

Estudio patológico para la identificación e intervención de lesiones en el Puente 16, calzada derecha, ubicado en la vía Bolombolo–Amaga, Pacífico 1

Presentado por:

Germán Andrés Guerrero Acosta
Paula Gabriela Gamboa Rodríguez

Asesor:

Ing. Osmar Albert Gamba Gómez

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Especialización en Patología de la Construcción
2025

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	3
Abstract	3
1. Historia Clínica.....	4
1.1. Localización:	4
Fuente, Alcaldía de Amagá (2024) – Amagá Enamora.	4
1.2. Descripción del proyecto	4
1.3. Diseño y especificaciones:	5
1.4. Historial de Incidentes y daños:	5
1.5. Inspección y evaluación del estado:.....	6
1.6. Condiciones del entorno:.....	7
2. Metodología	7
3. Análisis de Datos	8
4. Diagnóstico.....	10
5. Propuesta de Intervención	11
6. Análisis de Vulnerabilidad Sísmica	12
7. Cronograma.....	14
8. Presupuesto	15
9. Resultados	16
10. Bibliografía	20
Anexos	21

Resumen

Este estudio tiene como objetivo principal realizar un análisis patológico exhaustivo de la estructura del Puente 16, ubicado en la vía Pacífico 1 en Antioquia, con el fin de identificar, clasificar y evaluar las lesiones presentes, además de determinar sus causas y proponer estrategias de intervención para garantizar la seguridad y durabilidad de la estructura. La metodología utilizada incluyó una revisión documental detallada, inspección visual minuciosa, recopilación de datos técnicos, así como la realización de ensayos no destructivos, específicamente mediciones de la velocidad del pulso ultrasónico en el concreto, con el propósito de evaluar la calidad estructural y detectar posibles deterioros internos no evidentes a simple vista. Los resultados obtenidos evidenciaron lesiones tales como fisuras en los muros, fallas en las uniones de dovelas y deterioro en el tablero, asociados a procesos de oxidación y envejecimiento prematuro. Además, las mediciones ultrasónicas revelaron variaciones en la integridad del concreto, sugiriendo zonas potencialmente vulnerables. Debido a que la estructura se encuentra en una zona de alta amenaza sísmica, se llevó a cabo un análisis de vulnerabilidad sísmica, concluyendo que es imprescindible realizar intervenciones inmediatas para mitigar riesgos en caso de sismo, preservando la funcionalidad y estabilidad del puente. Se recomienda actuar con prontitud para evitar que las patologías existentes comprometan la estructura ante eventos sísmicos, garantizando así la seguridad de los usuarios y la protección de una infraestructura de gran importancia para la movilidad regional.

Palabras clave: patología en puentes voladizos sucesivos, inspección visual, vulnerabilidad sísmica, fisuras y grietas, reforzamiento y seguridad estructural, pacífico 1.

Abstract

This study aims to conduct a comprehensive pathological analysis of the structure of Bridge 16, located on the Pacific 1 highway in Antioquia, to identify, classify, and evaluate existing defects, determine their causes, and propose intervention strategies to ensure the safety and durability of the structure. The employed methodology included a detailed documentary review, thorough visual inspection, collection of technical data, and nondestructive testing, specifically ultrasonic pulse velocity measurements in the concrete, to assess structural quality and detect internal deteriorations not visible to the naked eye. Results revealed cracks in the walls, failures at the dovetail joints, and deterioration of the deck, associated with corrosion processes and premature aging. Ultrasonic measurements indicated variations in concrete integrity, suggesting vulnerable zones. Due to its location in a high seismic threat zone, a seismic vulnerability assessment was performed, highlighting the urgent need for interventions to mitigate risks and maintain the bridge's stability and functionality. Prompt action is recommended to prevent the existing damages from compromising the structure during seismic events, thus ensuring user safety and safeguarding this vital regional infrastructure.

Keywords: pathologies in continuous cantilever bridges, structural health monitoring, visual inspection, seismic vulnerability, cracks and fissures, strengthening and structural safety, Pacific 1.

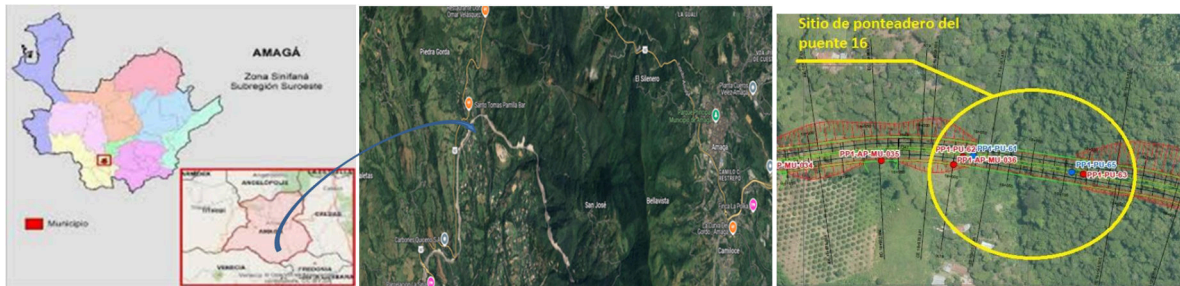
1. Historia Clínica

1.1. Localización:

En la figura 1, se indica la localización del puente 16, calzada derecha, que hace parte de la concesión pacifico 1, y se localiza en el departamento de Antioquia.

Figura 1

Localización puente 16 calzada derecha



Fuente, Alcaldía de Amagá (2024) – Amagá Enamora.

