

PATOLOGÍAS GENERADAS POR LA INCIDENCIA DE FACTORES ANTRÓPICOS EN
EL PUENTE VEHICULAR DE LA CALLE 92 CON AUTOPISTA NORTE, SENTIDO
NORTE-SUR EN BOGOTÁ D.C.

MARIA JOSÉ BETANCUR VILLEGAS
HUMBERTO CHAVARRO GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C. 2018

PATOLOGÍAS GENERADAS POR LA INCIDENCIA DE FACTORES ANTRÓPICOS EN
EL PUENTE VEHICULAR DE LA CALLE 92 CON AUTOPISTA NORTE, SENTIDO
NORTE-SUR EN BOGOTÁ D.C.

MARIA JOSÉ BETANCUR VILLEGAS
HUMBERTO CHAVARRO GUTIÉRREZ

Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil

Director
MARISOL NEMOCÓN RUIZ
Ingeniera Civil

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C. 2018



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., 22 de mayo de 2018

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	10
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
3. OBJETIVOS.....	13
4. ALCANCE.....	14
5. MARCO DE REFERENCIA	15
5.1 Marco Teórico	15
5.2 Estado del Arte.....	39
5.3 Marco Conceptual	40
5.4 Marco Legal.....	42
6. METODOLOGÍA	43
7. FICHAS DE AUSCULTACIÓN DEL PUENTE	47
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
8.1. INSPECCIÓN VISUAL DE VIGAS LONGITUDINALES	77
8.2. INSPECCIÓN VISUAL DE VIGAS TRANSVERSALES.....	87
8.3. INSPECCIÓN VISUAL DE PILAS	89
8.4. ENSAYOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS	101
8.4.1. Test de la fenolftaleína	101
8.4.2. Esclerómetro	102
9. CONCLUSIONES	103
10. RECOMENDACIONES.....	105
REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS	106

Lista de Figuras

Figura 1. Localización.....	14
Figura 2. Patología estructural.....	16
Figura 3. Diagrama de patologías	17
Figura 4. Efecto de carbonatación en las estructuras.....	18
Figura 5. Efecto de corrosión en el acero.....	19
Figura 6. Efecto de torque generado por el viento.....	21
Figura 7. Daño generado por compresión	22
Figura 8. Fisuración por asentamiento plástico	24
Figura 9. Fenómeno de exudación	24
Figura 10. Fisuración típica por retracción plástica	25
Figura 11. Fisura por movimiento de la base.....	25
Figura 12. Utilización de formaleta	26
Figura 13. Fisuración del hormigón	29
Figura 14. Contra flecha construida para evitar el creep.....	30
Figura 15. Fisuración por creep.....	31
Figura 16. Fisura por tracción pura.....	32
Figura 17. Fisuras por flexión	32
Figura 18. Fisuras por cortante.....	32
Figura 19. Fisuración por adherencia	33
Figura 20. Fisuras por torsión.....	33
Figura 21. Falla por punzonamiento	34
Figura 22. Fisuras por compresión	34
Figura 23. Fisuración por asentamientos	35
Figura 24. Material biológico presente en estructuras de concreto	38
Figura 25. Patologías encontradas en vigas longitudinales.....	76
Figura 26. Patologías encontradas en vigas transversales.	87

Figura 27. Patologías encontradas en pilas.....	89
Figura 28. Ensayo de fenolftaleína en núcleo de concreto	101

Lista de Fichas

Ficha 1. Diagnóstico patológico de pilas con sobreechancho parcial.....	47
Ficha 2. Auscultación N° 2 de pilas con sobreechancho parcial	48
Ficha 3. Auscultación N° 3 de pilas con sobreechancho parcial	49
Ficha 4. Auscultación N° 4 de pilas con sobreechancho parcial	50
Ficha 5. Auscultación N° 5 de pilas con sobreechancho parcial	51
Ficha 6. Diagnóstico patológico de pilas con sobreechancho total	52
Ficha 7. Auscultación N° 7 de pilas con sobreechancho total	53
Ficha 8. Diagnóstico patológico de elementos metálicos	54
Ficha 9. Auscultación N° 9 de elementos metálicos	55
Ficha 10. Diagnóstico patológico de vigas postensadas	56
Ficha 11. Auscultación N° 11 de vigas postensadas	57
Ficha 12. Auscultación N° 12 de vigas postensadas	58
Ficha 13. Auscultación N° 13 de vigas postensadas	59
Ficha 14. Auscultación N° 14 de vigas postensadas	60
Ficha 15. Auscultación N° 15 de vigas postensadas	61
Ficha 16. Auscultación N° 16 de vigas postensadas	62
Ficha 17. Auscultación N° 17 de vigas postensadas	63
Ficha 18. Auscultación N° 11 de vigas postensadas	64
Ficha 19. Diagnóstico patológico de vigas nuevas	65
Ficha 20. Auscultación N° 20 de vigas nuevas.....	66
Ficha 21. Auscultación N° 21 de vigas nuevas.....	67
Ficha 22. Diagnóstico patológico de la barrera de tráfico	68
Ficha 23. Auscultación N° 23 de vigas nuevas.....	69
Ficha 24. Auscultación N° 24 de vigas nuevas.....	70

Ficha 25. Diagnóstico patológico de la losa de tránsito	71
Ficha 26. Auscultación N° 26 de la losa de tránsito.....	72
Ficha 27. Diagnóstico patológico del estribo	73
Ficha 28. Auscultación N° 28 del estribo	74
Ficha 29. Auscultación N° 29 del estribo	75

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Porcentaje de patologías en vigas longitudinales	77
Gráfico 2. Porcentaje de patologías en vigas reparadas y reconstruidas.....	79
Gráfico 3. Carbonatación en vigas longitudinales.....	80
Gráfico 4. Segregación en vigas longitudinales.....	81
Gráfico 5. Presencia de dióxido de carbono en vigas longitudinales.....	82
Gráfico 6. Descascaramiento en vigas longitudinales	83
Gráfico 7. Contaminación biológica en vigas longitudinales	84
Gráfico 8. Humedad en vigas longitudinales	85
Gráfico 9. Abrasión en vigas longitudinales.....	86
Gráfico 10. Porcentaje de patologías en vigas transversales	88
Gráfico 11. Porcentaje en pilas con sobreancho total y parcial	91
Gráfico 12. Porcentaje de patologías en pilas.	92
Gráfico 13. Carbonatación en pilas	93
Gráfico 14. Segregación en pilas.....	94
Gráfico 15. Ataque por fuego en pilas	95
Gráfico 16. Descascaramiento en pilas	96
Gráfico 17. Contaminación biológica en pilas.....	97
Gráfico 18. Fisuras por aplastamiento	98
Gráfico 19. Humedad en pilas	99
Gráfico 20. Fisuras en pilas.....	100

Lista de Tablas

Tabla 1. Reglamentación del uso de las estructuras	42
Tabla 2. Búsqueda de palabras para la realización de la Ecuación de Búsqueda	43
Tabla 3. Porcentaje total de patologías en vigas longitudinales	77
Tabla 4. Cantidad de vigas longitudinales	79
Tabla 5. Porcentaje total de patologías en vigas longitudinales	79
Tabla 6. Patologías totales en vigas transversales.....	87
Tabla 7. Porcentaje de patologías en vigas transversales	87
Tabla 8. Cantidad de pilas	90
Tabla 9. Patologías en pilas	90
Tabla 10. Porcentaje total de patologías en pilas	90
Tabla 11. Promedio de la resistencia a la compresión superficial en pilas.....	102

INTRODUCCIÓN

En el marco del desarrollo de la humanidad ha surgido la necesidad de establecer nuevas vías de acceso a los diferentes núcleos comerciales, culturales y turísticos de una ciudad, país o región, haciéndose evidente la necesidad de crear nuevas rutas para el desarrollo del hombre.

En este proceso de expansión del ser humano, fue necesario superar accidentes geográficos, tales como: ríos, caños, arroyos, entre otros, debido a esto, se hizo crucial el desarrollo de estructuras que facilitaran dichos procesos, fue así, como se construyeron puentes convencionales y artesanales, avanzando hacia estructuras más complejas y modernas, como las que se ven hoy en día; puentes de piedra, puentes de madera, de acero y de concreto, esto, sin olvidar el objetivo principal, entendido como velar por la seguridad de los usuarios, diseñando estructuras con elementos seguros, funcionales y confortables. Sin embargo, factores ambientales, malas prácticas en la ingeniería, como el uso inadecuado de los materiales en la construcción, además de otros aspectos externos, debilitan una estructura, volviéndola insegura para los transeúntes e inclusive generándose la posibilidad del colapso de la misma.

En el presente documento, se expone la importancia de analizar los factores que inciden en la calidad de los elementos estructurales y no estructurales del puente ubicado en la intersección de la calle 92 con Autopista Norte, identificado por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), bajo el código 22150566, correspondiente al puente con sentido norte-sur, paralelo a la Autopista Norte.

Esta estructura al ser expuesta a factores biológicos, físicos, mecánicos, químicos y antrópicos durante su vida útil, tales como, la contaminación, que ha presentado un incremento evidente con el pasar de los años; la utilización de los puentes como vivienda provisional para los habitantes de calle; el inadecuado uso; los posibles malos diseños y demás aspectos que alteran las condiciones de la estructura, presenta patologías, por lo cual, es necesario realizar un seguimiento y estudio de los daños ocasionados, entendiendo las causas principales que los generan, con el fin de tratarlas a tiempo y/o prevenirlas en otras estructuras.

Bajo esta necesidad, se desarrolló el estudio de patologías en el puente de la calle 92 con Autopista Norte, sentido norte-sur. Entendiendo la patología como la ciencia que estudia los daños que puede sufrir una estructura, hallando sus principales causas e interviniendo de manera asertiva, con el fin que se traten posteriormente.

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

La patología en ingeniería, es un tema que ha tenido un auge significativo en los últimos años, sin embargo, es importante mencionar que no se diseña o se construye una estructura esperando que ésta falle o colapse. Esta incertidumbre puede disiparse por medio de los incontables factores de seguridad, que se tienen en cuenta en los cálculos realizados por los ingenieros, debido a que por medio de esto, se garantiza el bienestar y la vida de los seres humanos, sin embargo, es importante mencionar que malas prácticas en ingeniería, la falta de mantenimiento e inspección, el ahorro de dinero, o incluso malos procedimientos en la construcción, pueden ocasionar la falla o el colapso de una estructura, según esto, es indispensable entender que el control de las estructuras es de vital importancia para garantizar la seguridad de los usuarios.

En Colombia, se han realizado investigaciones que determinan la incidencia de algunos factores antrópicos en los puentes, el Ministerio de Transporte junto a la Pontificia Universidad Javeriana, realizó un estudio de patología en puentes y un manual para el mantenimiento de la red vial secundaria, en donde se presenta, el diagnóstico de cada uno de los componentes de los puentes, basado en aspectos tales como; tipo de daño, descripción, posibles causas, nivel de severidad, entre otros. Así mismo, el IDU realizó un Inventario geométrico y de diagnóstico de puentes para Bogotá D.C, según lo establecido por el contrato IDU 115 de 2009¹.

En este orden de ideas, se realizará una inspección visual, en el puente de la intersección de la calle 92 con Autopista Norte, correspondientes al puente paralelo a la autopista, en Bogotá D.C., la cual estará soportada por ensayos no destructivos, identificando posibles enfermedades en la estructura, sus causas y consecuencias.

Se eligió el puente ya mencionado de la calle 92 con Autopista Norte, debido a que en su momento fue una estructura polémica en la ciudad de Bogotá, pues se encontró un estudio de vulnerabilidad sísmica, el cual concluía que el puente paralelo a la autopista en sentido norte-sur, se encontraba expuesto a un severo daño en caso de presentarse un temblor de intensidad moderada. Según esto, se desea realizar la inspección del puente, para entender su funcionamiento, las patologías que presenta y los factores antrópicos que han tenido incidencia directa o indirecta con el pasar de los años en dicha estructura.

¹ MORALES, Fernando. Acuerdo 06 de 2009 En: Registro Distrital 4193. Abril, 2009.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Imprevistos tales como el colapso de un puente, generan en un país incertidumbre respecto a la calidad de las estructuras ya construidas. En Colombia desdichadamente se han presentado hechos tales como, la caída del puente vehicular Samaná, localizado en el departamento de Antioquia; el puente Caño Maizaro, localizado en la carretera Bogotá–Villavicencio; el puente Recio ubicado en el Departamento del Tolima, cuyo derrumbamiento se produjo cuando por él, transitaban dos tractomulas, una cargada de cemento y la otra de arroz en dirección contraria, cruzándose en cercanías del centro del puente, entre otros, como lo establece Cusba² (2011).

Con el fin de desarrollar el control de calidad de las estructuras, es necesario incrementar medidas de prevención y corrección para evitar el colapso de un puente, las cuales velan por la estabilidad de las estructuras en su continuo y adecuado funcionamiento, según lo anterior, se pretende realizar una serie de investigaciones y pruebas, que revelen la causa y consecuencia de dichas alteraciones, para así encontrar la solución más apropiada para cada caso, lo cual se convierte en un conjunto de especificaciones imprescindibles para el diseño y construcción de una estructura.

Entendiendo esto, se hace evidente el interés de realizar una minuciosa investigación, con el fin de identificar los factores antrópicos que inciden directa o indirectamente en la calidad y preservación de los elementos estructurales y no estructurales del puente paralelo a la autopista sentido norte-sur, en la intersección de la calle 92, en Bogotá, es decir, las actividades o situaciones que pueden generar el fallo o el colapso de los mismos, según este orden de ideas, se pretende entender las principales causas y consecuencias a dichas problemáticas y la incidencia que presentan los factores antrópicos, tales como, los posibles incendios producidos por un accidente o atentado, la interacción de los habitantes de calle con la estructura e inclusive el robo o desprendimiento de los elementos que conforman la estructura de dicho puente, esto con el fin de entender ¿qué impacto generan los factores antrópicos en el funcionamiento y en la vida útil de los elementos estructurales del puente paralelo a la autopista sentido norte- sur, en la intersección de la calle 92?

² CUSBA, Sebastián. Estudio de las Causas y Soluciones Estructurales del Colapso Total o Parcial de los Puentes Vehiculares de Colombia. En: Tesis. Noviembre, 2011.

3. OBJETIVOS

Objetivo General

Identificar la incidencia de factores antrópicos en los elementos estructurales de la intersección de la calle 92 con Autopista Norte, en el puente con sentido norte sur, paralelo a la autopista, en Bogotá D.C.

Objetivos Específicos

- Revisar la literatura existente en diferentes bases de datos, con el fin de encontrar información referente a patologías en puentes vehiculares y sus respectivas alteraciones al comportamiento estructural de los mismos.
- Realizar el reconocimiento del puente identificado por el IDU bajo el código 22150566, con el propósito de caracterizar la obra, reconocer las patologías presentes y entender qué factores pueden influir en su adecuado funcionamiento.
- Catalogar las patologías encontradas de acuerdo al deterioro de la lesión y a su tipología, por medio de la inspección visual y de los ensayos cualitativos y cuantitativos, con el fin de entender el daño actual de la estructura.
- Identificar posibles soluciones a las patologías encontradas en el puente de la intersección de la calle 92 con Autopista Norte, con el fin de generar información para mejorar su funcionamiento y aumentar la vida útil de la estructura.

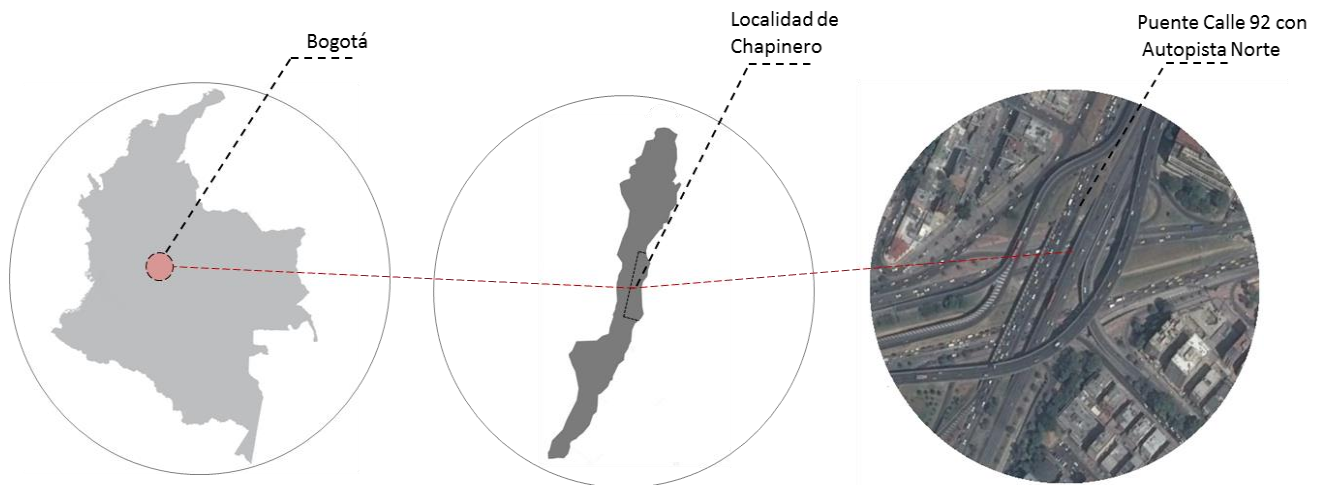
4. ALCANCE

Se decidió trabajar en la intersección de la calle 92 con Autopista Norte, ubicación establecida en la figura 6, correspondiente al puente con sentido norte-sur, paralelo a la autopista, ésta corresponde a una estructura bastante transcurrida, la cual se eligió por su proceso histórico, contexto y antecedentes, debido a que cuenta con una amplia gama de situaciones complejas tales como una adaptación o mejoramiento, situación social y exposición a significativos factores antrópicos, por lo cual es ideal para desarrollar una búsqueda de patologías adecuada y completa.

Para desarrollar la inspección de patologías en el puente, fueron necesarios 5 días, en los cuales se realizó una inspección visual, y se plasmó toda la información en las fichas de auscultación, a su vez, se realizó una prueba con esclerómetro en todas las pilas del puente y se aplicó fenolftaleína, con el fin de conocer si los elementos del puente presentan carbonatación o no, todo esto, permitió conocer el estado actual del puente, y entender la incidencia de los factores antrópicos en dicha estructura.

Este trabajo académico, busca generar información, no sólo para el puente ubicado en la calle 92 con Autopista Norte, correspondiente al puente paralelo a la autopista en sentido norte-sur, sino también brindar información adecuada, para poder prever posibles inconvenientes con diversas estructuras que se encuentren expuestas a los mismos factores como lo es ésta.

Figura 1. Localización



Fuente: Autores

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 Marco Teórico

La patología en puentes, corresponde al estudio de los daños y fallas que pueden sufrir las estructuras de concreto, existen diversos tipos de patología, entre ellas se encuentran; la patología congénita, la patología contraída y la patología accidental.

5.1.1. Patología congénita

Es aquella que corresponde a los problemas que aparecen en la estructura desde su nacimiento, estos daños están relacionados con la concepción y el diseño del proyecto, las principales causas corresponden a falta de cálculos, falla en los estudios geotécnicos, ineducada estimación de cargas y condiciones de servicio, erróneo dimensionamiento de los elementos estructurales, entre otros, como lo establece Contreras³ (2014).

5.1.2. Patología contraída

Corresponde a los daños que pueden generarse por el uso inadecuado de los materiales, tales como la producción, el transporte, la colocación e incluso el curado, las principales causas corresponden a la falta de control de calidad de los materiales, cargas prematuras en la estructura, deficiente compactación del concreto e incluso la equivocada localización del refuerzo, es decir, mala interpretación de los planos, según Contreras⁴ (2014).

5.1.3. Patología accidental

Corresponde a las enfermedades generadas durante el funcionamiento de la estructura, estos daños se dan por el mal uso de la misma, por ejemplo, si una estructura fue construida para determinado peso y este aumentó en el transcurso de su vida útil, es decir, se contrae el problema después de haber sido construida, allí se encuentran principalmente inconvenientes de operación y falta de mantenimiento, (explosiones, incendios, impactos, entre otros), otra de las principales acciones corresponde a la incidencia biológica, un claro ejemplo de esto, es la vía al llano, la cual se encuentra sobre una serie de fallas geológicas, lo que

³ CONTRERAS, Cindy. Evaluación, Diagnóstico Patológico y Propuesta de Intervención del Puente Romero Aguirre. En: Tesis. Noviembre 2014.

⁴ Ibid p.12

genera hundimiento e inestabilidad, otra causa muy común corresponde a las inundaciones, entre otros, como lo menciona Contreras⁵ (2014).

Figura 2. Patología estructural



Patología Congénita



Patología Contraída



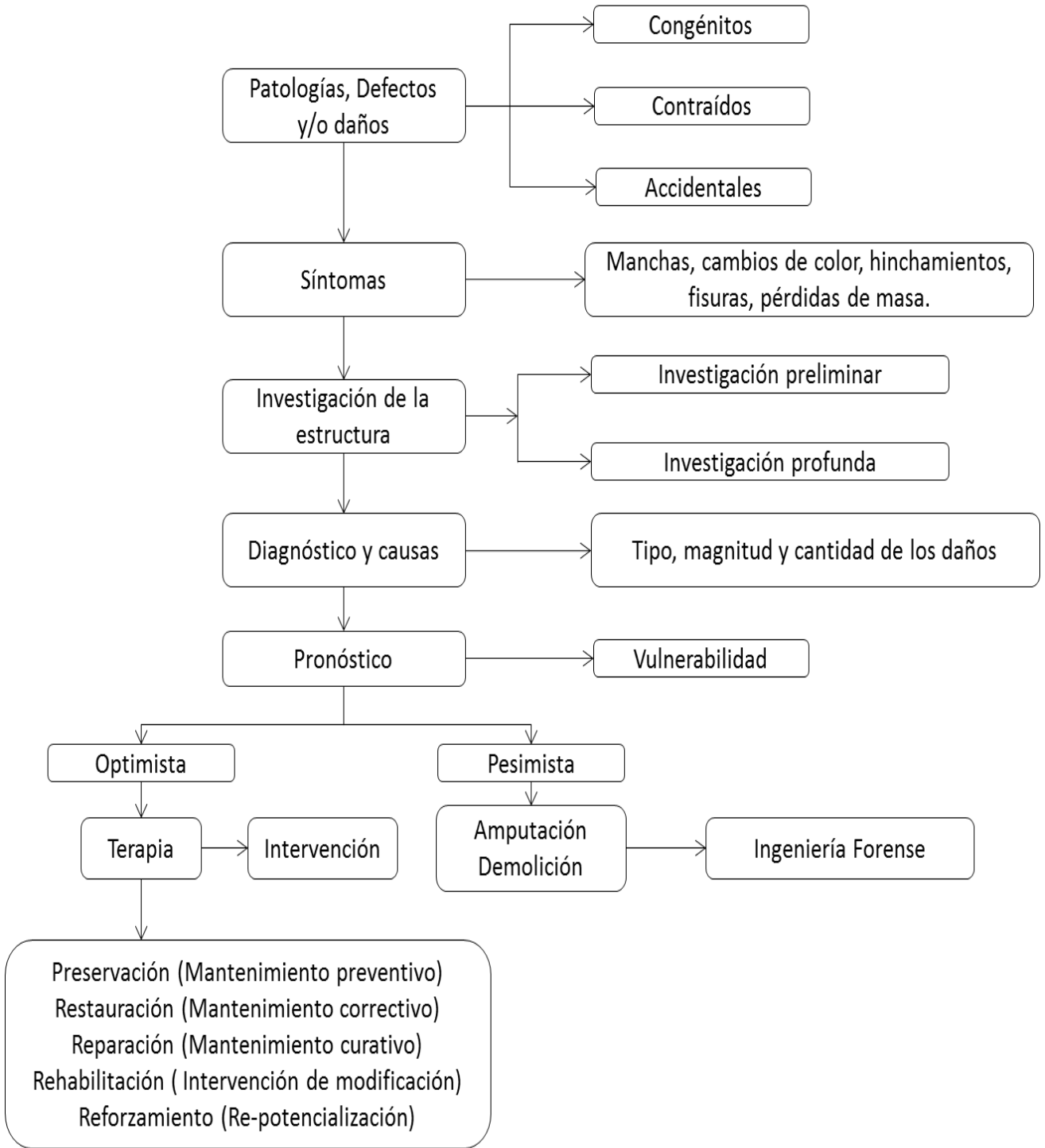
Patología Accidental

Fuente: Autores

Las patologías generan síntomas que forman manchas, cambios de color, cambios de forma, grietas, pérdidas de masa, deformaciones, entre otros, es por esto que se realiza una investigación preliminar y una más profunda, las cuales corresponden a la primera visita que se efectúa para determinar cómo fue construida la estructura y con qué fin, seguido de la investigación, se da diagnóstico, en donde se define la magnitud y cantidad de daños, esto con el fin de definir un pronóstico, en donde se establece qué tan vulnerable es la estructura, de allí pueden salir dos alternativas, un pronóstico optimista u otro pesimista, el pronóstico optimista corresponde a seguir un procedimiento e intervenir el sistema para ponerlo a trabajar nuevamente, lo cual implica mantenimientos preventivos, correctivos y curativos e intervención o modificación de la estructura, y el pesimista corresponde a la determinación que una estructura no tiene arreglo, es allí donde se toma la decisión de amputación o demolición en donde entra el concepto de ingeniería forense, lo anterior se encuentra plasmado en la figura 3.

⁵ Ibid p.12

Figura 3. Diagrama de patologías



Fuente: Conferencia dirigida por The Euclid Chemical Company

5.1.4. Factores químicos

Uno de los principales inconvenientes, se da debido a que el concreto tiende a absorber agentes gaseosos y líquidos externos durante el proceso de mezclado y colocación del mismo, debido a que una cantidad considerable de aire se queda atrapada en la mezcla, formando así poros en la pasta, entre estos agentes se encuentra el dióxido de carbono, especialmente en las zonas urbanas e industriales, esto, debido a que la cantidad de emisores de gas es bastante considerable, en este proceso de absorción del dióxido de carbono, se presenta la carbonatación del concreto en donde “el CO_2 reacciona con los productos de hidratación del cemento y conduce a una disminución de la alcalinidad (pH). Al mismo tiempo, hay una disminución de las propiedades de permeabilidad de los hormigones,”⁶ al disminuir el pH del concreto aumenta su acidez generando así porosidad en el concreto, lo que afecta al refuerzo estructural, tal como se evidencia en la figura 4.

