

Pasantía internacional Universidad Nacional Autónoma de México - 2016

Patología y diagnóstico en puente de concreto que comunica los barrios Pedregales y Parque Industrial de la ciudad de Pereira

**Andrés Felipe Orrego Salazar
Brian Buitrago Serna**

Universidad Libre de Pereira
Facultad de Ingeniería
Ingeniería civil
Pereira
Julio
2018

**Patología y diagnóstico en puente de concreto que comunica los barrios
Pedregales y Parque Industrial de la ciudad de Pereira**

**Andrés Felipe Orrego Salazar
Brian Buitrago Serna**

Ing. Adán Silvestre G.
Último título obtenido
Asesor(a)

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar por el título de
INGENIERO CIVIL

Universidad Libre de Pereira
Facultad de Ingeniería
Ingeniería civil
Pereira
Julio
2018

Dedicatoria

iii

Dedicamos este proyecto a nuestras familias: padres, madres, hermanos y demás miembros filiales que han contribuido con este gran logro que hoy vemos materializado.

Agradecimientos

iv

Queremos agradecer, primeramente, a Dios, por las oportunidades de vida y superación profesional constante. Asimismo, a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Universidad Libre de Pereira, por la capacitación académica y personal, impartida durante los diferentes periodos de formación.

También, al **Ing. Adán Silvestre G.**; por cumplir con entereza y sabiduría con su labor de director y asesor de la investigación; quien, con paciencia y dedicación, ha sabido impartir los conocimientos y las instrucciones requeridas para lograr los objetivos propuestos.

Nota de aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del jurado (1)

Firma del jurado (2)

23, JULIO, 2018

Resumen

La presente investigación científica hace referencia a un proyecto ejecutado en el municipio de Pereira, Risaralda; el cual tuvo como **Objetivo** principal, realizar un diagnóstico de las patologías y posibles mecanismos de falla que se presentan, actualmente, en el puente de concreto ubicado en la vía que comunica los barrios Pedregales y Parque Industrial de este municipio. La **Metodología** empleada fue de tipo Cuantitativo con visitas de campo y registro fotográfico en diferentes zonas y perspectivas del puente. Los **Resultados** mostraron un deterioro significativo en la estructura de concreto, que se agrava con el pasar de los días, el tráfico habitual y las condiciones medioambientales de la zona. Las principales **Conclusiones** del estudio determinaron una intervención inmediata del puente; así como una correcta canalización del nacimiento de agua cercano, debido a que el afluente permanente de lixiviados genera daño irreparable y debilitamiento en la estructura, con evidencia en las eflorescencias.

Palabras clave: Concreto, Construcción, Diagnóstico, Patología, Puente.

The present scientific investigation refers to a project executed in the municipality of Pereira, Risaralda; which had as main **Objective**, to make a diagnosis of the pathologies and possible failure mechanisms that are present, currently, in the concrete bridge located on the road that connects the Pedregales neighborhoods and Industrial Park of this municipality. The **Methodology** used was Quantitative type with field visits and photographic record in different areas and perspectives of the bridge. The **Results** showed a significant deterioration in the concrete structure, which becomes worse with the passing of days, habitual traffic and the environmental conditions of the area. The main **Conclusions** of the study determined an immediate bridge intervention; as well as a correct channeling of the birth of nearby water, because the permanent tributary of leachates generates irreparable damage and weakening of the structure, with evidence of efflorescence.

Key words: Concrete, Construction, Diagnosis, Pathology, Bridge.

Tabla de Contenidos

viii

Introducción	
1. Problema de investigación.....	2
1.1 Título.....	2
1.2 Planteamiento.....	2
1.3 Formulación.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.6 Hipótesis.....	5
2. Marco de referencia.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.1.1. Internacionales.....	6
2.1.2. Nacionales.....	7
2.1.3. Regionales.....	9
2.2 Marco teórico.....	10
2.3 Marco legal.....	11
2.4 Marco geográfico.....	12
3. Patologías y mecanismos de falla en estructuras	16
3.1 Control de calidad.....	16
3.2 Fisuras.....	17
3.3 Mezcla de concreto y deformabilidad.....	18
3.4 Patología de las estructuras.....	19
3.4.1. Carbonatación.....	20
3.4.2. Eflorescencias.....	21
3.4.3. Creep.....	21
3.5 Durabilidad en el concreto armado.....	22
3.5.1. Humo de sílice.....	23
3.6 Pisos industriales.....	24
3.6.1. Contracción compensada.....	25
3.7 Reforzamiento con FRP.....	26
3.8 Pruebas semidestructivas y no destructivas en el concreto.....	27
3.8.1. Mira.....	28
3.8.2. Pull Off.....	29
3.8.3. Ultrasonido.....	30

	ix
4. Diseño metodológico.....	31
4.1 Tipo de investigación.....	31
4.2 Población.....	31
4.3 Muestra.....	31
4.4 Técnicas.....	31
4.5 Instrumentos.....	32
4.6 Variables.....	32
Conclusiones.....	33
Recomendaciones.....	34
Bibliografía.....	35
Anexos.....	37

Lista de figuras

x

Figura N° 1. <i>Ubicación puente</i>	13
Figura N° 2. <i>Estructura puente de concreto con vista inferior sin inclinación</i>	13
Figura N° 3. <i>Pilar base de la estructura con fractura en estribor</i>	14
Figura N° 4. <i>Deterioro en la capa asfáltica</i>	14
Figura N° 5. <i>Parte superior del puente con desgaste de la capa de rodadura</i>	15
Figura N° 6. <i>Fisuras en el concreto</i>	15

Lista de anexos

xi

Anexo 1. *Imágenes varias puente de concreto* 37

Las estructuras de concreto se han utilizado durante siglos por la humanidad, perfeccionado las técnicas, componentes, aditivos y, en la actualidad, introduciendo tecnología moderna en los diferentes procesos que atañen la industria de la construcción basada en este material.

Por su parte, los puentes son estructuras que se muestran instintivamente a través de la naturaleza y que el hombre ha perfeccionado para mejorar la movilidad, acortar distancias, incrementar el comercio, conquistar territorios y para mejorar la calidad y condiciones de vida dentro de un entorno individual o colectivo. Los materiales utilizados se presentan de diversas formas y orígenes; pero, sin duda, el concreto ha sido uno de los grandes aciertos en esta materia por la resistencia, elasticidad y durabilidad, cuando se mezcla con diferentes tipos de aditivos de acuerdo a la necesidad existente.

Sin embargo, cuando no se utilizan los materiales adecuados, las técnicas apropiadas y no se tienen en cuenta aspectos externos como el medio ambiente; se puede levantar una obra con poca durabilidad o que deba ser intervenida para su diagnóstico, patología y restauración. Este es el caso del puente de concreto en la vía que comunica el barrio Pedregales con el Parque Industrial en la ciudad de Pereira, al cual se hará un diagnóstico y patología en el presente proyecto.

1. Problema de investigación

1.1 Pasantía internacional Universidad Nacional Autónoma de México - 2016 Patología y diagnóstico en puente de concreto que comunica los barrios Pedregales y Parque Industrial de la ciudad de Pereira

1.2 Planteamiento

Un puente es una estructura que se construye en determinada área de terreno, generalmente una depresión, para comunicar dos o más lugares en cuanto a proximidad, cercanía y tránsito seguro. Este puede levantarse a partir de diferentes materiales como piedra, madera, metal, concreto, etc.; y las dimensiones dependen de la necesidad o la ingeniería de la construcción.

