



**EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RÍO PALOMINO, CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS AASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.**

**PRESENTADO POR:**

**EMIRO ALFONSO BOHORQUEZ GUTIERREZ  
JORGE ARMANDO VERGARA CONTRERAS**

**PRESENTADO COMO REQUISITO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE MAGISTER EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION**

**DIRECTOR DE PROYECTO DE GRADO  
OSMAR ALBERT GAMBA GOMEZ**

**TRABAJO DE GRADO  
UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
MAESTRÍA EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN  
2025**



## RESUMEN

Este estudio aborda la evaluación patológica del puente nacional esencial sobre el río Palomino, ubicado en la Troncal del Caribe, entre los departamentos de La Guajira y el Magdalena. Construido en 1968, constituye un nodo estratégico de conectividad regional, actualmente afectado por condiciones ambientales severas y por un aumento sostenido de las cargas vehiculares, superiores a las previstas en su diseño original.

La investigación se desarrolló bajo los lineamientos de la normativa AASHTO LRFD, el Código Colombiano de Puentes CCP-14 y las recomendaciones del INVIAS. Se realizaron inspecciones visuales, levantamientos geométricos, registros fotográficos, fichas de inspección y ensayos de esclerometría. Los resultados permitieron identificar lesiones relevantes como fisuración en la losa, desprendimiento de recubrimiento, corrosión de armaduras, deflexiones, deterioro en juntas e indicios de socavación en pilas. El análisis estructural estableció que, mientras el tablero cumple con las solicitaciones a las que se somete, las vigas principales solo alcanzan el 54 % de la capacidad requerida, lo cual refleja una vulnerabilidad significativa frente a cargas vivas.

Con base en este diagnóstico, se plantean medidas de intervención orientadas a la seguridad funcional y a la resiliencia del puente. Estas incluyen reparación de fisuras con resinas epóxicas, pasivación de refuerzos, aplicación de morteros poliméricos, recubrimientos protectores, y reforzamiento mediante polímeros reforzados con fibra (FRP) y cables adicionales externos postensados.

En conclusión, el puente Palomino presenta un nivel de riesgo moderado a alto y una vida útil extensa desde su de diseño. Se recomienda implementar un plan integral de rehabilitación, complementado con estudios de cimentación y socavación, así como un programa permanente de monitoreo estructural, a fin de garantizar la continuidad de su función estratégica en la red vial esencial del Caribe colombiano.

### **Palabras clave:**

Puente Palomino, Patología estructural, Rehabilitación de puentes, Corrosión del refuerzo, Resiliencia vial; Vulnerabilidad sísmica; Mantenimiento preventivo, Infraestructura esencial.



**TABLA DE CONTENIDO**

<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	3
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	4
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	4
<b>GLOSARIO</b> .....	5
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	7
<b>DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	8
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	10
<b>OBJETIVOS</b> .....	10
Objetivo general .....	10
Objetivos específicos .....	10
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	11
<b>METODOLOGÍA</b> .....	16
<b>HISTORIA CLÍNICA DE LA ESTRUCTURA</b> .....	17
Localización del proyecto.....	17
Descripción del proyecto.....	18
Cronología de intervenciones anteriores.....	19
<b>RESULTADOS</b> .....	20
Levantamiento estructural de campo y ensayos.....	20
Fichas de registro fotográfico e Identificación de lesiones.....	21
Análisis de las condiciones por carga vivas.....	25
<b>DISCUSIÓN</b> .....	32
Análisis de lesiones.....	32
Evaluación de riesgo estructural.....	32
<b>ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN</b> .....	34
Recomendaciones técnicas.....	34
Plan de ensayos patológicos complementarios: .....	34
Presupuesto de intervención (Referencial).....	36
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	37
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	39
<b>ANEXOS</b> .....	40
Anexo 01: Registros del puente Palomino.....	40
Anexo 02: Fichas de inspección INVIAS (Actualizada septiembre 2025).....	41



<b>Anexo 03: Recomendaciones generales de mantenimiento</b> .....	47
<b>Anexo 04. Procedimiento de montaje y logística de intervención.</b> .....	49
<b>Anexo 05 Cálculo refuerzo postensado adicional según <math>\Delta</math>Momento por carga viva.</b> .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Falla ocasionada por desplazamientos longitudinales excesivos. ....	12
<b>Figura 2</b> Asentamiento post-sísmico puente Juan Pablo II. ....	12
<b>Figura 3</b> Daño en tablero por golpeteo longitudinal.....	12
<b>Figura 4</b> Hundimiento y rotación de estribo. ....	13
<b>Figura 5</b> Terremoto de Chi Chi. Taiwan, 1999. M = 7.6, grieta diagonal por cortante en pila de hormigón con baja cuantía de refuerzo. Puente Wushu. Taichung .....	13
<b>Figura 6</b> Imagen satelital de ubicación Puente Palomino.....	17
<b>Figura 7</b> Sección transversal del puente. ....	18
<b>Figura 8</b> Sección longitudinal y planta del puente. ....	18
<b>Figura 9</b> Levantamiento geométrico de campo. ....	20
<b>Figura 10</b> Ficha N° 01: Desprendimiento del recubrimiento y oxidación del refuerzo en vigas. ....	21
<b>Figura 11</b> Ficha N° 02: Desgaste en juntas de vigas. ....	22
<b>Figura 12</b> Ficha N° 03: Deflexiones en las luces del puente.....	23
<b>Figura 13</b> Ficha N° 04: Porosidad en elementos secundarios (Riostras) .....	24
<b>Figura 14</b> Cargas vivas según CCP-14 .....	26
<b>Figura 15</b> Cargas vivas HS20-44 (Camión de diseño del puente AASHTO62).....	26
<b>Figura 16</b> Plano geométrico conforme a la base de datos de inventario vial de INVIAS – SIPUCOL .....	40
<b>Figura 17</b> Registro de Ficha de levantamiento en formato INVIAS-SIGP .....	41
<b>Figura 18</b> Plano Puente reforzado con cables externos en vigas postensadas .....	54
<b>Figura 19</b> Detalles de Secciones ampliados.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Ensayo de esclerometría sobre vigas.....	20
<b>Tabla 2</b> Lesiones para monitoreo constante .....	32
<b>Tabla 3</b> Comparación de capacidad por cargas vivas.....	33
<b>Tabla 4</b> Presupuesto referencial de intervenciones.....	36
<b>Tabla 5</b> Procedimiento de aplicación de morteros de reparación. ....	47
<b>Tabla 6</b> Procedimiento de reposición de acero corroído.....	48



## LISTA DE ABREVIATURAS

- AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACI:** American Concrete Institute.
- CCP-14:** Código Colombiano de Puentes 2014.
- CFRP:** Carbon Fiber Reinforced Polymer (Polímero reforzado con fibra de carbono).
- CSI Bridge:** Computer & Structures Inc. Bridge (software de modelación estructural).
- FHWA:** Federal Highway Administration (Administración Federal de Carreteras, EE. UU.).
- FRP:** Fiber Reinforced Polymer (Polímero reforzado con fibras).
- INVIAS:** Instituto Nacional de Vías de Colombia.
- LRFD:** Load and Resistance Factor Design (Diseño por factores de carga y resistencia).
- NSR-10:** Norma Sismo Resistente Colombiana 2010.

## GLOSARIO

- Auscultación estructural:** Conjunto de técnicas de inspección y monitoreo empleadas para diagnosticar el estado de una infraestructura.
- Cimentación profunda:** Tipo de cimentación que transmite las cargas estructurales a estratos profundos del suelo mediante pilotes o pilas.
- Corrosión del refuerzo:** Degradación del acero embebido en el concreto debido a agentes químicos como cloruros o carbonatación.
- Esclerometría:** Ensayo no destructivo para determinar la resistencia superficial del concreto mediante el rebote de un martillo de impacto.
- Fisuración:** Aparición de grietas en el concreto debido a sobrecargas, retracción o movimientos diferenciales.
- Patología estructural:** Disciplina que estudia las causas, manifestaciones y consecuencias del deterioro en las construcciones.
- Recubrimiento de concreto:** Capa protectora que cubre las armaduras de acero, diseñada para protegerlas de la corrosión y garantizar adherencia estructural.
- Socavación:** Pérdida de material en la base de pilas o estribos por efecto de corrientes de agua.
- Arpeado:** Trazado de un tendón compuesto por uno o más tramos rectos que cambian de dirección en puntos desviadores.



## INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es fundamental para el desarrollo económico y social, al facilitar el transporte eficiente de personas y mercancías. Dentro de este sistema, los puentes son elementos clave, pues garantizan la conectividad regional y la estabilidad de las redes de transporte, convirtiéndose en infraestructuras estratégicas para la movilidad y la integración territorial.

En Colombia, debido a su compleja geografía y exposición a amenazas naturales, la evaluación de la seguridad estructural de estas infraestructuras, especialmente frente a eventos sísmicos, adquiere una relevancia crítica.

Particularmente, el puente nacional esencial sobre el río Palomino, ubicado en la Troncal del Caribe, representa un nodo vial de alta importancia al servir como vínculo entre los departamentos de La Guajira y el Magdalena. Construido hace más de cinco décadas, esta estructura ha estado sujeta a las condiciones ambientales adversas de la región y a un uso creciente que posiblemente supera las solicitaciones previstas en su diseño original. A ello se suman evidencias de deterioro progresivo como fisuras, corrosión de refuerzos, desprendimiento del concreto y deficiencias en juntas, lo cual suscita preocupaciones fundadas.

La presente investigación se orienta a la evaluación del puente sobre el río Palomino, utilizando como marco de referencia la normativa internacional AASHTO LRFD, Código Colombiano de Puente del 2014 CCP-14 y las directrices técnicas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) de Colombia. El propósito fundamental es identificar las lesiones existentes, que originen posibles deficiencias estructurales, y proponer alternativas de intervención que garanticen su seguridad funcional, conforme a los principios de sostenibilidad, resiliencia y continuidad operacional de la infraestructura vial esencial.

Este estudio busca abordar el creciente riesgo de fallas estructurales en puentes nacionales esenciales, específicamente en el caso del puente sobre el río Palomino, debido al incremento del tránsito y a la falta de intervenciones adecuadas, lo que podría comprometer la seguridad vial y la conectividad entre las regiones.

En cuanto a la organización del documento, en primer lugar, se desarrolla la formulación, delimitación y justificación del problema, así como los objetivos generales y específicos de la investigación. Posteriormente, se presenta el marco teórico y normativo que sustenta el análisis, seguido de la metodología aplicada y de la historia clínica de la estructura. A continuación, se exponen los resultados del levantamiento de información, fichas de inspección y ensayos realizados, lo que da paso al capítulo de diagnóstico y resultados. Con base en este, se plantean alternativas de intervención, organizadas en recomendaciones técnicas, estrategia de ejecución y presupuesto referencial. Finalmente, se incluyen las conclusiones y recomendaciones generales, acompañadas de la bibliografía y los anexos que respaldan el estudio.



## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La infraestructura vial colombiana enfrenta serios desafíos en la conservación de puentes esenciales, que son cruciales para la movilidad regional. El envejecimiento, las condiciones ambientales y el incremento del tránsito vehicular han generado un deterioro progresivo que afecta su funcionalidad y seguridad estructural.

En este marco, el puente nacional esencial sobre el río Palomino constituye un caso de estudio representativo. Localizado en la Troncal del Caribe, su operación continua es determinante para la conectividad entre los departamentos de La Guajira y Magdalena, y, por extensión, para la dinámica económica y social de la región Caribe. No obstante, tras más de cinco décadas de servicio, la estructura evidencia lesiones patológicas recurrentes, como fisuración, desprendimiento de concreto, corrosión del refuerzo y deterioro de juntas, las cuales ponen en entredicho su desempeño ante las solicitaciones actuales y futuras, particularmente frente a la amenaza sísmica.

El problema central radica en que, pese a la condición de infraestructura esencial establecida por la normativa de diseño nacional, el puente Palomino no cuenta con un diagnóstico integral que permita determinar su vulnerabilidad estructural ni con intervenciones de rehabilitación que aseguren su resiliencia ante escenarios críticos. Las acciones realizadas en el pasado han sido de carácter superficial y correctivo, sin atender las causas de fondo del deterioro ni garantizar un nivel de desempeño compatible con los lineamientos de normativas vigentes como AASHTO LRFD, CCP-14 e INVIAS.

De esta situación surge una doble preocupación. Por un lado, la ausencia de estudios sistemáticos de patología y de planes de reforzamiento incrementa el riesgo de colapso parcial o total de la estructura, lo que generaría la interrupción del tránsito en un corredor vital para el Caribe colombiano. Por otro, la falta de lineamientos técnicos de rehabilitación limita la capacidad de las entidades responsables para planificar e implementar medidas de conservación efectivas que prolonguen la vida útil del puente y aseguren la continuidad de su función estratégica.

En consecuencia, se plantea la necesidad de formular y ejecutar una evaluación patológica detallada que permita identificar las lesiones presentes, analizar sus causas probables y establecer alternativas de intervención técnicamente viables. En este estudio buscamos un acercamiento a responder a las siguientes preguntas: (1) ¿Cuál es el estado actual de integridad estructural y nivel de seguridad del puente esencial sobre el río Palomino según las normativas AASHTO LRFD y CCP-14? (2) ¿Qué estrategias de rehabilitación y reforzamiento son técnicamente viables y óptimas para garantizar su condición de puente esencial ante las solicitaciones actuales?



## DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Este estudio se enfoca en la evaluación patológica del puente sobre el río Palomino, ubicado en la Troncal del Caribe, entre los departamentos de La Guajira y Magdalena. La delimitación de la investigación se establece a partir de tres dimensiones principales: el objeto de estudio, el marco de referencia normativo y las restricciones metodológicas.

En primer lugar, el objeto de estudio corresponde a la superestructura del puente y a los elementos de la subestructura que resultan accesibles y visibles en campo. Esto implica que la caracterización de lesiones se circunscribe a fisuras, desprendimientos de recubrimiento, corrosión de armaduras y demás manifestaciones superficiales detectadas en inspección visual. No se incluyen en el diagnóstico exploraciones profundas en cimentaciones, pilotes u otros componentes ocultos que requieren técnicas invasivas o estudios geotécnicos especializados.

En segundo lugar, la investigación se delimita normativamente al marco definido por las especificaciones internacionales AASHTO LRFD, el Código Colombiano de Puentes CCP-14 y las recomendaciones emitidas por el Instituto Nacional de Vías. Estas referencias proporcionan los lineamientos técnicos para la identificación, clasificación y análisis de lesiones, así como para la formulación de propuestas de intervención orientadas a garantizar la funcionalidad del puente en su condición de infraestructura esencial.

En tercer lugar, desde la perspectiva metodológica, la investigación se apoya en levantamientos geométricos básicos, registros fotográficos, fichas de inspección estandarizadas por INVÍAS y ensayos no destructivos de carácter preliminar. No se contempla, en consecuencia, la ejecución de pruebas destructivas de materiales, aforos vehiculares continuos. Del mismo modo, no se aborda la interacción hidráulica e hidrológica del cauce del río Palomino, la cual deberá ser objeto de estudios complementarios.

Considerando lo anteriormente expuesto, nuestra investigación presenta los siguientes alcances y limitaciones:

### ALCANCE

El presente trabajo de investigación se enfoca en la evaluación del estado de la superestructura del puente nacional esencial sobre el río Palomino, a través de la identificación y caracterización de las lesiones patológicas visibles y el análisis preliminar de sus condiciones estructurales, bajo los lineamientos de la normativa AASHTO LRFD, CCP-14 y las recomendaciones del Instituto Nacional de Vías – INVÍAS.

Las actividades específicas incluidas dentro del alcance son:

- Inspección visual y registro fotográfico de las lesiones presentes en la superestructura y en aquellas zonas de la subestructura que se encuentren expuestas y accesibles.



- Caracterización de las lesiones patológicas presentes en los elementos estructurales, considerando la clasificación establecida en los manuales de inspección de INVIAS.
- Levantamiento geométrico y estructural de la superestructura, con el fin de obtener parámetros confiables para la modelación computacional.
- Análisis preliminar del comportamiento estructural, fundamentado en la inspección visual, la información documental disponible y parámetros normativos de referencia.
- Formulación de recomendaciones técnicas de reforzamiento y rehabilitación orientadas a garantizar la seguridad funcional, prolongar la vida útil y mejorar la resiliencia del puente frente a futuras sollicitaciones sísmicas.
- Propuesta de lineamientos para futuros estudios complementarios que permitan, con información de campo suficiente, abordar la modelación estructural detallada y el análisis de vulnerabilidad sísmica.

