proceso y evolución en la formación tanto personal como Ingeniero Civil; a sus profesionales, que me brindan las herramientas necesarias durante la carrera. Por su excelente ética y profesionalismo proporcionados para formar Ingenieros con calidad e integralidad.

Agradezco la colaboración de mi tutor Ing. Carlos Alberto Arias, con su respaldo experto ha ejercido su papel orientador en el desarrollo de la monografía aquí presentada.



Resumen

En diferentes partes del mundo los puentes se han convertido en parte esencial para desarrollo de los países, generando el progreso en el ámbito político, urbanístico, económico y social, para garantizar el tránsito de materias primas, vehículos, personas, animales de carga y la interconexión entre las carreteras primarias, secundarias y terciarias o aquellas zonas de difícil acceso. Barrantes [1].

En el desarrollo de su vida útil, se van generando afectaciones o deterioros progresivos que alteran y por ende, afectan su estabilidad, funcionalidad, durabilidad y por consiguiente, la seguridad pública y de operación por diversos factores como: las condiciones ambientales, factores geológicos, también sísmicos y falta de mantenimiento regular, que pueden generar desde patologías tratables hasta el colapso del puente, esto solo si no se actúa de acuerdo a las necesidades explícitas que conlleven a medidas correctivas realizadas a tiempo; para evitar esto, se debe realizar la preservación desde diferentes puntos de vista para garantizar la estabilidad de sus elementos.

El presente documento consiste en realizar un análisis de la revisión bibliográfica para mejorar las metodologías en la determinación de las patologías y en las posibles soluciones ante las mismas; teniendo en cuenta que el alcance de este trabajo es netamente académico, lo que indica que como ejercicio, para optar por el título de Ingeniero Civil; la descripción, sugerencias y conclusiones pueden servir como iniciativa y/o primera propuesta en las posibles soluciones a las estructuras analizadas.



~~Se para ello,~~ se evalúan 2 puentes en el municipio de Coper, Boyacá; -donde se recomienda ~~se recomienda~~ realizar procedimientos de refuerzo, abordar fisuras mediante la aplicación de resinas epoxi o mortero especializado para reparación. ~~T~~ También es esencial llevar a cabo una limpieza exhaustiva, eliminando la materia orgánica y utilizando cepillos de cerdas naturales para erradicar la presencia de hongos. Para mitigar el impacto del agua sobre la estructura, se sugiere la implementación de un proceso de encamisado en los pilares o estribos. Además, es recomendable instalar sistemas de barandas y una adecuada iluminación. Todos estos pasos se orientan hacia el claro propósito de extender la vida útil de estas estructuras, garantizando su integridad a largo plazo, lo anterior teniendo en cuenta la apreciación académica no como una acción sin antes realizar los estudios patológicos complementarios. ▸

Palabras clave: Puente, material de construcción, patología, alternativa.



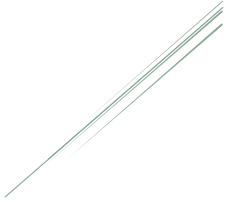


Abstract

In different parts of the world, bridges have become an essential part for the development of countries, generating development in the political, urban, economic, and social spheres, to guarantee the transit of raw materials, vehicles, people, pack animals and the interconnection between primary, secondary, and tertiary roads or those areas of difficult access (Barrantes Toyes, 2017). In the development of its useful life, progressive affectations or deterioration are generated that affect its stability, operation, durability and safety of operation, due to climatic, geological, seismic factors and lack of maintenance, which can lead from treatable pathologies to the collapse of the bridge if corrective actions are not taken in all time, to avoid this, preservation must be carried out from different points of view to ensure the stability of its elements.

This document contains of carrying out an analysis of the bibliographic review to improve the methodologies in the determination of the pathologies and in the possible solutions to them, the scope of this work is purely academic, which indicates that as an exercise, to opt for the title of Civil Engineer; description, suggestions and conclusions can serve as an initiative and/or first proposal for possible solutions to the analyzed structures.





For this, 2 bridges are evaluated in the municipality of Coper, where it is recommended to perform structural reinforcements, repair of the fissures by means of the injection of epoxy or repair mortar, Cleaning removing the organic material and with a natural bristle brush remove fungi, jacketing the pillars or stirrups to reduce the impact of water on the structure, installation of railings and lighting, this in direction to preserve the useful life of the same, the above taking into account academic appreciation, not as an action without first carrying out complementary pathological studies.

Keywords: Bridge, building material, pathology, alternative

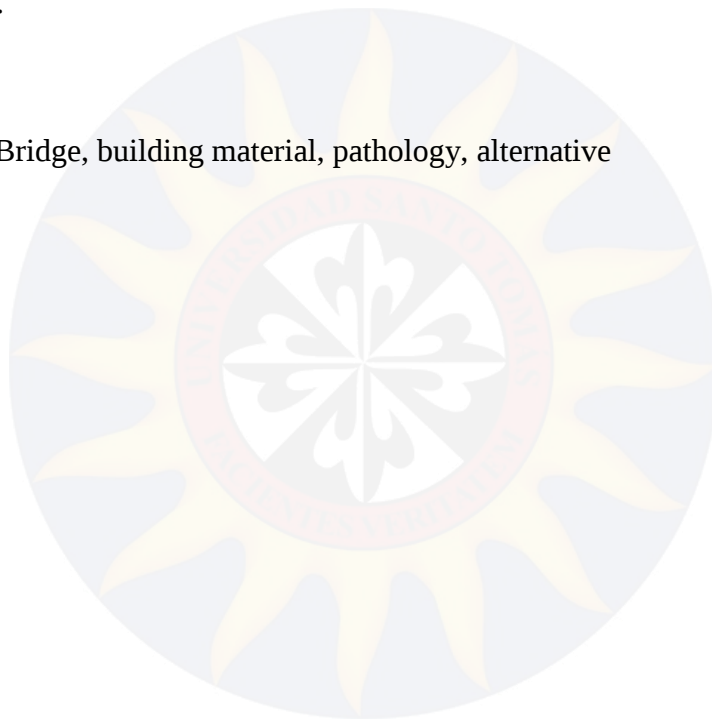
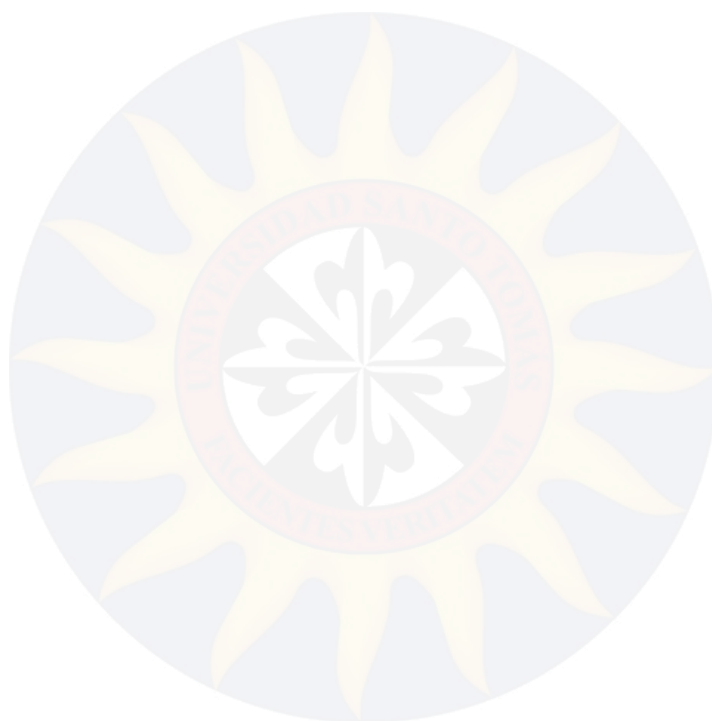


Tabla de contenidos

Capítulo 1 Introducción e información general	12
Capítulo 2 Objetivos	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos	14
Capítulo 3 Revisión bibliográfica de patologías en puentes	15
3.1 Vida útil	16
3.2 Grietas y sus tipos	18
3.3 Eflorescencia.....	22
3.4 Carbonatación	22
3.5 Socavación	23
3.6 Corrosión estructural y sus tipos.....	24
3.6.1 Corrosión Superficial	25
3.6.2 Corrosión Avanzada.....	25
3.6.3 Corrosión uniforme.....	25
3.6.4 Corrosión galvánica	25
3.6.5 Corrosión por picaduras o “pitting”	26
3.6.6 Corrosión intergranular	26
3.6.7 Corrosión por esfuerzo.....	26
3.7 Filtraciones.....	27
3.8 Patología por defectos constructivos	27
3.8.1 Características (calidad) de los materiales.....	28
3.8.2 Concreto y acero	28
3.9 Estado de los puentes en Colombia	31
Capítulo 4 Metodologías para detectar una patología.....	38
4.1 Puente.....	39
4.1.1 ¿Qué es un puente y como se conforma?	39
4.1.2 Partes de un puente	41
4.1.3 ¿Cuáles son los tipos de puentes?	42
4.2 Patología	45
4.3 Métodos.....	47
Capítulo 5 Métodos, normas y ensayos para evaluar las patologías en puentes.....	50
5.1 Marco Legal	50
5.2 Métodos y ensayos.....	51
5.2.1. Análisis mecánico.	51
5.2.1.1. Resistencia a la compresión	52
5.2.1.2. Resistencia a la flexión	52
5.2.2 Ensayos realizados en puentes	52
5.2.2.1. Ensayo de esclerómetro	53
5.2.2.2. Ensayo de carbonatación.....	53
5.2.2.3. Ensayo MIRA	54

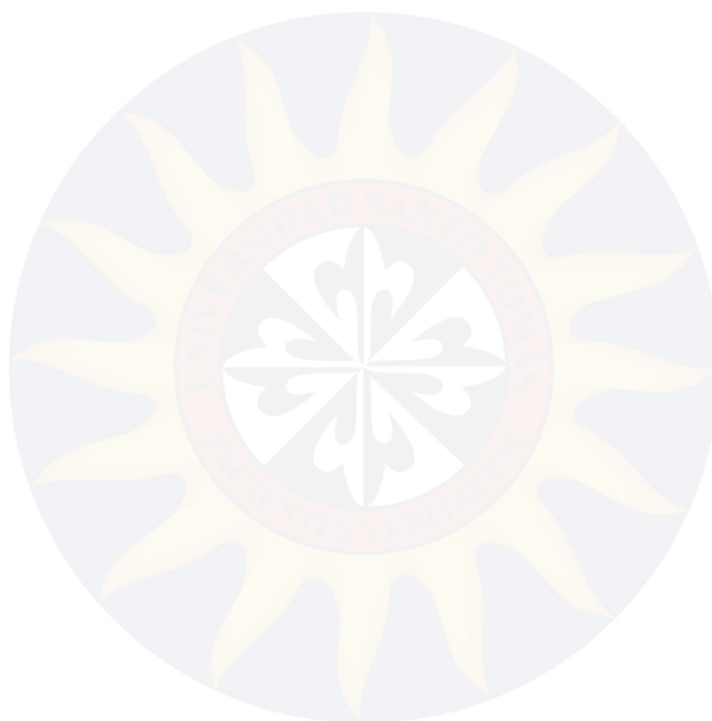


5.2.2.4. Ensayo pull - off.....	54
5.2.3 Análisis físico.....	54
5.2.3.1. Plasticidad (NTC 1493, ASTM D4318, método indirecto o método de Atterberg).54	
Capítulo 6 Resultados de uso de las diferentes metodologías en el tratamiento de patologías en puentes	56
Capítulo 7 Factores de incidencia de las patologías en puentes del municipio de Coper Boyacá 59	
Conclusiones y recomendaciones	71
Glosario.....	74
Referencias.....	77



Lista de tablas

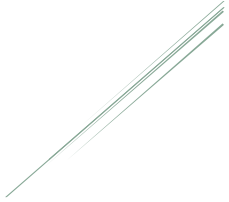
Tabla I. Clasificación y tipo de lesiones	16
Tabla II. Clasificación de Grietas	19
Tabla III. Penetración de carbonatación en el hormigón	23
Tabla IV. Clasificación de puentes según material / estructura.....	44
Tabla V. Patologías más comunes en cimientos y sus causas	45
Tabla VI. Patologías más comunes en pilas y sus causas	46
Tabla VII. Patologías más comunes en estribos y sus causas.....	46
Tabla VIII. Patologías más comunes en el tablero y sus causas.....	46



Lista de figuras

Fig. 1. Perfil de vida operativa de la estructura de un puente.	17
Fig. 2. Comparador de fisuras o fisurómetro de bolsillo.	18
Fig. 3. Causas de la Eflorescencia.	22
Fig. 4 Tipología de la corrosión del acero.	25
Fig. 5. Efectos de la Corrosión. Adaptado de Parra y Zea.....	26
Fig. 6. Tipos de fallas por defectos constructivos.....	27
Fig. 7. Etología de una patología. Errores	30
Fig. 8. Etología de una patología. Causas.....	31
Fig. 9. Causas de colpaso en 63 puentes de Colombia entre 1986 y 2001.	33
Fig. 10. Estado de puentes en Colombia 1996 al 2008 superficie rodadura, andenes y bordillos, baranda.....	34
Fig. 11. Estado de puentes en colombia 1996 al 2008 conos y taludes, aletas, estribos.....	35
Fig. 12. Estado de puentes en colombia 1996 al 2008 pilas, apoyos y losa.	36
Fig. 13. Estado de puentes en Colombia 1996 al 2008 vigas, arcos, elementos de armadura, cable, pendolones, tirantes y macizos.	37
Fig. 14. Proceso patológico.....	38
Fig. 15. Componentes básicos de un puente tipo.....	39
Fig. 16. Detalles de un puente.....	41
Fig. 17. Clasificación de puentes.	43
Fig. 18. Síntomas en puentes.	47
Fig. 19. Tipos de pronóstico.	48
Fig. 20. Diseño de Puentes. Norma Colombiana LRFD-CCP4.....	50
Fig. 21. Modificación decreto 945 de 2017.	51
Fig. 22. Nivel de severidad de las patologías.....	59
Fig. 23. Puente ubicado en la vereda Pedro Gomez p1.	60
Fig. 24. Puente vereda Cucunuba P2.	65





Capítulo 1

Introducción e información general

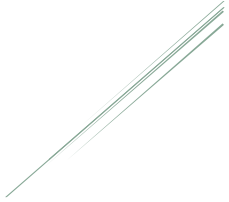
El desarrollo de una economía depende de varios factores, entre ella la infraestructura vial, esto se debe a que la comunicación entre grandes ciudades con pueblos y zonas rurales impulsa la oferta y demanda; para que esto funcione, las vías deben encontrarse en un estado óptimo para reducir los tiempos de entrega e interacciones de productos a nivel interno de un país.

Como parte fundamental y de gran desarrollo de la ingeniería, encontramos los puentes vehiculares o peatonales, que han logrado una intercomunicación más rápida y eficiente, disminuyendo los tiempos de los tramos entre ciudades, ayudando a superar obstáculos que la naturaleza presenta como un cañón, masas de agua, valle y/o demás accidentes geográficos o dificultad física que se presente. Gutiérrez, Rivera, y Trujillo. [2] €

Con el paso del tiempo los puentes debido al servicio o utilidad, los cambios climáticos, asentamientos, movimientos sísmicos, la falta de mantenimiento por los entes gubernamentales, inician a presentar deterioros conocidos comúnmente en las obras civiles como patologías estructurales, con ellas se busca detectar las causas o sintomatología para garantizar condiciones de seguridad y confort, por medios de acciones preventivas o correctivas. Gutiérrez [3]

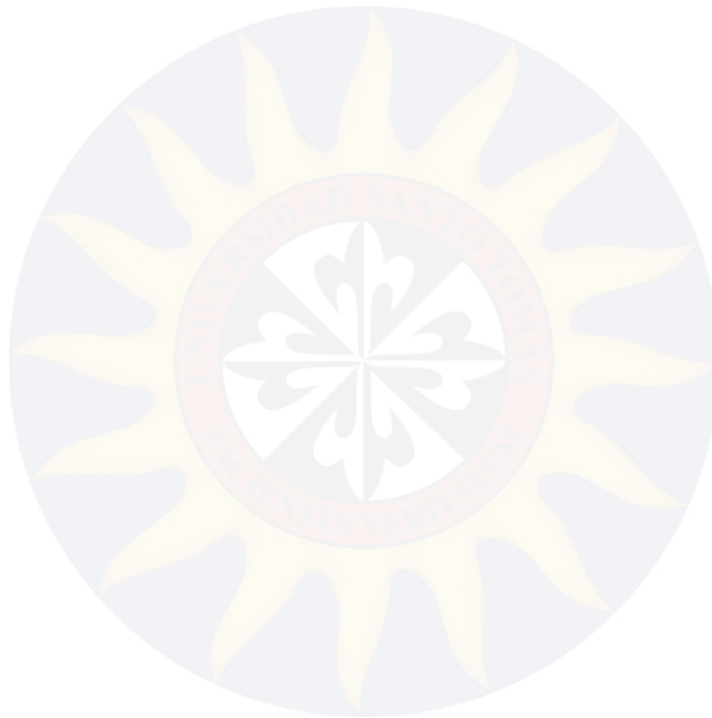
Las patologías en puentes más comunes son los agentes fisicoquímicos, según Vega [4] como el desgaste resultante de la abrasión o fricción, corrosión ocasionada por la exposición al ambiente marino, inadecuada disposición del concreto durante la instalación, corrosión, carbonatación, así como la deficiente supervisión y control (interventoría), mala selección de los agregados (álcali/agregado), mal diseño, mala adecuación ante nuevas solicitudes de cargas. entre otros factores que afectan principalmente la cimentación, los

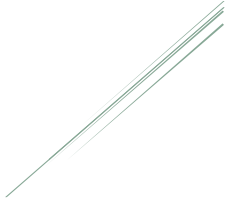




sistemas de drenaje e impermeabilización y aparatos de apoyo de un puente. Matute, Pulido, Sánchez y Redero [5]

En esta investigación se pretende identificar y analizar el diagnostico de las patologías en puentes vehiculares medianos y pequeños en zonas urbanas y rural a partir de una metodología investigativa, para evidenciar las causas y efectos, así como las técnicas, metodologías y alternativas que brinden solución al ingeniero civil para intervenir oportunamente el puente y mantener el funcionamiento de la malla vial.





