

ESTUDIO PATOLÓGICO PUENTE EL PASO VÍA NACIONAL GIRARDOT – BOGOTÁ
KM. 9

LUZ HEIDY LESMES RUBIO
SORANY MARNELL ORTEGA DELGADILLO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
BOGOTÁ D.C. - 2020

ESTUDIO PATOLÓGICO PUENTE EL PASO VÍA NACIONAL GIRARDOT – BOGOTÁ
KM. 9

LUZ HEIDY LESMES RUBIO

SORANY MARNELL ORTEGA DELGADILLO

Trabajo presentado como requisito para optar al título Especialista en Patología de la
Construcción

WALTER MAURICIO BARRETO CASTILLO

Arquitecto Magíster

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

BOGOTÁ D.C. - 2020

Nota de aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Santo Tomás
para optar al título de Especialista en Patología de la Construcción.

Walter Mauricio Barreto Castillo

Arquitecto - Revisor

Bogotá D.C., agosto de 2020

Resumen

El Puente El Paso está situado en el Kilómetro 9 de la vía nacional en sentido Girardot – Bogotá. La estructura presenta fisuramiento en toda la estructura, pérdida de material de recubrimiento en las vigas de la estructura, pérdida total de las barandas metálicas y fisuramiento del pavimento flexible.

La realización de este trabajo tuvo tres fases: la primera consistente en la recopilación de toda la información correspondiente a los cálculos de diseño en la etapa constructiva, planos, visitas de inspección visual, levantamiento topográfico y toma de registros fotográficos. La segunda corresponde a la realización de ensayos no destructivos para evaluar la resistencia actual del concreto y la posible afectación química y/o mecánica de la estructura. Por último se analizaron los resultados y se realizó la propuesta de alternativas de intervención dadas las diferentes patologías encontradas en el paciente.

Abstract

El Paso Bridge is located at Kilometer 9 of the national road in the direction of Girardot - Bogotá. The structure presents cracking throughout the structure, loss of coating material on the beams of the structure, total loss of the metal railings and cracking of the flexible pavement.

The completion of this work had three phases: the first consisting of the compilation of all the information corresponding to the design calculations in the construction stage, plans, visual inspection visits, topographic survey and taking photographic records. The second corresponds to the performance of non-destructive tests to evaluate the current resistance of the concrete and the possible chemical and / or mechanical damage to the structure. Finally, the results were analyzed and the proposal of intervention alternatives was made given the different pathologies found in the patient.

Tabla de contenido

1	Introducción.....	12
2	Justificación.....	13
3	Objetivos	14
3.1	Objetivo general.....	14
3.2	Objetivos específicos	14
4	Planteamiento del problema	15
5	Alcance del proyecto.....	16
6	Metodología propuesta.....	17
a)	Etapa 1: elección del caso de estudio.....	17
b)	Etapa 2: recopilación de información	17
c)	Etapa 3: visitas de campo e inspección visual.....	18
d)	Etapa 4: ensayos	18
e)	Etapa 5: diagnóstico	18
f)	Etapa 6: propuesta de intervención	18
7	Historia clínica.....	19
7.1	Sistema constructivo y estructural	21
7.1.1	Datos generales del entorno	23
7.2	Información existente	24
7.3	Historial estructural.....	25

7.4	Documentos de referencia	28
8	Tipos de lesiones encontradas en el paciente	29
8.1	Inspección visual.....	30
9	Patologías encontradas	31
9.1	Registro fotográfico	32
10	Ensayos realizados	36
10.1	Ensayos no destructivos.....	36
11	Tipos de lesiones	40
11.1	Generalidades.....	40
11.2	Ensayo del martillo de rebote	40
11.3	Ensayo de la fenolftaleína.....	47
12	Diagnóstico	61
12.1	Fisuras.....	61
12.2	Eflorescencias	62
12.3	Carbonatación	62
13	Propuestas de intervención	63
14	Conclusiones	67
15	Bibliografía	68
16	Anexos	70

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación del Puente El Paso en el departamento de Cundinamarca.....	20
Figura 2 Mapa de localización	21
Figura 3 Aspecto actual del paciente	22
Figura 4 Fractura en una de las dovelas del puente	22
Figura 5 Ubicación del puente vehicular El Paso por zonificación del país amenaza sísmica	24
Figura 6 Ficha de historia clínica	31
Figura 7 Descripción fisuramiento viga central detalle	32
Figura 8 Descripción: viga central vista general - Ubicación: Pilar margen derecha	32
Figura 9 Descripción: Pérdida de material y exposición del refuerzo. - Ubicación: Dovela parte inferior	33
Figura 10 Descripción: Pérdida de material, exposición del refuerzo. - Ubicación: Baranda costado sur.	33
Figura 11 Descripción: Fisuramiento transversal. - Ubicación: Andén.....	34
Figura 12 Descripción: Fisuramiento en la superficie del pavimento flexible. - Ubicación: Pavimento flexible	34
Figura 13 Descripción: Hundimiento. - Ubicación: Pavimento flexible	35
Figura 14 Fisurómetro colocado en el puente con la medida de la separación tomada en diferentes fechas.....	37
Figura 15 Martillo de rebote costado derecho.....	41
Figura 16 Martillo de rebote costado derecho viga cabezal.....	42
Figura 17 Martillo de rebote Viga 3	43

Figura 18 Martillo de rebote para amarre de pilotes costado izquierdo	44
Figura 19 Martillo de rebote para macizo de anclaje, costado izquierdo	45
Figura 20 Martillo de rebote Viga-1 Costado izquierdo.....	46
Figura 21 Paso 1 ensayo de la fenolftaleína	49
Figura 22 Paso 2 ensayo de la fenolftaleína	50
Figura 23 Profundidad de carbonatación: 15mm	50
Figura 24 Martillo de rebote.....	51
Figura 25 Tabla de corrección.....	51
Figura 26 Cuadrícula y orificio	52
Figura 27 Detalle orificio	52
Figura 28 Testigo	53
Figura 29 Detalle profundidad	53
Figura 30 Alternativa 1	64
Figura 31 Alternativa 2	66

Lista de tablas

Tabla 1 Descripción general del paciente	19
Tabla 2 Estudio de suelos margen derecha	26
Tabla 3 Estudio de suelos margen izquierda	26
Tabla 4 Textos utilizados para la investigación	27
Tabla 5 Resistencia obtenida en ensayo en campo para amarre de pilotes	42
Tabla 6 Resistencias obtenidas en campo para viga cabezal	43
Tabla 7 Resistencias obtenidas en campo para viga -3.....	44
Tabla 8 Resistencias obtenidas en campo para amarre de pilotes	45
Tabla 9 Resistencia obtenida en campo para el macizo de anclaje costado izquierdo	46
Tabla 10 Resistencias obtenidas en campo para Viga -1	47
Tabla 11 Resistencia corregida por carbonatación para amarre de pilotes	54
Tabla 12 Resistencia corregida por carbonatación para viga cabezal	55
Tabla 13 Resistencia corregida por carbonatación para Viga -3.....	56
Tabla 14 Resistencia corregida por carbonatación para estructura de amarre de pilotes	57
Tabla 15 Resistencia corregida por carbonatación para macizo de anclaje	58
Tabla 16 Resistencia corregida por carbonatación para Viga -1	59

Lista de anexos

Anexo A. Levantamiento topográfico.....	70
Anexo B. Fichas de historia Clínica	69
Anexo C. Ensayo martillo de rebote in situ	72
Anexo D. Noticia Puente El Paso	78

1 Introducción

El puente vehicular seleccionado como paciente de este TPI, está ubicado en el kilómetro 9 de la vía nacional Girardot – Bogotá, sector El Paso, donde el río Sumapaz divide a los departamentos de Cundinamarca y Tolima; fue usado como vía de comunicación entre los municipios de Ricaurte y Carmen de Apicalá y el cual fue construido hace 38 años aproximadamente por las Fuerzas Militares; desde el año 2010 ha venido presentando fallas estructurales sin que se haya realizado algún tipo de mantenimiento o reparación y como consecuencia de dichas fallas en el año 2013 se presentaron fracturas en las vigas del puente y posteriormente fisuras en el asfalto de la vía lo que motivo el cierre al tránsito de vehículos. En el mes de noviembre de 2018, se presentó una nueva falla en la viga del costado derecho en la zona media del puente a causa de las fuertes lluvias en la región. Dentro del presente informe se presentan las condiciones del paciente en la actualidad y las lesiones existentes en pavimento y superestructura. Lo anterior con el fin de elaborar su historia clínica, emitir un diagnóstico y plantear dos alternativas de intervención que puedan ser consideradas como solución a su problemática.

2 Justificación

El puente es una estructura muy importante en esta región ya que comunica Ricaurte en Cundinamarca con el municipio del Carmen de Apicalá perteneciente al departamento del Tolima generando una vía entre los dos departamentos para una conexión rápida y eficiente. Debido al estado actual de la estructura la comunidad debe ir hasta el municipio de Melgar (Tolima) y de allí dirigirse al Carmen de Apicalá, lo cual implica un trayecto adicional considerable. Los habitantes de la región indican que se han visto afectadas las actividades económica y turística de la zona adyacente, ya que a pesar de que la Vicepresidencia de la República se comprometió a tomar las medidas necesarias durante una visita realizada, pero a la fecha el puente no es apto para la circulación de vehículos.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Hacer el estudio patológico del puente vehicular El Paso, municipio de Ricaurte, departamento de Cundinamarca.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis y la evaluación de las fallas presentadas en los elementos estructurales del puente.
- Evaluar las condiciones actuales y la funcionalidad del asfalto existente en el puente.