## LIMITACIONES

Si bien el estudio se desarrolla con un enfoque integral, se establecen las siguientes limitaciones:

- El análisis de lesiones de la subestructura se restringe a aquellas áreas que se encuentran expuestas y visibles durante la inspección. No se realizarán estudios invasivos ni exploraciones geotécnicas profundas en cimentaciones, pilotes o elementos enterrados.
- No se incluye el análisis de vulnerabilidad sísmica ni la modelación estructural detallada del puente, debido a la ausencia de datos de campo suficientes y de estudios complementarios requeridos para ello.
- No se contempla dentro del estudio la evaluación hidráulica e hidrológica asociada al cauce del río Palomino ni la interacción dinámica suelo–estructura–flujo, aspectos que requerirían investigaciones complementarias.
- Las condiciones de servicio y cargas vehiculares actuales se analizan bajo supuestos derivados de la normativa vigente y los registros disponibles, sin contemplar aforos vehiculares continuos ni ensayos de carga en sitio.
- No se realizarán ensayos destructivos de materiales. La caracterización mecánica de los elementos se fundamenta en inspección visual, parámetros normativos y ensayos no destructivos básicos (esclerometría y escaneo de refuerzo).
- Las recomendaciones propuestas se limitan a planteamientos técnicos de rehabilitación; su implementación práctica dependerá de la viabilidad económica, disponibilidad de materiales y aprobación de las entidades competentes.

En síntesis, el trabajo se centra en la evaluación patológica de la superestructura del puente sobre el río Palomino y en la formulación de recomendaciones de intervención, reconociendo las restricciones derivadas de la falta de información de campo para la modelación estructural y el análisis de vulnerabilidad sísmica. Con ello, la investigación cumple



su propósito de identificar las principales deficiencias constructivas, de operación y mantenimiento, y propone lineamientos técnicos de rehabilitación, aportando insumos valiosos para futuros estudios especializados y para la toma de decisiones en materia de conservación y gestión de la infraestructura vial esencial.

## JUSTIFICACIÓN

Esta investigación trata de analizar y evaluar el estado estructural del puente esencial sobre el río Palomino, el cual es la infraestructura más importante que une los departamentos de la Guajira y Magdalena. Se debe entender por puente esencial, aquel que antes, durante y después de un evento sísmico, debe seguir prestando su servicio, garantizando un buen comportamiento estructural.

A lo largo de su vida útil, la estructura ha estado expuesta a condiciones ambientales agresivas propias del entorno costero y al incremento progresivo de las cargas de servicio por el tránsito vehicular actual, lo cual ha favorecido la aparición de lesiones como desprendimientos de concreto, exposición y corrosión del refuerzo, fisuras, carbonatación y deterioro de juntas de expansión, entre otras manifestaciones patológicas. Estos daños comprometen su durabilidad y generan incertidumbre sobre la capacidad estructural del puente frente a las exigencias normativas contemporáneas.

Este estudio es crucial para identificar y evaluar las lesiones en el puente, siguiendo las normativas AASHTO LRFD, CCP-14 e INVÍAS. Su objetivo es mejorar la gestión de mantenimiento, conservación de puentes esenciales y generar una contribución a la seguridad vial.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar las lesiones y formular propuestas de intervención del puente nacional esencial sobre el río Palomino, considerando las normativas AASHTO LRFD, CCP-14 y las recomendaciones del INVÍAS Colombia, que garantice su condición de puente esencial.

### Objetivos específicos

- Validar, mediante técnicas cualitativas, la confiabilidad estructural del puente nacional esencial sobre el río Palomino, considerando los lineamientos de la normativa AASHTO LRFD, CCP-14 y las recomendaciones del INVÍAS Colombia.
- Analizar las condiciones estructurales del puente nacional esencial sobre el río Palomino, mediante el diagnóstico de las lesiones patológicas de la superestructura y la comparación de su capacidad frente a las cargas vivas de diseño original y las requeridas conforme a las normativas actuales AASHTO LRFD y CCP-14.



- Proponer estrategias de intervención y rehabilitación que optimicen el comportamiento estructural del puente y prolonguen su vida útil, contribuyendo a mejorar los procesos técnicos aplicados en la conservación de la red vial nacional colombiana.

## MARCO TEÓRICO

La evaluación patológica de puentes de concreto en Colombia requiere aplicar criterios normativos y técnicas de inspección y auscultación para identificar el deterioro estructural y proponer soluciones adecuadas. Más allá de reconocer su importancia estratégica, resulta fundamental identificar las manifestaciones de deterioro y establecer sus causas probables para orientar decisiones de rehabilitación. En este sentido, el marco normativo vigente, AASHTO LRFD, CCP-14 e INVIAS, no solo proporciona parámetros de referencia, sino que también demanda la aplicación de procedimientos rigurosos de diagnóstico que consideren factores de diseño, construcción, materiales y mantenimiento, con el fin de garantizar la confiabilidad estructural y prolongar la vida útil de estas infraestructuras esenciales.

Para el desarrollo y comprensión de esta investigación, se presentan los conceptos fundamentales definidos en CCP-14, que sustentan la evaluación, el análisis y la caracterización del comportamiento sísmico de los puentes de concreto, proporcionando un marco teórico que respalda el estudio.

Sobre el paciente objeto de este estudio se hace referencia a que no se encuentra información de estudios practicados a este, como es la obligatoriedad establecida en CCP-14, en el ítem 2.7.1, donde se establece que para puentes considerados críticos o esenciales se deben llevar a cabo estudios de vulnerabilidad donde se establezcan las medidas de mitigación de las lesiones provenientes del diseño, construcción y operación.

- **Puentes de concreto.**

Los puentes de concreto son una forma común de infraestructura de transporte debido a su durabilidad y resistencia. Sin embargo, son susceptibles a daños durante los terremotos debido a su rigidez relativa y la falta de flexibilidad, lo que puede llevar a fallas estructurales graves (Priestley et al., 1996). Es esencial entonces, evaluar y mejorar la resistencia de estos puentes para garantizar su funcionalidad y seguridad durante su operación y en caso de eventos sísmicos.

El análisis de los daños ocasionados por eventos sísmicos de gran magnitud ha permitido identificar los puntos más vulnerables de las estructuras de puentes. De acuerdo con Priestley et al. (1996) y Kawashima (1990), una de las fallas más frecuentes corresponde a la pérdida de tramos debido a los movimientos relativos en dirección longitudinal, los cuales superan las longitudes de apoyo previstas en el diseño. Esta condición se presenta con mayor severidad en los tramos en esviaje, donde los desplazamientos longitudinales tienden a intensificarse por efecto de la rotación de los elementos estructurales en la dirección de menor ángulo de esviaje.



**Figura 1** Falla ocasionada por desplazamientos longitudinales excesivos.



Nota: Tomado Delanda et al., (2006)

- La amplificación de desplazamientos en puentes es crítica cuando se construyen sobre suelos licuables, ya que la pérdida de rigidez y resistencia del terreno durante un sismo incrementa la respuesta estructural y eleva la probabilidad de pérdida de integridad del sistema.

**Figura 2** Asentamiento post-sísmico puente Juan Pablo II.



Nota: Tomado de Verdugo y Peters (2010)

- El golpeteo entre elementos adyacentes del puente ocurre cuando las juntas de dilatación se diseñan con dimensiones insuficientes debido a una subestimación de los desplazamientos sísmicos. Este contacto genera impactos de alta intensidad, capaces de amplificar las fuerzas cortantes y producir daños estructurales significativos.

**Figura 3** Daño en tablero por golpeteo longitudinal.

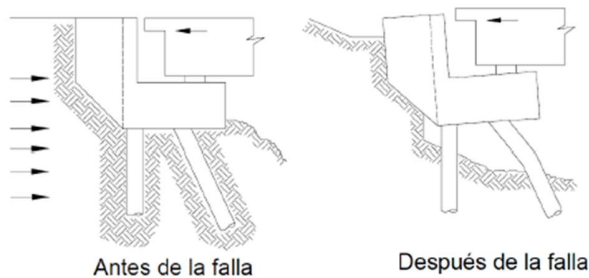


Nota: Tomado de [http://www.iitk.ac.in/nicee/EQ\\_Reports/Bhuj/bridge1.htm](http://www.iitk.ac.in/nicee/EQ_Reports/Bhuj/bridge1.htm)



➤ Hundimiento del estribo: La presencia de suelos blandos y la consolidación incompleta del terraplén o relleno se asocian directamente con el hundimiento y la rotación de los estribos, que al interactuar con el puente generan altas presiones pasivas, incrementando a su vez las presiones laterales bajo la estructura.

**Figura 4** Hundimiento y rotación de estribo.



Nota: Tomado de Priestley et al., (1996).

➤ Fallo de pilas. Este tipo de colapso suele originarse por deficiencias en la resistencia y ductilidad a flexión, así como por la terminación inadecuada del refuerzo, lo que compromete la capacidad estructural de la pila.

**Figura 5** Terremoto de Chi Chi. Taiwan, 1999.  $M = 7.6$ , grieta diagonal por cortante en pila de hormigón con baja cuantía de refuerzo. Puente Wushu. Taichung.



Nota: Tomado de FHWA (2006).

**Fallas en cabezales**, derivadas de una capacidad cortante insuficiente, terminación anticipada del refuerzo negativo y deficiente anclaje del acero en las zonas extremas.

**Fallas en nudos**, asociadas al uso de un refuerzo inadecuado.

**Fallas en cimientos**, originadas por baja resistencia a flexión por ausencia de refuerzo superior, insuficiencia a cortante en la zona inmediata a la pila, anclajes deficientes, desarrollo inadecuado del refuerzo y conexión incorrecta entre pila y cimentación.

La valoración de estas deficiencias permite identificar en los puentes de concreto reforzado las áreas más vulnerables, proporcionando una visión más clara de su desempeño estructural. Este análisis contribuye al estudio detallado de las lesiones patológicas en los



elementos principales, favoreciendo diagnósticos más precisos y la definición de estrategias de intervención apropiadas.

### **Puentes esenciales y su rol en la red vial**

Los puentes son infraestructuras estratégicas para la movilidad y la integración territorial. En Colombia, se clasifican como esenciales aquellos que deben permanecer en servicio antes, durante y después de un evento extremo, garantizando la continuidad de la conectividad nacional (CCP-14, 2014). Su adecuada conservación resulta indispensable en zonas expuestas a amenazas naturales, como la región Caribe.

### **Patología estructural en puentes de concreto**

A pesar de su durabilidad, los puentes de concreto presentan vulnerabilidades asociadas al paso del tiempo, la calidad de los materiales, la acción ambiental y la demanda de cargas superiores a las previstas en el diseño original. Entre las principales lesiones patológicas se encuentran:

- **Fisuración:** causada por retracción, cargas excesivas o movimientos diferenciales.
- **Corrosión del acero de refuerzo:** acelerada por carbonatación y cloruros, frecuente en ambientes costeros como el Caribe colombiano.
- **Desprendimiento de recubrimiento:** asociado al avance de la corrosión y deficiencias constructivas.
- **Ataques químicos:** provocados por sulfatos presentes en agua y suelos.
- **Fatiga estructural:** derivada del aumento en tránsito pesado.

El análisis de estas manifestaciones permite establecer un diagnóstico sobre la durabilidad y seguridad de la estructura.

### **Normativa aplicable a la evaluación y conservación de puentes**

- **AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2017):** establece criterios internacionales de diseño y evaluación, incorporando consideraciones de desempeño estructural bajo diferentes escenarios de carga.
- **Código Colombiano de Puentes CCP-14 (2014):** norma nacional que regula el diseño, construcción y mantenimiento, con lineamientos específicos para puentes esenciales.
- **Recomendaciones del INVÍAS (2018):** manuales de inspección, clasificación de lesiones y directrices para rehabilitación y conservación preventiva.



### Técnicas de inspección y diagnóstico

La inspección visual constituye la primera herramienta para identificar lesiones superficiales en elementos estructurales. Se complementa con registros fotográficos, fichas de inspección (INVÍAS) y levantamientos geométricos que permiten cuantificar y ubicar las patologías. Asimismo, pueden emplearse ensayos no destructivos como la esclerometría y el escaneo de refuerzo, que apoyan la caracterización sin afectar la integridad del puente.

### Estrategias de intervención y rehabilitación

Diversas técnicas han sido documentadas para mejorar el desempeño estructural de puentes afectados por patologías:

- **En superestructura:** aplicación de recubrimientos de alta resistencia, refuerzo con FRP, adición de perfiles metálicos externos.
- **En subestructura:** encamisado de pilas, refuerzo de estribos con inyecciones de mortero o resina, pilotes suplementarios.
- **Medidas de durabilidad:** control de corrosión mediante recubrimientos protectores y morteros poliméricos.

Estas alternativas deben seleccionarse según la severidad de las lesiones, el nivel de riesgo asociado y la viabilidad técnica y económica.

### Resiliencia y gestión del riesgo en infraestructura esencial

Más allá del desempeño estructural, los puentes esenciales deben ser evaluados desde la perspectiva de la resiliencia: la capacidad de recuperarse rápidamente tras un evento adverso. En concordancia con la Ley 1523 de 2012 (Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres), las propuestas de intervención no solo buscan garantizar la resistencia, sino también la continuidad operacional de la infraestructura, reduciendo impactos socioeconómicos derivados de su eventual interrupción.

### Modelación estructural y análisis computacional

La evolución de las herramientas computacionales ha permitido el desarrollo de modelos numéricos avanzados que simulan el comportamiento estructural bajo cargas estáticas y dinámicas. Programas como CSI BRIDGE, MIDAS Civil, SAP2000 son ampliamente utilizados en la evaluación de puentes, ya que permiten representar la geometría, condiciones de apoyo y propiedades de los materiales con un alto grado de detalle.

Entre las metodologías de análisis destacan:

- **Análisis no lineal estático (pushover):** que permite identificar los puntos de formación de rótulas plásticas y evaluar la ductilidad disponible.
- **Análisis dinámico incremental (IDA):** que relaciona la demanda estructural con distintos niveles de intensidad sísmica.



- Análisis en la historia de tiempo no lineal (AHTNL): el más riguroso, ya que considera registros sísmicos reales y efectos no lineales de materiales y geometría.

## METODOLOGÍA

Este estudio sigue un enfoque cualitativo-descriptivo, utilizando técnicas de análisis documental y métodos no destructivos para caracterizar el estado actual del puente nacional esencial sobre el río Palomino. Este enfoque permite identificar y comprender las manifestaciones patológicas presentes en la estructura, relacionarlas con sus causas probables y proponer estrategias de intervención fundamentadas en la normativa vigente.

En cuanto al tipo de investigación, se adopta un diseño no experimental, de carácter exploratorio y descriptivo. La investigación no manipula variables, sino que se centra en la observación, registro y análisis de las condiciones estructurales existentes. El objetivo es obtener un diagnóstico preliminar que sirva como base para plantear lineamientos de rehabilitación y reforzamiento.

Las técnicas de recolección de datos incluyen:

- Inspección visual sistemática de la superestructura y de las zonas accesibles de la subestructura.
- Registro fotográfico detallado, que permite documentar y comparar las lesiones observadas.
- Fichas de inspección estandarizadas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), útiles para la clasificación de patologías.
- Levantamiento geométrico básico, realizado mediante mediciones en campo para caracterizar la configuración de los elementos estructurales.
- Consulta documental de planos y registros históricos.

El contexto de la investigación se sitúa en el puente sobre el río Palomino, en la Troncal del Caribe, considerando su condición de infraestructura esencial para la conectividad regional. El periodo de recolección de datos se desarrolló entre los años 2024 y 2025, como parte de un proyecto de investigadores de la Maestría en Patología de la Construcción de la Universidad Santo Tomás.

Para el análisis de los datos, se emplearán criterios de clasificación de lesiones establecidos por INVIAS y referentes técnicos de AASHTO LRFD y CCP-14.

Entre las herramientas y recursos utilizados, se destacan: equipos portátiles de medición, cámaras fotográficas, software de dibujo y análisis estructural (AutoCAD, CSI Bridge y Módulos de cálculo estructural) y manuales de inspección de puentes. Estos recursos facilitaron la documentación, análisis y representación gráfica de los hallazgos.

Durante el desarrollo de la investigación se presentaron desafíos asociados a la falta de información histórica completa y a las limitaciones en el acceso a zonas críticas de la subestructura (particularmente cimentaciones). Para superar estas limitaciones, se optó por un



enfoque metodológico no invasivo, complementado con información documental y parámetros normativos de referencia.

Finalmente, la justificación de los métodos empleados radica en que las técnicas seleccionadas son las más adecuadas para abordar el diagnóstico preliminar del puente, considerando tanto las restricciones de información como la necesidad de mantener la operatividad de la estructura. Su aplicación garantiza la obtención de resultados confiables, que sirven de base para formular recomendaciones técnicas orientadas a la seguridad y resiliencia del puente Palomino como infraestructura vial esencial.

## HISTORIA CLÍNICA DE LA ESTRUCTURA

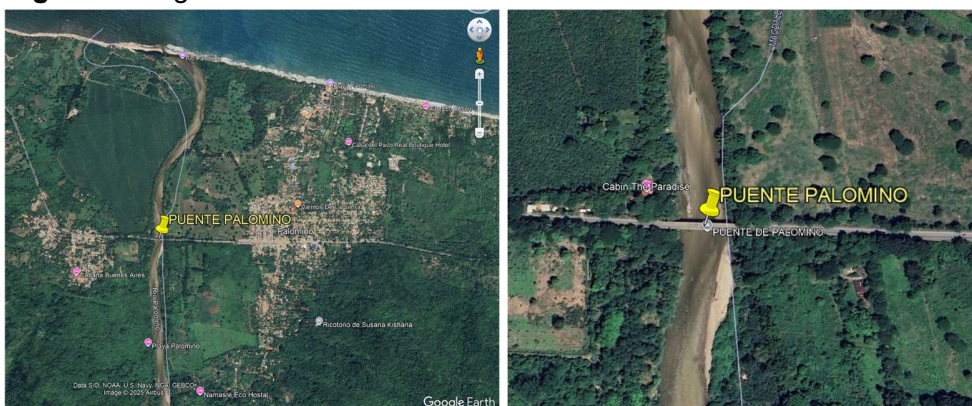
### Localización del proyecto.