Capítulo 2

Objetivos

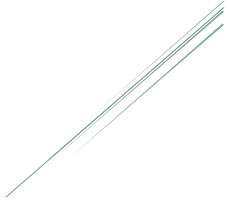
Objetivo general

Efectuar un estudio ~~sobre minucioso de~~ las investigaciones relevantes que exponen alternativas y soluciones a las patologías presentadas en puentes de tamaño pequeño y mediano destinados al tráfico vehicular, tanto en entornos urbanos como rurales.

Objetivos específicos

- Definir que metodologías se están utilizando para dar solución a las diferentes patologías que se exteriorizan o evidencian en los puentes vehiculares.
- Establecer metodologías, estándares técnicos y procedimientos de ensayo requeridos para evaluar la patología en puentes vehiculares de las zonas urbanas y rurales.
- Analizar los resultados de las investigaciones ejecutadas para el caso en cuestión, con el fin de establecer la causa y el efecto que presenta la patología dentro del elemento estructural.
- Analizar dos (2) puentes en el municipio de Coper Boyacá, mediante la identificación, análisis y diagnóstico descriptivo, con el propósito de reconocer los elementos del entorno que podrían tener efectos en las deficiencias de estas estructuras.





Capítulo 3

Revisión bibliográfica de patologías en puentes

Los objetos contruidos al pasar el tiempo llegan a presentar ciertos deterioros, tanto como en sus acabados como estructuralmente; las patologías son factores que se pueden llegar a presentar en una estructura; estas se presentan una vez terminada la obra o al pasar varios años en ejecución, para esto se desprende una rama de estudio llamada patología estructural, la cual realiza el diagnóstico y estudio de deterioros, el análisis de los causales y las posibles reparaciones que se le pueden efectuar.

Las patologías son definidas por Zanni [6], como la ciencia que estudia las enfermedades y problemas que se pueden llegar a presentar en el concreto, estas abarcan gran parte de lo que tiene que ver con lesiones del concreto, esto teniendo en cuenta que, las estructuras de concreto pueden sufrir daños que, sin duda, alteran la estructura y por ende su comportamiento.

Entonces, se puede establecer el tipo de patología dependiendo los factores que lo pueden afectar; entre los más relevantes son: las cargas a la cual una estructura está sometida, un curado inadecuado y el ambiente en el que se encuentra.

Sin embargo, Martorell [7] contempla diferentes factores que pudieron ser relevantes a la hora de presentarse una patología, entre ellos el ciclo de vida útil, lo que común mente llamamos condición de servicio o durabilidad; para ellos se debe conservar las estructuras con un constante cuidado, mediante la vigilancia a la obra en ciertas cantidades de tiempo dando así un control pertinente de las posibles fallas que se logren presentar dándole su correcto uso y mantenimiento.

Con base a lo anteriormente mencionado, las lesiones pueden dar indicio de lo que la



altera, se va a dar a conocer los tipos que se pueden llegar a presentar en una estructura; estas se pueden clasificar dependiendo la propiedad que la altera, como se describe en la Tabla. (Ver Tabla 1)

Tabla I.
Categorización de lesiones

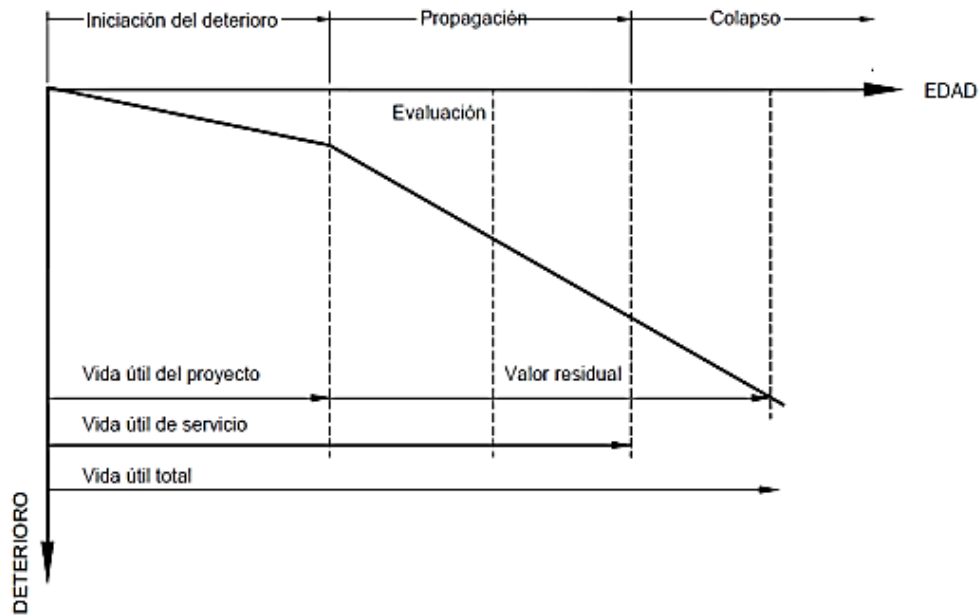
Físicas	Mecánicas	Químicas	Organismos vivos	Antropogénicos
• Humedad • Filtraciones • Suciedad • Erosión-socavación • Manchas/Raya do • Descomposición • Meteorización	• Deformaciones • Grietas • Fisuras • Roturas • Desprendimientos • Desplomes • Asentamientos • Alabeos • Faltantes • Aplastamientos • Colapsado • Dilatado • quemado	• eflorescencias • corrosión, oxidación • carbonatación, pérdida de pH • Disgregación o disolución • Explosión – Combustión • Meteorización • Deformación	• Insectos • mohos, líquenes y hongos • plantas superficiales • animales • Pudrición parda • Pudrición blanca • Disgregación	• alteración volumétrica • diseño inadecuado • carencia de mantenimiento • deficiencia constructiva

Nota: Las lesiones identificadas en estructuras de concreto generan una categorización, adaptada de Muñoz. [8]

3.1 Vida útil

Es definida por Bustamante y González [9] como la vida útil del elemento que inicia desde la ejecución de la estructura hasta que está llega al límite de fractura como consecuencia de los mecanismos de daño, generando un colapso total o parcial en la estructura.





Tuutti, K "Corrosion of steel in concrete" Report 4.82, Cement and Concrete Association, Stockholm, 1982.

Fig. 1. Perfil de vida operativa de la estructura de un puente. [9]

Otra clasificación de las fallas se da dependiendo al tiempo de ocurrencia en:

1. **Fallas tempranas**, como su nombre indica, ocurren en la iniciación de la vida útil del elemento, son causadas por errores de diseño, de montaje o de materiales, constituyen un porcentaje pequeño.
2. **Fallas adultas**, ocurren durante la vida útil del elemento, se presentan en mayor porcentaje, pero de forma más lenta, esto se debe a las condiciones de operación como cambios de rodamientos de una máquina, suciedad en un filtro de aire, etc.
3. **Fallas tardías**, en última etapa de la vida útil del elemento acontecen estas fallas, aparecen de forma lenta y representa una pequeña fracción de las fallas totales.



3.2 Grietas y sus tipos

Se presentan por deformaciones en la estructura debido a los efectos de flexión, tensión, esfuerzos cortantes o torsión, por aumento de cargas, desplazamientos, pandeo, contracción, temperatura y efectos medioambientales.

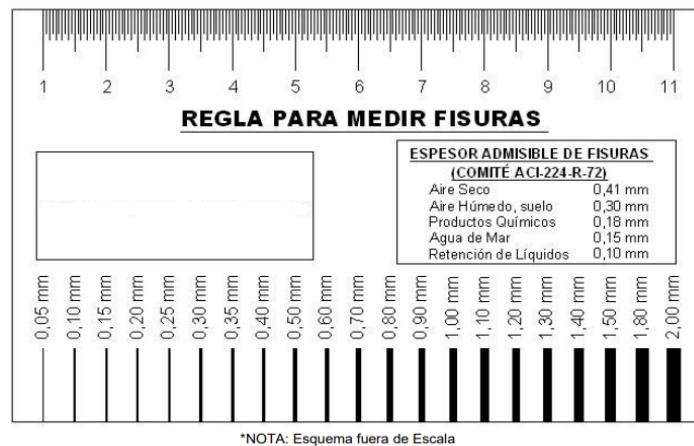


Fig. 2. Comparador de fisuras o fisurómetro de bolsillo. [10]

Una herramienta esencial para el monitoreo y análisis de estructuras frente a las grietas luego de ser identificadas es el fisurómetro, especialmente en lo que respecta a la evaluación de grietas y fisuras. Su importancia radica en su capacidad para proporcionar datos precisos y continuos sobre la evolución de estas deformaciones en el concreto o en otros materiales estructurales, lo que permite a los ingenieros detectar problemas incipientes, evaluar la integridad de la estructura y tomar decisiones informadas en cuanto a la necesidad de reparaciones o refuerzos. Su uso riguroso y sistemático es un componente esencial de la gestión proactiva del estado de las estructuras y, en última instancia,



contribuye a prolongar su vida útil y a optimizar la inversión en proyectos de construcción y mantenimiento.

Luego, de acuerdo con los tipos de aberturas e identificación o tamaño de estas bajo el uso de la herramienta establecida (fisurómetro) es posible generar una clasificación (Ver tabla III)

Tabla II.

Clasificación de grietas

Tipos de abertura	Tamaño
Fisura capilar	< 0.2 mm
Fisura	0.2 mm a 0.5mm
Surco	0.5 mm a 1.5 mm
Ranura	1.5 mm a 5mm
Fractura	5mm a 10mm
Brecha	Mayores a 10mm

Nota: Los tipos de aberturas junto con el tamaño de estas generan una clasificación.

Adaptada de Mascia y Sartorti [11]

Las grietas en los puentes de concreto representan una preocupación constante en el mundo de la ingeniería civil. Estas estructuras esenciales, diseñadas para soportar cargas pesadas y proporcionar rutas seguras de transporte, están expuestas a una variedad de fuerzas y condiciones ambientales que pueden dar lugar a la formación de grietas. A continuación, se describen los tipos de grietas que pueden manifestarse.





**GRIETAS DE
COCODRILO**

Este tipo de grietas, son aquellas que al unirse establecen una serie de malla con apariencia a la piel de cocodrilo, esto se debe al asentamiento de la superficie del terreno debido a su estado de saturación o como consecuencia de las cargas que superan la capacidad portante del suelo.



**GRIETAS DE
BORDE**

Son grietas longitudinales que pueden o no poseer grietas transversales, se forman a causa de fallas del soporte lateral de la vía, por lo tanto, se evidencian al borde el pavimento, otra de las causas se debe al encogimiento del terreno adyacente, al material que se ha cedido a un drenaje pobre o a la vegetación cerca al borde de este,



**GRIETAS DE LA JUNTA
DEL BORDILLO**

Son grietas generadas por falta de drenaje o debido a que la acera se encuentra más alta que la capa de rodamiento, por lo tanto, la junta o dilatación que separa el pavimento con la acera al estar en condiciones climáticas de sequedad y humedad, ocasionan que las capas debajo de la superficie de la acera presente estas grietas.



**GRIETAS DE LA
JUNTA DE CARRIL**

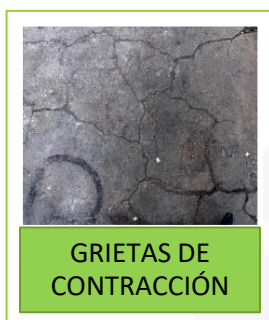
Son grietas que se presentan de manera longitudinal a lo largo de la mediana que separa dos sentidos de flujo de vía, se generan por la flexibilidad entre las pestañas de las capas contiguas que separan las dos canales del pavimento.





Son grietas generadas de forma transversal diagonal, longitudinal o en forma de bloque y ocurren debido a la contracción y expansión por los cambios de humedad y temperatura, lo que conlleva a que estos movimientos se reflejen en forma de grietas las capas superpuestas del asfalto y debajo de ellas, como ocurre en la rasante debido a la pérdida

de humedad.



Son grietas que poseen ángulos agudos y se forman como una serie de cuadros grandes. Se generan debido al cambio de volumen del agregado fino en los áridos o en la mezcla asfáltica.



Son grietas en forma de medialuna, se forman sobre de superficie de la capa de rodamiento, en dirección al empuje de las ruedas o en ocasiones en sentido contrario, son causadas principalmente, por la falta de adherencia entre esta capa y la capa debajo de la misma, un fenómeno que puede ser atribuido a la presencia de agentes contaminantes o a la ausencia de una capa que garantice un nivel adecuado de lubricación, que puede incluir elementos como aceite o agua, entre otros.



3.3 Eflorescencia

Son manchas blancas en la superficie del concreto, según Orrego y Buitrago [12] debido a que su composición posee “un 30% de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ” (p.33). Que al estar en contacto con lixiviados o aguas blandas, las mismas, se introducen por medio de intersticios presentes en el concreto, por lo tanto, “En el interior de este, se produce una mezcla donde ocurre la disolución de ciertos compuestos presentes en la combinación inicial” (p.33). Como lo es el calcio que inicia emigrar a la superficie del mismo, produciendo esta mancha.

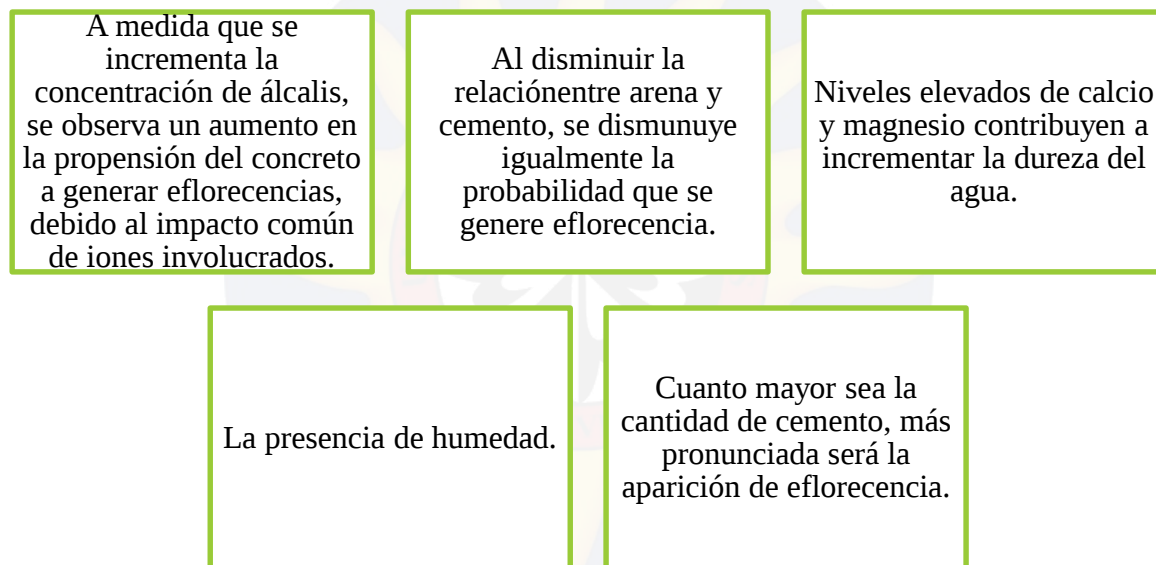


Fig. 3. Causas de la Eflorescencia. Adaptado de Camayo y Vega. [13]

3.4 Carbonatación

El hormigón al presentar una alta concentración de hidróxido de calcio aumenta la alcalinidad debido a que el hormigón presenta un pH 12.5, a su vez al reaccionar con el dióxido de carbono, reduce el pH del hormigón por la carbonatación, desactivando el



acero al convertirse en carbonato de calcio, lo cual facilita el ataque de sustancias nocivas. [11]

La velocidad en la que la carbonatación afecta al concreto. Según Mascia y Sartorti [11]:

Existe una relación directamente proporcional entre la permeabilidad y la tendencia de agrietarse del material. Esta relación (w/c), determina la permeabilidad específica del concreto, mientras que el espesor del recubrimiento impacta en la velocidad de carbonatación. (p.7) como se evidencia en la Tabla IV.

Tabla III.

Penetración de carbonatación en el hormigón

PENETRACIÓN EN EL TIEMPO (AÑOS)						
Relación w/c	5	10	15	20	25	30
0.45	19	75	>100	>100	>100	>100
0.50	6	25	56	99	>100	>100
0.55	3	12	27	49	76	>100
0.60	1.8	7	16	29	45	65
0.65	1.5	6	13	23	36	52
0.70	1.2	5	11	19	30	43

Nota: La relación entre la permeabilidad y la tendencia de agrietarse en material genera una penetración de carbonatación en el hormigón que es posible apreciar a través de los años. Adaptado de Mascia y Sartorti. [11]

3.5 Socavación

Se debe al proceso de erosión sobre el terreno, manifestándose debido a las deficiencias en la construcción de los cimientos, la inestabilidad del terreno, y la acción constante del agua, principalmente en los estribos, pilas y cimientos.