4 Planteamiento del problema

El objeto de estudio de este trabajo será el Puente Vehicular El Paso ubicado en el Kilómetro 9 de la vía nacional en el sentido Girardot – Bogotá, el cual presenta fisuramiento en sus elementos estructurales, pérdida de material y deterioro del pavimento flexible por lo cual se encuentra cerrado al paso de vehículos.

Por lo anterior, se realiza el estudio patológico al puente mencionado con el fin de identificar las lesiones que presenta actualmente para hacer un diagnóstico y proponer mecanismos de intervención para su rehabilitación y a futuro puesta en servicio.

5 Alcance del proyecto

El análisis realizado dentro del presente trabajo integra la recopilación de información, historia clínica del paciente, diagnóstico de las diferentes patologías encontradas y planteamiento de dos propuestas diferentes de intervención. El desarrollo de la investigación involucra la realización de visitas de campo, toma de registros fotográficos, elaboración de fichas de historia clínica, realización de ensayos no destructivos y clasificación de las lesiones encontradas aplicando los conocimientos adquiridos dentro de las distintas asignaturas estudiadas en la Especialización y que son aplicables al caso de estudio.

El puente fue construido hacia el año 1980 y consta de dos pilas de aproximadamente 15 metros de altura, en las cuales se apoyan tres vigas con una longitud de 69.65 metros y sobre estas vigas se encuentra la capa de pavimento flexible de 15 centímetros.

Para este trabajo investigativo, se hizo la recopilación de toda la información correspondiente a la etapa pre-constructiva y constructiva del paciente (diseños, estudio de suelos, registros fotográficos, memorias de cálculo), posteriormente se hace inspecciones en el sitio, en las cuales se toman registros fotográficos y se instalan fisurómetros para verificar si hay movimiento en las fisuras identificadas; una vez verificado el aspecto físico del paciente se procede a hacer el levantamiento topográfico y se realiza también el ensayo del martillo de rebote en la superficie del puente. En lo referente al pavimento flexible, se realiza la inspección de acuerdo con la metodología indicada en el Manual de Inspección Visual para Pavimentos Flexibles del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). El resultado obtenido luego de realizar ensayos y observaciones, permitirá realizar un diagnóstico para así proponer dos tipos de intervención para el paciente las cuales incluyen el presupuesto estimado y que serán entregadas al municipio de Ricaurte para que sean tenidas en cuenta para una posible rehabilitación.

6 Metodología propuesta

a) Etapa 1: elección del caso de estudio

Para elegir el paciente, se tomaron en consideración diferentes factores:

- Presencia de lesiones que ameriten el estudio.
- Autorización por parte de la Alcaldía de Ricaurte debido a que el puente se ubica entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima y es Ricaurte el municipio más cercano.
- Recopilación de información existente.
- Elaboración de historia clínica del paciente.
- Levantamiento topográfico.
- Aplicación de ensayos no destructivos.
- Identificación de lesiones y clasificación en fichas.
- Formulación del diagnóstico.
- Propuesta de intervención.

b) Etapa 2: recopilación de información

Durante esta etapa se hará la recopilación de toda la documentación existente sobre el paciente en lo referente a memorias de cálculo, diseño, estudio de suelos, planos estructurales y entorno.

c) Etapa 3: visitas de campo e inspección visual

Se realizan visitas de campo con el fin de realizar el levantamiento topográfico del puente identificar las lesiones presentes en sus diferentes elementos para proceder a elaborar un diagnóstico, plantear mecanismos de intervención y estimar un presupuesto para la rehabilitación del paciente.

d) Etapa 4: ensayos

Determinación de los ensayos a aplicar sobre el paciente.

e) Etapa 5: diagnóstico

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de los ensayos y su correspondiente análisis se procede a realizar el planteamiento de posibles causas que dan origen a las lesiones presentadas.

f) Etapa 6: propuesta de intervención

Teniendo en cuenta el diagnóstico emitido, se realizan dos propuestas de intervención para la estructura presentada como caso de estudio y se incluye presupuesto y programación de obra para cada una.

7 Historia clínica

Datos específicos del estudio

Responsables del estudio:

- Luz Heidy Lesmes Rubio, Ingeniera Civil.
- Sorany Marnell Ortega Delgadillo, Ingeniera Civil

La evaluación del paciente se realiza dentro del periodo comprendido entre junio de 2018 a abril de 2019.

El paciente se ubica en el Kilómetro 9 de la vía nacional pero ninguna entidad se ha hecho responsable de su mantenimiento, razón por la cual, no fue posible obtener una autorización formal de intervención y por este motivo solo se aplicaron ensayos no destructivos.

Tabla 1 Descripción general del paciente

Descripción general	
Nombre del paciente	Puente El Paso
Fecha de Construcción	1982 - 1984
Ubicación	Km. 9 de la vía nacional sentido Girardot - Bogotá
Área total	631,73 m ²
Uso	Puente vehicular y peatonal
Esta estructura comunica el municipio de Ricaurte Cundinamarca y el municipio del Carmen de Apicalá perteneciente al departamento del Tolima y comunica dos departamentos de forma rápida y eficiente. Debido al estado actual de la estructura la comunidad debe ir hasta el municipio de Melgar (Tolima) y de allí dirigirse al Carmen de Apicalá, lo cual implica un trayecto adicional considerable. Los habitantes de la región indican que se ha visto afectada la actividad económica del municipio, así como la actividad turística sin que haya respuestas de algún ente competente.	

Fuente: elaborado por el autor

El puente se encuentra ubicado sobre el río Sumapaz kilómetro 9 de la vía nacional sentido Girardot - Bogotá, el cual es el límite entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima. Fue construido para agilizar el desplazamiento al municipio de Carmen de Apicalá sin tener que ir hasta Melgar, pero debido a las afectaciones que presenta fue cerrado al tránsito de vehículos en el año 2016.



Figura 1 Ubicación del Puente El Paso en el departamento de Cundinamarca
Fuente: <http://es.wikipedia.org/Ricaurte>

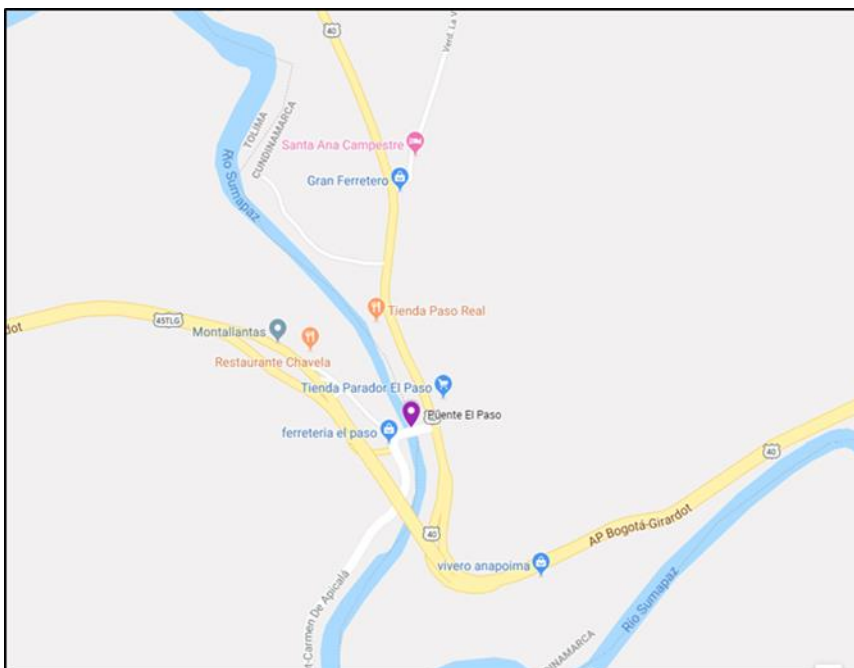


Figura 2 Mapa de localización

Fuente: Google maps

La construcción del puente comenzó en el año 1982. Se constituye en un puente para uso vehicular principalmente, con andenes en los dos costados y barandas metálicas.

7.1 Sistema constructivo y estructural

La estructura del puente se encuentra constituida por tres dovelas de concreto pretensado en forma de U con una longitud de 69.65 metros lineales que descansan sobre dos vigas de cabezal las que a su vez se apoyan en dos pilas de aproximadamente 15 metros de altura (ambos tipos de elemento se ubican en los costados del puente). En la parte superior del puente se encuentra pavimento flexible con un espesor de 15 centímetros. Los andenes con un ancho de 55 centímetros se constituyen de placas prefabricadas de concreto limitadas por bordillo en concreto de 10 cms y las barandas metálicas están hechas de tubos de aluminio con un diámetro de 4” formando los pasamanos, que se apoyan en una base de aluminio. La cimentación está formada

por pilotes tipo Caisson de diámetro 1.20m y profundidad de 11 metros para el margen derecho y 23 metros para el margen izquierdo.



Figura 3 Aspecto actual del paciente
Fuente: elaborado por el autor



Figura 4 Fractura en una de las dovelas del puente
Fuente: elaborado por el autor

Normativa que lo rige: la estructura del puente no se ciñe a ninguna normativa, ya que fue construido antes de la entrada en vigencia del Código Colombiano de Puentes.