El puente nacional esencial sobre el río Palomino se localiza en la Troncal del Caribe, corredor vial estratégico de Colombia, en el límite geográfico entre los departamentos de La Guajira y el Magdalena. La estructura constituye un nodo de conectividad fundamental entre las regiones de la Costa Caribe, integrando el tránsito de pasajeros, bienes y servicios desde Riohacha hacia Santa Marta y Barranquilla, así como la conexión terrestre con el interior del país.

Su ubicación sobre el río Palomino, en inmediaciones de la población homónima, lo convierte en una infraestructura clave tanto para la movilidad cotidiana como para la atención en casos de emergencia, siendo catalogado como puente esencial en la red vial nacional.

Coordenadas del puente: Latitud: 11°14'41.2" N y Longitud: 73°34'05.0" W

**Figura 6** Imagen satelital de ubicación Puente Palomino.



Nota: Imagen extraída de Google Earth (2025).

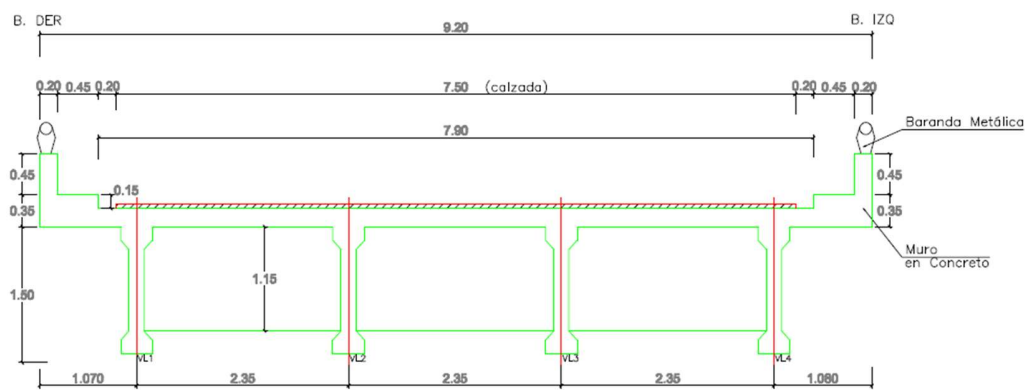


### Descripción del proyecto

El puente fue construido en el año 1968, con una longitud total de 100,80 metros, dividida en tres (3) luces de 33,6 metros cada una. La superestructura está conformada por una losa de concreto reforzado apoyada sobre vigas presforzadas construidas en sitio, lo cual responde a los criterios de diseño y tecnología constructiva de la época.

El ancho total de la estructura es de 9,20 metros, con una calzada efectiva de 7,50 metros, complementada por andenes peatonales laterales y barandas de protección metálicas. La superficie de rodadura está constituida por una carpeta asfáltica, con juntas de expansión dispuestas a lo largo de cada viga. Ver anexo 01.

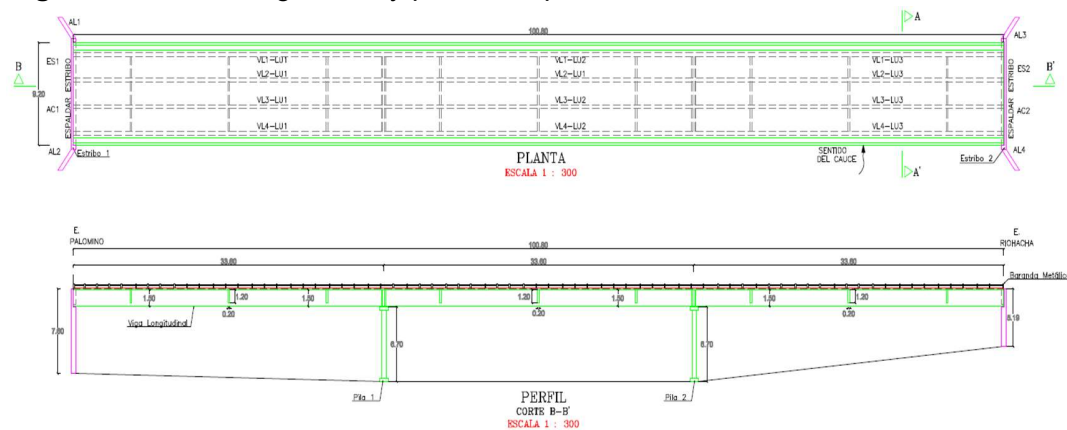
**Figura 7** Sección transversal del puente.



SECCION TRANSVERSAL  
CORTE A - A'  
ESCALA 1 : 50

Nota: Tomado de registros SIPUCOL, (2012).

**Figura 8** Sección longitudinal y planta del puente.



Nota: Tomado de registros SIPUCOL, (2012).

La subestructura se compone de dos estribos de 7,60 metros de altura en los extremos y dos pilas intermedias de 6,70 metros de altura, que transmiten las cargas hacia la cimentación profunda.



El puente fue concebido para atender las cargas vehiculares previstas hace más de cinco décadas, las cuales resultan significativamente menores en comparación con el flujo actual de transporte de carga pesada que circula por la Troncal del Caribe.

### **Cronología de intervenciones anteriores.**

A lo largo de su vida útil, el puente ha presentado procesos de deterioro que han requerido mantenimientos parciales. Sin embargo, no se encuentran registros de intervenciones integrales de rehabilitación estructural orientadas a mejorar su desempeño sísmico. Entre los antecedentes conocidos se destacan:

- Década de 1980 – 1990: reparaciones menores en juntas de dilatación y carpeta asfáltica.
- Década de 2000: intervenciones puntuales de mantenimiento rutinario en la superficie de rodadura y reemplazo parcial de barandas metálicas.
- Última década (2010 – 2020): registro de acciones aisladas de parcheo de losa, aplicación de morteros en zonas con desprendimiento de concreto y trabajos de protección en las pilas expuestas a socavación.
- 2020 – 2025: no se ha realizado identificación de lesiones, estudios de vulnerabilidad sísmica y/o reforzamiento estructural, a pesar de que el puente se encuentra clasificado como infraestructura esencial conforme al CCP-14.

Estos antecedentes muestran que las acciones ejecutadas se han limitado a mantenimientos correctivos superficiales, sin abordar los problemas patológicos de fondo ni garantizar la adecuación sísmica del puente. Esta situación refuerza la necesidad del presente estudio, que busca identificar las lesiones actuales del puente y evaluar las condiciones del puente ante las exigencias de las normativas actuales y formular alternativas de intervención técnica para asegurar la continuidad funcional de la estructura.



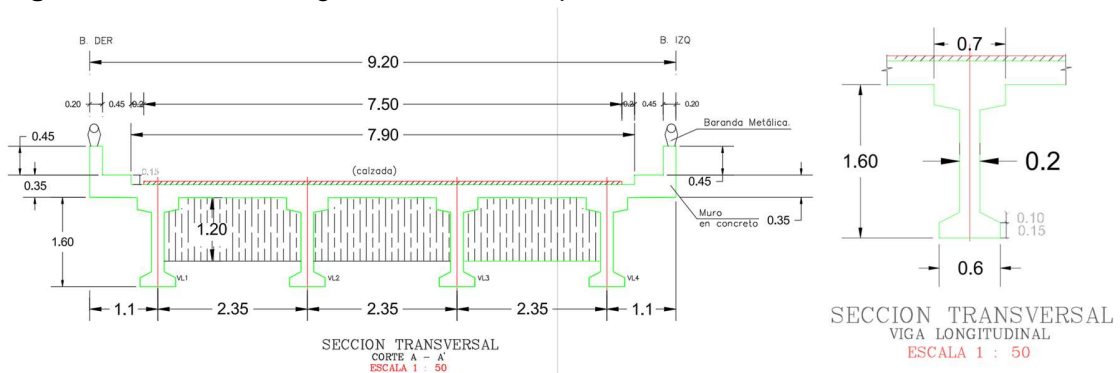
## RESULTADOS

### Levantamiento estructural de campo y ensayos

#### Levantamiento estructural de campo:

Según verificaciones de campo, el dimensionamiento longitudinal de la superestructura es congruente con los registros de SIPUCOL; sin embargo, las dimensiones de la sección transversal de las vigas, son distintas a las estipuladas en los registros: Ver anexo 02.

**Figura 9** Levantamiento geométrico de campo.



Nota: Medidas ajustadas en campo sobre el levantamiento SIPUCOL (2012).

**Resultados de ensayo de esclerometría en vigas exteriores:** Determinación de la resistencia de referencia del concreto:

**Tabla 1** Ensayo de esclerometría sobre vigas.

RESISTENCIA ESOERADA SEGÚN INFORMACIÓN DOCUMENTAL [ASTM C805 / INVIAS CCP-14']				35	MPa
COORDENADAS				11.245°N	-73.556°O
ELEMENTO	LECTURA REBOTE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	CUMPLE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa) NSR-10	Observaciones	
VIGA EXT.	49	34.65	No cumple	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	51	36.06	ok	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	49	34.86	No cumple	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	50	35.35	ok	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	51	36.06	ok	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	49	34.86	No cumple	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	51	36.06	ok	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	50	35.35	ok	Toma de muestra sobre cabeza	
VIGA EXT.	50	35.35	ok	Toma de muestra sobre cabeza	



VIGA EXT.	50	35.35	ok	Toma de muestra sobre cabeza
-----------	----	-------	----	------------------------------

Fichas de registro fotográfico e Identificación de lesiones.

Figura 10 Ficha N° 01: Desprendimiento del recubrimiento y oxidación del refuerzo en vigas.

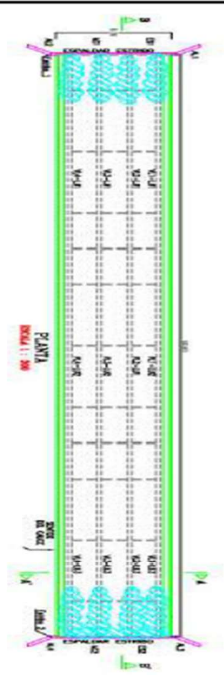


<b>PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RIO PALOMINO</b>										
<b>UNIVERSIDAD SANTO TOMAS</b> PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA										
<small>ACREDITACION DE ALCALDIA DE CALI</small>										
<small>VERIFICACION INGENIERIA - 2015 1798</small>										
PROYECTO:	EVALUACION PATOLOGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACION DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RIO PALOMINO CONSERVANDO LAS NORMATIVAS AASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.									
LOCALIZACION:	Latitud: 11°14'41.2" N Longitud: 75°54'05.0" W									
PROPIETARIO:	INVIAS									
USO:	VIA NACIONAL									
FECHA DE CONSTRUCCION:	1968									
SISTEMA CONSTRUCTIVO:	PUENTE EN VIGAS POSTENSADAS									
<b>UBICACION</b>										
										
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>										
<b>Foto 1</b>					<b>Foto 2</b>					
										
<b>Observaciones:</b> Desprendimiento de recubrimientos y oxidación de acero de refuerzo en la parte inferior de vigas y juntas en apoyos										
LESION	DESCRIPCION	TIPO		UBICACION	CAUSA	GRADO				
		P	S			L	M	S	G	
FISICA	Erosion	<input checked="" type="checkbox"/>		Parte inferior de vigas	DIRECTA					<input checked="" type="checkbox"/>
	Corrosion		<input checked="" type="checkbox"/>	Parte inferior de vigas	INDIRECTA					<input checked="" type="checkbox"/>
QUIMICA										
MECANICA										
EVALUACION PATOLOGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACION DEL PUENTE NACIONAL SOBRE EL RIO PALOMINO, CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS AASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.					CONVENIENCIAS: P-PRIMARIA S-SECUNDARIA L-ELEVE					
					MANDEGRADO S-SEVERO G-GRAVE					

Figura 11 Ficha N° 02: Desgaste en juntas de vigas.

PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RÍO PALOMINO											
PROYECTO: EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RÍO PALOMINO. CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS ASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.											
LOCALIZACIÓN: LATITUD: 11°44'41.2" N LONGITUD: 79°24'02.0" W											
PROPIETARIO: INVIAS		USO: VIA NACIONAL		FECHA DE CONSTRUCCIÓN: 1988		ZONA:		SUPERSTRUCTURA			
SISTEMA CONSTRUCTIVO: PUENTE EN VIAS POSTTENSADAS						FECHA: 14/09/2023		FICHA NÚMERO: 0 0 2			
UBICACIÓN					REGISTRO FOTOGRAFICO						
Foto 3											
OBSERVACIONES: Se observó desgaste de las junta entre vigas.											
EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RÍO PALOMINO. CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS ASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.											
LESIÓN DESCRIPCIÓN TIPO UBICACIÓN CAUSA GRADO		DESCRIPCIÓN TIPO UBICACIÓN CAUSA GRADO		DESCRIPCIÓN TIPO UBICACIÓN CAUSA GRADO		DESCRIPCIÓN TIPO UBICACIÓN CAUSA GRADO		DESCRIPCIÓN TIPO UBICACIÓN CAUSA GRADO			
FÍSICA Desgaste junta <input checked="" type="checkbox"/> Juntas entre vigas DIRECTA <input checked="" type="checkbox"/>		QUÍMICA Moho 		MECÁNICA 		CONVENCIONES: P=PRIMARIA S=SECUNDARIA L=LEVE M=MODERADO S=SEVERO G=GRAVE					



Figura 12 Ficha N° 03: Deflexiones en las luces del puente.

PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RIO PALOMINO																																																																													
PROYECTO: EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RIO PALOMINO, CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS ASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA																																																																													
LOCALIZACIÓN: INVIAS																																																																													
USO: 0																																																																													
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: 1988																																																																													
SISTEMA CONSTRUCTIVO: PUENTE EN VIAS POSTTENSADAS																																																																													
Latitud: 11°4'44.2" N Longitud: 73°34'03.6" W																																																																													
ZONA: SUPERESTRUCTURA																																																																													
FECHA: 14/09/2023																																																																													
FICHA NÚMERO: 0 0 0 3																																																																													
REGISTRO FOTOGRAFICO																																																																													
					<p style="text-align: center;"><b>Foto 4</b></p>																																																																								
<b>OBSERVACIONES:</b> Se observó deflexión en la luz del puente, evidente a simple vista, debido al servicio continuo durante el tiempo de vida útil.																																																																													
EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RIO PALOMINO, CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS ASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.																																																																													
CONVENCIONES: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2">PRIMARIA</td> <td colspan="2">MANOBERADO</td> </tr> <tr> <td colspan="2">SE SECUNDARIA</td> <td colspan="2">SERVEND</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LEVE</td> <td colspan="2">GRAVE</td> </tr> </table>										PRIMARIA		MANOBERADO		SE SECUNDARIA		SERVEND		LEVE		GRAVE																																																									
PRIMARIA		MANOBERADO																																																																											
SE SECUNDARIA		SERVEND																																																																											
LEVE		GRAVE																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">LESION</th> <th rowspan="2">DESCRIPCION</th> <th colspan="2">TIPO</th> <th rowspan="2">UBICACION</th> <th rowspan="2">CAUSA</th> <th colspan="5">GRADO</th> </tr> <tr> <th>P</th> <th>S</th> <th>1</th> <th>M</th> <th>3</th> <th>5</th> <th>6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FISICA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>QUIMICA</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">MECANICA</td> <td rowspan="2">Deflexiones</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Tablero</td> <td>Sobrecarga</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										LESION	DESCRIPCION	TIPO		UBICACION	CAUSA	GRADO					P	S	1	M	3	5	6	FISICA													QUIMICA													MECANICA	Deflexiones		<input checked="" type="checkbox"/>	Tablero	Sobrecarga				<input checked="" type="checkbox"/>														
LESION	DESCRIPCION	TIPO		UBICACION	CAUSA	GRADO																																																																							
		P	S			1	M	3	5	6																																																																			
FISICA																																																																													
QUIMICA																																																																													
MECANICA	Deflexiones		<input checked="" type="checkbox"/>	Tablero	Sobrecarga				<input checked="" type="checkbox"/>																																																																				

Figura 13 Ficha N° 04: Porosidad en elementos secundarios (Riostras)

