

ESTUDIO PATOLÓGICO DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE CAÑO GRANDE

INTEGRANTE:

Vanessa Monje Valdés

C.C. 1.082.214.891

Gildardo Alfonso Melo Flórez

C.C. 86.063.649

Jorge William Pérez García

C.C 79.849.748

PROYECTO DE GRADO

Entrega Final

PRESENTADO A:

Ing. Diana Mylena Zambrano Vásquez

Universidad Santo Tomás
Especialización en Patología de la Construcción
Bogotá D.C
2025

**INFORME ESTADO ACTUAL DEL PUENTE VEHICULAR SOBRE CAÑO GRANDE
CALZADA DERECHA CORREDOR VIAL FUNDADORES-PORFIA, EN EL MUNICIPIO DE
VILLAVICENCIO, META**



VILLAVICENCIO SEPTIEMBRE DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
1. HISTORIA CLINICA	7
1.1. DATOS GENERALES	7
1.1.1. LOCALIZACIÓN PUENTE VEHICULAR SOBRE CAÑO GRANDE	7
1.1.2. COORDENADAS	7
1.1.3. CARACTERISTICAS Y DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA.....	8
1.2. ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS.....	8
1.2.1. HISTORIA Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO PATOLOGICO	8
1.2.2. ESTADO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA	9
1.2.3. SISTEMA CONSTRUCTIVO	9
1.2.4. PARAMETROS Y CLASIFICACION GEOLOGICA.....	9
1.2.5. PARAMETROS Y CLASIFICACION SISMICA	10
1.2.6. PARAMETROS Y CLASIFICACION GEOTECNICA - SUELOS	11
1.3. LESIONES O PATOLOGIAS PRESENTES EN LA ESTRUCTURA DE ESTUDIO.....	12
2. METODOLOGIA.....	12
3. ANALISIS DE DATOS.....	14
4. DIAGNÓSTICO.....	15
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	16
6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	17
6.1 UBICACIÓN	17
6.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.....	17
6.3 HISTÓRICO DE SISMOS	17
6.4 VECINOS COLINDANTES.....	18
6.5 SISTEMA CONSTRUCTIVO	18
6.6 MATERIALES	18
6.7 CIMENTACIÓN	19
6.8 SISTEMA ESTRUCTURAL	19
6.9 MATRIZ DE VULNERABILIDAD	20
6.9.1 CALIFICACIÓN CUALITATIVA DEL PACIENTE ESTRUCTURAL	21

7.	CRONOGRAMA	23
8.	PRESUPUESTO.....	24
9.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	25
9.1.	RESULTADOS TÉCNICOS Y ESTRUCTURALES	26
9.2	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO.....	26
9.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS SÍSMICO Y DE VIDA ÚTIL	27
9.4	RESULTADOS DE LA PROPUESTA TÉCNICA DE INTERVENCIÓN	27
9.5	RESULTADOS SOCIALES, AMBIENTALES Y REGIONALES.....	27
9.6	RESULTADOS ACADÉMICOS Y PROFESIONALES	28
10.	CONCLUSIONES.....	28
11.	RECOMENDACIONES	29
12.	REFERENCIAS.....	29
	ANEXOS.....	31

Resumen

Este proyecto de grado aborda la intervención estructural del puente vehicular sobre el Caño Grande, ubicado en Villavicencio, Meta. El objetivo principal es diagnosticar el estado actual del puente, identificar patologías constructivas y proponer soluciones técnicas que garanticen su funcionalidad, seguridad y durabilidad.

La metodología empleada incluye inspecciones visuales, análisis de materiales, evaluación de cargas y modelado estructural, complementada con criterios normativos vigentes. A partir de los resultados obtenidos, se plantea una estrategia de intervención que contempla refuerzos estructurales, mejoras en la cimentación y recomendaciones para el mantenimiento preventivo.

Este trabajo contribuye al fortalecimiento de la infraestructura vial de la región, promoviendo prácticas de ingeniería ética y sostenible. Además, se destaca la importancia de integrar el diagnóstico técnico con una visión humanista, orientada al bienestar social y al desarrollo territorial.

Palabras Claves: Intervención estructural, Puente vehicular, Diagnóstico técnico, Caño Grande, Villavicencio, Infraestructura vial, Ingeniería civil, Mantenimiento preventivo, Patologías constructivas, Desarrollo territorial.

Abstract

This undergraduate thesis focuses on the structural intervention of the vehicular bridge over Caño Grande, located in Villavicencio, Meta. The main objective is to assess the current condition of the bridge, identify construction pathologies, and propose technical solutions to ensure its functionality, safety, and long-term durability.

The methodology includes visual inspections, material analysis, load evaluation, and structural modeling, all aligned with current regulatory standards. Based on the findings, a comprehensive intervention strategy is proposed, involving structural reinforcements, foundation improvements, and preventive maintenance recommendations.

This project contributes to the enhancement of regional road infrastructure, promoting ethical and sustainable engineering practices. It also emphasizes the integration of technical diagnostics with a humanistic perspective, oriented toward social well-being and territorial development.

Keywords: Structural intervention, Vehicular bridge, Technical assessment, Caño Grande, Villavicencio, Road infrastructure, Civil engineering, Preventive maintenance, Construction pathologies, Territorial development.

1. HISTORIA CLINICA

1.1. DATOS GENERALES

1.1.1. LOCALIZACIÓN PUENTE VEHICULAR SOBRE CAÑO GRANDE

El Puente caño grande hace parte del corredor Fundadores- Porfía que hace parte de la vía Villavicencio-Acacias, está ubicado en la ciudad de Villavicencio (ciudad que representa el centro urbano más importante de los llanos orientales y la región de la Orinoquia), y une los departamentos del Meta con el departamento de San Jose del Guaviare, este corredor actualmente es intervenido por La Agencia para la Infraestructura del Meta “AIM”, mediante contrato de obra N°.116 de 2018 cuyo objeto es el “Mejoramiento de la vía principal que conduce desde intersección Fundadores hasta acceso ciudad Porfía en el municipio de Villavicencio,” con el consorcio vías del llano 2018” – convirtiendo así el corredor vial de una vía bidireccional con solo dos carriles a una vía con doble calzada y tres carriles por cada calzada.

Figura 1

Localización Puente Vehicular Caño Grande



Nota. Imagen tomada de Google Earth

1.1.2. COORDENADAS

PUNTO DE INICIO:

GRID N:945864,410 GRID E:1046808,427

LATITUD:4°06'513" LONGITUD: :-73°39'21,424"

PUNTO FINAL

GRID N:945832,831 GRID E:1046798,000

LATITUD:4°06'22,485" LONGITUD: :-73°39'21,756"

1.1.3. CARACTERISTICAS Y DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA

Por medio la inspección visual preliminar, se logra evidenciar que el puente vehicular es una estructura de vigas simplemente apoyadas, no presenta esviaje aparente y está conformado por dos luces continuas de 11.26 m. La superestructura está conformada por dos tipologías de vigas, debido a que el puente vehicular fue objeto de pasadas ampliaciones ya que la sección transversal fue construida en dos etapas diferentes. En la primera etapa, se presume la construcción de un puente tipo viga-losa en concreto reforzado, con 2 vigas de altura total de aproximadamente 0.78m sin losa, con ancho de 0.44 y un tablero de 0.20m de espesor. En la segunda etapa de construcción más reciente de ampliación en concreto reforzado, el puente tipo viga losa está conformado por cuatro vigas con una altura total aproximada de 0.65m, con ancho de 0.40m y un espesor de tablero de 0.20m. Se logró evidenciar que, de los estribos y apoyo central, se encuentran conformados por concreto ciclópeo, para mas detalles de las dimensiones y composición de la estructura se anexaran en la siguiente etapa una vez se realice el levantamiento topográfico y los respectivos análisis de laboratorio.

1.2. ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS

1.2.1. HISTORIA Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO PATOLOGICO

El puente sobre el afluente caño Grande fue construido hace 60 años aproximadamente en la década de los años 60 en la expansión y colonización de ciudadanos procedentes del centro del país y eje cafetero, a los llanos orientales originada por el desplazamiento que genero la guerra entre los partidos políticos del momento (liberales y conservadores).

