

**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PUENTE PEATONAL SOBRE LA AVENIDA 40
ENTRE SENA Y CENTRO COMERCIAL VIVA EN LA CIUDAD DE
VILLAVICENCIO (META)**

Ing. INGRID JOHANNA ARANGUREN BEJARANO

Ing. NESTOR HERNAN SUAREZ QUIÑONES

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
VILLAVICENCIO**

2019

**ESTUDIO PATOLÓGICO DEL PUENTE PEATONAL SOBRE LA AVENIDA 40
ENTRE SENA Y CENTRO COMERCIAL VIVA EN LA CIUDAD DE
VILLAVICENCIO (META)**

Ing. INGRID JOHANNA ARANGUREN BEJARANO

Ing. NESTOR HERNAN SUAREZ QUIÑONES

**Trabajo final de grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Patología de la Construcción.**

Director de Investigación

Ing. WALTER MAURICIO BARRETO CASTILLO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
VILLAVICENCIO**

2019

Nota de aceptación

PRESIDENTE DEL JURADO

JURADO LECTOR

JURADO OYENTE

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	10
Introducción	11
1. Justificación	12
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. Marco referencial	15
3.1. Teórico	15
3.1.1. Patologías de los puentes	16
3.2. Legal	17
4. Alcances y limitaciones	18
4.1. Alcances	18
4.2. Limitaciones	19
5. Metodología	20
5.1. Fase 1: Investigación	20
5.1.1. Preliminares	20
5.1.2. Descripción de la selección del paciente	21
5.2. Fase 2: Ejecución en campo	21
5.3. Fase 3: Diagnóstico	22
5.4. Fase 4: Propuestas de intervención	22
6. Historia clínica	23
6.1. Responsables del estudio	23
6.2. Fecha de realización del estudio	23
6.3. Datos generales del paciente	23

6.4. Uso	24
6.5. Uso del entorno	24
6.6. Fecha de construcción y Sistema constructivo	25
6.7. Uso actual y previsto.....	25
6.8. Importancia	25
6.9. Normativa	26
6.10. Descripción y dimensionamiento del puente	26
6.11. Aplicación patológica	27
6.12. Datos específicos de las lesiones	27
6.13. Descripción de las patologías más relevantes en el paciente	28
6.14. Fichas de auscultamiento de cada tramo:.....	29
6.15. Clasificación y origen de las patologías.....	30
6.16. Ensayos destructivos y no destructivos.....	30
6.16.1. Extracción de núcleos	30
6.16.2. Ensayo de carbonatación.....	32
6.16.3. Ensayo de esclerometría	34
6.16.4. Regatas Revisión de geometría y aceros de refuerzo.....	36
6.16.5. Estudios de suelos	38
6.16.5.1. <i>Capacidad de soporte</i>	39
6.16.5.2. <i>Exploración hasta la cimentación</i>	39
6.17. Diagnóstico	41
6.17.1. Equipamientos.....	41
6.17.2. Subestructura.....	46
6.17.3. Superestructura	47
7. Estudio de vulnerabilidad sísmica	49
8. Propuesta de intervención	51
8.1. Estructuras metálicas (Elementos estructurales y barandas)	51

8.2. Losa maciza del tablero	52
8.3. Estructura principal columnas de soporte	52
8.3.1. Intervención para las columnas tipos: 1, 3, 4, 5 y 6.....	52
8.3.2. Intervención para la columna tipo: 2.	53
8.4. Estructura escaleras de acceso al puente peatonal:	54
8.4.1. Intervención para los muros pantalla tipos: 1 y 2	54
8.4.2. Intervención para losa superior e inferior de las escaleras	54
8.4.3. Limpieza de junta de dilatación con lavado a presión	55
8.4.4. Lavado con agua a presión, 2000 PSI.....	55
8.4.5. Sello de fisuras.....	55
9. Conclusiones y recomendaciones	57
Bibliografía y web grafía	59
Anexos	61

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Localización general del puente peatonal sobre la Avenida 40 de Villavicencio ...	18
<i>Figura 2.</i> En el costado izquierdo se muestra el acceso al puente sector Centro Comercial Viva y al lado derecho se muestra el acceso por el SENA.	24
<i>Figura 3.</i> Puente peatonal sobre la avenida 40 en el municipio de Villavicencio.....	24
<i>Figura 4.</i> Vista en planta del puente peatonal, tablero.	26
<i>Figura 5.</i> Vista de las escaleras de acceso al puente.	26
<i>Figura 6.</i> Pilas simplemente apoyadas	27
<i>Figura 7.</i> Ficha de Auscultación.....	29
<i>Figura 8.</i> Proceso de extracción de núcleos en el sector del SENA	31
<i>Figura 9.</i> Proceso de extracción de núcleos en el tablero.....	31
<i>Figura 10.</i> Proceso de extracción de núcleos en la pantalla	32
<i>Figura 11.</i> Los núcleos extraídos son capinados y cortados cumpliendo la relación diámetro altura.	32
<i>Figura 12.</i> Ensayo de resistencia a la compresión de los núcleos de concreto	32
<i>Figura 13.</i> Ensayo de carbonatación	34
<i>Figura 14.</i> Ensayo de esclerometría en muros de escalera	35
<i>Figura 15.</i> Ensayo de esclerometría en columnas	35
<i>Figura 16.</i> Ensayo de esclerometría en el tablero.....	35
<i>Figura 17.</i> Ensayo de esclerometría en muro del tablero	35
<i>Figura 18.</i> Regatas en columna 2	36
<i>Figura 19.</i> Regatas en columna 3	37
<i>Figura 20.</i> Regatas en muro pantalla SENA	38
<i>Figura 21.</i> Distribución de columnas del puente peatonal	39
<i>Figura 22.</i> Cimentación encontrada	40
<i>Figura 23.</i> Exploración del apique para identificar el tipo de cimentación.....	40

<i>Figura 24.</i> Patologías encontradas en la superficie del puente peatonal y accesos	41
<i>Figura 25.</i> Otras patologías encontradas en la superficie del puente peatonal y accesos	42
<i>Figura 26.</i> Patologías encontradas en juntas de dilatación en el puente peatonal	43
<i>Figura 27.</i> Patologías encontradas en andenes y/o bordillos del puente peatonal.....	43
<i>Figura 28.</i> Patologías encontradas en barandas del puente peatonal.....	44
<i>Figura 29.</i> Patologías encontradas en drenajes del puente peatonal	45
<i>Figura 30.</i> Patologías encontradas en muro pantalla del puente peatonal.....	45
<i>Figura 31.</i> Patologías encontradas en pilas del puente peatonal	46
<i>Figura 32.</i> Sección transversal de la superestructura	47
<i>Figura 33.</i> Patologías encontradas en losa o tablero del puente peatonal	47
<i>Figura 34.</i> Patologías encontradas en viga metálica del puente peatonal	48

Lista de tablas

Tabla 1. Cuadro resumen de los elementos donde se realizaron extracción de núcleos y carbonatación	30
Tabla 2. Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de núcleos de concreto	31
Tabla 3. Resultados de carbonatación.....	33
Tabla 4. Resultados de esclerometría.....	34

Resumen

La ingeniería Colombia pasa por uno de los momentos más difíciles debido a los ya conocidos acontecimientos como lo del proyecto del edificio Space (Medellín), Puente atirantado Hisgaura (Santander), Puente atirantado, Puente Chirajara, entre otros, por ello es preciso realizar evaluaciones a la infraestructura en busca de patologías. El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40, entre el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y el Centro Comercial Viva, y plantear alternativas de intervención para el funcionamiento óptimo de la estructura, por lo que el proceso investigativo desarrollado contó con las fases de investigación, ejecución de exploración en campo, diagnóstico y propuestas de intervención.

El estudio permitió identificar variedad de patologías, tanto en la estructura como en la superestructura del puente peatonal, entre ellas corrosión, pérdida de acero de refuerzo, humedad y falta de drenaje, amplitud en la junta de dilatación, ausencia de pintura para la protección de corrosión, des laminación y corrosión del acero de refuerzo, entre otras; además el estudio de vulnerabilidad sísmica sólo encontró una anomalía en el diseño de la zapata, por lo que se emite la correspondiente observación para su corrección.

Considerando los hallazgos y en función de que la estructura cumpla con los parámetros exigidos por la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14, se propuso realizar recalces con refuerzo y otros sin refuerzo, la cual se deja a consideración para realizar la intervención.

Palabras claves: Puente, patología, regata, vulnerabilidad y fisuras.

Introducción

Hoy en día existen varios puentes peatonales en la ciudad de Villavicencio, los más destacados están contruidos en metal y concreto, los cuales facilitan el tránsito seguro de los peatones por la ciudad. Muchos de estos puentes fueron diseñados y contruidos antes del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, por tal motivo es de gran importancia llevar a cabo una investigación para conocer el estado actual de estas estructuras.

Este puente es importante debido a que transitan diariamente estudiantes del SENA y visitantes de uno de los más grandes centros comerciales de la ciudad. Es vital mantenerlo en óptimas condiciones para evitar deterioro de la estructura y posibles accidentes que pueden llevar a pérdidas materiales y de vidas humanas. La avenida 40 es uno de los ejes principales de la ciudad y por ella transitan el mayor flujo vehicular de la ciudad, transito como el que proviene de Acacias, Granada y San José del Guaviare y sirve de conector a la salida a la capital de la república (Bogotá). Una de las características principales de la vía es que cuenta con dos carriles por sentido y su velocidad de tránsito vehicular es de 40Km/h.

En este documento se presenta el estudio patológico del puente peatonal entre el centro comercial Viva y el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA en la ciudad de Villavicencio (Meta). Mediante la inspección del estado actual, inventario de lesiones, ensayos apropiados y diagnóstico. Con el fin de determinar las posibles causas que han generado daños y de esta forma proyectar alternativas de intervención adecuadas para su rehabilitación y puesta en funcionamiento.

Posteriormente se muestran las posibles soluciones que pueden estar dirigidas a dos tipos de intervenciones. Con las diferentes opciones se realiza un análisis para finalmente tomar la decisión según el resultado que se quiera obtener en cuestión de durabilidad.

1. Justificación

Los puentes peatonales son importantes para el desarrollo de una ciudad, puesto que a medida que aumenta la población deben brindar seguridad y comodidad al peatón. En la ciudad de Villavicencio a diario se evidencia una problemática que a todos en algún momento ha aquejado, el miedo a los asaltos y una falta mantenimiento de la infraestructura urbana peatonal que permita hacer los cruces de forma segura en los puentes con los que cuenta la capital del Meta.