Actualmente, en el mundo entero se conservan grandes obras al respecto, como los puentes Golden Gate, Brooklyn, Vecchio, Millau y Westminster, entre muchos otros. Con características y funcionalidades diferentes, la proyección en el tiempo ha sido una de las similitudes entre ellos, que se basan en la durabilidad y resistencia de los materiales, pese a los cambios medioambientales y socioeconómicos que viven las diferentes sociedades en el mundo entero.

En este sentido, el concreto ha sido un material ampliamente utilizado para la construcción de este tipo de estructuras desde principios del siglo XX, logrando muy buenos resultados y el acoplamiento con otro tipo de materiales y procedimientos. Sin embargo, de acuerdo a las características del terreno, la ubicación, la combinación de materiales y estructuras, junto con la frecuencia y uso del mismo; se proyecta un tiempo de vida útil que debe ser

valorado en determinado tiempo para realizar el diagnóstico y encontrar las patologías existentes y su posterior corrección.

3

En la ciudad de Pereira, se encuentra un puente de concreto sobre el río Dosquebradas que une dos localidades, y por donde transitan a diario tanto peatones como vehículos automotores; llevando al deterioro propio de la estructura que debe ser analizada y evaluada para determinar su nivel de afectación con la consecuente reparación.

Su utilización se hace más concurrida con el paso de los años por la ampliación y crecimiento normal de la ciudad, lo que ha generado un deterioro significativo durante la última década; perjudicando tanto a peatones como a conductores que hacen uso del mismo a diario.

Ante esta problemática, que puede tener connotaciones diferentes con el paso de los días; se plantea la siguiente pregunta que servirá como eje transversal de la investigación y la guía para la consecución de los objetivos propuestos, así:

1.3 Formulación

¿Cuál es la patología y diagnóstico que presenta el puente de concreto que comunica los barrios Pedregales y Parque Industrial, sobre el río Dosquebradas, en la ciudad de Pereira; afin de continuar con su reparación y restauración ?

1.4 Justificación

A lo largo de la historia, la naturaleza le ha mostrado al hombre las formas de estructuración compleja, en menor y mayor escala, que componen la dinámica del planeta. Desde la caída de un árbol sobre la corriente de un río o la secuencia de rocas que llevan de una orilla a otra; el concepto de puente ha estado presente durante siglos con significados de evolución y

progreso dentro de la sociedad humana.

4

Estas estructuras han servido para el avance de las sociedades en diferentes épocas, ya que su utilidad se ha prestado para la comunicación e intercambio de productos entre diferentes pueblos y culturas; así como para acortar distancias unificando extensiones de terreno divididas por accidentes geográficos.

Con el avance de la ciencia y la tecnología se han cambiado escenarios, mejorado herramientas, incluso las connotaciones varían un poco; pero la esencia permanece. La ciudad de Pereira no es la excepción y cuenta con un puente ubicado en la vía que comunica el barrio pedregales con el parque industrial , por donde se movilizan a diario, además de personas, animales y alimentos; gran cantidad de vehículos particulares, de servicio público y transporte masivo.

Con el continuo uso, sumado a la humedad del ambiente y del río que fluye por debajo causando socavación en la cimentación; el mal manejo y encausamiento del nacimiento de agua cercano; la capa asfáltica superior deteriorada con huecos y los barandales en mal estado producto de corrosión y golpes; el puente ha logrado un estado de deterioro y abandono que de no ser intervenido a tiempo puede generar daños irreparables en la estructura o parte de ella.

Como consecuencia de estas fallas, y al detenerse la movilidad en determinado momento, se pueden ver afectadas gran cantidad de familias de la región; el comercio formal e informal; el sector educativo; la salud y la industria, entre otros.

Por estas razones, se hace necesario adelantar un estudio de investigación para determinar la patología y diagnóstico de esta estructura de concreto; a fin de generar las indicaciones correctas para la mejor restauración y mantenimiento.

1.5 Objetivos

1.5.1. Objetivo general:

- Realizar un diagnóstico de las patologías y posibles mecanismos de falla que se presentan, actualmente, en el puente de concreto ubicado en la vía que comunica los barrios Pedregales y Parque Industrial.

1.5.2. Objetivos específicos:

- Identificar la causa y el tipo de patología presente en la estructura del puente.
- Determinar que ensayos o pruebas se requieren para determinar el estado actual del puente.
- Determinar las posibles soluciones de reparación para cada tipo de patologías en estructuras de concreto armado.

1.6 Hipótesis

Debido a la antigüedad del puente, el ambiente húmedo que lo rodea, el creciente tránsito de vehículos y personas, así como la capa asfáltica, deteriorada irregularmente, que se ha colocado sobre la base original; han causado el deterioro progresivo de la estructura, llevando a la necesidad de restauración inmediata para evitar daños irreparables.

2. Marco de referencia

2.1 Antecedentes

2.1.1. Internacionales

En el ámbito internacional Sánchez (1996) de la Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM; en el estudio *Inspección, mantenimiento y rehabilitación de puentes*; señala que así como los seres vivos de la naturaleza; los puentes que se construyen en diferentes regiones o contextos, también pueden nacer con deficiencias, enfermizos o adquirir a través del tiempo un mal por la falta de cuidado a tratamiento adecuado, ante el efecto de los fenómenos de la naturaleza a los cuales está expuesto y pueden ocasionar que perezca prematuramente. Por otra parte, también señala que la construcción y los materiales son factores fundamentales para estos resultados, por lo que plantea que los puentes que nacieron sanos, con una constitución sólida y recibieron un tratamiento adecuado, llegan a la vejez fuertes y sanos.

Por su parte, Avendaño (2006) de la Universidad de Costa Rica en San José, en el estudio *Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial*; argumenta que es muy frecuente encontrar continuamente y en diversos escenarios, las patologías en sistemas de concreto que se utilizan en infraestructura industrial; por lo que es necesario la detección temprana, el tratamiento y prevención de futuras complicaciones, debido a las ventajas y ahorro que esto representa. “*La metodología de esta investigación se basa en el estudio de documentos y normativa internacional relacionados con los temas de durabilidad, diagnóstico de patologías, rehabilitación y mantenimiento de estructuras. Se plantea un procedimiento sistematizado de*

industriales”. Además, los conceptos utilizados son igualmente aplicables y adaptables a todo tipo de estructuras de concreto estructural.