<b>PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RÍO PALOMINO</b>									
PROYECTO: EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RÍO PALOMINO, CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS ASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.									
LOCALIZACIÓN: INVIAS									
PROPIETARIO: INVIAS									
USO: VIA NACIONAL									
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: 1988									
SISTEMA CONSTRUCTIVO: PUENTE EN VIGAS POSTTENSADAS									
Ubicación: <span style="float: right;">ZONA: SUPERESTRUCTURA</span> Latitud: 11°44'41.2" N Longitud: 73°34'03.0" W <span style="float: right;">FECHA: 14/09/2023</span> FICHA NÚMERO: 0 0 4									
REGISTRO FOTOGRAFICO									
OBSERVACIONES: Se observó porosidad en riostras posiblemente existentes desde el proceso de fundida en sitio, humedad y ensuciamiento en los estribos									
Foto 5									
LESIÓN		DESCRIPCIÓN		TIPO		UBICACIÓN		CAUSA	
FISICA		Humedad Ensuciamiento		P S		Anzpechos Anzpechos		DIRECTA DIRECTA	
QUIMICA		Musgo		<input checked="" type="checkbox"/>		Anzpechos		DIRECTA	
MECANICA		Porosidad		<input checked="" type="checkbox"/>		Riostras		DIRECTA	
								GRADO L M S G	
								<input checked="" type="checkbox"/>	
								<input checked="" type="checkbox"/>	
								<input checked="" type="checkbox"/>	
EVALUACIÓN PATOLÓGICA Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL PUENTE NACIONAL ESENCIAL SOBRE EL RÍO PALOMINO, CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS ASHTO LRFD, CCP-14 Y RECOMENDACIONES INVIAS COLOMBIA.									
PAFARMARIA 25-SECUNDARIA LEVE					CONVENCIONES: MANOGERADO SESEVERO GSEGRAVE				



**Análisis de las condiciones por carga vivas**

Modelos computacionales desarrollados en Modulo Puentes en concreto postensado CCP-14 VR 1.5 (Fernando Medina):

- **Datos de entrada de análisis y geometría estructural.**

DATOS DE LA GEOMETRIA	
<b>GEOMETRIA DE LA SUPERESTRUCTURA</b>	
Long. Tablero a bdes ext (Ltot)(m)	33.6
Luz de Cálculo Lejes (m) <small>Lejes=Ltot</small>	33
Ancho Tablero a bordes ext (m)	9.2
Separac. entre ejes de vigas (m)	2.35
Número de Vigas	4
Espesor de la Losa, ts (m)	0.2
Espesor Capa Rodadura (m)	0.08
<b>DIMENSIONES VIGA TIPO : EN LA LUZ</b>	
Ancho Patín Superior bfs (m)	0.7
Patín SUP: Esp. Top tfs1 (m)	0.22
Patín SUP: Esp. Bottom tfs2 (m)	0.18
Espesor del Alma, tw (m)	0.2
Altura del Alma, Hw (m)	0.95
Ancho Patín Inferior bfi (m)	0.6
Patín INF: Esp. Top tfi1 (m)	0.1
Patín INF: Esp. Bottom tfi2 (m)	0.15
<b>DIMENSIONES VIGA TIPO : EN APOYOS</b>	
Patín SUP: Esp. Inferior tfz2 (m)	0.07
Zona Anclaje: Long 1 (Const) (m)	1.5
Zona Anclaje: Long 2 (Variab) (m)	0.85
Barreras y Bordillos <span style="float: right;">Carga Perm y Sobreimp</span>	
Definición de Barreras New Jersey (NJ)	
NO NJ IZQ	NO NJ DER
Dist bde izq losa al Bdelzq Doble NJ, m <input type="text" value="3"/> <span style="margin-left: 20px;">Sep. Libre entre NJ (m) <input type="text" value="0"/></span>	
Bordillos y Barandas: Sug: Si no usa NJ, Lbor>=.30	
L Bord. IZQ (m) <input type="text" value="0.8"/>	EspBord IZQ(m) <input type="text" value="0.15"/>
L Bord.DER (m) <input type="text" value="0.8"/>	EspBord DER(m) <input type="text" value="0.15"/>
BARANDAS	Sí Ext IZQ
	NO Int IZQ
	Sí Ext DER
	NO Int DER
Utilizar Camión de la Norma	CCP14 Col.
F'c del Concreto Vigas (kg/cm2)	350
F'c del Concreto Losa (kg/cm2)	280
Fy Acero Losa y Vigas (kg/cm2)	4200
Recubrim Centroid d' Losa (cm)	5

**GEOMETRIA DEL TABLERO**

CORTE TRANSVERSAL DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE: TABLERO EN C.L.

CORTE LONGITUDINAL BÁSICO: VIGA TÍPICA: SECCIÓN SIMPLE

Viga.INTERIOR. Corte Apoyos. S. Simc

Viga.INTERIOR. Corte Apoyos. S. Cor

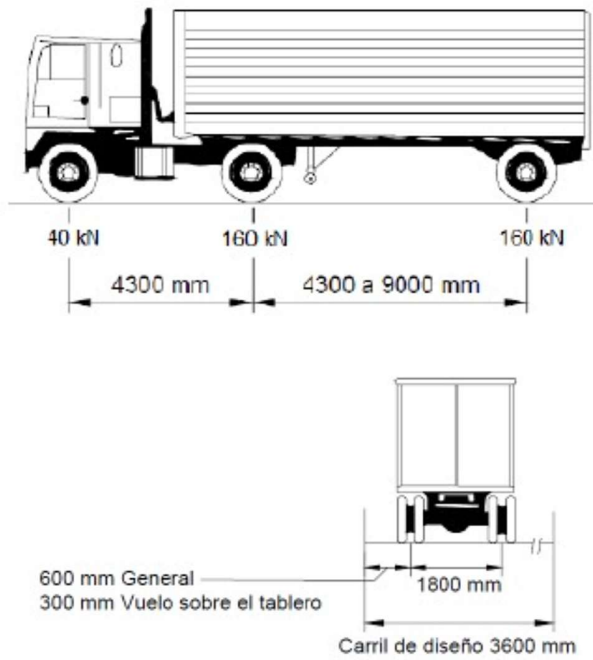
V.INT. Corte en C.L. S. Simple

V.INT. Corte en C.L. S. Comp.



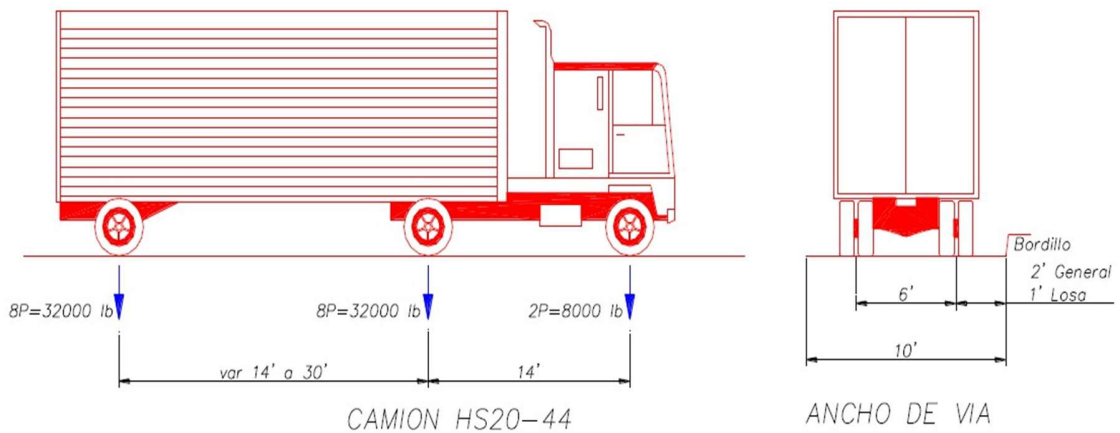
- Cargas vivas según CCP-14 y HS20-44 (Camión de diseño).

Figura 14 Cargas vivas según CCP-14



Nota: Tomado de Aparte 3.6.1.2.2 Camión de diseño CCP-14

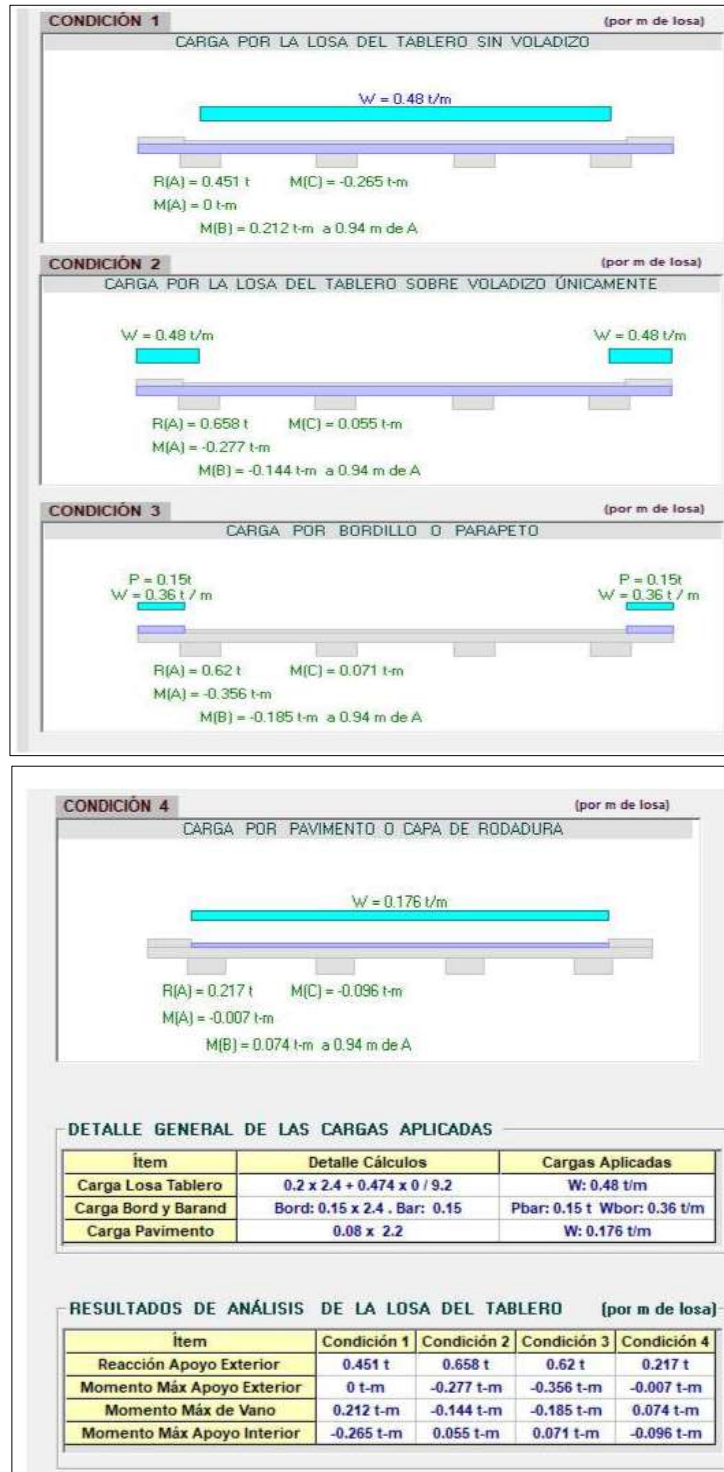
Figura 15 Cargas vivas HS20-44 (Camión de diseño del puente AASHTO62)



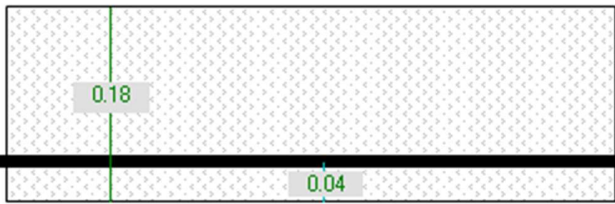


Nota: Tomado de norma AASHTO Standard (Método de carga establecido en el año 1944)

• **Resultados de análisis de losa tablero y vigas:**







**Índice de Acero Rho:**

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mK}{\phi f_y}} \right) \quad K = \frac{Mu}{bd^2} \quad m = \frac{F_y}{0.85f'c}$$

Resistencia del Concreto F'c (kg/cm2)	280
Límite de Fluencia del Acero, Fy (kg/cm2)	4200
Recubrim Concreto al Centroide Armad Principal (cm)	5
Usar Diámetro Varillas en milímetros o en pulgadas	pulg
Diámetro Mínimo a usar para Acero Principal, #	5
Diámetro Mínimo a usar para Acero Secundario, #	3
Separación Máxima Varillas Armadura Principal, (cm)	30

**RECALCULAR**

**Diseño de la Armadura para Momento Negativo**

**Mom Mu(-) Máximo Abs = -5.649 t-m / m**

	Valor	Simbología
Mu	5.649 t-m	Momento mayorado en la seco
K	251.046 t/m2	Mu/bd <sup>2</sup>
m	17.647	fy/0.85f'c
Ro Calc	0.00708	Cuántia Acero de Diseño
As calc	10.63 cm2	Area Refuerzo Calculado (por m)
Ic	0.0007 m3	Mom de Inercia de Sección Bruta
fr	33.132 kg/cm2	Módulo de Ruptura : 1.98(f'c) <sup>1/2</sup>
Mcr	2.21 t-m	Mom Agrietamiento
Asmin(Mcr)	3.99 cm2	Acero para Mom_Agrietam.
1.33Ascal	14.13 cm2	Acero Calculado x 1.33
Acero Domina	10.63 cm2	As(calc) > As Mín (Mcr)
Arm Ppal Sug.	1 # 5 @ 0.18	Armad Ppal Real Propuesta
As real Coloc	11 cm2	Area de Acero Real Colocado
c	2.283 cm	Alt blq compr: AsFy/.85f'cBetab
εT	0.0233	0.003(dt-c)/c
Chequeo	et > 0.005	Phi OK
As RetracTemp	2.33 cm2/m/cara	2.33<=0.75bh / (2(b+h)Fy)<=12.7
Arm Retr Sug.	1 # 3 @ 0.25	Armad Retraco Propuesta

**Diseño de la Armadura para Momento Positivo**

**Mom Mu(+) Máximo Abs = 4.958 t-m / m**

	Valor	Simbología
Mu	4.958 t-m	Momento mayorado en la seco
K	220.367 t/m2	Mu/bd <sup>2</sup>
m	17.647	fy/0.85f'c
Ro Calc	0.00617	Cuántia Acero de Diseño
As calc	9.25 cm2	Area Refuerzo Calculado (por m)
Ic	0.0007 m3	Mom de Inercia de Sección Bruta
fr	33.132 kg/cm2	Módulo de Ruptura : 1.98(f'c) <sup>1/2</sup>
Mcr	2.21 t-m	Mom Agrietamiento
Asmin(Mcr)	3.99 cm2	Acero para Mom_Agrietam.
1.33Ascal	12.3 cm2	Acero Calculado x 1.33
Acero Domina	9.25 cm2	As(calc) > As Mín (Mcr)
Arm Ppal Sug.	1 # 5 @ 0.21	Armad Ppal Real Propuesta
As real Coloc	9.43 cm2	Area de Acero Real Colocado
c	1.957 cm	Alt blq compr: AsFy/.85f'cBetab
εT	0.0277	0.003(dt-c)/c
Chequeo	et > 0.005	Phi OK
As RetracTemp	2.33 cm2/m/cara	2.33<=0.75bh / (2(b+h)Fy)<=12.7
Arm Retr Sug.	1 # 3 @ 0.25	Armad Retraco Propuesta

Se revisa según referencia el refuerzo colocado según cartilla: PUNTES DE PLACA Y VIGA: CONCRETO REFORZADO, CONCRETO PRE ESFORZADO, ALCANTARILLAS DE CAJÓN, del Ministerio de obras Públicas y Transporte.

Se evidencia que el refuerzo suministrado en el diseño original es suficiente para suplir las solicitudes actuales.



- Resultados y análisis de escenarios cargas vivas de diseño original vs cargas vivas normativas actuales AASHTO y CCP-14.