La Secretaría de Movilidad de la ciudad reportó 186 personas muertas por atropellamiento en el último año. Un punto crítico es la zona de estudio de este trabajo en donde la mayoría transeúntes por el sector, son jóvenes estudiantes; se busca plantear un estudio patológico del puente peatonal que atraviesa la avenida 40 de Villavicencio y conecta el Centro Comercial Viva y el SENA, para conocer el estado actual, diagnosticar e identificar las posibles intervenciones para el funcionamiento atractivo, cómodo y seguro, de forma que con su apariencia invite a los peatones a utilizarlo, que brinde seguridad a los ciudadanos y agilidad en sus trayectos, quedando además como una vía de acceso permanente.

Este estudio busca una intervención oportuna de las lesiones que presentan el puente peatonal, para evitar la presencia de deterioros mayores que generen costos excesivos en los mantenimientos y las rehabilitaciones.

A nivel social, la avenida 40 es la de mayor flujo y velocidad de vehículos en la ciudad de Villavicencio y también en sus separadores alberga el parque lineal, usado como destino turístico – deportivo, por lo que el mejoramiento del puente peatonal incentiva el turismo, además debido al afluencia de estudiantes del SENA se minimiza el riesgo de caídas y accidentes. Este estudio permite a la comunidad conocer y tener opciones de intervención para

el mantenimiento adecuado del puente y procurar que la inversión hecha por el Estado no se desaproveche.

Las alternativas fruto del presente estudio serán de utilidad en un futuro, como guía para la restauración estructural del puente peatonal en mención, de tal forma que cada componente mantenga la integridad para garantizar el tránsito peatonal y seguridad de las personas que lo usen para cruzar la avenida 40, lo que incentiva a proteger su integridad física.

Por estas razones se hace imperativa la necesidad del desarrollo del presente estudio, ya que al ser previo a las intervenciones permite obtener la información necesaria que lleve a realizar estudios detallados con el fin de garantizar que los mantenimientos preventivos o reparaciones que se hagan en los componentes afectados, para que tengan una durabilidad y eficiencia adecuada.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Desarrollar un estudio patológico del puente peatonal sobre la avenida 40, entre el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y el Centro Comercial Viva, y plantear alternativas de intervención para el funcionamiento óptimo de la estructura.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar y localizar las lesiones que presenta la estructura, realizando su inspección e inventario.
- Describir las lesiones que presente la estructura del puente en estudio.
- Diagnosticar las lesiones que presenta la estructura basados en los resultados de las pruebas y ensayos laboratorio.
- Analizar la vulnerabilidad sísmica del puente peatonal.
- Formular acciones que mitiguen los efectos de las patologías presentes en la estructura.

3. Marco referencial

3.1. Teórico

El termino puente se ha definido de varias maneras, aunque Palladio fue quien probablemente se acercó a la esencia de la construcción de un puente cuando dijo “los puentes deben adaptarse al espíritu de la comunidad exhibiendo amplitud, firmeza y deleite” (Locke y Locke, 2011).

Según un estudio sobre los criterios de aplicación de pintura del año 2009 realizado por Pfeil and Pfeil, la pintura es el medio generalmente empleado para evitar la oxidación del acero, esta debe ser aplicada en intervalos máximos de 5 a 10 años, dependiendo del ambiente (Tadeu, 2011).

De acuerdo con el IDU (2009), los puentes peatonales constituyen la infraestructura necesaria para ofrecer pasos peatonales seguros en vías de la red urbana, donde volúmenes y características operacionales vehiculares no permitan una circulación peatonal bajo condiciones de seguridad. Así mismo, los componentes básicos de los puentes peatonales son los siguientes:

- Los accesos y salidas que conectan el puente peatonal, por medio de escaleras, rampas o ascensores, con el nivel de la plazoleta o andén receptor.
- El enlace en sí mismo, que es el elemento que comunica los accesos y salidas.
- Los apoyos.

Cuando se habla de puentes con dimensiones pequeñas se hace referencia a pontones (Arias y Díaz, 1996).

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción de puentes peatonales siendo este una mezcla de cemento, agua, agregado y opcionalmente aditivos (García, 2013). Otro material predominante en la construcción de estos puentes es el acero.

La infraestructura de un puente está compuesta por estribos y pilares. Estribos, que transfieren la carga de éste al terreno y que sirven además para sostener el relleno de los accesos al puente. La superestructura está compuesta de tablero y estructura portante (Salle, 2015).

3.1.1. Patologías de los puentes

La patología estructural es una ciencia que se encarga del estudio, diagnóstico de daños, evaluación de las causas y formulación de los procesos de reparación. La patología abarca todos los diferentes factores que pueden afectar una estructura como lo son: el medio ambiente, las cargas a las que está sometida y al curado inadecuado.

Cuando existen cambios abruptos en el espesor, desplazamiento o cambios en el tipo de construcción, se debe dejar una abertura llamada junta de dilatación, para permitir las dilataciones y contracciones indeseables del concreto en la obra para evitar el agrietamiento en la estructura que se está realizando, en este caso, en puentes (Arias y Díaz, 1996).

Si existe un desgaste en los sólidos, especialmente en los metales se conoce como corrosión (Arias y Díaz, 1996).

Por lo general, en los puentes metálicos se evidencian daños por soldaduras, estas fallas se dan por bajo rendimiento o material inadecuado, pueden ocasionar daños severos a la estructura generando una ruptura leve (Tadeu, 2011).

Dos fallas comunes que se pueden presentar en el concreto son fisuras y grietas, la primera no representa problemas estructurales, es más que nada un problema estético que se puede solucionar fácilmente (Chile, 2010) y las segundas se debe a la deformación provocada por la carga medioambiental o mecánica en una pieza de hormigón reforzado o pre-tensado (Tadeu, 2011).

3.2. Legal

Se ha tomado como base las normas de construcción de puentes peatonales colombianas, siendo estas las siguientes:

- Resolución 1528 del 23 de mayo 2017, por la cual se implementa el Sistema de Administración de Puentes de Colombia SIPUCOL de la Red Vial Nacional, la Ficha Técnica de Información de SIPUCOL y se dictan otras disposiciones.

- Formato de ficha técnica de información SIPUCOL.

- Decreto 279 de 2003, por el cual se Reglamentan los puentes peatonales en el Distrito Capital.

- Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14).

4. Alcances y limitaciones

4.1. Alcances

Este estudio tiene por alcance la evaluación y diagnóstico del tablero, escaleras, barandas, columnas o pedestales del puente peatonal de la avenida 40 que conecta el Servicio Nacional de Aprendizaje “SENA” y el Centro Comercial Viva (ver figura 1), comprendiendo el levantamiento topográfico, la identificación de las lesiones, y la proposición de alternativas para su reparación o rehabilitación.



Figura 1. Localización general del puente peatonal sobre la Avenida 40 de Villavicencio

Fuente: Adaptado de Google Maps (2018).

Para el desarrollo de este estudio patológico se hizo necesario la recopilación de información previa como planos de localización, una inspección visual para determinar el grado de lesión y/o deterioro y finalmente se realizaron pruebas y ensayos de laboratorio que respaldan el diagnóstico inicial, lo anterior tiene como fin desarrollar dos alternativas de intervención o recomendaciones a lugar, ya que ambas variables dependen de los resultados que arroje el análisis de la información recopilada. Cumpliendo así con las etapas de un estudio patológico, historia clínica, diagnóstico e intervención.

Villavicencio es una ciudad colombiana, capital del departamento del Meta, y es el centro comercial más importante de los Llanos Orientales. Está situada en el Piedemonte de

la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta, en la margen izquierda aguas arriba del río Guatiquía y cuenta con una población urbana de 407.977 habitantes en 2010. Presenta un clima cálido y muy húmedo, con temperaturas medias de 27 °C.

4.2. Limitaciones

El estudio se limita solo a la patología presente en el puente peatonal, desde sus accesos, hasta sus columnas, barandales y tableros.

En esta investigación presentan las limitantes, como son la falta de información de datos exactos como el año de construcción, quien lo construyó y la inexistencia de planos o información relevante para la historia clínica, debido a que se solicitó a las entidades municipales y gubernamentales (Curaduría, Secretaria de Planeación, Alcaldía, Control Físico, Secretaria de Infraestructura) información y ninguna entidad dio una respuesta satisfactoria de la solicitud. Así que se tuvo que recopilar datos basados en el estado actual de la estructura y en cuanto los planos se solucionó realizando un levantamiento topográfico de la estructura.

5. Metodología

El estudio patológico se realizó siguiendo el proceso investigativo: Investigación, ejecución de exploración en campo, diagnóstico y propuestas de intervención.

5.1. Fase 1: Investigación

Se realizó la recopilación de la mayor cantidad de información relacionada con la construcción del puente peatonal.

5.1.1. Preliminares

Por ser una estructura de uso público no fue necesario solicitar permisos para hacer el recorrido y tomar los datos necesarios para la identificación del paciente, donde inicialmente la intención era identificar la gravedad y la proporción del daño del puente peatonal. Se informó al Arquitecto Alexis Marulanda Lizcano encargado de las interventorías del mantenimiento del centro comercial VIVA los trabajos y análisis a realizar.

Seguidamente y gracias a la visita técnica e inspección visual se tomaron las determinaciones de los ensayos necesarios para obtener información detallada de la caracterización de los materiales usados en la construcción.

Se realizaron recorridos previos en los cuales se observaron las lesiones del paciente, al reconocer que efectivamente se presentan patologías, se da inicio al estudio recopilando información general mediante observación del estado actual, su localización y la toma de fotografías de las lesiones para posteriormente hacer una recopilación más detallada mediante la realización de levantamiento topográfico y un estudio de suelos.

5.1.2. Descripción de la selección del paciente

El paciente fue seleccionado teniendo en cuenta las directrices y conocimientos adquirido en los módulos de las cátedras de la Especialización de Patología de la Construcción.

El puente peatonal de la avenida 40, que permite la circulación peatonal entre el Servicio Nacional de Aprendizaje “SENA” y el Centro Comercial Viva, se escogió como paciente de TPI, debido a su evidente deterioro en toda su estructura y la falta de uso por parte de las personas que necesariamente deben transitar por ese sector para dirigirse a sus trabajos, viviendas o estudios.

5.2. Fase 2: Ejecución en campo

Se realizó un recorrido de reconocimiento del paciente, se tomaron las mediciones correspondientes y fotografías de las patologías que se presenta la estructura. Luego de tener las actividades de reconocimiento del puente se procedió a localizar las lesiones y se ordenaron los ensayos y pruebas destructivas y no destructivas, siendo estas:

- Quince (15) extracciones de núcleos de concreto.
- Quince (15) ensayos de carbonatación,
- Tres (03) regatas
- Un (01) apique a la profundidad de cimentación.
- Dieciocho (18) esclerometrias
- Un (01) estudio de suelos mediante el ensayo de SPT
- Levantamiento topográfico al detalle

La fase se desarrolló con el fin de obtener toda la información necesaria que cubra todos los interrogantes de la investigación para así iniciar la fase de diagnóstico.