En la tabla 1, se especifica la georreferenciación de la estructura en estudio:

Tabla No. 1

Georreferenciación

Ubicación:	Km 19+043 ruta Bolombolo - Amaga
Municipio cercano:	Amaga, Antioquia
Coordenadas:	Norte 6° 02'12.3"/ Este 75°44'46"
Altitud.	1440 m.s.n.m.
Distancia a Medellín	40 km

1.2. Descripción del proyecto

El Puente 16 de la calzada derecha, integrante de la Unidad Funcional UF02 del proyecto Autopista Conexión Pacífico 1 en Antioquia, presenta una longitud total de 124.75 m con una luz principal de 90 m, soportada por una estructura de dos cajones empotrados, funcionales como contrapesos, con secciones variables entre 4.5 m en extremos y 2.0 m en el centro del vano. La superestructura consiste en una viga cajón de ancho 10.36 m, altura parabólica que fluctúa de 4.50 m en los apoyos a 2.00 m en el centro, con un sistema constructivo de voladizos sucesivos mediante dovelas de 3.50 y 4.50 m, y una dovela de cierre de 4.0 m en la luz central. La sección del tablero incorpora

bermas laterales de 0.50 m y 1.80 m, dos carriles de 3.65 m cada uno, y barreras de seguridad tipo New Jersey de 0.38 m de espesor y 0.83 m de altura

1.3. Diseño y especificaciones:

1.3.1 Normas empleadas en el diseño:

- Código Colombia de puentes 2014.
- AASHTO LRFD 2010

Material:

Concretos: En la tabla 2, se especifica los diferentes tipos de concretos utilizados para su construcción.

Tabla No. 2:

Tipos de concreto utilizados en su fabricación

Elemento		Resistencia (Mpa)	Edad (días)
Subestructura (Contrapeso)	Contrapeso apoyo 1	28	28
	Contrapeso apoyo 2	28	28
	Viga cabezal apoyo 1	28	28
	Viga cabezal apoyo 2	35	28
	Pilotes	28	28
	Otros	21	28
Superestructura	Vigas cajón	42	28
	Otros	21	28

Acero de refuerzo y Cables de preesfuerzo

- Acero de 420 Mpa, con E = 200.000 Mpa, cumpla ASTM A706.
- Acero de preesfuerzo, diámetro nominal de torón 15.24 mm, grado 270 y resistencia a la rotura de 260,7 KN, cumpla ASTM A416.

Planos de la estructura:

En el anexo 1, están consignados los planos principales del puente 16, CD.

1.4. Historial de Incidentes y daños:

Esta estructura ha presentado los siguientes incidente y daños desde la construcción hasta la actualidad, la ubicación y fechas de las afectaciones e intervenciones se pueden observar en el plano anexo 2. Además de estar resumida en la tabla No. 3

Tabla No. 3

Historial de Intervención

Año	Empresa	Tipo de Intervención
2021	Goipro y Pedelta Latam	Uso de cables auxiliares para evitar desplazamiento en la unión de dovelas durante la construcción.
2022	Proinvipacifico y Rehabtec	Pruebas de carga estáticas y dinámicas, resultados dentro de los límites permisibles.
2022	Proinvipacifico, SEC y Pedelta Latam	Reforzamiento estructural por fisuras en los muros de dovelas. Colocación de cables de 12 torones en cada cara de las dovelas.
2023	Proinvipacifico	Distensión de un cable en la fibra superior, fisuración en el anclaje de la zona de compresión.
2023	Pedelta Latam	Reforzamiento con fibra de carbono en el muro del contrapeso 1.
2023	Proinvipacifico y SEC	Sustitución del sistema de cables por uno nuevo de 19 torones, ajustado a las dovelas y al muro de contrapeso.
2024	Proinvipacifico y Rehabtec	Nuevas pruebas de carga estáticas y dinámicas, cumpliendo con las expectativas del diseño.
2024	Proinvipacifico	Seguimiento al proceso de fisuración en la estructura, con informes presentados al diseñador.
2025	Proinvipacifico, SEC y Pedelta Latam	Tensionamiento de cables de 12 torones debido a fisuras y grietas.
2025	Proinvipacifico y Sika Aplicaciones Especiales	Tratamiento de fisuras y grietas mediante la aplicación de resinas y monitoreo posterior.
2025	Covipacifico	Continuación del seguimiento al tratamiento realizado en la estructura.

1.5. Inspección y evaluación del estado:

El diagnóstico estructural del Puente 16 en la calzada derecha evidenció fisuras de orientación aproximadamente de 45°, ubicadas en los contrapesos y muros divisorios, con origen en zonas cercanas a las bases de soporte y extendiéndose hacia la cimentación profunda, incluyendo pilotes. Se observaron fisuras en las dovelas internas del contrapeso 2 y en los muros del contrapeso 1, presentando un patrón recurrente que sugiere posibles esfuerzos diferenciales o anomalías en propiedades mecánicas de los materiales. La presencia de mortero autonivelante en los niveles internos del contrapeso 2 limita la capacidad de inspección de dichas zonas. Se recomienda realizar un estudio diagnóstico detallado para identificar las causas de las fisuraciones y definir las acciones correctivas pertinentes, garantizando la integridad y la vida útil de la estructura. Ver anexo 4.