Figura 4. Efecto de carbonatación en las estructuras



Fuente: The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete, 2015

Al ocasionarse un incremento en la sección transversal de los poros del concreto, se evidencia una incidencia directa con el acero, esto, teniendo en cuenta que una de las principales funciones del concreto consiste en generar una capa protectora al acero, debido a que este por su composición química, al estar expuesto a la intemperie no trabaja de manera adecuada, por ende, el concreto con un curado y una compactación adecuada, presenta no sólo la capacidad apropiada de soportar esfuerzos a compresión, sino también cumple la función de no permitir el paso o la penetración de agentes antrópicos y del ambiente en su medio abiótico tal como lo es el viento, sin embargo, este concepto no está muy aplicado a la realidad, teniendo en cuenta que son condiciones ideales que debido a las malas prácticas

⁶ WANG, Y. Influence of Combined Carbonation and Chloride Ingress Regimes on Rate of Ingress and Redistribution of Chlorides in Concretes. En: Queen's University Belfast. Abril, 2017.

en la construcción y a las condiciones climáticas no se cumplen a cabalidad, por ende, se presenta el efecto de corrosión en el acero, conocido como el elemento principal que resiste la tracción en una estructura.

Es importante mencionar que la corrosión puede ser de dos tipos, una de ellas se da debido a los iones de cloruro, los cuales pueden provenir de materiales estructurales tales como lo son el cemento, agregados, aditivos o incluso el agua y así mismo, pueden provenir del entorno, tales como brisa marina o el agua de mar, otro tipo de corrosión muy común se da por la carbonatación, la cual, como se mencionó con anterioridad, consiste en la entrada de dióxido de carbono en el concreto, en donde “El CO_2 penetrado se disuelve en la solución de poro para formar ácido carbónico, que reacciona con hidróxido de calcio y silicatos no hidratados en la pasta de cemento, formando principalmente carbonato de calcio,”⁷ por ende, se menciona que la carbonatación induce a la corrosión, sin embargo, independientemente del causante de la corrosión, se genera una pérdida significativa de la sección transversal del refuerzo, lo que disminuye su capacidad para soportar esfuerzo de tracción, alterando las condiciones de diseño y capacidad de carga para las cuales fue diseñado, “Este proceso genera tensiones de tracción, lo que conduce a grietas y desprendimiento del hormigón,”⁸ tal como se observa en la figura 5.

Figura 5. Efecto de corrosión en el acero



Fuente: The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete, 2015

⁷CLAISSE, P. Permeability and pore volume of carbonated concrete european concerted action. En: Journal. 1997. Vol. 96.

⁸ DEHWAH, A. Long-term effect of sulphate ions and associated cation type on chloride induced reinforcement corrosion in Portland cement concretes. En: Cem. Concr. Compos. 2002. Vol. 24. 17–25.

Otra de las principales problemáticas del acero, se da debido al contacto del metal con el agua o el oxígeno, lo cual forma una capa de óxido metálico, debido a que el elemento cede electrones y gana átomos de oxígeno, generando así, una pérdida de capacidad resiliente del refuerzo, a este proceso se le denomina oxidación, en donde todos aquellos factores antrópicos o naturales que generen acumulación de agua u oxígeno en el elemento ocasionan dicho proceso, el cual al presentarse, puede causar la disminución de la sección transversal del elemento de igual manera como lo genera la corrosión, disminuyendo así la capacidad del refuerzo.

A su vez, se sabe que estructuras tales como los puentes, cuyo concreto está expuesto a la intemperie, sufren principalmente el fenómeno de erosión, el cual, es ocasionado por diversos factores externos a la estructura, tal como lo es la abrasión mecánica, que se da debido al continuo paso de vehículos sobre la superficie del mismo, este efecto se puede observar desigual en algunas zonas, dependiendo de la homogeneidad del concreto y de su calidad; por abrasión hidráulica, este problema se presenta especialmente en puentes que atraviesan ríos o zonas marítimas, con una velocidad de flujo considerable y partículas en suspensión de gran tamaño, dicho proceso se da debido al constante choque de las partículas sedimentadas a altas velocidades o por deficiencia en la calidad del concreto; por lluvias ácidas y ácidos contenidos en las aguas residuales de ríos contaminados o canales superficiales, estos “ácidos resultantes de la oxidación de los compuestos de azufre en el relleno, atacan a los miembros de la estructura del concreto e influyen en su durabilidad”⁹, y por último, otro fenómeno de erosión que se da principalmente en los puentes urbanos es producido por impacto o colisión de vehículos, en donde es de vital importancia destacar que si no se trata oportunamente la erosión en una estructura, el daño de la misma aumentará paulatinamente hasta ser irreversible.

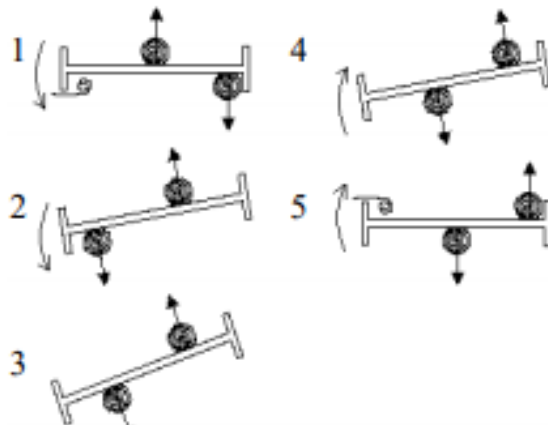
5.1.5. Efectos en el funcionamiento de la estructura

Existen diversas prácticas tanto en la construcción como en la utilización durante la vida útil de una estructura que pueden generar daños leves o graves en la misma, debido a un posible exceso del punto límite de falla o el punto de fatiga de un elemento estructural. Las estructuras están diseñadas con parámetros físicos determinados que al no ser respetados pueden generar fallas o incluso el colapso de la misma, entre estos encontramos; la torsión que puede verse afectada por la

⁹ JANFESHAN, H. An Experimental Investigation on the Erosion Resistance of Concrete Containing Various PET Particles Percentages Against Sulfuric Acid Attack. En: Elsevier Ltd. 2015. Vol. 77. 461-471.

magnitud de los vientos que pueden o no haber sido tenidos en cuenta al momento de diseñar la estructura, o incluso pueden ser generados por el cambio climático, “la estabilidad de flotado es un criterio de diseño importante para puentes de largo alcance, ya que el aleteo conduce a grandes amplitudes de vibración,”¹⁰ el cual se genera cuando el viento rodea un obstáculo y se desprende, formando vórtices en la parte superior e inferior del mismo, estos se desprenden de manera alternada con un determinado periodo, dependiendo de la velocidad de la corriente, del tamaño del obstáculo y de su forma, en donde con cada desprendimiento se genera una fuerza sobre el obstáculo empujándolo hacia arriba y hacia abajo, formando así movimientos torsionales tal como lo muestra la figura 6, los cuales a frecuencias iguales o muy similares a las de la estructura, pueden generar daños catastróficos aun así a una baja velocidad, un claro ejemplo de lo mencionado con anterioridad, es el puente Tacoma Narrows el cual el 7 noviembre de 1940 colapso debido a que la frecuencia, del viento resultó ser muy similar a la frecuencia natural del puente.

Figura 6. Efecto de torque generado por el viento



Fuente: La Resonante Caída del Tacoma Narrows Bridge, 2005

Otro de los principales parámetros a tener en cuenta en una estructura es el esfuerzo a compresión que ésta debe soportar, como se mencionó con anterioridad el concreto es la principal capa protectora del acero y teniendo en cuenta que el acero no trabaja a compresión, para no ocasionar daños o alteraciones en la estructura, el concreto debe ser capaz de soportar y absorber todo este esfuerzo, por ende, en el diseño de la estructura, se evalúa el uso y las condiciones de la misma, para así garantizar su adecuado cumplimiento, si tienden a variar con el pasar de los años, por ejemplo, un puente que es diseñado con sendero peatonal,

¹⁰ GARLICH, Michael. Engineering For Structural Stability in Bridge Construction. En: National Highway Institute.

puede ser acondicionado si la demanda vehicular lo exige, adaptando un carril vehicular adicional que no estaba previsto, dichas condiciones no son ideales, sin embargo debido a la mala planeación ocurren, esto puede generar accidentes, debido a que si el factor de seguridad no supera las nuevas condiciones de la estructura, ésta tiene una gran probabilidad de colapsar, un claro ejemplo de lo mencionado con anterioridad ocurrió en Bogotá, Colombia, en donde los puentes no estaban diseñados para el paso del Transmilenio, y aun así fueron adaptados por las necesidades y la evolución de la ciudad, añadiendo un carril de Transmilenio o incluso dos por puente, lo cual altera las condiciones iniciales, teniendo en cuenta que este tipo de vehículos alcanza las 40 toneladas, carga que no fue prevista al diseñar la estructura.

Figura 7. Daño generado por compresión



Fuente: The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete, 2015

Finalmente, la tracción es un aspecto indispensable a la hora de diseñar un puente, teniendo en cuenta que el acero es el elemento encargado de soportar dicho esfuerzo, este efecto se genera cuando dos fuerzas actúan en sentido opuesto de un elemento estructural, es así como “la relación tracción-deformación de los materiales es muy utilizada para explicar y predecir cómo se comportarán las estructuras durante su periodo de servicio,”¹¹ las fuerzas que actúan en sentido opuesto generan un estiramiento que al no ser tenido en cuenta apropiadamente en la especificación de materiales, y la definición de la sección transversal del mismo, puede no ser soportado, este efecto ocurre principalmente en los puentes colgantes, en los cuales su principal soporte corresponde a los cables, en donde en el peor de los casos, al superarse la carga de diseño, se puede generar el colapso de la estructura.

¹¹ VACHETTA, Marcelo. La Resonante Caída del Tacoma Narrows Bridge. Abril, 2005.

5.1.6. Factores físicos

Las acciones físicas se entienden como los cambios producidos por las variaciones de volumen en la matriz del concreto, los cuales se dividen en dos grandes grupos, deformaciones intrínsecas y extrínsecas, entendidas como aquellas deformaciones que dependen exclusivamente del material, es decir, el comportamiento y la deformación interna del mismo y las deformaciones debidas a los desplazamientos impuestos a la estructura y a la pérdida de masa, respectivamente. A su vez, se menciona que las patologías por acciones físicas, se clasifican según el estado en que éstas se generan, los cuales corresponden a, estado plástico, proceso de fraguado y estado endurecido, en donde se permitirá entender los diferentes daños que la estructura presenta, en función de las fisuras existentes. (Sánchez De Guzmán, 2002)

5.1.6.1. Cambios de volumen en estado plástico

El estado plástico, o estado fresco del concreto corresponde aproximadamente a las seis primeras horas posteriores a la realización de la mezcla, en las cuales el material puede presentar diversos cambios volumétricos, los cuales se transformarán en esfuerzos de tracción, que como bien se sabe, el concreto por sí mismo no será capaz de soportar, por lo tanto, se fisurará. Dichas fisuras se generan a temprana edad, prácticamente inmediatamente después del desencofrado del elemento, esto ocurre debido a la falta de adherencia perfecta entre el agregado y la pasta de cemento y por no haber alcanzado la resistencia máxima. Las fisuras aparecerán exclusivamente en la pasta de cemento, esto significa que no habrá fisuración en los agregados, lo cual permitirá caracterizarlo.¹² Existen dos tipos de cambios volumétricos en el estado plástico del concreto, los cuales corresponden a:

5.1.6.1.1. Asentamiento plástico

Se entiende como la pérdida de agua, o el desplazamiento del agua del concreto, debido a los elementos sólidos que componen la mezcla, esto, debido a que el agua es llevada a la superficie, y los sólidos se asientan. A medida que fragua el concreto, la parte más susceptible de presentar vacíos, corresponde a la parte inferior del acero de refuerzo, por esta razón se fisurará en la parte superior del acero, puesto que en dicha zona se presentarán asentamientos diferenciales. Este

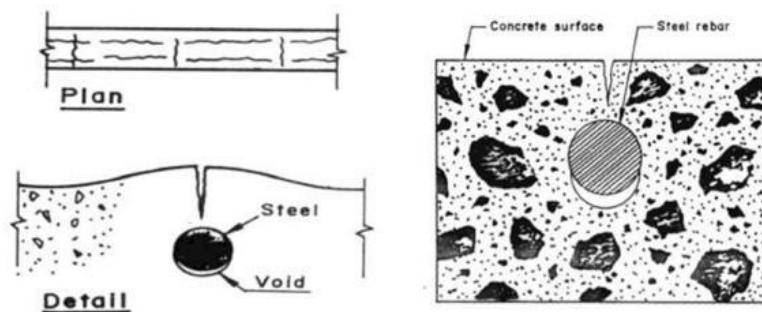
¹² SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. 2002. Durabilidad y Patología del concreto. Bogotá D.C. Asocreto, 2002.

tipo de patología es muy sencillo de determinar en obra, pues las fisuras calcan perfectamente el acero de refuerzo, tal como se observa en la figura 8.

Dicha patología tiene tres grandes consideraciones, las cuales corresponden a:

- Pérdida de adherencia
- Pérdida de sección transversal
- Formación de fisuras

Figura 8. Fisuración por asentamiento plástico

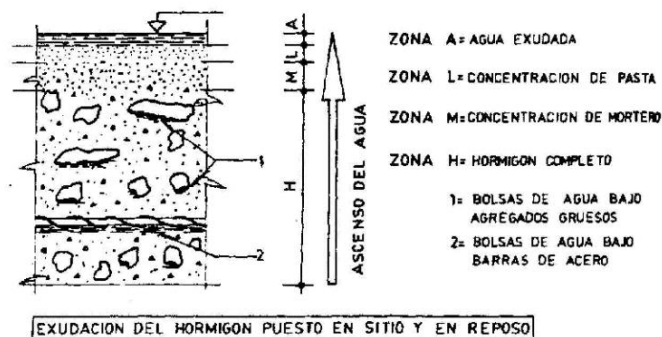


Fuente: Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón Informado por el Comité ACI 224, 1993.

5.1.6.1.2. Contracción o retracción plástica

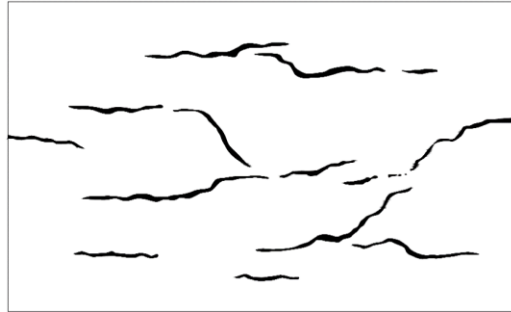
Esta patología ocurre por el fenómeno de exudación (Figura 9), es decir, por la pérdida de agua en la matriz del concreto, debido a que, por la capilaridad, el agua que debe reaccionar con el cemento asciende y se evapora repentinamente, es así como se genera la contracción plástica y se debe específicamente al mal curado. Estas fisuras se presentan en forma de mapeo, tal como se observa en la figura 10.

Figura 9. Fenómeno de exudación



Fuente: Bascoy, 2013.

Figura 10. Fisuración típica por retracción plástica



Fuente: Price, 1982

5.1.6.2. Deficiencias constructivas en el proceso de fraguado

5.1.6.2.1. Movimiento de la base

Esta patología no debe confundirse con la generada por el asentamiento diferencial, que corresponde a una acción mecánica que ocurre cuando el concreto ya está endurecido. El movimiento de la base se presenta cuando se funde el elemento de concreto y la base no queda completamente estática, en el caso de un pavimento rígido, se da porque la base no se encuentra bien compactada, en las losas de las edificaciones, se debe a la mala instalación de la formaleta, y en los demás casos, la base se mueve cuando el concreto no ha terminado de fraguar. Es muy sencillo el reconocimiento de dicha patología, debido a que se presenta una sola fisura de gran tamaño, que aparece en el lugar donde se produjo el movimiento, tal como se observa en la figura 11.¹³

Figura 11. Fisura por movimiento de la base



Fuente: 360 grados en concreto, Osorio, 2014.

¹³ Ibid p.24

5.1.6.2.2. Movimientos en la formaleta

Corresponde a un error netamente constructivo, debido a que, en la práctica, es indispensable aplicar un desmoldante a la formaleta, cuando se omite dicho procedimiento, al retirar la formaleta, gran parte del concreto se queda adherido a ésta, generando una gran cantidad de fisuras en el elemento.¹⁴

Figura 12. Utilización de formaleta



Fuente: Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, AAHE.

5.1.6.3. Cambios de volumen en estado endurecido

Estos cambios volumétricos generan deformaciones al interior del material, esto ocurre cuando el concreto termina de fraguar, es decir, no ocurre debido a fuerzas externas, sino a las internas, estos cambios se dividen en dos grupos:

5.1.6.3.1. Cambios volumétricos en función de la temperatura

Estos cambios volumétricos, se dan debido a variaciones continuas de temperatura al interior de la matriz de concreto, los cuales pueden generarse por cuatro razones específicas:

¹⁴ Ibid p.24

- Contracción térmica inicial: Ésta se da por el inadecuado control del calor de hidratación, debido a que, al reaccionar el cemento con el agua, se genera un fenómeno exotérmico, es decir, se libera energía y se generan altas temperaturas al interior del concreto. Cuando el calor que se produce que es aproximadamente de 70°C, empieza a disminuir, el material inmediatamente se fisura, debido a que éste ya se encuentra en estado endurecido, las fisuras presentes por dicha patología son muy grandes y van en la dirección que se presenta la contracción térmica, por lo tanto, son fáciles de determinar. Cabe mencionar, que se puede mitigar este fenómeno en obra, aplicando hielo a la mezcla, sin embargo, esto altera la relación agua cemento (a/c), otra manera más eficaz consiste en utilizar acero de refuerzo, éste es conocido como, refuerzo de piel.¹⁵
- Dilatación y contracción por temperatura: Esta patología sucede cuando hay gradientes térmicos muy grandes, esta diferencia térmica en periodos muy cortos de tiempo, fisura las estructuras, ya que el calor dilata el concreto, el frío lo contrae y dicha diferencia genera fisuración. El reconocimiento de esta patología es muy sencillo, debido a que se presenta una sola fisura muy grande, la cual, aunque no tiene algún patrón definido, aparece generalmente cerca de las esquinas.
- Ciclos hielo-deshielo: Cuando se genera un decremento de temperatura, el agua que satura los poros del concreto, se congela, por lo tanto, se incrementa el volumen dentro de la matriz del mismo, es así como se genera esfuerzo de tracción, para el cual, el concreto no es capaz de soportar por sí solo. Cuando incrementa la temperatura, el agua se descongela y la matriz se contrae, por lo cual, los ciclos generan fatiga al interior del material y es así como se fisura el material. En Colombia no ocurre dicha patología, sin embargo, sí es una de las causas primordiales de fisuración de los países que tienen estaciones. Para controlar dicha patología, se debe reducir la porosidad al máximo, lo cual puede lograrse mediante plastificantes.

¹⁵ Ibid p.24

- Ataque al fuego: Dicha patología no tiene gran importancia, debido a que el concreto es termo-indiferente, cuando se presenta fuego en la estructura, lo que sucede es una calcinación de la superficie, es decir, se pierde el recubrimiento y adicionalmente de penetra dióxido de carbono al interior de la matriz del concreto, lo cual, en presencia de humedad genera carbonatación.

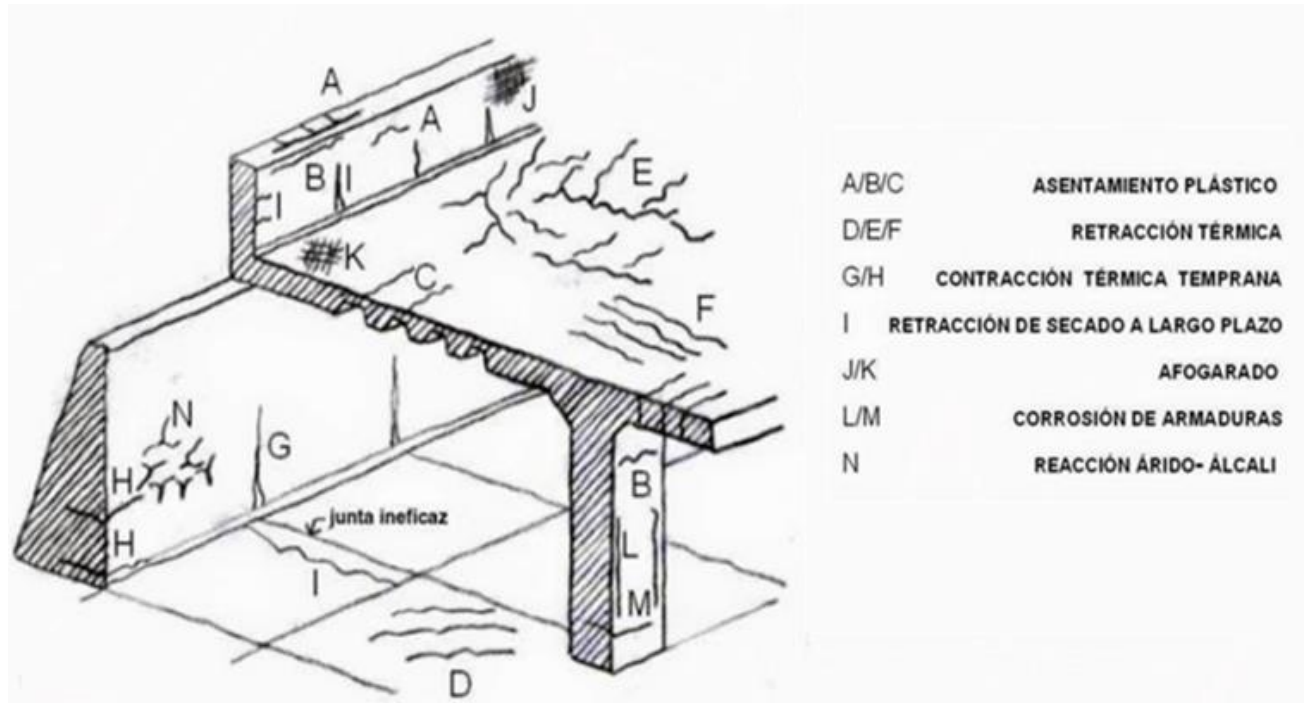
5.1.6.3.2. Cambios volumétricos en función de la humedad

Cuando se presentan cambios de humedad en el interior del material, se forman fisuras capilares, es así como se altera la microestructura del concreto, bajo estas condiciones pueden ocurrir dos situaciones, o se generan esfuerzos de tracción, o esfuerzos de compresión muy grandes generando fisuración, dichas patologías se dividen en tres grupos:

- Fisuras capilares: Esta patología se debe principalmente a un deficiente proceso de curado, debido a que es pertinente hacerse hasta el momento en el que el concreto alcance su resistencia final, dichas fisuras se generan en forma de mapeo, es decir son irregulares y no tienen un patrón definido, sin embargo, se puede establecer que son delgadas, debido a que el concreto ya se encuentra en estado endurecido, estado en el cual puede soportar esfuerzos.
- Fisuras de contracción por secado: Esta patología se genera cuando hay un cambio abrupto de humedad. Al estar los poros completamente saturados de agua y secarse repentinamente, se genera una disminución de volumen y se presentan esfuerzos de tracción, debido a este proceso, se fisura el concreto en las esquinas, dicha fisuración se presenta en forma de mapeo y se puede controlar con acero de refuerzo.
- Ciclos de humedecimiento-secado: Al ser completamente porosa la matriz de concreto, se genera saturación en el interior del concreto, presentando así, esfuerzos de tracción producidos por el empuje del agua, posterior a esto, cuando la estructura se seca, se contrae. Este ciclo continuo genera fisuras en la superficie del concreto, debido a que logra fatigar la matriz interna del material.

Dicha fisuración se presenta en forma de mapeo con tres características específicas, las fisuras son muy finas, extensas, y tienen signos de humedad.¹⁶

Figura 13. Fisuración del hormigón



Fuente: Hidro-demolición, 2013

5.1.7. Factores mecánicos

La fisuración de un elemento de concreto debido a las patologías mecánicas se da por las cargas externas que exceden la capacidad de diseño del mismo, generando esfuerzos de tracción en el interior del concreto; dicha fisuración puede provenir de diversos factores:

- Fluencia lenta del concreto
- Sobrecarga y deformaciones impuestas
- Impactos
- Vibraciones excesivas
- Abrasión o desgaste

5.1.7.1. Fluencia lenta (Creep)

¹⁶ Ibid p.24

Un elemento de concreto durante su vida útil presenta dos tipos de deformación, la que se da al inicio de su vida útil, y el creep, las cuales corresponden respectivamente a, la deformación elástica, es decir, aquella en la que, al retirar las cargas, el elemento regresa a su posición original y la deformación que no es recuperable, es decir, la deformación plástica, convirtiéndose en una deformación permanente. El fenómeno del creep sucede principalmente por la acción de las cargas muertas del elemento, por lo tanto, se presenta especialmente en puentes con vigas de gran tamaño, o en los tanques de losas muy grandes, otros factores que pueden contribuir a que se produzca creep en una estructura corresponden a la edad del concreto, la resistencia del concreto y la humedad relativa del ambiente.¹⁷

El creep se produce básicamente en tres tiempos:

- Creep primario: Deformación inevitable que sucede en el primer año.
- Creep secundario: Deformación debida a cargas sostenidas a lo largo del tiempo, 5, 10 ó 20 años.
- Creep terciario: Deformación exponencial, la cual lleva al elemento estructural a la rotura.

Generalmente para evitar que la deformación por el creep primario suceda, se construyen los elementos con una contra flecha, esto se refiere básicamente a construir el elemento con una deformación opuesta a la que se espera se presente, contrarrestando la deformación inevitable tal y como se observa en la figura 14.