3.6 Corrosión estructural y sus tipos

Es el proceso en el cual los metales al interactuar con el medio ambiente generan oxidación en sus compuestos mediante un proceso de retorno, por lo tanto, deterioran progresivamente los elementos estructurales. Pannoni [14] plantea que el fenómeno de la corrosión implica una diversidad significativa de mecanismos desencadenantes, los cuales pueden categorizarse en cuatro grupos principales: en primer lugar, la corrosión en entornos acuosos, que representa aproximadamente el 90% de los casos; en segundo lugar, la oxidación y la corrosión a altas temperaturas, que comprenden alrededor del 8%; en tercer lugar, la corrosión en ambientes orgánicos, con un porcentaje aproximado del 1.8%; y finalmente, la corrosión causada por metales líquidos, que representa alrededor del 0.2%. No obstante, cabe destacar que la causa más común de deterioro en estructuras de metal es la oxidación del acero.



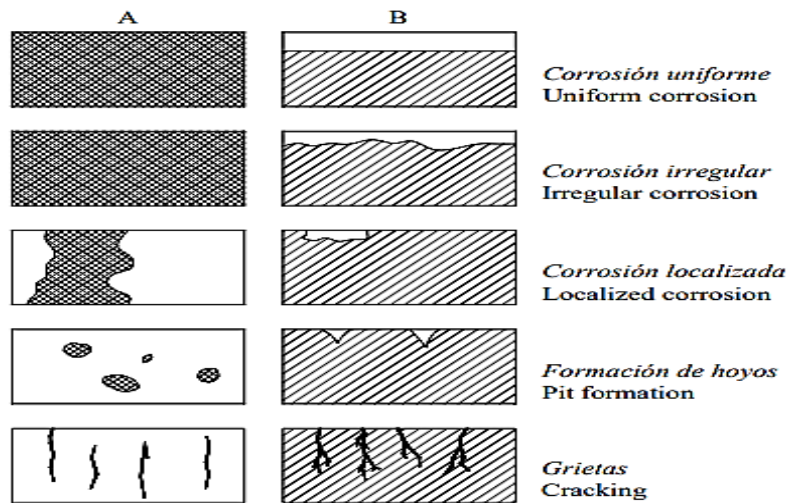


Fig. 4 Tipología de la corrosión del acero. A vista superior. B Vista lateral. De Mascia y Sartorti. [11]

El nivel de oxidación puede ser catalogado como se enuncia a continuación:

3.6.1 Corrosión Superficial

Aparece en áreas corroídas creando pequeñas capas, no genera reducción del área mediana.

3.6.2 Corrosión Avanzada

Esta es una forma que surge al penetrar el acero y lograr incluso, perforar completamente la pieza.

3.6.3 Corrosión uniforme

Como su nombre indica se genera en toda la superficie del metal de manera uniforme, la corrosión es de tipo química o electroquímica.

3.6.4 Corrosión galvánica



Se genera cuando dos metales de diferentes potenciales eléctricos se encuentran en contacto y generan la aparición de un ánodo y un cátodo, el más activo será el ánodo.

3.6.5 Corrosión por picaduras o “pitting”

Se generan agujeros u hoyos por sustancias químicas.

3.6.6 Corrosión intergranular

Se genera desintegración en los bordes de grano debido a la pérdida de la resistencia.

3.6.7 Corrosión por esfuerzo

Se genera por la deformación en frío al general tensiones internas.

Figura 1. Efectos de la corrosión

Corrsión del acero	Corrosión del concreto	Corrosión en la adherencia acero/ concreto
• Se presenta por alta porosidad, capilaridad, poco recubrimiento, presentada como carbonatación, reducción del pH del concreto. • Causa pérdida de sección y disminución de capacidad.	• Se genera por reacción química presentada como lixiviación, expansión o permeabilidad. • Causa manchas, grietas, desprendimiento o delaminaciones.	• Causa incapacidad para transmitir resistencia a tracción del acero de refuerzo al concreto.

Fig. 5. Efectos de la Corrosión. Adaptado de Parra y Zea. [15]



3.7 Filtraciones

Es la presencia permanente o intermitente de humedades como lluvia, falencias de drenajes, fugas en sistemas, nivel freático o instalaciones, al no ser tratada genera deterioros progresivos.

3.8 Patología por defectos constructivos

Su origen se basa en errores de replanteo, incumplimiento de la normativa, modificaciones de proyecto, carencia de una definición clara del proyecto, alteración de los materiales y materiales que no cumplen o se ajustan a estándares de calidad requeridos.

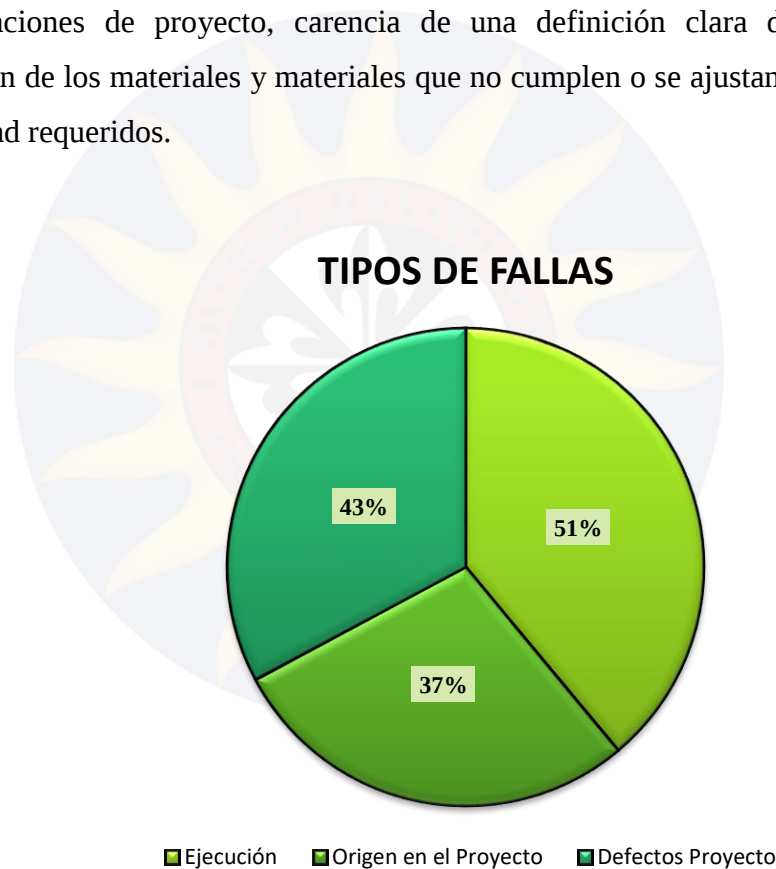
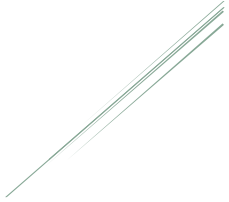


Fig. 6. Tipos de fallas por defectos constructivos.

En la ejecución, como se observa en la figura 6 se presenta un mayor porcentaje debido a errores constructivos en vigas, pilares, cimientos, en elementos





superficiales y con el contacto con el terreno, luego le sigue los fallos en el origen del proyecto debido a errores de diseño, modificaciones en el mismo, falta de personal idóneo, por último encontramos defectos del proyecto, que es donde no se analizaron diferentes variables como la calidad de los materiales debido a las múltiples modificaciones, por lo tanto se evidencia errores que afectan directamente los costos del mismo. Gutiérrez [3]

3.8.1 Características (calidad) de los materiales

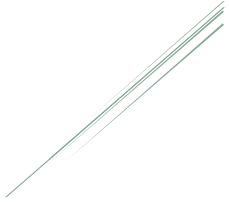
Corresponde a uno de los factores más importantes puesto que determina la durabilidad de la estructura y evita deterioros tempranos o fallas en el mismo, por lo tanto, para cada proyecto resulta esencial tener personal calificado y profesional en el ámbito de supervisión de calidad, para realizar las intervenciones a tiempo para contribuir con soluciones seguras que den continuidad al proyecto, ya sea mediante ensayos no destructivos o destructivos.

3.8.2 Concreto y acero

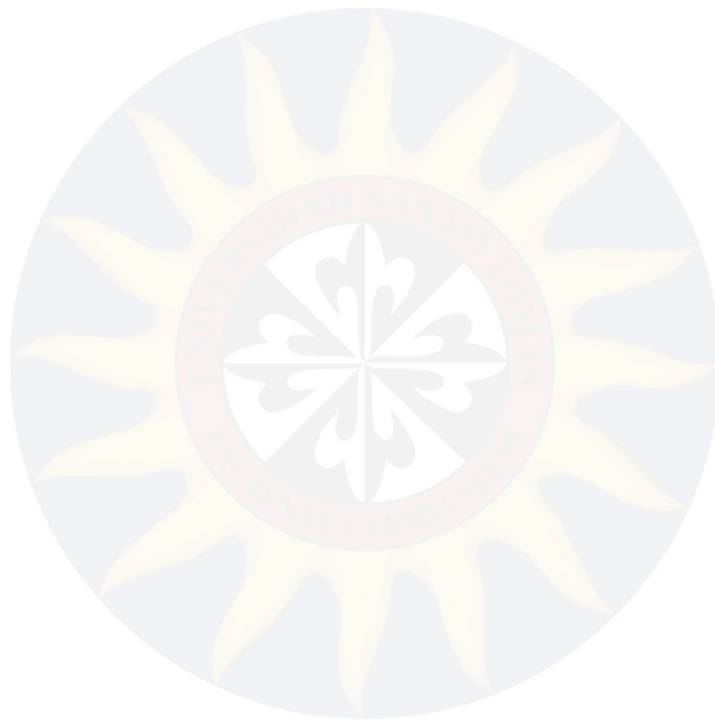
Es un material de gran resistencia y durabilidad que al fraguar extiende su resistencia a través del tiempo, este material es resistente a compresión, pero no a tracción, por lo tanto, se unen con el acero que aportan su resistencia a tracción, evitando así las grietas en el mismo, dando le así mayor resistencia como lo afirma Gutiérrez. [3]

Existen fallas ocasionadas por el deterioro del concreto pretensado esto se debe principalmente a la disminución de la tensión del acero, la contracción del hormigón, la corrosión resultante de las tensiones en el hormigón bajo la carga de acero previamente tensionado, una insuficiente cantidad de acero de refuerzo pasivo en





los puntos de anclaje y el deterioro en la adhesión entre el acero bajo tensión y el concreto circundante.



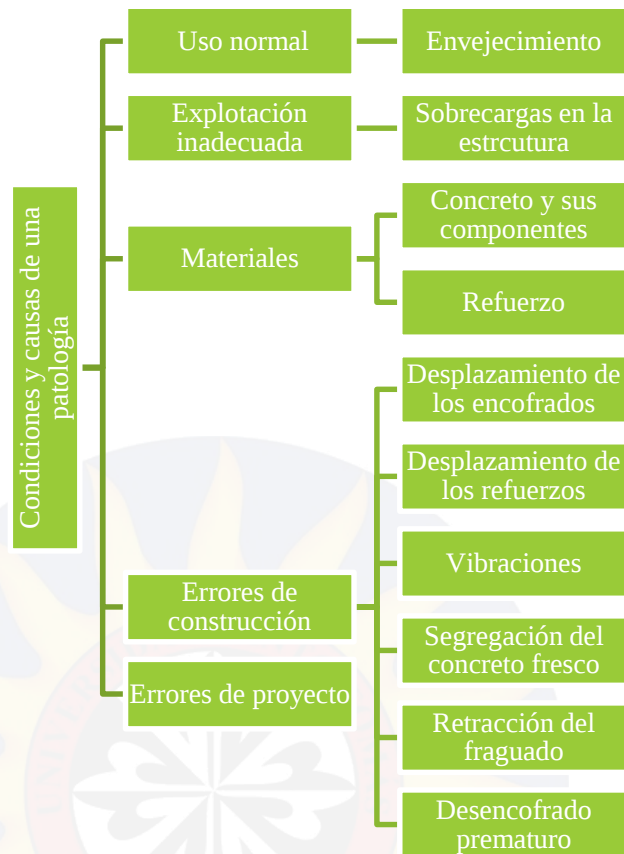


Fig. 7. Etología de una patología. Errores. Adaptado de Gutiérrez [3]



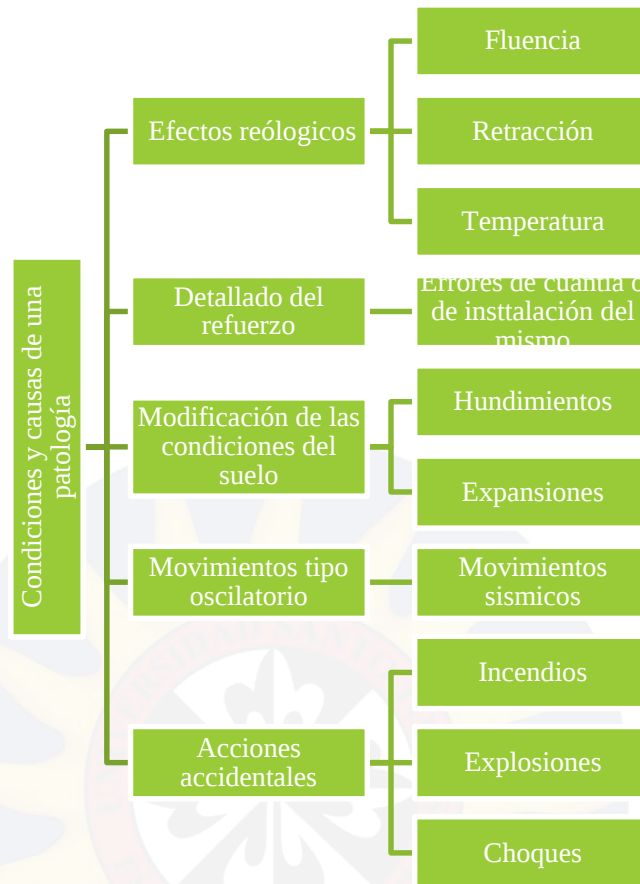


Fig. 8. Etología de una patología. Causas. Adaptado de Gutiérrez [3]

3.9 Estado de los puentes en Colombia

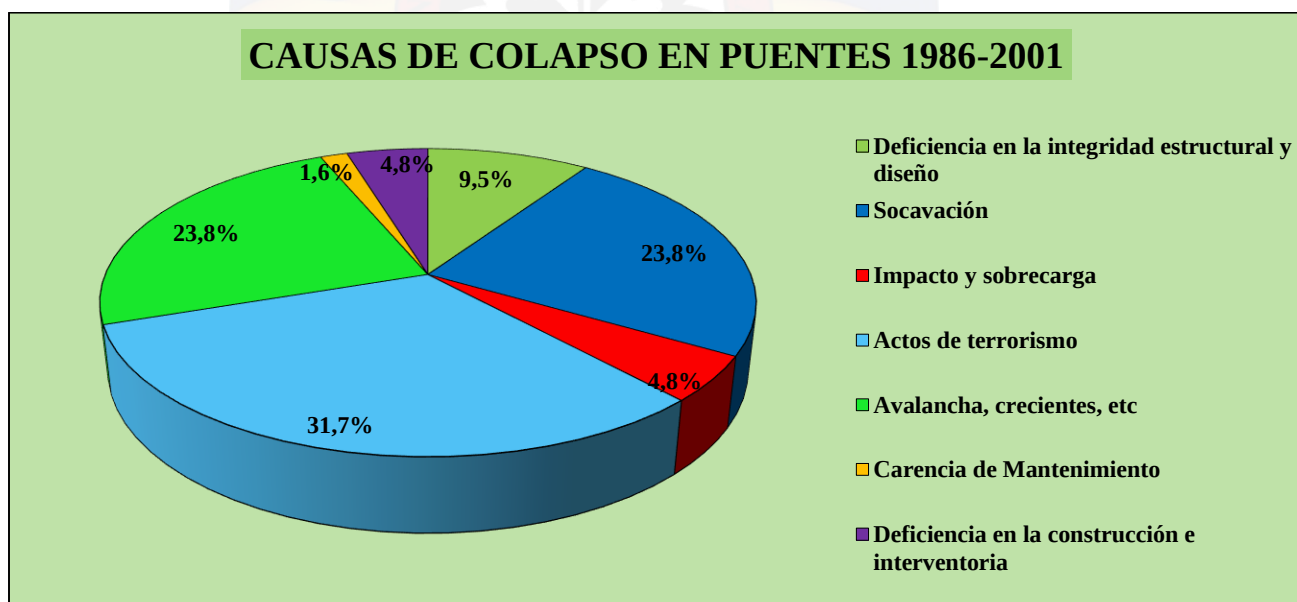
De acuerdo con lo expuesto por Muñoz [16]:

desde 1986 hasta el 2001 se han presentado 63 colapsos en puentes de los cuales representan un mayor porcentaje atentados terroristas, socavación y avalanchas, crecientes, etc. Los puentes que analizaron fueron Cobarria-1986, La Granja-1997, El Limón -1993, La Conguta -1997, Samaná -1993, El Secreto-1994, Guillermo León Valencia-1994, Barranca de Upla-1994, Los angeles-1994, Rio Casanare-1994, Rio Carare-1994, Rio Pató-1994, Villaterga-1997, Maizaro-1997, Matanzas-1997, Recio – 1998, Apure– 1998, Vlao – 1998, La Gómez– 1999, San Luis-1994.