1.6. Condiciones del entorno:

El entorno que rodea la estructura se explica en la tabla No 4

Tabla No. 4

Condiciones del entorno

Condición	Valor/Descripción
Temperatura	25°C (Zona de transición entre Amagá y Bolombolo).
Velocidad del viento	5 km/h (Zona encañonada).
Tipo de ambiente	Clima cálido.
Cauces cercanos	Quebrada Sirifana.
Humedad relativa promedio	49%.
Movimiento de masas	Zona de deslizamiento, taludes estabilizados.
Taludes aledaños	Estabilizados con anclajes activos y pasivos, concreto lanzado.
Vegetación	Clima seco.
Insolación	10 horas promedio.
Pluviosidad	319 mm promedio anual.
Precipitaciones	29 días al mes.
Sismicidad	Alta (Según la clasificación del mapa de la NSR 10).
Tipo de relieve	Montañoso (Cordillera Occidental).
Contaminantes cercanos	Material particulado PM 2.5 y PM 10 (debido a la minería y cercanía con Medellín).
Tipo de obra	Rural.
Casas cercanas	500 m.
Fincas cercanas	1000 m.

2. Metodología

Para adelantar el estudio de patología se siguió el siguiente procedimiento, el que se consigna en la tabla No.5. En este se establece las diversas etapas que se siguieron durante el desarrollo del estudio patológico.

Tabla No. 5

Metodología aplicada al estudio de patología del puente 16.

Etapas	Descripción	Instrumentos utilizados	Resultados esperados
Recolección de información	Recopilación de datos históricos, planos, memorias de cálculo y estudios previos.	Documentos técnicos, planos, memorias, informes. Normas:	Base de datos completa y actualizada.

Etapa	Descripción	Instrumentos utilizados	Resultados esperados
		NTC 5290, NTC 3692, ANSI/ASCE 11-75, ISO 9001	
Inspección visual	Inspección minuciosa de la estructura.	Fichas de inspección, fotografías, niveles. Normas: ASTM E2651-18, ACI 437.2R-13, ISO 17636.	Registro de daños visibles y ubicación de fisuras, humedades, oxidación y otros daños.
Diagnóstico de lesiones	Identificación y clasificación de lesiones estructurales.	Ensayos no destructivos ISO 1920 -7-2018,(ultrasonido ASTM C597, esclerometría ASTM C805, potencial de corrosión ASTM C876), pruebas destructivas (extracción de testigos ASTM C42/42M, NTC 1845. Evaluación de cloruros ASTM C1152/C1152M).	Identificación precisa de daños.
Monitoreo a largo plazo	Seguimiento de la evolución de las patologías.	Sensores de deformación, extensómetros. Normas: ASTM E2270, ISO 14688.	Registro histórico de cambios en las patologías.
Propuesta de intervención	Diseño de soluciones para reparar y reforzar la estructura.	Análisis de materiales y procedimientos de reparación. Normas: ACI 546, EN 1504. ANSI/ACE 75-11, ISO 16204	Plan de reparación y mantenimiento.
Evaluación de seguridad sísmica	Evaluación estructural y sísmica tras pruebas de carga.	Software de análisis estructural. Normas: AASHTO LRFD, NTC 5290, NTC 3692, ISO 2394	Evaluar la solución estructural y determinar vulnerabilidad sísmica.

3. Análisis de Datos

En puente en estudio presenta una serie de afectaciones y su análisis y resultados obtenidos a partir de este se explican en la tabla No 6

Tabla No. 6

Aspecto analizado

Aspecto analizado	Datos recopilados	Métodos de análisis	Resultados del análisis
Estado de la estructura	Fisuras en muros de dovelas, contrapesos y tablero superior.	Inspección visual NTC 5770, medición de fisuras ACI 224R/ACI 224.1R, eflorescencias ASTM C856 y sales ASTM C1218	Fisuras longitudinales y transversales de <0.2 mm a >1 mm, con algunas fisuras peligrosas (>0.3 mm). Eflorescencias indican procesos de alcalinidad desplazada y carbonatación.
Condiciones ambientales	Humedad, infiltración de agua, temperaturas extremas.	Análisis de sales solubles, pruebas de permeabilidad. ASTM C1260, NTC 4049, ACI 222R-01	La humedad acelera el deterioro del concreto y favorece la oxidación del acero. Las sales solubles contribuyen a la corrosión.
Variaciones térmicas y ciclos de temperatura	Datos de expansión y contracción térmica en las dovelas.	Monitoreo de temperatura y deformación. EN 1991-1-5/ACI 209	Fisuras por expansión y contracción térmica con ciclos de 10-15 al año. Generación de fisuras por esfuerzo térmico.
Patologías estructurales	Fisuras visibles y oxidación en vigas, columnas y dovelas.	Ensayos no destructivos (ultrasonido ASTM E488, esclerometría NTC 3692), pruebas destructivas; tracción en probetas ASTM C496, propagación de grieta ASTM C39/C78. Oxidación: Resonancia magnética ASTM E2005, corriente continua ASTM G16	Fisuras por contracción, deformaciones térmicas y cargas excesivas. Baja oxidación en zonas expuestas.
Monitoreo de deflexiones	Medición de deflexiones en la estructura.	Sensores de deformación, análisis comparativos con normas. AASHTO – LRFD- CCP 14	Deflexiones dentro de los límites permisibles, pero con algunas anomalías que indican concentración de esfuerzos locales.
Propiedades materiales y modelación estructural	Resistencia del concreto, características de los materiales.	Software estructural (Bridge, Robot Structural), análisis de permeabilidad. CCP 14. Eurocódigo 2, ASHTO -LRFD	Cumplimiento de las especificaciones de materiales, pero con reducción de seguridad si

Aspecto analizado	Datos recopilados	Métodos de análisis	Resultados del análisis
			no se realiza mantenimiento.

4. Diagnóstico

En la tabla No. 7 se describe el diagnostico que se construye a través de los hallazgos y de los resultados de los ensayos realizados al paciente en estudio. Ver anexo 5.