Figura 14. Contra flecha construida para evitar el creep



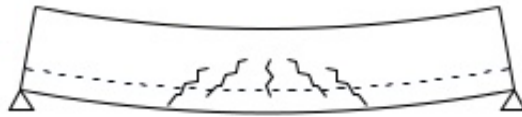
Fuente: Autores

Para evitar las deformaciones por creep secundario o terciario, es necesario estimar la deformación que se producirá en el tiempo, para estructuras con bajo grado de complejidad, se realizan cálculos numéricos y para estructuras de gran tamaño se realizan ensayos de laboratorio, esto con el fin de determinar si es necesario más acero de refuerzo o la modificación de la geometría de los elementos.

¹⁷ Ibid p.24

Las deformaciones permanentes en los elementos estructurales causan fisuración en el centro de la luz, esto conlleva a una disminución en la resistencia del material, debido a que el elemento deja de trabajar con su sección neta. Otro efecto generado por el creep, corresponde a la relajación del acero de refuerzo del concreto pre-esforzado dañando así su tensionamiento.

Figura 15. Fisuración por creep



Fuente: Autores

5.1.7.2. Sobrecarga y deformaciones impuestas

El concreto tiene una capacidad de resistencia limitada y en el momento en que se supera este límite, éste se fisura, en donde dicha fisuración depende del tipo de esfuerzo que esté soportando el elemento estructural. Existen dos tipos de fisuración, los cuales corresponden a: fisuración inducida por cargas y fisuras debidas a deformaciones y movimientos excesivos.¹⁸

5.1.7.2.1. Fisuras inducidas por cargas

Estas corresponden al tipo de fisuras más comunes en los elementos estructurales y a las más fáciles de analizar en términos conceptuales, debido a que son aquellas que aparecen cuando se sobrecarga un elemento estructural. Estas fisuras son consecuencia de:

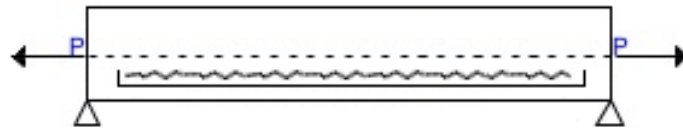
- La subvaloración de los efectos de una hipótesis de cargas.
- Dimensionamiento insuficiente de la sección transversal de los elementos estructurales.
- Acero de refuerzo insuficiente.
- Diferencia de rigidez en los elementos que comparten momento.
- Elementos con presencia de aristas.
- Elementos que causan restricción al movimiento.

Los planos de falla que se pueden generar, dependen del tipo de esfuerzo al que se someta el elemento estructural, estos pueden ser:

¹⁸ Ibid p.24

- Fisuras por tracción pura: Suceden cuando un elemento estructural es sometido a cargas en su eje centroidal, generando que el concreto trabaje a tracción, estas fisuras son peligrosas, debido a que avisan que el elemento va a fallar.

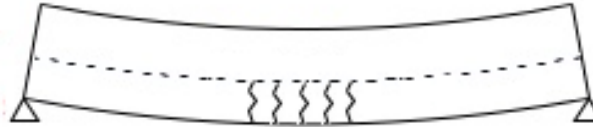
Figura 16. Fisura por tracción pura



Fuente: Autores

- Fisura por flexión: Además de los efectos generados por la flexión, se producen esfuerzos de tracción, debido a que, por la insuficiencia de acero de refuerzo, el concreto se fisura en el centro de la luz, desde la parte inferior hasta el eje neutro del elemento, estas fisuras no son muy críticas, debido a que dan el tiempo suficiente, para realizar un tratamiento correctivo al elemento.

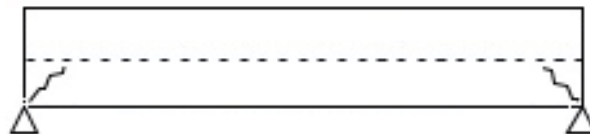
Figura 17. Fisuras por flexión



Fuente: Autores

- Fisuras por cortante: Corresponden a las fisuras muy comunes y de especial cuidado, debido a que pueden presentar una falla súbita, es decir, no da mucho tiempo de espera entre la fisura o grieta y la toma de decisión para el tratamiento de la misma, éstas se presentan de forma diagonal y cerca a los apoyos y se producen porque el excesivo esfuerzo cortante, o porque el elemento carece de acero de refuerzo, en este caso, flejes.

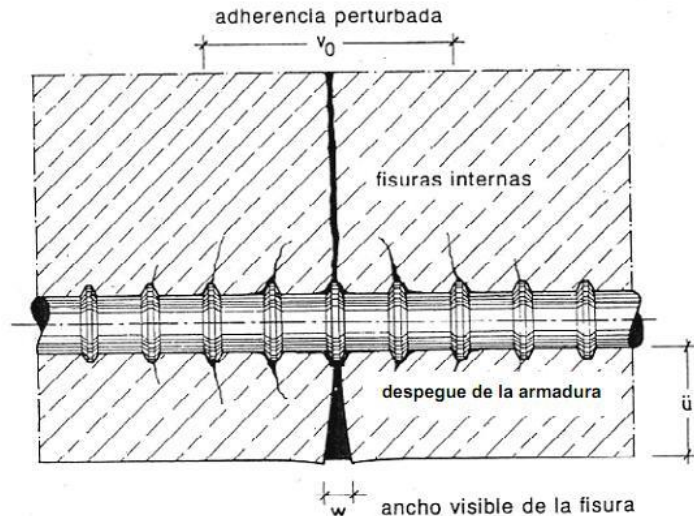
Figura 18. Fisuras por cortante



Fuente: Autores

- Fisuras por adherencia: Corresponde a la fisura o serie de fisuras completamente verticales que se ven reflejadas debido a la pérdida de adherencia entre el acero de refuerzo y el concreto, generando la pérdida de trabajabilidad como una unidad.

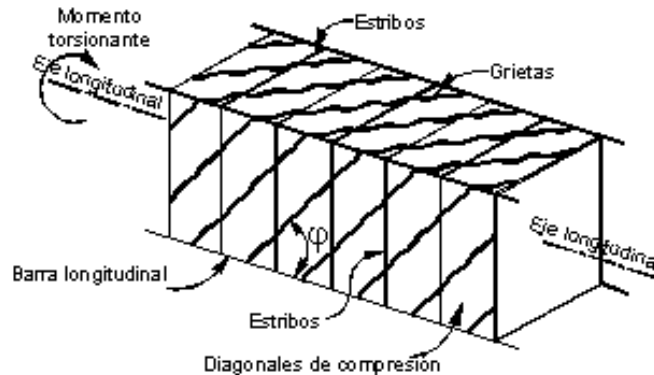
Figura 19. Fisuración por adherencia



Fuente: Edificación, construcción y estructura, Mallof, 2012

- Fisuras por torsión: Corresponden a fisuras no muy comunes, las cuales se producen cuando se presenta un momento en el eje centroidal del elemento, generando un esfuerzo cortante sobre las paredes del componente estructural, cabe resaltar que este esfuerzo torsional, se presenta exclusivamente en eventos sísmico. Con el fin de controlar este fenómeno, es importante utilizar flejes.

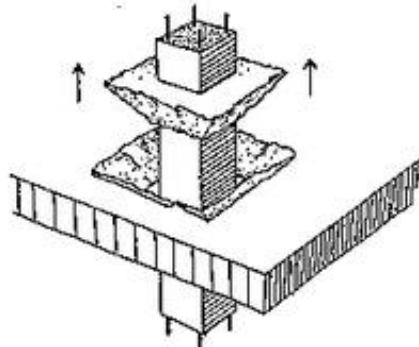
Figura 20. Fisuras por torsión



Fuente: Arquitectura, seguridad torsional, 2014

- Fisuras por punzonamiento: También conocidas como fisura por cortante en dos direcciones, este tipo de fisuras ocurren en la unión de un elemento estructural pequeño con uno más grande, debido a que se aplica una carga de gran magnitud en un punto específico, por tal motivo, es indispensable asegurar que el espesor del elemento estructural sea lo suficientemente grande para soportar el esfuerzo al cortante.

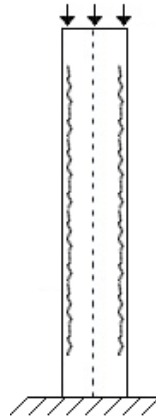
Figura 21. Falla por punzonamiento



Fuente: Prontubeam, 2010

- Fisuras por compresión: Corresponden a aquellas fisuras que se presentan por esfuerzos de compresión axial que superan la resistencia del elemento, formándose así, fisuras verticales, las cuales se presentan especialmente en columnas. Para evitar estas fisuras, se recomienda el adecuado uso de los flejes, debido a que ayudan a confinar el núcleo del concreto, aumentando la resistencia a la compresión.

Figura 22. Fisuras por compresión



Fuente: Autores

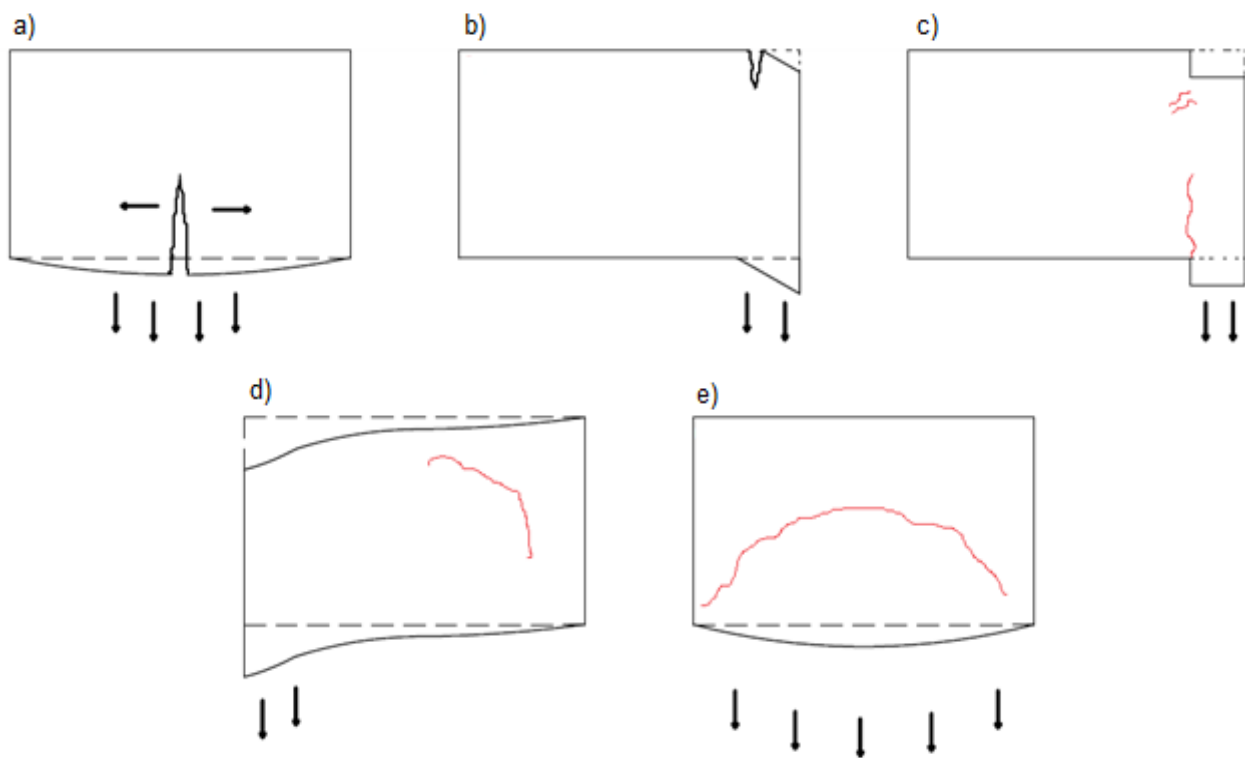
5.1.7.2.2. Fisuras debidas a deflexiones y movimientos excesivos

Los asentamientos que sufre una estructura durante su vida útil, no son tenidos en cuenta en los diseños, debido a que se espera que la estructura no se mueva, sin embargo, el problema radica cuando estos aparecen, debido a que la estructura empieza sufrir momentos para los cuales no está diseñada. (Sánchez De Guzmán, 2002)

Estos asentamientos traen como consecuencia fisuración en la estructura y se dividen en:

- Asentamiento en el centro de la luz (arcillas).
- Asentamientos diferenciales (arcilla-arena).
- Asentamiento sólo en una parte de la estructura por diferencia en el terreno de fundación (roca-arcilla).
- Asentamiento diferencial en uno de los costados de la estructura (arcillas).
- Asentamiento distribuido desde el centro de la luz, hacia los costados (arcillas).

Figura 23. Fisuración por asentamientos



Fuente: Autores

5.7.1.2.3. Fuerzas debidas a Impactos

Corresponde a una carga súbita que genera un esfuerzo adicional en los elementos, dichos esfuerzos se deben a cargas mixtas muy fuertes que se presentan en periodos de tiempo muy cortos, lo cual puede generar la formación de grietas y fisuras.

Los códigos de diseño presentan diversas consideraciones con el fin de evitar el daño generado por las fuerzas de impacto, las corresponden a: el factor de amplificación dinámica, el cual tiene en cuenta el impacto de los vehículos (carga viva), al ingresar a un puente, y la carga de impacto de colisión de embarcaciones, la cual corresponde a la fuerza adicional que puede generar una embarcación sobre las estructuras al impactarse contra éstas.

5.7.1.2.4. Vibraciones

La adecuada vibración de la mezcla de concreto en estado fresco, corresponde a un proceso indispensable para garantizar la durabilidad de las estructuras. Según esto, es importante mencionar que la ausencia de vibración, genera una falta de reorganización de las partículas, lo cual contribuye con la formación de hormigueros en la matriz del concreto, generando así superficies de falla, a su vez, el exceso de vibración, causa la separación de los componentes de concreto, es decir, genera que los agregados gruesos se precipiten y la pasta de cemento ascienda, proceso denominado segregación. Con el fin de evitar los hormigueros y la segregación, se recomienda efectuar un correcto vibrado del concreto en diferentes puntos de la superficie fundida, el cual se puede realizar por medio de una aguja vibratoria completamente vertical, por un tiempo no mayor a diez segundos.

5.7.1.2.5. Abrasión

Se entiende como el desgaste de la superficie del concreto debido a cargas continuas, éstas se pueden presentar por la fricción y el frotamiento presentes principalmente en la superestructura de los puentes, en la capa de rodadura de las vías y en los pisos industriales; por la erosión, generada por materiales abrasivos y cavitación, éstas se pueden dar en los estribos y pilas de los puentes, sobre cuerpos de agua en movimiento o en tanques. Con el fin de evitar este fenómeno, es importante tener en cuenta factores tales como el tipo de agregado, la resistencia a la compresión del concreto, el curado y el acabado superficial, debido a que, al garantizar el adecuado comportamiento de estos factores, se reducirá el riesgo de que se presente dicha patología.

5.1.8. Factores biológicos

Corresponden a la contaminación generada por diversos organismos vivos que alteran la microestructura del concreto, esta alteración se da, debido a un factor denominado “biorreceptividad”, entendida como la propiedad de un material que permite que sobre su superficie se proliferen organismos vivos. Para que sobre el concreto se generen dichos organismos, es indispensable que se presenten cuatro factores de biorreceptividad, los cuales corresponden a:

- Disponibilidad de nutrientes
- Condiciones ambientales favorables
- Superficie de colonización
- Humedad o presencia de agua

El concreto presenta una disponibilidad alta de nutrientes, debido a que éste contiene aproximadamente un 60% de calcio, el cual es indispensable para el crecimiento de algunas plantas; esto se da, en condiciones ambientales favorables, las cuales corresponden a una temperatura entre 10°C y 45°C; a su vez, es indispensable que éste posea una superficie de colonización, la cual se debe generalmente a la porosidad de la matriz de concreto, ésta brinda el espacio suficiente para que los microorganismos puedan crearse; finalmente, la humedad o la presencia de agua, corresponde al único factor que el concreto no posee por sí mismo, ésta se presenta debido a una fuente externa que humedece el interior de la matriz. (Sánchez De Guzmán, 2002)

Si se presentan los cuatro factores de biorreceptividad, se considera entonces contaminación biológica, la cual, evidencia el contenido de humedad en las estructuras. Los patógenos biológicos que afectarán la microestructura del concreto, corresponden a:

5.1.8.1. Bacterias

Estos microorganismos son perjudiciales para las superficies de concreto, debido a que se alimentan del calcio contenido en el concreto, y son capaces de producir ácido sulfúrico, el cual desgasta la superficie de concreto, es decir, la desintegra y genera una disminución de la sección transversal, lo que hace al elemento más susceptible a ataques mecánicos y físicos.

5.1.8.2. Hongos

Éstos, pueden alterar la superficie del concreto, debido a que al crecer, son capaces de transmitir esfuerzos de tracción adicionales al interior de la matriz del concreto, lo cual genera fisuras que propician el ingreso de agentes químicos en la microestructura, haciendo que el elemento sea menos durable. Esto corresponde a una afección netamente mecánica.

5.1.8.3. Algas, líquenes y musgos

La presencia de estos microorganismos, produce básicamente dos patologías, la primera consiste en esfuerzos de tracción suministrados al concreto reforzado durante el crecimiento de los mismos, adicionalmente, estos microorganismos producen un alto consumo de calcio, lo cual genera, una reducción del pH al interior de la matriz del concreto, provocando así, la despasivación de la capa que recubre al acero de refuerzo.

Es importante anotar, que el concreto es un elemento altamente alcalino, debido a que tiene un potencial de hidrógeno aproximadamente de 13, si éste es atacado por microorganismos, se puede generar una disminución del pH en un rango de 2 a 8, lo cual genera vulnerabilidad en el acero de refuerzo, dando paso a la posible corrosión del mismo.

Cualquiera de los tres ataques biológicos, altera la microestructura del concreto, por lo cual, se recomienda realizar el mantenimiento correctivo, en donde se realice el correspondiente lavado a la estructura, se controle la humedad, y posterior a esto, se recupere el recubrimiento perdido si es necesario¹⁹.

Figura 24. Material biológico presente en estructuras de concreto



Fuente: Ing. Camilo Higuera Flórez, Patología del Concreto.

¹⁹ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. 2002. Durabilidad y Patología del concreto. Bogotá D.C. Asocreto, 2002.

5.2 Estado del Arte

El estudio de una estructura a lo largo de su vida útil es indispensable, debido a que ésta sufre deterioros que pueden afectar el funcionamiento parcial o total de la misma, a su vez, esto puede influir en la estética de la estructura, generando que los lugares carezcan de amenidad. La diversidad de culturas en los diferentes países hace que cualquier daño generado en la estructura sea diferente, un claro ejemplo de esto, corresponde a los países en desarrollo, en donde no se encuentra la cantidad de daños antrópicos que se evidencia en los países en vía de desarrollo, otro aspecto importante corresponde al clima, debido a las diversas condiciones, es por esto, que surge la necesidad de estudiar a detalle los daños que se generan en dichas estructuras.

En el mundo se ha realizado una serie de investigaciones que abarcan el tema de patologías en las estructuras, específicamente en los puentes, estructuras con gran importancia para el desarrollo de una ciudad o un país, a pesar de esto, se hace evidente la falta de profundización en el tema.

Europa ha sido pionera en revisión de patologías de puentes con variedad de métodos constructivos, tales como hormigón, acero, madera, entre otros, a su vez, España corresponde a uno de los países con más información de este tipo. En dicho continente, el gobierno de España junto con el Ministerio de Fomento y la Dirección General de Carreteras, crearon un manual para el reconocimiento de enfermedades estructurales, en 2012, denominado Guía para la Realización de Inspecciones Principales de Obras de Paso en la Red de Carreteras del Estado, este documento trata de agrupar la metodología y los conocimientos necesarios para la inspección de un puente y a su vez, busca explicar las diferentes tipologías y casos de cada patología, tratando de exponer la información, por medio de un método didáctico, mostrando situaciones concretas con su respectiva solución.

En Portugal, el departamento de ingeniería civil junto con la Universidad de Aveiro, realizó una investigación, que enfatizó estadísticamente el análisis de patologías comunes en las estructuras, conocido como Common Pathologies in RC Bridge Structures: a Statistical Analysis, de J. Santos, C. Nunes, C. Fernandes & H. Varum, en donde se expone un estudio basado en factores patológicos con origen en cargas de tráfico inesperadas, choques de vehículos, factores ambientales, movimientos de tierra, ataques de cloruro, efecto de carbonatación, falta de mantenimiento y mala calidad del pavimento, la investigación consiste en un análisis estadístico de los puentes más afectados por dichos problemas, además del desarrollo comparativo de los resultados con un estudio similar en España.

Colombia, a pesar de no tener un alto contenido de información e investigaciones en este tema, es el quinto país con más indagación en América Latina según el diario el país de Madrid, España en el año 2013. En los últimos años, tanto el gobierno, como un grupo de ingenieros han incrementado su interés en dicho tema, es así como varias universidades en Colombia han desarrollado estudios significativos en cuanto a la patología estructural, tales como la Universidad Javeriana, en el trabajo de grado realizado por David Sebastián Cusba Morales y dirigido por el ingeniero civil y magister en estructuras Edgar Eduardo Muñoz Díaz, en el año 2011, llamado Estudio de las Causas y Soluciones Estructurales del Colapso Total o Parcial de los Puentes Vehiculares de Colombia desde 1986 al 2011, y la Evaluación de las Consecuencias del Derrumbamiento de uno de Ellos, este estudio trata de encontrar las principales causas que originan el colapso de un puente y las correspondientes soluciones estructurales para evitarlo en otras estructuras.

El Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE), junto a la Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en el 2011 forjó una guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales, denominada Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después de un Sismo, la cual explica a detalle las patologías comunes que pueden presentarse en las estructuras y su sistema de cimentación, de manera que puedan diferenciarse de patologías asociadas con carga estática y exposición ambiental.

Además, el gobierno colombiano junto con el Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías (INVIAS), algunas universidades y otras entidades gubernamentales y no gubernamentales, han creado una serie de manuales y guías, para el oportuno descubrimiento de las patologías y su respectivo mantenimiento mencionados anteriormente.

5.3 Marco Conceptual

- **Patología:** Corresponde a la ciencia dedicada al estudio sistemático de los daños y fallas que pueden sufrir las estructuras de concreto, analizando sus causas y consecuencias, para poder determinar el mejor método de intervención, que permita recuperar las condiciones de desempeño de la estructura afectada.
- **Inspección:** Se entiende por inspección al conjunto de acciones de gabinete y campo, desde recopilación de información (historia del puente, expedientes técnicos del proyecto, planos post construcción, inspecciones previas, etc.), hasta la toma de

datos en campo, a fin de conocer el estado del puente en un instante dado, según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones²⁰ (2006).

- Diagnóstico: Consiste en la identificación del problema una vez que se conoce en detalle las características del diseño comparadas con las encontradas en la construcción, como lo establece Gálvez²¹ (2002).
- Rehabilitación Estructural: Como lo menciona Carlos Arcila, La rehabilitación de estructuras en concreto reforzado, consiste en un proceso que involucra desafíos distintos a los que se experimentan en la construcción de nuevas estructuras, consiste en un proceso que devuelve a una estructura que presenta un daño, a su condición original, como lo propone López²² (2015).
- Lesión: Es entendida como aquellos daños provocados por causas físicas o químicas que se concretan en deformaciones o alteraciones en los materiales, y que pueden afectar la estructura (su totalidad, o parte de ella), o a otros elementos constructivos, tales como fachadas particiones, entre otros, según Lopez²³ (2004).
- Síntoma: Corresponde a aquellas evidencias u otro tipo de indicios reveladores de una lesión, que pueden aparecer en la propia estructura, en los elementos constructivos, o bien ambos, como lo establece Lopez²⁴ (2004).
- Factores antrópicos: Se refiere a toda acción del hombre que afecta determinadamente el funcionamiento o las condiciones de una estructura, entre las principales alteraciones, las estructuras se ven afectadas de forma importante debido a, la orina, los grafitis, la manipulación del fuego, los accidentes automovilísticos, el robo de elementos o el desprendimiento de los mismos, entre otros.

²⁰ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Guía para Inspeccion de Puentes. Marzo, 2006.

²¹ GÁLVEZ, José. Propuesta de Recuperación Estructural de un Edificio. 2002.

²² ARCILA, Carlos. Rehabilitación de Estructuras de Concreto Reforzado. Bogotá D.C. : s.n., 2015.

²³ LOPEZ, Fernando. Manual de Patología de la Edificación. En: Escuela Técnica Superior Edificación Universidad Politécnica De Madrid. Agosto, 2004.

²⁴ Ibid p.22

5.4 Marco Legal

En la actualidad el diseño de puentes en Colombia y afines, está regido por la Norma Colombiana de Diseño de Puentes 2014 (CCP14), creada por la Asociación de Ingeniería Sísmica, en convenio con INVIAS, la cual se apoya en factores de diseño de carga y resistencia, acorde a las prácticas actuales de diseño de estructuras en la mayoría de los países del mundo.

En dicha norma se proporcionan los requisitos mínimos para espacios libres, estética, durabilidad, facilidad de inspección, accesibilidad para el mantenimiento, preservación del ambiente, protección de la estructura para evitar daños por choques y otros factores antrópicos y el resguardo de los usuarios.

La norma se respalda con decretos, leyes y resoluciones que hacen alusión a las especificaciones correspondientes para la elaboración de diseños y uso de las estructuras, los cuales se evidencian a continuación

Tabla 1. Reglamentación del uso de las estructuras

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Decreto 1344 de 1970	Por el cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre.
Decreto 959 de 2000	Por el cual se compilan los textos del Acuerdo 01 de 1998 y del Acuerdo 12 de 2000, los cuales reglamentan la publicidad Exterior Visual en el Distrito Capital de Bogotá.
Decreto 1538 de 2005	Aplicable para: diseño, construcción, ampliación, modificación y en general, cualquier intervención y/u ocupación de vías públicas, mobiliario urbano y demás espacios de uso público.
Ley 1682 de 2013	Por la cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias.

Fuente: Autores

6. METODOLOGÍA

• Fase I. Búsqueda de Información

La fase I, corresponde al análisis de la información, por medio del software Vantage Point en conjunto con la base de datos ScienceDirect, y la revisión de investigaciones realizadas por diversos ingenieros de distintas partes del mundo en el ámbito, con el fin de entender cómo éstas se aplican de igual manera en Colombia.