Avirama-1994, Itaibe-1994, Juntas -1994, Naranjal-1994, Nolasco-1994, Moras-1994, Cohentando-1994. Rocaurte-1994, Simbola-1994, Capri-1994, La Troja-1994, El Guajiro-1994, Itaibe-1994, Nolasco-1994, Heredia-1995, Pescadero-1996, Purnio-1996, Río Sevilla-1996, Jorge Gaitán Duran -1996, Tasido-1999, Argelino Duran Quintero -1999, Peatonal Autopista norte con 122-1999, Peatonal calle 26 con avenida 68-1999, El Caminito-2000, Costa Rica-2000, Cubugón-2000, La Honda-2000, Pontón Cuchuca-2000, Pontón-2000, Colorado-2000, Pontón Tolima-2000, Río Negro-2000, Penjamo-2000, Tobia - Grande Puerto Salgar-2000, Guaduas-Cabezas-2000, Tobasía-2000, Molino Viejo-2000, Unete-2000, El Mango -2001, Paso a desnivel-2001, El Caminito-2001. (pp. 34-35)

Esto indica que, en un periodo de quince años las causas de colapso de los puentes mencionados para paso vehicular en Colombia se pueden categorizar como se observa en la Figura 9.



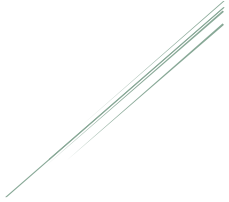
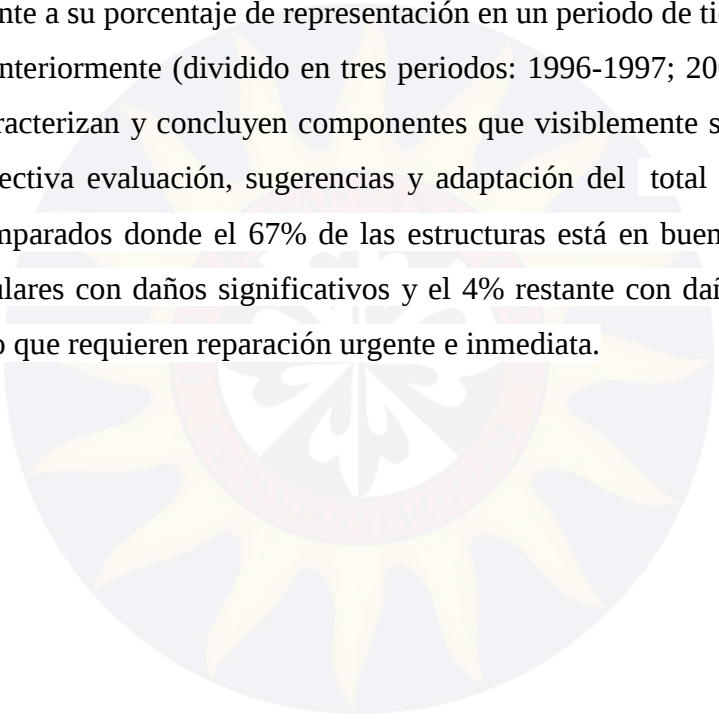


Fig. 9. Causas de colapso en 63 puentes de Colombia entre 1986 y 2001. Adapataado de Muñoz [16]

Por otra parte, en el artículo presentado por Muñoz y Gómez [8] dan a conocer el estado de los puentes de Colombia realizando una caracterización grafica (Ver figura 10) en columnas donde clasifican tres componentes principales : superficie de rodadura, andenes y bordillos y barandas (que luego se desglosan en diez componentes de valoración); en las graficas es posible apreciar la calificación del componente (bueno, regular, malo o desconocido) frente a su porcentaje de representación en un periodo de tiempo transversal al mencionado anteriormente (dividido en tres periodos: 1996-1997; 2001-2002 y 2007-2008), allí se caracterizan y concluyen componentes que visiblemente son estables; esto luego de la respectiva evaluación, sugerencias y adaptación del total de 1995 puentes analizados y comparados donde el 67% de las estructuras está en buen estado, 28% en condiciones regulares con daños significativos y el 4% restante con daños graves o con riesgo de colapso que requieren reparación urgente e inmediata.



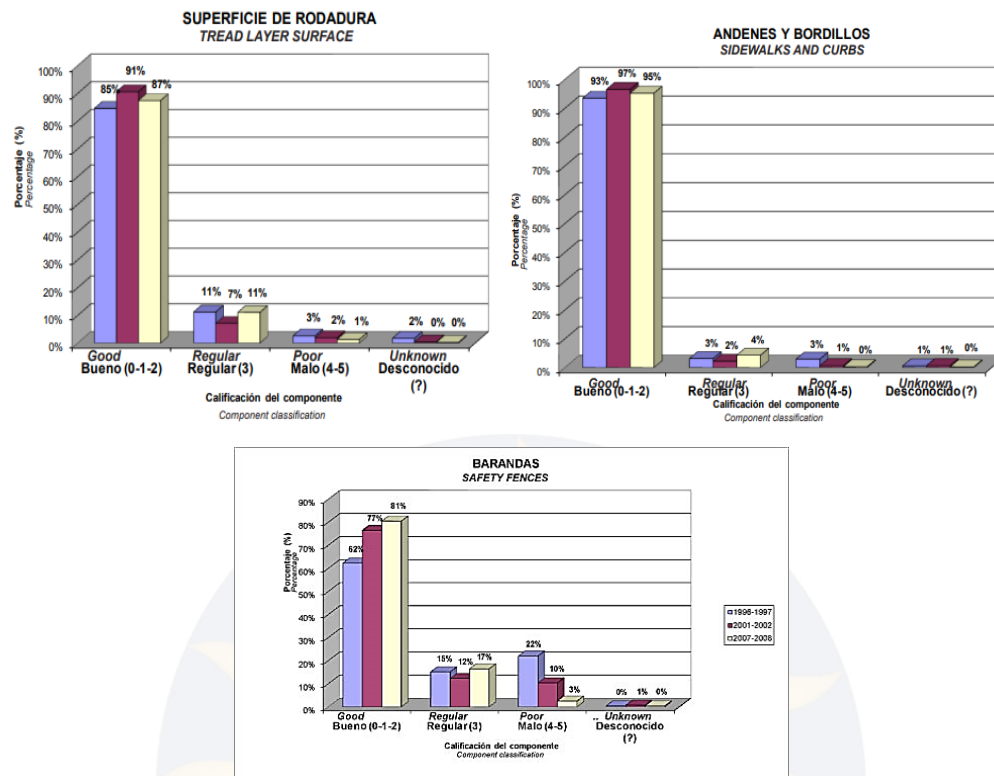


Fig. 10. Estado de puentes en Colombia 1996 al 2008 superficie rodadura, andenes y bordillos, baranda. De Muñoz y Gómez [8]

Se analiza de la figura 10. que los puentes con mejores condiciones en cuenta a barandas, superficie de rodadura, bordillo y andén, son los del año 2001 – 2002, mientras que a los puentes e 1996-1997, se le deben realizar los respectivos mantenimientos.



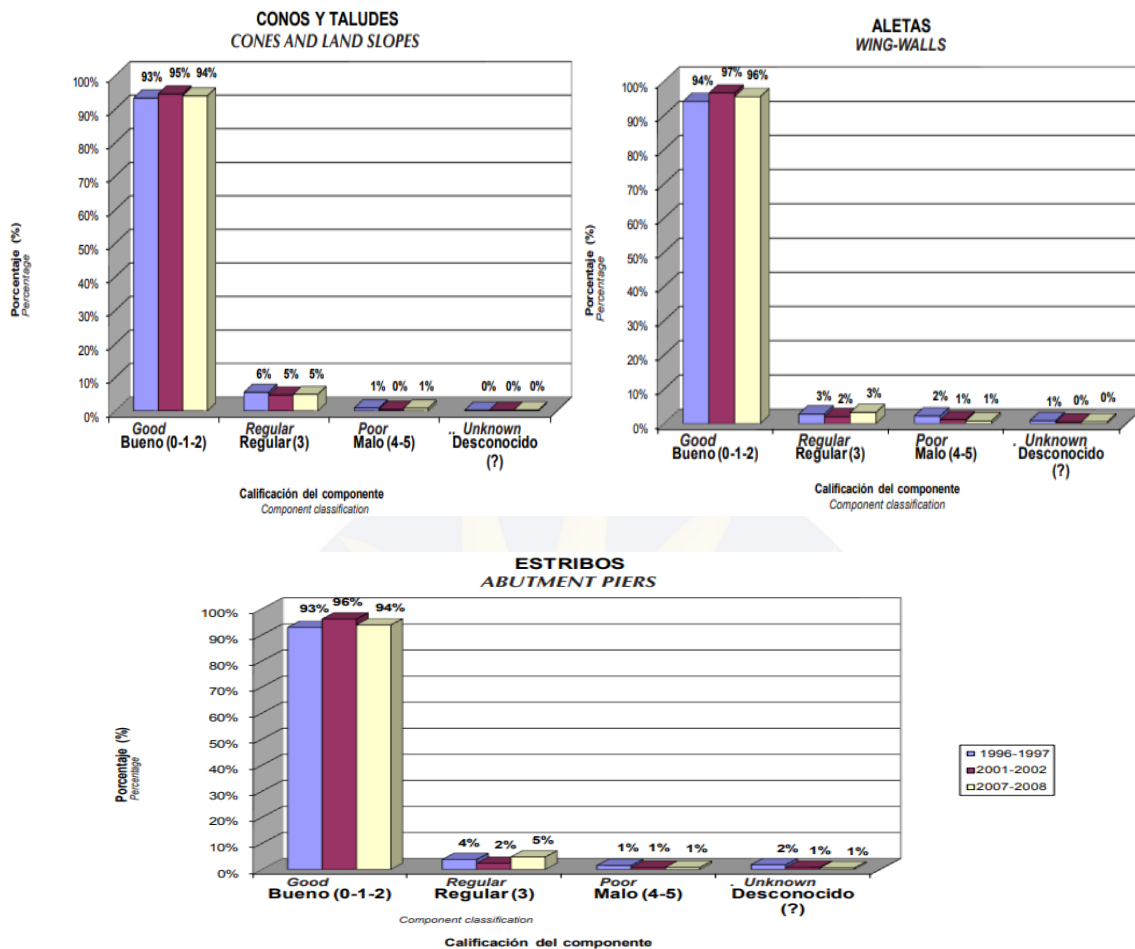


Fig. 11. Estado de puentes en Colombia 1996 al 2008 conos y taludes, aletas, estribos. De Muñoz y Gómez [8]

Se analiza de la figura 11 que los puentes del 1996 a 2008 presentan buenas condiciones en cuanto a conos, taludes, aletas y estribos, siendo estos elementos de vital importancia para el funcionamiento estructural y la seguridad vial.



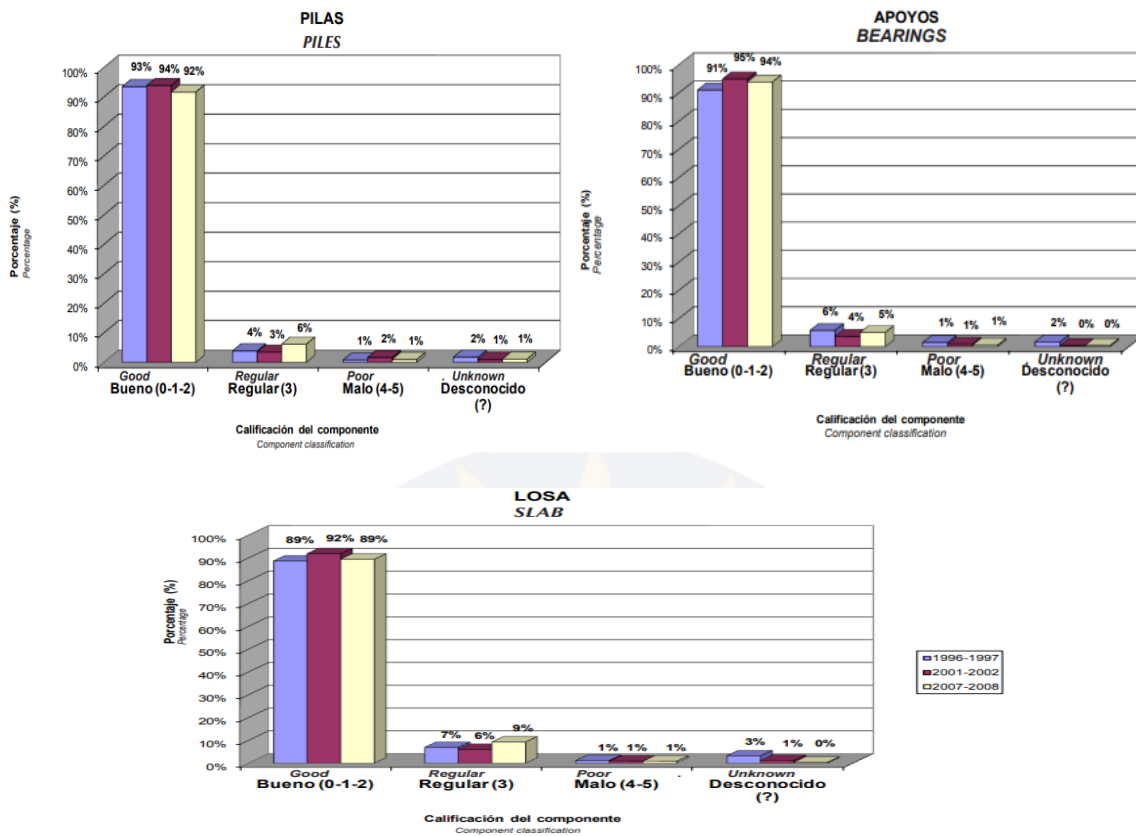


Fig. 12. Estado de puentes en Colombia 1996 al 2008 pilas, apoyos y losa. De Muñoz y Gómez [8]

Se analiza de la figura 12 que los puentes del 1996 a 2008 presentan buenas condiciones en cuanto a losa, pilas y apoyos, se recomienda en base a los datos estadísticos hacer seguimiento a las losas, debido a que presentan un menor grado de irregularidad en cuanto a su estado, pero este se puede agravar a través de los años.



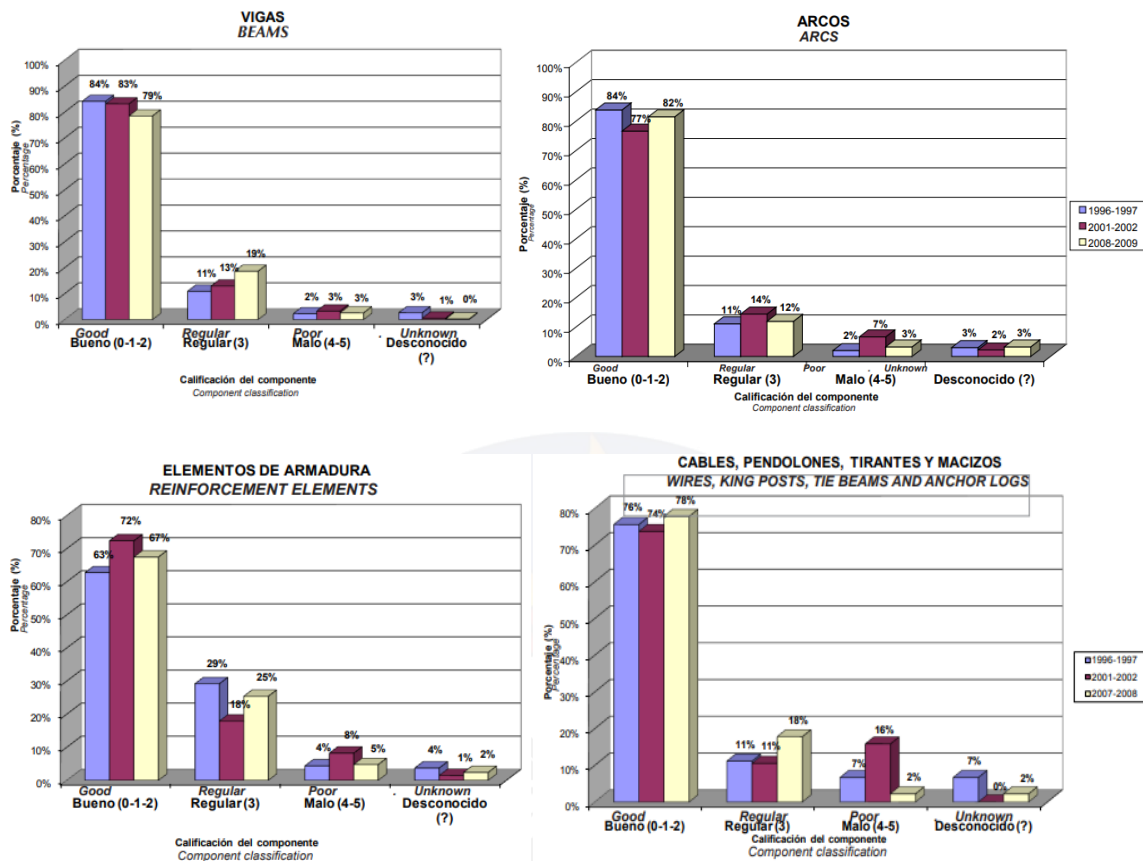


Fig. 13. Estado de puentes en Colombia 1996 al 2008 vigas, arcos, elementos de armadura, cable, pendolones, tirantes y macizos. De Muñoz y Gómez [8]

Finalmente, se analiza de la figura 13 que los puentes del 1996 a 2008 presentan condiciones irregulares en cuanto a sus elementos de armadura, siendo los más afectados los del año 1996-1997, mientras que los años 2001-2008 presentan afectaciones en vigas, arcos, cables, pendones, tirantes y macizos, por lo tanto, se presenta un déficit en el tiempo



Capítulo 4

Metodologías para detectar una patología

Las patologías estructurales son aquellas disfunciones o comportamientos inusuales de una estructura, en las cuales, no se puede asegurar la estabilidad ni la seguridad de esta. La metodología usada por (Gutiérrez, 2014) en un estudio patológico se realiza en tres pasos:

1. Determinar el modo en el manifiesta (comportamiento de la falla), es decir, discernir la naturaleza de la patología.
2. Llevar a cabo un análisis exhaustivo con el propósito de identificar las razones subyacentes que los provocaron.
3. Plantear las acciones inmediatas, así como los tratamientos que se le debe hacer a la estructura.