Revisión solicitaciones de vigas según ccp14:

**Cálculo de Momentos en Vigas por Carga Viva + Impacto**

PUENTE POSTENSADO L=33m 1  
Ho

**Cálculo de Momentos en Vigas por Carga Viva + Impacto**

**FD Momentos CV, FDM Vigas INTERIORES**

Fact Distr. C. Viva para Momento en Vigas Interiores, >= 4 vigas

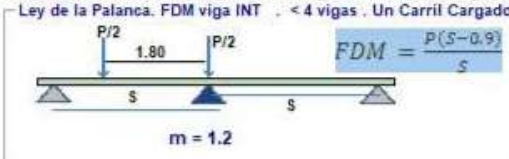
1 carril cargado

$$FDM = 0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

2 ó más carriles cargados

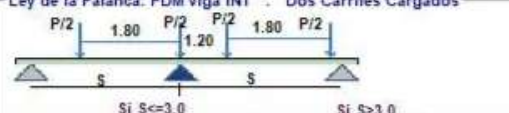
$$FDM = 0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

Fact Distr. C Viva para Momento en Vigas Interiores. 3 vigas  
Ley de la Palanca. FDM viga INT . < 4 vigas . Un Carril Cargado



$FDM = \frac{P(S-0.9)}{S}$   
m = 1.2

Ley de la Palanca. FDM viga INT . Dos Carriles Cargados



Si S <= 3.0  $FDM = \frac{3P(S-1)}{2S}$  m=1.0      Si S > 3.0  $FDM = \frac{P(2S-3)}{S}$  m=1.0

Número de Vigas, Nb	4
Separación a Ejes de Vigas, S	2.35 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	33 m
Parámetro de Rigidez Longitudinal, Kg	0.648 m4
FDM directo (1 carr carg)	0.449
FDM directo (>=2 carriles carg)	0.643
FDM, Ley Palanca incluy m (1 carr cargad)	-
FDM, Ley Palanca incluy m (2 carr cargad)	-
Fact Distr de Mom, FDM dominante absoluto	<b>0.6434</b>

**FD Momentos CV, FDM Vigas EXTERIORES**

LEY DE LA PALANCA 1 carril carg >= 3 vigas

$$FDM viga_{ext} (1carril) = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 1.50)}{S}$$

$$g = \left(0.77 + \frac{d_e}{2800}\right) g_{int}; d_e = lvol_{ejes} - l_{bord}$$

LEY DE LA PALANCA 2 ó más carriles cargados . 3 vigas

Caso A . Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 < Lvol_{ejes} + S$

$$FDM = \frac{1.5P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 2.20)}{S} m = 1.0$$

$$FDM = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 1.50)}{S}$$

Caso B . Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 \geq Lvol_{ejes} + S$

Chequeo de FDM considerando Losa Rígida. Art 4.6.2.2d

$$R = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{ext}}{\Sigma x^2} \Sigma e$$

R: FDM NL: # Carriles  
Carg Nb: # Vigas Xext: Dist CG tablero a vigaext  
x: Dist CG tablero a o/viga  
e: exo carga a CG tablero

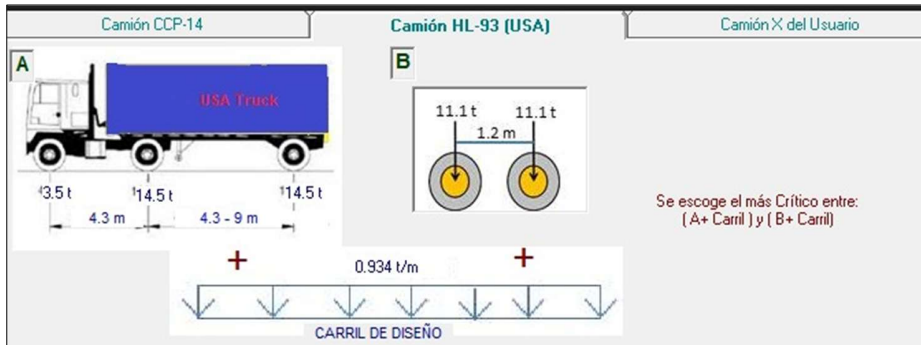
Número de Vigas, Nb	4
Separación a Ejes de Vigas, S	2.35 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	33 m
Fae Dist Mom, FDM LPalanca incluy m (1 carr carg)	0.983
Distancia borde extBord - EjeVigaext, de	1.075 m
Factor Correcc. para distrib CV a VigExt, e	1.154
Fact Distr FDMint, gint	0.643
Factor Distrib Mom, FDM (g) (2 carriles carg)	0.742
Fact Distr de Mom, (2 carr carg) por Ley Palanca	-
Fact Dist Mom,(1 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.775
Fact Dist Mom,(2 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.909
Fact Distr de Mom, FDM dominante	<b>0.983</b>

**MOMENTOS POR CAMIÓN, TÁNDEM, C. DE DISEÑO, COMBINADOS Y DOMINANTES POR CARRIL Y POR VIGA (t-m)**

X (m)	0	1.5	2.35	4.125	8.25	12.375	16.5	20.625	24.75	28.875	30.65	31.5	33
Mom por Camión+Imp	0	62.32	94.73	155.63	261.94	321.67	337.82	321.67	261.94	155.63	94.73	62.32	0
Mom por Tándem+Imp	0	46.7	71.15	117.5	200.75	249.67	264.34	249.67	200.75	117.5	71.15	46.7	0
Mom Carril de Diseño	0	24.33	37.09	61.34	105.16	131.45	140.21	131.45	105.16	61.34	37.09	24.33	0
Mom Camión+Imp+Carril	0	86.65	131.83	216.97	367.1	453.11	478.03	453.11	367.1	216.97	131.83	86.65	0
Mom Tándem+Imp+Carril	0	71.03	108.25	178.84	305.9	381.11	404.55	381.11	305.9	178.84	108.25	71.03	0
Mom Domin CV+Imp por Vía	0	86.65	131.83	216.97	367.1	453.11	478.03	453.11	367.1	216.97	131.83	86.65	0
Mom CV+Imp por Viga INT	0	55.75	84.82	139.61	236.21	291.55	307.58	291.55	236.21	139.61	84.82	55.75	0
Mom CV+Imp por Viga EXT	0	85.18	129.58	213.28	360.85	445.4	469.89	445.4	360.85	213.28	129.58	85.18	0



Revisión solicitaciones de vigas según AASHTO LRFD (Camión HL-93) Actual:



FD Momentos CV, FDM Vigas INTERIORES

Fact Distr. C. Viva para Momento en Vigas Interiores.  $\geq 4$  vigas

1 carril cargado

$$FDM = 0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{L t_s^3}\right)^{0.1}$$

2 ó más carriles cargados

$$FDM = 0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{L t_s^3}\right)^{0.1}$$

Fact Distr. C Viva para Momento en Vigas Interiores. 3 vigas

Ley de la Palanca. FDM viga INT.  $< 4$  vigas. Un Carril Cargado

$$FDM = \frac{P(S-0.9)}{S}$$

$$FDM = \frac{P(S - \frac{\alpha}{2})}{S}$$

$m = 1.2$

Ley de la Palanca. FDM viga INT. Dos Carriles Cargados

Si  $S \leq 3.0$   $FDM = \frac{3P(S-1)}{2S}$   $m=1.0$

Si  $S > 3.0$   $FDM = \frac{P(2S-3)}{S}$   $m=1.0$

Número de Vigas, Nb	4
Separación a Ejes de Vigas, S	2.65 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	33 m
FDM directo (1 carr carg)	0.468
FDM directo ( $\geq 2$ carriles carg)	0.678
FDM, Ley Palanca incluy m (1 carr cargad)	-
FDM, Ley Palanca incluy m (2 carr cargad)	-
Fact Distr de Mom, FDM dominante absoluto	0.6783

FD Momentos CV, FDM Vigas EXTERIORES

LEY DE LA PALANCA 1 carril carg  $\geq 3$  vigas

$$FDM \text{ viga}_{ext} (1 \text{ carril}) = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bor} - 1.50)}{S}$$

$$g = \left(0.77 + \frac{d_e}{2800}\right) g_{int}; d_e = Lvol_{ejes} - l_{bord}$$

LEY DE LA PALANCA 2 ó más carriles cargados. 3 vigas

Caso A. Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 < Lvol_{ejes} + S$

$$FDM = \frac{1.5P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 2.20)}{S} \quad m = 1.0$$

Caso B. Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 \geq Lvol_{ejes} + S$

$$FDM = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 1.50)}{S}$$

Chequeo de FDM considerando

Losa Rígida, Art 4.6.2.2d

$$R = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{ext}}{\sum x^2} \sum e$$

R: FDM NL: # Carriles  
Carg Nb: # Vigas Xext: Dist CG tablero a vigaext  
x: Dist CG tablero a o/viga  
e: exo carga a CG tablero

Número de Vigas, Nb	4
Separación a Ejes de Vigas, S	2.65 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	33 m
Parámetro de Rigidez Longitudinal, Kg	0.44911 m4
Fac Dist Mom, FDM LPalanc incluy m (1 carr carg)	0.804
Distancia borde extBord - EjeVigaext, de	0.625 m
Factor Correcc. para distrib CV a VigExt, e	0.993
Fact Distr FDMint, gint	0.678
Factor Distrib Mom, FDM (g) (2 carriles carg)	0.674
Fact Distr de Mom, (2 carr carg) por Ley Palanca	-
Fact Dist Mom, (1 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.721
Fact Dist Mom, (2 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.862
Fact Distr de Mom, FDM dominante	0.86226

MOMENTOS POR CAMIÓN, TÁNDEM, CARRIL DE DISEÑO, COMBINADOS Y DOMINANTES POR CARRIL Y POR VIGA	0	0.3	3.3	6.6	9.9	13.2	16.5	19.8	23.1	26.4	29.7	32.7	33
X (m)	0	0.3	3.3	6.6	9.9	13.2	16.5	19.8	23.1	26.4	29.7	32.7	33
Mom por Camión+Imp (t-m)	0	11.73	116.08	203.64	262.66	297.16	305.14	297.16	262.66	203.64	116.08	11.73	0
Mom por Tándem+Imp (t-m)	0	8.62	85.92	152.35	199.3	226.76	234.73	226.76	199.3	152.35	85.92	8.62	0
Mom Carril de Diseño (t-m)	0	4.58	45.77	81.37	106.8	122.06	127.14	122.06	106.8	81.37	45.77	4.58	0
Mom Camión+Imp + Carril (t-m)	0	16.31	161.85	285.01	369.46	419.22	432.28	419.22	369.46	285.01	161.85	16.31	0
Mom Tándem+Imp + Carril (t-m)	0	13.2	131.69	233.72	306.1	348.81	361.87	348.81	306.1	233.72	131.69	13.2	0
Mom Domin CV+Imp por Vía (t-m)	0	16.31	161.85	285.01	369.46	419.22	432.28	419.22	369.46	285.01	161.85	16.31	0
Mom CV+Imp por Viga INT (t-m)	0	11.07	109.78	193.32	250.6	284.35	293.21	284.35	250.6	193.32	109.78	11.07	0
Mom CV+Imp por Viga EXT (t-m)	0	14.07	139.56	245.75	318.57	361.48	372.74	361.48	318.57	245.75	139.56	14.07	0



Revisión solicitaciones de vigas según CAMIÓN HS20-44. Camión de diseño de 1968:

Camión CCP-14

Camión HL-93 (USA)

Camión X del Usuario

Tabla de Cargas por Eje y sus Separaciones

Eje	Carga P (t)	Brzo a P.sig (m)
1	3.6	0
2	14.5	4.26
3	14.5	5.56

**IMPORTANTE:**  
Si usa el Camión X, el Carril de Diseño y el Tándem, NO serán considerados

**Núm de Ejes del Camión (Máx 8)**

**# i de la Carga P a Definir**

**Carga Total P(i) del Eje (t)**

**Brzo de P(i) a la P(i+1) (m)**

Aplicar Datos de la Carga P(i)

**Ingrese los datos de TODOS los ejes del Camión X, ANTES de Iniciar el Análisis**  
El brazo de la 1a carga P(1) SIEMPRE es = 0

FD Momentos CV, FDM Vigas INTERIORES

Fact Distr. C. Viva para Momento en Vigas Interiores. >= 4 carriles

1 carril cargado

$$FDM = 0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{L t_s^3}\right)^{0.1}$$

2 ó más carriles cargados

$$FDM = 0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{L t_s^3}\right)^{0.1}$$

Fact Distr. C Viva para Momento en Vigas Interiores. 3 vigas

Ley de la Palanca. FDM viga INT. < 4 vigas. Un Carril Cargado

$FDM = \frac{P(S-0.9)}{S}$

$FDM = \frac{P(S - \frac{\alpha}{2})}{S}$

$m = 1.2$

Ley de la Palanca. FDM viga INT. Dos Carriles Cargados

Si  $S \leq 3.0$   $FDM = \frac{3P(S-1)}{2S}$   $m=1.0$     Si  $S > 3.0$   $FDM = \frac{P(2S-3)}{S}$   $m=1.0$

Número de Vigas, Nb	4
Separación a Ejes de Vigas, S	2.65 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	33 m
FDM directo (1 carr carg)	0.468
FDM directo (>=2 carriles carg)	0.678
FDM, Ley Palanca incluy m (1 carr cargad)	-
FDM, Ley Palanca incluy m (2 carr cargad)	-
Fact Distr de Mom, FDM dominante absoluto	0.6783

FD Momentos CV, FDM Vigas EXTERIORES

LEY DE LA PALANCA 1 carril carg >= 3 vigas

$$FDM_{viga_{ext}}(1carrilc) = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 1.50)}{S}$$

$g = \left(0.77 + \frac{d_e}{2800}\right) g_{int}$ ;  $d_e = lvol_{ejes} - l_{bord}$

LEY DE LA PALANCA 2 ó más carriles cargados. 3 vigas

Caso A. Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 < Lvol_{ejes} + S$

$$FDM = \frac{1.5P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 2.20)}{S}$$
  $m = 1.0$ 

Caso B. Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 \geq Lvol_{ejes} + S$

$$FDM = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 1.50)}{S}$$

Chequeo de FDM considerando Losa Rígida. Art 4.6.2.2d

$R = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{ext}}{\sum x^2} \Sigma e$

R: FDM NL: # Carriles  
Carg Nb: # Vigas Xext: Dist CG tablero a vigaext  
x: Dist CG tablero a c/viga  
e: exo carga a CG tablero

Número de Vigas, Nb	4
Separación a Ejes de Vigas, S	2.65 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	33 m
Parámetro de Rigidez Longitudinal, Kg	0.44911 m4
Fac Dist Mom, FDM LPalanc incluy m (1 carr carg)	0.804
Distancia borde extBord - EjeVigaext, de	0.525 m
Factor Correcc. para distrib CV a VigExt, e	0.993
Fact Distr FDMint, gint	0.678
Factor Distrib Mom, FDM (g) (2 carriles carg)	0.674
Fact Distr de Mom, (2 carr carg) por Ley Palanca	-
Fact Dist Mom,(1 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.721
Fact Dist Mom,(2 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.862
Fact Distr de Mom, FDM dominante	0.86226

**MOMENTOS POR CAMIÓN, TÁNDEM, CARRIL DE DISEÑO, COMBINADOS Y DOMINANTES POR CARRIL Y POR VIGA**

X (m)	0	0.3	3.3	6.6	9.9	13.2	16.5	19.8	23.1	26.4	29.7	32.7	33
Mom por Camión+Imp (t-m)	0	11.49	113.35	198.08	254.2	288.27	293.89	288.27	254.2	198.08	113.35	11.49	0
Mom por Tándem+Imp (t-m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mom Carril de Diseño (t-m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mom Camión+Imp + Carril (t-m)	0	11.49	113.35	198.08	254.2	288.27	293.89	288.27	254.2	198.08	113.35	11.49	0
Mom Tándem+Imp + Carril (t-m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mom Domin CV+Imp por Via (t-m)	0	11.49	113.35	198.08	254.2	288.27	293.89	288.27	254.2	198.08	113.35	11.49	0
Mom CV+Imp por Viga INT (t-m)	0	7.79	76.88	134.36	172.42	195.53	199.35	195.53	172.42	134.36	76.88	7.79	0
Mom CV+Imp por Viga EXT (t-m)	0	9.9	97.74	170.8	219.19	248.56	253.41	248.56	219.19	170.8	97.74	9.9	0



## DISCUSIÓN

### Análisis de lesiones.

El Puente presenta un estado de conservación que refleja tanto el paso del tiempo como la exposición a condiciones ambientales severas propias del litoral Caribe colombiano. Las inspecciones de campo permitieron identificar manifestaciones patológicas en la superestructura y subestructura accesible.

Adicional a las patologías descritas en las fichas de campo, se evidenciaron lesiones que implican un monitoreo constante y estudios adicionales para determinar su influencia en el comportamiento futuro del puente.

Las lesiones observadas corresponden a los siguientes fenómenos:

**Tabla 2** Lesiones para monitoreo constante

Tipo de lesión	Manifestación observada	Causa probable
Mecánicas/Estructurales	Fisuración en losa del tablero	Cargas cíclicas, deficiencias en juntas de dilatación
Físico-químicas	Exposición y corrosión de armaduras	Carbonatación y cloruros de la atmósfera marina
Hidráulicas/Geotécnicas	Erosión en pilas y estribos	Socavación por caudales en épocas de creciente
Superficiales/Estéticas	Eflorescencias y humedad	Infiltración de agua por drenaje deficiente
Funcionales	Deterioro de bordillos, andenes y barandas	Tránsito peatonal, envejecimiento y agentes ambientales

### Evaluación de riesgo estructural.

El análisis comparativo con las normativas AASHTO LRFD y el CCP-14, muestra que:

- Durabilidad comprometida: la corrosión del acero reduce la vida útil esperada.
- Vulnerabilidad hidráulica: no se cuenta con un análisis de la socavación en pilas y estribos, lo que incrementa el riesgo de inestabilidad en crecientes.
- Impacto funcional elevado: el puente, al ser parte de la Troncal del Caribe, constituye infraestructura esencial; su inoperancia tendría repercusiones sociales y económicas severas.



### Análisis de la capacidad de cargas vivas.

**Tabla 3** Comparación de capacidad por cargas vivas.

Elemento evaluado	Capacidad requerida (Normativa)	Capacidad HS 20-44	Relación capacidad (%)	Conclusión
<b>Tablero (losa)</b>	Cumple	Cumple	100 %	Adecuado frente a solicitudes normativas
<b>Vigas. CCP-14</b>	470 t·m	254 t·m	54 %	Insuficiente, no cumple con normativa vigente. <b>CCP-14</b>
<b>Vigas. AASHTO LRFD (Camión HL-93)</b>	372.74 t·m	254 t·m	68.14 %	Insuficiente, no cumple con normativa vigente. <b>AASHTO LRFD</b>

De los análisis previamente desarrollados, y al comparar la capacidad resistente actual de la estructura con las exigencias de las normativas vigentes, se evidencia que la capacidad requerida más crítica para satisfacer las solicitudes actuales es la de CCP-14, siendo de 470 t·m, mientras que la resistencia ofrecida por la estructura es de 254 t·m, lo que corresponde apenas al 54% de lo exigido normativamente. En consecuencia, puede concluirse que la superestructura, específicamente el tablero, presenta un comportamiento adecuado frente a las solicitudes establecidas; sin embargo, las vigas resultan estructuralmente insuficientes para responder a las demandas actuales de carga.