Tabla No. 7

Diagnóstico

Aspecto analizado	Descripción	Hallazgos	Recomendaciones
Estado de la estructura	Inspección visual de fisuras en las juntas entre dovelas, muros de contrapeso y la losa superior.	Fisuras en juntas de dovelas (0.92 mm), fisuras en la losa inferior del contrapeso 1.	Intervención con inyección de epóxicos de baja viscosidad (ASTM C881) y seguimiento. Donde se utilice fibra de carbono ACI 440.2R y CCP 14 sec. 10
Condiciones ambientales	Evaluación de la influencia de la humedad y agua en las estructuras.	Infiltraciones y eflorescencias en grietas de dovelas.	Inyección de resinas epóxicas de ultra baja viscosidad (ASTM C881) y recubrimientos de protección (ACI 515.1R y NTC 5824)
Variaciones térmicas	Análisis de fisuras por variación térmica en la losa superior.	Fisuras irregulares en la cara inferior del tablero debido a variaciones térmicas y sobrecargas.	Limpieza e inyección de epóxicos y refuerzo con fibra de carbono (ACI 440.2R y CCP 14 sec. 10).
Patologías estructurales	Inspección de fisuras y oxidación en vigas, columnas y dovelas.	Fisuras en dovelas y muros a 45 grados.	Reparación mediante inyección de epóxicos de baja viscosidad basado en la ACI 546R y sellado de fisuras con epóxicos de ultrabaja viscosidad (ASTM 881) con poliuretano donde hay descascaramiento (ACI 515R).
Monitoreo de deflexiones	Seguimiento de deflexiones y evolución	Deflexiones dentro de límites permisibles (L/800),	Instalación de cables auxiliares (ACI 423.7/318) y prueba de carga

Aspecto analizado	Descripción	Hallazgos	Recomendaciones
	de fisuras en carga dinámica.	pero algunas anomalías en el contrapeso.	dinámica (ASTM E2586 – CCP 14 cap. 14.).
Propiedades materiales	Evaluación de las propiedades del concreto y otros materiales.	Concreto cumple con las especificaciones, pero presenta fisuras que afectan su capacidad.	Revisión continua de la estructura con ensayos destructivos y no destructivos (ACI 224.1R, ACI 437R, ASTM C42, ASTM C805, ASTM 823 – CCP 14).

5. Propuesta de Intervención

En la tabla No. 8 se presenta la propuesta de intervención de acuerdo con los hallazgos y resultados obtenidos del estudio patológico del puente 16. Realizando una breve descripción de los aspectos más relevantes que se deben ejecutar para restituir o rehabilitar la estructura.

Tabla No. 8

Propuesta de Intervención

Área/componente	Propuesta de intervención	Objetivo
Losa superior o tablero de puente (unión entre dovelas)	Retiro de la carpeta asfáltica, limpieza del área afectada e inyección con epóxicos de baja viscosidad (ASTM C881). Monitoreo de la evolución.	Restaurar la unión entre dovelas y evitar daños mayores, como carbonatación o afectación al postensado.
Losa superior (cara inferior del contrapeso)	Limpieza con aire a presión, caracterización de fisuras (ACI 224R-01 e inyección con resinas epóxicas de baja viscosidad (ASTM C881).	Restaurar la continuidad estructural y evitar la infiltración de agentes agresivos (agua, CO ₂ , cloruros).
Muros del contrapeso	Localización y clasificación de fisuras, inyección de resinas epóxicas y refuerzo con mallas de fibra de carbono (ACI 440.2R-17).	Aumentar la resistencia estructural y prevenir fisuraciones adicionales.

Área/componente	Propuesta de intervención	Objetivo
Muros de las dovelas y del contrapeso (no tratado con FRCCM)	Localización de fisuras, limpieza y perforación para inyección con epóxicos de baja viscosidad (ASTM C881- 224.1R).	Restaurar la integridad estructural y prevenir la corrosión del refuerzo, mejorando la durabilidad.

6. Análisis de Vulnerabilidad Sísmica

En la tabla No. 9 se presenta un análisis sucinto sobre la sismicidad en la región, características de la zona donde está localizada la obra, y aspectos relevantes del paciente en estudio:

Tabla No. 9

Análisis de Vulnerabilidad

Ubicación	Departamento: Antioquia. Municipio: Amagá. Localidad: Sector la Siria, Vía Bolombolo – Amaga, tramo 6.
Descripción geológica	Cimentación sobre afloramiento de Diorita de Pueblito. Estratigrafía: Saprolito (0-5 m), transición suelo-roca (5-14 m), roca moderadamente meteorizada (14-49 m).
Histórico de sismos	95 terremotos en promedio por año en la zona. Al menos 3 sismos de magnitud >5 desde 1970, con frecuencia cada 15-20 años.
Vecinos colindantes	Conjunto vacacional La Siria.
Sistema constructivo	Voladizos sucesivos – Viga segmentada postensada.
Materiales	Concreto (28-42 MPa), Acero (420 MPa), Acero postensado (260.7 KN).
Cimentación	Contrapeso soportado por pilotes de 25 m de longitud y 2 m de diámetro.
Sistema estructural	Voladizos sucesivos contrapesados con cimentación profunda.

Se realiza un análisis de vulnerabilidad sísmica a través de matriz de vulnerabilidad o por calificación cualitativa el cual está en la tabla No.10. Encontrando que es necesario intervenir las lesiones como grietas, fisuras de manera inmediata porque puede llegar a comprometerse la estructura.