7.1.1 Datos generales del entorno

7.1.1.1 Medioambiente

- **Temperatura:** La temperatura promedio de la zona donde está ubicado el Puente El Paso, es de 29.3° C, siendo este su valor máximo y teniendo como valor mínimo 27.3°C.
Fuente: Ideam.gov.co/web
- **Humedad relativa promedio:** El valor para la humedad relativa promedio en la zona es de 66.38%.
- **Precipitación:** La precipitación en la zona oscila entre los 60 mm y los 140 mm para los meses lluviosos y para los meses secos está entre 20 mm y 50 mm.
- **Velocidad del viento:** 5 Km / hora.
- **Geología general del sitio:** De acuerdo con el mapa litológico colombiano, el suelo en la zona centro donde se encuentra el paciente está compuesto en su mayoría por gneises cuarzo - feldespáticos, migmatitas, granulitas, anfibolitas, ortogneises, cuarcitas y mármoles. Para el sector puntual donde está ubicado el paciente, se trata de un depósito aluvial y de llanura aluvial.
- **Sismicidad:** El puente vehicular El Paso se encuentra ubicado en la zona de amenaza sísmica intermedia, de acuerdo con lo indicado en el Título A de la norma NSR -10.

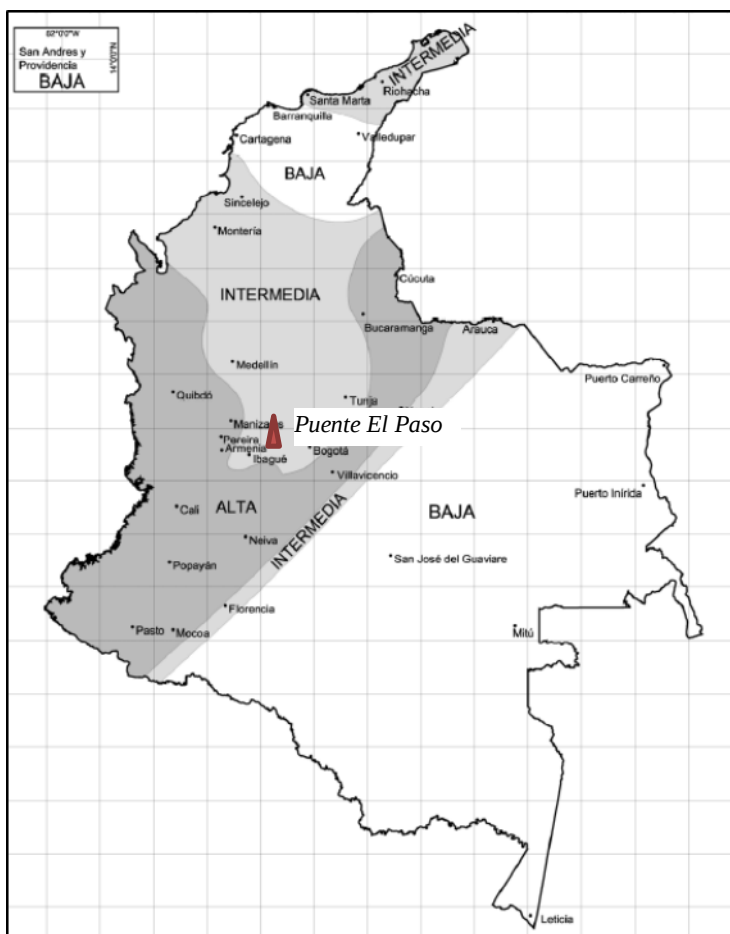


Figura 5 Ubicación del puente vehicular El Paso por zonificación del país amenaza sísmica
Fuente: NSR-10

7.2 Información existente

- Planos: plantas, cortes, despiece de viga cabezal, estructura de amarre de pilotes y planta de pilotaje, dovela tipo, armadura tipo para dovelas, armadura dovela para formar sello central, corte y despiece central de diafragma.
- Estudio suelos etapa preconstructiva.
- Memorias de cálculo.
- Registro fotográfico etapa constructiva.

- Información de diseñadores y constructores. Diseñador: Ingeniero Guillermo González Rojas y Arquitecto Rafael Esguerra. Constructor: Batallón de Apoyo Ingenieros Militares del Ejército Nacional de Colombia.
- Archivos de mantenimiento y/o intervenciones anteriores: Sin registro.
- Fenómenos o eventos que hayan afectado a la obra: Paso de vehículos de carga.

7.3 Historial estructural

- **Forma:** vista en planta regular.
- **Materiales:** dovelas en concreto pretensado. Vigas de cabezal fundidas in situ. Pilotes tipo Caisson. Las dovelas tienen una longitud de 69.65 metros lineales, la viga de cabezal ubicada en el margen del río del departamento del Tolima tiene una longitud de 9.00 metros y una altura de 1.54 m. Andenes en plaqueta prefabricada con longitud 70 metros y ancho de 0.55 metros
- **Marco Legal:** para el periodo de construcción del puente El Paso (1982-1985) no se tenía normatividad específica para este tipo de estructuras, es probable que se haya construido bajo la especificación americana “AASHTO American Standard Specifications for Highway Bridges”, la cual se empleó en el país hasta 1994, año en el cual el Gobierno Nacional solicitó a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS un documento de cubrimiento nacional que reglamentara el diseño de dichas estructuras en el país.
- **Estudio de suelos:** para este informe se cuenta con el estudio de suelos realizado en la etapa preconstructiva del contrato en el cual se realizaron tres perforaciones con

profundidad de 16 metros dos de ellas (margen derecho) y una última perforación de 25 metros (margen izquierdo). En los siguientes cuadros se indica el tipo de suelo encontrado en el perfil estratigráfico:

Tabla 2 Estudio de suelos margen derecha

Margen derecha	
Tipo de suelo	Nivel perforación
Arena fina limosa habana SP-SM	0,0- 0,90 m
Núcleos amarillos de grava	0,90 -2,00 m
Grava arena limosa amarilla GMd	2,00 - 6,00 m
Arcilla gris CL	6,00 - 9,80 m
Arcilla gris CH	9,80 - 10,20 m
Arcilla gris CL	10,20 - 11,00 m
Arena gruesa limosa gris SMd	11,00 -14,00 m
Arena fina gris SP	14,00 - 15,86 m

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 3 Estudio de suelos margen izquierda

Margen izquierda	
Tipo de suelo	Nivel perforación
Arena fina limosa habana SP-SM	0,0-1,00 m
Limo Habano ML	1,00-3,00 m
Arena fina limosa habana SMd	3,00-12,00 m
Arena gruesa limosa gris SMd	12,00-13,00 m
Limo Habano ML	13,00-15,00 m
Arena fina limosa habana SMd	15,00 - 16,50 m
Limo Habano ML	16,50 -18,20 m
Arena fina limosa habana SMd	18,20-20,00 m
Arena gruesa limosa gris SMd	20,00-23,50 m
Arena gruesa limosa gris SP-SM	23,50-25,06 m

Fuente: elaborado por el autor

No se tiene documentación de entidades oficiales sobre el paciente; la información recopilada corresponde a cálculos, planos y memorias suministradas por parte de uno de los participantes del proyecto.

Para la realización de esta investigación se realizaron consultas en los siguientes textos:

Tabla 4 Textos utilizados para la investigación

Literatura	Autor	Resumen
Guide to durable concrete	American Concrete Institute	La guía para la durabilidad del hormigón habla acerca de diferentes factores que afectan las propiedades físicas y mecánicas del concreto.
Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción. Tomo I Conceptos generales y fundamentos	Carles Broto	En este tomo se indican las diferentes lesiones y las características que presentan sobre diferentes superficies, para determinar un posible origen y un mecanismo de mitigación. También se clasifican según su afectación en físicas, químicas y mecánicas.
Manual de Patología de la edificación. Hormigón y madera	Fernando López Rodríguez	Se habla de distintos síntomas y lesiones que pueden aparecer en las estructuras de hormigón armado. Se dividen en afectaciones al concreto y afectaciones al refuerzo. Se definen causas, síntomas y reflejo en los componentes del concreto a través de las lesiones.
Manual de Inspección Visual de pavimentos flexibles	Instituto Nacional de Vías.	En este manual se indican las diferentes lesiones que se pueden presentar en pavimentos flexibles, posibles causas y registro fotográfico para hacer una identificación más clara de las lesiones.
Manual para la inspección visual de puentes y pontones	Instituto Nacional de Vías.	Documento en el cual se diferencian los tipos de puentes según su estructura y material. También se abordan las diferentes lesiones que pueden presentarse y sus posibles causas de acuerdo con los materiales construcción.

Fuente: elaborado por el autor

7.4 Documentos de referencia

- ESTUDIO GENERAL SOBRE LAS EFLORESCENCIAS EN OBRA, Jorge J. Osuna Marcos.
- EFLORESCENCIAS DEL CONCRETO, Euclid Group Toxement.
- PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN, GRIETAS Y FISURAS EN OBRAS DE HORMIGÓN. José Toirac Corral. Instituto Técnico de Santo Domingo, 2004.
- REHABILITACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO REFORZADO. Departamento de Estructuras y Materiales, Instituto de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Sesiones de prácticas. Eduardo González Díaz. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Universidad de La Laguna. P.89. 2011.
- NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES.CCP14.
- I.N.V. E-413. NORMA PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE REBOTE (ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO EN EL CONCRETO ENDURECIDO).

8 Tipos de lesiones encontradas en el paciente

La Enciclopedia Broto de Patologías de la Construcción en su Tomo I indica que las lesiones encontradas en el paciente pueden ser de tipo físico, mecánico y químico las cuales se describen a continuación:

Lesiones físicas: Se producen a causa de fenómenos atribuibles a factores medio ambientales tales como heladas o condensaciones etc y su evolución dependerá también de estos procesos físicos.

Erosión

Es la pérdida de material en la superficie la cual puede ser parcial o total.

Erosión atmosférica. Producida por la acción de la humedad, temperatura, viento y precipitaciones.

Por lo general se produce cuando las rocas sufren meteorización provocada por la absorción de agua lluvia la cual con temperaturas bajas hace que el material se dilate y se produzca rotura en las láminas superficiales del mismo.