Se tiene que la vía primaria Villavicencio-Acacias de categoría I, es una arteria vial para desarrollo del país (despensa agrícola de Colombia), presenta un nivel de importancia alta ya que une los departamentos del Meta y San Jose del Guaviare. Para el año 2014 Y 2015, la empresa de Consultoría colombiana "CONCOL", realizo los respectivos estudios y diseños para el mejoramiento y ampliación de la vía y doble calzada Fundadores- Porfía, incluyendo el puente vehicular de Caño Grande (ver anexo N.1, N.2 y N.3); pero debido a falencias en la totalidad de los diseños y cálculo de las cantidades requeridas para la construcción de las obras de mejoramiento vial, el proyecto se desfinancio y no fue posible la construcción de la estructura sobre el afluente de Caño Grande, razón por la cual el día 04 de marzo de 2025, la Subdirección de Control de la Dirección de Seguimiento, Evaluación y Control del Sistema General de Regalías del Departamento Nacional de Planeación (DNP) profirió el Acto sancionatorio No. SDC-20254460000509, por la no construcción del puente Caño Grande (ver anexo N.6 y N.7), ya que este hacia parte de la meta producto del proyecto en los indicadores que miden el objetivo general contemplado en la MGA (ver anexo N.5); y el puente existente se encuentra en malas condiciones, razón por la cual fue surge la necesidad de realizar el respectivo análisis patológico y estudio de vulnerabilidad para determinar realmente la vida

residual que le queda a la estructura existente y que esta sea suficiente mientras la entidad AIM realiza los trámites administrativos respectivos para la consecución de los recursos necesarios para la construcción final del puente de Caño Grande.

1.2.2. ESTADO ACTUAL DE LA ESTRUCTURA

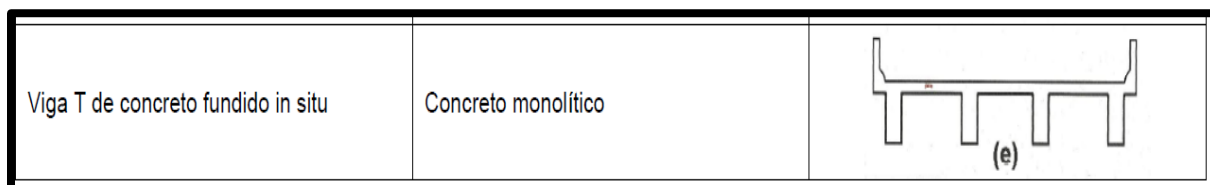
El puente sobre el afluente Caño Grande se encuentra hoy en día en completo funcionamiento, soportando la carga vehicular propia del municipio de Villavicencio y la carga vehicular de la vía que conduce de Villavicencio hacia la región del ariari (despensa agrícola de Colombia) y hacia el departamento del Guaviare.

1.2.3. SISTEMA CONSTRUCTIVO

SUPERESTRUCTURA

Figura 2

Corte Monolítico



Nota: Fuente CCP-14

El puente vehicular está conformado por un sistema tipo viga-losa, el cual se utiliza generalmente en puentes de luces pequeñas, debido a su buen comportamiento frente a las cargas dinámicas del camión y tándem de diseño.

1.2.4. PARAMETROS Y CLASIFICACION GEOLOGICA

Figura 3 y 4

Perfiles geológicos del sitio de cruce, puente sobre el caño grande, conclusiones y recomendaciones.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

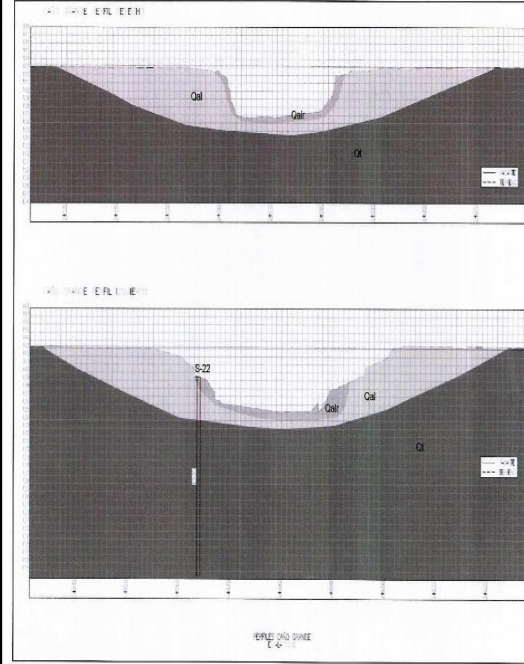
La totalidad del proyecto de ampliación a doble calzada Fundadores - ciudad Porfía, se localiza sobre la unidad geomorfológica de llanura, conformada litológicamente por una serie de depósitos aluviales de terraza inconsolidados, emplazados sobre pendientes suaves a casi planas. La disposición horizontal de los materiales, junto con su alta permeabilidad, las buenas condiciones de drenaje de la zona y la resistencia alta de los fragmentos rocosos, conforman un escenario con buenas condiciones de estabilidad y facilidad constructiva.

La ciudad de Villavicencio se encuentra atravesada por la Falla de Villavicencio, que en la literatura hace parte del sistema de fallas de Guicáramo, un sistema con actividad neotectónica detectada y considerada una fuente de eventos sísmicos, lo que ha generado la clasificación de amenaza sísmica alta para la región y la parte urbana. Este aspecto debe tenerse en cuenta en los cálculos estructurales de las obras, consideración el valor de la aceleración en el diseño de los puentes, cruce sobre el Caño grande y Caño Pendejo.

Según el modelo geológico de la zona, los depósitos aluviales presentes en la llanura tienen un espesor que sobrepasa los 30 m profundidad; aunque en algunos sectores de acuerdo con las perforaciones del subsuelo realizadas, en Caño Pendejo y el Puente de la Rochela, reportaron la presencia de rocas de la formación Areniscas del Limbo a una profundidad de 12 metros aproximadamente.

El proyecto se desarrolla en un área de topografía casi plana, en donde los procesos de movimientos en masa no son muy frecuentes y por ende la clasificación de amenaza es muy baja. La amenaza por inundación si es importante y en especial las zonas aledañas de los principales caños o drenajes como el caño Pendejo, Caño Grande y Caño Tigre; consideradas de amenaza alta, debido que en épocas de lluvias puede presentar un comportamiento fluvio-torrencial.

Figura 4.2 Perfiles geológicos del sitio de cruce, puente sobre el Caño Grande.



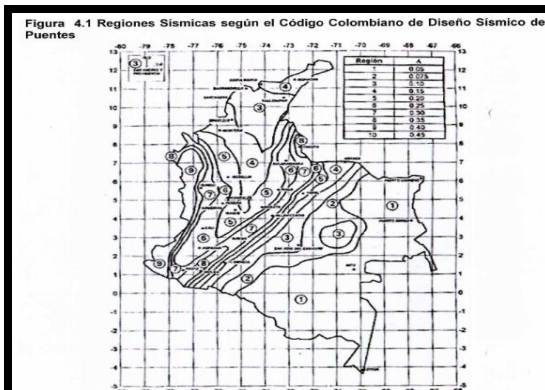
Fuente: Concol 2014

Nota: Octubre 2014. Diseños fase III de la doble calzada Villavicencio-ciudad porfia - estudios de geología para ingeniería DIS_VCP001GILN-001- Bogota D.C.

1.2.5. PARAMETROS Y CLASIFICACIÓN SÍSMICA

Figura 5

Regiones sísmicas según el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes.



Por otra parte, según el Apéndice A-4 de la NSR-10, el nivel de Amenaza Sísmica para el municipio de Villavicencio es Alto, con los siguientes parámetros de aceleración para diseño:

- Coeficiente de Aceleración Horizontal A_h : 0.25
- Coeficiente de Aceleración Vertical A_v : 0.30

Si bien por normatividad estos valores no son aplicables para el diseño estructural de puentes, son indicativos del nivel de Amenaza Sísmica de la zona del proyecto.

4 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para el desarrollo del Proyecto se consultó la siguiente información:

- Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCDSP-95). Instituto Nacional de Vías. 1995.
- Norma Sismorresistente NSR – 10. Título H: Estudios Geotécnicos. ACIS. 2010
- Plano Geológico del Departamento de Meta. Gobernación del Meta e Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004.
- Estudio Geológico y Geotécnico Anillo Vial de Villavicencio y sus Accesos. Grupo ODINSA. 2014
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Instituto Nacional de Vías. 2007

La información recopilada permitió definir la profundidad que debía ser alcanzada con la Exploración Geotécnica directa para puentes, como complementación de la información desarrollada por ODINSA en la etapa de Fase II del proyecto.