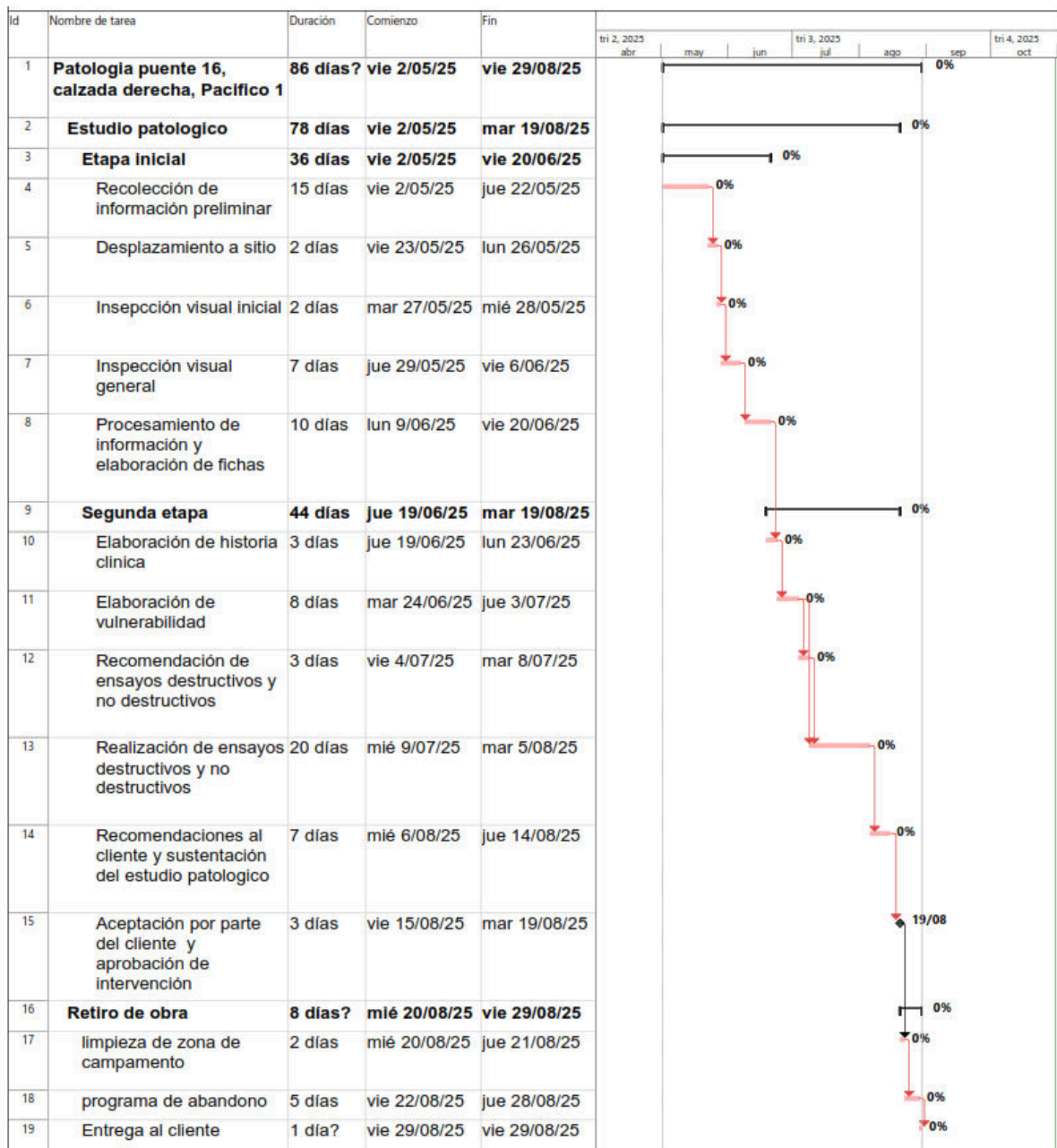
Tabla No. 10
Análisis de Vulnerabilidad cualitativa

1. Factores estructurales			
Criterio	Evaluación (Alta/Media/Baja)	Normativa de referencia	Observaciones
Configuración en Planta	Baja	CCP 14, sección 3 (Cargas y factores) y sección 2 (Características del diseño)	Puente simétrico
Sistema resistente	Alta	CCP14, Sección 3 (Cargas y factores), Sección 5 (Estructuras de concreto)	Voladizos Sucesivos
Detalles Sismorresistente	Alta	CCP14, Capítulo 4 (Análisis y evaluación de cargas - Sismorresistente), Sec. 10 (Cimentación), Sec 14.6.3	Cimentación con cajones auto fundantes y pilotes
Daños preexistentes	Alta	CCP14, capítulo 13 (sistemas estructurales y análisis) y capítulo 15 (criterios de diseño y detalles de concreto)	Grietas unión de dovelas
	Alta		Grietas en muro Contrapeso
	Alta		Grietas en muros de dovelas
	Alta		Fisuras en inferior tablero contrapeso
2. Factores no estructurales			
Elementos no estructurales	Media	CCP14 sección 3 y 13.7.2. sección 8	Fisuras en algunos sectores de las barreras de tráfico
3. Cimentación y suelo			
Tipo de cimentación	Baja	CCP14 sección10	Caisson
	Baja	CCP14 sección10	Contrapesos primera altura
4. Clasificación Global de vulnerabilidad			
Índice de Vulnerabilidad	Rango		Acciones Recomendadas
Alta	Estructuralmente deficiente		Reforzamiento con referencia CCP14 Inyección y reparación de las fisuras, y grietas ACI 224.1R
Media	Requiere Mejoras		Evaluación detallada CCP 14
Baja	Cumple normativas		Monitoreo periódico

7. Cronograma

La figura No. 2, resume el cronograma del estudio patológico. Donde se aborda las etapas del estudio patológico.

Figura No.2:
Cronograma



8. Presupuesto

Para la realización del estudio se requiere el siguiente presupuesto. El que esta resumido en la figura No 3. Siendo el alcance de este presupuesto el estudio patológico, no incluye intervención.