Asimismo, DiMaio, Traversa y Sota (2005) de La Plata, Argentina; en el estudio ***Metodología de evaluación de patologías para la reparación de estructuras de hormigón armado***; señalan que las estructuras de hormigón armado son proyectadas y construidas para satisfacer requisitos, preestablecidos en la coordinación sistémica de funciones dentro de una sociedad durante un cierto tiempo, sin que se produzcan costos inesperados por mantenimiento y reparaciones. Explica que existen algunas recomendaciones y Reglamentos, como el Código Británico de Puentes, que especifica una vida proyectada de servicio de 120 años, y el Código Británico para Edificios Agrícolas que, en ciertas circunstancias, permite tan sólo 10 años. “Normalmente los códigos suponen una vida proyectada de servicio de 50 años, ese es el caso del Reglamento Argentino CIRSOC201-2005. Se deduce que el fin de la vida proyectada no implica la demolición de la estructura, sino que a partir de ese momento se incrementa el costo de mantenimiento por encima del considerado durante la vida proyectada”. Además, con el paso del tiempo y el uso continuo, los puentes pueden presentar patologías que, a su vez, originan defectos, daños o deterioros; causadas, en parte, por sus materiales componentes, el uso, el ambiente, etc. “Ante esto es necesario tener metodologías de evaluación que permitan diagnósticos precisos para resolver estas patologías”.

2.1.2. Nacionales

En el ámbito nacional Serpa y Samper (2014) de la Universidad de Cartagena, en el estudio ***Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el***

caño El Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla; presentan un ejemplo 8 práctico de evaluación cualitativa y diagnóstico patológico del estado del puente sobre el caño “El Zapatero” frente a la escuela naval Almirante Padilla de Cartagena de Indias. En él se resalta la importancia del trabajo por la relevancia de la estructura y su ubicación, al ser el único acceso terrestre que va de la ciudad de Cartagena hacia la isla de Manzanillo. En esta investigación se identificó, localizó y caracterizó las patologías presentes en el puente, con el fin de diagnosticar el estado actual de dicha estructura desde el punto de vista ingenieril; además se realizó una revisión bibliográfica, con el fin de proponer medidas de mitigación de daños y proponer recomendaciones para la rehabilitación de la estructura en general.

También, Panqueva (2015) de la Universidad Católica de Colombia, en el *Análisis de patologías físicas de puentes vehiculares en concreto en la localidad de Chapinero;* señala que la ciudad de Bogotá D.C. presenta una continua movilidad y tránsito de diferentes tipos, por lo que hace que el desgaste y afectación de las estructuras sea mayor, con referente a otras de menor uso. Este proyecto se basa en la recopilación de todos los proyectos de investigación realizados en la Universidad Católica de Colombia coordinados por la ingeniera Marisol Nemocón Ruiz, para la realización de un mapa de Bogotá D.C donde se registren los problemas y afectaciones que sufren los puentes en las distintas localidades, determinando las diferentes patologías. Con el estado del arte llevado a cabo sobre el estudio de las causas probables de la patología así como su eliminación o prevención. Además, señala que: “*en los estudios previos que se han realizado en Colombia en relación a las patologías físicas de las estructuras en concreto se encuentra el libro de ASOCRETO (Asociación Colombiana de Productores de Concreto), Durabilidad y Patología del Concreto del ingeniero Diego Sánchez de Guzmán.*”. Esto debido a que este documento se toma y recomienda como soporte principal de

Finalmente, Barrera y Ramos (2015) de la Universidad Santo Tomás en Bogotá D.C., a través del *Estudio Patológico del Puente No. 15 en el Km 242+526, de la vía férrea Bogotá – Belencito*; señalan que el puente en mención presenta una tipología que corresponde a una estructura mixta, las luces laterales son arcos en concreto simple, tímpanos en mampostería y la luz central son vigas metálicas de alma llena. Argumentan que goza de importancia estratégica por cuanto hace parte de un corredor que tuvo relevancia en el desarrollo del país, y que estuvo en funcionamiento hasta los años 90, transportando gran parte de las riquezas al centro y norte del territorio nacional. La metodología utilizada fue mediante un diagnóstico evaluativo por medio de ensayos apropiados, con el fin de determinar las causas de su patología y de esta forma poder proyectar una intervención adecuada para el tipo de construcción y la importancia que representa por su valor histórico.

2.1.3. Regionales

En el ámbito regional I, Arias *et al* (2015) de la Universidad Libre de Pereira en el trabajo *Rehabilitación puente San Eugenio en el municipio de Santa Rosa de Cabal, Risaralda*; señalan que antes de hacer un trabajo detallado con lineamientos de calidad, primero se debe conocer acerca de los diferentes componentes estructurales para poderlos identificar en el puente que se desea estudiar y tener una idea aproximada del comportamiento que se puede presentar en ellos. Por lo tanto, el trabajo toma como referencia los antecedentes históricos de los puentes en Colombia para poder tener bases en cuanto al conocimiento de la evaluación gradual de los procedimientos constructivos de este tipo de estructuras. La metodología utilizada, se basó en la consulta del Código Colombiano de Diseño de Puentes, para poder crear un criterio

que facilitara la identificación y la realización del levantamiento geométrico de aquellos componentes que cumplen con las dimensiones establecidas por la norma. “La realización de este trabajo parte de varios conceptos aislados que ayudan a crear un criterio previo para ser aplicado en la identificación de problemas en la estructura; La cual es objeto de estudio, con el fin de poder realizar un análisis detallado y proponer la solución indicada para este caso específico”.

2.2 Marco teórico

El concreto es uno de los materiales más versátiles utilizados en la construcción debido a la alta resistencia al fuego, lluvia, durabilidad y muy versátil para adoptar cualquier forma. Su composición la explica Jaramillo (2004): “El concreto se elabora con arena y grava (agregado grueso), que constituye entre el 70% y 75% del volumen, y una pasta cementante endurecida formada por cemento hidráulico con agua que, junto con los vacíos, forman el resto”. Es decir, que presenta una mezcla homogénea con diferentes componentes básicos, con arena y grava como principales fundamentos. “Usualmente, se agregan aditivos para facilitar su trabajabilidad o afectar las condiciones de su fraguado inicial y contenido de vacíos para mejorar la durabilidad”. (Jaramillo, 2004; p 22)

Sin embargo, también tiene algunas desventajas, como la poca resistencia a la tracción, aproximadamente, la décima parte de la de compresión y tal vez su peso. Además, como lo señala Muñoz (2012): *sus propiedades mecánicas pueden ser muy variables, ya que dependen de la calidad, la dosificación de los materiales, del proceso de producción, transporte, colocación y curado*”.

Por otra parte, los puentes se definen como “una estructura destinada a salvar

obstáculos naturales como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como 11 vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros y propiciar transporte de animales y mercancías, entre otras”. (Vidaud y Vidaud, 2014; p4)

Además, “para la evaluación del estado de puentes existentes (diagnóstico) es indispensable conocer sobre sus diferentes componentes y tipologías. Las partes principales de los puentes se clasifican en superestructura e infraestructura”. (Vidaud, 2013)

También, como lo manifiesta Vidaud (2012); se necesitan conocer, de antemano, algunas indicaciones reglamentarias:

Algunas veces es necesario emplear anclaje adhesivos, para unir concreto antiguo con el nuevo. Su selección y uso se debe hacer según el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes. Antes de ejecutar la reparación, se deben saturar las superficies con agua limpia y potable por lo menos durante dos horas.