5.3. Fase 3: Diagnóstico

Terminada la exploración de campo, nos reunimos el grupo interdisciplinario para evaluar las lesiones presenta el puente y a su vez, presentar las posibles hipótesis de las causas de los daños.

Realizamos el análisis de resultados de laboratorio y clasificamos la información obtenida para luego presentar el diagnostico final de estado actual del puente.

Se utilizaron fichas técnicas para cada tipo de lesión encontrada y de esta manera tener identificando cada daño para poder definir las posibles causas que lo originaron.

5.4. Fase 4: Propuestas de intervención

Después de realizado el diagnóstico y conociendo las causas que originan cada daño procedemos a plantear la alternativa que más se acomode técnica y económicamente para recuperar el estado óptimo de la estructura.

Se plantean y diseñan cada una de las intervenciones para recuperar o proteger la estructura de futuras lesiones y se realiza un presupuesto final.

6. Historia clínica

6.1. Responsables del estudio

En la recolección de información participaron dos (2) estudiantes de la Universidad Santo Tomas de Aquino del programa Especialización en Patología de la Construcción, Cohorte I Villavicencio, quienes se encargaron de la indagación en campo. La toma de datos se realizó por medio del reconocimiento y la ubicación del puente elegido para el estudio; para ello se determinaron los puntos de iniciación y finalización.

Ingenieros civiles:

- Ingrid Johanna Aranguren Bejarano.
- Nestor Hernán Suarez Quiñones.

Laboratorio de suelos:

- NHSQ Ingeniería S.A.S.

Topografía:

- Aida I. Gutiérrez.

Ingeniero Estructural -Análisis de vulnerabilidad Sísmica:

- Miller Hazel Reyes Castellanos.

6.2. Fecha de realización del estudio

El estudio se realiza a partir del 12 de septiembre de 2017.

6.3. Datos generales del paciente

Nombre: Puente peatonal que atraviesa la avenida 40 de Villavicencio (Meta), para conectar el Centro Comercial Viva y el SENA, por lo cual tiene dos accesos (ver figura 2).

Localización: Se encuentra ubicado en sobre la avenida 40 de Villavicencio, entre calles 7 y 5, en las siguientes coordenadas: Latitud norte $4^{\circ}07'35.62'' - 4^{\circ}07'34.43''$ Longitud oeste $73^{\circ}38'20.87'' - 73^{\circ}38'20.87''$, tal y como se aprecia en la figuras 2 y 3.



Figura 2. En el costado izquierdo se muestra el acceso al puente sector Centro Comercial Viva y al lado derecho se muestra el acceso por el SENA.

Fuente: Autores del estudio.

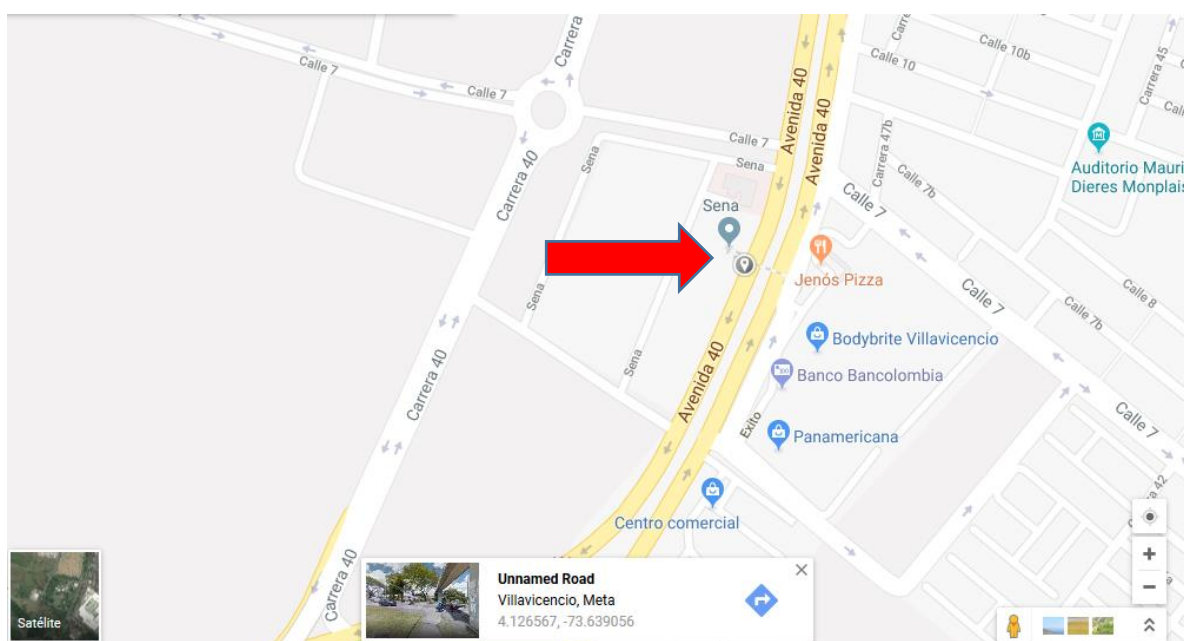


Figura 3. Puente peatonal sobre la avenida 40 en el municipio de Villavicencio

Fuente: Adaptado de Google Maps (2017).

6.4. Uso

El puente es comúnmente usado por estudiantes del SENA, trabajadores y turistas.

6.5. Uso del entorno

A un lado del puente está situado el Centro Comercial Viva, en el cual se encuentran almacenes de gran superficie, centro bancario, almacenes de venta de ropa, calzado, marroquinería, al igual que salas de cine, establecimientos de venta de alimentos preparados de cadenas nacionales y locales, entre otros; siendo visitado por villaviccenses y turistas en todas las épocas del año, en especial fines de semana y tiempo de vacaciones escolares. En

este mismo costado (detrás de C.C. Viva) existen conjuntos cerrados residenciales al igual que los barrios La Esperanza y Villa Bolívar.

De otro lado del puente se encuentra el Servicio Nacional de Aprendizaje “SENA”, en donde de lunes a sábado asisten estudiantes y docentes a realizar cursos técnicos profesionales y carreras técnicas; es de anotar que la zona detrás del SENA se encuentra planeada para construir torres de apartamentos y conjuntos residenciales, siendo este un uso futuro.

6.6. Fecha de construcción y Sistema constructivo

Se buscó esta información en entidades públicas de la ciudad de Villavicencio como archivo municipal, curaduría y secretaria de planeación información, pero no se encontró registro.

6.7. Uso actual y previsto

El puente peatonal actualmente comunica los costados de la Avenida 40 de la ciudad de Villavicencio, a la altura del Centro Comercial Viva y el SENA y el propósito es de permitir el paso seguro de peatones, para cruzar la avenida 40.

6.8. Importancia

El puente peatonal sobre la Avenida 40 entre SENA y el Centro Comercial Viva hace parte de la malla vial del Municipio de Villavicencio, encontrándose en el perímetro urbano, siendo el primero en su tipo después de acceder a Villavicencio por las vías Acacias o Bogotá por la avenida 40, y el próximo se encuentra aproximadamente a 500 metros, contiguo al Centro Comercial Villacentro. Es de anotar que la avenida 40 es la vía más rápida y de mayor afluencia vehicular de la ciudad de Villavicencio y el aforo peatonal puede superar los 150 peatones por hora (Alcaldía de Villavicencio, 2010).

6.9. Normativa

Para el diseño actual, aplica la Resolución 1528 del 23 de mayo 2017, por la cual se implementa el Sistema de Administración de Puentes de Colombia SIPUCOL de la Red Vial Nacional, la Ficha Técnica de Información de SIPUCOL y se dictan otras disposiciones, al igual la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14).

6.10. Descripción y dimensionamiento del puente

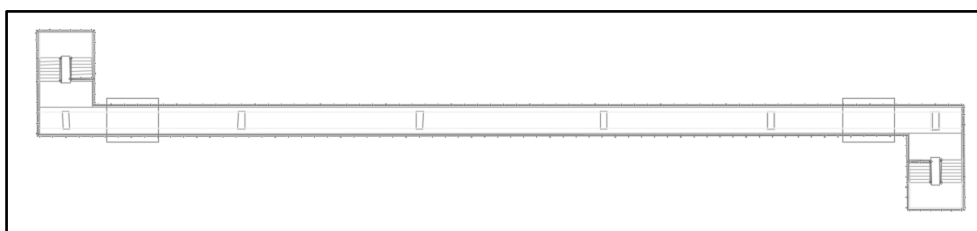


Figura 4. Vista en planta del puente peatonal, tablero.

Fuente: Autores del estudio, apoyados en levantamiento topográfico.

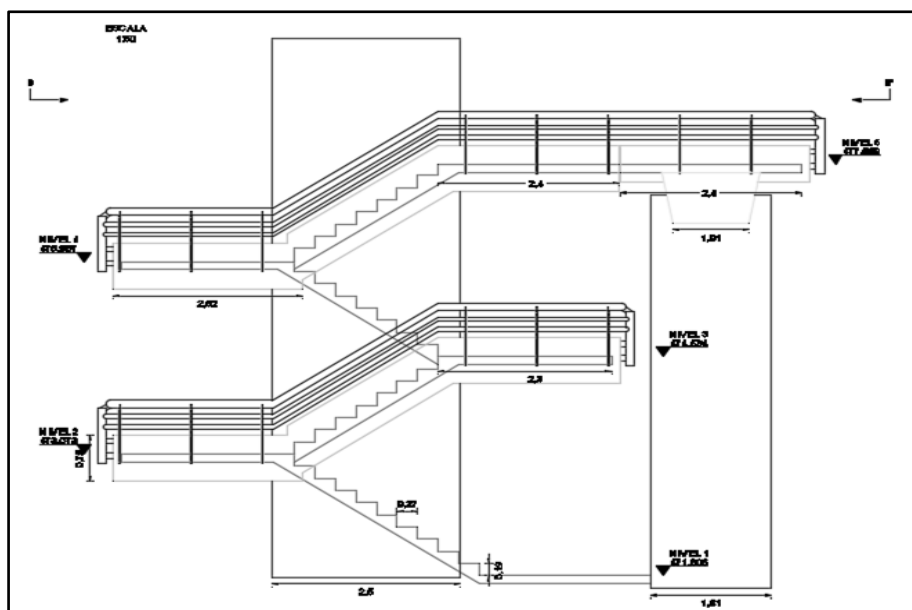


Figura 5. Vista de las escaleras de acceso al puente.