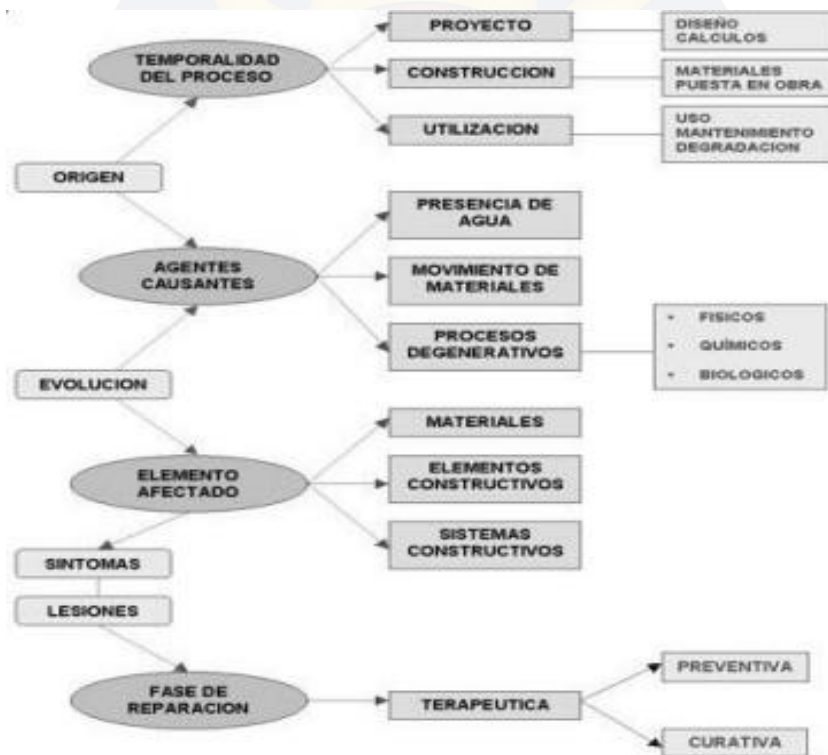


Fig. 14. Proceso patológico. De Monje [17]



Para poder realizar la identificación de una patología estructural es de vital importancia conocer sus elementos estructurales o las partes que lo conforman con su respectiva definición como se indica a continuación:

4.1 Puente

4.1.1 ¿Qué es un puente y como se conforma?

Es definido como una construcción que tiene como objetivo conectar dos sitios entre sí, tal y como afirma Gutiérrez [3] “abrigando distancias representativas, con el fin de proteger limitaciones naturales” (p.27).

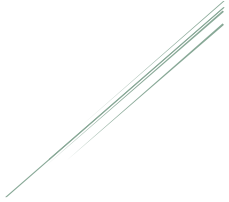


1	superficie de rodadura	7a	Estribo con cimentación	11	Vigas principales
2	Juntas con dilatación	7b	Estribos con cimentación superficial	12	Cauce
3	bordillo	8a	Pila con cimentación profunda	13	Pedestal
4	baranda	8b	Pila con cimentación superficial	14	Pilotes
5	Conos y taludes	9	Apoyo en estribo	15	Dado
6	Aleta	10	Losa	16	Terraplén de acceso

Fig. 15. Componentes básicos de un puente tipo. De Muñoz [18]

4.1.1.1 Super estructura. Está compuesta por losas y vigas, siendo precisamente en este contexto donde la carga dinámica del puente ejerce su influencia, transferid posteriormente hacia la subestructura y la infraestructura.





4.1.1.2. Subestructura. Encargada de acoplar la infraestructura y la superestructura, soporta las reacciones de los estribos evitando deformaciones transversales, las pilas que soportan la carga vertical, es decir, la carga de la superestructura e infraestructura, por ultimo los empujes laterales de forma horizontal, es decir, transmite las solicitaciones al suelo.

4.1.1.3. Infraestructura. Está compuesta por pedestales, zapatas y fundaciones, apoyan la superestructura y también ayudan a transmitir sus cargas al suelo de fundación.

4.1.1.4. Elementos de soporte. Son el enlace entre el tablero del puente y la subestructura, y soportan los movimientos relativos como giros y desplazamientos entre los mismos.

4.1.1.5. Junta. Como afirma Gutiérrez [3] “Es el espacio entre dos superficies de elementos unidos por medio de mortero pega o cemento” (p.31). Estas evitan fisuraciones irregulares. Las juntas de construcción más frecuentes son aquellas que se adaptan conforme al diseño estructural, presentando diversas tipologías como juntas de contracción o expansión, juntas monolíticas, juntas de retracción ó flexión, así como juntas de dilatación.

4.1.1.6. Defensas. Constituyen medios de salvaguardia empleados con el propósito de disminuir la gravedad de los incidentes, y pueden adoptar la forma de componentes continuos de naturaleza estructural o de elementos continuos sin función estructural.

4.1.1.7. Losas de acceso. Se refieren a aquellas que mitigarían los eventuales hundimientos desiguales que pueden surgir en la capa de relleno de la entrada, y cumplen un papel integral en la superficie transitable de dicha entrada.



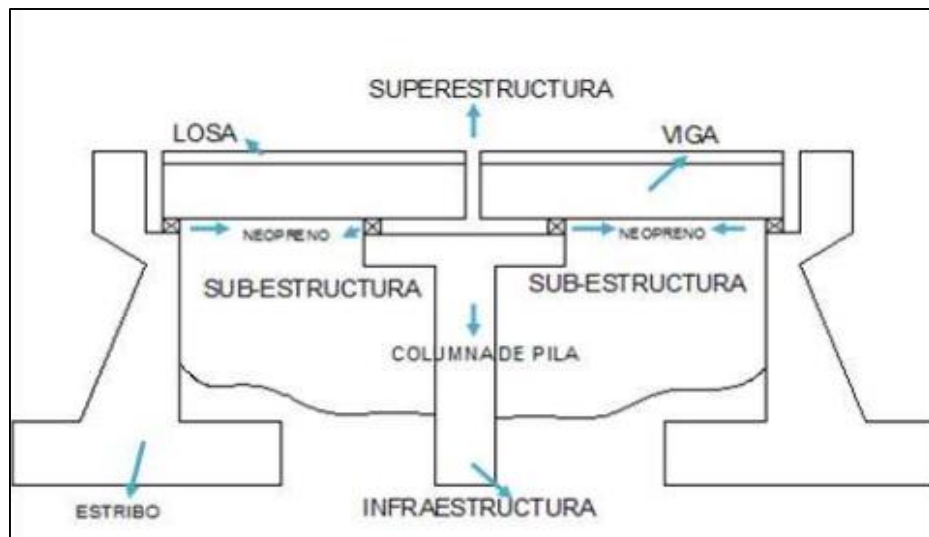
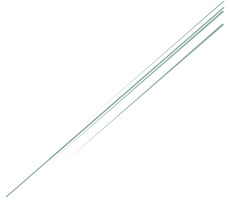


Fig. 16. Detalles de un puente. De Gutiérrez [3]

4.1.2 Partes de un puente

1. **Viga.** Es un elemento estructural que soporta fuerzas de flexión y corte.
2. **Capa de rodamiento.** Como describe Gutiérrez [3] “Es la capa de la superficie del pavimento que protege la base, impermeabilizando la superficie de este para evitar el desgaste de la base” (p. 64).
3. **Capa de material seleccionada.** Se trata de una capa compuesta de material granular ubicada entre la subrasante plástica y la losa de concreto, su función es evitar el fenómeno de surgencia, los efectos de hinchamiento de la subrasante y controlar los efectos de asentamientos.
4. **Losa de concreto.** Es aquella losa que soporta cargas vehiculares y proporciona a su vez una excelente superficie de rodamiento, entre ellas:



- 
- **Losa prefabricada.** Está conformada por columnas y vigas en pórticos vaciadas en sitio, tales como vigas PI, Te, Doble Te, etc., que aseguran la integridad estructural y el rendimiento adecuado frente a las cargas aplicadas.
 - **Losa maciza tradicional.** Está conformada por concreto pretensado, se usan usualmente en luces cortas y cargas distribuidas uniformemente, usualmente se utiliza doble malla una en la parte superior e inferior.
 - **Losa nervada o reticular.** Consiste en vigas aligeradas dispuestas en paralelo, las cuales han sido diseñadas con una disminución de su peso y un aumento en su grosor con el propósito de conferirle una mayor rigidez.
 - **Sofitos metálicos (Losacero).** Son losas compuestas por lamina acanalada, malla electrosoldada y conectores para incrementar su capacidad.

4.1.3 ¿Cuáles son los tipos de puentes?

Los Puentes, consiguen clasificarse en función de numerosos criterios. Dichos criterios abarcan desde el material utilizado en su construcción y el sistema estructural empleado, hasta el método constructivo aplicado y el propósito específico para el cual el puente será utilizado. Además, la posición de la calzada en la estructura del puente también desempeña un papel en su clasificación. A continuación, en la figura 17 se realiza la clasificación de acuerdo con lo descrito anteriormente:



Tipos de Puentes

Puentes según el Servicio o Instalaciones soportadas: Son aquellos puentes carreteables y de ferrocarril, puentes para canales u acueductos, puentes para cruces para peatones y animales, puentes para el manejo de materiales y puentes para tuberías.

Puentes según su ubicación sobre instalaciones o accidentes naturales: Son aquellos puentes sobre carreteras o vías férreas, fuentes hídricas, bahías o en cruces de valles.

Puentes según su geometría básica: Son aquellos puentes curvos, rectos, a escuadra, en elevación de nivel alto o de nivel bajo.

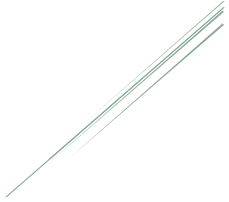
Puentes según su sistema estructural: Son aquellos puentes de claro simple o de viga continua, puentes de arco o simple o múltiple, puentes colgantes y puentes del tipo de marco o armadura.

Puentes según sus materiales de construcción: Son puentes de madera, mampostería, concreto y acero.

Fig. 17. Clasificación de puentes.

La clasificación de los puentes según el material de construcción es un aspecto fundamental para comprender y diseñar estas estructuras de vital importancia en la infraestructura. Los puentes pueden categorizarse principalmente en tres grupos principales en función de los materiales utilizados en su construcción. En primer lugar, tenemos los puentes de concreto, que se destacan por su durabilidad y versatilidad, capaces de resistir cargas considerables a lo largo del tiempo. Luego, encontramos los puentes de acero, conocidos por su alta resistencia estructural y su capacidad para grandes luces y cargas pesadas. Por último, pero no menos importante, están los puentes de madera, que históricamente han sido una





elección común en áreas rurales, y que a menudo se utilizan en puentes peatonales o vehiculares de menor envergadura. La elección del material adecuado para un puente depende de una serie de factores, como las condiciones del entorno, la carga esperada y las consideraciones económicas, y es esencial para garantizar la seguridad y la durabilidad de estas estructuras cruciales para nuestra conectividad y movilidad.

Luego, tener en cuenta la clasificación de los puentes según su estructura permite comprender su diversidad y funcionalidad. Estos elementos esenciales de la infraestructura se pueden categorizar en varias tipologías estructurales principales. Esta diversidad estructural es el resultado de la adaptación ingeniosa de la ingeniería a desafíos geográficos y logísticos específicos, y es fundamental para satisfacer las necesidades de conectividad y transporte en nuestra sociedad moderna.

Tabla IV.

Clasificación de puentes según material / estructura

SEGÚN EL MATERIAL	SEGÚN SU ESTRUCTURA
Madera, Piedra	Arcos
Mampostería	Celosía
Acero	Losa
Concreto Armado	Viga
Concreto Pretensado	Apoyos

Nota: De acuerdo al material y la estructura es posible establecer una clasificación de los puentes. Adaptado de Gutiérrez [3]



4.2 Patología

López y Martínez [19] nos indican, que la patología “es el análisis de las enfermedades como técnicas anormales de causas conocidas o desconocidas” (p.13). Y es definida como el estudio del comportamiento de las estructuras cuando muestran sinónimos de fallas, sus causas y proponer acciones correctivas o su demolición. El estudio de la Patología Estructural involucra según Mascia y Sartorti [11] “el estudio detallado del problema, describiendo sus causas, mecanismos de ocurrencia, formas manifiestas, mantención estructural y profilaxis”.

Las patologías, representan entonces, las imperfecciones o irregularidades evidenciadas en las obras, ya sea durante su proceso de construcción o después de su finalización. Para Parra y Zea [15] la define como el campo que estudia las fallas en la estructura, profundizando en el diagnóstico del problema, éstas varían de acuerdo con la tipología, el efecto y la simetría de la falla, las condiciones estéticas, el uso de la estructura, con el fin de buscar una solución efectiva. Las patologías se presentan principalmente en cimientos, pilas, estribos y tableros, pueden ser causadas por diferentes factores como se indica a continuación:

Tabla V.

Patologías más comunes en cimientos y sus causas

PATOLOGÍAS EN CIMIENTOS	
Característica	Causa
Mal funcionamiento	Descalce en zapatas
	Rotación
Deformación Excesiva del terreno	Terreno tipo plástico
	Terreno tipo elástico
	Terreno tipo diferido (suelos arcillosos)
Falla Estructural	Flexibilidad excesiva de pilotes
	Falla en la armadura del acero
	Mala calidad del hormigón



Nota: los cimientos se deben a patología que se categorizan como comunes. Adaptado de Parra y Zea [15]

Tabla VI.

Patologías más comunes en pilas y sus causas

PATOLOGÍAS EN PILAS	
Característica	Causa
Fisuras	Retracción
	Pandeo de la armadura vertical por flexión y cortante
	Tensiones concentradas
Perdida del concreto	
Desplome	
Mala calidad de los materiales	

Nota: Las patologías en pilas presentan características y causas. Adaptado de Parra y Zea [15]

Tabla VII.

Patologías más comunes en estribos y sus causas

PATOLOGÍAS EN ESTRIBOS	
Característica	Causa
Fisuración	Retracción del hormigón
	Heterogeneidad del terreno
	Acción química
	Deficiencia de la armadura
Humedad	Aguas superficiales
	Aguas Filtradas
Descascar-amiento	
Defectos de construcción	
Hormigueos	

Nota: Las patologías en estribos presentan características y causas. Adaptado de Parra y Zea [15]

Tabla VIII.

Patologías más comunes en el tablero y sus causas

PATOLOGÍAS EN TABLERO



Característica	Causa
Fisuración	Por flexión y cortante en la cabeza de los apoyos Corrosión en la armadura
Manchas de humedad	
Recubrimientos insuficientes	

Nota: Las patologías en tablero presentan características y causas. Adaptado de Parra y Zea [15]

4.3 Métodos

4.3.1. Estudio patológico:

Es una investigación donde se busca encontrar la causa o diagnóstico y en base a ello dar un pronóstico definitivo para dar solución, para realizar el mismo se deben seguir los pasos que se enuncian a continuación,

4.3.1.1. Sintomatología. Caracteriza los daños mediante síntomas que presenta la estructura como lo son:

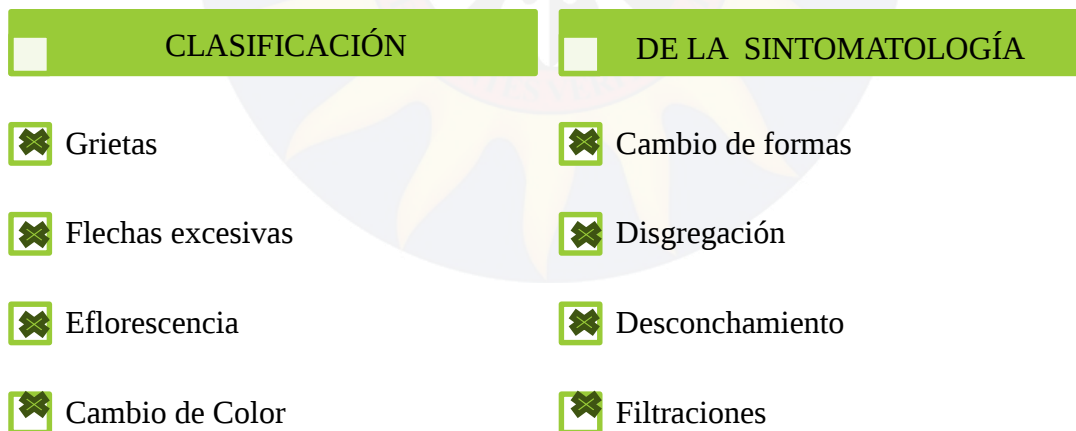


Fig. 18. Síntomas en puentes.