Lesiones mecánicas: Originadas por un factor mecánico que provoca movimiento, desgaste superficial, abertura o separación de material o elementos constructivos.

Grietas. Son aberturas a lo largo del elemento constructivo y que afectan su espesor. Se pueden dar por exceso de carga, cuando el elemento es sometido a una carga superior a la de diseño y requiere un refuerzo para mantener la seguridad de la unidad constructiva.

Lesiones químicas: Se producen a partir de un proceso patológico de carácter químico.
(Broto, 2008)

Según el documento Eflorescencias del concreto, se define la eflorescencia como un depósito de sales, mayormente de color blanco, que se forma en la superficie, cuando la sustancia

en solución sale del interior del concreto hacia la superficie en forma de sales de color blanco-azulado o color gris-blanco. Este fenómeno sucede cuando la humedad disuelve las sales de calcio en el concreto y sale a la superficie a través de los capilares. Cuando las sales llegan a la superficie, reaccionan con el CO₂ en el aire y al evaporarse dejan un depósito mineral que es de carbonato de calcio. (Euclid Group Toxement, 2017)

8.1 Inspección visual

Esta inspección se realizó un recorrido por toda la estructura para identificar las lesiones que presentan tanto el concreto como el pavimento flexible y por ende las patologías que tenemos en el paciente.

Para lograr esta identificación se implementó un formato denominado “Ficha de historia Clínica” en el cual se indican los siguientes datos: Elemento, Material, sistema constructivo del elemento, ubicación de la lesión, tipo de lesión, descripción de la lesión, posibles causas y registro fotográfico.

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA		Especialización en Patología en Construcción			
		Ficha de clasificación de lesiones Puente vehicular El Paso. Vía Girardot - Carmen de Apicalá			
Sistema constructivo	Estado:	Material	Elemento	Ubicación:	
Registro fotográfico de la lesión		Descripción de la lesión (superficie afectada, aspecto físico, color si aplica, longitud, abertura si aplica. Tipo de lesión (física, mecánica, biológica).			
		Localización en el paciente:			
Ensayo realizado sobre la lesión:		Observaciones:			

Figura 6 Ficha de historia clínica

Fuente: elaborado por el autor

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 2.

9 Patologías encontradas

Durante la visita de inspección realizada se encontraron las siguientes patologías:

9.1 Registro fotográfico



Figura 7 Descripción fisuramiento viga central detalle
Fuente: elaborado por el autor



Figura 8 Descripción: viga central vista general - Ubicación: Pilar margen derecha
Fuente: elaborado por el autor



*Figura 9 Descripción: Pérdida de material y exposición del refuerzo. - Ubicación: Dovela parte inferior
Fuente: elaborado por el autor.*



*Figura 10 Descripción: Pérdida de material, exposición del refuerzo. - Ubicación: Baranda costado sur.
Fuente: elaborado por el autor.*



*Figura 11 Descripción: Fisuramiento transversal. - Ubicación: Andén
Fuente: elaborado por el autor.*



*Figura 12 Descripción: Fisuramiento en la superficie del pavimento flexible. - Ubicación: Pavimento flexible
Fuente: elaborado por el autor*



*Figura 13 Descripción: Hundimiento. - Ubicación: Pavimento flexible
Fuente: elaborado por el autor*

10 Ensayos realizados

Para determinar las características de las patologías existentes en el paciente, se realizaron ensayos no destructivos sobre su superficie.

10.1 Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos son pruebas realizadas a diferentes materiales que no alteran de forma permanente las propiedades químicas, físicas, mecánicas y sus dimensiones. Estos ensayos implican daños imperceptibles o nulos.

Para el puente vehicular “El Paso” se usó la inspección visual en la cual se realizó una toma de datos preliminar identificando las lesiones más relevantes y tomando un registro fotográfico de las mismas; también se instalaron fisurómetros en las diferentes fisuras encontradas para verificar la existencia de movimiento en la estructura y aumento de la apertura en las mismas. Este estudio hace referencia al fisuramiento encontrado en el concreto del puente y en las lesiones que se identificaron sobre el pavimento flexible.

Es importante mencionar que el año de construcción de la estructura incide en el deterioro presentado actualmente ya que para la época en la cual se llevaron a cabo las actividades de ejecución del puente, no existía en el país una norma bajo la cual se pudieran regir los diseños del mismo.

Fisuras y grietas presentes en el puente – Fisurómetros instalados



Figura 14 Fisurómetro colocado en el puente con la medida de la separación tomada en diferentes fechas.
Fuente: elaborado por el autor

De acuerdo con lo indicado en el Manual para la Inspección de Pavimentos Flexibles del Instituto Nacional de Vías, las grietas y fisuras se definen como roturas que aparecen en el concreto debido a tensiones superiores a su capacidad resistente y su origen puede ser físico, químico y mecánico, como se mencionó con anterioridad en el presente estudio.

Para el pavimento flexible, existen diferentes lesiones las cuales se indican a continuación:

- **Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT):** Aberturas en la carpeta asfáltica, las cuales se ubican en la misma dirección del tránsito o en dirección transversal. Indican la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales son superiores a su resistencia.
- **Fisuras en juntas de construcción (FCL, FCT):** Aberturas en dirección longitudinal o transversal que se originan por la mala ejecución de las juntas de construcción de la capa asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación.
- **Fisuras en bloque (FB):** En este tipo de lesión, el asfalto se presenta dividido en bloques de forma rectangular con un lado promedio mayor a 0,30 m. Este tipo de afectación aparece en áreas no cargadas, contrario a la lesión del tipo piel de cocodrilo, aunque es común encontrar fisuras en bloque que se han convertido en piel de cocodrilo por acción del tráfico. Sin embargo, la piel de cocodrilo generalmente está formada por bloques con más lados y ángulos agudos.
- **Hundimiento (HUN):** Son desplomes del pavimento con respecto al nivel de la rasante. Genera problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidroplaneo. Pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía, o pueden tener forma de medialuna.

- **Descascaramiento (DC):** Se caracteriza por el desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas de la estructura.
- **Cabezas Duras (CD):** Sucede cuando hay agregados expuestos fuera de la arena – asfalto, lo cual la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo para el conductor.
- **Abultamiento (AB):** se presenta cuando hay prominencias en la superficie de la capa asfáltica. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes. (Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles, Invías, 2006)

Las afectaciones encontradas para el paciente se muestran en el Anexo 3.

11 Tipos de lesiones

11.1 Generalidades

Las lesiones son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo, es decir el síntoma final de un problema patológico. Es importante conocer la tipología de las lesiones porque este es el punto de partida del estudio patológico y de su identificación depende la elección del tratamiento a aplicar.

Se pueden dividir en tres grandes familias en función del carácter y la tipología del proceso patológico: físicas, mecánicas y químicas. (Broto, 2008)

Para evaluar el efecto de las lesiones encontradas en el paciente, se emplearon ensayos no destructivos que se describen a continuación:

11.2 Ensayo del martillo de rebote

Según la Norma del Instituto Nacional de Vías E-413, la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área y se expresa en términos de esfuerzo. A continuación, se indica el equipo y el procedimiento de acuerdo con dicha norma:

- **Equipo**

Martillo de rebote o esclerómetro de rebote – Es un martillo de acero impulsado por un resorte que al dispararse golpea un émbolo de acero en contacto con la superficie del concreto. Debe funcionar con una velocidad fija y reproducible. La distancia de rebote se mide en una escala lineal adosada a la envoltura del instrumento.

Piedra abrasiva – Piedra de carburo de silicio con una textura de grado medio o material equivalente.

- **Procedimiento**

El instrumento se debe sujetar firmemente en una posición que permita golpear perpendicularmente la superficie por ensayar. Se aumenta gradualmente la presión hasta que el martillo dispare. Después del impacto, se mantiene la presión sobre el aparato y, si es necesario, se oprime el botón lateral del aparato para bloquear el émbolo en la posición replegada. Se lee el número de rebote en la escala redondeando al entero y se hace la anotación correspondiente. Se repite la operación realizando impactos uniformemente repartidos en la superficie de ensayo hasta completar 10 valores registrados. La separación entre los impactos debe ser, al menos de 25 mm. Se examina la impresión dejada por cada impacto; si este produce trituración superficial o rompe a través de un vacío de aire cercano a la superficie, se descarta la lectura y se toma otra.