Fuente: Autores del estudio, apoyados en levantamiento topográfico.

Según su configuración el puente peatonal objeto de estudio presenta las siguientes características:

- Tiene una longitud total de 84.73 metros dividido en cinco luces de 15m aproximadamente. Además de las pilas se encuentra conformado por el tablero (ver figura 4) y los accesos (ver figura 5).

- La subestructura está conformada por seis monopilas que presentan una altura variable 5.40m a 5.55m cimentadas sobre zapatas aisladas de concreto reforzado de sección constante (ver figura 6).

- La superestructura consiste en una viga cajón metálica y una placa en concreto simplemente apoyadas y masivas.

- Galibo vertical aproximadamente de 6m.

- La losa de concreto es de 0.12m y el ancho 2.65m



Figura 6. Pilas simplemente apoyadas

Fuente: Autores del estudio.

6.11. Aplicación patológica

PREVENTIVA (X)

6.12. Datos específicos de las lesiones

En general el puente presenta deterioro del recubrimiento del concreto, deterioro en el tablero y barandas, suciedad, humedades, corrosión, entre otras que se explicaran con exactitud más adelante.

En la segunda pila se presenta una grave lesión, perdida del recubrimiento por corrosión del acero de refuerzo, se presenta en los primeros metros de la pila, posiblemente se relaciona la lesión con las sales producto de la orina de los transeúntes.

En general se presentan fisuras por retracción plástica, exposición de los aceros de refuerzo en varios sitios y corrosión y desprendimiento del recubrimiento.

6.13. Descripción de las patologías más relevantes en el paciente

Durante la visita de inspección se determinaron los sitios donde se debía efectuar pruebas y ensayos de laboratorio con el propósito de identificar la calidad de los materiales y la cimentación, insumos necesarios para la evaluación de vulnerabilidad sísmica del puente.

Se encontraron elementos estructurales en concreto y metálicos con lesiones de diversa índole, tales como: agrietamientos, desprendimientos, corrosión y exposición del acero de refuerzo entre otros, las cuales varían en gravedad desde leves, moderadas hasta llegar en algunos casos a encontrarse daños muy severos; como consecuencia de la exposición prolongada, constante y directa al medio ambiente, desechos fisiológicos de humanos y animales y la falta de mantenimiento rutinario y preventivo.

Por lo anterior se llevó acabo un levantamiento pormenorizado de las lesiones de la estructura, con el propósito de localizar todos los elementos con signos visibles de deterioro. Para cada elemento deteriorado se abrió una ficha técnica en la que se registraron:

- Identificación o marca del elemento.
- Tipo de lesión
- Mecanismo de daño
- Grado de lesión
- Causa
- Posible solución
- Registro fotográfico

Esta inspección permitió identificar que las patologías de mayor relevancia en el paciente son la pérdida del acero de refuerzo en una de las pilas centrales, corrosión por

exposición del acero de refuerzo, deterioro del tablero, deterioro en barandas, contaminación superficial del concreto, humedades y corrosión.

6.14. Fichas de auscultamiento de cada tramo:

CLASIFICACION Y TIPIFICACION DE LESIONES												
LOCALIZACION										FICHA N°		
ESTRUCTURA										FECHA:		
AÑO CONSTRUIDO:				USO:								
CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES												
LEVANTO:												
UBICACIÓN EN PLANTA												
REGISTRO FOTOGRAFICO												
DESCRIPCION:												
POSIBLE ORIGEN												
POSIBLE CAUSA												
INSPECCION VISUAL				AFECTACION DE DAÑO			NIVEL DE RECUPERACION			GRADO DE LESION		
ELEMENTO:	BAJO (1-3)	MEDIO (4-6)	ALTO (7-9)	SEGURIDAD	FUNCIONABIL	ASPECTO	IMPRESINDIBLE	NECESARIO	CONVENIENTE	SEVERO	MODERADO	LEVE
TIPO DE LESION	B	M	A									
Humedades	B	M	A									
Suciedades	B	M	A									
Eflorescencias	B	M	A									
Grietas	B	M	A									
Fisuras	B	M	A									
Desprendimientos	B	M	A									
Oxidación y corrosión	B	M	A									
Erosiones	B	M	A									
Organ. A animales	B	M	A									
Organ. Vegetales	B	M	A									
Goteras	B	M	A									
Desintegracion	B	M	A									
Exudacion	B	M	A									
Escamas	B	M	A									
Crateres	B	M	A									
CALIDAD DE LOS MATERIALES												
CONCRETO										ACERO		
MAMPOSTERIA										ESTRUC. METAL		

Figura 7. Ficha de Auscultación

Fuente: Los autores.

6.15. Clasificación y origen de las patologías

Se clasificaron en Mecánicas y Antropogénicas.

Su origen: deficiencias o fallos durante el proceso de construcción, daños generados por agentes externos, degradación por falta de mantenimiento, procesos fisicoquímicos y biológicos.

6.16. Ensayos destructivos y no destructivos

De acuerdo con la investigación se determinó realizar la siguiente cantidad de pruebas:

- Quince (15) extracciones de núcleos de concreto.
- Quince (15) ensayos de carbonatación,
- Tres (03) regatas
- Un (01) apique a la profundidad de cimentación.
- Dieciocho (18) esclerometrías
- Un (01) estudio de suelos mediante SPT

6.16.1. Extracción de núcleos

En la tabla 1 se indica la ubicación exacta de los elementos donde se efectuaron la extracción de núcleos y el ensayo de carbonatación. Mediante estas pruebas se determinó la resistencia a la compresión y pH del concreto.

Tabla 1. Cuadro resumen de los elementos donde se realizaron extracción de núcleos y carbonatación

Nº DE ENSAYO	ELEMENTO	TIPOS DE ENSAYO
1	Columna 1	Núcleo y carbonatación
2	Columna 2	Núcleo y carbonatación
3	Placa puente Viva	Núcleo y carbonatación
4	Placa puente Viva	Núcleo y carbonatación
5	Placa puente Viva	Núcleo y carbonatación
6	Placa puente Viva	Núcleo y carbonatación
7	Placa puente Viva	Núcleo y carbonatación
8	Placa puente Viva	Núcleo y carbonatación
9	Columna 3	Núcleo y carbonatación
10	Columna 4	Núcleo y carbonatación
11	Columna 5	Núcleo y carbonatación
12	Columna 6	Núcleo y carbonatación
13	Muro pantalla 1	Núcleo y carbonatación
14	Muro pantalla 2	Núcleo y carbonatación
15	Placa puente Viva	Núcleo y carbonatación

Fuente: Los autores

En la tabla 2 se presenta la identificación, rotura y criterios de aceptación de los núcleos se realizó siguiendo la normatividad NTC 3658 y lo expresado en los numerales C.5.6.5.3 y C.5.6.5.4 del capítulo “C” concreto estructural, reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10. Ver anexo D. En las figuras 8,9,10,11 y 12 se muestra el proceso que se realizó de extracción hasta el ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla 2. Resultado del ensayo de resistencia a la compresión de núcleos de concreto

COD. INTERNO DEL NÚCLEO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE EXTRACCIÓN	RESISTENCIA OBTENIDA A LA FECHA * FACTOR(Mpa)
N-1	Columna 1	14/09/2017	22.7
N-2	Columna 2	14/09/2017	22.7
N-3	Placa puente Viva	14/09/2017	23.8
N-4	Placa puente Viva	14/09/2017	22.9
N-5	Placa puente Viva	14/09/2017	20.0
N-6	Placa puente Viva	15/09/2017	17.0
N-7	Placa puente Viva	15/09/2017	18.2
N-8	Placa puente Viva	15/09/2017	17.2

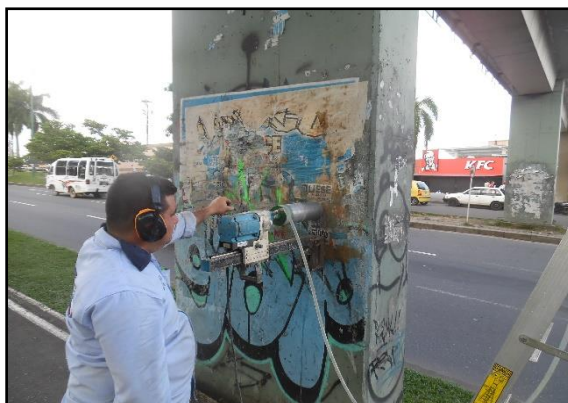


Figura 8. Proceso de extracción de núcleos en el sector del SENA
Fuente: Los autores.



Figura 9. Proceso de extracción de núcleos en el tablero
Fuente: Los autores.



Figura 10. Proceso de extracción de núcleos en la pantalla
Fuente: Los autores.



Figura 11. Los núcleos extraídos son capinados y cortados cumpliendo la relación diámetro altura.
Fuente: Los autores.



Figura 12. Ensayo de resistencia a la compresión de los núcleos de concreto
Fuente: Los autores.

6.16.2. Ensayo de carbonatación

El ensayo se desarrolló en cada uno de los sitios donde se extrajeron los núcleos, para que la carbonatación sea reconocida a simple vista, es preciso observar una zona descolorida

en la superficie de concreto, fenómeno que puede ser visualizado mediante la prueba de la fenolftaleína que consiste en aplicar el indicador a la superficie de la muestra de concreto y si esta toma un color rosáceo no está carbonatado, en cambio la zona que no cambia de color si lo está. A continuación, se indica la medición de la carbonatación en cada uno de los núcleos medido en milímetros. En la tabla 3 se muestran los resultados del ensayo de carbonatación.

Tabla 3. Resultados de carbonatación

Nº DE NÚCLEO	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)
1	Columna 1	30,0
2	Columna 2	27,0
3	Placa puente Viva	2,0
4	Placa puente Viva	3,0
5	Placa puente Viva	5,0
6	Placa puente Viva	3,0
7	Placa puente Viva	3,0
8	Placa puente Viva	3,0
9	Columna 3	9,0
10	Columna 4	11,0
11	Columna 5	21,0
12	Columna 6	18,0
13	Muro pantalla 1	17,0
14	Muro pantalla 2	15,0
15	Placa puente Viva	4,0

Fuente: Los autores.

Con los resultados y el registro fotográfico de la figura 13 puede observarse que ya se inició el proceso de carbonatación en el concreto. Los elementos estructurales del puente están expuestos a una serie de cambios atmosféricos (humedades. También se evidencia bajo recubrimiento del concreto y defectos de superficie tales como grietas, fisuras y pequeños hoyos que proporcionan y aceleran la ruta directa al acero de refuerzo.



Figura 13. Ensayo de carbonatación
Fuente: Los autores.