Figura 3:
Presupuesto

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor parcial (COP)
1. PLANIFICACIÓN Y EVALUACIÓN PREVIA					\$ 9,600,000
1.1	Estudio preliminar y revisión de archivos (planos, memorias de cálculo, informes de construcción).	Global	1	\$ 6,000,000.00	\$ 6,000,000
1.2	Visita técnica de inspección preliminar.	Global	1	\$ 3,600,000.00	\$ 3,600,000
2. ENSAYOS Y ANÁLISIS NO DESTRUCTIVOS (END)					\$ 73,022,500
2.1	Detección de corrosión (Medición de potenciales) según ASTM C876.	m ²	260	\$ 14,375.00	\$ 3,737,500
2.2	Ensayo de solubilidad de sales en superficies.	und	20	\$ 1,417,500.00	\$ 28,350,000
2.2	Prueba de velocidad de pulso ultrasónico (ASTM C597).	Puntos	100	\$ 172,500.00	\$ 17,250,000
2.3	Ensayo de martillo de rebote (esclerómetro) (ASTM C805).	Puntos	200	\$ 46,000.00	\$ 9,200,000
2.4	Inspección con radar de penetración terrestre (GPR).	m ²	130	\$ 34,500.00	\$ 4,485,000
2.5	Detección de vacíos en vainas o ductos de postensado. ASTM C1383	Global	1	\$ 10,000,000.00	\$ 10,000,000
3. ENSAYOS Y ANÁLISIS DESTRUCTIVOS					\$ 39,590,770
3.1	Extracción de núcleos de concreto (ASTM C42).	Unidad	10	\$ 625,000.00	\$ 6,250,000
3.2	Ensayo de compresión en núcleos (ASTM C39).	Unidad	10	\$ 187,500.00	\$ 1,875,000
3.3	Ensayo de carbonatación (fenolftaleína).	Puntos	10	\$ 250,000.00	\$ 2,500,000
3.4	Ensayo de propaación de la grieta (ASTM E399)	Unidad	10	\$ 800,000.00	\$ 8,000,000
3.5	Ensayo de tracción en probeta de concreto (NTC 722)	Unidad	10	\$ 34,077.00	\$ 340,770
3.6	Ensayo de analisis petrografico (ASTM C856)	Unidad	10	\$ 1,000,000.00	\$ 10,000,000
3.7	Ensayo de cloruros (ASTM C1218).	Muestra	5	\$ 1,000,000.00	\$ 5,000,000
3.8	Ensayo de permeabilidad (ASTM C1202).	Muestra	5	\$ 1,125,000.00	\$ 5,625,000
4. PROFESIONALES					\$ 57,533,333
5.1	Ingeniero especialista en patología y estructural (director del proyecto).	Horas	120	\$ 187,500.00	\$ 22,500,000
5.2	Ingeniero de apoyo y especialista en END.	Horas	160	\$ 112,500.00	\$ 18,000,000
5.3	Comisión de topografía para monitoreo	Día	8	\$ 566,666.67	\$ 4,533,333
5.4	Técnico especialista en toma de muestras y ensayos.	Horas	200	\$ 62,500.00	\$ 12,500,000
6. SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO (SST)					\$ 17,025,000
6.1	Profesional especialista en SST (SISO), coordinador de trabajo en alturas (Resolución 4272 de 2021).	Mes	1	\$ 6,250,000.00	\$ 6,250,000
6.2	Permisos de trabajo en alturas y señalización de seguridad.	Global	1	\$ 2,025,000.00	\$ 2,025,000
6.3	Alquiler de andamio certificado colgante (estimado 1 mes).	Global	1	\$ 5,000,000.00	\$ 5,000,000
6.4	Suministro de equipos de protección personal (arnés, eslingas, cascos, etc.).	Global	1	\$ 3,750,000.00	\$ 3,750,000
7. DESPLAZAMIENTO Y LOGÍSTICA					\$ 15,000,000
7.1	Transporte y viáticos (vehículo, combustible, peajes, alojamiento, alimentación).	Global	1	15000000	\$ 15,000,000
8. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS					\$ 26,450,000
8.1	Análisis de resultados y elaboración de informe patológico.	Global	1	\$ 17,250,000.00	\$ 17,250,000
8.2	Elaboración de propuesta de intervención (El alcance no incluye intervención por parte del Patologo a los hallazgo del estudio)	Global	1	\$ 9,200,000.00	\$ 9,200,000
SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS					\$ 238,221,603
ADMINISTRACIÓN (A)				15%	\$ 35,733,241
IMPREVISTOS (I)				5%	\$ 11,911,080
UTILIDAD (U)				10%	\$ 23,822,160
TOTAL GENERAL ESTIMADO					\$ 309,688,084

9. Resultados

9.1 Evaluación del estado de la estructura

La evaluación del estado estructural del puente se fundamentó en la identificación precisa y detallada de las lesiones y patologías encontradas en los diferentes elementos estructurales, las cuales se encuentran consignadas en la Tabla No 6. Este resultado se logró a partir de inspecciones visuales detalladas, ensayos no destructivos y destructivos, monitoreo de las fisuras y grietas existentes y finalmente prueba de carga realizada por el concesionario y análisis técnico. Durante la revisión se identificó diversas afectaciones en la superestructura (Tablero y Dovelas) e infraestructura (Contrapeso).