Además, en nuestro país, de acuerdo a los datos expuestos por Vidaud (2012-1): “según la base de datos del sistema de Puentes de Colombia (Sipucol), el 63% de las superestructuras de los puentes de la red vial nacional son en concreto reforzado, mientras que el 24% son en concreto pre reforzado”. Por lo tanto, los demás materiales empleados en la superestructura son: “acero y concreto (mixto), acero y ladrillo”. Vidaud (2012-1)

2.3 Marco legal

- **Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP14**

“Conscientes de que el país cuente con un documento actualizado, que esté a la par de los códigos de diseño y construcción de puentes utilizados en los países desarrollados, el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías - INVIAS suscribieron con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS el convenio de Asociación N° 1314 de 2013, con el

objeto de aunar esfuerzos técnicos, logísticos y financieros para la revisión, actualización y 12
complementación del código colombiano de diseño sísmico de puentes, su difusión e
implementación”.

- **Norma Técnica Colombiana NTC 4774**

“Esta norma establece las dimensiones mínimas y las características funcionales y de construcción que deben cumplir los cruces peatonales a nivel y los puentes peatonales no adosados a puentes vehiculares y pasos subterráneos”.

- **Decreto 945 de 05 de junio de 2017**

Por el cual se modifica parcialmente el Reglamento colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR – 10. **Artículo 1º. Modificación.** Modifíquese parcialmente el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10, adoptado mediante el Decreto 926 de 19 de marzo de 2010, modificado por los Decretos 2525 del 13 de julio de 2010, 092 del 17 de enero de 2011 y 340 del 13 de febrero de 2012, según documento anexo que hace parte del presente decreto.

2.4 Marco geográfico

Pereira es una región ubicada en el centro occidente de Colombia y capital del departamento de Risaralda. Cuenta con una población de 474.356 habitantes, de los cuales 401.241 residen en el área urbana. Se ubica a una altitud de 1.411 metros sobre el nivel del mar; en una superficie total de 702 kilómetros cuadrados. Su clima es templado, aunque se convierte en cálido algunas épocas del año.

Industrial se ubica el puente de concreto sobre el cauce del río Dosquebradas. Según las imágenes que se relacionan a continuación, se puede evidenciar el estado actual del puente objeto del presente estudio de investigación; así como sus dimensiones y materiales con los cuales fue construido:

2.4.1 Dimensiones

- Longitud: 17,75 m
- Ancho de calzada: 5,70m
- Espesor de Losa: 20 cm

2.4.2 Hallazgos y Fallas

Los hallazgos y fallas encontrados durante las visitas de campo que se realizaron están señalizadas en las siguientes figuras y serán descritos a continuación:

- Los elementos estructurales horizontales no presentan agrietamientos o patologías visibles, las vigas tienen una longitud de 18 m cada una, el puente está soportado por 3 de estas vigas con una sección 50 cm x 70 cm ubicadas longitudinalmente y de buen aspecto, se observa deterioro normal del concreto.
- El Puente se encuentra soportado por dos Pilares ubicados en cada extremo del puente, estos además de servir como soportes a compresión de la losa, sostienen el terreno natural (pantallas); uno de los pilares ver fig.3 presenta agrietamiento en la parte media del elemento al parecer por fuerzas de empuje del terreno natural.
- Las viguetas horizontales de la súper estructura que contribuyen a la transmisión de cargas tienen una sección de 30 cm x 50 cm distribuidas en la longitud del puente y se hallan perpendiculares a las vigas principales; de buen aspecto.
- La losa del puente se encuentra afectada notablemente debido a la ausencia de estructuras de canalización de aguas de escorrentía, ya que, existe un nacimiento de agua sentido P. Industrial – Barrio Pedregales que fue canalizado y termina justo donde inicia el puente y entrega de manera natural a la quebrada Dosquebradas teniendo como resultado el empozamiento de agua en las canales laterales de la losa, deteriorando la capa de rodadura y generándose posibles patologías en la losa de concreto armado.
- Los barandales o barreras de protección del puente están hechas en barras de hierro galvanizado actualmente oxidadas por su exposición a la intemperie y se encuentran visiblemente deteriorados, acusando el uso prolongado sin mantenimientos periódicos su

pintura reglamentaria está completamente removida, generando accidentes en las horas 14 nocturnas.

- El puente tiene un flujo de vehículos continuo, buses de servicio urbano, automóviles y camiones de carga liviana no superior a las 10 toneladas.



Figura 1. Ubicación puente. Copyright 2018 por Google Earth



Figura 2. Estructura puente de concreto con vista inferior sin inclinación. Elaboración propia.



Figura 3. Pilar base de la estructura con fractura en estribor. Elaboración propia.



Figura 4. Deterioro en la capa asfáltica- empozamiento de agua posible penetración en la losa. Elaboración propia.



Figura 5. Parte superior del puente con desgaste de la capa de rodadura. Elaboración propia.



Figura 6. Fisuras en el concreto. Elaboración propia.

3. Patologías y mecanismos de falla en estructuras

3.1 Control de calidad

Las técnicas de construcción en estructuras de concreto han evolucionado a lo largo de los años, desde el empirismo hasta los grandes cálculos con sistemas tecnológicos para minimizar riesgos y costos. El control en la calidad de las obras, hoy en día, es bastante estricto; entendiéndose este como un conjunto de planes y acciones que se ejecutan para lograr o comprobar una obra terminada de la mejor manera posible.

Sin embargo, las construcciones de concreto finalizadas suelen diferir bastante de las proyecciones hechas con anterioridad por las características y variabilidad de los componentes como el cemento, el agua, los aditivos químicos; sumado a las técnicas y tecnologías utilizadas en el procedimiento. Por esta razón, en construcciones del tipo antes mencionado se debe tener en cuenta el margen de error posible al momento de evaluar la calidad.

Por su parte Vidaud y Vidaud (2014), señalan que: *“El control de calidad del concreto atiende en diferentes geografías y en lo fundamental, a la consistencia, la durabilidad y la resistencia de éste”*. Asimismo, en el campo de la tecnología del concreto estructural moderno, se puede decir que: *“la resistencia a la compresión suele ser la propiedad más importante si se trata de verificar la calidad del material para la ejecución de una estructura”*. (Vidaud, 2012-2)

Además, entre varias técnicas utilizadas actualmente en el control de calidad en obra durante las diferentes fases, es la conocida como destructiva, donde se recogen muestras del material para conformar los especímenes de forma cilíndrica o cúbica. Vidaud y Vidaud (2012-3) describen que: *“La forma de las probetas utilizadas en los ensayos para rotura de compresión y tensión son básicamente de tres tipos: cilíndrica de diámetro d y altura $2d$; cúbica de arista d ,*

y prismática de sección cuadrada de arista d y de longitud $3d$ ó $4d$ ". Generalmente, se recomienda que los valores de d , se correspondan con los de la serie 10, 150, 20 ó 30 cm; aunque el que más frecuentemente se utiliza para probetas cilíndricas es el de 15 cm. (Vidaud y Vidaud; 2012-3)

18

3.2 Fisuras

Las fisuras suelen presentarse de forma permanente en las estructuras de concreto debido a factores internos y externos, por lo que se debe generar un diagnóstico acertado a fin de prevenir su aparición o eliminación en caso de aparecer. Una de las principales causas para presentarse este fenómeno, en la contracción plástica, es la rápida pérdida de hidratación interna en el concreto recién colocado.