Siendo el caso más crítico de diseño, las exigencias de la normativa colombiana, se desarrollarán los análisis y recomendaciones técnicas, partiendo de esta premisa.

Las vigas presentan un índice de utilización  $IU = 470/254 \approx 1.85$ , lo que evidencia un déficit de capacidad del 46 % en el estado límite último de flexión. El tablero, por su parte, muestra desempeño adecuado en los estados límite de resistencia.

El faltante de capacidad se cuantifica como  $\Delta M = 470 - 254 = 216$  t·m, que debe ser cubierto mediante una estrategia de reforzamiento. Dado el esquema estructural y la relación demanda–capacidad, la alternativa preferente es el postensado externo (cables exteriores) para incrementar la capacidad a flexión en las regiones críticas y mejorar el desempeño en servicio (control de flechas y fisuración probable). Ver anexo 04.



## ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN

### Recomendaciones técnicas.

Con base en el diagnóstico estructural y en las exigencias de la normativa AASHTO LRFD, CCP-14 (2014) e INVIAS (2018), se plantean las siguientes alternativas de intervención:

- Intervenciones en el concreto y refuerzo existente:
  - ❖ Limpieza y pasivación de armaduras expuestas: aplicación de chorro abrasivo controlado, inhibidores de corrosión (nitrito de calcio, amino alcoholes), y recubrimiento con morteros poliméricos. **Ver anexo 03.**
  - ❖ Inyección de resinas epóxicas en fisuras activas y sellado superficial con recubrimientos elastoméricos.
  - ❖ Reposición de recubrimiento perdido con morteros estructurales de retracción compensada y resistencia  $\geq 45$  MPa. **Ver anexo 03.**
- Protección superficial y durabilidad:
  - ❖ Aplicación de recubrimientos protectores (epóxicos, poliuretano alifático o híbridos de silanos-siloxanos).
  - ❖ Implementación de sistemas hidrofugantes en tablero y elementos expuestos a humedad.
- Obras hidráulicas de protección: Se recomienda la realización de un estudio hidrológico, hidráulico y socavación en el cauce; sin embargo, preliminarmente se recomienda:
  - ❖ Encauzamiento y enrocado en pilas y estribos.
  - ❖ Instalación de gaviones y geotextiles de protección.
  - ❖ Rehabilitación de drenajes longitudinales y transversales.
- Reforzamiento estructural:
  - ❖ Refuerzo con polímeros reforzados con fibra (FRP): aplicación de láminas de fibra de carbono (CFRP) en caras inferiores de vigas principales.
  - ❖ Encamisado parcial de vigas y pilas con concreto autocompactante de alta resistencia ( $\geq 50$  MPa).
  - ❖ Adición de cables externos postensados: instalación de tendones externos anclados en diafragmas y apoyos, para redistribuir los momentos de flexión, controlar fisuración y suplir el déficit del 46% respecto a la capacidad normativa.

### Plan de ensayos patológicos complementarios:

Adicional a las actividades de campo realizadas, se recomienda el siguiente plan complementario de ensayos campo, con la finalidad de obtener un diagnóstico más amplio de las afectaciones, proponiendo métodos adicionales para evaluar la durabilidad, resistencia y estado de conservación del concreto y del acero estructural del puente, según las condiciones de exposición marina, tránsito pesado y la edad avanzada del puente.



**Ensayos sobre el concreto**

Tipo de ensayo	Objetivo	Norma de referencia	Aplicación
Regatas en las vigas y losa	inspeccionar el acero de refuerzo, verificar su estado, distribución, recubrimiento y estado de mezcla del concreto.	Se debe establecer un procedimiento estándar para la realización de la actividad.	Vigas y losa del tablero
Ultrasonido (velocidad de pulso)	Detectar vacíos y delaminaciones internas	ASTM C597 / INV E-403	Vigas y losa del tablero
Carbonatación (fenolftaleína)	Medir profundidad de carbonatación	RILEM CPC-18	Vigas con recubrimiento deteriorado
Contenido de cloruros	Cuantificar cloruros solubles	ASTM C1152 / INV E-459	Zonas expuestas a al ambiente marino
Testigos de compresión	Determinar resistencia real del concreto	ASTM C42 / INV E-405	Vigas principales y losas
Potencial de corrosión (Cu/CuSO <sub>4</sub> )	Identificar zonas con corrosión activa	ASTM C876	Vigas principales y zona inferior de las losas.
Resistividad eléctrica	Evaluar velocidad de corrosión	AASHTO TP-95 / UNE 83988-1	Superficies carbonatadas

**Ensayos sobre el acero de refuerzo**

Ensayo	Objetivo	Norma	Aplicación
Pachometro con escaner	Determinar diámetro y recubrimiento del refuerzo	ASTM G59 / INV E-461	Localización de armaduras y recubrimiento



**Estrategia de intervención.**

La intervención debe desarrollarse en tres fases progresivas:

- Fase I (0–6 meses): reparación de fisuras activas, limpieza y pasivación de acero, rehabilitación provisional de drenajes, y obras de mitigación hidráulica de emergencia.
- Fase II (6–18 meses): aplicación de recubrimientos protectores, implementación de FRP en vigas secundarias y losa, y obras definitivas de encauzamiento e hidráulicas.
- Fase III (18–36 meses): instalación de cables externos postensados en vigas principales.

**Presupuesto de intervención (Referencial).**

**Tabla 4** Presupuesto referencial de intervenciones.

Alternativa	Técnica / Producto	Rango costo estimado (COP)	Observaciones
Reparación de fisuras	Inyección epóxica, sellado elastomérico	\$150 – 250 millones	Prioridad inmediata
Pasivación de armaduras y morteros	Inhibidores de corrosión + mortero estructural	\$200 – 400 millones	Incluye recubrimientos
Protección superficial	Recubrimientos epóxicos / silanos-siloxanos	\$80 – 150 millones	Tablero, vigas y estribos
Obras hidráulicas	Enrocado, gaviones, geotextiles	\$600 – 1.200 millones	Según magnitud de socavación
Refuerzo con FRP	Láminas de fibra de carbono	\$300 – 600 millones	En vigas y tablero
Refuerzo con cables externos	Cables postensados externos	\$1.200 – 2.000 millones	Suplir déficit del 46%
Encamisado estructural	Hormigón autocompactante $\geq 50$ MPa	\$500 – 900 millones	En vigas y pilas críticas



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- El puente nacional esencial sobre el río Palomino constituye un elemento estratégico de la red vial de la Troncal del Caribe, siendo la principal conexión entre los departamentos de La Guajira y el Magdalena. Su clasificación como infraestructura esencial implica la obligación de garantizar su operatividad antes, durante y después de un evento sísmico.
- El análisis de campo permitió identificar lesiones patológicas relevantes, tales como fisuración, desprendimiento de concreto, corrosión de acero de refuerzo, deterioro de juntas y deficiencias en la superficie de rodadura. Estas patologías evidencian un deterioro progresivo asociado tanto al envejecimiento natural de los materiales como al incremento de cargas de servicio superiores a las previstas en su diseño original.
- En la subestructura visible se observaron daños asociados a la exposición ambiental y a procesos de socavación en las pilas, sin embargo, debido a la falta de inspección profunda en cimentaciones, no fue posible evaluar con precisión su estado integral.
- El análisis estructural evidenció que las vigas principales presentan un déficit de capacidad del 46% para resistir las cargas vivas estipuladas en la normativa vigente (CCP-14, AASHTO LRFD), lo que las categoriza como estructuralmente insuficientes y representa un riesgo significativo para la integridad de la infraestructura.
- El puente presenta un nivel de riesgo moderado a alto debido a:
  - ✓ Patologías avanzadas que comprometen durabilidad y funcionalidad.
  - ✓ Deficiencias estructurales frente a solicitaciones normativas actuales.
- Las acciones de mantenimiento histórico han sido de carácter correctivo y superficial, sin que se hayan ejecutado planes de rehabilitación integral o reforzamiento sísmico. Esto ha permitido prolongar la vida útil del puente, pero no garantiza su seguridad estructural en el largo plazo.
- La exposición a un ambiente agresivo, sumado a la ausencia de programas de conservación, incrementa la vulnerabilidad del puente, lo que justifica la implementación de medidas inmediatas de rehabilitación.

### Recomendaciones

- Implementar un plan integral de rehabilitación y reforzamiento que priorice los elementos críticos de la superestructura. Se plantea la implementación de reforzamiento externo con cables postensados, anclados mediante dados de concreto reforzado en los extremos de la viga, según trayectoria detallada. Ver anexo 04.
- Ejecutar limpieza general de superficies mediante hidroblasting o sandblasting, a fin de remover partículas sueltas y contaminantes.
- Realizar demolición selectiva en zonas de concreto con recubrimiento deteriorado, utilizando equipos de bajo impacto para evitar daños adicionales.
- Proceder con la limpieza mecánica del acero expuesto y la aplicación de inhibidores cementicios modificados con resina acrílica, que garanticen la repasivación del refuerzo.



Producto sugerido SikaTop-Armatec 108 o similar, aplicar según recomendaciones fabricante.

- Incorporar inhibidores pasivadores acuosos en áreas afectadas por cloruros y sulfatos, con el fin de prolongar la vida útil de los elementos estructurales. Producto sugerido Sika FerroGard-903 o similar, aplicar según recomendaciones fabricante.
- Aplicar mortero acrílico de alto espesor en las zonas expuestas de la losa, con inhibidor de corrosión (producto sugerido: SikaTop-122 Plus o similar). Posteriormente, preparar las superficies planas y rugosas para instalar láminas de refuerzo FRP, a fin de controlar los esfuerzos a flexión. Productos recomendados: SikaWrap o Sika Carbodur (CFRP) o equivalentes.
- Implementar un estudio detallado de seguimiento a las deflexiones presentes en la superestructura, con el fin de establecer medidas de control y mantenimiento preventivo, para garantizar las condiciones de servicio y seguridad del puente.
- Implementar un plan de mantenimiento periódico que contemple inspecciones visuales, ensayos de laboratorio y reparaciones preventivas, con el objetivo de asegurar la sostenibilidad en el tiempo.
- Realizar un estudio complementario de cimentaciones y socavación del cauce del río Palomino, con el fin de determinar la integridad de la subestructura no visible y evaluar medidas de protección hidráulica.
- Realizar un estudio de vulnerabilidad, que incluya un análisis dinámico y/o no lineal de toda la estructura, para validar los resultados de la inspección, con el fin de definir el procedimiento de reforzamiento sísmico complementario más adecuado.
- Promover un programa de monitoreo estructural continuo, que contemple inspecciones periódicas conforme a los lineamientos de INVIAS, incorporando tecnologías avanzadas de auscultación. Este programa debe garantizar la actualización permanente de los inventarios y de la base de datos SIPUCOL, integrando información técnica confiable del puente, incluidos los resultados de modelaciones, inspecciones y registros de intervención.
- Utilizar los resultados de este estudio como referencia metodológica para la evaluación de otros puentes esenciales en la red vial colombiana, contribuyendo al fortalecimiento de la resiliencia y la sostenibilidad de la infraestructura del país.



## BIBLIOGRAFÍA

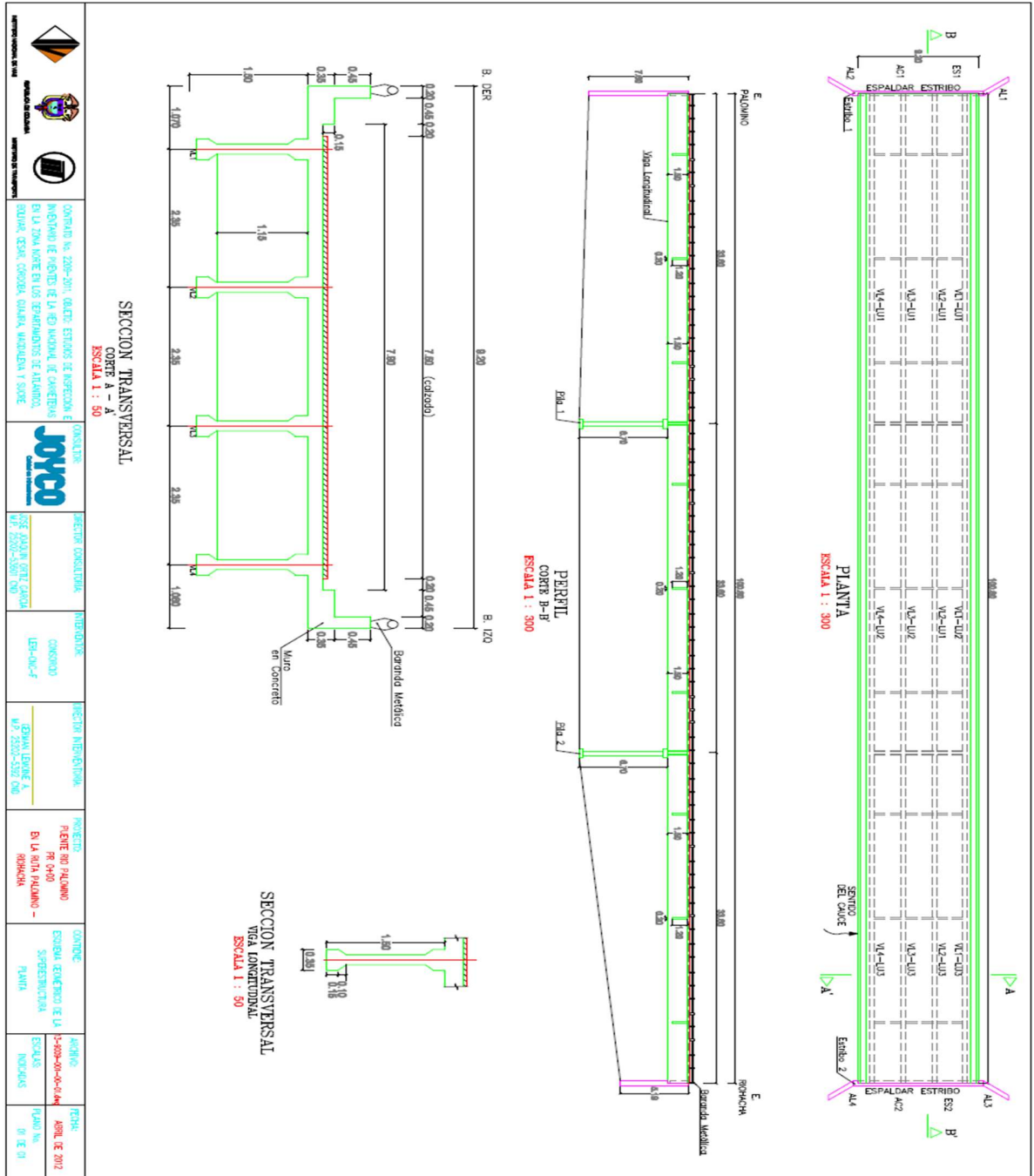
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2017). *Especificaciones de diseño de puentes LRFD*. AASHTO.
- Cardona, O. D., Ordaz, M., Marulanda, M. C., Barbat, A. H., Narváez, L., Pérez, V., & Velásquez, C. A. (2005). *Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos: Informe técnico principal*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Choi, E., DesRoches, R., & Nielson, B. (2004). Seismic fragility of typical bridges in moderate seismic zones. *Engineering Structures*, 26(2), 187–199.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2003.09.006>
- Elnashai, A. S. (1996). Inelastic analysis of RC bridges and applications to recent earthquakes. En *11th World Conference on Earthquake Engineering* (Paper No. 1842). Acapulco, México.
- Gómez, C., Oller, S., & Barbat, A. H. (2002). Evaluation of the vulnerability of the Warth Bridge in Austria. *International Journal of Natural Disasters, Accidents and Civil Infrastructure*.
- Hwang, H., Shinozuka, M., & Lee, B. (2001). Seismic vulnerability of highway systems in the South of California. *Reliability Engineering & System Safety*, 74(3), 319–329.  
[https://doi.org/10.1016/S0951-8320\(01\)00103-3](https://doi.org/10.1016/S0951-8320(01)00103-3)
- Instituto de Desarrollo Urbano. (2019). *Boletín técnico N.º 5: Evaluación del riesgo sísmico de los puentes del Distrito*. IDU.
- Instituto Nacional de Vías. (2014). *Norma colombiana de diseño de puentes CCP-14*. INVIAS.
- Instituto Nacional de Vías. (2018). *Recomendaciones para el diseño y construcción de infraestructuras viales*. INVIAS.
- Maldonado, E., Cañas, L. A., & Casas, J. R. (1998). *Estudio de parámetros en la vulnerabilidad sísmica de puentes* (Monografía CIMNE IS-28). Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE).
- Mota-Arteaga, A., & Ayala-Milán, G. (1993). Comportamiento sísmico no lineal de puentes de concreto. En *X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica* (pp. 81–88). Puerto Vallarta, México.
- Priestley, M. J. N., Seible, F., & Calvi, G. M. (1996). *Seismic design and retrofit of bridges*. John Wiley & Sons.