Con base en esto, se pretende:

- a) Realizar la ecuación de búsqueda, conociendo los principales tópicos de la ingeniería entendidos como: elementos estructurales, patología de los elementos, materiales, resistencia de materiales efectos generados por fallas estructurales, y elementos antrópicos que generan daños, encontrando así las palabras claves.
- b) Encontrada una ecuación de búsqueda, se ingresó a la base de datos ScienceDirect, se especificaron diferentes filtros de búsqueda, con el fin de reducir la cantidad de información obtenida, para realizar una revisión más concisa y detallada.
- c) Con los resultados obtenidos, se procedió a ingresar el documento a la plataforma del software Vantage Point, con el cual se clasificó y se organizó la información en orden de relevancia, a su vez, se identificó y se seleccionó cada una de las palabras claves correspondientes al contexto deseado y finalmente, se realizó una serie de diversos métodos didácticos por medio del software que permitió obtener resultados contundentes.

Como producto de la primera parte de este ejercicio, se obtuvo la estructura de la ecuación de búsqueda, partiendo del grupo de palabras seleccionadas, a partir de los tópicos ya mencionados, tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Búsqueda de palabras para la realización de la Ecuación de Búsqueda

DIMENSIÓN	ASPECTO	INDICADOR
Componentes generales		Bridge, Estructure.
Patología de los componentes estructurales	Enfermedades asociadas al mal uso o a la exposición a agentes dañinos, de un puente.	Erosion, carbonation, corrosion, oxidation.
Efectos al poner	Comportamiento de los	"Over torque", bending,

DIMENSIÓN	ASPECTO	INDICADOR
en funcionamiento la estructura.	materiales en conjunto.	torsional, cutting, stress, compression.
Materiales	Materiales obligatorios para la estabilidad y duración necesaria.	Materials, steel, concrete, aluminium, cement, "stone aggregate", wood.
Agentes que generan daños a la estructura.	Elementos externos que afectan grave o levemente a la estructura.	Water, sulphates, chloride, acid, urine, "carbon dioxide", wind, humidity, moisture.

Fuente: Autores

Seguido del proceso de obtención de las palabras claves en la investigación, se procedió a plantear la ecuación de búsqueda a partir de la información mostrada en la tabla 2. Con la respectiva utilización de conectores y paréntesis, con el fin de conseguir una herramienta clara y contundente, para encontrar los artículos requeridos. De esta manera, la ecuación de búsqueda obtenida corresponde a:

(Bridge or structure) and ("over torque" or bending or torsional or cutting or stress) and (erosion or carbonation or corrosion or oxidation or compression) (materials or steel or concrete or aluminum or cement or "stone aggregate" or wood) and (water or sulfates or chloride or acid or urine or "carbon dioxide" or wind or humidity or moisture).

Se precedió a especificar diversos filtros, con el fin de reducir la cantidad de información y así obtener una búsqueda más específica, lo cual se realizó de la siguiente manera:

- a) Reducción de los años de publicación, seleccionando los años de 2014 a 2018.
- b) Selección del tipo de información, por medio de los filtros Review articles y Original research, con el fin de encontrar información novedosa.
- c) Por medio de la opción open access articles, se identificó la información de acceso abierto al público.

Se subió la información a Vantage Point, por medio del software se realizó una filtración de palabras claves, en donde se eligieron las correspondientes al contexto de la investigación, descartando información referente al tema de medicina, teniendo en cuenta, que la patología es un tópico muy común en dicha rama. Seguido de esto, se organizaron los autores, mediante la unión de los mismos, y la determinación de la cantidad de artículos de su autoría, para así poder descartar artículos indeseados, finalmente, se obtuvo información más específica, que fue vital para la selección de documentos requeridos.

En este sentido, la intención de la investigación, a través de la cual se identifica la información necesaria, consiste en adecuarla y acoplarla a Colombia, debido a que no existe un manual completo y claro, el cual describa las patologías en puentes en el país.

- **Fase II. Reconocimiento del Lugar**

En la fase II, se realizó el reconocimiento visual del puente de la intersección de la calle 92 con Autopista Norte, correspondiente al puente con sentido norte-sur paralelo a la autopista, esto, con el fin de identificar sus respectivas enfermedades y las alteraciones generadas por los factores antrópicos y por su uso cotidiano, es por esto, que se llevó a cabo una serie de visitas técnicas que se realizaron con la finalidad de estudiar minuciosamente la estructura, inspeccionando los componentes estructurales y no estructurales de la misma, las patologías presentes y los factores que alteran su adecuado funcionamiento, tomando así las respectivas observaciones.

- **Fase III. Catalogación de las Patologías**

En la fase III, se llevó a cabo la clasificación de las patologías presentes en el puente descrito con anterioridad, ubicándolas según su relevancia y el nivel de afectación que generan en la estructura, esto, dependiendo qué tan desfavorables son las condiciones que alteran los componentes estructurales y no estructurales. En este orden de ideas, se realizó un ensayo cualitativo, correspondiente a la identificación de la presencia de carbonatación, esto se llevó a cabo por medio del test de la fenolftaleína, el cual consiste en rociar el concreto con una solución al 1% de fenolftaleína en hidro-alcohol, en donde si el color del concreto impregnado vira a púrpura intenso, se interpreta como no carbonatado, mientras que si no se evidencia un cambio de color, se supone carbonatado; además de la visualización de los síntomas presentados por las patologías, se realizó un ensayo cuantitativo, correspondiente al uso del esclerómetro, con este ensayo, se pretendió conocer el

comportamiento de los elementos del puente, información que se encuentra en las fichas técnicas para la adecuada caracterización de la estructura.

Posterior a identificar las patologías presentes de acuerdo al ensayo cualitativo, cuantitativo y a la inspección visual, se realizó una serie de estadísticas en cada elemento, dividiendo éstos según un mantenimiento realizado en el año 2001, en donde algunas vigas longitudinales y pilas del puente fueron reparadas, y otras reconstruidas en su totalidad, esto con el fin de entender cuál procedimiento realizado fue más beneficioso para la estructura.

- **Fase IV. Planteamiento de Posibles Soluciones y Divulgación**

De acuerdo a las investigaciones realizadas sobre las patologías en los diversos puentes del mundo y de Colombia, en la fase IV se plantearon posibles soluciones a cada una de las alteraciones que se encuentran presentes en la estructura de la intersección de la calle 92 con Autopista Norte, correspondiente al puente paralelo a la autopista con sentido norte-sur, esto, tomando como base la literatura existente y la experiencia ingenieril.



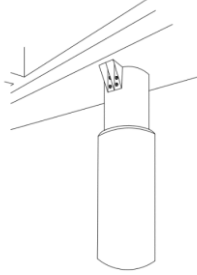

Posterior a esto, se propone la comunicación con docentes y directivos de la Universidad Católica de Colombia, con el fin de generar la divulgación de la investigación. Es por esto, que se pretende crear instrumentos de comunicación tales como estrategias para promover el acercamiento hacia la comunidad educativa, es así como se plantea desarrollar las siguientes actividades:

- Publicaciones
- Web y medios
- Comunicación institucional (interna y externa)
- Promover y reconocer el conocimiento

Finalmente, se realizará un artículo relacionado con el tema de patologías, en el cual, se expondrá la afectación presente en el puente vehicular de la calle 92 con Autopista Norte, identificado por el IDU por el código 22150566, en donde se expondrán las diversas patologías encontradas en el puente evaluado, brindando así posibles soluciones, que no servirán únicamente para realizar mantenimientos correctivos y preventivos al puente analizado, sino a demás elementos estructurales que se ven afectados por condiciones similares. Esto con el fin de velar por una ingeniería civil segura, que garantice el bienestar y la integridad de los usuarios.





7. FICHAS DE AUSCULTACIÓN DEL PUENTE

Ficha 1. Diagnóstico patológico de pilas con sobrancho parcial

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.		DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA NORTE CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR		 U CATÓLICA de Colombia			
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez	Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz				
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	1				
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA							
Código IDU	22150566	Ciudad	Bogotá				
Tipo de Puente	Puente Vehicular	Localidad	Chapinero				
Elemento	Pilas con Sobrancho Parcial	Barrio	El Lago				
ESQUEMA DEL ELEMENTO							
							
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO							
El elemento corresponde a una pila circular que presenta un sobrancho parcial en la parte inferior de la misma, el cual fue adicionado con el fin de generar mayor soporte al puente, garantizando la resistencia de la pila.							
VALORACION VISUAL			FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO				
NIVEL DE DAÑO	LEVE	X					
	MODERADO						
	SEVERO						
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD	X					
	FUNCIONALIDAD						
	ASPECTO	X					
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESCINDIBLE						
	NECESARIO						
	CONVENIENTE	X					
	INNECESARIO						
ESTADO GENERAL							
FACTORES ANTRÓPICOS				PÉRDIDA DE MATERIAL			
Grafiti	Fogatas	Publicidad	Robo Elementos	Abrasión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
X	X	X			X		
MANCHAS				EXPOSICIÓN DE ACERO			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia	Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
X		X					
FISURAS				PINTURA			
Adherencia	Flexión	Cortante	Compresión	Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
	X	X	X	X	X		X
NOTA: A simple vista las pilas con sobrancho parcial se encuentran en buen estado, a pesar que algunas presentan fisuras. El buen estado de los elementos, es justificable, debido a que estos elementos fueron sometidos a un mantenimiento correctivo, ya que inicialmente no cumplían con las especificaciones técnicas requeridas.							





Fuente: Autores

Ficha 2. Auscultación N° 2 de pilas con sobreancho parcial

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	2	
Fotografía N°	1	Lesión	Fisura por Cortante	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Tercio Central		
	Causas y Observaciones			
	Las fisuras por cortante se originan por las cargas que se presentan en los elementos simplemente apoyados generalmente en presencia de sismos, sin embargo, es importante resaltar que no se tiene evidencia de la profundidad de la fisura, aspecto relevante para la futura intervención del elemento. Por lo anterior, se recomienda realizar una escarificación para determinar el espesor y profundidad de la fisura.			
Posible Solución				
Para realizar una intervención apropiada, es indispensable conocer las condiciones de la fisura, al conocer el espesor y la profundidad de la misma, se puede recomendar la inyección de epóxico si la fisura es profunda y un mantenimiento preventivo, en el caso que ésta sea superficial.				
Fotografía N°	2	Lesión	Carbonatación y Eflorescencia	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Tercio Superior		
	Causas y Observaciones			
	La carbonatación ocurre cuando el dióxido de carbono reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto, es decir, se presenta por la infiltración del agua. A su vez, la eflorescencia se origina, cuando el concreto se carbonata, produciendo así, la sal de Friedel, lo que genera que se expulse el calcio del cemento, tal como se puede evidenciar en la fotografía.			
Posible Solución				
Se recomienda realizar una inspección minuciosa con el fin de encontrar la fuente de la humedad en el elemento, posterior a esto, realizar la respectiva limpieza del elemento e impermeabilizar la pila.				





Fuente: Autores

Ficha 3. Auscultación N° 3 de pilas con sobrecancho parcial

		DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR			
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.				UCATÓLICA de Colombia	
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	3		
Fotografía N°	3	Lesión	Deficiencia del Vibrado		
		Estado	Malo	Medio	Bueno
				X	
		Tipo de Patología	Congénita		
		Lugar Lesión	Tercio Inferior		
Causas y Observaciones					
<p>Se evidencia un error constructivo debido a la deficiencia en el vibrado, lo cual genera segregación. Es de vital importancia corregir dicha patología, debido a que por ésta, la pila se hace susceptible de sufrir algún ataque químico que pueda afectar el adecuado funcionamiento de la misma.</p>					
Posible Solución					
<p>Se recomienda tratar el error constructivo con una inyección de epóxico, con lo cual se garantizará que el acero permanezca en un espacio alcalino, debido a que al aplicar el epóxico se disminuirá la probabilidad de un ataque químico por dicha lesión</p>					
Fotografía N°	4	Lesión	Error Constructivo		
		Estado	Malo	Medio	Bueno
					X
		Tipo de Patología	Congénita		
		Lugar Lesión	Transición del Sobrecancho		
Causas y Observaciones					
<p>En la construcción del recubrimiento, se dejó a la intemperie alambre, elemento que puede dejar una conexión entre el exterior y el interior, esto es perjudicial para la pila, debido a que es probable que se presenten ataques químicos, y se altere el estado alcalino en el interior de la misma.</p>					
Posible Solución					
<p>Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo, debido a que este error constructivo, podría generar un deterioro del elemento al permitir el contacto de la intemperie con el interior del mismo.</p>					



Fuente: Autores

Ficha 4. Auscultación N° 4 de pilas con sobreeancho parcial

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR			 U CATÓLICA de Colombia
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	4	
Fotografía N°	5	Lesión	Fisura por Contracción	
	Estado	Malo	Medio	Bueno X
	Tipo de Patología	Congénita		
	Lugar Lesión	Tercio Inferior		
	Causas y Observaciones			
	<p>La fisura puede presentarse debido a que el recubrimiento del sobreeancho, no es el adecuado, por ende, al tener una sección transversal insuficiente, se generan fisuras que calcan perfectamente el acero de refuerzo, cabe resaltar que la fisuración se presenta a lo largo del elemento, a una distancia uniforme.</p>			
Posible Solución				
<p>Se recomienda realizar un diseño adecuado, con el fin de evitar este tipo de inconvenientes o realizar una escarificación a la pila existente para que el refuerzo del sobreeancho quedé en óptimas condiciones, esto con el fin de cumplir con las dimensiones de recubrimiento y del diámetro del acero e refuerzo</p>				
Fotografía N°	6	Lesión	Contaminación Biológica	
	Estado	Malo	Medio X	Bueno
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Tercio Inferior		
	Causas y Observaciones			
	<p>Se evidencia la presencia de materia orgánica, debida principalmente a la constante actividad humana, en este caso, la orina de los indigentes en los elementos estructurales del puente.</p>			
Posible Solución				
<p>Para darle solución a dicha patología, se recomienda lavar el elemento, debido a que al realizar la respectiva limpieza, se reduce el riesgo por el ataque por acidos a la estructura, además tener un mayor control para evitar la actividad inapropiada en dicha zona.</p>				



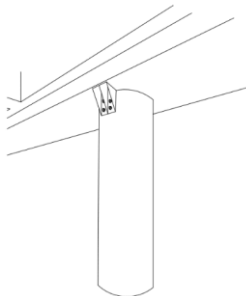

Fuente: Autores

Ficha 5. Auscultación N° 5 de pilas con sobreancho parcial

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	5	
Fotografía N°	7	Lesión	Presencia de CO2	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Tercio Inferior		
	Causas y Observaciones			
La patología presente en la pila, es causada por factores antrópicos, debido a que los indigentes de la zona, realizan fogatas, es así como el dióxido de carbono (CO2) está en contacto los elementos del puente, sin embargo, al ser el concreto termo indiferente, un gradiente de temperatura tan bajo no altera el comportamiento del elemento a menos que sea una situación reiterativa.				
Posible Solución				
Se recomienda realizar la respectiva limpieza a la estructura y un mantenimiento preventivo, con el fin de aumentar la vida útil del elemento, debido a que si la presencia de dióxido de carbono, se presenta en compañía de la humedad, se puede generar carbonatación.				





Fuente: Autores

Ficha 6. Diagnóstico patológico de pilas con sobreebanco total

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA NORTE CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR				 U CATÓLICA de Colombia		
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez		Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz			
Fecha	25 de febrero de 2018		Ficha N°	6			
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA							
Código IDU	22150566		Ciudad	Bogotá			
Tipo de Puente	Puente Vehicular		Localidad	Chapinero			
Elemento	Pila con Sobreebanco Total		Barrio	El Lago			
ESQUEMA DEL ELEMENTO							
							
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO							
El elemento corresponde a una pila circular que presenta un sobreebanco total, el cual fue adicionado con el fin de generar mayor soporte al puente, garantizando la resistencia de la pila.							
VALORACION VISUAL			FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO				
NIVEL DE DAÑO	LEVE	X					
	MODERADO						
	SEVERO						
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD	X					
	FUNCIONALIDAD						
	ASPECTO	X					
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESINDIBLE						
	NECESARIO						
	CONVENIENTE	X					
	INNECESARIO						
ESTADO GENERAL							
FACTORES ANTRÓPICOS				PÉRDIDA DE MATERIAL			
Grafiti	Fogatas	Publicidad	Robo Elementos	Abrasión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
X		X		X			
MANCHAS				EXPOSICIÓN DE ACERO			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia	Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
FISURAS				PINTURA			
Agrietamiento	Flexión	Cortante	Térmica	Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
				X			
NOTA: En general, las columnas con sobreebanco total del puente se encuentran en muy buen estado, y no presentan patologías severas, debido a que corresponden a elementos completamente recubiertos con un sobreebanco, lo cual se realizó por medio de un mantenimiento correctivo.							



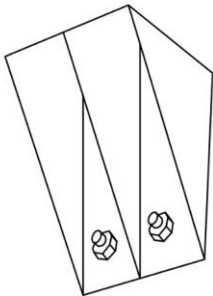

Fuente: Autores

Ficha 7. Auscultación N° 7 de pilas con sobreancho total

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	7	
Fotografía N°	8	Lesión	Segregación	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
				X
	Tipo de Patología	Congénita		
	Lugar Lesión	Tercio Central		
	Causas y Observaciones			
La segregación se presenta debido a la distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, es decir, una mala dosificación, falta de vibrado, o deficiente granulometría y corresponde a un problema netamente constructivo.				
Posible Solución				
En dicha patología no es imprescindible recurrir a la reparación, debido a que se evidencia una segregación muy leve, es decir, cavidades que no alterarán la microestructura del concreto ni permitirán el paso de agentes químicos al interior del elemento, sin embargo, sí se recomienda realizar un continuo seguimiento para observar el comportamiento de la pila.				
Fotografía N°	9	Lesión	Segregación	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
				X
	Tipo de Patología	Congénita		
	Lugar Lesión	Tercio Inferior		
	Causas y Observaciones			
Se evidencia la alteración sufrida por el concreto, definida por la presencia de oquedades superficiales que quedan en el concreto endurecido, las cuales son causadas generalmente por la falta de vibrado, compactación excesiva o deficiente, prácticas inapropiadas en la colocación del concreto, dosificaciones inadecuadas de mezclas de concreto, entre otros.				
Posible Solución				
No es primordial realizar una reparación inmediata, sin embargo, sí se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en periodos de tiempo determinados, esto con el fin de realizar un seguimiento y entender el comportamiento del elemento.				





Fuente: Autores

Ficha 8. Diagnóstico patológico de elementos metálicos

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA NORTE CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia	
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez	Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	8
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA			
Código IDU	22150566	Ciudad	Bogotá
Tipo de Puente	Puente Vehicular	Localidad	Chapinero
Elemento	Elementos Metálicos	Barrio	El Lago
ESQUEMA DEL ELEMENTO			
			
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO			
Corresponden a los elementos metálicos que trabajan en conjunto con el concreto y con otros elementos de refuerzo.			
VALORACION VISUAL			FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO
NIVEL DE DAÑO	LEVE	X	
	MODERADO		
	SEVERO		
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD		
	FUNCIONALIDAD		
	ASPECTO	X	
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESINDIBLE		
	NECESARIO		
	CONVENIENTE		
	INNECESARIO	X	
ESTADO GENERAL			
FACTORES ANTRÓPICOS			
Grafiti	Fogatas	Publicidad	Robo Elementos
PÉRDIDA DE MATERIAL			
Abrasión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
MANCHAS			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia
X			
EXPOSICIÓN DE ACERO			
Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
FISURAS			
Agrietamiento	Flexión	Cortante	Térmica
PINTURA			
Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
	X		
NOTA: En general, los elementos metálicos se encuentran en buen estado, a excepción del ducto del refuerzo postensado, el cual presenta humedad, y por consiguiente, material biológico.			



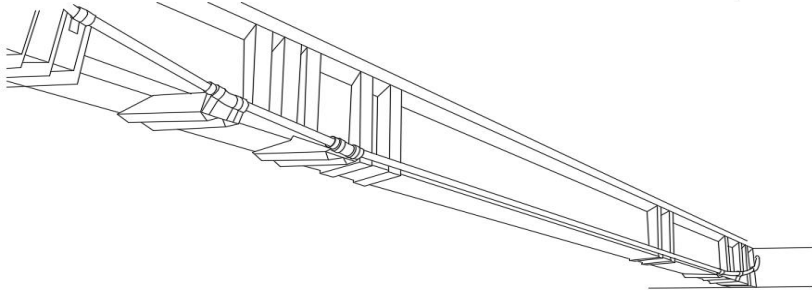

Fuente: Autores

Ficha 9. Auscultación N° 9 de elementos metálicos

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	9	
Fotografía N°	10	Lesión	Contaminación Biológica	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Ducto de Postensado		
	Causas y Observaciones			
El ducto de postensado presenta contaminación biológica, la cual se da por presencia de agua en el elemento, la disponibilidad de nutrientes, condiciones ambientales y superficies de colonización.				
Posible Solución				
Para darle solución a dicha patología, se recomienda lavar el elemento, debido a que al realizar la respectiva limpieza, se reduce el riesgo por el ataque de la contaminación biológica, además, es necesario eliminar la fuente de la humedad, evitando la reaparición del material biológico.				
Fotografía N°	11	Lesión	Pérdida de Tensionamiento	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Ducto del Postensado		
	Causas y Observaciones			
Se evidencia que el ducto del postensado se está relajando, es decir, no funciona eficientemente. Dichas estructuras deben estar completamente tensionadas y no deben tener curvaturas, debido a que la presencia de las mismas, hace evidente que el ducto se está comprimiendo y por ende, ha perdido tensionamiento.				
Posible Solución				
Se recomienda evaluar cómo se está comportando el postensionamiento, debido a que se evidencia que se perdió eficiencia, y posterior a esto, si es necesario, se recomienda volver a tensionar el torón.				





Fuente: Autores

Ficha 10. Diagnóstico patológico de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia	
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez	Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	10
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA			
Código IDU	22150566	Ciudad	Bogotá
Tipo de Puente	Puente Vehicular	Localidad	Chapinero
Elemento	Viga Postensada	Barrio	El Lago
ESQUEMA DEL ELEMENTO			
			
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO			
<p>Las vigas del puente, fueron sometidas a un mantenimiento correctivo, mediante el cual se consideró necesario agregar un postensionamiento, además de diferentes refuerzos por flexión, cortante, entre otros. En vigas específicas se decidió reconstruir el elemento completamente, debido a que resultaba más económico.</p>			
VALORACION VISUAL			FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO
NIVEL DE DAÑO	LEVE		
	MODERADO		
	SEVERO	X	
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD	X	
	FUNCIONALIDAD	X	
	ASPECTO	X	
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESINDIBLE		
	NECESARIO	X	
	CONVENIENTE		
	INNECESARIO		
ESTADO GENERAL			
FACTORES ANTRÓPICOS			
Grafiti	Δ Temperatura	Publicidad	Robo Elementos
X	X	X	X
PÉRDIDA DE MATERIAL			
Abrasión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
X	X	X	
MANCHAS			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia
X			
EXPOSICIÓN DE ACERO			
Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
X	X		
FISURAS			
Agrietamiento	Flexión	Cortante	Térmica
X	X	X	X
PINTURA			
Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
X			X
<p>NOTA: En general las vigas postensadas del puente se encuentran en mal estado, en especial, las que están ubicadas en el lado sur de la estructura, en donde se evidencia una gran actividad humana, adicionando que la zona sur es la más baja, por lo cual es más susceptible a choques, accidentes y factores antrópicos.</p>			





Fuente: Autores

Ficha 11. Auscultación N° 11 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	11	
Fotografía N°	12	Lesión	Segregación	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
				X
	Tipo de Patología	Congénita		
	Lugar Lesión	Viga		
	Causas y Observaciones			
La segregación se presenta debido a la distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, es decir, una mala dosificación, falta de vibrado, o deficiente granulometría y corresponde a un problema netamente constructivo.				
Posible Solución				
No es necesario realizar reparación al elemento, debido a que se evidencia una segregación muy leve, es decir, cavidades que no alterarán la microestructura del concreto, ni permitirán el paso de agentes químicos al interior del elemento, sin embargo, sí se recomienda realizar un continuo seguimiento para observar el comportamiento del elemento.				
Fotografía N°	13	Lesión	Fisura Tratada con Epóxico	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
				X
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Transición de la Viga		
	Causas y Observaciones			
Se observan fisuras por cortante que fueron tratadas con epóxico, estas fisuras se presentan cerca a los apoyos, formando un ángulo de 45°.				
Posible Solución				
Las fisuras por cortante presentes en el elemento, fueron sometidas a un mantenimiento correctivo, en donde por medio de epóxico se rellenaron las cavidades. Se recomienda realizar un seguimiento y mantenimiento preventivo al elemento.				





Fuente: Autores

Ficha 12. Auscultación N° 12 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	12	
Fotografía N°	14	Lesión	Descascaramiento	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga		
	Causas y Observaciones			
<p>El descascaramiento puede ser causado por muchos factores, sin embargo, en un puente de dichas condiciones, probablemente se da por la carbonatación, lo cual se genera por el exceso de humedad y dióxido de carbono en el ambiente, debido a que se altera la microestructura del concreto.</p>				
Posible Solución				
<p>Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo a la estructura, a demás de esto, no se ve la necesidad de realizar una reparación, debido a que como se evidencia en la fotografía, es un descascaramiento leve, que no ha disminuido la sección del elemento significativamente.</p>				
Fotografía N°	15	Lesión	Humedad	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga		
	Causas y Observaciones			
<p>La humedad se da por la infiltración del agua en la estructura, y el constante contacto de ésta, con el elemento.</p>				
Posible Solución				
<p>La humedad en un 90% de las veces se presenta por el mal funcionamiento de las juntas en el puente, por esta razón, se recomienda cambiar las juntas, debido a que no están funcionando adecuadamente, esto con el fin de evitar el contacto constante del agua con los elementos.</p>				





Fuente: Autores

Ficha 13. Auscultación N° 13 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92 SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia							
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	13						
Fotografía N°	16	Lesión	Contaminación Biológica						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno		X	
		Malo	Medio	Bueno					
			X						
		Tipo de Patología	Contraída						
		Lugar Lesión	Ducto de Postensado						
Causas y Observaciones									
		La presencia de materia orgánica es debida principalmente a la presencia de agua y la constante actividad biológica en el elemento.							
		Posible Solución							
		Para darle solución a dicha patología, se recomienda lavar el elemento, debido a que al realizar la respectiva limpieza, se reduce el riesgo de daños por el ataque de la contaminación biológica a la estructura.							
Fotografía N°	17	Lesión	Fisura Tratada con Epóxico						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno			X
		Malo	Medio	Bueno					
				X					
		Tipo de Patología	Contraída						
		Lugar Lesión	Centro de la Viga						
Causas y Observaciones									
		Se observan fisuras completamente verticales ubicadas en el centro de la luz de la viga, por lo que se concluye que son fisuras generadas por flexión en el elemento, esto debido a que la viga soportó cargas mayores a las consideradas en el diseño.							
		Posible Solución							
		Las fisuras por flexión presentes en el elemento, fueron sometidas a un mantenimiento correctivo, en donde por medio de epóxico se rellenaron las cavidades. Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo al elemento, y un continuo seguimiento, debido a que si el epóxico no funciona bien, se reflejara en nuevas fisuras generadas al lado de las reparadas.							