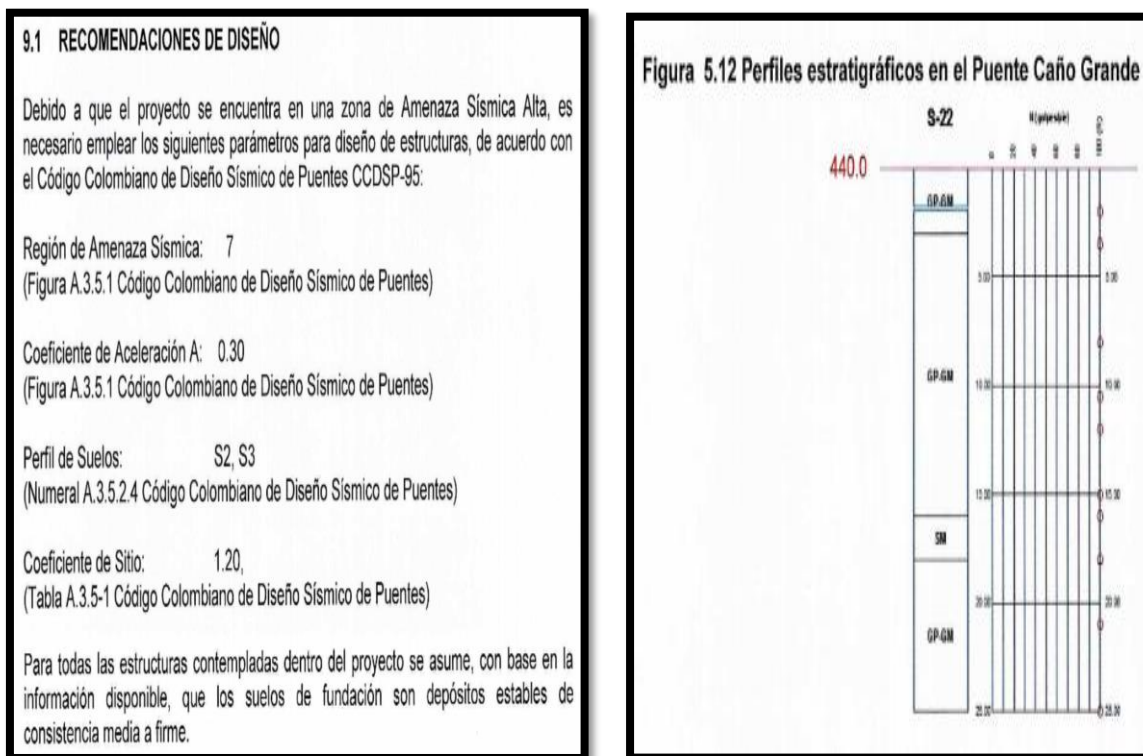
De acuerdo con la Figura A.3.5-1 del Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCDSP-95), la ciudad de Villavicencio se encuentra en la Región Sísmica 7, con un Coeficiente de Aceleración A de 0.30; la ubicación del sitio del proyecto respecto de las Regiones Sísmicas establecidas en el Código se presenta en la Figura 4.1.

Nota: Octubre 2014 Estudio de suelos para el diseño de fundaciones de puentes y otras estructuras de contención DIS VCP001GTIN-001, Bogotá D.C.

1.2.6. PARAMETROS Y CLASIFICACION GEOTECNICA – SUELOS

Figura 6 y 7

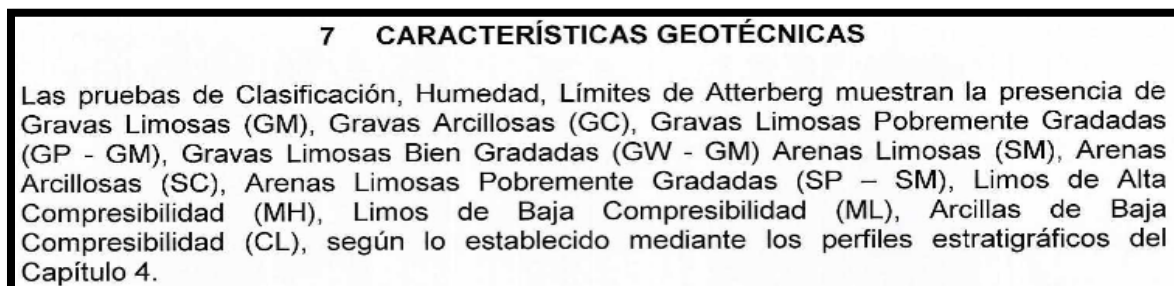
Perfiles estratigráficos de el Puente Caño Grande, recomendaciones de diseño.



Nota: Octubre 2014 Estudio de suelos para el diseño de fundaciones de puentes y otras estructuras de contención DIS VCP001GTIN-001, Bogotá D.C

Figura 8

Características Geotécnicas



Nota: Abril 2015 Diseños fase III de la doble calzada Villavicencio-ciudad porfiria – volumen vi. estudio geotécnico y diseño del pavimento DIS_VCP003GTIN-002M, Bogotá D.C.

1.3. LESIONES O PATOLOGÍAS PRESENTES EN LA ESTRUCTURA DE ESTUDIO:

Durante la primer etapa de inspección visual preliminar se identificaron diversidad de patologías tales como las ocasionadas por lesiones de origen biológico (evidencia de organismos de origen vegetal debido a las filtraciones los cuales acentúan más la humedad en las vigas y aceleran el proceso de oxidación del acero inferior de las vigas), químico (eflorescencia, oxidación del acero inferior de las vigas por mal proceso constructivo ya que no dejaron recubrimiento mínimo inferior.), mecánico (desprendimiento del concreto por carbonatación y oxidación del acero, entre otras patologías, que se estudiarán más al detalle en los próximos talleres).

2. METODOLOGÍA

Procesamiento de la información.

El procesamiento de la información obtenida en la inspección visual se complementará con la elaboración de los siguientes ensayos.

Tabla 1

Ensayos propuestos

Etapas	Descripción	Instrumentos utilizados	Resultados esperados
Inspección visual	Diagnóstico inicial de las lesiones	Andamios, Cámara fotográfica, Pie de Rey, Fisurómetro, Fichas de levantamiento de patologías	Registro fotográfico, informe de relación de patologías
Levantamiento de planos.	Se realizará levantamiento topográfico de la estructura existente	Estación topográfica	Plano de puente existente con medidas exactas, medidas y espesores de las estructuras
Ensayos de laboratorio.	Se realizarán ensayos no destructivos y destructivos.	Carbonatación, ferroskan, regatas, esclerometría, extracción de núcleos	Resistencia del concreto, configuración y espaciamiento de aceros, confirmación de medidas y

			espesores de las estructuras
Informe de diagnóstico.	Relación y resumen de hallazgos encontrados	Resultado de la inspección visual, planos topográficos, y resultados de laboratorio	Conclusiones y síntesis de las lesiones encontradas
Propuesta de rehabilitación	Planteamiento de la propuesta de intervención	Conocimiento, experiencia resultados anteriores del diagnóstico	Definir el plan de rehabilitación