6.16.3. Ensayo de esclerometría

Se muestran los resultados obtenidos en campo del ensayo no destructivo, que sirve para medir el número de rebote del concreto endurecido, realizado a los elementos que aparecen en la tabla 4. Se utilizó como base la norma técnica ICONTEC NTC 3692, INV-E-413 y la NSR-10 para el ensayo. Mayormente es utilizado para estimar la resistencia del concreto. A continuación, se entregan los resultados de las pruebas efectuadas en campo.

Tabla 4. Resultados de esclerometría

ID	ELEMENTO	RESISTENCIA DE DISEÑO (PSI)	RESISTENCIA DE DISEÑO (MPa)	RESISTENCIA ESTIMADA (PSI)	RESISTENCIA ESTIMADA (MPa)
1	Columna #1	3000		5689	39.2
2	Muro Pantalla #1 Primer Piso Sena	3000		5405	37.2
3	Muro Pantalla #1 Segundo Piso Sena	3000		4551	31.4
4	Muro Pantalla #1 Segundo Piso Sena	3000		5689	39.2
5	Columna #2	3000		3385	23.3
6	Columna #3	3000		3698	25.4
7	Columna #4	3000		4978	34.3
8	Columna #5	3000		4836	33.3
9	Columna #5	3000		3385	23.3
10	Bordillo Costado Sena	3000	21	<1500	<10.3
11	Placa Costado Sena	3000		<1500	<10.3
12	Bordillo Costado Central	3000		1565	10.8
13	Placa Costado Central	3000		<1500	<10.3
14	Bordillo Costado Viva	3000		2347	16.2
15	Placa Costado Viva	3000		<1500	<10.3
16	Muro Pantalla # 2 Segundo Piso Viva	3000		4836	33.3
17	Muro Pantalla # 2 Segundo Piso Viva	3000		4836	33.3
18	Muro Pantalla # 2 Primer Piso Viva	3000		3556	24.5

Fuente: Los autores.



Figura 14. Ensayo de esclerometría en muros de escalera
Fuente: Los autores.

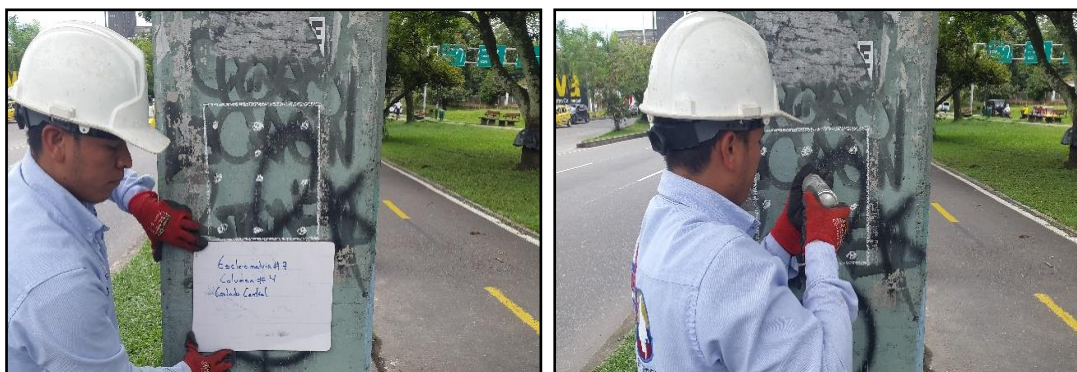


Figura 15. Ensayo de esclerometría en columnas
Fuente: Los autores.



Figura 16. Ensayo de esclerometría en el tablero
Fuente: Los autores.



Figura 17. Ensayo de esclerometría en muro del tablero
Fuente: Los autores.

6.16.4. Regatas Revisión de geometría y aceros de refuerzo

Se efectuaron las regatas en las columnas (ver figura 18,19 y 20) con el propósito de identificar los diámetros, espaciamiento y el estado actual de los aceros de refuerzo.

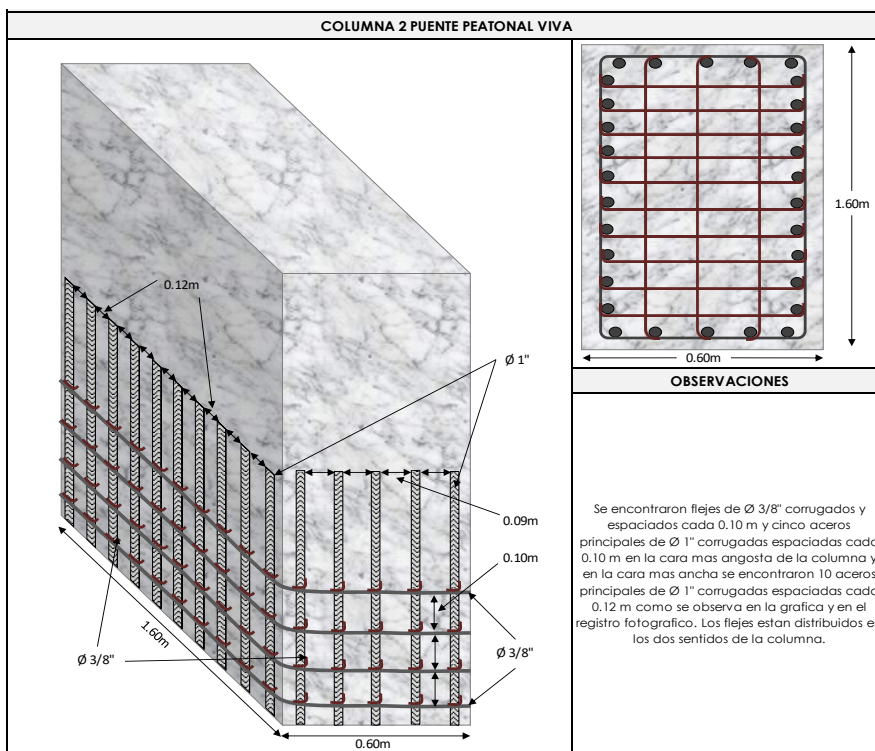
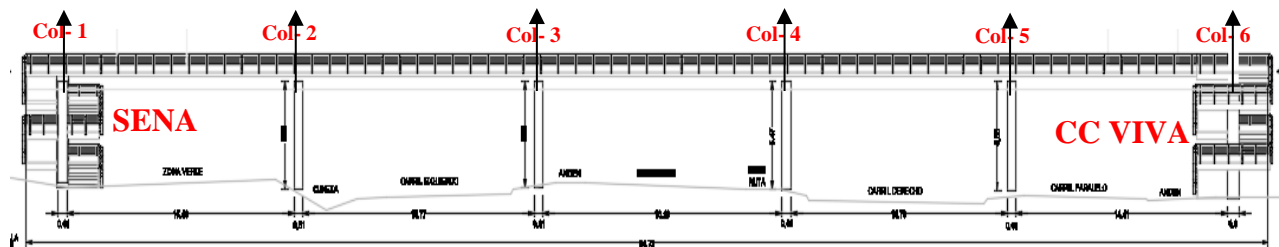


Figura 18. Regatas en columna 2
Fuente: Los autores.

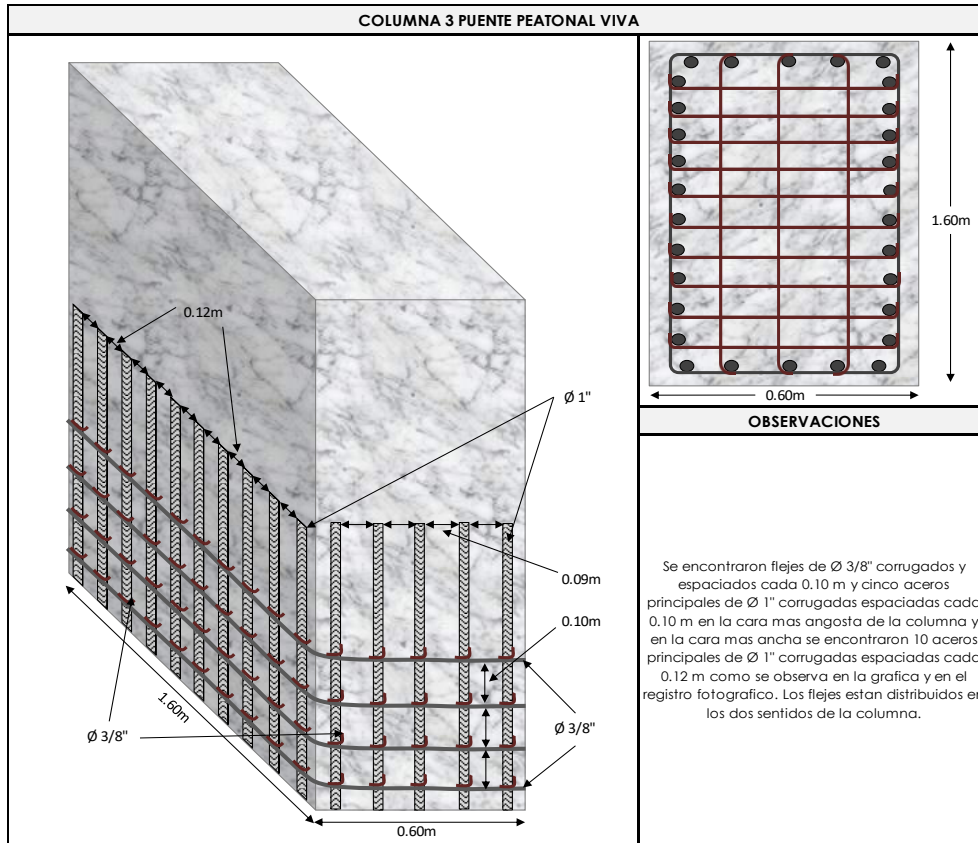


Figura 19. Regatas en columna 3

Fuente: Los autores.