Fuente: Autores

Ficha 14. Auscultación N° 14 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR			 U CATÓLICA de Colombia
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	14	
Fotografía N°	18	Lesión	Humedad	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Anclajes		
	Causas y Observaciones			
	Se evidencia humedad en los anclajes (elementos que soportan el postensado), lo cual se genera por la presencia constante de agua, sin embargo, se menciona que es normal que un puente presente humedad.			
Posible Solución				
La humedad puede presentarse por un mal drenaje en la superficie de rodadura del puente, por lo que es necesario revisar si hay una obstrucción u oquedad en dicha superficie, haciéndole un mantenimiento correctivo.				
Fotografía N°	19	Lesión	Fisuras Tratadas con Epóxico	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Vigas Longitudinales		
	Causas y Observaciones			
	En la fotografía se observa que en todas la vigas longitudinales del puente, se presentaron fisuras por flexión (completamente verticales, generalmente en el centro de la luz) y por cortante (fisuras de 45°, ubicadas cerca a los apoyos), las cuales fueron tratadas con epóxico en un mantenimiento correctivo realizado a la estructura.			
Posible Solución				
Al no evidenciarse fisuras nuevas cercanas a las ya tratadas con epóxico, se puede mencionar que la reparación correctiva fue eficiente, sin embargo, se recomienda realizar mantenimientos preventivos, con el fin de extender el buen comportamiento de la estructura durante su vida útil.				





Fuente: Autores

Ficha 15. Auscultación N° 15 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	15	
Fotografía N°	20	Lesión	Carbonatación	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga Transversal		
	Causas y Observaciones			
La carbonatación se origina por el exceso de humedad y el dióxido de carbono (CO ₂) presentes en el ambiente, debido a que se altera la micro-estructura del concreto.				
Posible Solución				
Para darle solución a dicha patología, se recomienda lavar el elemento, para reducir el riesgo a la estructura, y tratar la humedad.				
Fotografía N°	21	Lesión	Carbonatación	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga		
	Causas y Observaciones			
Se evidencia una carbonatación severa, en donde se presenta corrosión del acero de refuerzo, debido a que la sección del concreto se perdió y el acero quedó completamente expuesto a la intemperie.				
Posible Solución				
Es importante mencionar que hay que recuperar la sección del concreto perdida, sin olvidar que hay que reparar el acero corroído. Se recomienda reconstrucción total de la viga, debido a que la eficiencia de la misma es mínima, es decir, no está trabajando como se diseñó.				





Fuente: Autores

Ficha 16. Auscultación N° 16 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	16	
Fotografía N°	22	Lesión	Erosión del Concreto	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga		
	Causas y Observaciones			
Se evidencia una considerable pérdida de la sección del concreto, debido a la carbonatación del elemento. Cabe resaltar que la viga se encuentra en la parte más baja del puente, por lo cual, es más susceptible a choques vehiculares, lo cual debilita el elemento.				
Posible Solución				
Se recomienda una reconstrucción total del elemento, debido a que el acero de refuerzo se encuentra corroído, al igual que el cable del postensionamiento, por lo cual, se puede decir, que el elemento no está trabajando adecuadamente.				
Fotografía N°	23	Lesión	Corrosión del postensado	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Ducto del Postensado		
	Causas y Observaciones			
Al quitar el recubrimiento del cable de postensado, se presenta corrosión del mismo, lo cual genera que no funcione adecuadamente.				
Posible Solución				
Se recomienda reparar la sección del cable de postensado, con el fin que trabaje como se diseñó.				





Fuente: Autores

Ficha 17. Auscultación N° 17 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	17	
Fotografía N°	24	Lesión	Corrosión del Postensado	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Accidental		
	Lugar Lesión	Postensado		
	Causas y Observaciones			
Se observa la alteración del postensionamiento, debido al posible robo de elementos, es importante anotar que el postensado al estar expuesto a la intemperie, y al haber sido cortado, perdió su función, y ya no trabaja como se diseñó.				
Posible Solución				
Se recomienda reemplazar el postensado de la zona, debido a que el existente ya no está funcionando.				
Fotografía N°	25	Lesión	Contaminación Biológica	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Ducto Postensado		
	Causas y Observaciones			
La presencia de materia orgánica es debida principalmente a la presencia de agua en la zona, y la constante actividad biológica.				
Posible Solución				
Para darle solución a dicha patología, se recomienda lavar el elemento, debido a que al realizar la respectiva limpieza, se reduce el riesgo por el ataque de la contaminación biológica a la estructura, posterior a esto, es indispensable encontrar la razón de humedad en el elemento, para poder controlar el crecimiento de hongos, algas, entre otros.				



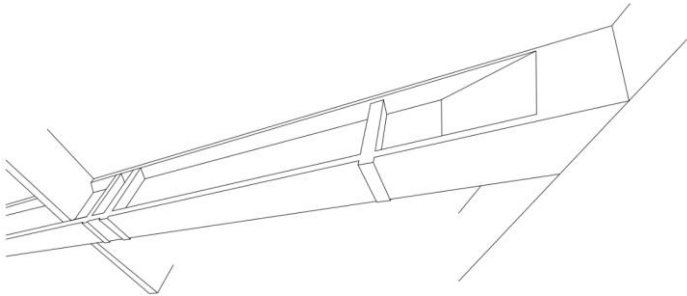

Fuente: Autores

Ficha 18. Auscultación N° 11 de vigas postensadas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	18	
Fotografía N°	26	Lesión	Carbonatación	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga		
	Causas y Observaciones			
	La carbonatación se origina por el exceso de humedad y de dióxido de carbono (CO ₂) presentes en el ambiente, debido a que se altera la micro-estructura del concreto. Es importante anotar que la viga está en continuo contacto con el CO ₂ , debido a que por debajo del puente pasa el tren de la Sabana.			
Posible Solución				
Es importante realizar una limpieza a los elementos, y a su vez, controlar la humedad en los mismos, esto con el fin que el concreto no pierda su sección transversal, y a su vez, el acero de refuerzo no se corra.				
Fotografía N°	27	Lesión	Carbonatación y Corrosión	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga y Postensado		
	Causas y Observaciones			
	Se evidencia que debido a la carbonatación se corroyó la estructura y la viga dejó de trabajar, debido a que ésta perdió sección transversal. A su vez, cabe anotar que el postensado al estar expuesto a la intemperie dejó de funcionar adecuadamente.			
Posible Solución				
Se recomienda una reconstrucción total del elemento, debido a que el acero de refuerzo se encuentra corroído al igual que el cable del postensionamiento, por lo cual, se puede decir, que el elemento no está trabajando adecuadamente.				





Fuente: Autores

Ficha 19. Diagnóstico patológico de vigas nuevas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia					
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez	Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz				
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	19				
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA							
Código IDU	22150566	Ciudad	Bogotá				
Tipo de Puente	Puente Vehicular	Localidad	Chapinero				
Elemento	Viga Nueva	Barrio	El Lago				
ESQUEMA DEL ELEMENTO							
							
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO							
Estas vigas corresponden a elementos estructurales que fueron sometidos a una reconstrucción total llevada a cabo por medio de un mantenimiento correctivo.							
VALORACION VISUAL			FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO				
NIVEL DE DAÑO	LEVE	X					
	MODERADO						
	SEVERO						
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD						
	FUNCIONALIDAD						
	ASPECTO	X					
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESINDIBLE						
	NECESARIO						
	CONVENIENTE	X					
	INNECESARIO						
ESTADO GENERAL							
FACTORES ANTRÓPICOS				PÉRDIDA DE MATERIAL			
Grafiti	Fogatas	Publicidad	Robo Elementos	Erosión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
	X						X
MANCHAS				EXPOSICIÓN DE ACERO			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia	Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
FISURAS				PINTURA			
Agrietamiento	Flexión	Cortante	Térmica	Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
NOTA: En general, dichos elementos estructurales se encuentran en buen estado, debido a que fueron reconstruidos en su totalidad.							





Fuente: Autores

Ficha 20. Auscultación N° 20 de vigas nuevas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	20	
Fotografía N°	28	Lesión	Error Constructivo	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Junta		
Causas y Observaciones				
Debido al exceso de humedad en la viga, se evidencia que la junta no está funcionando adecuadamente, es importante anotar que la humedad se presenta en un 90% en una estructura por la falla de las juntas.				
Posible Solución				
Se recomienda cambiar la junta, anotando que no es un proceso muy costoso, y mejoraría considerablemente la humedad presente en la estructura, aumentando la vida útil de la misma, debido a que se controlarían patologías como carbonatación, contaminación biológica, por ataques físicos, entre otras.				
Fotografía N°	29	Lesión	Humedad	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
				X
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga		
Causas y Observaciones				
La humedad se presenta por la infiltración de agua en la estructura, y el constante contacto de ésta, con el elemento.				
Posible Solución				
Se recomienda cambiar las juntas, debido a que no están funcionando adecuadamente, esto con el fin de evitar la infiltración del agua en los elementos.				



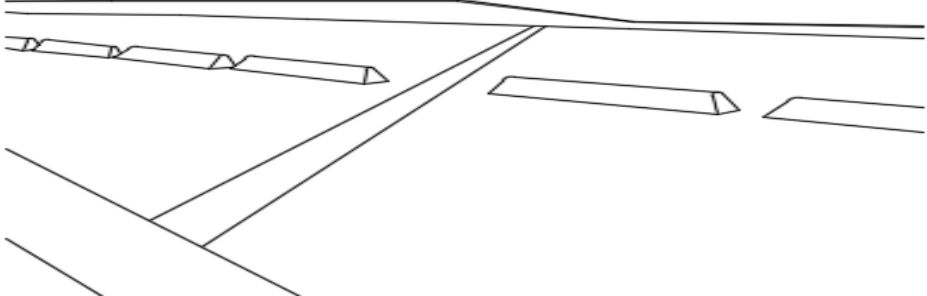

Fuente: Autores

Ficha 21. Auscultación N° 21 de vigas nuevas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	21	
Fotografía N°	30	Lesión	Humedad	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Viga		
	Causas y Observaciones			
La humedad se presenta por la infiltración de agua en la estructura, y el contacto de ésta, con el elemento.				
Posible Solución				
Se recomienda realizar una inspección, en donde se determiné la causa de la humedad, posterior a esto, realizar la limpieza y aplicar una base epóxica si es necesario, con el fin de reducir el contacto del agua con los elementos estructurales.				
Fotografía N°	31	Lesión	Presencia de CO2	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
			X	
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Vigas		
	Causas y Observaciones			
La carbonatación se origina debido al exceso de humedad y de dióxido de carbono (CO2) presentes en el ambiente, debido a que se altera la micro-estructura del concreto. Es importante anotar que la viga está en continuo contacto con el CO2, debido a que por debajo del puente pasa el Tren de la Sabana, además de un flujo considerable de vehículos.				
Posible Solución				
Se recomienda realizar la respectiva limpieza a la estructura, y determinar el contenido de humedad en los elementos, debido a que la presencia del CO2 en compañía del agua, se convierte en carbonatación, a su vez, se debe realizar un mantenimiento preventivo, con el fin de llevar seguimiento del comportamiento de los elementos.				

Fuente: Autores

Ficha 22. Diagnóstico patológico de la barrera de tráfico

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia	
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez	Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	22
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA			
Código IDU	22150566	Ciudad	Bogotá
Tipo de Puente	Puente Vehicular	Localidad	Chapinero
Elemento	Barrera de Tráfico	Barrio	El Lago
ESQUEMA DEL ELEMENTO			
			
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO			
Las barreras de tráfico corresponden a elementos de seguridad en el puente.			
VALORACION VISUAL		FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO	
NIVEL DE DAÑO	LEVE		
	MODERADO	X	
	SEVERO		
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD		
	FUNCIONALIDAD		
	ASPECTO	X	
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESCINDIBLE		
	NECESARIO		
	CONVENIENTE	X	
	INNECESARIO		
ESTADO GENERAL			
FACTORES ANTRÓPICOS			
Grafiti	Fogatas	Publicidad	Robo Elementos
PÉRDIDA DE MATERIAL			
Abrasión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
X			X
MANCHAS			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia
EXPOSICIÓN DE ACERO			
Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
FISURAS			
Agrietamiento	Flexión	Cortante	Térmica
			X
PINTURA			
Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
			X
NOTA: En general, dichos elementos se encuentran en buen estado, sin embargo, la afectación principal que presentan son fisuras térmicas ubicadas a lo largo del elemento a distancias uniformes.			





Fuente: Autores

Ficha 23. Auscultación N° 23 de vigas nuevas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	23	
Fotografía N°	32	Lesión	Fisura por Retracción y Fraguado	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Congénita		
	Lugar Lesión	Barrera de Tráfico		
Causas y Observaciones				
Las fisuras por retracción y fraguado que se presentan en el puente son uniformes, es decir, se evidencian a distancias muy similares y continuas a lo largo de la barrera. Éstas se generaron por la falta de juntas en dichas barreras, falta de refuerzo, mezcla con alto contenido de cemento o falta de curado.				
Posible Solución				
Se recomienda realizar una inyección epóxica en las fisuras térmicas presentes a lo largo de la barrera de tráfico. A su vez, en futuras construcciones, se recomienda no olvidar las juntas, poner el refuerzo necesario, y hacer el curado correspondiente.				
Fotografía N°	33	Lesión	Segregación	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Congénita		
	Lugar Lesión	Barrera de Tráfico		
Causas y Observaciones				
Se da por la distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, es decir, una mala dosificación, falta de vibrado, o mala granulometría, lo cual corresponde a un problema constructivo.				
Posible Solución				
En dicha patología no es imprescindible realizar una reparación, debido a que se evidencia una segregación muy leve, es decir, cavidades que no alterarán la microestructura del concreto ni permitirán el paso de agentes químicos al interior del elemento, sin embargo, sí se recomienda realizar un continuo seguimiento para observar el comportamiento del elemento.				



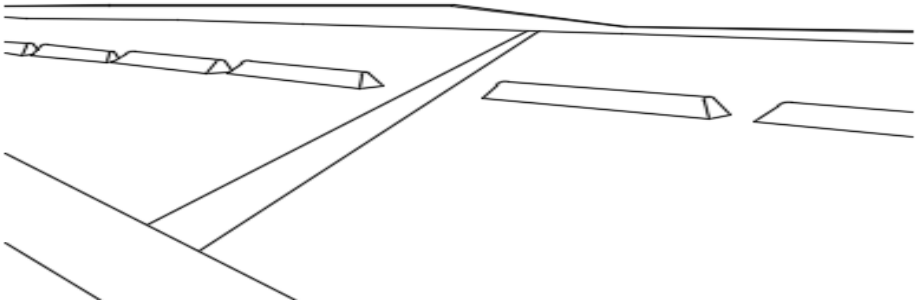

Fuente: Autores

Ficha 24. Auscultación N° 24 de vigas nuevas

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia							
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	24						
Fotografía N°	3	Lesión	Deterioro de Pintura						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno			X
		Malo	Medio	Bueno					
				X					
		Tipo de Patología	Contraída						
		Lugar Lesión	Barrera de Tráfico						
Causas y Observaciones									
		El desgaste de la pintura es causado por acciones agresivas del ambiente, o las acciones del ser humano hacia la estructura.							
		Posible Solución							
		Se recomienda remover la capa de pintura que se encuentra en mal estado y posterior a esto, pintar de nuevo el elemento.							
Fotografía N°	35	Lesión	Descascaramiento						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno		X	
		Malo	Medio	Bueno					
			X						
		Tipo de Patología	Contraída						
		Lugar Lesión	Barrera de Tráfico						
Causas y Observaciones									
		Debido a una fisura térmica, se debilitó la barrera de tráfico y se evidencia descascaramiento del concreto.							
		Posible Solución							
		Se recomienda corregir la fisura por retracción y fraguado por medio de una inyección epóxica, con el fin que el elemento no siga perdiendo sección.							





Fuente: Autores

Ficha 25. Diagnóstico patológico de la losa de tránsito

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 UCATÓLICA de Colombia	
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez	Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	25
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA			
Código IDU	22150566	Ciudad	Bogotá
Tipo de Puente	Puente Vehicular	Localidad	Chapinero
Elemento	Losa	Barrio	El Lago
ESQUEMA DEL ELEMENTO			
			
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO			
El elemento corresponde a la losa del puente, sin embargo, es importante mencionar que lo que se evidencia es la capa de rodadura, por medio de la cual será posible observar las posibles alteraciones o patologías de la losa.			
VALORACION VISUAL			FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO
NIVEL DE DAÑO	LEVE		
	MODERADO	X	
	SEVERO		
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD		
	FUNCIONALIDAD	X	
	ASPECTO	X	
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESINDIBLE		
	NECESARIO	X	
	CONVENIENTE		
INNECESARIO			
ESTADO GENERAL			
FACTORES ANTRÓPICOS			
Grafiti	Fogatas	Publicidad	Robo Elementos
PÉRDIDA DE MATERIAL			
Erosión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
			X
MANCHAS			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia
EXPOSICIÓN DE ACERO			
Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
FISURAS			
Agrietamiento	Flexión	Cortante	Térmica
X			
PINTURA			
Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
NOTA: En general, la capa de rodadura de la losa se encuentra en buenas condiciones, debido a que se ha realizado el continuo mantenimiento de la misma.			



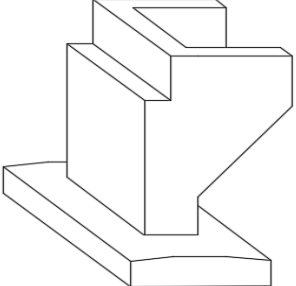

Fuente: Autores

Ficha 26. Auscultación N° 26 de la losa de tránsito

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia							
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	26						
Fotografía N°	36	Lesión	Abrasión						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno	X		
		Malo	Medio	Bueno					
		X							
		Tipo de Patología	Contraída						
		Lugar Lesión	Junta de la Losa						
Causas y Observaciones									
		La junta se encuentra en muy malas condiciones, esto debido al constante desgaste generado por el paso continuo de los vehículos sobre la losa.							
		Posible Solución							
		Se recomienda realizar un mantenimiento correctivo, en donde se cambie completamente la junta, debido a que la existente no está funcionando adecuadamente.							
Fotografía N°	37	Lesión	Fisura						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno		X	
		Malo	Medio	Bueno					
			X						
		Tipo de Patología	Contraída						
		Lugar Lesión	Capa de Rodadura						
Causas y Observaciones									
		Se evidencia una fisura en la capa de rodadura, la cual puede ser superficial, o puede estar calcando algún daño en el elemento estructural del concreto.							
		Posible Solución							
		Se recomienda realizar el seguimiento minucioso, con el fin de identificar si es un problema estructural, para así realizar un mantenimiento correctivo de la patología.							





Fuente: Autores

Ficha 27. Diagnóstico patológico del estribo

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 UCATÓLICA de Colombia	
Inspectores	María José Betancur Villegas Humberto Chavarro Gutiérrez	Director	Ingeniera Marisol Nemocón Ruiz
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	27
DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA			
Código IDU	22150566	Ciudad	Bogotá
Tipo de Puento	Puente Vehicular	Localidad	Chapinero
Elemento	Estribo	Barrio	El Lago
ESQUEMA DEL ELEMENTO			
			
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ELEMENTO			
El estribo corresponde al elemento del puente que cumple la función de apoyo en los extremos del puente, y además, soporta la carga de la superestructura.			
VALORACION VISUAL			FOTOGRAFÍA DEL ELEMENTO
NIVEL DE DAÑO	LEVE	X	
	MODERADO		
	SEVERO		
AFECTACIÓN DE DAÑOS	SEGURIDAD		
	FUNCIONALIDAD		
	ASPECTO	X	
NIVEL DE RECUPERACIÓN	IMPRESCINDIBLE		
	NECESARIO		
	CONVENIENTE		
	INNECESARIO	X	
ESTADO GENERAL			
FACTORES ANTRÓPICOS			
Grafiti	Fogatas	Publicidad	Robo Elementos
			X
PÉRDIDA DE MATERIAL			
Erosión	Corrosión	Desprendimiento	Juntas
MANCHAS			
Humedad	Óxido	Sales	Eflorescencia
EXPOSICIÓN DE ACERO			
Erosión	Desprendimiento	Grietas	Carbonatación
			X
FISURAS			
Agrietamiento	Flexión	Cortante	Térmica
PINTURA			
Grafiti	Cont. Biológica	Erosión	Deterioro
NOTA: Los estribos se encuentran en buen estado, sin embargo corresponden a los elementos con más alteración por factores antrópicos, debido a que se evidencia una problemática social.			


Fuente: Autores

Ficha 28. Auscultación N° 28 del estribo

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia							
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	28						
Fotografía N°	38	Lesión	Pérdida de Elementos						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno		X	
		Malo	Medio	Bueno					
			X						
		Tipo de Patología	Accidental						
		Lugar Lesión	Estribo						
Causas y Observaciones									
Se observa una pérdida de elementos, debido a la posible habitabilidad informal de individuos en el interior del puente.									
Posible Solución									
Se recomienda el desalojo del puente, debido a que es una estructura que no está diseñada para habitar en ella, por lo cual, el continuo contacto de los individuos con la misma, puede alterar su correcto funcionamiento.									
Fotografía N°	39	Lesión	Presencia de CO2						
		Estado	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Malo</td> <td style="width: 33%;">Medio</td> <td style="width: 33%;">Bueno</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> </table>	Malo	Medio	Bueno		X	
		Malo	Medio	Bueno					
			X						
		Tipo de Patología	Contraída						
		Lugar Lesión	Estribo						
Causas y Observaciones									
La patología presente es causada por factores antrópicos, debido a que los indigentes de la zona, realizan fogatas, para la quema de basuras, es así como el dióxido de carbono (CO2) está en contacto los elementos del puente, sin embargo, al ser el concreto termo indiferente, un gradiente de temperatura tan bajo no altera el comportamiento del elemento a menos que sea una situación reiterativa.									
Posible Solución									
Se recomienda realizar la respectiva limpieza a la estructura, y un mantenimiento preventivo, con el fin de observar el comportamiento del elemento.									

Fuente: Autores

Ficha 29. Auscultación N° 29 del estribo

 ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.	DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE PARALELO A LA AUTOPISTA CON CALLE 92, SENTIDO NORTE-SUR	 U CATÓLICA de Colombia		
Fecha	25 de febrero de 2018	Ficha N°	29	
Fotografía N°	40	Lesión	Contaminación Biológica	
	Estado	Malo	Medio	Bueno
		X		
	Tipo de Patología	Contraída		
	Lugar Lesión	Estribo		
	Causas y Observaciones			
La contaminación biológica se presenta por la presencia de agua en el elemento, la disponibilidad de nutrientes, condiciones ambientales y superficies de colonización, ocasionando crecimiento de material biológico, tal como hongos, algas, entre otros.				
Posible Solución				
Para darle solución a dicha patología, se recomienda lavar el elemento, debido a que al realizar la respectiva limpieza, se reduce el riesgo por el ataque de la contaminación biológica, además, es necesario eliminar la fuente de la humedad, evitando la reparación del material biológico.				