En particular, en el tablero superior que es el encargado de recibir la superficie de rodadura, y por donde circulan los vehículos, se encontró una serie de grietas, en la unión de las dovelas o juntas de la viga cajón seccionada. Esta junta, tienen su origen en el proceso constructivo, ya que un voladizo se construye por etapas y cada sección tiene una diferencia de tiempo constructivo entre 5 a 7 días. En dichas juntas se encontró dilataciones debido a deflexiones superiores a las calculadas por el diseñador, y al existir estas separaciones se estaba propiciando la infiltración de agua y acumulación de eflorescencias, estalactitas y sales en la parte inferior del tablero de las dovelas (Ver Tabla No 7). Un fenómeno de estos sugiere que existe un proceso de degradación del concreto, que puede dar inicio a procesos de oxidación que con el tiempo pueden comprometer la integridad del acero de refuerzo y preesfuerzo interno si no son tratados y solucionados de manera oportuna y técnica.

Las mayores afectaciones incluyen fisuras y grietas en los muros de las dovelas, con una inclinación aproximada de 45° extendiéndose desde el voladizo (parte alta) hasta el contrapeso (parte baja) (Ver Tabla No 7 y Anexo 4). Este deterioro se atribuye a tensiones por deflexiones superiores a las calculadas, variaciones térmicas, procesos de retracción y fluencia del concreto, activación de esfuerzos no previstos y posibles sobrecargas por el movimiento del carro de avance durante la construcción. Estructuralmente, estas fisuras continuas y paralelas reducen la capacidad portante local, aumentan la vulnerabilidad a cargas dinámicas, junto con las sísmicas y afectan la integridad monolítica, provocando mayores deformaciones y un comportamiento no esperado en servicio. Las evaluaciones dinámicas (analizadas por Pedelta) confirmaron la necesidad de un seguimiento continuo y un tratamiento inmediato para controlar la progresión y evitar efectos adversos en la durabilidad. Otro conjunto de afectaciones se detectó en los muros del contrapeso 1 (Ver Anexo 4), incluyendo fisuras importantes en los muros y en la parte inferior del tablero superior. Los daños en el tablero superior son causados por el pretensado longitudinal que tienen su origen en la falta de espesores de placa y recubrimientos inadecuados y por esfuerzos concentrados no previstos que generan tracciones. Por otro lado, las lesiones observadas en los muros del contrapeso tienen su origen en problemas de estabilidad del suelo, lo que explica la inclinación de las fisuras que se desarrollan desde la zona no soportada en pilotes, tienen su inicio en la zona alta hacia la zona más rígida soportada en pilotes en la parte inferior. La evaluación determinó que estas lesiones comprometen la estabilidad y rigidez local del contrapeso, aumentando el riesgo de movilización excesiva ante cargas operativas y sísmicas. Ante esto, el

concesionario ejecutó una estabilización en la parte inferior con anclajes pasivos de 12 m y varillas autoperforantes de R32 dwg, además de un reforzamiento estructural con cables adicionales para restringir la fisuración y mejorar la capacidad de carga y rigidez. Como complemento a lo encontrado se decidió realizar ensayos de laboratorio al concreto como son: Ultrasonido, Esclerometría y Compresión de núcleos, con el fin de comparar los resultados obtenidos en el ensayo con las resistencias de diseño encontrando que están los concretos dentro de lo especificado con el diseño, excepto los resultados del concreto de 42 Mpa, cuando se los evalúa por resistencia a la compresión de núcleo y por esclerometría. (Ver Anexo 6)

La rehabilitación y reforzamiento que es necesario en la estructura basado en el diagnóstico. (Ver Tabla No. 7). Requiere que se haga con un enfoque integral, donde contemple el proceso constructivo, se tenga en cuenta el análisis de los materiales empleados y determinados dentro de este estudio, considerar la influencia del medio ambiente, y revisar con la normatividad aplicable en la actualidad del CCP 14, permitiendo establecer el diagnóstico integral y determinar la criticidad de las patologías.

9.2 Impacto de las condiciones ambientales:

El puente experimenta una disminución en su durabilidad y afecta su comportamiento estructural debido a las condiciones ambientales (Ver Tabla No. 4). La infiltración de agua en las juntas entre dovelas facilita la carbonatación y la oxidación (corrosión) del acero de refuerzo y pretensado, procesos que deben corregirse para evitar un mayor deterioro. Las acumulaciones de sales y eflorescencias internas (Ver Tabla No 7) confirman la presencia de agentes agresivos que aceleran la degradación química y física de los materiales. La contaminación atmosférica proveniente de zonas aledañas a Medellín llega a la obra y, al encontrar grietas y fisuras, intensifica el deterioro del concreto, lo que subraya la importancia de las intervenciones inmediatas ya iniciadas por el concesionario. El puente está sometido a alta humedad relativa, lo que favorece la penetración de iones cloruros y dióxido de carbono, acelerando la corrosión. Las fisuras actúan como conductos para la entrada de estos agentes, dañando la matriz cementicia y comprometiendo la protección pasiva del acero. Además, las variaciones y esfuerzos térmicos generan tensiones adicionales, especialmente en las juntas de dovelas. Finalmente, la exposición a cargas dinámicas del tránsito vehicular pesado y la fuerza de frenado puede incrementar la fatiga de los materiales, derivando en un deterioro funcional si las fisuras y grietas no se atienden.