3. ANÁLISIS DE DATOS

Tabla 2

Análisis de datos

Aspecto analizado	Datos recopilados	Métodos de análisis	Resultados del análisis
Estado general del paciente estructural (Puente Caño Grande – Margen Derecha)	Inspección visual detallada, registro fotográfico, levantamiento topográfico, revisión de planos originales (CONCOL 2014–2015) y evaluación del nuevo puente peatonal metálico adosado.	Comparación de condiciones actuales con planos de diseño original y normativa vigente (NSR-10, INVIAS 2013).	Se observan deterioros estructurales progresivos en elementos de concreto: fisuración longitudinal y transversal, desprendimiento de recubrimientos, corrosión superficial en armaduras y erosión en estribos y apoyos. Las aletas presentan fisuras y grietas significativas originadas por la carga adicional del puente peatonal metálico, afectando su integridad estructural. La falta de mantenimiento ha agravado la condición del concreto y acelerado la progresión de las patologías. El puente conserva capacidad funcional limitada.
Condiciones ambientales y de exposición	Entorno fluvial con alta humedad, lluvias frecuentes, variaciones térmicas y exposición directa a radiación solar.	Evaluación de factores ambientales según clasificación de exposición del concreto (INVIAS y ACI 318).	Condiciones de exposición severas (ambiente húmedo y agresivo), con alta probabilidad de carbonatación, corrosión del acero y erosión hidráulica en elementos de concreto. La falta de protección superficial y limpieza periódica incrementa el deterioro.
Patologías estructurales identificadas	Lesiones registradas en campo: fisuras, grietas, desprendimientos, oxidación, socavación en estribos y deformaciones en la losa. En las aletas, fisuración considerable atribuida al anclaje del puente peatonal metálico y al abandono del mantenimiento preventivo.	Inspección visual, medición directa de grietas y fisuras, esclerometría, extracción de núcleos de concreto y análisis de laboratorio.	Se evidencian pérdidas localizadas de resistencia, profundidad de carbonatación significativa, fisuración inducida por sobrecarga estructural y corrosión incipiente en elementos inferiores. Las aletas muestran fisuras activas de origen estructural, agravadas por la falta de mantenimiento, que permite la infiltración de agua y el crecimiento diario de las grietas.
Cumplimiento normativo y condiciones de diseño	Estudios de diseño original (CONCOL 2014–2015) frente a condiciones actuales.	Comparación con criterios de la NSR-10 (Sección D.2), INVIAS (Sección 6 y 7) y AASHTO LRFD 2017.	El puente no cumple con los criterios actuales de diseño sísmico ni de carga vehicular (HL-93). Tampoco se evidencia refuerzo previo que permitiera el adosamiento del puente peatonal metálico. El tránsito actual reducido contribuye a mantener la operatividad temporal del sistema, aunque en condiciones de vulnerabilidad estructural.
Ensayos de laboratorio	Ensayos de compresión en núcleos, contenido de cloruros, esclerometría, extracción de muestras de acero y revisión de recubrimientos.	Métodos normalizados ASTM y NTC.	Concretos con resistencia promedio entre 180–210 kg/cm ² ; se observa pérdida de cohesión y carbonatación avanzada. El material ciclópeo de las aletas muestra disgregación parcial y baja densidad, agravadas por la humedad constante y la ausencia de mantenimiento.
Ensayos no destructivos	Esclerometría, ultrasonido, inspección de armaduras mediante regatas.	Comparación con resultados de núcleos y normativa ACI 228.1R.	Homogeneidad estructural aceptable en los elementos principales, aunque se presentan zonas de baja densidad y fisuración interna en las aletas y estribos, asociadas a sobreesfuerzos estructurales y falta de mantenimiento prolongada.
Evaluación de deformaciones y desplazamientos	Medición topográfica de vigas, tablero y aletas.	Control de nivel y alineación mediante equipo topográfico de precisión.	No se observan desplazamientos significativos en el tablero; sin embargo, las aletas presentan ligeros movimientos diferenciales y apertura progresiva de fisuras, producto de las tensiones adicionales generadas por el puente peatonal metálico y de la ausencia de mantenimiento que permita controlar su avance.
Análisis funcional y de tránsito	Aforos vehiculares, redistribución de carga y verificación de niveles de servicio.	Ingeniería de tránsito (Manual HCM).	Carga vehicular reducida por redistribución hacia el nuevo puente (margen izquierda). El puente peatonal metálico agrega peso y vibración a las aletas, sin haber sido contemplado en el diseño original, incrementando el nivel de exigencia estructural. La falta de mantenimiento rutinario de juntas y drenajes afecta el confort y seguridad de operación. Nivel de servicio vehicular mejorado de F → A.
Conclusión del análisis estructural	Integración de resultados de campo, ensayos y observación técnica.	Síntesis según metodología de diagnóstico patológico estructural.	Los resultados confirman deterioros físicos y funcionales de carácter progresivo, agravados por la falta de mantenimiento preventivo. Las fisuras en las aletas tienen origen estructural inducido por la carga adicional del puente peatonal metálico, que excede su capacidad de diseño y se incrementa diariamente al no realizarse reparaciones. Los valores y condiciones obtenidas serán analizados en el Punto 4 (Diagnóstico), donde se interpretan a la luz del Informe de Vulnerabilidad, clasificando la estructura en Etapa 5 de vida útil, con una vida residual aproximada de cinco (5) años.

4. DIAGNÓSTICO

Tabla 3

Diagnóstico

Aspecto analizado	Descripción de la patología	Origen y tipo	Hallazgos	Recomendaciones técnicas
Fisuración longitudinal y transversal en tablero y vigas	Presencia de fisuras longitudinales en la losa y transversales en las vigas principales, visibles en intradós.	Mecánico – primario. Asociado a fatiga por carga repetitiva y contracción del concreto.	Fisuras de apertura variable entre 0.3 y 0.8 mm, algunas con eflorescencias y oxidación superficial.	Sellado con resinas epóxicas, inyección de fisuras activas, limpieza y aplicación de recubrimiento impermeabilizante.
Corrosión de armaduras y desprendimiento de recubrimiento	Zonas con pérdida de recubrimiento y presencia de óxidos en barras expuestas.	Químico – secundario. Asociado a carbonatación profunda y penetración de humedad y CO ₂ .	Carbonatación promedio entre 2.5 y 3.0 cm, pérdida de adherencia localizada y corrosión incipiente.	Retiro de concreto suelto, limpieza mecánica de barras, pasivador anticorrosivo y restitución del recubrimiento con mortero polimérico.
Desprendimiento y erosión superficial del concreto en estribos y vigas	Desgaste superficial del concreto expuesto al cauce y zonas de escurrimiento.	Físico – secundario. Erosión por impacto hidráulico, lavado y ciclos de humedad-sequedad.	Desgaste entre 1–2 cm en caras inferiores de vigas y hasta 5 cm en zonas de socavación.	Restauración con mortero de alta resistencia y recubrimiento impermeable antiabrasión.
Socavación y pérdida de material en cimentaciones y estribos	Erosión progresiva del material granular en la base de los estribos.	Hidráulico – secundario. Efecto directo del caudal del Caño Grande.	Pérdida parcial de material de soporte y exposición del concreto de fundación.	Implementar obras de protección hidráulica: enrocado, colchonetas Reno o espolones en margen afectada.
Manchas, eflorescencias y filtraciones en intradós del tablero	Presencia de sales y humedad visible en la superficie inferior del tablero.	Químico-físico – secundario. Migración de sales solubles y filtraciones por deficiencia de impermeabilización.	Manchas blanquecinas y humedad permanente en aproximadamente 35% del intradós del tablero.	Limpieza superficial, sellado de juntas y aplicación de recubrimiento hidrófugo.
Crecimiento biológico (musgo, líquenes y vegetación)	Vegetación superficial adherida a zonas húmedas del estribo y apoyos.	Biológico – secundario. Asociado a retención de humedad y falta de limpieza periódica.	Cobertura biológica en zonas bajas del estribo y drenajes obstruidos.	Limpieza manual, tratamiento biocida y mantenimiento semestral.
Desalineación leve en vigas y deformaciones por fatiga	Ligeras deformaciones observadas mediante control topográfico.	Mecánico – primario. Fatiga acumulada del concreto y sobrecargas históricas.	Flechas dentro del rango admisible, sin riesgo inminente.	Continuar con monitoreo topográfico anual y control de cargas permitidas.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Tabla 4

Propuesta de intervención

Área / Componente	Propuesta de intervención	Objetivo técnico
Tablero del puente	Limpieza general de la superficie, sellado de fisuras activas con resinas epóxicas y aplicación de membrana impermeabilizante.	Detener el ingreso de agua y agentes agresivos; reducir la carbonatación y prolongar la vida útil remanente del tablero.
Vigas principales y secundarias	Remoción del concreto suelto, limpieza mecánica de armaduras, aplicación de pasivador de corrosión y restitución de recubrimiento con mortero epóxico.	Restaurar la integridad del concreto armado y detener el proceso de corrosión.
Apoyos y neoprenos	Revisión y limpieza general; sustitución de apoyos deteriorados por nuevos elementos elastoméricos.	Mejorar la transmisión de cargas entre superestructura y subestructura; asegurar la movilidad estructural.
Estribos y muros de contención (aletas)	Reparación de secciones erosionadas, aplicación de morteros de reparación estructural y recubrimientos impermeables.	Recuperar la capacidad portante y proteger los elementos frente a la acción hidráulica del caño.
Cimentaciones	Implementación de protección hidráulica mediante enrocado o colchonetas tipo Reno en las zonas de socavación detectadas.	Mitigar el riesgo de socavación y pérdida de soporte en las fundaciones del puente.
Drenaje superficial y subdrenaje	Limpieza y destaponamiento de drenes y bajantes; instalación de canaletas nuevas para evacuación pluvial.	Evitar acumulación de humedad y filtraciones hacia la estructura.
Juntas de expansión	Sustitución de juntas deterioradas por elementos de caucho o acero galvanizado.	Garantizar la continuidad estructural y absorber movimientos térmicos.
Superficie de rodadura	Fresado, limpieza y aplicación de carpeta asfáltica de 5 cm de espesor con imprimación asfáltica previa.	Mejorar la regularidad superficial y asegurar condiciones seguras de tránsito.
Elementos metálicos y barandas	Limpieza, retiro de óxido y aplicación de pintura anticorrosiva; sustitución de barandas en mal estado.	Incrementar la seguridad vial y prolongar la durabilidad de los elementos metálicos.
Vegetación y biodeterioro	Limpieza manual y aplicación de solución biocida en zonas húmedas.	Eliminar la retención de humedad y prevenir el crecimiento biológico.
Monitoreo estructural	Establecer un programa de inspección anual con levantamiento fotográfico, topográfico y ensayos no destructivos.	Controlar la evolución de las patologías y garantizar la operación segura del puente hasta su eventual reemplazo o reforzamiento definitivo.