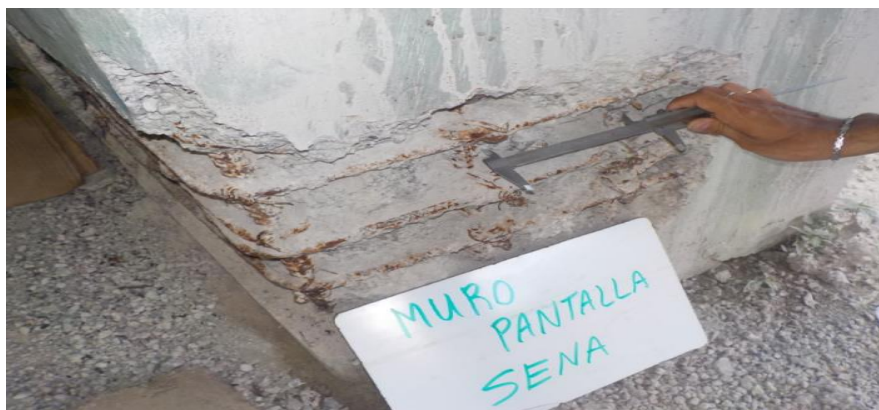
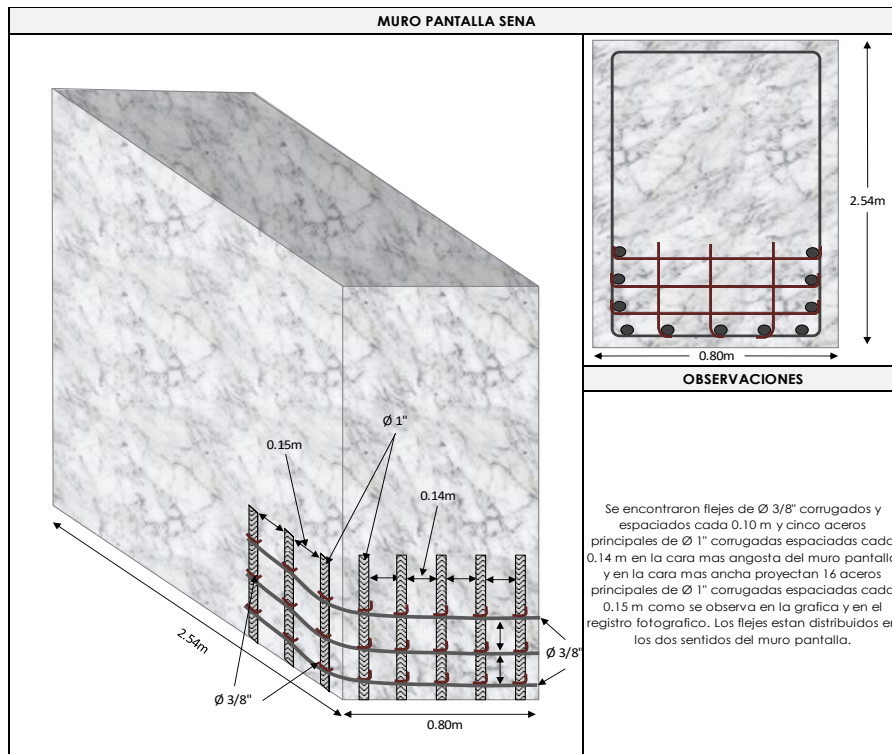


Figura 20. Regatas en muro pantalla SENA

Fuente: Los autores.

6.16.5. Estudios de suelos

Con base en los resultados derivados de la etapa de exploración del subsuelo y los ensayos de laboratorio, elaborado por el laboratorio NHSQ INGENIERIA SAS se determinó la clasificación del material encontrado en el perfil del suelo y la capacidad de soporte. Ver anexo B.

6.16.5.1. Capacidad de soporte

A la altura de cimentación (2.00m) la capacidad de carga admisible en los sondeos 1, 2 y 3 $q(\text{adm}) = 1.52 \text{ Kgf/cm}^2$ o 15.2 Ton/m^2 .

A la altura de cimentación (2.00m) la capacidad de carga admisible en los sondeos 4 y 5 $q(\text{adm}) = 1.25 \text{ Kgf/cm}^2$ o 12.5 Ton/m^2 .

6.16.5.2. Exploración hasta la cimentación

Se realizó un apique de verificación de la cimentación en la columna C-3 y encontramos que está constituida por zapatas aisladas de 3.30m x 3.30m, como se muestra en la figura 21. Esta cimentada a una profundidad de 1.50m sobre un relleno de material granular de 0.30m.

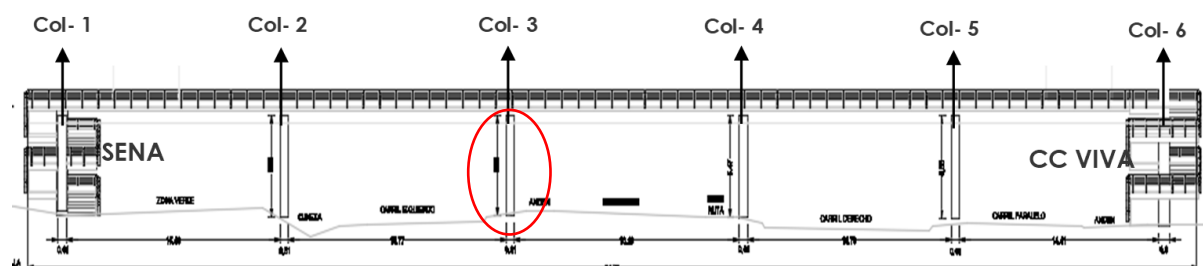


Figura 21. Distribución de columnas del puente peatonal
Fuente: Plano topográfico

La cimentación son columnas solas presentan una sección de 0.60 X 1.60m y están cimentadas sobre una zapata aislada de dimensiones 3.30m X 3.30m X 1.20m, todas las columnas presentan la misma geometría excepto en elevación, cuya variación es mínima respecto a sus otras dos dimensiones (0.60x1.60). En las figuras 22 y 23 se aprecia la cimentaciones de las columnas y el proceso de exploración.

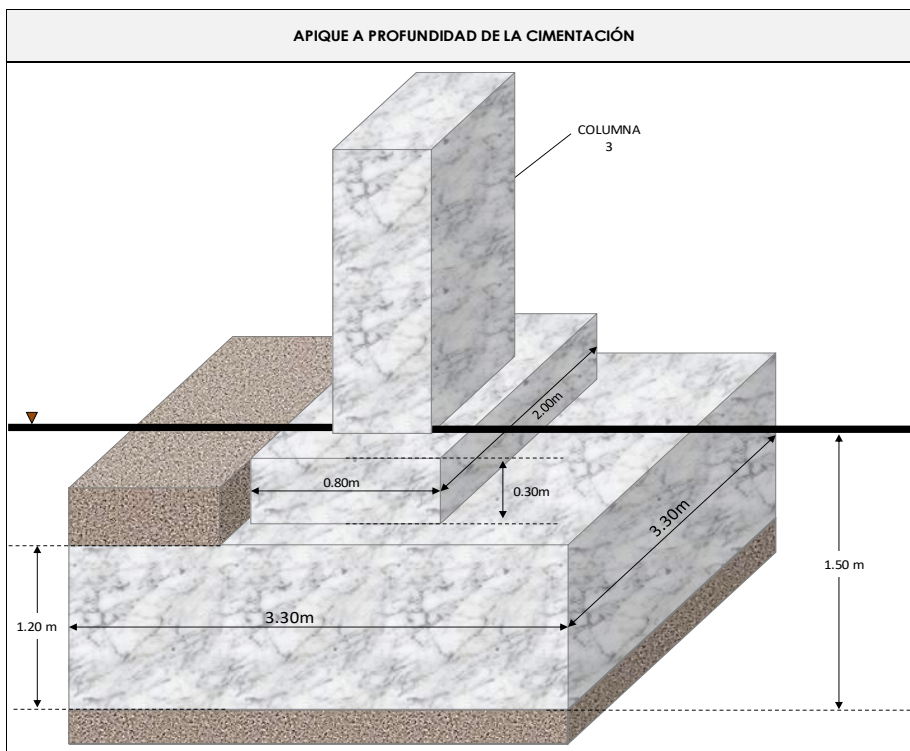


Figura 22. Cimentación encontrada
Fuente: Estudio de suelos.



Figura 23. Exploración del apique para identificar el tipo de cimentación
Fuente: Estudio de suelos

6.17. Diagnóstico

Para realizar el diagnóstico del puente peatonal se llevó a cabo un levantamiento pormenorizado de las lesiones de la estructura, con el propósito de localizar todos los elementos con signos visibles de deterioro.

6.17.1. Equipamientos

6.17.1.1. Superficie del puente y accesos

La superficie del puente es una losa de concreto en regular estado, se evidencia la falta de mantenimiento. Los accesos del puente en este caso son las escaleras, presentan suciedades, humedades, fisuras, erosión, corrosión entre otras. Ver figuras 24 y 25.



Figura 24. Patologías encontradas en la superficie del puente peatonal y accesos
Fuente: Los autores.



Figura 25. Otras patologías encontradas en la superficie del puente peatonal y accesos
Fuente: Los autores.

6.17.1.2. Juntas de dilatación

En la figura 26 se evidencia en los accesos de las escaleras al tablero, se clasifican como juntas abiertas porque no tienen conexión en la ranura y permite el paso directo del agua.



Figura 26. Patologías encontradas en juntas de dilatación en el puente peatonal
Fuente: Los autores.

La junta de dilatación del acceso por el SENA mide 2.5 cm de longitud y la del acceso de viva mide 0,5 cm.

6.17.1.3. Andenes y/o bordillos

El puente cuenta con aproximadamente 79.82 metros lineales de bordillo en concreto reforzado por el costado izquierdo y costado derecho. Se evidencia (ver figura 27) daños como desportillamiento, acero expuesto por falta de recubrimiento y proceso de corrosión. Están en regular estado.

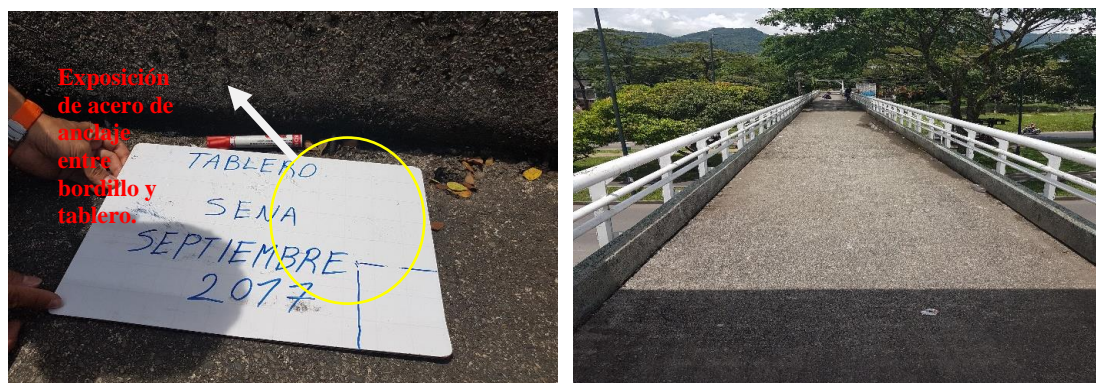
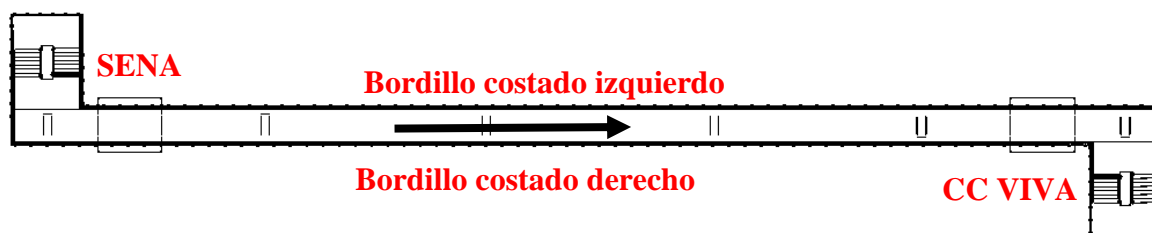


Figura 27. Patologías encontradas en andenes y/o bordillos del puente peatonal
Fuente: Los autores.