Fuente: Autores

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 25. Patologías encontradas en vigas longitudinales

ESTRIBO NORTE								
	1	2	3	4	5	6	7	8
LUZ I-J	LUZ H-I	LUZ G-H	LUZ F-G	LUZ E-F	LUZ D-E	LUZ C-D	LUZ B-C	LUZ A-B
Cont. Biológica Humedad Carbonatación	Cont. Biológica	Cont. Biológica	Cont. Biológica Humedad Carbonatación	Carbonatación Cont. Biológica Humedad Presencia CO2	Cont. Biológica	Cont. Biológica Segregación Descascaramiento	Descascaramiento Segregación Cont. Biológica Presencia CO2	Segregación Descascaramiento Presencia CO2 Cont. Biológica
Cont. Biológica Humedad Carbonatación Descascaramiento	Cont. Biológica Presencia CO2	Cont. Biológica Humedad	Segregación Humedad Carbonatación	Presencia CO2 Cont. Biológica	Carbonatación Segregación Humedad	Carbonatación Segregación Humedad	Descascaramiento	Segregación Descascaramiento Humedad Carbonatación
Cont. Biológica Humedad Corrosión Carbonatación Abrasión	Cont. Biológica Presencia CO2	Cont. Biológica Humedad	Carbonatación Humedad	Presencia CO2 Cont. Biológica	Cont. Biológica Descascaramiento	Segregación Descascaramiento	Descascaramiento Carbonatación Humedad Segregación	Humedad Segregación Descascaramiento
Cont. Biológica Humedad Carbonatación Corrosión Abrasión	Cont. Biológica Presencia CO2	Cont. Biológica	Cont. Biológica Humedad Carbonatación	Presencia CO2 Cont. Biológica Descascaramiento	Cont. Biológica	Humedad Descascaramiento	Cont. Biológica Segregación Humedad Presencia CO2	Cont. Biológica Presencia CO2
Cont. Biológica Humedad Abrasión Corrosión Carbonatación	Cont. Biológica Segregación	Cont. Biológica Humedad Carbonatación	Cont. Biológica	Presencia CO2	Cont. Biológica	Descascaramiento Cont. Biológica	Presencia CO2 Cont. Biológica Segregación	Descascaramiento Segregación Presencia CO2
Cont. Biológica Humedad Carbonatación Abrasión Corrosión	Cont. Biológica Presencia CO2	Cont. Biológica Carbonatación Humedad	Segregación Humedad Cont. Biológica Carbonatación	Presencia CO2 Descascaramiento Segregación	Descascaramiento Cont. Biológica	Cont. Biológica Segregación Carbonatación Humedad	Descascaramiento Cont. Biológica	Presencia CO2 Descascaramiento Segregación
Cont. Biológica Humedad Carbonatación Abrasión Corrosión	Cont. Biológica Humedad Carbonatación	Cont. Biológica Humedad Carbonatación	Humedad Carbonatación Cont. Biológica	Carbonatación Descascaramiento Humedad Presencia CO2	Cont. Biológica	Carbonatación Humedad Segregación Cont. Biológica	Cont. Biológica Humedad Segregación Carbonatación	Cont. Biológica Descascaramiento Segregación Presencia CO2

ESTRIBO SUR

Fuente: Autores

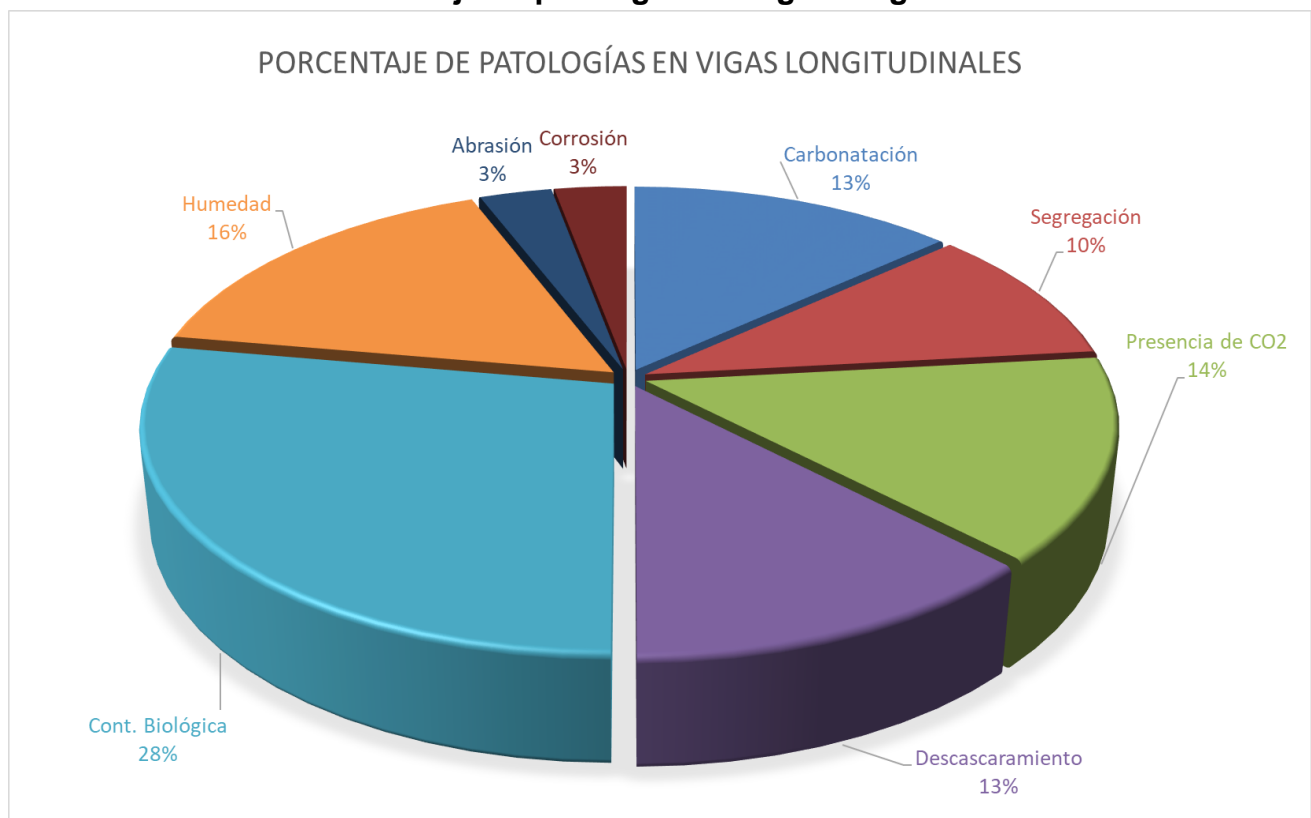
8.1. INSPECCIÓN VISUAL DE VIGAS LONGITUDINALES

Tabla 3. Porcentaje total de patologías en vigas longitudinales

Patologías Totales en Vigas Longitudinales	
Carbonatación	27
Segregación	20
Presencia de CO2	29
Descascaramiento	25
Cont. Biológica	56
Humedad	33
Abrasión	6
Corrosión	6

Fuente: Autores

Gráfico 1. Porcentaje de patologías en vigas longitudinales



Fuente: Autores

En el gráfico 1 se evidencia el porcentaje de cada una de las patologías presentes en las vigas longitudinales del puente, es decir, la incidencia de cada una de estas lesiones en dichos elementos estructurales, esto, con el fin de entender cuál es la afectación más reiterada.

Es así, como se evidencia que la contaminación biológica es la patología más frecuente en las vigas longitudinales, esto se debe a la presencia de palomas en la zona, las cuales generan desechos orgánicos que afectan la infraestructura del puente, además de la presencia de bacterias, hongos, algas, líquenes y musgos en los elementos estructurales.

En segunda instancia, se evidencia un gran contenido de humedad en las vigas longitudinales, la cual puede ser causada por el inadecuado funcionamiento de las juntas, además de la infiltración del agua, que se presenta por las irregularidades existentes en la superficie de rodadura. Cabe resaltar, que la humedad influye en la presencia de contaminación biológica, debido a que ésta hace más propenso el crecimiento de material biológico, como plantas enredaderas y hongos.

Seguido de dichas patologías, se encontró la presencia de dióxido de carbono (CO_2) en el 40% de las vigas longitudinales de la estructura, este gran porcentaje es causado por el paso de los vehículos y en especial el paso del Tren de la Sabana por debajo de la superestructura del puente vehicular.

A su vez, la presencia de CO_2 , en compañía de la humedad presente en los elementos estructurales, genera carbonatación, la cual se presenta en el 38% de las vigas longitudinales del puente. En este mismo porcentaje se presenta descascaramiento en dichos elementos, esta patología puede ser causada por diversos factores, sin embargo, en un puente de estas condiciones, probablemente se da por la carbonatación, debido a que se altera la micro-estructura del concreto.

La segregación, es una patología que se presenta debido a malas prácticas constructivas, ésta se presenta en el 35% de las vigas y puede ser causada por la distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, es decir, por una mala dosificación, falta de vibrado, o mala granulometría.

Finalmente, la corrosión y la abrasión se presenta sólo en el 8% de las vigas longitudinales, anotando que se encuentra en la parte más baja del puente, debido a esto, los vehículos chocan continuamente con la parte inferior de la estructura, generando desgaste y pérdida de la sección.

Tabla 4. Cantidad de vigas longitudinales

Vigas Reconstruidas	23
Vigas Reparadas	49
Vigas Totales	72

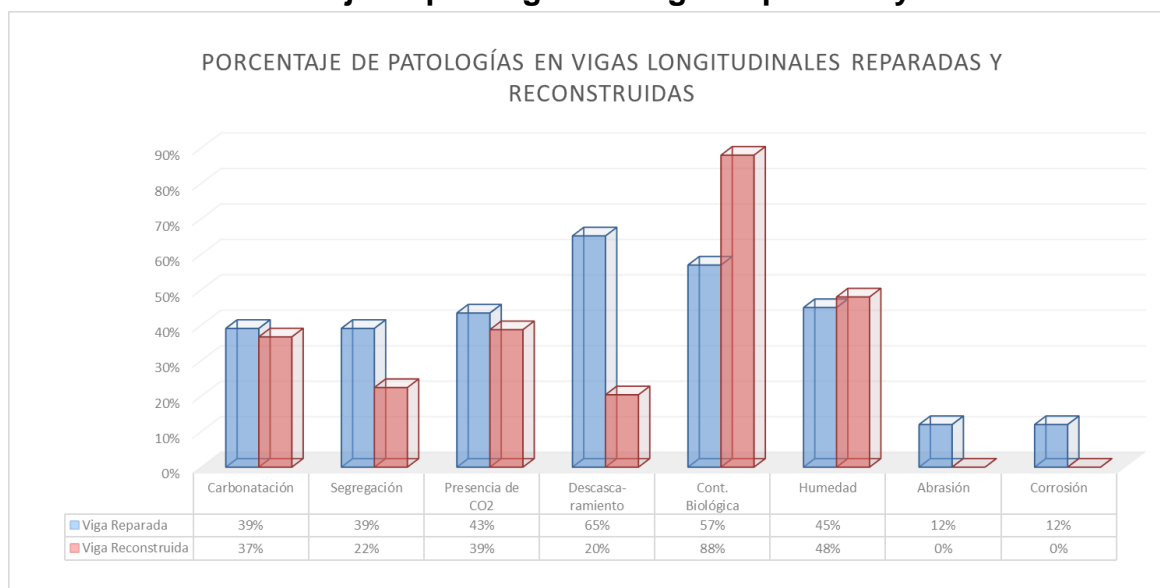
Fuente: Autores

Tabla 5. Porcentaje total de patologías en vigas longitudinales

Porcentaje Total de Patologías en Vigas Longitudinales		
Patología	Vigas Reconstruidas	Vigas Reparadas
Carbonatación	33%	67%
Segregación	45%	55%
Presencia de CO2	34%	66%
Descascaramiento	60%	40%
Cont. Biológica	23%	77%
Humedad	33%	67%
Abrasión	0%	100%
Corrosión	0%	100%

Fuente: Autores

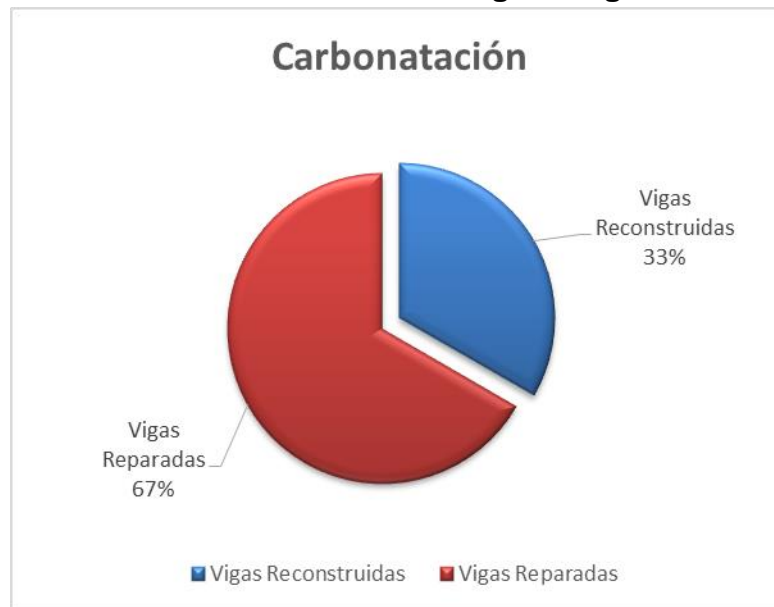
Gráfico 2. Porcentaje de patologías en vigas reparadas y reconstruidas



Fuente: Autores

En el gráfico 2 se presenta el porcentaje de patologías en las vigas longitudinales del puente de la calle 92 con Autopista Norte, de las cuales, mediante un mantenimiento correctivo realizado en el año 2001, 23 fueron reconstruidas y 49 reparadas. Según esto, se generará la comparación de las patologías presentes tanto en las vigas reconstruidas como en las reparadas, con el fin de entender qué tan conveniente fue cada una de las actividades desarrolladas para realizar la corrección de los elementos del puente.

Gráfico 3. Carbonatación en vigas longitudinales



Fuente: Autores

La carbonatación, originada por el exceso de humedad y de dióxido de carbono (CO_2) presentes en el ambiente, se da en un 67% en vigas reparadas, y en un 33% en vigas reconstruidas, se logra observar una diferencia muy significativa, lo cual es razonable, debido a que los elementos reconstruidos al tener un menor tiempo de servicio, no presentan la misma afectación por humedad y por el paso de los vehículos y del Tren de la Sabana.

Posterior a la inspección minuciosa del elemento estructural, la manera más adecuada de corregir la carbonatación, corresponde inicialmente al control de la humedad, debido a que ésta, será la causante de los ataques biológicos, químicos, físicos y mecánicos en los elementos estructurales, en este caso específico, se propone corregir la humedad, para que la presencia de dióxido de carbono no altere el comportamiento al interior de la matriz del concreto.

Gráfico 4. Segregación en vigas longitudinales



Fuente: Autores

La segregación se presenta por la distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, lo cual puede generarse por, una mala dosificación, falta de vibrado, o mala granulometría. Esta patología tiene gran incidencia tanto en las vigas reparadas, como en las reconstruidas, esto se debe, a malas prácticas constructivas o un mal diseño de mezcla. La segregación corresponde a una patología congénita, en la que el tiempo de servicio del elemento no tiene incidencia, por tal razón, el que las vigas reparadas estén en funcionamiento desde un período de tiempo más largo, no incide en lo más mínimo con la presencia de dicha patología.

Es de vital importancia tener en cuenta la segregación en elementos estructurales, debido a que al presentarse una distribución no uniforme de las partículas en la mezcla, se presentan hormigueros, es decir cavidades al interior de la matriz del concreto que generan vulnerabilidad a ataques químicos, físicos, entre otros.

La manera más eficaz de prever dicha patología, consiste en realizar una granulometría correcta, debido a que ésta garantizará una proporción adecuada de finos y gruesos en la mezcla, además, se recomienda tener especial cuidado con el transporte de los materiales en obra, debido a que, éste puede generar que los agregados gruesos se desplacen hacia abajo y los finos queden en la parte superior, alterando así la mezcla. Finalmente se recomienda una vibración adecuada, la cual no debe exceder los 10 segundos y debe realizarse completamente vertical en el caso de ser mecánica.

Gráfico 5. Presencia de dióxido de carbono en vigas longitudinales



Fuente: Autores

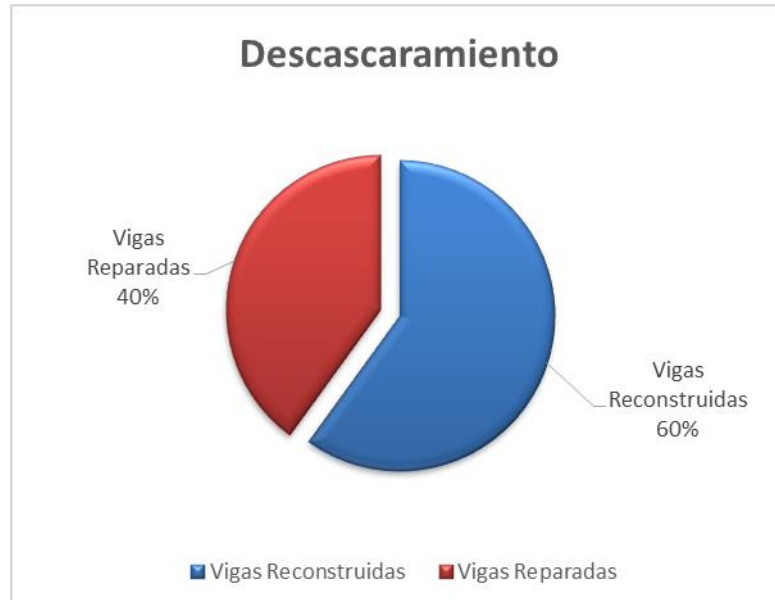
El dióxido de carbono (CO_2) se genera por las emisiones de la combustión de motores que usan derivados del petróleo, en donde la presencia de este gas en compañía de la humedad, genera carbonatación, por lo cual, es de especial cuidado en las estructuras. Sin embargo, cabe resaltar que la presencia de dióxido de carbono en los elementos del puente es inevitable, debido al continuo paso de vehículos y del Tren de la Sabana por debajo de la superestructura.

Se evidencia que este gas se presenta en un 66%, en las vigas reparadas, lo cual se justifica con la exposición de estas vigas al paso de los vehículos por un período de tiempo más largo, sin embargo, es importante mencionar que del 34% correspondiente al dióxido de carbono (CO_2) que se presenta en las vigas reconstruidas, el paso del Tren de la Sabana tiene gran incidencia, debido a que éste, pasa por debajo de una luz conformada por ocho vigas reconstruidas.

Como se mencionó con anterioridad, es de vital importancia controlar la presencia de dióxido de carbono en las estructuras, mediante un impermeabilizante, debido a que ésta genera calcinación de la superficie, es decir, se pierde el recubrimiento y adicionalmente de penetra dióxido de carbono al interior de la matriz del concreto.

La manera de prever la afectación por presencia de CO_2 , consiste en disminuir la porosidad de la matriz de concreto, con una adecuada relación agua/cemento, lo cual impedirá que el dióxido de carbono penetre al interior de la matriz.

Gráfico 6. Descascaramiento en vigas longitudinales



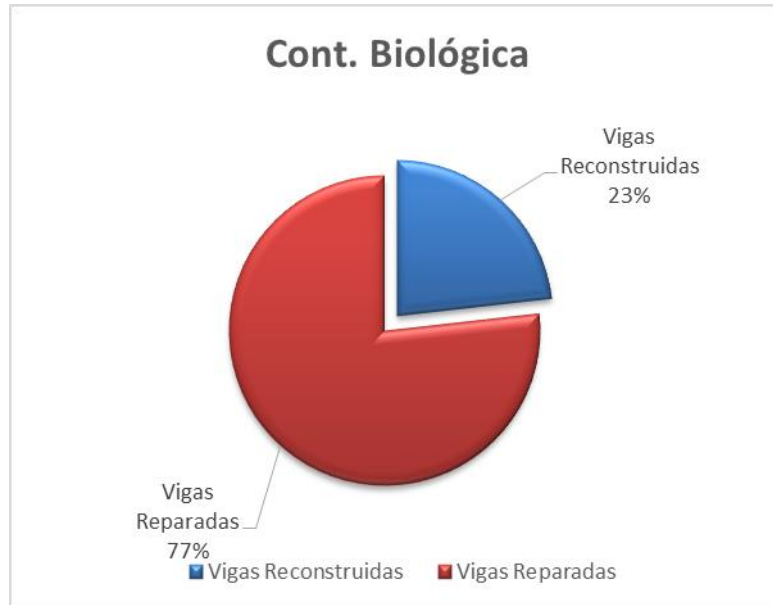
Fuente: Autores

El descascaramiento corresponde a una patología que se evidencia, por la pérdida del recubrimiento de concreto en las vigas longitudinales del puente, es decir, disminuye la sección transversal del elemento, haciéndose así, más vulnerable, debido a que al presentarse esta afectación, incrementa la posibilidad de corrosión en el acero de refuerzo, cabe anotar que el desprendimiento del material que se evidencia en las vigas ha sido muy leve, por lo cual, no se compromete la seguridad de los usuarios que transitan por debajo de la estructura. Este desprendimiento de concreto superficial, además de dejar expuesto el acero de refuerzo, deja expuesto los agregados de la mezcla, evitando que se mantenga el ambiente alcalino al interior de la matriz del concreto.

Esta patología puede ser ocasionada debido al alto contenido de ácido fosfórico (H_3PO_4) presente en la materia fecal de las paloma, que al interactuar con la pasta de cemento (base), produce una sal, la cual es soluble en el agua y descompone el concreto. Otra posible causa, puede corresponder a la oxidación del acero de refuerzo, debido a que en estas condiciones, el acero amplía su tamaño original, provocando que el concreto que lo rodea se desplace, generando así, el descascaramiento.

La manera más efectiva de mitigar el ataque, consiste en una baja relación agua cemento y cemento agregado, además de considerar en el diseño un recubrimiento considerable y pintar con epóxico si es necesario.

Gráfico 7. Contaminación biológica en vigas longitudinales



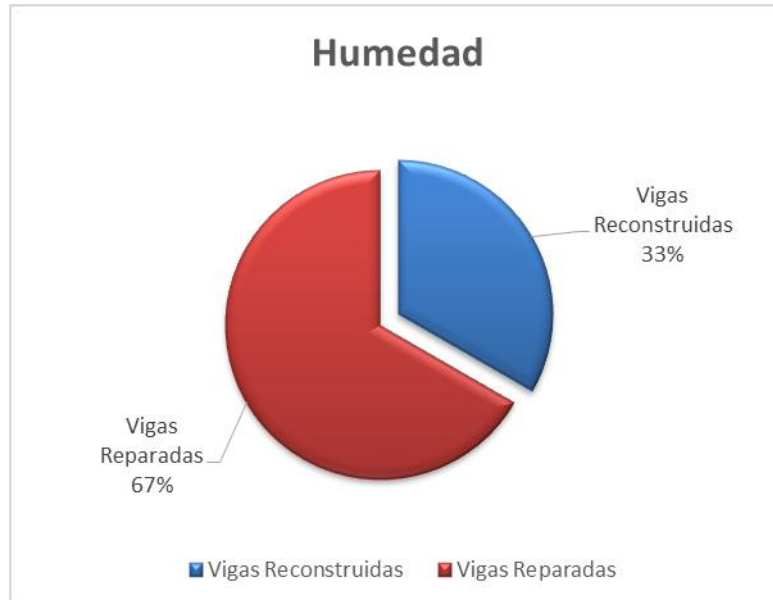
Fuente: Autores

La contaminación biológica corresponde a los organismos vivos o desechos de los mismos, que alteran la microestructura del hormigón. Para explicar dicha patología, es importante mencionar acerca de la biorreceptividad del concreto, entendida como la capacidad de favorecer el desarrollo de vida animal y vegetal, lo cual se da, en presencia de agua, disponibilidad de nutrientes, condiciones ambientales aptas y la superficie de colonización, es decir, el concreto puede desarrollar: bacterias, las cuales son dañinas por su capacidad de producir ácido sulfúrico; hongos, que crecen al interior del concreto y transmiten esfuerzos de tracción al mismo; algas, líquenes y musgos, que además de producir esfuerzos de tracción, generan un alto consumo de calcio, lo que ocasiona una disminución de pH, alterando así las propiedades mecánicas el concreto.

Como se mencionó con anterioridad, también corresponde a los desechos de los organismos, en este caso, la presencia de palomas en la zona, que se evidencia, debido al alto contenido de materia fecal adherido a la estructura, la cual contiene ácido fosfórico (H_3PO_4) que produce alteración en la microestructura de concreto.

La manera más efectiva de prever dicha patología consiste en el control de humedad en los elementos estructurales y la limpieza de los elementos para evitar que el ácido fosfórico (H_3PO_4) penetre en el elemento, alterando el funcionamiento al interior de la matriz del concreto.

Gráfico 8. Humedad en vigas longitudinales



Fuente: Autores

La humedad corresponde a una de las patologías más significativas en la estructura, debido a que el agua es la principal fuente de generación de otras alteraciones, es decir, el exceso de humedad, genera patologías físicas, biológicas y químicas, lo cual es perjudicial para el adecuado funcionamiento de los elementos estructurales. Cabe mencionar que en las estructuras de concreto, la humedad puede presentarse por la porosidad, permeabilidad, deficiencia en los procesos constructivos, por una elevada relación agua cemento, entre otros.

En los procesos físicos, la humedad altera la microestructura de la matriz del concreto, debido a que los poros se saturan, lo cual genera esfuerzos adicionales al interior de ésta; en las patologías biológicas, el crecimiento de microorganismos se da debido a la capacidad de biorreceptividad del concreto y las patologías químicas, se ven alteradas drásticamente por la presencia de agua, en el caso de los ácidos, generan sales que son solubles en agua y en presencia de ésta, descomponen la pasta de cemento, dejando expuesto el agregado.

Según esto, es indispensable controlar la humedad en los elementos estructurales del puente, la cual, se puede presentar debido a que las juntas no están funcionando adecuadamente, al controlar el agua en los elementos, se evitan numerosas patologías que disminuyen la vida útil de las estructuras, esto puede corregirse mediante la reparación de juntas, pintura epóxica, entre otros.

Gráfico 9. Abrasión en vigas longitudinales



Fuente: Autores

La abrasión corresponde al desgaste generado por la fricción en un elemento, en general, se evidencia este tipo de patología en las vías y en las losas de los puentes, sin embargo, en el puente de la calle 92 con Autopista Norte, no se presenta exclusivamente en la losa, sino también en las vigas longitudinales del mismo, esto debido a que la luz más cercana al estribo sur, presenta un gálibo muy bajo, es decir, la altura libre en la parte sur del puente es baja, por lo cual se presentan continuos roces de vehículos con estos elementos.

Las vigas reparadas de la parte sur de la estructura, han perdido una sección significativa y han dejado expuesto gran parte del acero de refuerzo, lo cual impide que los elementos trabajen adecuadamente, afectando así el funcionamiento de la estructura.

Se recomienda la reconstrucción total de los elementos, debido a que las ocho vigas que presentan dicha patología, se encuentran en muy mal estado, esto, porque el acero de refuerzo está completamente corroído por la pérdida de sección, en otras estructuras donde el desgaste sea moderado, se recomienda implementar la señalización correspondiente, con el fin de evitar los choques de los vehículos con la parte inferior de la superestructura del puente, o poner una estructura metálica que proteja al puente vehicular, como la utilizada en el puente de la calle 116 con Autopista Norte, Bogotá.

8.2. INSPECCIÓN VISUAL DE VIGAS TRANSVERSALES

Figura 26. Patologías encontradas en vigas transversales.