- **Costado derecho**

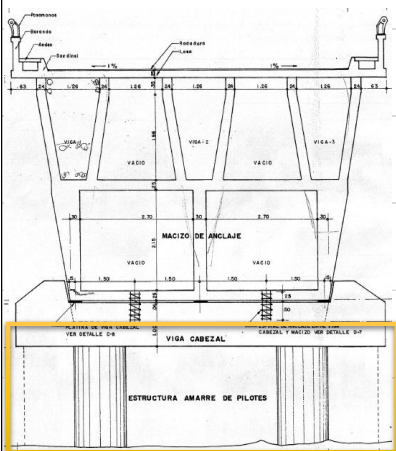
COSTADO DERECHO / VEREDA EL PASO - RICAURTE CUNDINAMARCA												
	Medida a 90°											
	42	40	38	41	39	40	41	44				
	39	42	44	38	39	44	42	44				
	40	42	44	42	38	37	39	40				
	40	38	39	40	41	44	38	35				
	PROMEDIO: 41				PROMEDIO: 40							
	ELEMENTO: Estructura Amarre De Pilotes				Registro Fotografico				RESISTENCIA PSI: 5369 PSI			
								RESISTENCIA PSI: 5298 PSI				

Figura 15 Martillo de rebote costado derecho

Fuente: elaborado por el autor basado en la Norma INV – E-413-13

Tabla 5 Resistencia obtenida en ensayo en campo para amarre de pilotes

Estructura amarre de pilotes							
LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI	LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI
40	370	36.28	5262	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	39	350	34.32	4978
42	400	39.23	5689	38	340	33.34	4836
42	400	39.23	5689	41	380	33.34	5405
39	350	34.32	4978	40	370	36.28	5262
38	340	33.34	4836	39	350	34.32	4978
42	400	39.23	5689	38	340	33.34	4836
44	430	42.17	6116	38	340	33.34	4836
42	400	39.23	5689	39	350	34.32	4978
41	380	33.34	5405	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	44	430	42.17	6116
42	400	39.23	5689	42	400	39.23	5689
44	430	42.17	6116	40	370	36.28	5262
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
41	380	33.34	5405	39	350	34.32	4978
PROMEDIO	385	37.27	5476	PROMEDIO	368	35.06	5227

Fuente: elaborado por el autor

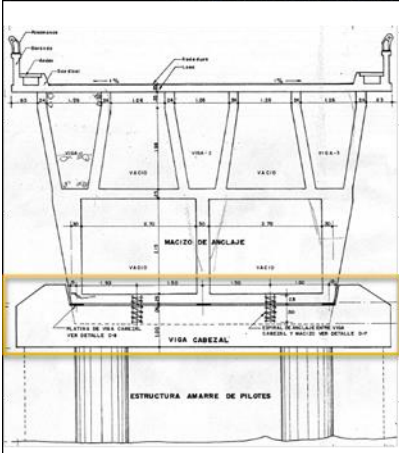
COSTADO DERECHO / VEREDA EL PASO - RICAURTE CUNDINAMARCA									
	MEDIDA: A 90°								
	39	40	41	42	35	38	40	48	
	44	43	39	40	44	46	44	40	
	37	36	35	44	39	39	39	40	
	40	39	42	40	40	40	38	38	
	40				41				
ELEMENTO: Viga Cabezal	Registro Fotografico				RESISTENCIA PSI: 5254 PSI				RESISTENCIA PSI: 5365 PSI

Figura 16 Martillo de rebote costado derecho viga cabezal

Fuente: elaborado por el autor basado en la Norma INV – E-413-13

Tabla 6 Resistencias obtenidas en campo para viga cabezal

Viga Cabezal							
LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI	LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI
39	350	34.32	4978	35	290	28.44	4125
40	370	36.28	5262	38	340	33.34	4836
41	380	33.34	5405	40	370	36.28	5262
42	400	39.23	5689	48	500	49.03	7111
44	430	42.17	6116	44	430	42.17	6116
43	420	41.19	5974	46	465	45.60	6614
39	350	34.32	4978	44	430	42.17	6116
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
37	320	31.38	4551	39	350	34.32	4978
36	310	30.40	4409	39	350	34.32	4978
35	290	28.44	4125	39	350	34.32	4978
44	430	42.17	6116	40	370	36.28	5262
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
39	350	34.32	4978	40	370	36.28	5262
42	400	39.23	5689	38	340	33.34	4836
40	370	36.28	5262	38	340	33.34	4836
PROMEDIO	369	35.98	5254	PROMEDIO	377	36.99	5365

Fuente: elaborado por el autor

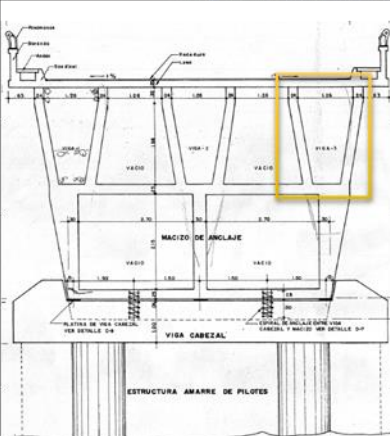
COSTADO DERECHO / VEREDA EL PASO - RICAURTE CUNDINAMARCA									
	MEDIDA: A 90°								
	38	38	39	40	35	36	38	40	
	41	44	42	42	40	42	42	40	
	42	40	41	38	41	40	40	42	
	44	45	46	38	42	40	41	42	
	41				40				
ELEMENTO: Viga-3	Registro Fotografico				RESISTENCIA PSI: 5498 PSI				RESISTENCIA PSI: 5262 PSI

Figura 17 Martillo de rebote Viga 3

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 7 Resistencias obtenidas en campo para viga -3

Viga-3							
LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI	LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI
38	340	33.34	4836	35	290	28.44	4125
38	340	33.34	4836	36	310	30.40	4409
39	350	34.32	4978	38	340	33.34	4836
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
41	380	33.34	5405	40	370	36.28	5262
44	430	42.17	6116	42	400	39.23	5689
42	400	39.23	5689	42	400	39.23	5689
42	400	39.23	5689	40	370	36.28	5262
42	400	39.23	5689	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
41	380	33.34	5405	40	370	36.28	5262
38	340	33.34	4836	42	400	39.23	5689
44	430	42.17	6116	42	400	39.23	5689
45	450	44.13	6400	40	370	36.28	5262
46	465	45.60	6614	41	380	33.34	5405
38	340	33.34	4836	42	400	39.23	5689
PROMEDIO	387	37.42	5498	PROMEDIO	370	35.79	5262

Fuente: elaborado por el autor

- Costado izquierdo

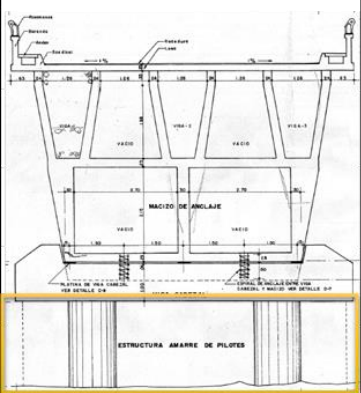
COSTADO IZQUIERDO / VEREDA CAÑAVERALES - CARMEN DE APICALA TOLIMA							
				Medida a 90°			
				40	40	40	42
				42	39	38	42
				44	42	41	40
				42	44	40	41
ELEMENTO: Estructura Amarre De Pilotes				41			
				41	41	39	38
				41	40	39	38
				38	39	41	44
				42	40	40	39
				40			
Registro Fotografico				RESISTENCIA PSI: 5476 PSI			
				RESISTENCIA PSI: 5227 PSI			

Figura 18 Martillo de rebote para amarre de pilotes costado izquierdo

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 8 Resistencias obtenidas en campo para amarre de pilotes

Estructura Amarre De Pilotes							
LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI	LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI
40	370	36.28	5262	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	39	350	34.32	4978
42	400	39.23	5689	38	340	33.34	4836
42	400	39.23	5689	41	380	33.34	5405
39	350	34.32	4978	40	370	36.28	5262
38	340	33.34	4836	39	350	34.32	4978
42	400	39.23	5689	38	340	33.34	4836
44	430	42.17	6116	38	340	33.34	4836
42	400	39.23	5689	39	350	34.32	4978
41	380	33.34	5405	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	44	430	42.17	6116
42	400	39.23	5689	42	400	39.23	5689
44	430	42.17	6116	40	370	36.28	5262
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
41	380	33.34	5405	39	350	34.32	4978
PROMEDIO	385	37.27	5476	PROMEDIO	368	35.06	5227

Fuente: elaborado por el autor

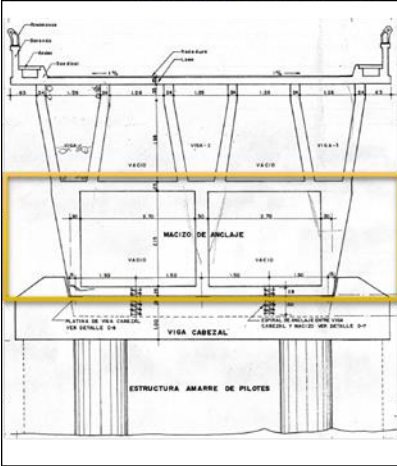
COSTADO IZQUIERDO / VEREDA CAÑAVERALES - CARMEN DE APICALA TOLIMA									
	Medida a 90°								
	38	38	40	40	39	39	41	41	
	40	42	40	38	42	41	40	40	
	39	42	38	39	39	42	42	37	
	40	41	42	44	38	39	38	37	
	40				40				
ELEMENTO: Macizo De Anclaje	Registro Fotografico			RESISTENCIA PSI: 5262 PSI			RESISTENCIA PSI: 5156 PSI		
									

Figura 19 Martillo de rebote para macizo de anclaje, costado izquierdo

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 9 Resistencia obtenida en campo para el macizo de anclaje costado izquierdo

Macizo De Anclaje							
LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI	LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI
38	340	33.34	4836	39	350	34.32	4978
38	340	33.34	4836	39	350	34.32	4978
40	370	36.28	5262	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	42	400	39.23	5689
42	400	39.23	5689	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
38	340	33.34	4836	40	370	36.28	5262
39	350	34.32	4978	39	350	34.32	4978
42	400	39.23	5689	42	400	39.23	5689
38	340	33.34	4836	42	400	39.23	5689
39	350	34.32	4978	37	320	31.38	4551
40	370	36.28	5262	38	340	33.34	4836
41	380	33.34	5405	39	350	34.32	4978
42	400	39.23	5689	38	340	33.34	4836
44	430	42.17	6116	37	320	31.38	4551
PROMEDIO	370	36.04	5262	PROMEDIO	363	34.81	5156