ANEXOS

Anexo 01: Registros del puente Palomino

Figura 16 Plano geométrico conforme a la base de datos de inventario vial de INVIAS – SIPUCOL



Nota: Tomado de registros SIPUCOL (Año 2012).



Anexo 02: Fichas de inspección INVIAS (Actualizada septiembre 2025).

Figura 17 Registro de Ficha de levantamiento en formato INVIAS-SIGP

		SISTEMA INTELIGENTE DE GESTIÓN DE PUENTES - SIGP MÓDULO DE INVENTARIO FORMATO DE LEVANTAMIENTO			
		Fecha de levantamiento (dd/mm/aaaa): <u>06 / 09 / 2025</u> Hora: <u>10 14 3</u> <input checked="" type="checkbox"/> a.m. <input type="checkbox"/> p.m. ID Evaluador: _____			
<b>0. INSTRUCCIONES DE USO</b>					
El presente formulario permite registrar la información general, geométrica y estructural de los puentes de la Red Vial Nacional, en caso que no sea posible realizarlo a través del app móvil de Inventario, y su uso debe considerarse como una opción alternativa. Será responsabilidad del evaluador digitalizar la información contenida en este formulario y entregar al funcionario responsable en el Instituto.  Todos los campos del formulario deben ser diligenciados siguiendo las indicaciones y recomendaciones del <i>Manual de inventario de información general, geométrica y estructural de puentes y su entorno</i> (INVIAS, 2024), y los códigos de campos de inventario en el formato anexo.  El formulario está limitado a un número máximo de diez (10) luces y ejes para estribos y apoyos intermedios, incluyendo secciones mixtas/combinadas en alguno de los anteriores. Para puentes con un número mayor de estos elementos, se recomienda utilizar el app móvil de Inventario únicamente.					
<b>1. IDENTIFICACIÓN &amp; LOCALIZACIÓN</b>					
Nombre del puente: <u>Palomino</u>		ID Puente: <u>13</u> - <u>9009</u> - <u>00</u> - <u>0100</u>		(Territorial) (Codigo via) (Sentido) (Consecutivo)	
Administrador vial: <u>Concesión Santa Marta-Paraguachón</u>		ID SIPUCOL: _____			
Tipo de carretera: <u>10</u> Tipo de obstáculo: <u>20</u>		Lat: + <u>N</u> . <u>1114'40.61"</u>		Long: - <u>O</u> . <u>73'34'05.55"</u>	
Carretera que salva: <u>Troncal Del Caribe</u>		PR inicio: km <u>000</u> + m <u>000</u>			
Cuerpo de agua que salva: <u>Rio Palomino</u>		Año de construcción: <u>1968</u>		PR fin: km <u>000</u> + m <u>109</u>	
<b>2. INFORMACIÓN GENERAL ESTRUCTURAL</b>					
Tipología general: <u>20</u>		Ampliación/modificación: <u>0</u>		Reforzamiento/rehabilitación: <u>0</u>	
				Pasarela adosada: <u>0</u>	
<b>GEOMETRÍA</b>			<b>SERVICIO</b>		
Longitud total (m): <u>109</u>		Ancho total (m): <u>9.2</u>		Número de calzadas: <u>1</u>	
Núm. apoyos intermedios: <u>2</u>		Número de luces: <u>3</u>		Número de juntas: <u>4</u>	
Gálibo superior (m): <u>NP</u>				Número de carriles: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>1</u>	
Gálibo vial (m): Sentido 1: <u>3.75</u> Sentido 2: <u>3.75</u>				Ancho prom. carril: Sentido 1: <u>3.75</u> Sentido 2: <u>3.75</u>	
Gálibo hidráulico (m): <u>5.5</u>				Ancho calzada: Sentido 1: <u>3.75</u> Sentido 2: <u>3.75</u>	
Gálibo horizontal (m): Sentido 1: <u>9.2</u> Sentido 2: <u>9.2</u>				Ancho bermas/sobrecancho: Izquierda: <u>0.25</u> Derecha: <u>0.25</u>	
				Calzadas bajo el puente: <u>NP</u> Carriles bajo el puente: <u>NP</u>	
<b>3. SENALIZACIÓN</b>					
<b>SENALIZACIÓN GENERAL DE PUENTES</b>					
Señal identificación/nombre: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>0</u>		Gálibo permitido/limitación: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>		Valor Sentido 1: <u>0</u> m Valor Sentido 2: <u>0</u> m	
Señal puente angosto: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>0</u>		Capacidad de carga/máxima: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>0</u>		<u>052</u> ton	
		Limitación vehículos pesados: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>			
<b>SENALIZACIÓN HORIZONTAL</b>			<b>SENALIZACIÓN VERTICAL REGLAMENTARIA</b>		
		Línea de borde pavimento exterior: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>1</u>		Velocidad máxima permitida: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>0</u> <u>30</u> km/h	
		Línea de borde entre carriles: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>1</u>		Velocidad mínima permitida: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>	
		Línea central separación de flujo: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>1</u>		Zona de cargue y descargue: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>	
		Demarcación berma pavimentada: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>1</u>		Indicador separador tránsito: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u> Pare: <u>0</u> <u>0</u>	
		Reductor de velocidad: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>		<b>SENALIZACIÓN VERTICAL PREVENTIVA</b>	
		Bandas alertadoras: Sentido 1: <u>1</u> Sentido 2: <u>1</u>		Info. de resalto: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u> Inicio/fin separador: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>	
		Delimitadores de piso: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>		Modificación calzada: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u> Zona escolar: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>	
				Zona de peatones: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u> Depresión: Sentido 1: <u>0</u> Sentido 2: <u>0</u>	



4. ELEMENTOS DE SERVICIO						5. JUNTAS				
	Presencia	Ancho (m):	Long. (m):	Altura / Espesor (m):	Material / Config.:	ID Junta	Posición (m)	Long. (m):	Ancho (m):	Tipología:
Bordillo derecho:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	109	0.15	2 0	0 1	K 0 + 000	8.62	0.0	1 1
Bordillo izquierdo:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	109	0.15	2 0	0 2	K 0 + 034	8.62	0.0	1 1
Baranda derecha:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	109	0.40	2 0	0 3	K0 + 068	8.62	0.0	1 1
Baranda izquierda:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.15	109	0.40	2 0	0 4	K0 + 109	8.62	0.0	1 1
Andén derecho:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.45	109	0.15	2 0					
Andén izquierdo:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.45	109	0.15	2 0					
Separador:	<input type="checkbox"/>									
Superficie de rodadura:										
Material sup. accesos:	Acceso PR inicio:	1 0	Acceso PR fin:	1 0						
Hay drenaje?	<input type="checkbox"/>	Hay iluminación?	<input type="checkbox"/>	Hay cerramiento?	<input type="checkbox"/>					

6. SUPERESTRUCTURA										
ESTRUCTURA & GEOMETRÍA GENERAL										
ID Luz:	0 1	0 2	0 3							
<i>(si es MÉT, indicar con decimal)</i>										
Longitud de la luz (m):	33.6	33.6	33.6							
Mat. sistema transversal:	1 0	1 0	1 0							
Método constructivo:	1 0	1 0	1 0							
Estructuración transversal:	2 1	2 1	2 1							
Continuidad apoyo inicial:	1 0	1 0	1 0							
Tipo de apoyo inicial:	1 0	1 0	1 0							
Continuidad apoyo final:	1 0	1 0	1 0							
Tipo de apoyo final:	1 0	1 0	1 0							
Material de la losa:	1 0	1 0	1 0							
Tipología de la losa:	1 0	1 0	1 0							
Espesor de la losa (m):	0.2	0.2	0.2							
	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>	<i>i d</i>
Voladizo lateral (izq./der.):	2 0	2 0	2 0							
Ancho voladizo izq. (m):	1.1	1.1	1.1							
Ancho voladizo der. (m):	1.1	1.1	1.1							
	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>	<i>i f</i>
Diafragma vigas (ini./fin.):	2 0	2 0	2 0							
Tipo diafragma ap. inicial:	2 0	2 0	2 0							
Tipo diafragma ap. final:	2 0	2 0	2 0							
Tipo arriostramiento transv.:	2 0	2 0	2 0							
Número de riostras:	3	3	3							
Número atiesadores transv.:	0	0	0							
Número atiesadores long.:	0	0	0							
Tipo arriostramiento long.:	2 0	2 0	2 0							
Tipo elementos verticales:	2 0	2 0	2 0							
Número elementos vertic.:	4	4	4							
Tipo diagonales:	N A	N A	N A							
Tipo sección cordón sup.:	N A	N A	N A							
Tipo sección cordón inf.:	N A	N A	N A							
Tipo sección montante:	N A	N A	N A							



6. SUPERESTRUCTURA (cont.)										
ESTRUCTURA & GEOMETRIA GENERAL (cont.)										
	i	f	i	f	i	f	i	f	i	f
Ménsulas (ini./fin.):	1	1	1	1						
Refuerzo externo en vigas:	0	0	0							
Curvatura:	0	0	0							
Número de vigas:	4	4	4							
Tipo de sección vigas:	1	0	1	0						
Número de tramos:	1	1	1							
GEOMETRIA VIGA ELEMENTO PRINCIPAL										
Ancho en apoyo (m):	- sup.: 0.7	0.7	- med.: 0.4	0.4	- inf.: 0.6	0.6				
Altura en apoyo (m):	- sup.: 0.15	0.15	- med.: 1.30	1.30	- inf.: 0.15	0.15				
Ancho en centro de luz (m):	- sup.: 1.0	1.0	- med.: 0.2	0.2	- inf.: 0.6	0.6				
Altura en centro de luz (m):	- sup.: 0.15	0.15	- med.: 1.30	1.30	- inf.: 0.15	0.15				
Espaciamiento (m):	2.35	2.35	2.35							
Longitud (m):	33.6	33.7	33.6							
Espesor pared/tabiques (m):	0.6	0.6	0.6							
Recubrimiento (m):	0.05	0.05	0.05							
Long. sección apoyo (m):	0.2	0.2	0.2							
Long. sección transición (m):	0.15	0.15	0.15							
Long. efectiva apoyo ini. (m):	0.2	0.2	0.2							
Alt. efectiva apoyo ini. (m):	0.003	0.003	0.003							
Gap apoyo inicial (m):	NP	NP	NP							
Long. efectiva apoyo fin (m):	0.6	0.6	0.6							
Alt. efectiva apoyo fin (m):	0.03	0.03	0.03							
Gap apoyo final (m):	NP	NP	NP							
GEOMETRIA ELEMENTO SECUNDARIO										
Ancho en apoyo (m):	- sup.: 0.30	0.30	- med.: 0.30	0.30	- inf.: 0.30	0.30				
Altura en apoyo (m):	- sup.: 1.20	1.20	- med.: 1.20	1.20	- inf.: 1.20	1.20				
Ancho en centro de luz (m):	- sup.: 8.62	8.62	- med.: 8.62	8.62	- inf.: 8.62	8.62				
Altura en centro de luz (m):	- sup.: 1.20	1.20	- med.: 1.20	1.20	- inf.: 1.20	1.20				
Espaciamiento (m):	8.4	8.4	8.4							
Longitud (m):	8.62	8.62	8.62							
Espesor pared/tabiques (m):	NP	NP	NP							







8. SUBESTRUCTURA - APOYOS INTERMEDIOS (cont.)									
ID Eje: <i>(si es MIXTO, indicar con decimal)</i>	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Tirantes:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Número de tirantes:	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Cables:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Número de cables:	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Pendolones:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Número de pendolones:	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Macizos:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Número de macizos:	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
9. ENTORNO									
CAUCE					TALUD O LADERA				
Ancho efectivo flujo (m):	8.62	Afuentes cercanos	<input type="checkbox"/> 0		Ubicación talud/puente:	<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> P		Núm. apoyos en talud:	NP
Ancho aguas arriba (m):	8.62	Dist. afluente arriba (m):	NV		Tipo material talud:	<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> R		Pendiente promedio:	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0
Ancho aguas abajo (m):	8.62	Dist. afluente abajo (m):	NV		Vegetación sobre talud:	<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> R		Altura promedio:	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 0
Tipo material en canal:	<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> L	Uniformidad mat. canal:	<input type="checkbox"/> 1		Estruct. contención talud:	<input type="checkbox"/> 0		Tipo estruct. contención:	<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> P
Tipo material margen izq.:	<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> L	Uniform. mat. margen izq.:	<input type="checkbox"/> 1		Número de terrazas:	N P		Altura estruct. contención (m):	N P
Tipo material margen der.:	<input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> L	Uniform. mat. margen der.:	<input type="checkbox"/> 1		Longitud estruct. contención (m):	N P			
Tipo material barras sed.:	<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> R	Uniform. mat. barras sed.:	<input type="checkbox"/> 0						
Estruct. captación/regulación:	<input type="checkbox"/> 0	Estruct. contención agua:	<input type="checkbox"/> 0						
Protección erosión márgenes:	<input type="checkbox"/>	Protección inundaciones:	<input type="checkbox"/> 0						
10. VERIFICACIÓN REGISTRO FOTOGRÁFICO									
GENERAL					SUPERESTRUCTURA				
	App	Cámara	Dron			App	Cámara	Dron	
Nombre del puente	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		Estructuración transversal (por cada luz):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Obstáculo que salva:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Apoyo extremo inicial (por cada luz):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Entorno del puente:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		Apoyo extremo final (por cada luz):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
General del puente:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		Elemento principal (por cada luz):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vista en planta:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Elemento secundario (por cada luz):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vista en perfil:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Elemento terciario (por cada luz):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
General de la calzada:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		Elemento adicional (por cada luz):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SERVICIO					JUNTAS				
	App	Cámara	Dron			App	Cámara	Dron	
General baranda derecha:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		Junta de dilatación (por cada junta):	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>	
General baranda izquierda:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>						
ENTORNO					SUBESTRUCTURA				
	App	Cámara	Dron			App	Cámara	Dron	
Cauce aguas arriba:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		General estribo inicial:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cauce aguas abajo:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		General estribo final:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Material margen izquierdo:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		Extremo superior apoyo interm. (por eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Material margen derecho:	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/>		Extremo inferior apoyo interm. (por eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Material canal principal:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Tirantes - extremo pilón (por cada eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Material barras de sedimentos:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Tirantes - extremo tablero (por cada eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Talud y puente:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Cables - extremo superior (por cada eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Apoyos en el talud:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Cables - extremo tablero (por cada eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Estructura de contencion en talud:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Pendolones (por cada eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
					Macizos (por cada eje):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Nota: Ficha actualizada del SISTEMA INTELIGENTE DE GESTIÓN DE PUENTES-SIGP



**Anexo 03: Recomendaciones generales de mantenimiento**

- **Procedimiento de aplicación de morteros de reparación para losas, vigas y pilas.**  
Aplicación de mortero acrílico para reparaciones de tipo estructural de alto espesor en superficies horizontales o verticales, con inhibidor de corrosión.

**Tabla 5** Procedimiento de aplicación de morteros de reparación.

Etapa / Actividad	Descripción	Normas / Observaciones
<b>Preparación de superficie</b>	Superficie rugosa, sana y limpia (libre de grasa, polvo, lechada de cemento u otras sustancias extrañas). - Saturar con agua antes de aplicar, evitando empozamientos. - Perfil mínimo de superficie tipo CSP-5. - Conformar área según guías. - Acero expuesto tratado mecánicamente hasta blanco metal.	-ICRI Guía 03732 (perfil de superficie). -ICRI Guía 03730 (conformación de área).
<b>Mezcla</b>	Utilizar mezclador mecánico de bajas revoluciones. - Seguir estrictamente las instrucciones del fabricante.	—
<b>Colocación</b>	Aplicar con llana en espesores de 1 cm a 4 cm. - Espesor máximo permitido: 10 cm.	—
<b>Curado</b>	Curado adecuado para garantizar durabilidad y calidad. - Usar curadores de altos sólidos (no base solvente). - Cubrir con agua y polietileno mínimo 3 días. - En condiciones normales: no curado húmedo, solo polietileno por 3 días.	—
<b>Recomendaciones especiales</b>	Temperatura mínima de aplicación: 8 °C. Consultar ACI para aplicación en condiciones de alta o baja temperatura. - Herramientas y utensilios deben limpiarse con agua inmediatamente después del uso.	Referencia: Normativa ACI.



- **Procedimiento de reposición de acero de corroído:**

Aplicación de recubrimiento para armaduras SikaTop-Armatec 108 o similar, colocación de acero nuevo y reparaciones de recubrimientos.

**Tabla 6** Procedimiento de reposición de acero corroído.

Etapa / Actividad	Descripción	Normas / Observaciones
<b>Preparación de la superficie</b>	-La superficie debe estar completamente limpia y libre de óxido o sustancias extrañas. - Limpieza recomendada con lija o grata metálica hasta grado comercial.	
<b>Aplicación del producto (SikaTop-Armatec 108 o similar)</b>	-Aplicar sobre el acero de refuerzo en mínimo dos capas. - Método: brocha, cepillo de cerdas suaves o inmersión. - Entre cada capa dejar secar aprox. 6 horas.	Respetar tiempos de secado según fabricante.
<b>Recomendaciones especiales</b>	- Figurar el refuerzo metálico antes de la aplicación. - Evitar la sobreposición de piezas mientras el recubrimiento esté fresco. - Prevenir arrastre e impacto del refuerzo ya recubierto. - Verificar posterior al ensamblaje que toda la superficie esté cubierta; en caso contrario, repintar.	Garantizar protección total del acero antes del vaciado de concreto.