ESTRIBO NORTE								
Ubicación	Viga trans. B	Viga trans. C	Viga trans. D	Viga trans. E	Viga trans. F	Viga trans. G	Viga trans. H	Viga trans. I
Voladizo 1	Humedad					Humedad		
Luz 1	Humedad Segregación	Fisuras Carbonatación				Humedad		
Luz 2	Segregación Humedad	Fisuras			Segregación Fisuras			
Luz 3	Segregación Carbonatación				Cont. Biológica Humedad Carbonatación		Fisuras	
Voladizo 2	Humedad Carbonatación		Segregación	Humedad				
ESTRIBO SUR								

Fuente: Autores

Tabla 6. Patologías totales en vigas transversales

Patologías Totales en Vigas Transversales	
Carbonatación	3
Segregación	4
Descascaramiento	0
Cont. Biológica	1
Fisuras	3
Humedad	3

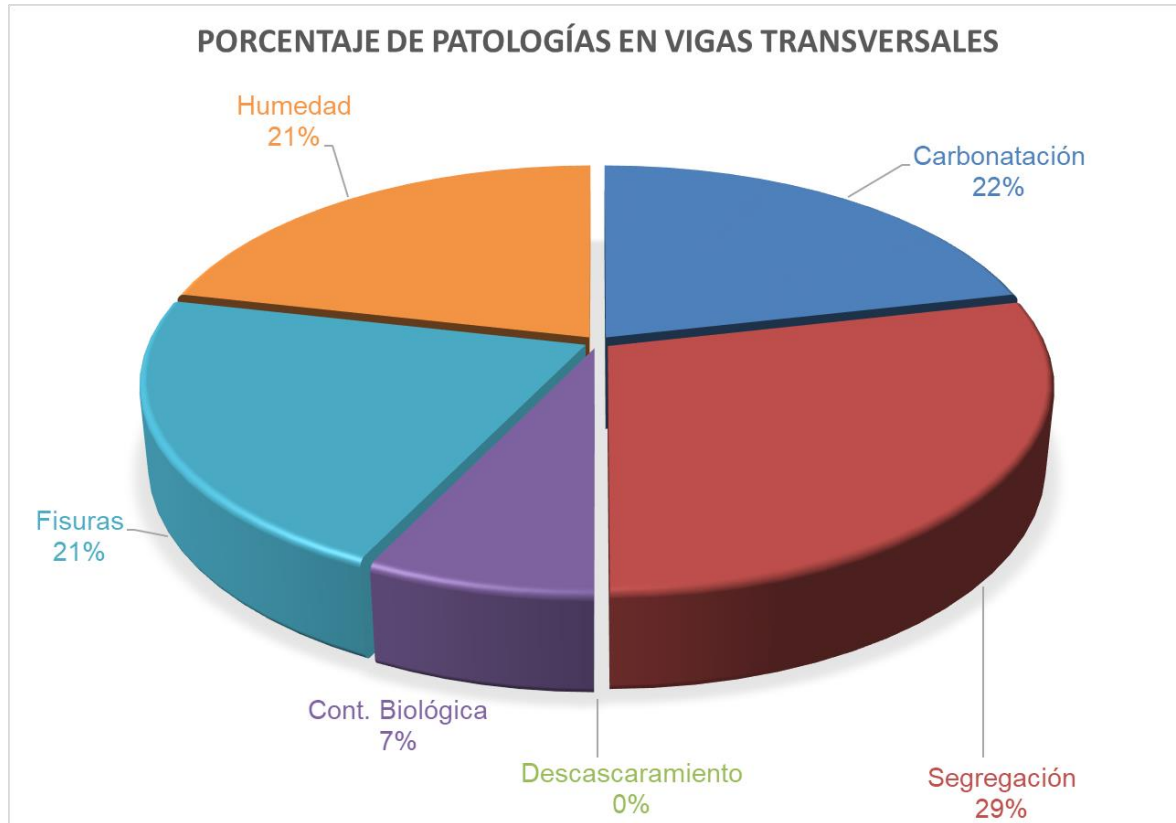
Fuente: Autores

Tabla 7. Porcentaje de patologías en vigas transversales

Porcentaje de Patologías Totales en Vigas Transversales	
Carbonatación	38%
Segregación	50%
Descascaramiento	0%
Cont. Biológica	13%
Fisuras	38%
Humedad	38%

Fuente: Autores

Gráfico 10. Porcentaje de patologías en vigas transversales



Fuente: Autores

El gráfico 10 corresponde a un diagrama circular que expone el porcentaje de patologías presentes en las vigas transversales del puente de la calle 92 con Autopista Norte. En el gráfico se observa, que la patología que se presenta reiterativamente en las vigas transversales, corresponde a la segregación, la cual se presenta en la mayoría de los elementos estructurales y no estructurales del puente y es debida a malas prácticas constructivas, como exceso o escases de vibrado, mal diseño de mezcla, debido a una mala granulometría, entre otros; seguida por la carbonatación, la cual se presenta por la presencia de dióxido de carbono (CO_2) y de humedad en el puente.

Cabe anotar que en las vigas transversales se presentan fisuras en forma de mapeo, esto probablemente se deba a la falta de curado en los elementos, o los cambios volumétricos en función de la humedad. Dichas fisuras no tienen un tamaño considerable, sin embargo, es importante realizar el mantenimiento correctivo correspondiente, con el fin de alargar la vida útil de la estructura.

8.3. INSPECCIÓN VISUAL DE PILAS

Figura 27. Patologías encontradas en pilas

		ESTRIBO NORTE			
		1	2	3	4
Fila Pilas B	Fila Pilas B	Humedad Fis. Aplastamiento Segregación Cont. Biológica	Fis. Aplastamiento	Fis. Aplastamiento Segregación	Fis. Aplastamiento Segregación Cont. Biológica
Fila Pilas C	Fila Pilas C	Fis. Aplastamiento Segregación	Fis. Aplastamiento Segregación	Fis. Aplastamiento Segregación	Fis. Aplastamiento
Fila Pilas D	Fila Pilas D	Descascaramiento Fisuras	Segregación	Segregación	
Fila Pilas E	Fila Pilas E		Segregación Carbonatación Exposición al fuego	Humedad	
Fila Pilas F	Fila Pilas F	Segregación Fisuras	Segregación	Segregación	segregación Descascaramiento
Fila Pilas G	Fila Pilas G	Segregación		Segregación	
Fila Pilas H	Fila Pilas H	Segregación			
Fila Pilas I	Fila Pilas I		Fuego		Segregación
		ESTRIBO SUR			

Fuente: Autores

En la figura 27, se exponen las patologías presentes en las pilas, las casillas de color gris, representan las pilas con sobrecarga parcial y las casillas de color blanco, representan las pilas con sobrecarga total.

Tabla 8. Cantidad de pilas

Pilas con Sobreancho Parcial	12
Pilas con Sobreancho Total	20
Pilas Totales	32

Fuente: Autores

Tabla 9. Patologías en pilas

Patologías Totales en Pilas		
Patología	Sobreancho Total	Sobreancho Parcial
Carbonatación	0	1
Segregación	14	6
Fuego	0	2
Descascaramiento	2	0
Cont. Biológica	0	2
Fisuras	2	0
Humedad	0	2
Fis. Aplastamiento	4	4

Fuente: Autores.

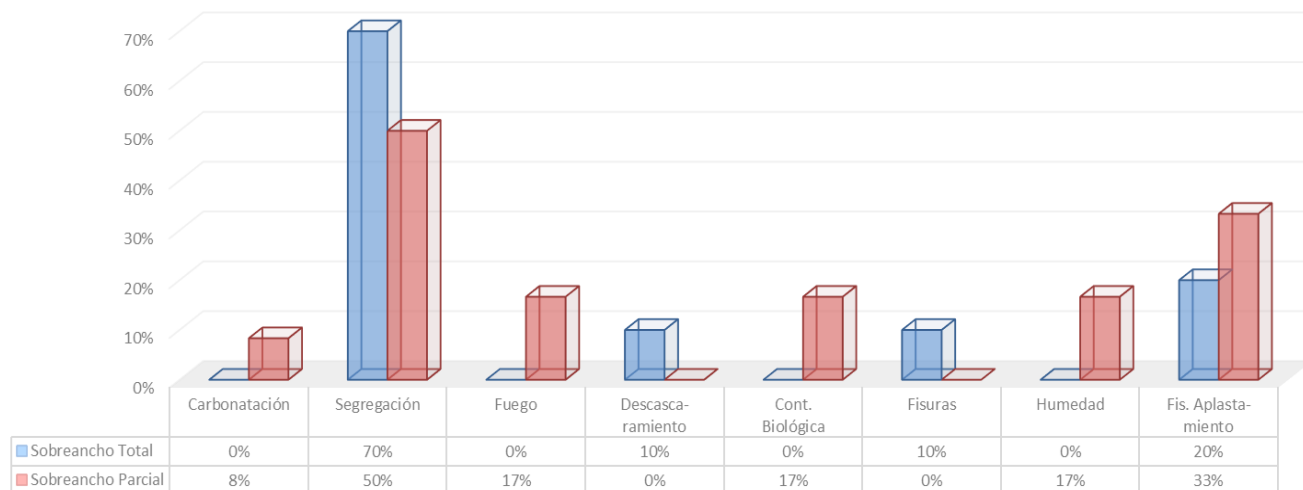
Tabla 10. Porcentaje total de patologías en pilas

Porcentaje Total de Patologías en Pilas		
Patología	Sobreancho Total	Sobreancho Parcial
Carbonatación	0%	8%
Segregación	70%	50%
Fuego	0%	17%
Descascaramiento	10%	0%
Cont. Biológica	0%	17%
Fisuras	10%	0%
Humedad	0%	17%
Fis. Aplastamiento	20%	33%

Fuente: Autores

Gráfico 11. Porcentaje en pilas con sobreancho total y parcial

PORCENTAJE TOTAL DE PATOLOGÍAS EN PILAS CON SOBREANCHO TOTAL Y PARCIAL



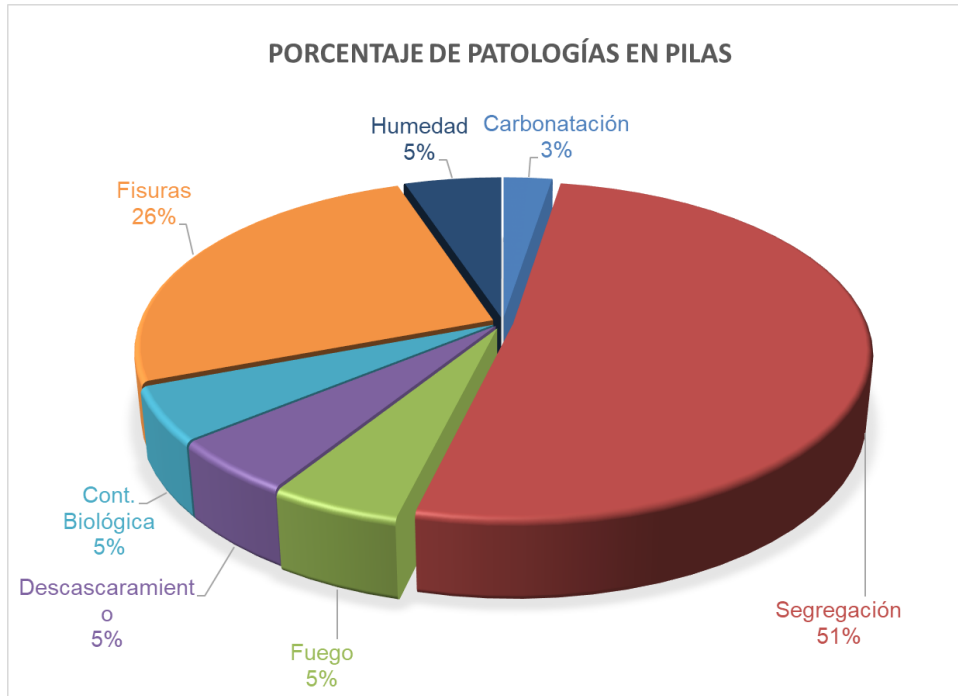
Fuente: Autores

Es importante resaltar que el porcentaje de cada patología expuesto en el gráfico 11, corresponde al porcentaje dado respecto al total de pilas con sobreancho total y parcial, respectivamente. Por ejemplo, la fisuración por aplastamiento, se presenta tanto en 4 pilas con sobreancho parcial, como en 4 pilas con sobreancho total, sin embargo, a pesar de tener la misma cantidad de pilas afectadas en cada grupo, el porcentaje se muestra menor en pilas con sobreancho total, debido a que este grupo lo conforman 20 pilas en comparación con el otro, en el cual son 12.

Por lo anterior, se expresa mediante el diagrama de barras, una comparación de la afectación presente en las pilas respecto a cada grupo, es importante mencionar, que el sobreancho parcial y total, se construyó en el año 2001, mediante un mantenimiento correctivo realizado a la estructura, esto con el fin de aumentar la sección transversal del elemento y por consiguiente su resistencia. Para las pilas con sobreancho parcial, se observa una mayor afectación, esto debido a que el tercio superior de las pilas ha estado expuesto a los agentes nocivos del ambiente por un periodo de tiempo más prolongado.

Finalmente, es importante mencionar, que la caracterización se dividió en los dos procedimientos realizados mediante el mantenimiento correctivo, con el fin de entender cuál fue más conveniente para la estructura.

Gráfico 12. Porcentaje de patologías en pilas.



Fuente: Autores

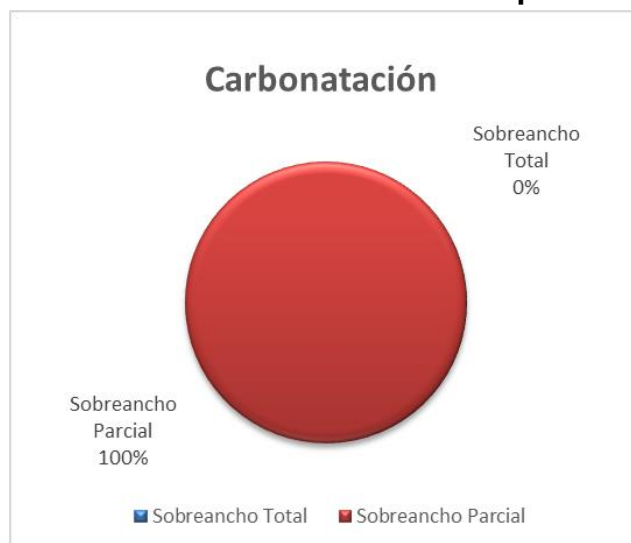
En el gráfico 12, correspondiente a un diagrama circular, se puede observar claramente el grado de afectación de las pilas por cada patología.

Se evidencia segregación, con un 51% de afectación respecto a las otras patologías, siendo ésta, la más reincidente. Esto se da, debido a malos procesos constructivos, tales como un mal vibrado de la mezcla, una mala instalación de las formaletas o un diseño de mezcla de concreto inadecuado. Es importante tener especial cuidado con dicha patología, teniendo en cuenta que por las oquedades presentes, puede ingresar cualquier sustancia nociva para el elemento estructural, alterando así el interior de la matriz de concreto, y de este modo afectando el comportamiento de la estructura en general.

Como segunda patología más reincidente en las pilas, se encuentran las fisuras por aplastamiento, con un 21% respecto al total de patologías, cabe anotar que estas fisuras se encuentran sólo en las dos primeras filas de pilas del puente sentido norte-sur, lo cual puede ser causado por el ingreso de vehículos al puente.

Finalmente se menciona que el resto de patologías se presentan en un bajo porcentaje.

Gráfico 13. Carbonatación en pilas



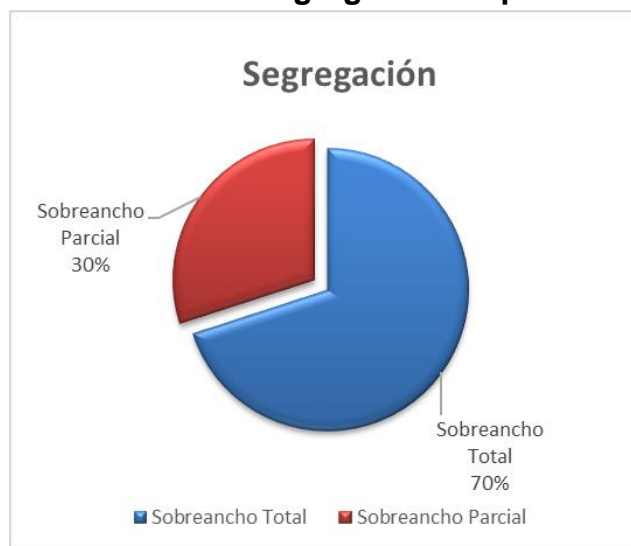
Fuente: Autores

La carbonatación, no corresponde a una patología que tenga gran incidencia en las pilas del puente evaluado, eso debido a que sólo 1 de las 32 pilas totales, la presenta. En el gráfico 13, se evidencia un 100% más de carbonatación en las pilas con sobreebancho parcial con respecto a las pilas con sobreebancho total, esto debido a que en las pilas con sobreebancho total, no se presenta afectación por humedad, patología indispensable para el desarrollo de la carbonatación.

Ésta corresponde a una patología química y contraída con el tiempo, a la cual es indispensable realizarle un tratamiento adecuado antes que afecte la estructura, esto, debido a que genera descaramiento, es decir, una pérdida de la sección transversal del elemento, además de reducir el pH del concreto, favoreciendo la oxidación y corrosión del acero de refuerzo, lo cual es perjudicial para el elemento, debido a que al oxidarse, se genera expansión y al estar embebido en el concreto crea esfuerzos de tracción adicionales, los cuales no es capaz de soportar el concreto por sí mismo, este proceso genera fisuras y grietas, lo cual deja canales disponibles que afectan aún más la microestructura del concreto.

En un punto donde no se encuentre una afectación severa, generada por dicha patología, un adecuado tratamiento consiste en encontrar la fuente de humedad e impermeabilizarla, posterior a esto, realizar un lavado adecuado a la estructura y sellarla superficialmente con pintura epóxica. En caso que la afectación sea severa, es indispensable realizar la inspección adecuada y determinar si es recomendable reconstruir el elemento.

Gráfico 14. Segregación en pilas



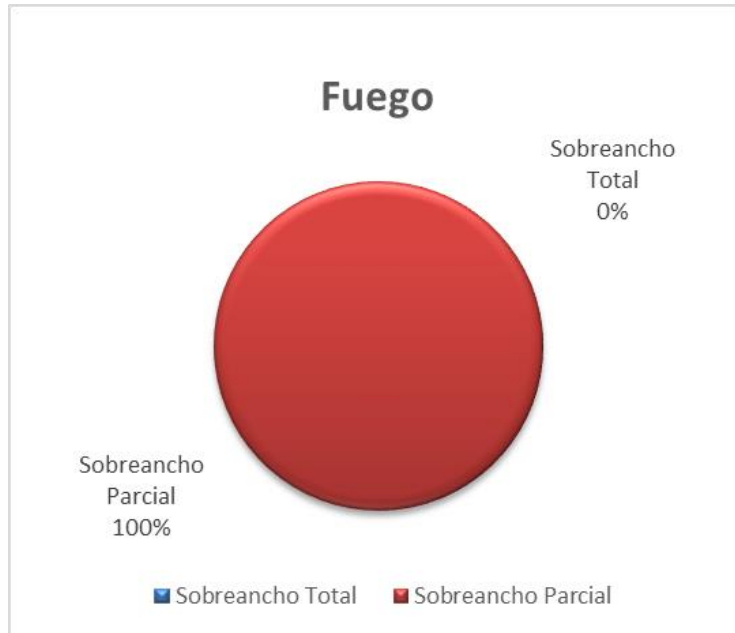
Fuente: Autores

Se observa en el gráfico 14, que hay un 40% más de afectación por segregación en las pilas con sobreeancho total, que en las pilas con sobreeancho parcial, esto puede justificarse con el hecho que al realizarse el recubrimiento total a lo largo de la pila, el proceso de fundido fue más complicado, por lo tanto, hay más probabilidad de presentarse errores en el encofrado o en el vibrado del concreto. Es indispensable tener en cuenta dicha patología, debido a que genera gran afectación en las pilas del puente evaluado, al tal punto, que 2 de las 32 pilas, ya sufren descascaramiento a causa de ésta.

Esta patología afecta a las pilas del puente, de tal forma que las oquedades presentes por el fundido inadecuado del concreto, la falta o el exceso de vibrado, o una mala curva granulométrica, crean un ducto de conexión con los contaminantes externos, los cuales son perjudiciales para la microestructura del concreto. A su vez, es indispensable mencionar que dicha patología hace más vulnerable a la estructura de presentar diversas afectaciones, tales como la carbonatación, la cual genera una pérdida de la sección transversal del concreto; la corrosión del acero de refuerzo, el cual, al estar embebido en el concreto y aumentar su volumen, genera esfuerzos adicionales, dañando de forma severa la estructura, entre otros.

Para un correcto mantenimiento de las pilas se recomienda cubrir todas las oquedades u hormigueros presentes, reduciendo así la vulnerabilidad de los elementos a los agentes externos, dicho recubrimiento puede corresponder a resina epóxica.

Gráfico 15. Ataque por fuego en pilas



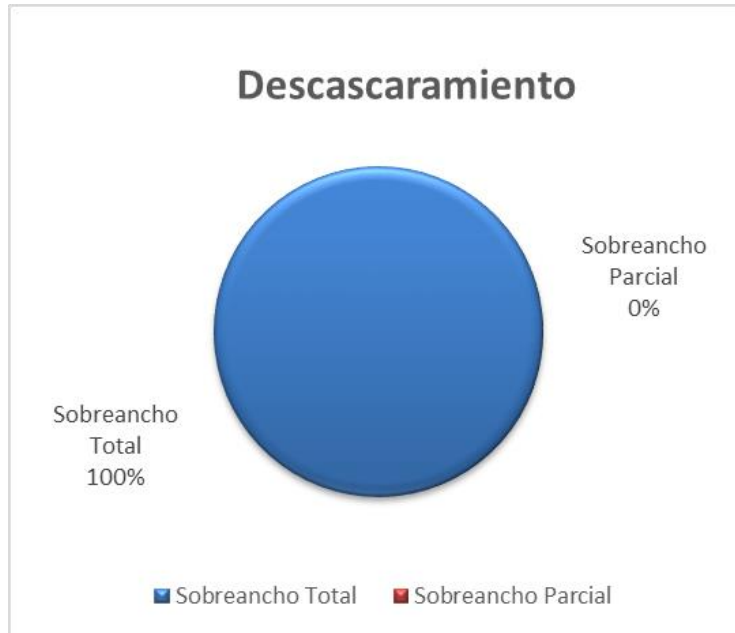
Fuente: Autores

Hay un 100% más de presencia de ataque por fuego en las pilas con sobreebancho parcial en comparación con las pilas con sobreebancho total, sin embargo, dicha diferenciación no es relevante, debido a que ésta es una patología ocasionada por los habitantes de calle al encender fuego cerca de las pilas del puente, es decir, es un proceso que se da independientemente de cual haya sido el proceso realizado mediante el mantenimiento correctivo al puente en el año 2001.

Es importante realizar un control por parte de las autoridades competentes para evitar este tipo de afectaciones en las estructuras, debido a que en la zona, es evidente la presencia de indigentes y recicladores, los cuales han tomado la infraestructura del puente, para la selección y separación del reciclaje, dejando gran cantidad de desechos que posteriormente son quemados, o realizan fogatas, las cuales generan un ambiente cálido.

Al ser el concreto un material termo-indiferente, esta fuente de calor no representa una afectación directa a la estructura, sin embargo, al verse expuesto constantemente a cambios de temperatura puede llegar a sufrir alteraciones que afecten la microestructura del material, debido a que se genera una calcinación de la superficie, es decir, se pierde el recubrimiento y adicionalmente de penetra dióxido de carbono al interior de la matriz del concreto, lo cual, en presencia de humedad genera carbonatación.

Gráfico 16. Descascaramiento en pilas



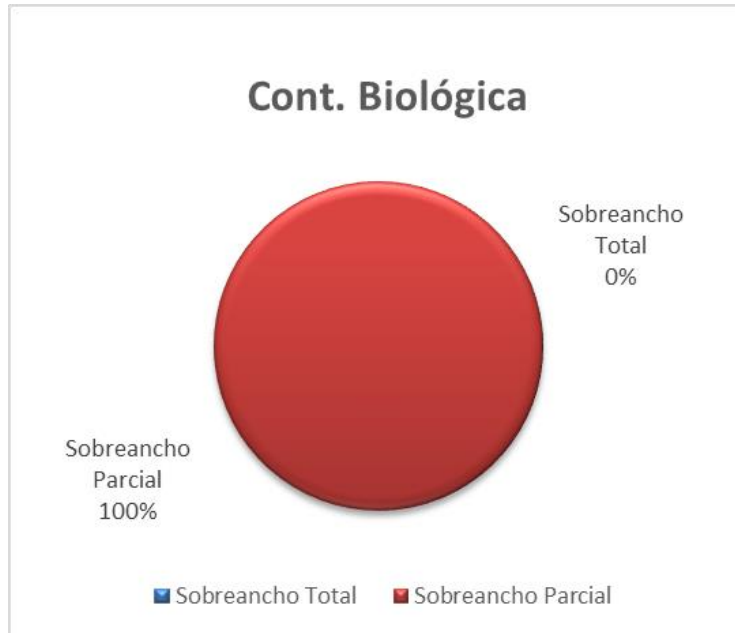
Fuente: Autores

En dos de las pilas con sobrecarga total se encontró signos de laminación local o descascaramiento, fenómeno que no se encontró en el resto de las pilas, por lo cual, se considera que corresponde a un error netamente constructivo, debido a que se llevó a cabo un desencofrado prematuro de los elementos. Por tal razón, se observa en el gráfico 16, que hay un 100% más de descascaramiento en las pilas con sobrecarga total.

Es importante corregir este error constructivo, debido a que el descascaramiento deja expuesto el interior de la matriz de concreto a agentes externos, lo cual, facilita la afectación de diversas patologías a la estructura, tal como lo es la disminución del potencial de hidrógeno (pH), generando así la despasivación del acero de refuerzo y la corrosión del mismo, lo que genera esfuerzos de tracción adicionales, que el concreto por sí mismo, no es capaz de soportar, además de otras patologías tales como carbonatación, ataque por ácidos, entre otras.