6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

- 6.1. UBICACIÓN:** El Puente Caño Grande se encuentra ubicado sobre el corredor Fundadores – Porfía, correspondiente al tramo Villavicencio – Acacías, dentro del casco urbano del municipio de Villavicencio (Meta).

Esta estructura hace parte de la infraestructura vial que articula la zona sur de la ciudad, facilitando la comunicación entre sectores residenciales y comerciales.

El puente cruza el Caño Grande, cuerpo de agua que recoge los drenajes pluviales urbanos y desemboca en el sistema de canales principales de Villavicencio. La obra forma parte del proyecto de mejoramiento de la vía principal Intersección Fundadores – Porfía, contratado por la Agencia para la Infraestructura del Meta (AIM) bajo el contrato N.º 116 de 2018.

El emplazamiento corresponde a una zona de piedemonte con topografía suave y suelos aluviales recientes, dentro de un entorno urbano consolidado. Estas condiciones coinciden con lo establecido en el numeral 1.1.1 del Taller N.º 1, donde se clasifica el área como un sector de llanura aluvial activa con drenaje natural limitado y alta humedad ambiental.

- 6.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA:** Según el Estudio Geológico para Ingeniería – CONCOL (2014), el área pertenece al frente orogénico de la Cordillera Oriental, compuesta por depósitos aluviales recientes con presencia de arcillas, limos, arenas y gravas, típicas de los abanicos del piedemonte.

Los suelos son de baja a media capacidad portante (CBR 6–9%), con alto contenido de humedad y nivel freático superficial, lo que los hace sensibles a variaciones de carga y a procesos de saturación.

De acuerdo con la NSR-10, los materiales corresponden al tipo de suelo S2 (blando–intermedio), caracterizado por su susceptibilidad a amplificación sísmica moderada, lo cual incrementa la respuesta dinámica local durante eventos telúricos. Esta condición, sumada a la proximidad de fallas activas como las de Villavicencio–Acacías y Guaicaramo, ubica al sector dentro de una zona de amenaza sísmica intermedia a alta, (ver numeral 1.2.4 del taller N.1).

- 6.3. HISTÓRICO DE SISMOS:**

La Escala de Richter (ML) mide la energía liberada por un sismo a partir de la amplitud de las ondas sísmicas registradas. Los sismos del piedemonte llanero presentan magnitudes entre 5.0 y 6.5 ML, perceptibles pero sin daños significativos, salvo el de 1917 (ML 7.1), considerado el más destructivo en Villavicencio. La actividad reciente (2023–2025) refleja un reajuste tectónico activo en la zona de influencia de la Falla de Villavicencio y del sistema Guaicáramo–Cusiana.

6.4. VECINOS COLINDANTES: El entorno inmediato del Puente Caño Grande es urbano y mixto, con presencia de:

- Vías de acceso y redes de servicios públicos,
- Viviendas de uno y dos niveles,
- Zonas verdes y franjas de drenaje adyacentes al caño,
- Comercios locales de baja altura.

Esta configuración incrementa el riesgo de afectación indirecta durante un evento sísmico, debido a la cercanía de edificaciones no sismo-resistentes y al impacto potencial sobre la movilidad vehicular y peatonal.

El riesgo adicional se asocia a la socavación en los accesos y estribos, agravada por la erosión del cauce durante temporadas de lluvia intensa, lo cual podría comprometer la estabilidad de los terraplenes y la integridad de la vía.

6.5. SISTEMA CONSTRUCTIVO: El Puente Caño Grande – Margen Derecha está conformado por dos luces de aproximadamente 11.26 m y 11.40 m (pila central), con un tablero de losa maciza de concreto de 0.20 m de espesor, apoyado sobre vigas longitudinales de concreto reforzado con secciones variables entre 0.64 m y 0.79 m de altura.

Estas dimensiones corresponden a intervenciones estructurales realizadas en distintas épocas, evidenciando la evolución del diseño y reparaciones puntuales.

Los estribos y la pila central son de concreto ciclópeo, lo cual confirma el carácter heterogéneo y discontinuo del sistema estructural.

La estructura no cuenta con aparatos de apoyo elastoméricos (neoprenos) ni con dispositivos de disipación sísmica, trabajando de forma monolítica con contacto rígido entre vigas y apoyos.

Esta configuración incrementa la rigidez global del sistema, pero también provoca concentraciones de esfuerzos en los extremos de las vigas y cabezales durante la acción sísmica, generando riesgo de fisuración localizada, desprendimiento de recubrimiento y fatiga estructural.

6.6. MATERIALES: Los materiales originales del puente son:

- Concreto armado con resistencia estimada de 210kg/cm², según ensayos de núcleos.
- Acero corrugado con diámetros entre ½" y ¾".
- Apoyos metálicos y juntas de acero y caucho.
- Carpeta asfáltica de 5 cm de espesor sobre imprimación.

El concreto presenta pérdida de recubrimiento, carbonatación profunda y corrosión localizada, reflejando deterioro físico, químico y ambiental producto de la antigüedad y la falta de mantenimiento.

Estos factores reducen la capacidad de deformación y la resistencia a esfuerzos alternos inducidos por movimientos sísmicos.

- 6.7. CIMENTACIÓN:** El puente se encuentra soportado sobre tres estribos de concreto ciclópeo, dos extremos y uno central que actúa como pila intermedia. Estos estribos están fundados directamente sobre el terreno natural, sin la presencia de cimentación profunda tipo caisson o pilotes, y funcionan de manera monolítica con el resto de la estructura.

Cada estribo cumple una doble función: apoyo estructural y contención del relleno de aproximación, garantizando la estabilidad del tablero. Se evidencian signos de erosión y socavación incipiente en las márgenes del cauce, que podrían afectar la base de los estribos si no se controla mediante obras hidráulicas de protección.

La ausencia de cimentación profunda y la naturaleza blanda del terreno incrementan la vulnerabilidad sísmica y geotécnica, debido a posibles asentamientos diferenciales o pérdida de confinamiento lateral.

Se recomienda la implementación de protecciones hidráulicas con enrocado o gaviones y el seguimiento técnico periódico del comportamiento estructural en temporadas de lluvia o crecientes del caño.

- 6.8. SISTEMA ESTRUCTURAL:** El puente corresponde a un sistema estructural isostático de dos vanos, donde las vigas longitudinales transfieren las cargas a los estribos extremos y a la pila central.

La ausencia de aparatos de apoyo elastoméricos y la rigidez del conjunto monolítico generan un comportamiento semicontinuo, con transmisión directa de esfuerzos a los apoyos sin mecanismos efectivos de disipación de energía.

Durante un evento sísmico, esta configuración puede producir:

- Golpeteo entre los extremos de las vigas.
- Fisuración en las zonas de conexión.
- Desplazamientos relativos entre losas y cabezales.
- Daños acumulativos por concentración de esfuerzos.

A lo anterior se suma la falta de mantenimiento periódico, evidenciada en:

- Obstrucción de drenajes y filtraciones activas, que aceleran la carbonatación y la corrosión de las armaduras.
- Ausencia de limpieza y protección superficial, que permite la progresiva pérdida de recubrimiento.
- No reposición de juntas, apoyos ni recubrimientos dañados, lo que genera rigidez no deseada y concentración de tensiones.

Esta falta de conservación preventiva incrementa la rigidez no controlada del sistema, reduce la ductilidad estructural y disminuye la capacidad del puente para disipar energía sísmica, agravando el deterioro existente.

Por lo anterior, el sistema presenta una vulnerabilidad sísmica media a alta, intensificada por el deterioro acumulado, la ausencia de mantenimiento y la falta de mecanismos de disipación o aislamiento estructural.