“Las fisuras son uno de los síntomas patológicos más importantes del comportamiento en servicio de las estructuras de concreto. No son más que roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de la aparición de esfuerzos que superan la capacidad resistente del material”. (Vidaud; 2011)

Para evitar la aparición de fisuras de contracción plástica se debe tener en cuenta:

- Utilizar el contenido de agua necesario
- Evitar el uso de cantidades elevadas de cemento en la mezcla
- Minimizar los efectos medioambientales
- Evitar la segregación
- Evitar el uso de mezclas con elevados consumos de finos que propicien la exudación.
- Añadir hidratación si se requiere

Por su parte, para prevenir las fisuras en estado endurecido se deben seguir las mismas

recomendaciones. Aunque se debe tener en cuenta que: *“diferente a las fisuras de contracción plástica, las de CS suelen tener amplitud constante y presentar un trazo limpio, sin cruzarse entre ellas, ni ramificarse. Estas fisuras suelen aparecer a los días, semanas e incluso meses de haberse realizado la colocación de la mezcla”*. (Vidaud; 2012-4)

3.3 Mezcla de concreto y deformabilidad

Según, Vidaud (2011): *“La estructuración de la edificación, sus niveles de resistencia y de rigidez son tres de los aspectos que con mayor incidencia influyen en el correcto desempeño de una edificación en lo que respecta a ductilidad y a disipación de energía”*. Esto, en el contexto de presentarse una acción dinámica (sismo). (Vidaud; 2011-1)

La dinámica actual en estructuras propende por la construcción de edificaciones que no sean destruidas durante los movimientos telúricos, y que conserven la mayor parte de su integridad física al disipar la energía de los eventos. La única manera de lograr esto a través de la ingeniería de la construcción es diseñar estructuras para unos niveles de esfuerzo menor que los de una posible ocurrencia.

En este aspecto, no solo depende del concreto y de los factores externos como el medio ambiente, la humedad relativa, las mezclas de aditivos o las técnicas utilizadas. Es necesario tener presente que el concreto es solo una parte de los materiales utilizados para completar la estructuración; que se adiciona con los metales, madera y plásticos presentes en el ensamble final.

Sin embargo, este se debe mezclar de la manera adecuada para lograr la elasticidad deseada. Vidaud (2012): *“Las propiedades elásticas del concreto están muy relacionadas con las propiedades elásticas de sus materiales componentes, así como con las características de la*

Asimismo, la característica del agregado grueso que influye de manera mas importante en la magnitud del modulo elástico del concreto: *“es la porosidad, debido a que es precisamente esta propiedad, la que determina la rigidez del agregado, controlando además la capacidad de esté para restringir las deformaciones de la matriz de cemento”.* (Vidaud y Vidaud; 2014-1) Por lo tanto, los agregados con densidades altas también tendrán elevados niveles de módulo de elasticidad.

3.4 Patología de las estructuras

La patología de las estructuras se define como las fallas o defectos que presentan las obras en el momento de realizarse o posterior a su terminación. Estas se ponen de manifiesto a través de una serie de cambios físicos, entre los cuales se encuentran:

- Grietas, fisuras o fracturas
- Aplastamientos
- Desconchamientos
- Zonas punzonadas
- Cambios de color
- Segregación
- Hinchazón
- Deformaciones
- Deflexiones
- Oquedades

Algunos otros efectos condicionantes con materiales inmersos al interior de las estructuras y la mezcla se relacionan a continuación:

3.4.1. Carbonatación

21

Se conoce como carbonatación al fenómeno de corrosión que se presenta en el acero de refuerzo que lleva la estructura. Este se presenta después de un prolongado tiempo después de terminada la obra y su posterior uso; avanzando de adentro hacia afuera a través de los poros.

Vidaud (2012-1):

El concreto del recubrimiento de cualquier elemento estructural, puede perder la alcalinidad que mantiene protegida a la varilla de acero de refuerzo, lo que puede producir una herrumbre que se puede expandir a toda la armadura, proceso que termina por hacer “explotar” y desprender el concreto que la recubre (recubrimiento). A partir de este instante, la varilla de acero pierde parte de su sección transversal original, lo que también, con el tiempo, puede conducir al deterioro de la propia estructura.

Este proceso puede llegar a afectar gravemente la estructura por las reacciones físico químicas que se producen al interior, con los compuestos que se degradan y la mezcla con los demás componentes aditivos que contiene el concreto. Aguirre *et al.* (2014): *“El mecanismo de reacción ácida por el cual se produce la carbonatación genera un descenso del pH del concreto, lo que provoca la destrucción de la capa pasivante sobre el acero, y con ello un ascenso en la velocidad de corrosión de las armaduras”*

Se reconoce a simple vista por la decoloración en una parte del concreto o con pruebas para determinar el nivel de pH en la estructura. Sin embargo, en la actualidad se utiliza con mayor exactitud el potenciómetro. Vidaud (2012-1): *“Se trata de una prueba fundamentada por medio de la Norma ASTM-D1293, en donde se determina el nivel de alcalinidad del concreto de muestras extraídas por medio de una extracción con agua destilada, a la que se le determina posteriormente el nivel de pH con el equipo calibrado con soluciones patrón”*.

3.4.2. Eflorescencias

22

Las eflorescencias son manchas de aspecto blanquecino en la superficie de las estructuras de concreto, debido a los lixiviados o a la presencia de aguas blandas como riachuelos, nacientes, glaciares, nevados, entre otras. Estas se introducen a través de las grietas o poros del concreto y se mezclan en el interior disolviendo algunos de los elementos presente en la mezcla inicial.

Vidaud y Vidaud (2013-1):

Se trata de un mecanismo leve de ataque al concreto endurecido, que ocurre cuando el agua disuelve componentes del material. El cemento Portland hidratado contiene hasta un 30% de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 soluble en agua. Este componente es el que fundamentalmente se disuelve de manera gradual, debido al agua que invade la red de poros que conecta la estructura del cemento solidificado. Disuelto e ionizado, el calcio emigra desde el interior hacia la superficie de concreto, razón por lo que se produce una apariencia blanquecina en las superficies expuestas.

Algunos de los factores que contribuyen a la generación de la eflorescencia en las estructuras de concreto se refieren a continuación:

- La presencia de humedad, es el principal generador
- Con mayor cantidad de cemento mayor será la eflorescencia
- Al elevarse el contenido de álcalis, aumenta la tendencia del concreto a formar eflorescencias por el efecto común de iones
- Contenidos elevados de calcio y magnesio determinan una mayor dureza del agua
- Al reducirse la relación arena/cemento, se reduce también la posibilidad de formación de la eflorescencia

3.4.3. Creep

El concreto, debido al uso y la función para la cual fue construida la estructura, se empieza a debilitar y deformar progresivamente. Entre más tiempo pase, más afectaciones

pueden generarse al interior de una obra y sus componentes. Vidaud (2012-2): “En este caso, 23 la deformación final, dependiente del tiempo, está integrada por dos componentes: la primera asociada a una deformación elástica, y la segunda vinculada a una deformación progresiva de tendencia inelástica que en la literatura especializada se denomina ‘Creep’”.