4.3.1.2.Diagnostico preliminar. Se realiza mediante la inspección ocular, se analiza a sintomatología de la estructura para desarrollar hipótesis, otros métodos son la recopilación de información, la inspección minuciosa a cada deterioro y encuestas. Luego de esta inspección se realizan los respectivos ensayos como el de esclerometría, un análisis estructural y de la incidencia en los defectos del puente por medio de metodologías cuantitativas y cualitativas.

4.3.1.3.Diagnóstico definitivo. Se realiza una evaluación de las potenciales raíces de los daños, lesiones o deterioros que presenten la estructura mediante un análisis de los síntomas y demás hallazgos evaluados, como lo son el resultado de los estudios y ensayos realizados.

4.3.1.4.Pronóstico. Se realiza un análisis de los resultados del estudio de patología de la estructura y se toman acciones dependiendo de los resultados obtenidos como lo son:

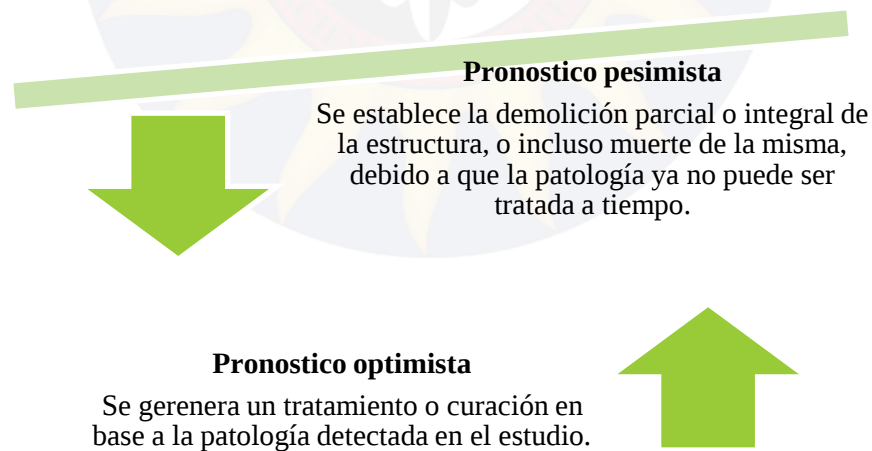
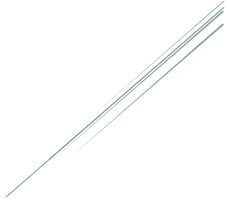
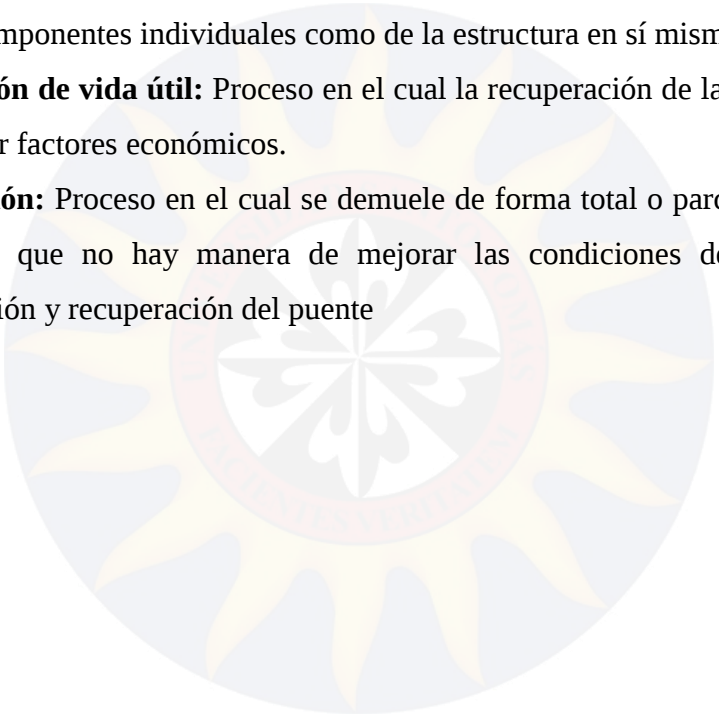


Fig. 19. Tipos de pronóstico.





Los tratamientos en las patologías se clasifican según Parra y Zea [15] con base a sus características de la siguiente manera:

1. **Recuperación:** Procedimiento por el cual se busca recobrar la resistencia de la estructura.
 2. **Restauración:** Proceso donde se busca mejorar las condiciones estéticas de la estructura.
 3. **Reforzamiento:** Proceso que se enfatiza en potenciar la capacidad de carga tanto de los componentes individuales como de la estructura en sí misma.
 4. **Limitación de vida útil:** Proceso en el cual la recuperación de la estructura no es viable por factores económicos.
 5. **Demolición:** Proceso en el cual se demuele de forma total o parcial la estructura, debido a que no hay manera de mejorar las condiciones de reforzamiento, restauración y recuperación del puente
- 



Capítulo 5

Métodos, normas y ensayos para evaluar las patologías en puentes

Para evaluar una patología se deben realizar los ensayos según las normativas para el país de referencia, con el fin de poder clasificar los resultados dentro de los rangos suministrados.

5.1 Marco Legal

1. Norma Colombiana de diseño de puentes - LRFD - CCP14:

En este contexto (Ver Figura 20), se llevaron a cabo la generación de mapas que reflejan la amenaza sísmica, considerando intervalos de retorno de 975 y 250 años. Además, se efectuó la ajustada calibración de las cargas dinámicas originadas para fines de diseño. Todo esto se ejecutó con el propósito de asegurar que dicha normativa esté alineada con los estándares de diseño y construcción de puentes empleados en naciones altamente desarrolladas.

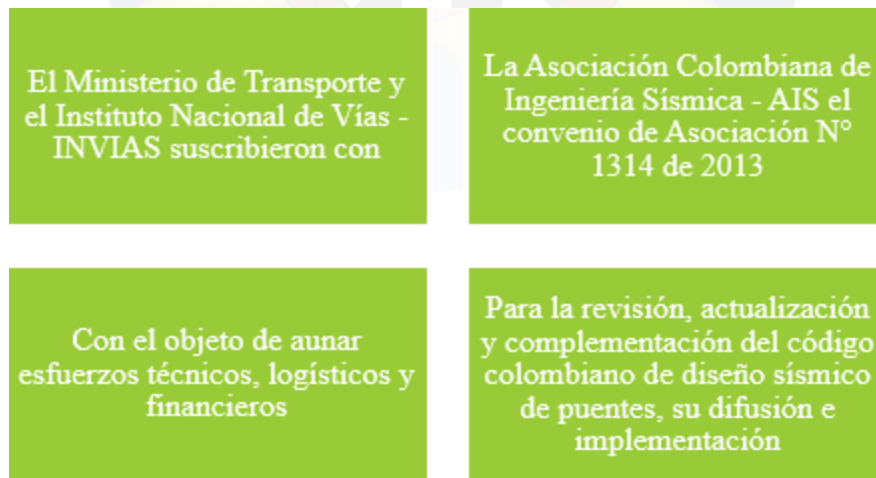


Fig. 20. Diseño de Puentes. Norma Colombiana LRFD-CCP4. Adaptado de INVIAS [20]



2. Norma técnica Colombiana NTC 4774:

“Esta norma establece las dimensiones mínimas y las características funcionales y de construcción que deben cumplir los cruces peatonales a nivel y los puentes peatonales no adosados a puentes vehiculares y pasos subterráneos”. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2006); posee las siguientes referencias normativas NTC 900, NTC 4143, NTC 4144, NTC 4145, NTC 4201 y NTC 4695.

3. Decreto 945 de 05 de junio de 2017:

En cuanto a normativa colombiana vigente, es totalmente necesario tener en cuenta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), considerado como el conjunto de disposiciones normativas de Colombia, destinadas a establecer los requisitos necesarios para que las edificaciones cuenten con las características adecuadas que aseguren una respuesta estructural favorable ante eventos sísmicos, la misma, modificada por el Decreto 945 de 2017 (Ver Figura 21).



Fig. 21. Modificación decreto 945 de 2017. Adaptado de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017, Artículo 1.

5.2 Métodos y ensayos

5.2.1. Análisis mecánico.

El comportamiento mecánico define la estabilidad de la estructura ante cargas muertas y vivas actuantes en el puente, para ello se determinan diferentes ensayos para medir su estabilidad, la calidad constructiva:



5.2.1.1. Resistencia a la compresión

La cualidad mecánica que analiza la habilidad para soportar cargas y asegura la excelencia de los materiales utilizados en la edificación del puente y sus elementos estructurales es conocida como la capacidad de compresión.

5.2.1.2. Resistencia a la flexión

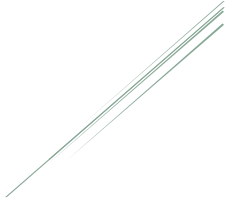
En Colombia, la determinación del módulo de rotura se realiza mediante el uso de una maquina universal, siguiendo las directrices establecidas en Norma Técnica Colombiana NTC-4017, se realizan especímenes de forma cilíndrica de diámetro d y altura $2d$ o secciones cuadradas con lados de 15 cm, 20, 25 hasta 20cm.

5.2.2 Ensayos realizados en puentes

Algunos de los ensayos realizados en patologías son:

1. Masa Concreta y absorción del hormigón.
2. Tensión por compresión diametral
3. Resistencia a compresión en núcleos
4. Estudios de petrografía
5. Permeabilidad al ion cloruro
6. Módulo de elasticidad estático
7. Reactividad potencial álcali – sílice - método del Uranilo.
8. Cambios de volumen con la edad
9. Contenido de cloruros y sulfatos solubles
10. Difusión del ion cloruro
11. Contenido de cemento
12. Detección de la delaminación del recubrimiento del hormigón
13. Carbonatación



- 
14. Módulo de Elasticidad Estático
 15. Flujo Plástico del concreto
 16. Potencial de Hidrógeno (pH)
 17. Resistividad eléctrica del hormigón.
 18. Ultrasonido.
 19. Esclerometría.
 20. Porosidad
 21. Detección de fisuras y grietas.

5.2.2.1. Ensayo de esclerómetro

Este ensayo posibilita la evaluación de la firmeza y solidez estimar del concreto mediante un martillo de rebote Esclerómetro. Según López y Vaca [19] “implica la transferencia de energía a una masa en movimiento que impacta contra la superficie del concreto” (p. 20). Marcando una distancia de rebote que es llevada a escala de medida mediante el índice esclerométrico que marca un valor de resistencia; para este procedimiento u ensayo, se sugiere recolectar un mínimo de siete (7) mediciones para llevar a cabo un análisis estadístico adecuado.

5.2.2.2. Ensayo de carbonatación

La carbonatación es el fenómeno de corrosión que se exterioriza en el acero de refuerzo, esto se debe a que se desprende el concreto que la recubre al perder la alcalinidad.

Se realiza con fenolftaleína, que según describe López y Vaca [19] “es un compuesto químico inorgánico que se obtiene al reaccionar el fenol (C_6H_5OH) y el anhídrido ftálico ($C_8H_4O_3$), en presencia de ácido sulfúrico” (p.19). Este compuesto químico determina qué fracción del concreto no está carbonatada con color rosa-fucsia intenso, cuando disminuye mucho su PH el color será anaranjado. La opción empleada es una solución al 1% de



fenoltaleína disuelta en alcohol, con la alternativa de llevar a cabo la aplicación mediante rocío o la utilización de un gotero.

5.2.2.3. Ensayo MIRA

El ensayo MIRA se fundamenta en el enfoque eco-ultrasónico, el cual emplea transductores para emitir y recibir ondas de esfuerzo, generando representaciones tridimensionales del contenido interno de la estructura de concreto.

5.2.2.4. Ensayo pull - off

Es conocido como ensayo de adherencia, que se usa como su nombre indica para evaluar la resistencia tanto en la capacidad de adhesión de los materiales de reparación como la resistencia en la superficie de los elementos de concreto.

5.2.3 Análisis físico

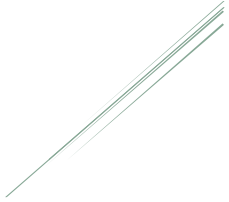
Entre las cualidades identificadas en la exploración bibliográfica, se incluyen las siguientes características, establecidas mediante ensayos y respaldadas por sus correspondientes resultados:

5.2.3.1. Plasticidad (NTC 1493, ASTM D4318, método indirecto o método de Atterberg).

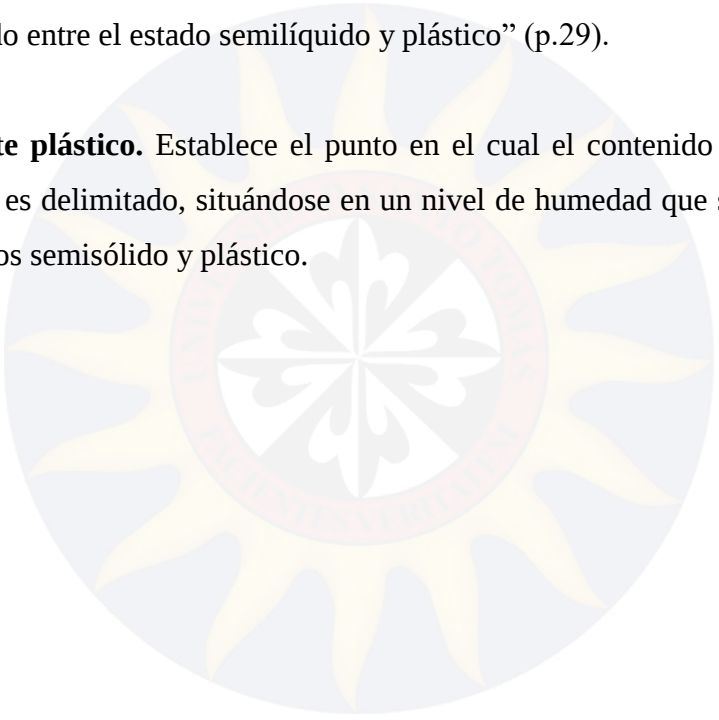
Estos procedimientos de evaluación posibilitan la obtención de los puntos en los que se hallan los niveles de humedad que afectan la conducta plástica de los materiales. El propósito es categorizar el suelo en el sistema USCS siguiendo la guía de plasticidad establecida en la carta correspondiente

- **Índice de plasticidad.** Mide la capacidad de deformación plástica al variar su contenido de humedad, a su vez establece la humedad bajo la cual, determinado material presenta una transición entre los diversos estados: sólido, semisólido,





plástico y líquido. Según Cuty y Urbina (2018) “se define como la diferencia entre los límites de Atterberg ($IP = LP - LL$), cuando $IP=0$ es no plástico, $IP<7$ es baja plasticidad, $7<IP<17$ es medianamente plástico y $IP>17$ Es altamente plástico” (p.53).

- **Límite líquido.** Establece el contenido porcentual de agua, en relación con el peso seco, por lo tanto, según Velasco [21] “este ensayo determina el límite del contenido de humedad cuando el material se empieza a comportar en estado líquido entre el estado semilíquido y plástico” (p.29).
 - **Límite plástico.** Establece el punto en el cual el contenido de humedad del suelo es delimitado, situándose en un nivel de humedad que se halla entre los estados semisólido y plástico.
- 



Capítulo 6

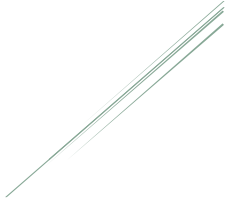
Resultados de uso de las diferentes metodologías en el tratamiento de patologías en puentes

López y Vaca [19] exponen que, el puente de la bananera ubicado en el corregimiento la florida, en Pereira, departamento de Risaralda, presenta corrosión, lixiviación, socavación, hongos, eflorescencia, desgaste capa de rodadura, grietas en el concreto, pandeo longitudinal en vigas, la solución que proponen es efectuar limpieza profunda a toda la estructura del puente, adicional a aplicar un recubrimiento anticorrosivo en las varillas más allá de la superficie del concreto, para evitar la corrosión, demarcar horizontalmente el puente, señalizar la capacidad del puente y que este cuenta con un carril, esto se debe a que el ancho del puente no es suficiente para que circulen dos vehículos al mismo tiempo, reparar la capa de rodadura del puente, realizar drenajes y bombeo en la estructura para evitar agua sobre la superficie. Adicionalmente según el resultado estructural y la evidencia de fallas, se puede evidenciar que han pasado vehículos de carga pesada que sobrecargan la estructura y superan su capacidad portante, debido a eso se evidencian fallas por flexión y cortante.

Orrego y Buitrago [12] realizan el análisis de la estructura de concreto en los sectores de Pedregales y Parque Industrial en Pereira, también en el departamento de Risaralda; en donde evidencian averías en la capa de rodadura debido a la infiltración de agua, la presencia de lixiviados, falta de drenajes, deterioro de la capa asfáltica, Socavación de las bases del puente y de los estribos por aumentos del nivel del río.

Por otra parte, Orrego y Buitrago [12] indican que la forma de prevenir la formación de fisuras de contracción plástica es, utilizar la dosificación adecuadamente para la mezcla, evitar la segregación del material al momento del vibrado, mitigar los impactos

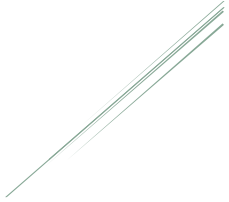




ambientales, abstenerse de usar mezclas con altas proporciones de finos que fomenten la exudación, hidratar el elemento en cuestión, llevar a cabo un análisis de ultrasonido con el propósito de detectar potenciales deficiencias en la estructura interna de los pilares del puente, no mezclar el asfalto sobre el concreto, llevar a cabo pruebas de núcleos tanto en la losa como en los estribos y vigas con el fin de evaluar la resistencia a la compresión.