6.9 MATRIZ DE VULNERABILIDAD

Tabla 5

Matriz de Vulnerabilidad

MATRIZ DE VULNERABILIDAD					
Intervalo IVS	Nivel de vulnerabilidad	Condición estructural y funcional esperada			
0,0 – 1,5	Muy baja	Comportamiento adecuado ante sismos moderados.			
1,6 – 2,5	Baja	Daños menores sin pérdida de funcionalidad.			
2,6 – 3,5	Media	Desempeño aceptable, pero con afectación parcial.			
3,6 – 4,5	Alta	Daños estructurales esperables bajo sismos moderados.			
4,6 – 5,0	Muy alta	Riesgo alto de falla estructural global.			
Ítem	Definición (síntesis)	Peso	Calif. (0–5)	Aporte (=Peso×Calif.)	Evidencia clave
1. Amenaza regional	Sismicidad piedemonte (recurrencia magnitud 4.5–5.8)	0,15	4	0,6	Histórico regional percibido en Villavicencio.
2. Condición de sitio / Amplificación	Suelo S2 blando–intermedio; nivel freático superficial.	0,15	4	0,6	CONCOL 2014; CBR 6–9%; clasificación S2 según NSR.
3. Sistema constructivo	Losa maciza (~0,20 m) sobre vigas de concreto sin apoyos elastoméricos; juntas ausentes o deterioradas.	0,15	3,5	0,525	Trabajo monolítico, secciones variables por etapas.
4. Estado actual (1.2.2)	Fisuras, humedad, corrosión localizada, pérdida de recubrimiento.	0,15	3,5	0,525	Informe Ing. Riveros y registros de inspección.
5. Apoyos / Cimentación	Tres estribos de concreto ciclópeo fundados directamente; sin caissons ni pilotes.	0,15	3,5	0,525	Susceptible a asentamientos diferenciales.
6. Condición hidráulica	Riesgo de socavación y erosión en márgenes del caño.	0,1	4	0,4	Temporadas de lluvia; necesidad de protecciones hidráulicas.
7. Exposición	Entorno urbano mixto; continuidad funcional del corredor.	0,1	3	0,3	Tránsito constante y vecinos colindantes.
8. Mantenimiento / operación	Ausencia de mantenimiento preventivo; rutina de inspección deficiente.	0,05	3	0,15	Evidencias de deterioro no atendido y falta de mantenimiento.
TOTAL		1		3,625	nivel de vulnerabilidad ALTA

6.9.1. CALIFICACION CUALITATIVA DEL PACIENTE ESTRUCTURAL

Componente / Aspecto	Observación clave	Juicio cualitativo
Geometría y configuración	Sistema isostático de dos vanos, conjunto monolítico sin aisladores; concentración de esfuerzos en extremos de vigas y cabezales.	Alta (A)
Redundancia / caminos alternos de carga	Baja; no existen trayectorias de redistribución ante daño local.	Media–Alta (M–A)
Ductilidad global	Limitada por la rigidez de los vínculos viga–apoyo; fisuración previa en elementos principales.	Alta (A)
Estado de materiales	Concreto 180–210 kg/cm ² con carbonatación profunda y corrosión localizada.	Alta (A)
Daño preexistente	Fisuras activas en aletas, desprendimiento de recubrimiento, erosión superficial y deficiencia de drenaje.	Alta (A)
Cimentaciones y apoyo al terreno	Estribos ciclópeos superficiales sobre suelos blandos S2; presencia de socavación incipiente.	Alta (A)
Condición de sitio / amplificación	Suelo aluvial saturado, nivel freático somero; amplificación sísmica moderada.	Alta (A)
Condición hidráulica	Riesgo de socavación y pérdida de soporte durante crecientes.	Media–Alta (M–A)
Apoyos y juntas	Sin neoprenos ni juntas funcionales; rigidez no controlada, propensa a concentración de esfuerzos.	Alta–Muy Alta (A–MA)
Mantenimiento y conservación	Ausencia de mantenimiento preventivo; drenajes obstruidos, recubrimientos vencidos y fisuras sin sellar.	Muy Alta (MA)
Sobrecargas e intervenciones	Puente peatonal metálico adosado induce sobre esfuerzos no previstos sobre aletas y vigas.	Alta (A)
Entorno y exposición	Zona urbana mixta con tráfico constante y edificaciones no sismo resistentes.	Media (M)
Funcionalidad actual	Estructura geoméricamente estable, pero con capacidad funcional limitada.	Media (M)

Predominan las calificaciones Altas (A) y Muy Altas (MA), lo que clasifica al Puente Caño Grande – Margen Derecha dentro de un nivel de vulnerabilidad sísmica global ALTO, con probabilidad de daños estructurales localizados y pérdida temporal de operatividad ante un sismo de moderada magnitud.

TABLA RESUMEN DE ESCALAS DE CALIFICACION CUALITATIVA		
Código	Nivel de vulnerabilidad	Interpretación estructural / condición esperada
MB	Muy Baja	Estructura estable ante sismos severos; daños mínimos o nulos.
B	Baja	Desempeño adecuado; posibles daños leves no estructurales.
M	Media	Daños moderados; reducción parcial de funcionalidad estructural.
A	Alta	Daños estructurales probables bajo sismo moderado; rigidez reducida.
MA	Muy Alta	Riesgo de falla estructural significativa o colapso parcial; requiere intervención inmediata.

El Perfil cualitativo resultante: Predominan calificaciones Alta y Muy Alta en ítems estructurales, de suelo y de mantenimiento → Vulnerabilidad sísmica global: ALTA.
 Desempeño esperado: Bajo sismo moderado, son probables daños estructurales localizados (fisuración en conexiones, desprendimiento de recubrimiento, afectación de

aletas y juntas) y pérdida parcial de servicio; bajo sismo fuerte, riesgo de daños severos en apoyos/aletas y interrupción del tránsito.

CONDICIONANTES QUE ELEVAN LA VULNERABILIDAD

- Sistema rígido monolítico sin neoprenos ni disipadores.
- Suelos S2 saturables y cimentación superficial (estribos ciclópeos).
- Daño previo por sobrecarga del puente peatonal adosado.
- Falta de mantenimiento periódico (drenajes, sellos, recubrimientos).
- Riesgo de socavación en márgenes y accesos.

ACCIONES INMEDIATAS SUGERIDAS (ENFOQUE CUALITATIVO)

1. Mantenimiento correctivo urgente: destaponar drenajes, sellar fisuras activas, reponer recubrimientos y juntas.
2. Apoyos/aislamiento: instalar neoprenos y considerar disipadores en puntos críticos.
3. Refuerzo local: aletas y zonas fisuradas con FRP o camisa de concreto; reparación de cabezales.
4. Protección hidráulica: enrocado/gaviones y control de márgenes para reducir socavación.
5. Monitoreo: esquema semestral de fisuras, corrosión y niveles; inspección post-sismo.
6. Gestión de la intervención peatonal: revisar/mitigar la sobrecarga del puente adosado (desacoplar o redistribuir).

7. CRONOGRAMA

El cronograma contempla todas las fases del estudio patológico del Puente Caño Grande Margen Derecha, desde la recopilación inicial de información hasta la formulación de la propuesta técnica de intervención. Las actividades se distribuyen en un período estimado de **12 semanas** (equivalente a **3 meses calendario**), organizadas de manera secuencial y técnica según la complejidad de cada etapa.

Este cronograma no solo permite organizar de manera eficiente las actividades técnicas y las tareas críticas, sino que también garantiza la trazabilidad del proceso diagnóstico, facilitando el cumplimiento de los objetivos del estudio dentro de los tiempos establecidos. La secuencia propuesta asegura una integración lógica entre la inspección, el análisis y la formulación de soluciones, promoviendo una intervención estructural fundamentada en evidencia técnica y criterios de sostenibilidad.

Tabla 6
Cronograma Plan de Inspección y ensayos

CRONOGRAMA PLAN DE INSPECCION Y ENSAYOS						
Fase y actividad principal	Descripción / Alcance	Duración estimada	Responsable	Recursos requeridos	Producto / Entregable	Observaciones
1. Planeación y revisión documental	Revisión de antecedentes, normativas (NSR-10, INVIAS, AASHTO) y planos del puente. Incluye gestión de permisos y coordinación con tránsito local.	1 semana	Equipo técnico	Computador, bibliografía técnica, señalización, EPP, documentación ambiental	Plan de trabajo y marco normativo	Coordinar con autoridades locales y garantizar seguridad vial.
2. Inspección visual y registro fotográfico	Visita técnica, identificación preliminar de patologías, registro fotográfico y levantamiento de datos.	2 semanas	Equipo técnico	Cámara digital, galgas, flexómetro, fichas de campo	Informe de inspección y registro fotográfico	Requiere condiciones climáticas secas y buena iluminación.
3. Ensayos de campo	Aplicación de métodos no destructivos (Ferroskan, Esclerometría, Regatas) para caracterizar materiales y refuerzo.	2 semanas	Laboratorio acreditado y equipo técnico	Ferroskan PS-200, martillo Schmidt, herramientas manuales	Informe de resultados de campo	Calibrar equipos antes de uso; registrar temperatura y humedad ambiente.
4. Ensayos de laboratorio	Ejecución de ensayos destructivos: extracción de núcleos (ASTM C42), ensayo de carbonatación (RILEM CPC-18) y análisis petrográfico.	2 semanas	Laboratorio acreditado	Perforadora diamantada, cilindros de curado, reactivos, cámara húmeda	Resultados de ensayos de laboratorio	Coordinar cierre parcial del carril y condiciones de seguridad perimetral.
5. Análisis e interpretación de resultados	Procesamiento de resultados de campo y laboratorio, correlación con patologías y normativas vigentes.	2 semanas	Equipo técnico	Software de análisis estructural, computador, fichas técnicas	Informe de análisis y correlación	Verificar coherencia entre datos y observaciones de campo.
6. Diagnóstico final y propuesta de intervención	Integración de resultados y formulación de la propuesta técnica de intervención estructural.	2 semanas	Equipo técnico y asesora	Manuales técnicos, software de diseño, normativa	Informe diagnóstico y propuesta técnica	Validar recomendaciones con la asesora antes de consolidar el documento.
7. Revisión y socialización	Presentación y entrega del documento final ante el comité académico.	1 semana	Asesora y grupo de trabajo	Computador, software de edición, formato APA	Documento final sustentado	Entrega oficial a la docente Ing. María Paz Duque Gutiérrez.