Esta deformación de los materiales en torno a la elasticidad se genera con el tiempo y la frecuencia de uso, junto con el peso promedio que se asigne sobre la estructura a diario. Sin embargo, se puede recuperar parte de la elasticidad si se reducen los anteriores factores, aunque el módulo elástico del concreto aumenta con la edad. Vidaud (2012-2):

La evidencia experimental indica que la deformación por “creep” que ocurre en un determinado periodo es proporcional al esfuerzo aplicado, siempre que el nivel de esfuerzo no sea alto; aunque la evidencia de las investigaciones es confusa con respecto al nivel de esfuerzo en el que cesa la linealidad entre el flujo plástico y el esfuerzo aplicado.

Algunos de los principales factores que aumentan la deformidad por creep se relacionan a continuación:

- Contenido, calidad, granulometría, tamaño máximo y forma de los agregados al concreto
- Contenido de humedad y menor contenido de cemento en la mezcla
- Humedad relativa del medio
- Tamaño y forma del elemento
- Temperatura
- Edad del proceso de carga

3.5 Durabilidad en el concreto armado

La norma NTC 2004 Para diseño y construcción de estructuras de concreto. Capítulo IV señala que la durabilidad en el diseño será tomada en cuenta en el diseño, mediante la

determinación de la clasificación de exposición, cumpliendo con los siguientes requisitos: 24

- Calidad y curado del concreto
- Restricciones en los contenidos químicos
- Recubrimientos
- Precauciones en la reacción álcali-agregado

A esto se le agrega, que el avance de la ciencia ha permitido mezclar componentes químicos que han mejorado notablemente las mezclas de concreto y sus diferentes usos a nivel mundial. Tal es el caso del Humo de Silice.

3.5.1. Humo de Sílice

El Humo de Silice es un subproducto mineral que se adiciona a las mezclas de concreto y que es altamente reactivo con la hidratación y unión de materiales, llevando a potenciar el efecto esperado de acuerdo a la necesidad existente. Vidaud y Vidaud (2012-3):

El humo de silice (HS) es un material puzolánico de alta reactividad, subproducto del residuo de la fabricación de silicio metálico y aleaciones de ferro silicio. Su proceso resulta de la reducción de cuarzo de pureza elevada (SiO_2) con carbón en hornos de arco eléctrico a temperaturas mayores de 2000°C . Debido a su forma -varias veces superior a la del cemento- este compuesto mineral en la mezcla de concreto permite mayor y mejor oclusión de los poros, mejorando la interface matriz agregado, y ofreciendo de esta manera un producto más estable, resistente y duradero.

Aunque en un inicio se empleó como adición a la arcilla para la fabricación del ladrillo con más dureza y contextura gruesa; su utilización actual empezó en la segunda mitad del siglo XX con resultados satisfactorios que hoy llevan a un cálculo de consumo de 300 mil millones de toneladas al año. (Vidaud y Vidaud; 2012-3)

Está compuesto en un 90% de dióxido de silicio, junto con carbono, azufre, óxidos de 25 aluminio, hierro calcio, magnesio, sodio y potasio. Vidaud y Vidaud (2012-3): *"Generalmente se utiliza en proporciones que varían entre 5 y 12% del peso del material cementante empleado para estructuras de concreto que requieren elevadas resistencias y/o permeabilidad"*.

Su peculiaridad radica en que cada partícula de este mineral es de 100 a 150 veces más pequeña que las del cemento; lo que permite el relleno en cada porosidad con una mezcla más compacta y disminuyendo la permeabilidad del producto final. (Vidaud y Vidaud ; 2012-3).

3.6 Pisos industriales

Los pisos industriales de concreto son obras que, generalmente, requieren de mayor ingeniería junto con recursos humanos, técnicos y tecnológicos. Aunque en muchas ocasiones las partes involucradas en su construcción, parezcan distantes, por conocimientos y actividades, su relación debe ser estrecha e interactuar conjuntamente, así: calculista, geotecnista, proveedor del concreto, contratista y propietario.

El diseño es igualmente importante junto con la dinámica proyectada en la estructura. Vidaud (2012-4): *"La propiedad físico-mecánica más importante a la hora de diseñar un piso industrial de concreto es la resistencia a flexión, denominado Módulo de Ruptura"*.

Por esto, se debe tener presente algunos aspectos fundamentales en la construcción de pisos industriales de concreto:

- La calidad del concreto
- Especificaciones de cargas de posible ocurrencia y en lo posible ubicación de la incidencia de las mismas
- Posible distribución de material de reforzamiento (acero de refuerzo o fibras)
- Dimensionamiento del peralte de la losa

relacionados directamente con los responsables de proveer el concreto y con el proceso de construcción del piso, respectivamente. Vidaud (2012-4):

- Nivel de humedad en la mezcla/Relación agua-cemento/Revenimiento
- Contenido y calidad de agregados
- Proceso de construcción del piso
- Proceso de curado del piso industrial de concreto
- Rectangularidad de tableros y generalidades acerca del corte de juntas

3.6.1. Contracción compensada

El Concreto de Contracción Compensada (CCC) es aquel concreto en donde uno de sus componentes, ya sea el cemento expansivo o cualquier otra adición, le garantiza un incremento volumétrico controlado después del fraguado; que atenúa o reduce el efecto in-deseado que causa la contracción por secado en las estructuras de los pisos industriales. (Vidaud y Vidaud; 2014-2)

En términos generales, este concepto es un desarrollo de la ciencia y la tecnología que ha desarrollado un tipo de mezcla denominada Concreto de Contracción Compensada, que es fabricado con un aditivo tipo G, el cual en combinación con el cemento produce la expansión en estado fresco y endurecido. Esta característica de expandirse durante la permanencia del concreto fresco, permite minimizar el riesgo de presentar agrietamiento en la contracción por secado de las losas. Vidaud y Vidaud (2015):

En los pisos de CCC es de especial importancia la protección y curado en los primeros siete días luego del colado; pues solo así es posible que la mezcla quede perfectamente hidratada y que adquiera las expansiones requeridas para que posteriormente absorba los esfuerzos de tensión inducidos por la contracción por secado.

Se utiliza en pisos y procesos industriales por las características anteriormente

27

descritas y los múltiples beneficios que trae en la construcción a gran escala con el ahorro de costos e imprevistos a futuro. Vidaud y Vidaud (2015): *“Como se ha visto el uso de CCC en la construcción de pisos industriales es una muy interesante alternativa, que permite la construcción de estos con niveles mínimos de agrietamiento por contracción por secado”*. Por otra parte, mediante el uso de esta técnica es posible que se logren tableros de losas de mayor tamaño, reduciéndose así el número de juntas de cortes y por ende, los costos de mantenimiento correspondientes. (Vidaud y Vidaud ; 2015)

3.7 Reforzamiento con FRP

Los Polímeros reforzados con Fibra son los llamados FRP por sus siglas en ingles; y se utilizan como una novedad en las construcciones actuales siendo las principales fibras utilizadas las de carbono, aramida y de vidrio. Estos se usan para aumentar el nivel de resistencia y capacidad en determinados reforzamientos de las estructuras y en el caso de elementos con sección transversal circular (columnas circulares, chimeneas, silos). (Vidaud; 2011-1)

En el tema específico del concreto se habla del Sistema Compuesto Estructurado a base de Fibra de Carbono (SFC), en lo que respecta al reforzamiento de elementos estructurales de concreto reforzado. Al respecto Vidaud (2011-1):