Parra y Zea [15] proponen reparaciones en puentes mediante la limpieza de la zona afectada por medio de agua a presión, reparación de los sistemas de drenaje, inyección de grietas y fisuras mediante la inyección de lechadas de cemento o resinas epóxicas, reparación del acero corroído mediante la revitalización, reemplazo, demolición o reconstrucción completa del acero afectado, encamisado de los pilares o estribos para reducir el impacto del agua sobre la estructura, reforzamiento por medio del recrecimiento de la estructura es decir, el aumento de la sección para aumentar su rigidez y por ende aumenta la resistencia a la compresión, realizando los respectivos anclajes del acero para fundir la sección aumentada en concreto, reforzamiento pasivo que consiste en la unión de componentes de refuerzo como láminas (chapas) metálicas, perfiles de metal o elementos prefabricados, estos funcionan ante un momento de falla o retracción del material, uno de los reforzamientos pasivos son los FRP que son bandas poliméricas de fibra que aportan resistencia a la tracción debido a la resina episódica y el refuerzo de fibra de carbono. Por otro lado, los métodos de refuerzo activo involucra la inserción de elementos pretensados que inducen esfuerzos controlados. Estos se logran a través de mecanismos como tensores monocordón con protección propia, sistemas multicordón adherentes y no adherentes, así como barras roscadas. Además se emplean láminas de fibra de carbono adheridas y pretensadas, junto con sistemas mono o multicordón de fibra de carbono preesforzado son adhesión.





En (Bustamante y González [9] se lleva a cabo un análisis exhaustivo del puente Román, localizado en el punto de confluencia acuática de la Bahía Interna de Cartagena con la Laguna de San Lázaro, en donde evidenciaron eflorescencia, grieta en una de sus riostras debido a un impacto, capa de rodadura deteriorada, fisuras longitudinales de juntas, transversales de juntas y de contracción térmica, aplastamiento de en las placas de neopreno, grieta en uno de sus estribos, resistencia baja en un 62% uno de sus pilares debido a la carbonatación, se evidencia descascaramiento, para lo cual proponen reparar los guarda cantos y cambiar el sistema de juntas de expansión con mortero de base epóxica o reemplazarlas por neopreno, mejorar el sistema de drenaje, cambiar las almohadillas de neopreno, construir los topes sísmicos, realizar la remoción completa del revestimiento de concreto, con el propósito de fortalecer tanto la columna como las vigas mediante el uso de varillas de idéntico diámetro al de las ya existentes, a las cuales se les añadirá acero de refuerzo. Luego se procederá a reformar y reforzarla columna al verter un concreto de 4.000 PSI y realizar su adecuada fundición.

En Chirinos [22] analizan el puente Nicolás Dueñas de Perú Lima el cual presenta eflorescencia, degradación en el estribo, fisuras en las vigas con un nivel severo, grietas en el tablero, degradación en el concreto originada por cargas de presión que conducen a la alteración geométrica del material, para lo cual recomienda un mantenimiento correctivo, adoptar medidas para regular el tránsito de los vehículos conforme a la capacidad de del puente y realizar un estudio más experimental y detallado del mismo.

Torres, Díaz y Marcial [23] proponen reforzamiento mediante el pretensado exterior combinado con la adición de elementos metálicos con el fin de mejorar el comportamiento de los elementos del puente, para ello analizan el tablero reforzado con planchas de acero donde obtienen resultados de capacidad de carga por encima del 75% del comportamiento en el modelo original.



Capítulo 7

Factores de incidencia de las patologías en puentes del municipio de Coper Boyacá

7.1. Información general

Los puentes se ubican en el municipio de Coper, al occidente de Boyacá, estos puentes conectan con veredas y vías departamentales, que son de gran incidencia para la economía y el desarrollo de este, para comprender los niveles de severidad y poder clasificarlos se analizó en base a la tabla evidenciada a continuación:

Patologías	Tipos	Nivel de severidad	Indicadores de nivel de severidad
Mecánicas	Fisuras	Leve	Ancho de la abertura menor o igual a 0.05 mm
		Moderado	Ancho de la abertura mayor a 0.05mm y menor o igual a 1mm
		Severo	Ancho de la abertura mayor a 1 mm
	Grietas	Leve	Ancho de la abertura menor o igual a 2 mm
		Moderado	Ancho de la abertura mayor a 2mm y menor o igual a 3mm
		Severo	Ancho de la abertura mayor a 3 mm
Químicas	Eflorescencia	Leve	Aparicion leve de la humedad con pequeñas cristalizaciones de las sales hasta menor o igual 5%
		Moderado	Humedad y cristalización de sales considerables afectando la integridad del elemento mayor a 5% y menor o igual al 20%
		Severo	Exceso de humedad y cristalización de sales,dando lugar a erosiones y desintegración de elementos mayor al 20%
Físicas	Degradación	Leve	Ancho de abertura afectado menor o igual 12.5mm
		Moderado	Ancho de abertura afectado mayor 12.5mm y menor o igual 25mm
		Severo	Ancho de abertura afectado mayor a 25mm

Fig. 22. Nivel de severidad de las patologías. Adaptado de Bustamante [24]

7.2. Inspección de puentes vehiculares ubicados en el municipio de coper boyacá.

se realizan las siguientes fichas de identificación patológica mediante inspección visual de los puentes del municipio de Coper Boyacá, evaluando las causas y las posibles soluciones, como se indica a continuación:





Fig. 23. Puente ubicado en la vereda Pedro Gomez p1. Nota: El puente se ubica bajo las coordenadas 5.375004, -73.991873. De satellites.pro.

FICHA DE IDENTIFICACIÓN PATOLÓGICA P1	
Fecha	14 de noviembre del 2022
Elaboró	Cristian Fabian Mendoza Wilches
Nombre estructura	N/A
Localización	Vereda Pedro Gómez
Tipo de Estructura	puente vehicular en concreto
Técnica Constructiva	puente de vigas tipo cajón
Intervenciones Previas	N/A
Aplicación de Patología	Geriátrica
1. CARACTERISTICAS DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA	
Descripción	Puente vehicular tipo box culvert, con medida de 6 m, presenta desprendimiento de la baranda, eflorescencia por agentes biológico, deterioro por falta de mantenimiento de la calzada, desprendimiento del terreno debido a que no posee la vía buen sistema de drenaje



Elemento	Calidad		
	Malo	Medio	Bueno
Pilas			X
Estribos			X
Vigas		X	
Calzada	X		
Baranda	X		

2. REGISTRO FOTOGRÁFICO



3. CLASIFICACIÓN DE LESIONES

LP: Lesión primaria LS: Lesión Secundaria LT: Lesión terciaria L: Leve M: Moderado S: Severo G: Grave

Tipo de Elemento	Baranda			
Lesión Física	Humedad por filtración		Ensuciamiento por lavado diferencial	LP/ M
	Humedad accidental		Otras, Especifique	
Lesión Mecánica	Pérdida de Pintura		Perdida de material/Desprendimiento	LP/ S
	Perdida de sección	LP/ S	Descascar-amiento	



	Hormigueo		Erosión mecánica	
	Acero Expuesto	LP/ S	Grieta	
	Fisura		Otras, ¿Cuáles?	
Lesión Química	Eflorescencia	LP/ L	Corrosión / Oxidación	LT/L
	Organismos		Otras, ¿Cuáles?	
4. TIPIFICACIÓN DE LA LESIÓN (CAUSAS)				
Directas - Físicas	Condiciones meteorológicas (viento, contaminación, heladas, cambios térmicos, lluvia)			
	Creciente del Cauce			
	Otras, Especifique			
Directas - Mecánicas	Segregación del material		Sobresfuerzo	
	Recubrimiento Inadecuado		Rozamiento	
	Impactos	X	Incompatibilidad de materiales	
	Impermeabilización		Pérdida de adherencia	
	Otras, ¿Cuáles?			
Directas - Químicas Biológicas	Contaminación Ambiental		Agresiones de animales	
	Humedad	X	Sales solubles contenidas	
	Organismos		Erosión química	
	Otras, ¿Cuáles?			
Indirectas	Diseño		Proceso Constructivo	
	Baja Calidad de materiales		Mantenimiento de la Estructura	X
	Otras, ¿Cuáles?		Pericia del conductor	X
5. DIAGNOSTICO DE LA LESIÓN				
Descripción de la lesión	<i>La lesión de tipo mecánica se encuentra al costado derecho del puente, presenta exposición de aceros, desprendimiento de material, con una longitud de afectación de 2m, se debe a la pericia del conductor debido a que la pérdida de la sección se debe por impacto, por lo tanto, quedaron los aceros expuestos lo cual conlleva a que se genere oxidación y previamente corrosión en el mismo. Mientras que la lesión química se debe a la humedad que se presenta por la carencia de un adecuado sistema de drenaje vial, además de la influencia de los agentes atmosféricos a los que la estructura está expuesta. Estos factores generan la acumulación desigual de suciedad por lavado diferencial, lo que conlleva a que se presente eflorescencia en la baranda y en las aletas a lo largo de todo el puente.</i>			



6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN
Se debe demoler la sección afectada, limpiar el acero o en su defecto generar anclajes con epóxico para previamente fundir la sección de baranda faltante en concreto de 21 Mpa, utilizando como puente de adherencia Sikadur 32-Primer.
7. MANTENIMIENTO
Realizar limpiezas rutinarias, efectuar reparaciones superficiales con mortero de reparación.

3. CLASIFICACIÓN DE LESIONES				
LP: Lesión primaria LS: Lesión secundaria LT: Lesión terciaria L: Leve M: Moderado S: Severo G: Grave				
Tipo de elemento	Pavimento			
Lesión física	Humedad causada por Filtración		Ensuciamiento por lavado diferencial	
	Humedad accidental		Otras, Especifique	
Lesión mecánica	Erosión en la capa de Pintura		Perdida de material/Desprendimiento	LP/ S
	Perdida de sección		Descascar-amiento	
	Hormigqueo		Erosión mecánica	LS/ L
	Acero Expuesto		Grieta	
	Fisura		Otras, ¿cuáles?	
Lesión química	Eflorescencia		Corrosión / Oxidación	
	Organismos		Otras, ¿Cuáles?	
4. TIPIFICACIÓN DE LA LESIÓN (CAUSAS)				
Directas - físicas	Agentes atmosféricos (Lluvia, viento, cambios térmicos, contaminación, heladas)			X
	Creciente del cauce			
	Otras, ¿cuáles?			
Directas - mecánicas	Segregación del material	X	Sobresfuerzo	
	Recubrimiento inadecuado		Rozamiento	X
	Impactos		Incompatibilidad de materiales	



4. TIPIFICACIÓN DE LA LESIÓN (CAUSAS)				
	Impermeabilización		Pérdida de adherencia	X
	Otras, Especifique			
Directas - químicas biológicas	Contaminación Ambiental		Agresiones de animales	
	Humedad	X	Sales solubles contenidas	
	Organismos		Erosión química	
	Otras, ¿Cuáles?			
Indirectas	Diseño		Proceso constructivo	
	Baja calidad de materiales	X	Mantenimiento de la estructura	X
	Otras, ¿cuáles?		Pericia del conductor	X
5. DIAGNOSTICO DE LA LESIÓN				
Descripción de la lesión	La lesión de tipo mecánica se distribuye de manera generalizada a lo largo de la estructura del puente debido a que la superficie de rodamiento es material granular, el cual presenta desprendimiento y erosión mecánica debido a las temporadas de lluvia fuertes, a la falta de drenajes sobre la vía, descuido en labores de mantenimiento, la interacción con el tráfico vehicular (el rozamiento de vehículos) y por pérdida de adherencia entre los agregados.			
6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN				
Se debe suministrar mezcla asfáltica compactada hasta alcanzar la densidad requerida según las directrices establecidas en el Artículo 450 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del INIVAS o instalar pavimento rígido para mejorar la capa de rodadura.				
7. MANTENIMIENTO				
Realizar mantenimiento periódico de la superficie de rodamiento y sus alrededores, para garantizar la seguridad vial del usuario.				



Figura 2. Puente vereda Cucunuba P2



Fig. 24. Puente vereda Cucunuba P2. Nota: El puente se ubica bajo las coordenadas 5.416805, -74.020189. De satellites.pro.

FICHA DE IDENTIFICACIÓN PATOLÓGICA P2	
Fecha	14 de noviembre del 2022
Elaboró	Cristian Fabian Mendoza Wilches
Nombre estructura	N/A
Localización	Vereda Cucunuba
Tipo de Estructura	Puente vehicular en concreto
Técnica Constructiva	Puente de vigas simplemente apoyada
Intervenciones Previas	N/A
Aplicación de Patología	Geriátrica
1. CARACTERÍSTICAS DEL ESTADO DE LA ESTRUCTURA	
Descripción	Puente de luz de 22.5 m se ubica en una de las veredas del Municipio de Coper, presenta eflorescencia, exposición de estribos, no posee barandas, posee grietas, socavación y oxidación de los pilares, desprendimientos y se evidencia la falta de mantenimiento de este.



	Elemento	Calidad		
		Malo	Medio	Bueno
	Pilas		X	
	Estribos		X	
	Vigas		X	
	Calzada	X		
	Baranda	X		

2. REGISTRO FOTOGRÁFICO



3. CLASIFICACIÓN DE LESIONES

LP: Lesión Primaria LS: Lesión secundaria LT: Lesión terciaria L: Leve M: Moderado S: Severo G: Grave

Tipo de elemento	Baranda			
Lesión física	Humedad por filtración	LP/ M	Ensuciamiento por lavado diferencial	LP/ M
	Humedad accidental		Otras, ¿Cuáles?	
Lesión mecánica	Pérdida de pintura		Perdida de material/Desprendimiento	LP/ S
	Perdida de sección	LP/ S	Descascar-amiento	
	Hormigqueo		Erosión mecánica	



	Acero expuesto	LP/ S	Grieta	
	Fisura	LP/ L	Otras, ¿Cuáles?	
Lesión química	Eflorescencia	LP/ M	Corrosión / Oxidación	LT/L
	Organismos	LP/ M	Otras, ¿Cuáles?	
4. TIPIFICACIÓN DE LA LESIÓN (CAUSAS)				
Directas - físicas	Condiciones meteorológicas (viento, contaminación, heladas, cambios térmicos, lluvia)			X
	Creciente del Cauce			X
	Otras, ¿Cuáles?			
Directas - mecánicas	Segregación del material		Sobresfuerzo	
	Recubrimiento Inadecuado		Rozamiento	
	Impactos	X	Incompatibilidad de materiales	
	Impermeabilización	X	Pérdida de adherencia	
	Otras, ¿Cuáles?			
Directas - químicas biológicas	Contaminación Ambiental		Agresiones de animales	
	Humedad		Sales solubles contenidas	
	Organismos	X	Erosión química	
	Otras, ¿Cuáles?			
Indirectas	Diseño		Proceso constructivo	
	Baja Calidad de materiales		Mantenimiento de la estructura	X
	Otras, ¿Cuáles?		Pericia del conductor	X
5. DIAGNOSTICO DE LA LESIÓN				
Descripción de la lesión	La lesión de tipo mecánica se ubica a los dos costados del puente, se evidencia desprendimiento de material, se generó el corte de la baranda por impacto debido la pericia del conductor, por lo tanto, quedaron los aceros cortados de la baranda expuestos lo cual conlleva a que se genere oxidación y previamente corrosión en el mismo, por falta evidente de mantenimiento no se ha realizado en cambio. Se evidencia lesión tipo físico/química por la falta de impermeabilización, infiltración debido a la humedad accidental; los efectos de los agentes atmosféricos que impactan la estructura, en conjunto con las condiciones ambientales, dan lugar a que los organismos ingresen a la microestructura del concreto. Como resultado se produce un aumento en los niveles de porosidad del material del concreto y por ende aumenta la permeabilidad, ocasionando micro fisuras. Además, se producen cambios químicos derivados de la liberación de ácidos tanto orgánicos como inorgánicos.			



6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	
Se debe realizar la instalación de la nueva baranda para aportar seguridad vial. Además, es necesario llevar a cabo limpieza que involucre la eliminación de material orgánico, así como la utilización de cepillos de cerdas naturales para erradicar la presencia de hongos. Se aconseja llevar a cabo este proceso durante una jornada de elevadas temperaturas, con el propósito de minimizar el impacto de la humedad presente en la estructura. Se recomienda eliminar las eflorescencias utilizando una solución de ácido clorhídrico mediante un proceso de aplicado (lavado) a presión. Para las superficies del concreto averiado, se debe resanar aplicando un mortero de reparación, esto con la aplicación de aditivo impermeabilizante.	
7. MANTENIMIENTO	
Efectuar limpiezas rutinarias, realizar reparaciones superficiales con mortero de reparación e instalar la nueva baranda para brindar seguridad vial.	