8. PRESUPUESTO

El presupuesto contempla los costos asociados a la ejecución integral del estudio patológico del Puente Caño Grande Margen derecha. Incluye las actividades de campo, ensayos de laboratorio, transporte especializado, adquisición de materiales, y contratación de apoyo técnico calificado. Los valores han sido estimados en pesos colombianos (COP), conforme a las tarifas de mercado vigentes y considerando criterios de eficiencia, calidad y sostenibilidad en la intervención propuesta.

Además de cubrir los costos operativos, el presupuesto considera criterios de eficiencia y sostenibilidad en la ejecución del estudio, priorizando el uso de materiales certificados, equipos calibrados y personal técnico especializado. Esta planificación financiera permite garantizar la

calidad de los resultados, minimizar riesgos durante la intervención y asegurar la trazabilidad de cada actividad desarrollada en campo y laboratorio.

PRESUPUESTO					
Grupo / Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Subtotal	Observaciones
A. CAMPO E INSPECCIÓN VISUAL					
Transporte local y logística	Viaje	1	\$ 253.500,00	\$ 253.500,00	Desplazamiento Villavicencio – obra – Villavicencio.
Personal técnico (2 ingenieros + 1 ayudante)	Jornada	3	\$ 292.800,00	\$ 878.400,00	Tarifa AIM 2025 – jornada de 8 horas.
Equipos menores y EPP	Global	1	\$ 186.700,00	\$ 186.700,00	Cámaras, galgas, cascos, guantes y cintas de seguridad.
Subtotal A				\$ 1.318.600,00	
B. LABORATORIO Y ENSAYOS					
Ferrosan (PS-200)	Punto	12	\$ 42.600,00	\$ 511.200,00	Ensayo in situ con interpretación básica.
Esclerometría (ASTM C805 / NTC 3773)	Punto	15	\$ 27.400,00	\$ 411.000,00	Incluye calibración del martillo Schmidt.
Regatas (verificación de recubrimiento)	Punto	10	\$ 22.500,00	\$ 225.000,00	Medición manual del recubrimiento del refuerzo.
Extracción de núcleos (ASTM C42 / NTC 4033)	Unidad	3	\$ 312.750,00	\$ 938.250,00	Perforadora diamantada y curado húmedo.
Carbonatación (RILEM CPC-18 / UNE 112011)	Muestra	3	\$ 143.800,00	\$ 431.400,00	Ensayo químico con fenolftaleína.
Subtotal B				\$ 2.516.850,00	
C. ANÁLISIS, PROCESAMIENTO Y DOCUMENTACIÓN DE RESULTADOS					
Procesamiento de datos y análisis	Global	1	\$ 356.400,00	\$ 356.400,00	Interpretación de resultados y generación de gráficos.
Redacción e integración del informe (APA / Taller 3)	Global	1	\$ 278.900,00	\$ 278.900,00	Diagramación, tablas, anexos fotográficos.
Impresión y encuadernación final	Global	1	\$ 112.300,00	\$ 112.300,00	Copias físicas para entrega académica.
Subtotal C				\$ 747.600,00	
TOTAL GENERAL (COP)				\$ 4.583.050,00	
Notas :					
Los precios incluyen transporte, equipos de medición, materiales de ensayo y servicios de laboratorio acreditado.					
Los valores se basan en tarifas AIM 2025 y precios promedio de proveedores regionales.					
Los ensayos se realizan conforme a normas ASTM, RILEM, NTC y UNE.					
El total no incluye IVA, dado que se trata de un ejercicio académico.					

9. RESULTADOS OBTENIDOS

El estudio patológico integral del Puente Caño Grande – Margen Derecha, ubicado en el corredor Fundadores – Porfía (Villavicencio, Meta), permitió identificar, analizar y correlacionar los diferentes factores que determinan el estado actual de la estructura, su desempeño funcional y su valor estratégico dentro del sistema vial de la Orinoquia colombiana. A través de inspecciones visuales, ensayos de campo y análisis normativos, se evidenció un deterioro progresivo que compromete la capacidad estructural, la seguridad sísmica y la durabilidad del puente.

Los resultados abarcan las dimensiones estructurales, materiales, sísmicas, ambientales y sociales, aportando una visión integral del comportamiento de la obra y de las acciones técnicas necesarias para su conservación y rehabilitación. Esta evaluación multidisciplinaria permite sustentar la formulación de un plan de intervención orientado a

prolongar la vida útil del puente, mitigar riesgos asociados a eventos naturales y garantizar la continuidad del servicio en beneficio de la movilidad regional.

9.1. Resultados técnicos y estructurales

El análisis técnico del Puente Caño Grande – Margen Derecha permitió identificar múltiples manifestaciones patológicas que afectan su desempeño estructural. A continuación, se detallan los principales hallazgos:

- La inspección visual y el levantamiento fotográfico confirmaron un avance significativo en las patologías estructurales, con presencia de fisuras longitudinales y transversales, desprendimientos de recubrimiento, corrosión incipiente y erosión superficial en apoyos y vigas principales.
- Se identificaron fisuras activas en las aletas laterales, atribuibles a sobrecargas y vibraciones inducidas por el puente peatonal metálico adosado, el cual no fue contemplado en el diseño estructural original.
- Los resultados de campo evidencian una pérdida progresiva de las propiedades mecánicas del concreto, lo que limita la funcionalidad estructural y exige la implementación de medidas correctivas inmediatas.
- El análisis topográfico reveló desplazamientos diferenciales leves en las aletas, mientras que el tablero conserva su alineación longitudinal, lo que indica estabilidad general a pesar del deterioro progresivo.
- Con base en los resultados obtenidos y el diagnóstico del Ing. Jorge Enrique Riveros, se valida la clasificación de la estructura en la **Etapla 5 del ciclo de vida útil**, correspondiente a un estado de deterioro avanzado con funcionalidad restringida.

9.2 Resultados de los ensayos de campo y laboratorio

Los ensayos realizados en el Puente Caño Grande – Margen Derecha permitieron caracterizar el estado físico y mecánico del concreto, así como la condición de los refuerzos internos. Se aplicaron métodos destructivos y no destructivos bajo normas ASTM, NTC y RILEM, obteniendo los siguientes resultados:

- Extracción de núcleos (ASTM C42 / NTC 4033): resistencias entre 180 y 210 kg/cm², inferiores a los valores exigidos por la NSR-10, lo que evidencia envejecimiento del material.
- Carbonatación (RILEM CPC-18 / NTC 1849): profundidades entre 2.5 y 3.0 cm, con afectación directa del acero de refuerzo y pérdida de alcalinidad protectora.
- Esclerometría (ACI 228.1R): heterogeneidad moderada, con zonas de menor densidad y resistencia reducida.
- Ferroskan y regatas: verificación del recubrimiento del refuerzo y detección de fisuras internas.
- Ultrasonido (ASTM C597): velocidades de 3200 a 3600 m/s, clasificando el concreto como de calidad regular a buena.

La correlación entre los distintos métodos confirma una degradación avanzada del concreto, afectando su durabilidad, capacidad portante y comportamiento ante cargas dinámicas.

9.3 Resultados del análisis sísmico y de vida útil

El análisis de vulnerabilidad sísmica se realizó mediante la matriz IVS (Índice de Vulnerabilidad Sísmica), considerando factores estructurales, geotécnicos y de mantenimiento. Los resultados indican:

- Nivel de vulnerabilidad **ALTA** (IVS = 3.63), debido a la ausencia de neoprenos, cimentación superficial sobre suelos S2 y falta de mantenimiento periódico.
- Clasificación en la Etapa 5 del ciclo de vida útil, según el Informe de Vulnerabilidad del Ing. Jorge Enrique Riveros (2023), lo que implica funcionalidad limitada bajo condiciones controladas.
- Estimación de vida útil residual de 5 años, ampliable hasta 10 años con la ejecución del plan de intervención y un esquema de monitoreo estructural anual.