Fuente: elaborado por el autor

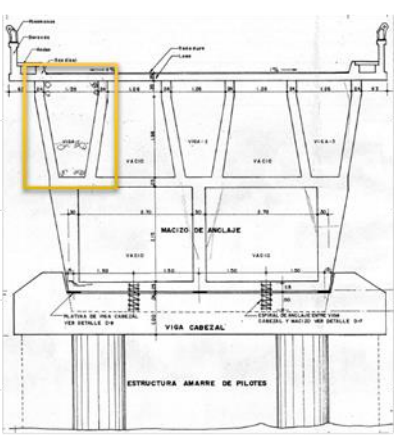
COSTADO IZQUIERDO / VEREDA CAÑAVERALES - CARMEN DE APICALA TOLIMA											
	Medida a 90°										
	39	39	38	39	44	40	42	44			
	41	38	39	40	42	41	41	44			
	41	40	44	39	42	40	42	40			
	41	40	37	42	40	42	44	41			
	40				42						
ELEMENTO: Viga-1				Registro Fotografico				RESISTENCIA PSI: 5182 PSI			
								RESISTENCIA PSI: 5636 PSI			

Figura 20 Martillo de rebote Viga-1 Costado izquierdo

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 10 Resistencias obtenidas en campo para Viga -1

Viga-1							
LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI	LECTURA	Kg/cm2	Mpa	PSI
39	350	34.32	4978	44	430	42.17	6116
39	350	34.32	4978	40	370	36.28	5262
38	340	33.34	4836	42	400	39.23	5689
39	350	34.32	4978	44	430	42.17	6116
41	380	33.34	5405	42	400	39.23	5689
38	340	33.34	4836	41	380	33.34	5405
39	350	34.32	4978	41	380	33.34	5405
40	370	36.28	5262	44	430	42.17	6116
41	380	33.34	5405	42	400	39.23	5689
40	370	36.28	5262	40	370	36.28	5262
44	430	42.17	6116	42	400	39.23	5689
39	350	34.32	4978	40	370	36.28	5262
41	380	33.34	5405	40	370	36.28	5262
40	370	36.28	5262	42	400	39.23	5689
37	320	31.38	4551	44	430	42.17	6116
42	400	39.23	5689	41	380	33.34	5405
PROMEDIO	364	35	5182	PROMEDIO	396	38.12	5636

Fuente: elaborado por el autor

11.3 Ensayo de la fenolftaleína

De acuerdo con lo indicado por Eduardo González Díaz en su Manual de Sesiones prácticas para Materiales de construcción, la medida de la profundidad de la capa carbonatada en los hormigones se determina por la reducción de la alcalinidad que supone la carbonatación, la cual puede se mide a través de un indicador de pH, que la hace visible por cambios de coloración. Cuando el color es rojo-púrpura para valores de pH superiores a 9,5 (hormigón no carbonatado) y se vuelve incolora en valores inferiores a 8 (hormigón carbonatado). Para valores entre 8 y 9,5 toma tonalidades entre rojo y rojo-púrpura.

- **Material y equipos**

Disolución de fenolftaleína al 1% disuelta en alcohol etílico al 70%.

- **Procedimiento**

La medida de la penetración del frente carbonatado debe realizarse directamente sobre la superficie de la estructura a estudiar e inmediatamente después de la toma de muestra. No es necesario que las porciones tengan una geometría particular; es suficiente que las dimensiones permitan medir la profundidad de la capa carbonatada, desde una de sus caras, que debe de ser siempre la cara exterior del elemento.

La superficie de toma de muestra debe estar seca. También se puede realizar el ensayo sobre un orificio, en seco, con dimensiones adecuadas para tomar las medidas. Cuando se requiera conocer si la carbonatación ya alcanzó la armadura de la estructura, se puede eliminar la capa de hormigón hasta el refuerzo y proceder a la aplicación de la disolución de indicador. Es importante mencionar que cuando la determinación se realiza en el sitio, las muestras no deben tomarse en zonas donde el recubrimiento de concreto se encuentre suelto o existan fisuras, a menos que se quiera comprobar si estas regiones se han carbonatado.

Para todos los casos la medida debe realizarse sobre una superficie limpia y libre de partículas sueltas o que se haya fracturado recientemente, ya que dadas estas condiciones tiende a carbonatarse con rapidez. Cuando no es posible aplicar la solución de indicador al momento de la fractura, la muestra debe almacenarse en un recipiente hermético y sin contenido de aire, hasta que pueda procederse a su ensayo, recomendándose que el tiempo no exceda las 24 horas.

La solución del indicador puede aplicarse mediante goteo, o cualquier otro procedimiento que permita extender una capa relativamente fina y uniforme sobre la superficie. Debe evitarse

su aplicación en exceso o sobre áreas mojadas dado que se darían escorrentías que dan lugar a resultados erróneos.

Si no hay color o este es muy débil, debe hacerse el ensayo nuevamente, siempre y cuando la superficie se encuentra completamente seca desde la primera aplicación de la solución y también se debe tener en cuenta que esté protegida del contacto con el aire durante este lapso de tiempo. Si lo que se busca es la estabilización del color de manera temporal, puede cubrirse la superficie seca con resina o barniz. Documento de referencia: Materiales de Construcción: Sesiones de prácticas. Tema 5. González, 2011. El ensayo se realizó en cada pilar del puente cerca de la cuadrícula demarcada donde se efectuó el ensayo del esclerómetro para poder posteriormente realizar el cálculo de corrección al resultado de obtenido con el martillo de rebote.

- **Costado derecho- Vereda El Paso, Municipio de Ricaurte – Cundinamarca**

Paso 1: se realizaron golpes constantes y fuertes con un martillo hasta lograr romper el concreto y poder profundizar en el mismo e ir rociando la solución de fenolftaleína hasta obtener el color fucsia esperado.



*Figura 21 Paso 1 ensayo de la fenolftaleína
Fuente: elaborado por el autor*

Paso 2: luego de obtener la coloración fucsia que nos indica encontrar concreto con un $\text{ph} > 6$ es decir un concreto sano sin afectación de la carbonatación, se procede a medir con un testigo la profundidad en la que se encuentra el concreto en buenas condiciones.



Figura 22 Paso 2 ensayo de la fenolftaleína
Fuente: elaborado por el autor

Paso 3: Por último, se realiza la medición del testigo en milímetro para así poder realizar la corrección por carbonatación a la resistencia obtenida del martillo de rebote.



Figura 23 Profundidad de carbonatación: 15mm
Fuente: elaborado por el autor

- **Corrección por carbonatación**

Resistencia verdadera: Resistencia aparente (Mpa) X coeficiente de corrección

Resistencia aparente: 5369 PSI = 37,27 Mpa

Coeficiente de corrección: 15mm = >6mm

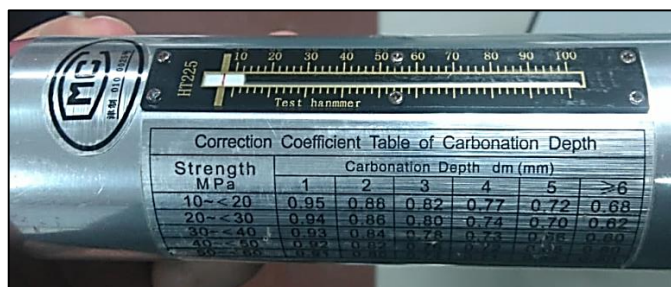


Figura 24 Martillo de rebote
Fuente: elaborado por el autor

Strength MPa	Carbonation Depth dm (mm)					
	1	2	3	4	5	≥6
10~<20	0.95	0.88	0.82	0.77	0.72	0.68
20~<30	0.94	0.86	0.80	0.74	0.70	0.62
30~<40	0.93	0.84	0.78	0.73	0.66	0.60
40~<50	0.92	0.82	0.76	0.72	0.65	0.60
50~<60	0.91	0.80	0.74	0.71	0.64	0.60

→ factor de corrección: 0.60

Figura 25 Tabla de corrección
Fuente: elaborado por el autor

Rv: 37, 27 Mpa X 0,60 =22,36 Mpa → **3243 PSI**

- Costado Izquierdo – Vereda Cañaverales



Figura 26 Cuadrícula y orificio
Fuente: elaborado por el autor



Figura 27 Detalle orificio
Fuente: elaborado por el autor



Figura 28 Testigo

Fuente: elaborado por el autor



Figura 29 Detalle profundidad

Fuente: elaborado por el autor

Profundidad De Carbonatación: 7mm

En las siguientes tablas se tiene la corrección por carbonatación realizada para cada elemento de la estructura.

- **Costado derecho – Ricaurte, Cundinamarca**

Tabla 11 Resistencia corregida por carbonatación para amarre de pilotes

Corrección por carbonatación							
Elemento: Estructura amarre de pilotes							
Coeficiente de corrección: 0,60							
Resistencia Aparente		Resistencia Real		Resistencia Aparente		Resistencia Real	
Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI
39,23	5689	23,54	3414	34,32	4978	20,59	2987
36,28	5262	21,77	3157	36,28	5262	21,77	3157
33,34	4836	20,00	2901	33,34	5405	20,00	2901
33,34	5405	20,00	2901	42,17	6116	25,30	3670
34,32	4978	20,59	2987	34,32	4978	20,59	2987
39,23	5689	23,54	3414	42,17	6116	25,30	3670
42,17	6116	25,30	3670	39,23	5689	23,54	3414
33,34	4836	20,00	2901	42,17	6116	25,30	3670
36,28	5262	21,77	3157	33,34	4836	20,00	2901
39,23	5689	23,54	3414	31,38	4551	18,83	2731
42,17	6116	25,30	3670	34,32	4978	20,59	2987
39,23	5689	23,54	3414	36,28	5262	21,77	3157
36,28	5262	21,77	3157	33,34	5405	20,00	2901
33,34	4836	20,00	2901	42,17	6116	25,30	3670
34,32	4978	20,59	2987	33,34	4836	20,00	2901
36,28	5262	21,77	3157	28,44	4125	17,06	2475
36.77	5369	22	3200	36.04	5298	22	3136
Resistencia PSI:						3168	