2. REGISTRO FOTOGRÁFICO	
	

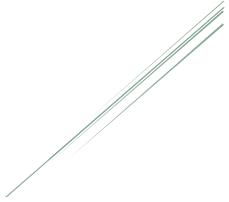


3. CLASIFICACIÓN DE LESIONES				
LP: Lesión primaria LS: Lesión secundaria LT: Lesión terciaria L: Leve M: Moderado S: Severo G: Grave				
Tipo de Elemento	Pilas, Estribo y Aletas			
Lesión física	Humedad por filtración	LP/ M	Ensuciamiento por lavado diferencial	
	Humedad accidental		Otras, Especifique	
Lesión mecánica	Pérdida de pintura		Perdida de material/desprendimiento	LP/ S
	Perdida de sección		Descascar-amiento	LP/ M
	Hormigueo	LP/ M	Erosión mecánica	LS/ M
	Acero expuesto	LP/ M	Grieta	
	Fisura	LP/ M	Otras, Especifique	
Lesión química	Eflorescencia	LP/ L	Corrosión / Oxidación	LT/M
	Organismos	LP/ L	Otras, ¿cuáles?	
4. TIPIFICACIÓN DE LA LESIÓN (CAUSAS)				
Directas - físicas	Condiciones meteorológicas (viento, contaminación, heladas, cambios térmicos, lluvia)			X
	Creciente del cauce			X
	Otras, Especifique			
Directas - mecánicas	Segregación del material	X	Sobresfuerzo	
	Recubrimiento inadecuado		Rozamiento	
	Impactos	X	Incompatibilidad de materiales	
	Impermeabilización	X	Pérdida de adherencia	X
	Otras, Especifique			
	Contaminación ambiental		Agresiones de animales	X



Directas - químicas biológicas	Humedad	X	Sales solubles contenidas	
	Organismos	X	Erosión química	X
	Otras, ¿cuáles?			
Indirectas	Diseño		Proceso constructivo	
	Baja calidad de materiales		Mantenimiento de la estructura	X
	Otras, ¿cuáles?		Pericia del conductor	
5. DIAGNOSTICO DE LA LESIÓN				
Explicación de la lesión	Se genera lesión mecánicas y físicas, evidenciando fisuras ocasionadas por los esfuerzos que actúan sobre los estribos y las aletas. Estas fisuras, a corte, tienen el potencial de afectar la funcionalidad de toda la estructura, se evidencia que el terreno está generando empuje sobre las aletas. Además, se puede notar eflorescencias generadas por la humedad y la erosión química a causa de los organismos, esto a causa de la falta de mantenimiento y limpieza. También se evidencia socavación de estribos como consecuencia de los desplazamientos del material causados por el aumento de la creciente del cauce, lo que lleva al arrastre de material debido a los impactos a los pilares. Se evidencia humedad por filtración, agresiones de animales (como excremento de murciélagos) y deterioro de la superficie de los pilares dejando expuesto el estribo y sometándolo a agentes corrosivos.			
6. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN				
Se sugiere llevar a cabo una evaluación estructural exhaustiva con el propósito de incorporar refuerzos destinados a incrementar la resistencia al corte, con el objetivo de conferir la capacidad necesaria para enfrentar tanto las cargas vehiculares como las fuerzas de compresión y deslizamiento provenientes del terreno que actualmente ejercen su influencia sobre los estribos del puente. Se deben reparar las fisuras por medio de la inyección de epóxico o mortero de reparación teniendo en cuenta que la zona debe estar limpia de cualquier tipo de contaminante. Además, es necesario llevar a cabo limpieza que involucre la eliminación de material orgánico, así como la utilización de cepillos de cerdas naturales para erradicar la presencia de hongos. Se aconseja llevar a cabo este proceso durante una jornada de elevadas temperaturas, con el objetivo de disminuir el impacto de la humedad presente en la estructura. Se recomienda eliminar las eflorescencias mediante una solución de ácido clorhídrico mediante proceso aplicado a presión.				
7. MANTENIMIENTO				
Realizar limpiezas rutinarias, efectuar reparaciones superficiales con mortero de reparación. Realizar un seguimiento rutinario de las fisuras que se repararon y revisar si aparecieron nuevas.				





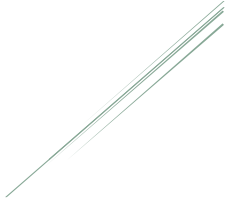
Conclusiones y recomendaciones

Las metodologías que se usan para dar solución de las diversas patologías que afectan a los puentes vehiculares se pueden definir a través de la síntesis de: monitoreo estructural continuo, con la finalidad de realizar la detección de deformaciones para evaluar en tiempo real la integridad de un puente y detectar cualquier cambio que pueda indicar una patología incipiente; la ingeniería de materiales desempeña un papel crucial al investigar y desarrollar mezclas de concreto y acero de alta resistencia, así como técnicas de refuerzo y reparación innovadoras, para abordar problemas como la corrosión y el deterioro de materiales; y la implementación de técnicas como la tomografía de resistividad eléctrica y la ultrasonografía, conllevan a la capacidad de inspeccionar y evaluar la condición interna de las estructuras.

Las metodologías anteriormente mencionadas no solo garantizan la seguridad de las vías de transporte, sino que también prolongan la vida útil de las estructuras, lo que es esencial para la movilidad y la conectividad en nuestras sociedades, reduciendo altamente brecha sociales y culturales.

Las juntas de los puentes son quienes sufren más fallas debido a que permite el movimiento entre dos elementos o puntos de la estructura, por lo tanto, en los puentes de la revisión





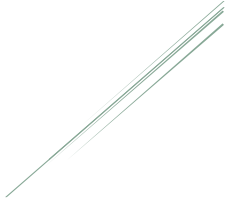
bibliográfica proponen el uso de neopreno como medida correctiva, debido a su larga duración y fácil mantenimiento.

El concreto al poseer un potencial de Hidrógeno (pH) entre (12.5 a 13.5) salvaguarda al acero del proceso de oxidación, corrosión, y/o desgaste, sin embargo, si se llegase a perder la alcalinidad conllevaría a que el pH bajará, perdiendo o garantizando la adhesión entre sus partículas, provocando carbonatación activada a causa de las reacciones con el medio ambiente, dejando el acero expuesto a procesos corrosivos y disminuyendo la capacidad estructural de los elementos afectados.

Para garantizar el mantenimiento de un puente desde punto hidráulico, se debe evitar la socavación y los embalses, desde el punto estructural, se debe analizar la capacidad portante y la velocidad de deterioro ante sulfatos, cloruros, aire y agua, por último, desde el punto vial, se debe analizar la seguridad vial mediante la revisión de las juntas del puente, la superficie de rodamiento, los anchos de calzada, las defensas y las barandas.

Las humedades presentes en los puentes de Coper Boyacá se podrían evitar realizando drenajes eficaces que garanticen el correcto funcionamiento de la conducción de las aguas, evitando los empozamientos en la estructura, se recomienda para próximos proyectos contemplarse en la etapa de diseño.



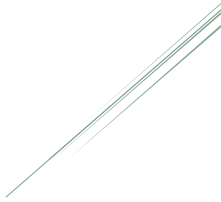


Las patologías evidenciadas en los puentes de Coper Boyacá, están descritas a detalle con sus métodos preventivos y correctivos, sin embargo, el no reparar oportunamente tiene como consecuencia patologías más graves que pueden llegar a ser irreparables y conlleven a la demoler parcial o totalmente la estructura.

Una de las formas de evitar una patología, es garantizar la calidad de los materiales y que el concreto no tenga ninguna variación físico- química durante su proceso de mezclado, para ello se recomienda realizar diseños de mezcla en caso de realizar fundidas in situ y que un profesional capacitado realizando inspecciones técnicas.

La evaluación de patologías en puentes vehiculares en zonas urbanas y rurales implica un enfoque multidisciplinario que combina inspecciones visuales, pruebas no destructivas, análisis estructurales y el cumplimiento de estándares técnicos para garantizar la seguridad y la durabilidad de estas infraestructuras esenciales. La implementación de estas metodologías y procedimientos es crucial para mantener la integridad de los puentes y garantizar la seguridad de quienes los utilizan.





GLOSARIO

Amortiguación: Capacidad del puente de disipar la energía y suprimir la vibración de este.

[25]

Capilaridad: Fenómeno por medio del cual el agua se filtra por los intersticios como resultado presión externa y es atraída hacia las paredes del material. [26]

Carbonatación: Proceso en el cual el hidróxido cálcico del cemento reacciona con el dióxido de carbono del aire formando carbonato cálcico, produciendo este fenómeno [26]

Concreto: Es un material compuesto formado esencialmente por cemento al que se añade agregado, agua y/o aditivos específicos, para que se produzca una reacción de hidratación. [21]

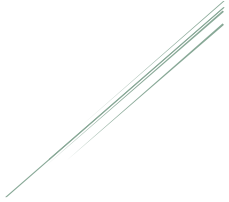
Corrosión: Proceso que se genera por la oxidación del acero de refuerzo por medio de un proceso electroquímico al ser expuesto al medio ambiente [21].

Curado: Es aquel tratamiento donde se mantiene la humedad sobre la superficie del material, para impedir la evaporación del agua y evitar que se generen grietas por desecación o retracción del material. [15]

Descascaramiento: Es desprendimiento de segmentos de la superficie del material y es ocasionada por el agrietamiento de materiales frágiles como es el caso del concreto [21]

Desintegración: Cuando la fisuración es tan extensa que el material pierde completamente su integridad [21]





Diagnóstico: Es el análisis que se realiza para determinar en una base de datos y hechos que son ordenados sistemáticamente que permiten conocer mejor el comportamiento de una estructura [26].

Eflorescencia: Es el depósito de sales que se cristalizan por la evaporación del agua y que son lixiviadas fuera del concreto en forma intermitente o continua [28].

Fisura: Es una grieta longitudinal poco profunda, menor a 1mm y es ocasionada por tensiones superiores a la resistencia del material mismo [15]

Grieta: Es una abertura ocasionada por la separación de dos materiales como consecuencia de acciones externas o por defectos del material, su ancho es mayor a 1 mm y se presenta como una apertura longitudinal [15].

Hormigueos: Alteración sufrida en el concreto por zonas vacías en la superficie del concreto endurecido a causa de dosificaciones inadecuadas, falta de vibrado, dosificaciones excesivas, etc. [28].

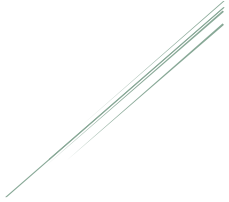
Infraestructura: Es el elemento que se encarga de transmitir las cargas al suelo de fundación. [27]

Juntas de Construcción: Se usan para definir la extensión de un material cuando finaliza su colocación y se generan de forma longitudinal. [25]

Juntas de Contracción: Se generan de forma transversal por el secado y dilatación térmica del material [25]

Juntas de Expansión: Son elementos que permiten movimientos y/o rotaciones entre dos fragmentos de la estructura para que no se produzcan daños y deformaciones [28].





Lesiones físicas: Se generan por afectaciones climáticas y/o cambios ambientales como humedad, erosión y suciedad, etc [27].

Lesiones mecánicas: Se generan por acciones físicas y mecánicas como fisuras, desgaste, deformaciones, aberturas, grietas, etc. [27]

Lesiones químicas: Se generan por acciones químicas por la presencia de sales como lo es la corrosión, eflorescencia, oxidación, etc. [27]

Puente por voladizos sucesivos: Se usa en puentes de grandes luces, se construye el tablero a partir de pilas agregando tramos simétricos parciales apoyados en el tramo anterior, terminando en los centros de luz para ser unidos por tramos parciales de cierre [15]

Resistencia: Es aquel ensayo realizado en moldes cilíndricos estandarizados, llenos de concreto y se mide mediante rotura por compresión [21]

Retracción de fraguado del concreto: Deformación del concreto en el tiempo, se genera por el secado y los cambios químicos durante el proceso de fraguado [15]

Segregación: Separación de los componentes de la mezcla a causa de una distribución inadecuada, en donde los agregados se desplazan hacia la parte inferior [28].

Subestructura: Es el elemento que se encarga de transmitir las cargas de los apoyos a la infraestructura [27]

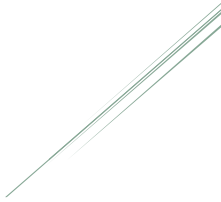
Superestructura: Es el elemento que se encarga de transmitir las cargas muertas y cargas vivas a los apoyos, se dividen en isostáticas y en hiperestáticas, [27]



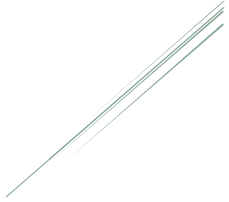
Referencias

- [1] F. G. Barrantes Troyes, *Análisis de la vulnerabilidad estructural del puente de la Av. Pakamuros de la ciudad de Jaén - Cajamarca*, Jaén, Cajamarca, 2017.
- [2] J. S. Gutiérrez Riveros, F. N. Rivera Hernández y D. G. Trujillo Rodríguez, *Propuesta de diseño estructural del puente “Flandes - Parque Central” en el municipio de Pasca Cundinamarca mediante un diseño en losa maciza en concreto con vigas fundamentado en la Norma CCP-14*, Bogotá, 2021.
- [3] C. Gutiérrez, *PATOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL PUENTE ELEVADO LOS DOSCAMINOS UBICADO EN EL MUNICIPIO SUCRE, ESTADO MIRANDACARACAS*, Caracas, 2014.
- [4] O. G. Vega Jiménez, «Mitigación de riesgos de patologías en elementos de concreto premezclado en puentes,» Puebla, 2020.
- [5] L. Maute Rubio, I. Púlido Sánchez, V. Sánchez Mangas y A. Redero García, «LAS PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DETECTADAS EN LAS INSPECCIONES DE,» 2017.
- [6] E. Zanni, *Patología de la construcción y restauro de obras de*, Córdoba: Brujas, 2008.
- [7] J. Martorell, «Conservación y catalogación de monumentos. Ponencia presentada en el I Congreso d’Art,» 1913.
- [8] E. Muñoz y D. Gómez, «SciELO,» *Revista de Ingeniería de Construcción*, vol. 28, n° 1, pp. 37-62, 2013.
- [9] C. A. Bustamante Peña y D. A. González Morales, *EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PARA LA*, Cartagena: Universidad de Cartagena, 2014.
- [10] Ministerio de Transporte, *Manual para la Inspección visual de pavimentos flexibles*, Bogotá: Grupo Técnico-Convenio 587 de 2003, 2006.
- [11] N. T. Mascia y A. L. Sartorti, «Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 26, n° 1, pp. 05-24, 2011.
- [12] A. F. Orrego Salazar y B. Buitrago Serna, *Patología y diagnóstico en puente de concreto que comunica los barrios Pedregales y Parque Industrial de la ciudad de Pereira*, Pereira: Universidad Libre de Pereira, 2018.
- [13] G. Camayo Lozano y J. A. Vega Veliz, *Control de mortero para prevenir la aparición de patologías de eflorescencias en mamposterías, Distrito de San Agustín, Huancayo*, Huancayo: Universidad César Vallejo, 2020.
- [14] F. Pannoni, «Pannoni F. (2004), Principles of protection of steel structures in a state of corrosion and fire.,» vol. 2, n° 3, 2004.



- 
- [15] E. E. Parra Gómez y M. A. Zea Acevedo, *Estudio De Las Principales Patologías Y Técnicas De Reforzamiento Para Puentes En Concreto Postensado Construidos Por Avance De Voladizos Sucesivos Fundidos In Situ.*, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016.
- [16] E. E. Muñoz Díaz, «Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia,» *Ingeniería y Universidad*, vol. 6, n° 1, pp. 33-37, 2002.
- [17] M. Monje Penagos, *Estado Del Conocimiento En Patología De Puentes Vehiculares En Colombia*, Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia, 2022.
- [18] E. E. Muñoz Díaz, *Ingeniería de puentes: reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación-*, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2012.
- [19] C. D. López Jaramillo y J. E. Vaca Martínez, *Diagnóstico patológico del puente de la Bananera en el corregimiento de La Florida*, Pereira: Universidad Libre, 2017.
- [20] INVIAS. Ministerio de Transporte, *Norma Colombiana De Diseño De Puentes-LRFD-CCP 14. Colombia.*, Bogotá, 2015.
- [21] E. H. Velasco González, *Determinación y evaluación del nivel de incidencia de las patologías del concreto en edificaciones de los municipios de Barbosa y Puente Nacional del departamento de Santander*, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2015.
- [22] F. R. Chirinos Sota, *Estudio de socavación de la subestructura de puente y análisis de estabilidad – caso puente Nicolás Dueñas de la ciudad de Lima en el 2017*, Lima: Universidad César Vallejo, 2017.
- [23] R. Torres, M. L. Díaz y D. Marcial, «Propuesta De Reforzamiento Y Corrección De Patologías De Puentes De Concreto Mediante Técnicas De Pretensión Exterior.,» de *Jornada de Investigación Encuentro Académico Industrial*, Caracas.
- [24] A. Mateo Bustamante, *Tipos de Patologías del puente Nicolas Dueñas ubicado sobre el rio Rímac, Lima Metropolitana*, Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2019.
- [25] S. López Niño y M. Criollo Gil, *Estudio de las patologías estructurales presentes en el puente peatonal de la Cra 30-45*, Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2014.
- [26] Y. Amado Pérez y J. Paez Ustariz, *Monografía de compilacion sobre estudio patológico*, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2014.
- [27] S. Sánchez Ampié, B. Gaitan Putoy y M. Moreno Villalobos, “*Propuesta de un diseño estructural de un puente de 15m para un período de 50 años en la comarca Paso Hondo, municipio de Santo Tomas del Norte - Chinandega*”, Nicaragua: Universidad Nacinal Autónoma de Nicaragua, 2013.
- [28] N. 4. Norma Técnica Colombiana 4205, «Unidades De Mampostería De Arcilla Cocida.Ladrillos Y Bloques Cerámicos.,» INCONTEC, 2009.



- 
- [29] N. 2. Norma Técnica Colombiana 296, «Ingeniería Civil Y Arquitectura. Dimensiones Modulares De Unidades De Mampostería De Arcilla Cocida. Ladrillos Y Bloques Cerámicos.» INCONTEC, 2000.
- [30] L. Supelano Aguirre y M. Mejía Carrillo, *Estudio patológico puente sobre el Río Génova*, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2020.