La técnica de reforzamiento con base en SFC constituye una excelente opción para el reforzamiento y/o rehabilitación de estructuras de concreto, siendo muy importante las ganancias asociadas a la resistencia a tensión y a cortante. También los niveles en la capacidad resistente por compresión se pueden mejorar. Vidaud (2011-1):

Si se conciben arreglos de SFC en los elementos a reforzar, que garanticen el confinamiento de la sección, retardándose el inicio del agrietamiento por compresión y cortante (aumento de la ductilidad, atribuible a los mayores

Por otra parte, una de sus ventajas se presenta como solución sustentable y rentable para combatir la corrosión en el concreto armado. Vidaud y Vidaud (2014-1): *“Las varillas de refuerzo de FRP contribuyen entonces a elevar en niveles significativos la durabilidad de las estructuras propensas al fenómeno de la corrosión”*. Por lo tanto, se recomienda su uso para, *“estructuras de concreto reforzado expuestas a las sales producto del deshielo, con necesidad de neutralidad eléctrica o magnética, cercanas al mar o marinas, o sometidas a ambientes agresivos en general”*. Vidaud y Vidaud (2014-1)

Además, los FRP son productos para el refuerzo del concreto con una alta relación resistencia/peso; puede compararse en 50 veces más que la del concreto, y 20 veces más que la del acero. Por lo tanto: *“suelen ser menos susceptibles a la degradación medioambiental que provoca la exposición a ácidos alcalinos, ambientes marinos, u otros; resultando ser muy ligeros, excelentes aislantes térmicos y con suficiente neutralidad electromagnética”*. (Vidaud y Vidaud; 2014-1)

3.8 Pruebas semidestructivas y no destructivas en el concreto

Estas son pruebas físicas, químicas y de microscopía que se realizan al concreto, para evaluación de estructuras. Allí se determinan propiedades tales como:

- Contracción por secado
- Permeabilidad
- Resistencia mecánica
- Módulo de Elasticidad
- Flujo plástico
- Envejecimiento

- Durabilidad

Además, los ensayos y pruebas más comunes que se realizan en el concreto son:

- Masa Específica y absorción del concreto
- Resistencia a compresión en núcleos
- Tensión por compresión diametral
- Módulo de elasticidad estático
- Estudios de petrografía
- Reactividad potencial álcali – sílice - método del Uranilo.
- Contenido de cloruros y sulfatos solubles
- Permeabilidad al ion cloruro
- Difusión del ion cloruro
- Contenido de cemento
- Cambios de volumen con la edad
- Carbonatación
- Módulo de Elasticidad Estático
- Flujo Plástico del concreto
- Potencial de Hidrógeno (pH)

3.8.1. Mira

Se denomina MIRA a la Evaluación de Integridad Estructural mediante Tomografía Tridimensional Ultrasónica; que se utiliza para evaluar las construcciones de concreto en los estudios de integridad estructural para alargar la vida útil de estas edificaciones.

Esta técnica se clasifica dentro de las no destructivas, ya que *“para la correcta implementación de estos métodos es necesario entender los principios de interacción de ondas de sonido entre materiales diferentes”*. (Aguirre *et al.*; 2014). En consecuencia, mediante la correcta utilización e interpretación de ondas de esfuerzo, se ha podido lograr la generación de

El MIRA está basado en el método eco-ultrasónico que utiliza transductores de emisión y recepción. Un transductor envía una onda de esfuerzo y un segundo transductor recibe el pulso reflejado. Se mide el tiempo transcurrido desde el inicio del pulso hasta la llegada del eco. Si la velocidad de la onda (C) se conoce, la profundidad de la interfaz reflejante puede calcularse.

3.8.2. Pull Off

La prueba de pull off o ensayo de adherencia, es un método común para evaluar con precisión la adherencia de los materiales de reparación y la resistencia en la superficie de los elementos de concreto. Puede realizarse en el laboratorio o en el sitio mismo de la investigación.

Se utiliza principalmente con dos fines:

- Estimar la resistencia superficial del concreto
- Evaluar la resistencia de la unión entre el material de reparación y el concreto reparado

Otras ventajas que ofrece son la economía, rapidez, localización e inmediatez de los resultados. Además, el procedimiento suele ser simple: Vidaud y Vidaud (2014-2): *“El ensayo consiste básicamente en transmitir tensión axial directa, con un equipo portátil, a un disco previamente adherido al concreto; siempre después de transcurrido un tiempo suficiente para que se haya curado la resina o material adhesivo usado en la fijación del disco”*.

Además, señalan que, aunque es un método bien aceptado por sus ventajas, también experimenta algunas limitaciones entre las que sobresale, como antes se comentó, el ser un ensayo con alta sensibilidad a la excentricidad. *“Aun así, es un hecho el que la prueba de “Pull Off” continúe siendo una excelente alternativa para evaluar de manera general la calidad y la resistencia, a partir del sustrato, en estructuras de concreto”*. (Vidaud y Vidaud ; 2014-2)

Dentro de los métodos destructivos y no destructivos, se han venido implementando durante las últimas décadas los de carácter tecnológico asociados a los no destructivos, sin reemplazar a los anteriores. Sin embargo, las pruebas de ultrasonido en concreto endurecido resultan bastante útiles y cada vez más confiables.

Entre los métodos más comunes se encuentra el de la Velocidad de Pulso

Ultrasonico (VPU); ya que presenta una medición confiable, en el sitio y se necesita una única medida para obtener un valor representativo. Además, se garantizan repetitividad y versatilidad.

Este consiste en medir el tiempo que demora un pulso ultrasónico en recorrer la masa de concreto en estudio; sin embargo se debe tener en cuenta la limpieza de la superficie, la interferencia de onda con los refuerzos de acero, distancia mínima de 30 cm entre transductores y su correcto acoplamiento, así como la temperatura ambiente y la velocidad con que golpea el aire en la medición.

Así pues, Vidaud y Vidaud (2015): *“El método de pulso ultrasónico constituye una importante herramienta para estimar de manera aproximada y representativa el módulo de elasticidad dinámico del concreto, magnitud que a la vez se podría usar para estimar el módulo de elasticidad estático, muy útil, como ya se comentó, para el proceso de análisis y de diseño de estructuras”*.

4. Diseño metodológico**4.1 Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo Cuantitativa, debido a que se basa en la recolección de información y medición de variables para determinar un diagnóstico y patología de resultados. A su vez, se hace un trabajo de campo con registro fotográfico para determinar las variables medioambientales de la zona y estudiar con detalle los archivos visuales.

Asimismo, los datos obtenidos fueron analizados, evaluados y verificados, para lograr conclusiones y recomendaciones acertadas, de acuerdo a la realidad investigada.

4.2 Población

La población objeto de estudio en la presente investigación científica, será la comunidad residente en los barrios Pedregales y Parque Industrial de la ciudad de Pereira; por ser los usuarios frecuentes de esta vía.

4.3 Muestra

La muestra se tomará directamente en el puente de concreto que comunica los barrios Pedregales y Parque Industrial de la ciudad de Pereira, por ser el centro de la investigación.