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 12 Resistencia corregida por carbonatación para viga cabezal

Corrección por carbonatación							
Elemento: Viga Cabezal							
Coeficiente de corrección: 0,60							
Resistencia Aparente		Resistencia Real		Resistencia Aparente		Resistencia Real	
Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI
34,32	4978	20,59	2987	28,44	4125	17,06	2475
36,28	5262	21,77	3157	33,34	4836	20,00	2901
33,34	5405	20,00	2901	36,28	5262	21,77	3157
39,23	5689	23,54	3414	49,03	7111	29,42	4267
42,17	6116	25,30	3670	42,17	6116	25,30	3670
41,19	5974	24,71	3584	45,6	6614	27,36	3968
34,32	4978	20,59	2987	42,17	6116	25,30	3670
36,28	5262	21,77	3157	36,28	5262	21,77	3157
31,38	4551	18,83	2731	34,32	4978	20,59	2987
30,4	4409	18,24	2645	34,32	4978	20,59	2987
28,44	4125	17,06	2475	34,32	4978	20,59	2987
42,17	6116	25,30	3670	36,28	5262	21,77	3157
36,28	5262	21,77	3157	36,28	5262	21,77	3157
34,32	4978	20,59	2987	36,28	5262	21,77	3157
39,23	5689	23,54	3414	33,34	4836	20,00	2901
36,28	5262	21,77	3157	33,34	4836	20,00	2901
35,98	5254	22	3131	36,99	5365	22	3219
Resistencia PSI:						3175	

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 13 Resistencia corregida por carbonatación para Viga -3

Corrección por carbonatación							
Elemento: Viga-3							
Coeficiente de corrección: 0,60							
Resistencia Aparente		Resistencia Real		Resistencia Aparente		Resistencia Real	
Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI
33,34	4836	20,00	2901	35	290	21,00	3046
33,34	4836	20,00	2901	36	310	21,60	3133
34,32	4978	20,59	2987	38	340	22,80	3307
36,28	5262	21,77	3157	40	370	24,00	3481
33,34	5405	20,00	2901	40	370	24,00	3481
42,17	6116	25,30	3670	42	400	25,20	3655
39,23	5689	23,54	3414	42	400	25,20	3655
39,23	5689	23,54	3414	40	370	24,00	3481
39,23	5689	23,54	3414	41	380	24,60	3568
36,28	5262	21,77	3157	40	370	24,00	3481
33,34	5405	20,00	2901	40	370	24,00	3481
33,34	4836	20,00	2901	42	400	25,20	3655
42,17	6116	25,30	3670	42	400	25,20	3655
44,13	6400	26,48	3840	40	370	24,00	3481
45,6	6614	27,36	3968	41	380	24,60	3568
33,34	4836	20,00	2901	42	400	25,20	3655
37.42	5498	22	3256	35.79	5262	24	3486
Resistencia PSI:						3371	

Fuente: elaborado por el autor

- **Costado izquierdo, Carmen de Apicalá, Tolima**

Tabla 14 Resistencia corregida por carbonatación para estructura de amarre de pilotes

Corrección por carbonatación							
Elemento: Estructura amarre de pilotes							
Coeficiente de corrección: 0,60							
Resistencia Aparente		Resistencia Real		Resistencia Aparente		Resistencia Real	
Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI
36,28	5262	21,77	3157	33,34	5405	20	2901
36,28	5262	21,77	3157	33,34	5405	20	2901
36,28	5262	21,77	3157	34,32	4978	20,59	2987
39,23	5689	23,54	3414	33,34	4836	20	2901
39,23	5689	23,54	3414	33,34	5405	20	2901
34,32	4978	20,59	2987	36,28	5262	21,77	3157
33,34	4836	20,00	2901	34,32	4978	20,59	2987
39,23	5689	23,54	3414	33,34	4836	20	2901
42,17	6116	25,30	3670	33,34	4836	20	2901
39,23	5689	23,54	3414	34,32	4978	20,59	2987
33,34	5405	20,00	2901	33,34	5405	20	2901
36,28	5262	21,77	3157	42,17	6116	25,3	3670
39,23	5689	23,54	3414	39,23	5689	23,54	3414
42,17	6116	25,30	3670	36,28	5262	21,77	3157
36,28	5262	21,77	3157	36,28	5262	21,77	3157
33,34	5405	20,00	2901	34,32	4978	20,59	2987
37,27	5476	22	3243	35,06	5227	21	3051
Resistencia PSI:						3147	

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 15 Resistencia corregida por carbonatación para macizo de anclaje

Corrección por carbonatación							
Elemento: Macizo de anclaje							
Coeficiente de corrección: 0,60							
Resistencia Aparente		Resistencia Real		Resistencia Aparente		Resistencia Real	
Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI
33,34	4836	20,00	2901	34,32	4978	20,59	2987
33,34	4836	20,00	2901	34,32	4978	20,59	2987
36,28	5262	21,77	3157	33,34	5405	20,00	2901
36,28	5262	21,77	3157	33,34	5405	20,00	2901
36,28	5262	21,77	3157	39,23	5689	23,54	3414
39,23	5689	23,54	3414	33,34	5405	20,00	2901
36,28	5262	21,77	3157	36,28	5262	21,77	3157
33,34	4836	20,00	2901	36,28	5262	21,77	3157
34,32	4978	20,59	2987	34,32	4978	20,59	2987
39,23	5689	23,54	3414	39,23	5689	23,54	3414
33,34	4836	20,00	2901	39,23	5689	23,54	3414
34,32	4978	20,59	2987	31,38	4551	18,83	2731
36,28	5262	21,77	3157	33,34	4836	20,00	2901
33,34	5405	20,00	2901	34,32	4978	20,59	2987
39,23	5689	23,54	3414	33,34	4836	20,00	2901
42,17	6116	25,30	3670	31,38	4551	18,83	2731
36,04	5262	22	3136	34,81	5156	21	3029
Resistencia PSI:						3083	

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 16 Resistencia corregida por carbonatación para Viga -1

Corrección por carbonatación							
Elemento: Viga-1							
Coeficiente de corrección: 0,60							
Resistencia Aparente		Resistencia Real		Resistencia Aparente		Resistencia Real	
Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI	Mpa	PSI
34,32	4978	20,59	2987	42,17	6116	25,30	3670
34,32	4978	20,59	2987	36,28	5262	21,77	3157
33,34	4836	20,00	2901	39,23	5689	23,54	3414
34,32	4978	20,59	2987	42,17	6116	25,30	3670
33,34	5405	20,00	2901	39,23	5689	23,54	3414
33,34	4836	20,00	2901	33,34	5405	20,00	2901
34,32	4978	20,59	2987	33,34	5405	20,00	2901
36,28	5262	21,77	3157	42,17	6116	25,30	3670
33,34	5405	20,00	2901	39,23	5689	23,54	3414
36,28	5262	21,77	3157	36,28	5262	21,77	3157
42,17	6116	25,30	3670	39,23	5689	23,54	3414
34,32	4978	20,59	2987	36,28	5262	21,77	3157
33,34	5405	20,00	2901	36,28	5262	21,77	3157
36,28	5262	21,77	3157	39,23	5689	23,54	3414
31,38	4551	18,83	2731	42,17	6116	25,30	3670
39,23	5689	23,54	3414	33,34	5405	20,00	2901
35	5182	21	3045	38,12	5636	23	3318
Resistencia PSI:						3181	

Fuente: elaborado por el autor

Una vez realizados los cálculos con los datos proporcionados por el martillo de rebote, se calcula la resistencia verdadera para los elementos estructurales sobre los cuales se realizó el ensayo y se evidencia que está en un rango entre 3000 y 4000 psi. De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta las condiciones de diseño y construcción, así como también las condiciones climáticas de la zona donde se ubica el paciente, se puede inferir que las altas temperaturas a las cuales se vio expuesto hizo que la humedad interactuara con el cemento y el dióxido de carbono presente en el ambiente produciendo carbonatación en la estructura.

Por otra parte, de acuerdo con la información recibida por los habitantes de las zonas habitadas aledañas al puente, durante un periodo de tiempo que no fue determinado, hubo tránsito de vehículos pesados debido a la apertura de fuentes de explotación mineral en el costado del Tolima. Lo anterior ocasionó el fisuramiento progresivo del puente en la dovela de este costado y en la capa de rodadura, ya que la estructura fue sometida a una sobrecarga para la cual no estaba diseñada. Se observó fisuramiento en la capa de rodadura, pérdida de material y exposición del refuerzo en las barandas del puente y fisuramiento en la dovela mencionada con anterioridad.

12 Diagnóstico

Cuando se han identificado las lesiones que presenta nuestro paciente, se procede a realizar un diagnóstico en el cual se hace referencia a la determinación del origen (posibles causas), la evolución de dichas lesiones, la afectación al paciente y el estado en la actualidad.

Teniendo en cuenta el producto obtenido de los diferentes ensayos realizados sobre el puente “El Paso”, se determina que hay una reducción en la resistencia del concreto debida a la carbonatación del mismo, algunas eflorescencias y adicionalmente se presenta fisuramiento tanto en la dovela del costado del departamento del Tolima, como en la capa de rodadura colocada para la circulación de los vehículos. Con la información anterior y los formatos usados para la inspección visual, es posible realizar un diagnóstico en el cual se denota la siguiente información: Nombre de la lesión, ubicación en el paciente, registro fotográfico, ensayos a realizados.

Estas fichas se anexan al presente trabajo y los planos de localización han sido incluidos en cada una de ellas.