6.17.1.4. Barandas

En la figura 28 las barandas son en estructura metálica tubular colmena de diámetro 4 pulgadas la principal tiene dos barandas intermedias de diámetro 1 ½”, se encuentra en regular estado, presenta: ausencia de pintura para la protección de corrosión, sus conexiones y anclajes presenta proceso de corrosión.



Figura 28. Patologías encontradas en barandas del puente peatonal
Fuente: Los autores.

6.17.1.5. Iluminación

El puente no cuenta con luminarias ni ningún tipo de iluminación.

6.17.1.6. Señalización

No cuenta con señalización de ningún tipo.

6.17.1.7. Drenajes

Presenta un sistema de drenaje deficiente, mal diseñado su tubería para el desagüe se encuentra por encima de la lámina de agua de esta manera genera un estancamiento del agua lluvia produciendo daños a los elementos estructurales del puente como humedades, filtración, desprendimiento de pintura, corrosión y el crecimiento de vegetación en las escalera y tablero. Además, actualmente se encuentra taponados por su ubicación e insuficiente sección. Ver figura 29.



Figura 29. Patologías encontradas en drenajes del puente peatonal
Fuente: Los autores.

6.17.1.8. Muro Pantalla

Los muros pantalla son en concreto reforzado, en ambos presentan pérdida de recubrimiento mayor a 5mm, presenta exposición, deslaminación y corrosión del acero de refuerzo, desprendimientos, porosidad y humedad. Un problema crítico que tiene en la zona del SENA es que las personas realizan sus necesidades fisiológicas ocasionando lesiones muy graves a este elemento estructural. También tiene presencia de organismos. Ver figura 30.

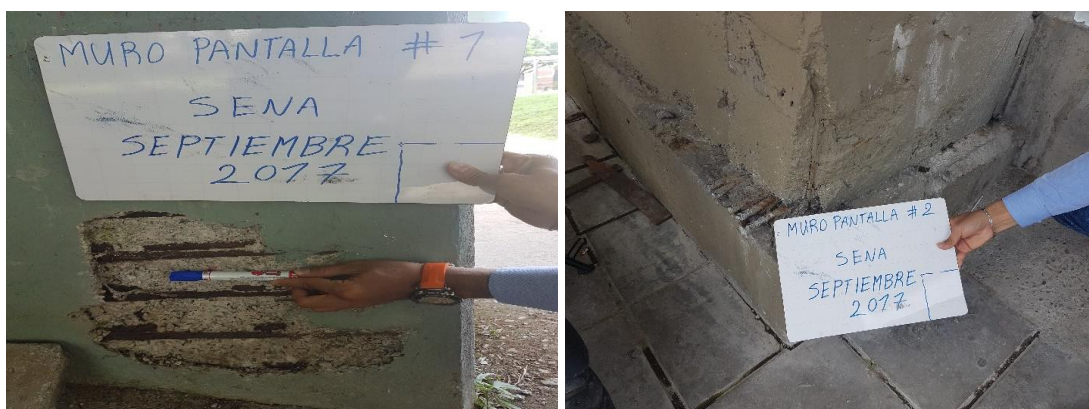


Figura 30. Patologías encontradas en muro pantalla del puente peatonal
Fuente: Los autores.

6.17.2. Subestructura

6.17.2.1. Pilas

Se tienen seis pilas de concreto reforzado, altura 5,55 m aproximadamente, cuya sección transversal es rectangular 0.60m de ancho x 1.60m de largo. Todas las columnas tienen presencia de contenido de materia orgánica y desechos fisiológicos, también se evidencia el desprendimiento de recubrimiento, humedades, suciedad y exposición y corrosión del acero de refuerzo. Como se aprecia en las figuras 31 y 32.



Figura 31. Patologías encontradas en pilas del puente peatonal

Fuente: Los autores.

6.17.3. Superestructura

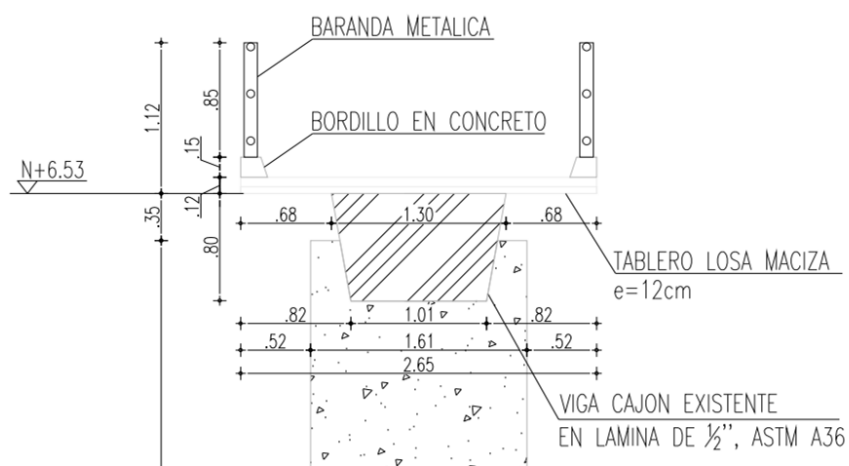


Figura 32. Sección transversal de la superestructura
Fuente: Levantamiento topográfico

6.17.3.1. Losa o tablero

La losa maciza en concreto su espesor es de 0.12m y el ancho 2.65m, la losa presenta segregación del concreto, puntos de alta concentración de humedad, drenajes colmatados, en la losa se evidencia deterioro superficial del concreto. Ver figura 33.



Figura 33. Patologías encontradas en losa o tablero del puente peatonal

Fuente: Los autores.

6.17.3.2. Viga metálica

La viga principal es tipo cajón elaborada en lámina metálica calibre 3/8", como se aprecia en la figura 34, presenta una corrosión leve.



Figura 34. Patologías encontradas en viga metálica del puente peatonal

Fuente: Los autores.

7. Estudio de vulnerabilidad sísmica

Para el análisis de vulnerabilidad sísmica se encargó al ingeniero especialista en estructuras Miller Hazel reyes castellanos MP25202251499 CND. El informe del análisis viene anexo a este documento.

Se extrae del documento las conclusiones y recomendaciones que efectuó el especialista después de evaluar la estructura.

Luego de analizar la viga tipo cajón se encontró que los esfuerzos a los que están sometidas las láminas que la componen se encuentran dentro de un rango que se considera seguro para la resistencia que estas poseen ($f_y=250\text{MPa}$), por lo tanto, no se considera necesario su reforzamiento.

En la estructura principal columnas de soporte: el índice de flexibilidad obtenido (0.10) se concluye que las columnas presentan desplazamientos relativamente bajos y por lo tanto seguros.

Al realizar el análisis de la cimentación se encontró que el diseño de la zapata presenta insuficiencia a la hora de estar sometida a fuerzas de volcamiento producidas por el sismo de diseño, por lo que se hace necesario el uso de un sobre ancho el cual debe fundirse alrededor de las columnas y encima de las zapatas, esto con el fin de aumentar la carga vertical y así aumentar la capacidad de la zapata para resistir el momento de volcamiento.

Estructura escaleras de acceso al puente peatonal: Como resultado del análisis del muro pantalla de la escalera se obtuvo que la cuantía máxima longitudinal que nos muestra el diseño es de 0.0117, esto en la base del muro (donde se presentan los mayores esfuerzos producidos por momento), se considera que el refuerzo presente en las pantallas (varillas $\emptyset 1''$ espaciadas máximo cada 15cm), son suficientes para mantener la estructura dentro de un buen margen de seguridad. De igual manera el refuerzo transversal ($\emptyset 3/8''$ cada 10cm) está dentro de un margen de seguridad que podría considerarse aceptable.

8. Propuesta de intervención

Para que la estructura cumpla con los parámetros exigidos por la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14, se tendrán que realizar recalces con refuerzo y otros sin refuerzo. Los detalles de cada una de las intervenciones se presentan en los planos estructurales de reforzamiento.

La estructura presenta lesiones generadas por acciones físicas, mecánicas, químicas y biológicas, ocasionadas principalmente por deficiencias generadas en la etapa de construcción y funcionamiento, y la falta de la implementación de procesos de intervención preventivo y correctivo; lo que ha permitido el envejecimiento de los materiales y la permisividad del ataque de los agresores ambientales, principalmente.

Las columnas y muros pantallas presentan una alta agresión por corrosión al acero de refuerzo embebido en sus elementos portantes, asociado a una alta disgregación de la masa del concreto, compromete la integridad y seguridad de estos elementos.

Posterior a la intervención de la estructura, se debe programar un mantenimiento periódico para mantener la vida útil de la misma.

8.1. Estructuras metálicas (Elementos estructurales y barandas)

Se debe ejecutar las labores de reposición de pinturas que, por efecto de desgaste, uso cotidiano, ralladuras superficiales, se presenten teniendo especial cuidado en controlar el espesor de acabado y garantizar que en los procesos de limpieza no se afectará el espesor de la barrera protectora.

La limpieza de elementos metálicos deberá adelantarse con lija manual o mediante medio mecánicos teniendo la precaución de no retirar la pintura base, lo cual implica efectuar un control de los milímetros de pintura que se retiran. El lavado podrá realizarse sin jabón y con desengrasante.

La limpieza debe incluir el retiro de materiales extraños a la estructura, tales como avisos, calcomanías, “stickers”, etc.

Durante la limpieza se debe verificar la presencia de corrosión, especialmente en áreas de soldadura y en áreas de difícil acceso, así como también la pérdida de tornillería. Para así ser reemplazada, se deberá aplicar una pintura anticorrosiva.

La losa maciza del tablero presenta algunas áreas afectadas por la carbonatación y exposición del refuerzo, por esto se recomienda intervenirlas como se explica a continuación.

8.2. Losa maciza del tablero

- Retirar el recubrimiento afectado en la zona del elemento.
- Limpiar el óxido presente en las barras de refuerzo
- Aplicar inhibidor de corrosión Sikatop Armatec 108 sobre el área de las barras afectadas.
- Restituir el recubrimiento de concreto con el producto Sikatop 122 plus.