**Anexo 04. Procedimiento de montaje y logística de intervención.**

<b>Fase</b>	<b>Actividad principal</b>	<b>Objetivo técnico</b>	<b>Recursos y equipos</b>	<b>Control de calidad</b>	<b>Responsable</b>	<b>Condiciones logísticas y de tráfico</b>	<b>Observaciones / Normas aplicables</b>
<b>1. Planeación previa</b>	Elaboración del cronograma y coordinación institucional	Planificar secuencia y minimizar interferencias con el tránsito	Oficina técnica, software MS Project, equipo de ingeniería y supervisión	Revisión del cronograma por interventoría	Director de obra / INVIAS	Sin afectación vial; reuniones de coordinación	CCP-14 Cap. 6 / INVIAS 2018
<b>2. Acopio y logística de materiales</b>	Recepción y almacenamiento de torones, vainas, anclajes y grasa	Garantizar disponibilidad de materiales certificados	Grúa telescópica, montacargas, área de acopio nivelada	Control de certificados ASTM A416 y fichas técnicas	Jefe de bodega / interventoría	Acopio en margen del río, zona con drenaje y cubierta	NTC 4017 / ASTM A416
<b>3. Montaje de plataformas y acceso</b>	Instalación de plataformas colgantes bajo vigas	Permitir montaje sin interrumpir tráfico	Plataformas metálicas, arneses, andamios, líneas de vida	Inspección de anclajes y fijaciones	Maestro de obra / SST	Cierre parcial 22:00–05:00, señalización nocturna	Resolución 1885/2015 PMT / INVIAS
<b>4. Preparación estructural</b>	Limpieza y vaciado de bloques de anclaje ( $f'c \geq 35$ MPa)	Crear base firme para los sistemas de anclaje	Hidrolavadora 2500 psi, vibrador, mezcladora, moldes metálicos	Ensayo de resistencia a compresión	Laboratorio de obra	Paso alternado, control por Policía Vial	ASTM C39 / INV E-405
<b>5. Colocación de vainas y desviadores</b>	Fijación de ductos y desviadores metálicos	Definir el trazado del tendón postensado	Vainas $\varnothing 60$ mm, desviadores con radio $\geq 1.5$ m	Verificación de alineación ( $\pm 10$ mm)	Supervisor técnico	Cierre parcial nocturno, flujo alterno	CCP-14 §6.7.2 / AASHTO 5.14



Fase	Actividad principal	Objetivo técnico	Recursos y equipos	Control de calidad	Responsable	Condiciones logísticas y de tráfico	Observaciones / Normas aplicables
<b>6. Enhebrado de torones</b>	Introducir torones en vainas lubricadas	Preparar tendones para el tensado final	Torones Ø15.2 mm, grasa protectora, winche eléctrico	Control visual de continuidad y torsión	Ingeniero residente	Sin cierre; trabajo en andamios	ASTM A416 / INVE-459
<b>7. Tensado progresivo</b>	Aplicar fuerza de presfuerzo en dos etapas (70 % y 100 %)	Generar compresión efectiva y controlada	Gatos hidráulicos, bomba de presión, manómetros calibrados, extensómetro	Elongación real vs teórica (±5 %)	Ingeniero de postensado	Tránsito reducido 00:00–04:00	AASHTO T-105 / CCP-14 §6.7
<b>8. Fijación y anclaje</b>	Bloquear cuñas y transferir carga a placas	Garantizar transmisión segura de fuerzas	Cuñas de anclaje, llaves hidráulicas	Inspección visual del asiento de cuñas	Supervisor de montaje	Sin cierre adicional	ACI 423.7R-05
<b>9. Sellado y protección</b>	Inyección de grasa/cera y aplicación de pintura epóxica	Proteger sistema ante corrosión y humedad	Grasa base litio, pistola inyectora, recubrimiento epóxico	Verificación de hermeticidad	Inspector de calidad	Circulación normal	INVIAS 2018 / NACE TM-01-69
<b>10. Desmontaje y limpieza final</b>	Retiro de plataformas y equipos	Liberar zona y dejar condiciones originales	Grúa, camión plataforma, elementos de limpieza	Acta de cierre y registro fotográfico	Coordinador general	Cierre parcial final	INVIAS – Manual de mantenimiento 2018



**Anexo 05 Cálculo refuerzo postensado adicional según  $\Delta$ Momento por carga viva.**

**DETERMINACION DE PRESFUERZO INICIAL**

$M_{LL\_IM\_VE} := 469.89 \text{ tonnef} \cdot m$        $M_{Hs20\_A4} := 253 \text{ tonnef} \cdot m$

$\Delta M := M_{LL\_IM\_VE} - M_{Hs20\_A4} = 2126964.3185 \text{ J}$        $M_{LL\_IMf} := \frac{\Delta M}{10000} = 212.696432 \text{ J}$

**Excentricidad ideal:**  $e := y'_b - 0.1 \cdot H = 103.76 \text{ cm}$

$f_{cb} = \frac{P_o}{A_v} + \frac{P_o \cdot e}{S_{bot}} - \frac{M_{pp}}{S_{bot}} - \frac{M_{lh}}{S_{sc\_bot}} - \frac{M_d}{S_{sc\_bot}} - \frac{M_{sup}}{S_{sc\_bot}} - \frac{M_{DW}}{S_{sc\_bot}} - \frac{M_{LL\_IMf}}{S_{sc\_bot}} = 0$

Presfuerzo Inicial:  $P_o := \text{Ceil} \left( \frac{\frac{M_{pp}}{S_{bot}} + \frac{M_{lh}}{S_{sc\_bot}} + \frac{M_d}{S_{sc\_bot}} + \frac{M_{sup}}{S_{sc\_bot}} + \frac{M_{DW}}{S_{sc\_bot}} + \frac{M_{LL\_IMf}}{S_{sc\_bot}}}{\frac{1}{A_v} + \frac{e}{S_{bot}}} \right), 2 \text{ tonnef}$

**$P_o = 272 \text{ tonnef}$**

Diámetro del torón:  $d_{toron} := 15.2 \text{ mm}''$       Área unitaria:  $A_u := 1.39 \text{ cm}^2$

Tensión de trabajo:  $f_{pi} := 0.7 \cdot f_{pu} = 13.29 \frac{\text{tonnef}}{\text{cm}^2}$       (Tabla 5.9.2.2-1)

Carga que soporta un torón:  $P_p := f_{pi} \cdot A_u = 18.47 \text{ tonnef}$

Número de torones:  $N_t := \text{ceil} \left( \frac{P_o}{P_p} \right)$        $N_t = 15$

Número de Vainas,  $N_v := \text{Ceil} \left( \frac{N_t}{10}, 1 \right) = 2$

Área real de presfuerzo:  $A_{ps} := N_t \cdot A_u$        $A_{ps} = 20.85 \text{ cm}^2$



**DETERMINACION DE PÉRDIDAS**

**PÉRDIDAS INSTANTÁNEAS**

- Pérdida por Fricción

Variación angular del trazo del cable:  $\alpha := \left( \frac{2 \cdot e}{0.5 \cdot L} \right) = 0.1235 \text{ rad} \quad \alpha = 7.077393 \text{ deg}$

Longitud del cable proyectado en el eje del elemento:  $x := L = 33.6 \text{ m}$

Esfuerzo de trabajo:  $f_{pj} := f_{pi} = 13.29 \frac{\text{tonnef}}{\text{cm}^2}$

Coeficiente de Fricción:  $\mu := 0.25 \frac{1}{\text{rad}}$  (Tabla 5.9.3.2.2b-1)

Coeficiente de curvatura no intencionada:  $K := 0.0002 \cdot \frac{1}{\text{ft}} = 0.000656 \frac{1}{\text{m}}$  (Tabla 5.9.3.2.2b-1)

Pérdida por Fricción:  $\Delta f_{pF} := f_{pj} \cdot (1 - e^{-(K \cdot x + \mu \cdot \alpha)})$  (5.9.3.2.2b-1)  $\Delta f_{pF} = 685.02 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

- Pérdida por Asentamiento de los Anclajes

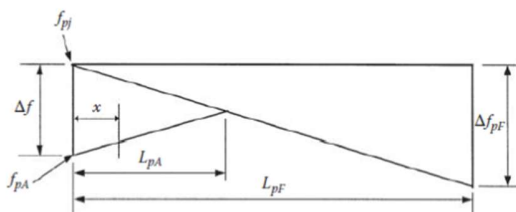
Asiento de anclaje:  $\Delta L := 5 \text{ mm}$  Longitud hasta el punto de evaluación:  $L_{pF} := L = 33.6 \text{ m}$

Longitud de influencia:  $L_{pA} := \sqrt{\frac{E_p \cdot \Delta L \cdot L_{pF}}{\Delta f_{pF}}}$   $L_{pA} = 22.17 \text{ m}$

Cambio de tensión debido al anclaje:  $\Delta f := \frac{2 \cdot \Delta f_{pF} \cdot L_{pA}}{L_{pF}}$   $\Delta f = 903.9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

En la estación inicial se tiene la mayor pérdida (x=0):  $x := 0 \text{ m}$  (Ver imagen de abajo)

Pérdida por asiento de anclajes:  $\Delta f_{pA} := \Delta f \cdot \left( 1 - \frac{x}{L_{pA}} \right)$   $\Delta f_{pA} = 903.9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$



- Pérdida por Acortamiento Elástico del Concreto

Número de vainas:  $N := N_v = 2$

$P_j := 0.8 \cdot P_o = 217.6 \text{ tonnef}$   $f_{cgp} := \frac{P_j}{A_v} + \frac{P_j \cdot e}{S_{bot}} - \frac{M_{pp}}{S_{bot}} = 69.54 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Pérdida por acortamiento elástico:  $\Delta f_{pES} := \frac{N-1}{2N} \cdot \frac{E_p}{E_{ci}} \cdot f_{cgp}$  (5.9.3.2.3b-1)  $\Delta f_{pES} = 136.06 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$



**PERDIDAS DEPENDIENTES DEL TIEMPO**

**Valoración aproximada de las pérdidas dependientes del tiempo (AASHTO.5.9.5.3)**

Pérdida aproximada por relajación del ducta (para torón de relajación):  $\Delta f_{pR} = 2.4 \text{ ksi} = 168$ .

Humedad relativa promedio anual de la ciudad de Dibuja (%):  $H_{rel} = 60$

Factor de corrección de la resistencia de la ducta en el instante de transferencia:  $\gamma_u = 1.1$

Factor de corrección de resistencia especificada en el instante de la transferencia:

$$\gamma_{st} = \frac{352 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}{\left(70.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + f_{ci}\right)} \quad (5.9.3.3-3) \quad \gamma_{st} = 1.004$$

**Cálculo de la pérdida dependientes del tiempo:**

$$\Delta f_{pLT} = 10 \cdot \frac{f_p \cdot A_p}{A_p} \cdot \gamma_n + 844 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot \gamma_n \cdot \gamma_{st} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{pR} \quad (5.3.5.3-1) \quad \Delta f_{pLT} = 1686.88$$

**Perdidas Totales:**  $\Delta f_{pT} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pLT} = 1686.88 + 168 = 1854.88 \frac{\text{tonnef}}{\text{cm}^2}$

Porcentaje de Perdidas:  $\Delta_{pT} = \frac{\Delta f_{pT}}{f_{pe}} \cdot 100\% = 0.26$

Perdidas Totales:  $\Delta_{pT} = 100\% = 0.26$

**DETERMINACION DE PRESFUERZO FINAL**

**Cálculo del Presfuerzo Final:**  $P_f := \text{Round}(P_o \cdot (1 + \Delta_{pT}), 1 \text{ tonnef}) \quad P_f = 342 \text{ tonnef}$

Diámetro del torón:  $d_{\text{toron}} := 15.2 \text{ mm}$       Área unitaria:  $A_u := 1.39 \text{ cm}^2$

Tensión de trabajo:  $f_{pi} := 0.7 \cdot f_{pu} = 13.29 \frac{\text{tonnef}}{\text{cm}^2} \quad (\text{Tabla } 5.9.2.2-1)$

Carga que soporta un torón:  $P_p := f_{pi} \cdot A_u = 18.47 \text{ tonnef}$

Número de torones:  $N_t := \text{ceil}\left(\frac{P_f}{P_p}\right) \quad N_t = 19$

Número de Vainas,  $N_v := \text{Ceil}\left(\frac{N_t}{10}, 1\right) = 2$

Área real de presfuerzo:  $A_{ps} := N_t \cdot A_u \quad A_{ps} = 26.41 \text{ cm}^2$

A partir del análisis estructural realizado, se plantea como medida de reforzamiento externo la instalación de dos vainas de postensado, cada una conformada por 10 torones de 15.2 mm de diámetro nominal, lo que corresponde a un total de 20 torones. Una vez ejecutado el tensado de la totalidad de los cables, se alcanzaría un esfuerzo efectivo aproximado de 342 tonf.

En cuanto al trazado de los tendones externos, se propone adoptar un esquema de tipo arpeado, caracterizado por la disposición de dos segmentos rectos que convergen en un desviador central. Este trazado constituye una solución de rehabilitación y reforzamiento con grandes ventajas en términos de constructibilidad, simplicidad geométrica y facilidad de replanteo en obra, y se compromete mínimamente el servicio del puente durante su ejecución.



Figura 18 Plano Puente reforzado con cables externos en vigas postensadas

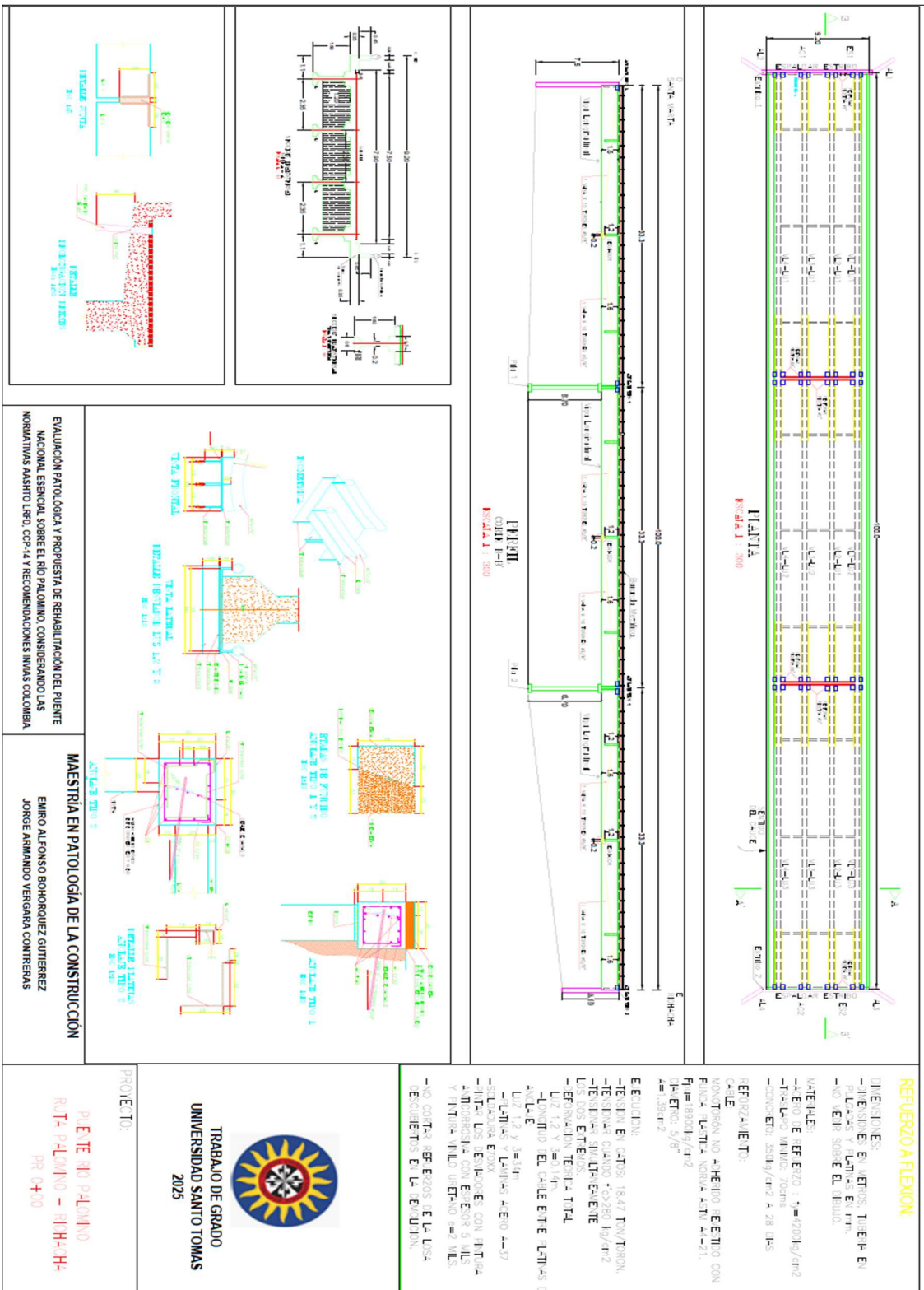




Figura 19 Detalles de Secciones ampliados