12.1 Fisuras

Las fisuras son el resultado de los esfuerzos que actúan sobre los elementos estructurales. Normalmente cualquier elemento de concreto reforzado es propenso a que presente fisuramiento bajo las cargas normales de servicio, sin embargo cuando el ancho de las fisuras producidas es grande (mayor a 0.5 mm) se considera como una manifestación patológica y puede afectar el funcionamiento de la estructura. (INVIAS, 2006)

12.2 Eflorescencias

Las eflorescencias son depósitos de sales que salen del concreto, que se cristalizan luego de la evaporación del agua que las transportó. Se presentan con frecuencia en el concreto cuando el agua tiene la posibilidad de filtrarse a través del material, de manera continua o intermitente y también cuando suceden procesos de humedecimiento y secado de manera alternada. (Calavera, 1996) y (Sánchez de Gúzman, 2002).

Las eflorescencias en sí mismas no constituyen un problema de durabilidad de las estructuras, sin embargo, además de afectar la estética, ocasionan un incremento de la porosidad del concreto y un aumento en la permeabilidad, permitiendo que el concreto sea más vulnerable a otras patologías que deterioran la estructura. La cuantificación de este daño deberá realizarse por área afectada. (Invías, 2006).

12.3 Carbonatación

El Manual de Inspección Visual para pavimentos flexibles del Instituto Nacional Vías, indica que la carbonatación se presenta como resultado de la reacción química entre el dióxido de carbono presente en el aire con el componente alcalino del concreto. Avanza con lentitud pero de forma continua hacia el interior de la superficie del concreto que se encuentra expuesta, facilitando así la corrosión del acero de refuerzo que forman parte integral de las estructuras del concreto, contribuyendo a su deterioro. (Invías, 2006)

13 Propuestas de intervención

Con los datos obtenidos a partir de la inspección visual, el diligenciamiento de las fichas de historia clínica, los esquemas de localización de las lesiones y los ensayos no destructivos realizados sobre el paciente, se presentan dos alternativas de intervención.

La primera opción involucra la ejecución de actividades correspondientes al reforzamiento de las dovelas del puente con fibra de carbono, reposición de las barandas en concreto con colocación de pasamanos metálico, lavado de las eflorescencias encontradas, aplicación de impermeabilizante acrílico sobre el concreto y para el pavimento flexible se sugiere la colocación de una capa de base de 10 cms de espesor y una capa de rodadura de 5 cms de espesor.

La segunda opción propuesta es la demolición de la estructura en su totalidad debido a que su diseño no estuvo sujeto al cumplimiento de normatividad vigente en el país para este tipo de estructuras en el momento de su construcción; es importante mencionar que por requerimientos de tráfico actuales es necesario diseñar y construir una nueva estructura que cumpla con las solicitudes de uso en la actualidad.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES				
1.1	Campamento 18 m ²	Un	1	\$ 2.051.712,00	\$ 2.051.712,00
1.2	Cerca en tela verde H=2,10m	Ml	97	\$ 21.934,00	\$ 2.127.598,00
1.3	Localización y replanteo	m ²	270,9	\$ 10.731,00	\$ 2.907.027,90
1.4	Demolición pavimento asfáltico (incluye cargue)	m ²	220,5	\$ 26.778,00	\$ 5.904.549,00
1.5	Demolición de concreto, espesores 8 a 15 cm (incluye retiro de material, transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado).	m ³	126,4	\$ 58.345,00	\$ 7.374.808,00
2	ESTRUCTURAS DE CONCRETO				
2.1	Revestimiento dovelas concreto de 5000 psi	m ³	94,5	\$ 902.380,00	\$ 85.274.910,00
2.2	Acero figurado 60000 psi	Kg	10920,3	\$ 4.569,00	\$ 49.894.850,70
2.3	Andén concreto de 3000 psi	m ³	32,1	\$ 546.532,00	\$ 17.543.677,20
2.4	Acero figurado 60000 psi	Kg	3526,6	\$ 4.569,00	\$ 16.113.035,40
	Impermeabilizante acrílico	Gl	25	\$ 51.898,00	\$ 1.297.450,00
	PAVIMENTO ASFÁLTICO				
3.1	Riego de imprimación	m ²	665,84	\$ 3.311,00	\$ 2.204.604,52
3.2	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19 (incluye cemento asfáltico)	m ³	33,29	\$ 591.103,00	\$ 19.679.074,96
3.3	Acero figurado 60000 psi	m3	66,58	\$ 598.779,00	\$ 39.869.250,63
4	Baranda metálica	ml	160	\$ 423.248,00	\$ 67.719.680,00
5	Reforzamiento estructural en fibra de carbono	m ²	1323	\$ 385.091,92	\$ 509.476.610,16
				Costos directos	\$ 829.438.838,47
				Administración 20%	\$ 165.887.767,69
				Imprevistos 3%	\$ 24.883.165,15
				Utilidad 8%	\$ 66.355.107,08
				Valor total	\$ 1.086.564.878,40

Figura 30 Alternativa 1
Fuente: elaborado por el autor

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
1	Demolición con material exclusivo de la Industria Militar de Colombia - INDUMIL y demolición mecánica de escombros del puente El Paso sobre el río Sumapaz. Incluye: La fracturación del puente, el retiro de todos los escombros y materiales resultantes de la demolición. Responsabilidades del contratista: *Tramitar todos los permisos necesarios para la autorización de la demolición con material explosivo y realizar todas las coordinaciones con las autoridades competentes para la realización de la voladura. *Suministrar personal idóneo y certificado en manejo de material explosivo. *Suministrar los equipos necesarios para la realización de las actividades de demolición y retiro de escombros (explosivos, retroexcavadoras, volquetas, martillos, taladros, andamios, oxicorte, etc.) que cumplan con todas las normas. *Realizar todas las obras necesarias que garanticen la protección de las edificaciones vecinas, redes de servicios públicos, vías y espacio público, etc. *Aplicar y cumplir con todas las normas ambientales y de movilidad. Duración de actividades: *Preparación de la estructura, permisos, socialización, adquisición de material explosivo y accesorios de voladura, cargue, detonación y colapso de la estructura: 1 mes . *Retiro de escombros y liberación de área de terreno del proyecto: 1 mes . Tiempo total: 2 meses.	GB	1	\$ 373.727.735,00	\$ 373.727.735,00
Costo Directo					\$ 373.727.735,00

Figura 31 Alternativa 2

Fuente: elaborado por el autor

Programación propuesta de intervención 2. Duración: Sesenta (60) días calendario.

Cronograma Propuesta de Intervención 2		Mes 1				Mes 2			
Ítem	Descripción	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
1	Permisos de intervención								
	Socialización con la comunidad								
	Preparación de la estructura								
	Adquisición de material explosivo y accesorios de voladura, cargue, detonación y colapso de la estructura.								
	Retiro de escombros y liberación del área de terreno del proyecto								

14 Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados se pueden realizar diversas conclusiones.

En lo referente a los objetivos propuestos para la realización de este informe, se concluye que mediante el análisis minucioso de la información recopilada y los resultados obtenidos sobre las diferentes lesiones encontradas y los factores que determinaron su origen, se pudo realizar una evaluación de la estructura y de esta manera se pueden proponer distintas alternativas para su intervención.

Una vez realizadas las inspecciones al puente vehicular “El Paso” se puede evidenciar que el fisuramiento que se observa tanto en el pavimento asfáltico como en los elementos del concreto fueron ocasionados por factores atribuibles a sobrecargas sobre los mismos debido al tránsito de vehículos pesados (agente externo), antes del cierre del puente para evitar su colapso.

Teniendo en cuenta el estado del puente y el uso que le fue dado, se considera que la mejor propuesta de intervención es la Alternativa 2, para que el paciente sea reemplazado por una nueva estructura que cumpla la normatividad existente en el país ya que es superior el costo para una rehabilitación.

15 Bibliografía

American Concrete Institute . (2008). *Guide to Durable Concrete - ACI 201.2R* . ACI.

Broto, C. (2005). *Patologías de la construcción*. Madrid : Links.

Euclid Group Toxement. (2017). *Eflorescencias del concreto*. Obtenido de Toxement:

http://www.toxement.com.co/media/3396/eflorescencias_concreto.pdf

González, E. (2011). *Materiales de construcción. Sesiones de prácticas. Trabajo de grado* . San Cristóbal de La Laguna: Universidad de La Laguna.

Invias. (2007). *Método para determinar el índice esclerométrico en el concreto endurecido*.

Obtenido de Invias : <file:///C:/Users/HP/Downloads/Norma%20INV%20E-413-07.pdf>

Invias. (26 de junio de 2015). *Norma colombiana de diseño de puentes. CCP14*. Obtenido de

Invias : <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14>

Invias y Universidad Nacional de Colombia. (octubre de 2006a). *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. - Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*. Obtenido de Invias:

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/974-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-flexibles/file>

Invias y Universidad Nacional de Colombia. (octubre de 2006b). *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. - Manual para la inspección visual de puentes y pontones* . Obtenido de Invias :

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos->

tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/976-manual-para-la-inspeccion-visual-de-puentes-y-pontones/file

López, F., Rodríguez, V., Santa, J., Torreño, I., & Ubeda, P. (2004). *Manual de patología de la edificación. Patología de las estructuras: Hormigón y Madera*. Madrid : U.P.M.

Osuna, J. (abril de 1998). *Estudio general sobre las eflorescencias en obra*. Obtenido de Frupesa : <http://www.frupesa.com/uploads/media/Eflorescencias.pdf>

Toirac, J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención. *Ciencia y sociedad*, 29(1), 72-114.

Treviño, E., Buentello, H., & González, R. (s.f.). *Rehabilitación de una estructura de concreto reforzado, severamente deteriorada por exposición a un ambiente industrial agresivo*. Obtenido de SMIE: http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_11/25.PDF