4.4 Técnicas

La técnica que se utilizará para la ejecución y desarrollo del proyecto será la recolección de información mediante la documentación de bases teóricas y referentes que constituyen en Estado del Arte; pasando, luego, al trabajo de campo con registro fotográfico y anotación de las diversas variables que puedan influir en la investigación.

4.5 Instrumentos

- Computadora
- Internet
- Cámara digital
- Smartphone
- Hojas en blanco
- Lápices y lapiceros
- Gafas de seguridad
- Guantes

4.6 Variables

- Clima templado a cálido
- Humedad relativa constante en el ambiente
- Afluente de nacimiento cercano
- Rio que atraviesa
- Mala canalización en vertimiento de aguas
- Paso peatonal
- Tránsito automotor
- Superficie base de concreto con capa irregular de asfalto
- Vegetación abundante
- Deterioro avanzado progresivo en la estructura

- El deterioro en la capa de rodadura del puente indica permeabilidad de agua y de esta manera el ingreso de agentes que deterioran la durabilidad del concreto.
- La mala canalización del nacimiento de agua cercano, genera el afluente permanente de lixiviados por lo que se produce daño en la estructura y se evidencia en el deterioro constante de la superficie de la capa de rodadura.
- La capa asfáltica colocada posteriormente se ha deteriorado de forma irregular por lo que se genera represamiento de agua en algunos sectores.
- Las bases del puente, o estribos, se han debilitado por el socavamiento producto del río, que aumenta en época de invierno y afecta hasta la parte media de la columna.
- El tránsito peatonal y automotor, lo mismo que el comercio y la educación de la zona, dependen, en gran parte, de esta vía para comunicarse y desarrollar sus actividades cotidianas.

Después de hacer el análisis sobre la patología y diagnóstico en el puente de concreto ubicado en la ciudad de Pereira, se puede recomendar lo siguiente:

- Intervenir la estructura de la capa de rodadura realizar una prueba no destructiva de carbonatación para descartar que el ingreso de agua a la estructura no haya afectado las propiedades del acero de refuerzo.
- Construir las obras de canalización sobre la losa del puente de tal manera que se suspenda el represamiento de agua en la superficie.
- Utilizar tecnología de ultrasonido para determinar daños internos en los pilares del puente.
- Evitar la mezcla de asfalto sobre el concreto.
- Cambiar o reparar los sistemas de protección del puente en ambos lados.
- Realizar ensayos de núcleos en la losa como en los estribos y vigas de concreto para determinar su resistencia a compresión.

Bibliografía

- Aguirre, O. *et al.* (2014). *Evaluación de Integridad Estructural mediante Tomografía Tridimensional Ultrasónica (MIRA)*. México. 4p.
- Arias, C. *et al.* (2015). *Rehabilitación puente San Eugenio en el municipio de Santa Rosa de Cabal, Risaralda*. Universidad Libre de Pereira; Colombia. 75 P. Recuperado de <http://repositorio.unilibrepereira.edu.co:8080/pereira/bitstream/handle/123456789/554/REHABILITACION%20PUENTE%20SAN%20AUGENIO.pdf?sequence=1>
- Avendaño, E. (2006). *Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 144 p. Recuperado de: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/936/1/27252.pdf>
- Barrera, G. y Ramos, V. (2015). *Estudio Patológico del Puente No. 15 en el Km 242+526, de la vía férrea Bogotá – Belencito*. Bogotá D.C., Colombia. 67 P. Recuperado de: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/MSI/Mis%20documentos/Downloads/Ramosvirginia2017.pdf>
- DiMaio A.; Traversa L. y Sota J. (2005). *Metodología de evaluación de patologías para la reparación de estructuras de hormigón armado*. La Plata; Buenos Aires, Argentina. 7 P. Recuperado de: <http://www.ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional-ingcivil/18es-ho-ma-pa-18.pdf>
- Jaramillo, J. (2004). *Análisis clásico de estructuras*. Bogotá D.C., Colombia. 276 P. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=mwohfYq9zC8C&pg=PA259&dq=puentes+de+concreto&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjgzbTzmtPXAhVp4oMKHfmPBx4Q6AEITTAH#v=onepage&q=puentes%20de%20concreto&f=false>
- Muñoz, E. (2012). *Ingeniería de puentes: Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación*. Bogotá D.C., Colombia. 2012. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=Ap0xDwAAQBAJ&pg=SA2-PA32&dq=puentes+de+concreto&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjgzbTzmtPXAhVp4oMKHfmPBx4Q6AEIVjAJ#v=onepage&q=puentes%20de%20concreto&f=false>
- Panqueva, J. (2015). *Análisis de patologías físicas de puentes vehiculares en concreto en la localidad de Chapinero*. Bogotá D.C., Colombia. 83 P. Recuperado de: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/MSI/Mis%20documentos/Downloads/Patolog%C3%ADas-puentes-vehiculares-concreto-Chapinero.pdf>

- Sánchez, A. (1996). *Inspección, mantenimiento y rehabilitación de puentes*. México D.F., México. 1996. 345p. Recuperado de: file:///C:/Documents%20and%20Settings/MSI/Mis%20documentos/Downloads/decd_1822.pdf 37
- Serpa, M. y Samper, L. (2014). *Evaluación, diagnóstico, patología y propuesta de intervención del puente sobre el caño El Zapatero a la entrada de la Escuela Naval Almirante Padilla*. Cartagena de Indias, Colombia. 112 P. Recuperado de: <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/1368/1/Trabajo%20de%20Grado.%20Lina%20Samper%20-%20Mafe%20Serpa.pdf>
- Vidaud, E. (2011). *Pisos industriales de concreto: materiales, diseño y construcción*. México. 9 p.
- Vidaud, E. (2011-1). *Acerca del reforzamiento estructural con fibras de carbono*. México. 5p.
- Vidaud, E. (2012). *Mezcla de concreto y deformabilidad de la estructura durante sismo*. México. 10 p.
- Vidaud, E. (2012-1). *La carbonatación en el concreto reforzado*. México. 8p.
- Vidaud, E. (2012-2). *El "Creep" en el concreto: Factores que influyen en su desarrollo*. México. 2012. 4p.
- Vidaud, E. y Vidaud, I. (2012-3). *El humo de sílice como adición al concreto estructural*. México. 3p.
- Vidaud, E. (2012-4). *Pisos industriales de contracción compensada*. México. 7p.
- Vidaud, E. (2013). *Fisuras en el concreto ¿Síntoma o enfermedad?* México. 9 p.
- Vidaud, E. y Vidaud, I. (2013-1). *Eflorescencias en el concreto. Mecanismo y terapéutica*. México. 4 p.
- Vidaud, E. y Vidaud, I. (2014). *Construcción y tecnología en concreto: Control de calidad al concreto*. México. 2014. 4 p.
- Vidaud, E. y Vidaud, I. (2014-1). *Polímeros fibroreforzados*. México. 2014. 4p.
- Vidaud, E. y Vidaud, I. (2014-2). *Prueba de "Pull Off" para evaluar la adherencia de los materiales de reparación en concreto*. México. 6p.
- Vidaud, E. y Vidaud, I. (2015). *Determinando el módulo de elasticidad dinámico del concreto: Ensayo de pulso ultrasónico*. México. 5p.

Anexos

Anexo 1. Imágenes varias puente de concreto