8.3. Estructura principal columnas de soporte

De acuerdo con la evidencia suministrada por el laboratorio NHSQ INGENIERÍA SAS las columnas presentan carbonatación por lo que se hace necesario intervenirlas de la siguiente manera:

8.3.1. Intervención para las columnas tipos: 1, 3, 4, 5 y 6.

- Retirar el recubrimiento afectado en la zona del elemento.

- Limpiar el óxido presente en las barras de refuerzo
- Aplicar el inhibidor de corrosión Sikatop Armatec 108 sobre el área de las barras afectadas.
- Restituir el recubrimiento antiguo que le da las dimensiones normales a la columna usando el producto Sikatop 122 plus.
- Fundir el sobrecancho propuesto para todas las columnas. Para este sobrecancho, utilizar concreto normal (tradicional) con resistencia a la compresión de $f'_c=21\text{MPa}$ (verificar dimensiones y detalles del sobrecancho propuesto en el plano EST-2 adjunto a este informe).
- Aplicar recubrimiento impermeable SikaColor C de acuerdo al número de capas y procedimiento que se especifica en la ficha técnica del producto.

Además de carbonatación y presencia de óxido en las varillas de refuerzo, la columna Tipo:2, presenta corrosión y pérdida del área de acero de las barras longitudinales y transversales del elemento, por esta razón se recomienda realizarle la siguiente intervención:

8.3.2. Intervención para la columna tipo: 2.

- Retirar el recubrimiento afectado en la zona del elemento.
- Limpiar el óxido presente en las barras de refuerzo
- Aplicar el inhibidor de corrosión Sikatop Armatec 108 sobre el área afectada.
- Restituir el recubrimiento antiguo que le da las dimensiones normales a la columna usando el producto Sikatop 122 plus.
- Armar parrilla de refuerzo adicional alrededor de la columna usando los diámetros y separaciones de las varillas.
- Fundir el sobrecancho propuesto para todas las columnas. Para este sobrecancho, utilizar concreto normal (tradicional) con resistencia a la compresión de $f'_c=21\text{MPa}$ (verificar dimensiones y detalles del sobrecancho propuesto en el plano EST-2 adjunto a este informe).

- Aplicar recubrimiento impermeable SikaColor C de acuerdo al número de capas y procedimiento que se especifica en la ficha técnica del producto.

8.4. Estructura escaleras de acceso al puente peatonal:

Al igual que con las columnas principales el concreto presenta carbonatación por lo que se deben intervenir de la siguiente manera:

8.4.1. Intervención para los muros pantalla tipos: 1 y 2

- Retirar el recubrimiento afectado en la zona del elemento.
- Limpiar el óxido presente en las barras de refuerzo
- Aplicar inhibidor de corrosión Sikatop Armatec 108 sobre el área de las barras afectadas.
- Restituir el recubrimiento de concreto con el producto Sikatop 122 plus, el recubrimiento final debe ser de 4.00cm medidos desde el borde de la barra transversal (fleje) hasta la fibra externa del borde de concreto.
- Aplicar recubrimiento impermeable SikaColor C de acuerdo al número de capas y procedimiento que se especifica en la ficha técnica del producto.

La losa superior e inferior de las escaleras presenta algunas áreas afectadas por la carbonatación y exposición del refuerzo, por esto se recomienda intervenirlas de la siguiente manera:

8.4.2. Intervención para losa superior e inferior de las escaleras

- Retirar el recubrimiento afectado en la zona del elemento.
- Limpiar el óxido presente en las barras de refuerzo
- Aplicar inhibidor de corrosión Sikatop Armatec 108 sobre el área de las barras afectadas.
- Restituir el recubrimiento de concreto con el producto Sikatop 122 plus.

Antes de realizar cualquier manipulación de los productos Sika debe consultarse la ficha técnica y manual de usuario.

Como conclusión general para garantizar el buen funcionamiento del puente, se debe atender y reparar el concreto afectado por la carbonatación y el acero de refuerzo con presencia de oxidación siguiendo los procedimientos antes mencionados. También se debe construir el sobreebanco propuesto para cada una de las columnas de la estructura principal del puente.

8.4.3. Limpieza de junta de dilatación con lavado a presión

La actividad consiste en la limpieza de la junta de dilatación, con el fin de descubrir la junta en las condiciones iniciales de su construcción. El retiro de los materiales de sedimentación, vegetación, basuras y demás elementos que las obstruyen forma parte de las actividades de mantenimiento rutinario necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento de las vigas principales y del conjunto de elementos de la superestructura. En todo caso, se busca el retiro de la totalidad del material de obstrucción. }

8.4.4. Lavado con agua a presión, 2000 PSI

El trabajo consiste en el lavado de la superficie del puente empleando agua a presión incluido un desengrasante, para el retiro del hollín y suciedades que químicamente pueden estar afectando al concreto y al acero de refuerzo, de igual forma, permite preparar la superficie para lograr una correcta adherencia de la pintura. El principal aspecto por contemplar es lograr la accesibilidad del equipo de hidrolavado.

8.4.5. Sello de fisuras

Consiste en la inyección de la resina epóxica de baja viscosidad tipo Sikadur 35 LV o equivalente. La superficie debe estar limpia, libre de residuos, de polvo, y totalmente

identificados los puntos a inyectar, y se deben seguir todas las recomendaciones del proveedor del producto.

- La superficie debe estar exento de polvo, grasa, aceite, restos de concreto, cualquier sustancia que reste o impida la adherencia del tratamiento. Si la aplicación del tratamiento (trabajo de inyección) no se realiza inmediatamente después de la limpieza de las superficies se deben proteger contra el riesgo de una nueva contaminación.

- Rectificar que no se presenten desprendimientos de material en la zona donde se va a llevar a cabo el sellado de la fisura.

- Realizar la dosificación correspondiente a las dimensiones específicas de cada fisura, teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante de las inyecciones y la resina.

9. Conclusiones y recomendaciones

Se tiene en general afectaciones por: desgates de bordillos, oxidación barandas, deterioro de juntas, deterioro severo del concreto en los diferentes elementos, contaminación superficial del concreto, humedad, fisura por errores constructivos, etc.

En la evaluación de los diferentes elementos de la estructura del puente asociados a concreto reforzado se mantuvo especial cuidado con algunos puntos en particular, los hormigueros generalizados, aceros expuestos, falta de recubrimiento y fisuras de tipo estructural y no estructural, la falta o la mala localización de los drenes también llevan a que se incremente fallas en elementos de concreto reforzado.

La presencia de la corrosión en el concreto en las columnas y muro pantallas da indicios de que el componente no tendrá el comportamiento esperado a la hora de recibir solicitaciones, y que la falla de la estructura en su totalidad puede ocasionarse; para el concreto no solo es desfavorable estar con síntomas de corrosión sino que además estos síntomas dan pie a pensar que el elemento de acero que es el encargado de responder a los esfuerzos de tensión tiene unas condiciones bajas de capacidad y que es factible que también se comporte inadecuadamente.

Teniendo en cuenta que la viga se está analizando como un elemento continuo, capaz de transmitir los esfuerzos en cada una y a través de sus cuatro paredes, es importante resaltar que la resistencia de las soldaduras debe ser suficiente para soportar esta transmisión de esfuerzos, por lo tanto se recomienda realizar acciones que verifiquen el buen estado, continuidad y calidad de las soldaduras que unen las intersecciones de las paredes y los empalmes de las láminas, esto con el fin de evitar fallas ajenas al análisis que aquí se presenta y que no están en el alcance de este estudio.

Es así entonces como el fenómeno de la corrosión en el concreto una de las debilidades más importantes que se encuentran en estos componentes y que deben ser supervisadas y controladas en el menor tiempo posible, Así se evitarán pérdidas materiales y además se reducirán costos de intervenciones más avanzadas o la reconstrucción total del componente o de la estructura completa. En el inventario de lesiones se aprecia los daños más generales ocasionados por la corrosión del concreto, daños por acero expuesto, por problemas de infiltración, pérdida de material.

Bibliografía y web grafía

- Alcaldía de Villavicencio (2010). Plan de movilidad de la ciudad de Villavicencio. Fase I: Caracterización de la movilidad. Villavicencio: Secretaría de Movilidad.
- Arias, R. y Díaz, S. L. (1996). Diccionario Técnico de Ingeniería civil. (Vol. 13). Medellín, Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica e INVIAS (2014). Norma Colombiana de Diseño de Puentes – LRFD – CCP-14. Bogotá: INVIAS.
- Chicangana, G., Vargas-Jiménez, C. A., Kammer, A., Caneva, A., Salcedo-Hurtado, E. y Gómez-Capera, A. (2015). La amenaza sísmica de la Sabana de Bogotá frente a un sismo de magnitud $M > 7.0$, cuyo origen esté en el Piedemonte Llanero. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 73-91.
- García, J. (2013, Febrero 9). Conceptos Generales sobre el concreto y los materiales para su elaboración [En línea]. Recuperado en octubre de 2018, de <https://ingjohnnygarciaupn.wordpress.com/2013/02/09/conceptos-generales-sobre-el-concreto-y-los-materiales-para-su-elaboracion/>
- Instituto de Desarrollo Urbano “IDU” (2009). *Cartilla para el puente peatonal prototipo para Bogotá*. Bogotá: Alcaldía Mayor.
- Locke , T. y Locke, A. (2011). Atlas Ilustrados de los Puentes del Mundo. Madrid: Susaeta.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de construcción Sismo Resistente, NSR-10. Bogotá: Minambiente.
- Observatorio de la Agencia Nacional de seguridad Vial (2018).
- París, G. y Romero, J. (1994). Fallas activas en Colombia. *Boletín Geológico*, 34 (2-3): 3-26.

Plata, W. M. y Salamanca, J. E. (2007). Estudio departamento del Meta. Dirección Nacional de Escuelas. Trabajo de grado para asenso al grado de Teniente Coronel. Bogotá: Policía Nacional.

Salle, U. L. (2015). Partes de un puente [En línea]. Apuntes ingeniería civil. Recuperado en octubre de 2018, de: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2010/10/partes-de-un-puente.html>

Tadeu, N. (2011). Identificación y Análisis de Patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. *Revista Ingeniería de Construcción*, 26(1), 05-24.

Anexos

Anexo A. Resultados de los ensayos de laboratorio

Anexo B. Estudios de Suelos

Anexo C. Fichas de levantamiento de lesiones

Anexo D. Estudio de vulnerabilidad sísmica

Anexo E. Plano Topográfico

Anexo F. Plano de intervenciones