Estos resultados refuerzan la necesidad de una intervención técnica inmediata para mitigar riesgos sísmicos y prolongar la funcionalidad del puente.

9.4 Resultados de la propuesta técnica de intervención

Con base en el diagnóstico integral, se formuló un plan de recuperación estructural orientado a restablecer la funcionalidad del puente y detener el avance de las patologías. Las acciones propuestas incluyen:

- Sellado de fisuras activas con resinas epóxicas.
- Restitución de recubrimientos con morteros poliméricos.
- Sustitución de juntas y limpieza de drenajes.
- Instalación de neoprenos elastoméricos para disipación de esfuerzos.
- Protección hidráulica mediante enrocado o colchonetas tipo Reno.
- Programa de monitoreo estructural semestral y post-sismo.

La implementación de estas medidas permitirá prolongar la vida útil del puente hasta una década adicional, garantizando condiciones seguras y sostenibles para el tránsito vehicular y peatonal.

9.5 Resultados sociales, ambientales y regionales

El Puente Caño Grande – Margen Derecha constituye un elemento estratégico dentro del corredor vial Fundadores–Porfía, al conectar sectores residenciales y comerciales del sur

de Villavicencio con la red vial regional hacia Acacías, San Martín y San José del Guaviare. Su funcionamiento garantiza la movilidad diaria de más de **25 000 habitantes**, facilitando el transporte de bienes, servicios y personas.

Desde una perspectiva social, la pérdida de funcionalidad del puente tendría repercusiones significativas en la calidad de vida de la población, afectando la accesibilidad, la seguridad vial y la continuidad de las actividades económicas. En términos ambientales, el deterioro de la infraestructura podría agravar los procesos de erosión y socavación en el cauce del Caño Grande, afectando el equilibrio hídrico y la estabilidad de las márgenes.

La ejecución del plan de intervención propuesto contribuirá a la seguridad estructural, la sostenibilidad ambiental y la resiliencia urbana, al tiempo que fortalece la conciencia ciudadana y gubernamental sobre la importancia del mantenimiento preventivo y la gestión del riesgo en obras civiles.

9.6 Resultados académicos y profesionales

El desarrollo del presente estudio permitió integrar conocimientos teóricos, normativos y prácticos adquiridos en la Especialización en Patología de la Construcción, aplicándolos a una obra real de alto impacto regional. La experiencia fortaleció competencias en diagnóstico estructural, evaluación sísmica, interpretación de ensayos y formulación de propuestas técnicas sostenibles.

Asimismo, se consolidó una metodología replicable para la evaluación de puentes de concreto en ambientes fluviales y de alta humedad, que puede ser aplicada en futuras investigaciones o proyectos profesionales. El trabajo evidencia la importancia de correlacionar la patología estructural con la vulnerabilidad sísmica y la gestión del mantenimiento, reafirmando el compromiso ético y técnico con la conservación del patrimonio vial nacional.

10. CONCLUSIONES

El estudio patológico integral del Puente Caño Grande – margen derecha permitió identificar de manera sistemática las condiciones estructurales, geotécnicas, sísmicas y funcionales que afectan su desempeño actual. A través de inspecciones visuales, ensayos especializados y análisis normativos, se evidenció un deterioro avanzado que compromete la seguridad y la durabilidad de la infraestructura, especialmente ante eventos sísmicos.

La clasificación de la estructura en la etapa 5 del ciclo de vida útil, junto con el nivel de vulnerabilidad sísmica alta, exige la implementación urgente de medidas correctivas y preventivas. La propuesta técnica formulada busca restablecer la funcionalidad del puente, prolongar su vida útil y mitigar los riesgos asociados a su entorno físico y social.

Desde una perspectiva regional, el puente representa un nodo estratégico para la movilidad y el desarrollo urbano del sur de Villavicencio. Su conservación trasciende lo técnico y se convierte en un compromiso con la seguridad vial, la sostenibilidad ambiental y el bienestar comunitario.

Este trabajo consolida una metodología replicable para el diagnóstico de estructuras en ambientes fluviales, fortaleciendo las competencias profesionales en patología de la construcción y reafirmando el papel del ingeniero como agente ético, técnico y social en la gestión del patrimonio vial colombiano, y como profesional capaz de liderar procesos de diagnóstico, intervención y conservación de infraestructura crítica en contextos regionales.

11. RECOMENDACIONES

Implementar medidas correctivas estructurales prioritarias, enfocadas en la rehabilitación de elementos críticos del puente Caño Grande – margen derecha, con base en los resultados del diagnóstico técnico y los ensayos especializados realizados.

Diseñar e incorporar un plan de mantenimiento preventivo periódico, que contemple inspecciones visuales, monitoreo de patologías constructivas y aplicación de técnicas no destructivas, con el fin de preservar la funcionalidad y prolongar la vida útil de la infraestructura.

Actualizar los estudios geotécnicos y sísmicos del entorno, considerando el comportamiento dinámico del suelo y la evolución de las condiciones regionales, para ajustar los criterios de diseño y reforzamiento estructural conforme a la normativa vigente (NSR-10, CCP-14).

Fortalecer la articulación institucional entre entes territoriales, académicos y técnicos, con el propósito de consolidar estrategias de conservación vial que integren criterios de sostenibilidad ambiental, seguridad vial y desarrollo urbano.

Replicar la metodología de diagnóstico estructural en otras infraestructuras fluviales del municipio, como herramienta técnica para la gestión del riesgo, la planificación territorial y la toma de decisiones en proyectos de intervención vial.

Promover la formación continua de profesionales en patología de la construcción, con énfasis en la ética, la responsabilidad social y el uso de tecnologías aplicadas al análisis estructural, para garantizar intervenciones integrales y sostenibles.

12. REFERENCIAS

Fuentes normativas y reglamentarias

ASTM International. (2020). ASTM C42/C42M – 20: Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete.

ICONTEC. (2011). NTC 3773 – Determinación de la profundidad de carbonatación en concreto.

ICONTEC. (2013). NTC 4033 – Extracción de núcleos de concreto.

ICONTEC. (2016). NTC 5339 – Evaluación de estructuras de concreto mediante ultrasonido.

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras* (Versión 2013).

Ministerio de Transporte de Colombia. (2014). *Código Colombiano de Diseño de Puentes CCP-14*. Bogotá D.C.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10.

Estudios técnicos aplicados al caso del Puente Caño Grande

Agencia para la Infraestructura del Meta (AIM). (2018). Contrato de obra N.º 116 de 2018 – Mejoramiento de la vía principal Intersección Fundadores – Acceso Ciudad Porfía, municipio de Villavicencio, Meta.

CONCOL S.A. (2014). Estudio geotécnico y de diseño de fundaciones de puentes y estructuras de contención (DIS VCP001GTIN-001). Bogotá D.C.

CONCOL S.A. (2015). Diseños Fase III de la doble calzada Villavicencio–Ciudad Porfía, Volumen VI: Estudio geotécnico y diseño del pavimento (DIS VCP003GTIN-002M). Bogotá D.C.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (1917–2025). Histórico de sismos regionales zona del Piedemonte Llanero – Meta, Cundinamarca y Casanare.

Referencias académicas y de soporte técnico

Chinome, C. A. (2024). Material interactivo Módulo 1. Generalidades del peritaje en edificaciones y obras civiles. Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

Chinome, C. A. (2024). Video de conceptualización Módulo 1. Generalidades del peritaje en edificaciones y obras civiles. Universidad Santo Tomás.

Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1564 de 2012 – Código General del Proceso*.

Congreso de la República de Colombia. (2013). Ley 1673 de 2013 – Reglamenta el ejercicio de la ingeniería y las profesiones afines en Colombia.

Informe técnico complementario

Riveros Rojas, J. E. (2024). Informe de vulnerabilidad sísmica y diagnóstico estructural del Puente Caño Grande – Margen derecha

ANEXOS

Anexo 1. Estudio Geológico para ingeniería

Anexo 2. Estudio de suelos para puentes y otras estructuras

Anexo 3. Estudios y diseños de estructuras

Anexo 4. Estudio Geotécnico y diseño del pavimento

Anexo 5. MGA Dobles Calzadas Acacias Segunda Etapa

Anexo 6. ACTO No. SDC – 20254460000509

Anexo 7. RESOLUCIÓN NÚMERO 0674 (4 MAR. 2025)

Anexo 8. Fichas, Recolección de información

Anexo 9. Plano Puente Caño Grande

Link anexos:

https://drive.google.com/drive/folders/1UmNMrdTkDIII-UY2FoiufQqnTxG62Y6n?usp=drive_link