Es recomendable realizar un mantenimiento correctivo a los elementos estructurales, cubriendo la alteración local con epóxico o poliurea, para que de este modo, se impida el ingreso de factores externos al interior de la matriz del concreto, debido a la impermeabilización del elemento, lo que aumenta la vida útil de la estructura.

Gráfico 17. Contaminación biológica en pilas



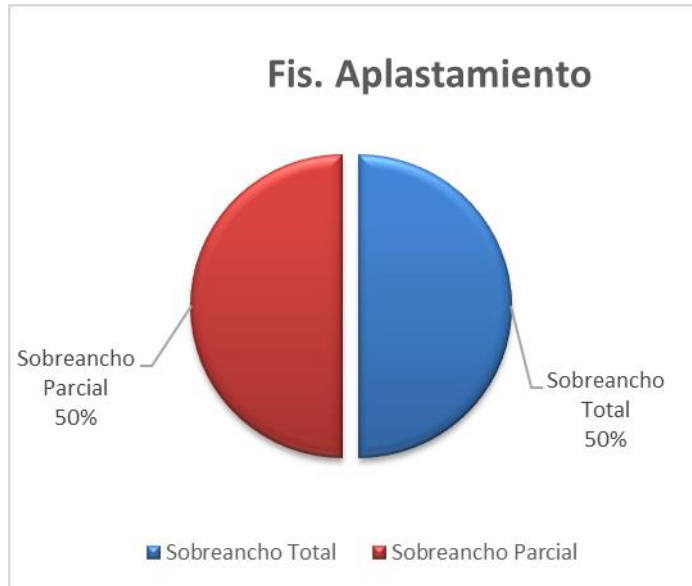
Fuente: Autores

Como se observó en el gráfico 11, la contaminación biológica es muy baja tanto en las pilas con sobreancho total, como en las pilas con sobreancho parcial, debido a que está presente únicamente en 2 de éstas, esto se da, debido a la presencia de humedad en los elementos.

A pesar de ser mínima la presencia de contaminación biológica en las pilas, ésta, al igual que todas las patologías, es indispensable corregirla preventivamente, esto, debido a que la humedad puede desencadenar grandes problemas al elemento estructural, debido a que en presencia de ésta y en un ambiente propicio, se puede presentar la formación de agentes biológicos, tal como lo son las bacterias, las cuales son capaces de producir ácido sulfúrico, éste, al ser un sulfato, genera estingita y produce expansiones indeseables en el concreto, sometiéndolo a esfuerzos de tracción adicionales. Otro problema consecuente corresponde al crecimiento de hongos, algas líquenes y musgos, los cuales además de alterar la superficie del concreto, en su proceso de crecimiento transmiten esfuerzos adicionales, además de consumo de calcio que requieren, generando una reducción significativa del pH al interior de la matriz del concreto.

Por tal razón, es importante realizar un mantenimiento correctivo, en donde se elimine la fuente de humedad y se realice el correspondiente lavado al elemento.

Gráfico 18. Fisuras por aplastamiento



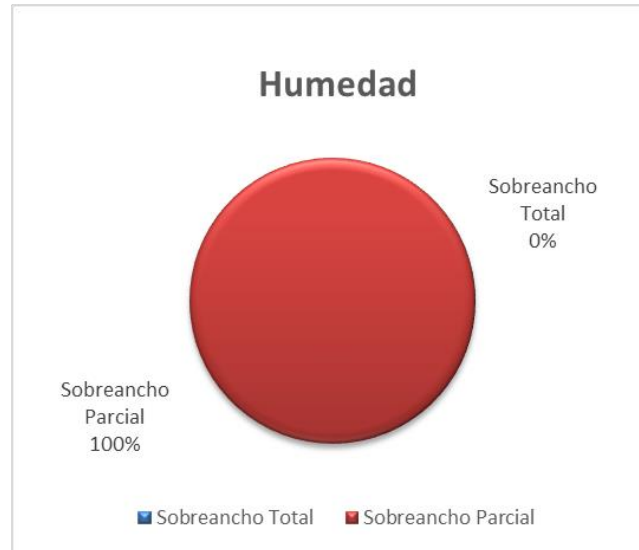
Fuente: Autores

Como se mencionó con anterioridad, la fisuración por aplastamiento se encuentra presente en las dos primeras filas de pilas del puente, sentido norte-sur. La primera fila de pilas del puente, corresponde a elementos con sobrecancho parcial y la segunda fila corresponde a elementos con sobrecancho total, por tal razón, el gráfico 18, expone 50% en cada grupo.

Se considera que esta patología fue generada únicamente en esta zona del puente, por el esfuerzo adicional que genera el impacto de la carga viva, esto debido al ingreso de los vehículos al puente, concepto conocido como amplificación dinámica, el cual puede ser mitigado por medio de las juntas de dilatación del puente, sin embargo, como se observó en la ficha de auscultación No. 26, éstas se encuentran completamente deterioradas, de esta forma se aumenta la fuerza del impacto por la irregularidad de la transición al puente.

Cabe mencionar la importancia de corregir la fisuración generada por dicha patología, la cual corresponde a una fisuración completamente perpendicular al eje axial del elemento, adicional a esto, se considera indispensable corregir previamente las juntas de dilatación, esto con el fin de mitigar el impacto generado por el ingreso de los vehículos al puente, evitando que se produzca una afectación severa a la estructura.

Gráfico 19. Humedad en pilas



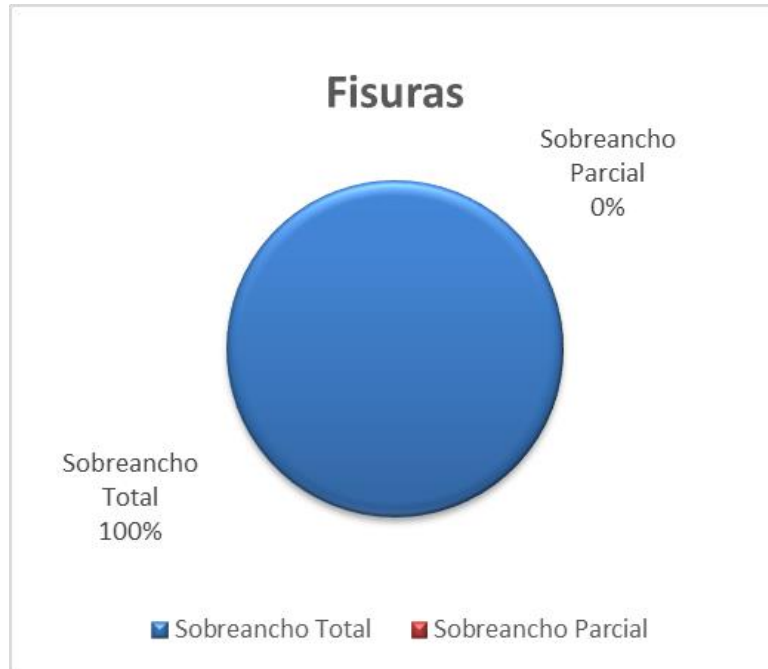
Fuente: Autores

En el gráfico 19, se observa que la presencia de humedad se da exclusivamente en pilas con sobreaancho parcial, mismos elementos en donde se presenta afectación por contaminación biológica. Estas pilas se encuentran ubicadas en el extremo norte, exactamente debajo de la junta de dilatación, situada en la superestructura del puente. Adicionalmente, se evidencia humedad en el tercio superior del elemento, por lo tanto, se infiere que la patología presente, es causa por el mal estado de la junta, como se puede observar en la ficha No. 26.

Como bien se sabe, la humedad impulsa el crecimiento de bacterias, hongos, algas, líquenes y musgos en el elemento, presentándose así contaminación biológica y por ende, todos los problemas anteriormente mencionados que ésta trae consigo. Además, al ser Bogotá una ciudad lluviosa, con una precipitación media de 866 mm por año, según la página web climate-data.org, el constante flujo que pasa por el elemento, puede causar problemas de lixiviación, correspondiente a la desintegración de algunos compuestos del concreto, debido a la acción del agua pura proveniente de la lluvia, quitándole el calcio al concreto, lo cual se refleja en eflorescencias, disminución de pH, pérdida de masa y por consecuente pérdida de resistencia.

Para corregir esta patología, es importante revisar y reparar las juntas y drenajes del puente, una vez corregida la fuente de humedad, se recomienda recubrir el elemento con un impermeabilizante, el cual puede corresponder a una poliurea o una base epóxica.

Gráfico 20. Fisuras en pilas.



Fuente: Autores

En el gráfico 20 se observa que las fisuras están presentes únicamente en las pilas con sobrecancho total, estas fisuras fueron adquiridas en el proceso de construcción de las pilas, debido a que no presentan un plano inducido por algún tipo de carga, tampoco están ubicadas presentando un patrón definido, aspecto que sí sucede en las fisuras generadas por aplastamiento. Por lo tanto, se considera que fueron fisuras producidas por acciones físicas, producidas en el proceso de fraguado del concreto, y se deben a malas prácticas constructivas, es decir, se produjeron por movimientos de las formaleas. Cabe resaltar que estas fisuras se presentan únicamente en dos pilas de las pilas con sobrecancho total, para las cuales el proceso de encofrado presenta mayor dificultad.

A pesar de ser fisuras que no representan un daño estructural en las pilas, para aumentar la vida útil del elemento, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo, en donde se realice un seguimiento a las fisuras presentes en la estructura, debido a que pueden ser un conducto mediante el cual se puedan filtrar agentes nocivos hacia el interior de la matriz del concreto, alterando el ambiente alcalino y generando diversas patologías al elemento.

8.4. ENSAYOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS

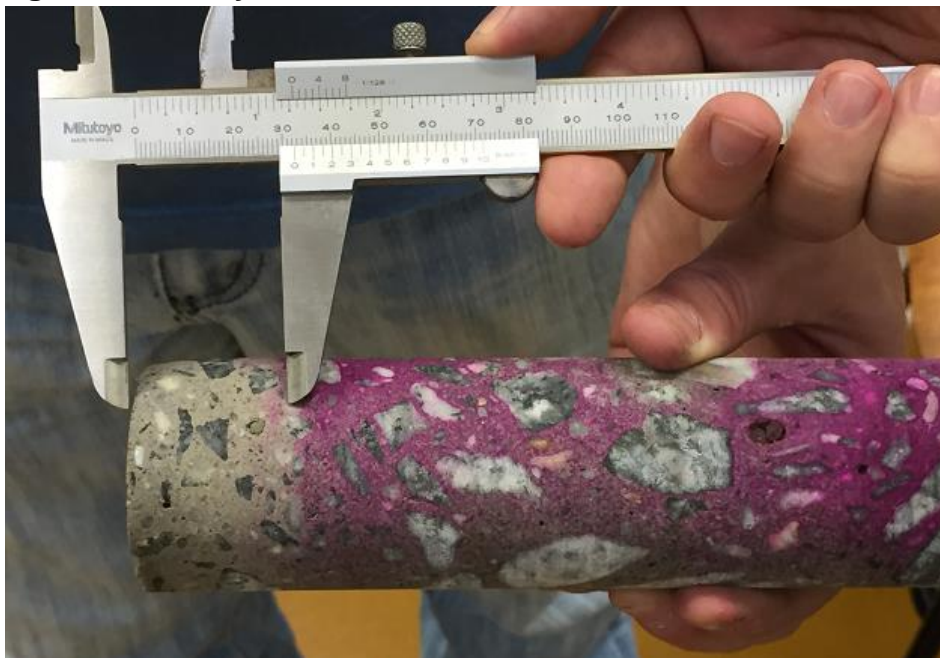
8.4.1. Test de la fenolftaleína

Este ensayo corresponde a la identificación de la presencia de carbonatación, el cual consiste en rociar el concreto con una solución al 1% de fenolftaleína en hidro-alcohol, en donde si el color del concreto impregnado vira a púrpura intenso, se interpreta como no carbonatado, mientras que, si no se evidencia un cambio de color, se supone carbonatado.

El ensayo se realizó en las pilas del puente de la calle 92 con Autopista Norte, por medio del cual, se evidenció presencia de carbonatación superficial en todos los elementos analizados, sin embargo, cabe anotar que dicho ensayo se realiza principalmente, para determinar la profundidad de carbonatación de un elemento, por ende, es necesario realizar la extracción de núcleos, procedimiento que corresponde a un ensayo destructivo, el cual se sale del alcance del proyecto.

Finalmente, es importante mencionar que todas las estructuras expuestas a la intemperie son vulnerables a sufrir carbonatación superficial, por su exposición constante al dióxido de carbono y al agua.

Figura 28. Ensayo de fenolftaleína en núcleo de concreto



Fuente: (investigando o concreto armado das empenas da FAUUSP- teste de profundidade de carbonatação utilizando fenolftaleína, 2017)

8.4.2. Esclerómetro

Por medio del ensayo del esclerómetro, se determina la relación de dureza y resistencia superficial del concreto, esto, mediante la medición del rebote, generado por un golpe inducido manualmente. En el proyecto, se realizó el ensayo a las pilas del puente, por medio del cual, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 11. Promedio de la resistencia a la compresión superficial en pilas

ESTRIBO NORTE	B	C	D	E	F	G	H	I	ESTRIBO SUR
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
	330	389	371	336	423	405	407	485	
	455,5	402,5	345	347	316,8	411	440	445	
	484	476	285	300	291	356	326	443,5	
426	356	445	321	272,8	411	311,8	464		

Fuente: Autores

Es importante mencionar, que la profundidad de carbonatación incide directamente en el resultado obtenido por medio del ensayo del esclerómetro, debido a que ésta, puede sobreestimar los valores de resistencia superficial del elemento.

Cabe anotar que al igual que el test de la fenolftaleína, es indispensable extraer un núcleo de concreto, para obtener resultados reales de la resistencia a la compresión, sin embargo, al no entrar este procedimiento en el alcance del proyecto, los datos obtenidos por medio del esclerómetro, fueron utilizados para determinar la uniformidad del concreto en sitio.

Se determinó que el hormigón de las pilas no es uniforme, debido a que mediante el ensayo se obtuvieron datos de resistencia variados, tal como se observa en la tabla 11. La diferencia de resultados de resistencia a la compresión superficial en las pilas del puente, puede ser debida a los errores constructivos identificados mediante la inspección visual, entre los cuales se encuentran la segregación y el descascaramiento, patologías que afectan directamente dicha resistencia.

9. CONCLUSIONES

Al realizar una búsqueda detallada de literatura respecto a las patologías estructurales, se observó que Colombia carece de investigación en esta área, es decir, en el país no se evidencia un aporte significativo que permita entender con claridad las afectaciones presentes en las estructuras, sin embargo, cabe mencionar que algunos autores nacionales, adaptan información hallada en otros países tales como España y Brasil, con el fin de entender el comportamiento de las estructuras en Colombia. Según esto, se concluye que el país no invierte lo suficiente en investigación, por lo cual, tampoco se desenvuelve de manera oportuna en la ejecución de mantenimientos y en la implementación de acciones preventivas y correctivas sobre los elementos estructurales y no estructurales. Información que se puede justificar con el estado actual de las estructuras en Colombia. En el caso específico del puente de la calle 92 con Autopista Norte, se menciona que, aunque sí fue sometido a un mantenimiento en el año 2001, el cual se llevó a cabo con el fin de corregir patologías moderadas y severas, y aumentar la vida útil de la estructura, actualmente no se evidencia un seguimiento por medio del cual se corrijan las patologías que ésta presenta, es decir, hay nuevas afectaciones que alteran el estado de la estructura, las cuales, hasta el momento no han sido corregidas.

Dichas alteraciones no corresponden únicamente a daños generados por agentes externos a la estructura, sino en su mayoría a patologías congénitas, es decir, afectaciones contraídas en el proceso de diseño y construcción, estos problemas inciden en la vulnerabilidad de la estructura a presentar diversas patologías, debido a que las fisuras y grietas, el descascaramiento y los malos acabados, dejan cavidades al interior de la matriz de concreto, las cuales dan paso a agentes agresivos que pueden afectar la microestructura del mismo, disminuyendo así, la vida útil de los elementos.

Esta exposición de los elementos a la intemperie, da paso a agentes químicos y biológicos que afectan la estructura, aunque como bien se sabe, el concreto por su naturaleza, presenta un grado de permeabilidad bajo si se realiza una adecuada relación agua-cemento en el diseño de mezcla, sin embargo, se puede evidenciar un incremento de afectaciones generadas por estos agentes, cuando se presentan malas prácticas constructivas, tales como la realización de un curado inadecuado, la implementación de malos materiales en obra, o incluso el deficiente proceso de encofrado y vibrado, creando un camino fácil para los agentes contaminantes hacia el interior de los elementos estructurales.

Se puede conocer el estado actual de las estructuras, por medio de una inspección visual, debido a que ésta nos brinda un acercamiento a la condición en la cual se encuentran los elementos estructurales, esto a causa de la presencia de síntomas superficiales, que hacen evidentes las diversas patologías. Estas patologías se pueden catalogar según su origen, el deterioro de la lesión y su tipología, por medio de la literatura existente en los manuales de inspección visual en estructuras. Sin embargo, si se quiere tener información más específica, se pueden realizar ensayos cualitativos y cuantitativos, con el fin de entender a detalle, el nivel de afectación de los elementos estructurales. En el caso específico del puente vehicular estudiado, el test de la fenolftaleína y el esclerómetro no correspondieron a ensayos muy concluyentes, debido a que no se realizó una extracción de núcleo, procedimiento que permite conocer la resistencia a la compresión real y la profundidad de carbonatación, la cual se ve afectada por la presencia de agua o el contenido de humedad al interior del elemento.

El agua, es un material indispensable para la construcción, pues corresponde a un elemento necesario para la elaboración de la mezcla de concreto, dado a que reacciona con el cemento y genera la pega o el aglutinante. También corresponde a la principal problemática en obra, debido a que patologías tales como la carbonatación, la contaminación biológica, la porosidad generada por una alta relación agua cemento, el ataque por ácidos y sulfatos, la lixiviación blanda, el asentamiento y la retracción plástica, entre otros, se dan a causa de la presencia o el uso inadecuado del agua, por tal razón, es necesario realizar un control pertinente de esta sustancia líquida, debido a que puede generar problemas que afectan la durabilidad de la estructura. A su vez, es indispensable realizar un adecuado proceso de curado, el cual mitiga el calor de hidratación generado por la reacción exotérmica del agua con el cemento, esto con el fin de garantizar que se cumpla con la vida útil de los elementos. Para mitigar las patologías encontradas, es necesaria la ejecución de mantenimientos preventivos periódicos en las estructuras, los cuales reducen el costo de reparación a largo plazo.

10.RECOMENDACIONES

- La Norma Técnica Colombiana (NTC), tiene un grado de correspondencia idéntica a American Society for Testing and Materials (ASTM), sin embargo, normas tales como ASTM C1236, utilizada para la identificación de la presencia de álcali-agregado en campo, no presenta adaptación colombiana, por lo tanto, se recomienda realizar normativa nacional, o adecuar toda la normativa estadounidense, garantizando que ensayos relevantes, estén acoplados a las condiciones del país.
- El mantenimiento, entendido como las acciones a las cuales debe someterse un elemento para garantizar su adecuado estado y funcionamiento, corresponde a un procedimiento evadido en Colombia, por lo cual, se recomienda realizarlo en elementos que presentan un grado de afectación moderado y severo, esto con el fin prolongar por medio de la vida útil residual, la vida útil de servicio de la estructura.
- En un diseño estructural, se establecen las condiciones de servicio a las cuales una estructura estará sometida a lo largo de su vida útil, por lo tanto, se recomienda que a éstas, se les dé el uso correspondiente para el cual fueron diseñadas; en el caso específico del puente de la calle 92 con Autopista Norte, se menciona que el paso del Transmilenio no estuvo contemplado en el diseño, lo cual afectó a la estructura radicalmente, información que se corrobora por medio de la inspección visual y de los ensayos cualitativos y cuantitativos realizados en el proyecto.
- Con el fin de realizar la adecuada caracterización del concreto y las afectaciones que presentan los elementos estructurales, se recomienda realizar una extracción de núcleos, correspondiente a un ensayo destructivo, esto con la finalidad de tener información detallada y certera de las afectaciones presentes al interior de la matriz del concreto.
- La situación social del país, corresponde a un aspecto de especial cuidado, por tal razón, se recomienda controlar lugares tales como la infraestructura de los puente, debido a que en espacios con poca iluminación, se presenta mayor exposición de actividad humana; en el caso específico del puente de la calle 92, con Autopista Norte, se evidencia habitabilidad al interior de la estructura, quema de basuras y el robo de elementos del postensado, lo cual genera una afectación importante, que se recomienda mitigar.

REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. **Andrade Perdrix, Carmen. 1989.** Madrid, España : Consejo Superior de Investigaciones Científicas "CSIC", 1989.

An experimental investigation on the erosion resistance of concrete containing various PET particles percentages against sulfuric acid attack. **Janfeshan, H, y otros. 2015.** 461-471, Iran : Elsevier Ltd, 2015, Vol. 77.

Arcila López, Carlos. 2015. *Rehabilitación de Estructuras de Concreto Reforzado.* Bogotá D.C. : s.n., 2015.

Broto, Carles. 2006. *ENCICLOPEDIA BROTO DE PATOLOGÍAS DE LA CONTRUCCIÓN.* Barcelona : LINKS International, 2006.

CANO JIMÉNEZ ESTUDIOS S.A. 2010. *METODOLOGIA INVENTARIO GEOMÉTRICO Y DE DIAGNÓSTICO DE LOS PUENTES DE BOGOTÁ D.C. - FASE II.* Bogotá D.C. : s.n., 2010.

CANOVAS, MANUEL FERNANDEZ. 1977. *PATOLOGIA Y TERAPEUTICA DEL HORMIGON ARMADO.* Madrid : DOSSAT, S.A., 1977. 84-237-0369-X.

Corrosion of steel in concrete. Report of the Technical Committee 60- CSC. **RILEM. 1988.** Londres : Chapman & Hall, 1988.

Cusba Morales, David Sebastián. 2011. *Estudio de las Causas y Soluciones Estructurales del Colapso Total o Parcial de los Puentes Vehiculares de Colombia Desde 1986 al 2011, y la Evaluación de las Consecuencia del Derrumbamiento de uno de Ellos .* Bogota D.C. : Pontificia Universidad Javeriana , 2011.

Engineering for Structural Stability in Bridge Construction. **Garlich, Michael J, y otros.** 130102, Washington D.C : National Highway Institute. DTFH61-09-T-70027.

Estructuras de concreto I . **Segura Franco, Jorge. 1999.** Bogotá D.C : Universidad Nacional de Colombia, 1999, Vol. Cuarta edición.

Evaluación, diagnóstico patológico y propuesta de intervención del puente Romero Aguirre. **Contreras, Cindy y Reyes, Erika. 2014.** Cartagena : s.n., 2014.

Fundamentos de concreto aplicados a la construcción. **Matallana, Ricardo. 2006.** Medellín : Instituto Colombiano de productores de cemento - ICPC., 2006.

Gálvez Mejía, José John. 2002. *Propuesta de Recuperación Estructural de un Edificio.* Manizales : s.n., 2002.

Helene, Paulo y Pereira, Fernanda. 2007. *Manual de la Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.* Sao Paulo : CYTED, 2007.

Influence of combined carbonation and chloride ingress regimes on rate of ingress and redistribution of chlorides in concretes. **Wang, Y, y otros. 2017.** 173-183, Edinburgh, Scotland, UK : Queen's University Belfast, 2017, Vol. 140.

Instituto Nacional de Vías. 2006. *MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PUENTES Y PONTONES.* Bogotá D.C. : s.n., 2006.

investigando o concreto armado das empenas da FAUUSP- teste de profundidade de carbonatação utilizando fenolftaleína. **Arato Gonçalves, Ana Paula. 2017.** São Paulo : conservação, 2017.

La Resonante Caída del Tacoma Narrows Bridge. **Vachetta, Marcelo, Suárez, Álvaro y Glisenti, Gabriel. 2005.** 2005.

Long-term effect of sulphate ions and associated cation type on chloride induced reinforcement corrosion in Portland cement concretes. **Dehwah, A F, Maslehuddin, M y Austin, S A. 2002.** 17–25, Saudi Arabia : Cem. Concr. Compos, 2002, Vol. 24.

Lopez Rodríguez, Fernando, y otros. 2004. *MANUAL DE PATOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR EDIFICACIÓN UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.* [En línea] Agosto de 2004. [Citado el: 14 de Marzo de 2017.] https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-2.pdf.

Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. **Troconis De Rincón, Oladis y Romero de Carruyo, Aleida. 1997.** Rio de Janeiro : CYTED Red Temática DURAR XV.B, 1997.

Menéndez, Ana Belén, Gonzalo Arias y Luz Ramírez. 2012. Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado. *Tienda virtual de publicaciones del Ministerio de Fomento.* [En línea] 2012. [Citado el: 14 de Marzo de 2017.] www.fomento.es. 978-84-498-0907-1.

Ministerio de Infraestructura Vivienda y Servicios Públicos. 2007. *Manual para inspecciones rutinarias de puentes y alcantarillas en servicio.* Buenos Aires : Dirección de Vialidad, 2007.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú. 2006. GUÍA PARA INSPECCION DE PUENTES. *MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones)*. [En línea] 14 de Marzo de 2006. [Citado el: 11 de Abril de 2017.] <http://www.mtc.gob.pe/>.

Permeability and Pore Volume of Carbonated Concrete European Concerted Action. **Claisse, P, Elsayad, H y Ganjian, E. 1997.** 3, Edinburgh : Materials Journal, 1997, Vol. 96.

Ramírez González, María, y otros. 2007. *Manual De Inspección De Puentes.* s.l. : Mopt, 2007.

Sánchez de Guzmán, Diego. 2011. *Durabilidad y Patología del concreto.* Bogotá D.C. : Asocreto, 2011. Vol. Segunda Edición. 958-96709-7-0.

Sánchez De Guzmán, Diego. 2002. *Durabilidad y patología del concreto.* Bogotá D.C : Asociación colombiana de productores de concreto. ASOCRETO, 2002.

The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete. **University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria. 2015.** EACEF-5, s.l. : Elsevier, 2015. 713-724.

Triveño Triveño, Ernesto Leopoldo. 1998. Trabajo de grado, PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZA Reflexiones y Recomendaciones. Zona Metropolitana de Monterrey : s.n., 1998.