9.3 Patologías Estructurales detectadas:

Se ha realizado un análisis exhaustivo de los mecanismos de falla y patologías observadas en el puente, clasificándolas en los siguientes grupos:

9.3.1 Fisuras y grietas:

La patología principal detectada corresponde a fisuración distribuida en muros, tabiques del contrapeso y tablero superior, con características de fisuras abiertas y grietas en evolución. La distribución y evolución de las fisuras, nos demuestran que existen procesos de retracción por secado, tensiones térmicas y una serie de movimientos estructurales localizados no considerados durante el diseño. La aparición de fisuras en el tablero ha disminuido con el tiempo, pero se ha detectado un aumento en los muros tanto del contrapeso 1 como en las dovelas, esto se fundamenta una movilidad diferencial por efectos de las cargas. (Ver Anexo 4, Anexo 3 y Tabla No 7)

9.3.2 Corrosión de armaduras:

La medición del potencial de corrosión y pruebas de carbonatación revelaron un deterioro en la protección contra la oxidación y posterior corrosión, especialmente en zonas expuestas a humedad y fisuración. Pese a que no existe aún procesos de corrosión, estos pueden surgir si no se interviene el agente generador de dicha lesión. (Ver Tabla No 7)

9.3.3 Desprendimiento y degradación superficial del concreto:

En ciertas zonas se alcanza a observar desprendimiento superficial o exfoliación como resultados del proceso erosivo. Con el tiempo puede derivar en exposición de armaduras y disminución de durabilidad. (Ver Tabla No 7)

9.4 Deficiencia en uniones de dovelas:

Las juntas de las dovelas presentan fisuras y debilitamientos que podrían originar problemas de transferencia de cargas y afectar la rigidez global del puente, por tal razón en el análisis de Vulnerabilidad cualitativa, en el sistema resistente se considera la evaluación alta. Esto está consignado en la Tabla No 10. Llevando a considerar estas patologías como críticas, porque comprometen el comportamiento funcional de las dovelas como elementos de la estructura.

9.5 Evaluación de riesgo sísmico:

El análisis del riesgo sísmico se realizó de acuerdo a las normas vigentes, incluyendo la NSR 10, AASHTO 14 y la Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14). La respuesta estructural ante cargas sísmicas fue evaluada mediante inspección visual y pruebas dinámicas, con resultados que indican deflexiones y deformaciones dentro de los parámetros aceptables según los diseños estructurales. Pero si hay que tener en cuenta las lesiones existentes, en especial grietas y fisuras en elementos críticos, disminuyen la ductilidad y resistencia global, incrementando la vulnerabilidad durante un evento sísmico. De ahí se deriva la importancia de realizar un monitoreo permanente para detectar cualquier evolución dañina y verificar la tensión y disposición de los elementos pretensados, pues esto son

fundamental para mitigar mecanismos de fallo diferido asociados a deformaciones por fluencia y retracción, un aspecto crucial en estructuras construidas por dovelas sucesivas. (Ver Tabla No. 10)

9.6 Intervenciones propuestas:

Para mitigar las patologías diagnosticadas y salvaguardar la funcionalidad y seguridad del puente, se han planteado intervenciones técnicas progresivas y específicas que consideran la naturaleza y gravedad de los daños.

9.6.1 Reparación y sellado de fisuras

Se propone la aplicación de inyecciones con resinas epóxicas en fisuras activas y sellado superficial en fisuras menores, para evitar el ingreso de agentes agresivos y consolidar el concreto afectado. Este procedimiento está especificado conforme a la normativa internacional y técnicas avanzadas. Entre estas son: NSR10, ASTM C881 y ACI 503R. (Ver Tabla No. 8 y Anexo 6)

9.6.2 Refuerzo estructural localizado

En zonas con debilitamiento significativo, como uniones de dovelas y muros con fisuración amplia, se recomienda el refuerzo con fibra de carbono u otros materiales compuestos que aporten rigidez y resistencia adicional, sin incrementar significativamente el peso estructural. Fundamentando estas intervenciones en las normas: NSR10, ACI 440. (Ver Tabla No. 8 y Anexo 2)

9.6.3 Protección anticorrosiva

Aplicación de recubrimientos protectores, inhibidores de corrosión y tratamientos superficiales para disminuir la penetración de elementos agresores y prolongar la vida útil del concreto y armaduras expuestas. Basado en las normas NTC 2050 y ASTM A775. (Ver Tabla No 8)

9.7 Resultados esperados a partir de las intervenciones:

Los objetivos fundamentales de las intervenciones estructurales son: Restablecer la integridad estructural del puente mediante la reparación efectiva de fisuras y grietas, frenando la progresión de la oxidación y degradación del concreto. Se busca mejorar la resistencia y rigidez del sistema, minimizando las deformaciones diferidas y optimizando el comportamiento del puente ante cargas estáticas, dinámicas y sísmicas. Otro objetivo clave es aumentar la durabilidad de la estructura al proteger los elementos de refuerzo contra agentes agresivos, lo cual se logra con el sellado técnico y adecuado de las fisuras. Finalmente, las intervenciones buscan brindar seguridad y funcionalidad a la estructura durante su vida útil, previniendo la aparición de daños irreversibles, y facilitar las intervenciones oportunas ante cualquier evolución de las patologías identificadas.

9.8 Seguimiento a las intervenciones planteadas:

implementar un programa de seguimiento integral enfocado en mantener la durabilidad y el comportamiento estructural del puente. Este programa debe incluir: inspecciones visuales y técnicas periódicas (con una frecuencia no menor a tres meses iniciales) para evaluar las reparaciones y detectar nuevas afectaciones, deflexiones o fisuras. Se recomienda la utilización de instrumentación para el monitoreo en tiempo real de parámetros estructurales críticos, como deformaciones, desplazamientos y tensiones del pretensado, permitiendo tomar decisiones basadas en datos precisos. Además, es esencial realizar un análisis comparativo periódico de los resultados actuales frente a los parámetros de diseño y rehabilitación, para identificar desviaciones y aplicar medidas correctivas oportunas. Finalmente, se debe asegurar la actualización continua de los criterios técnicos y normativos aplicados, y la capacitación del personal de mantenimiento y supervisión para garantizar la correcta ejecución de los protocolos de control y reparación, evitando intervenciones inadecuadas

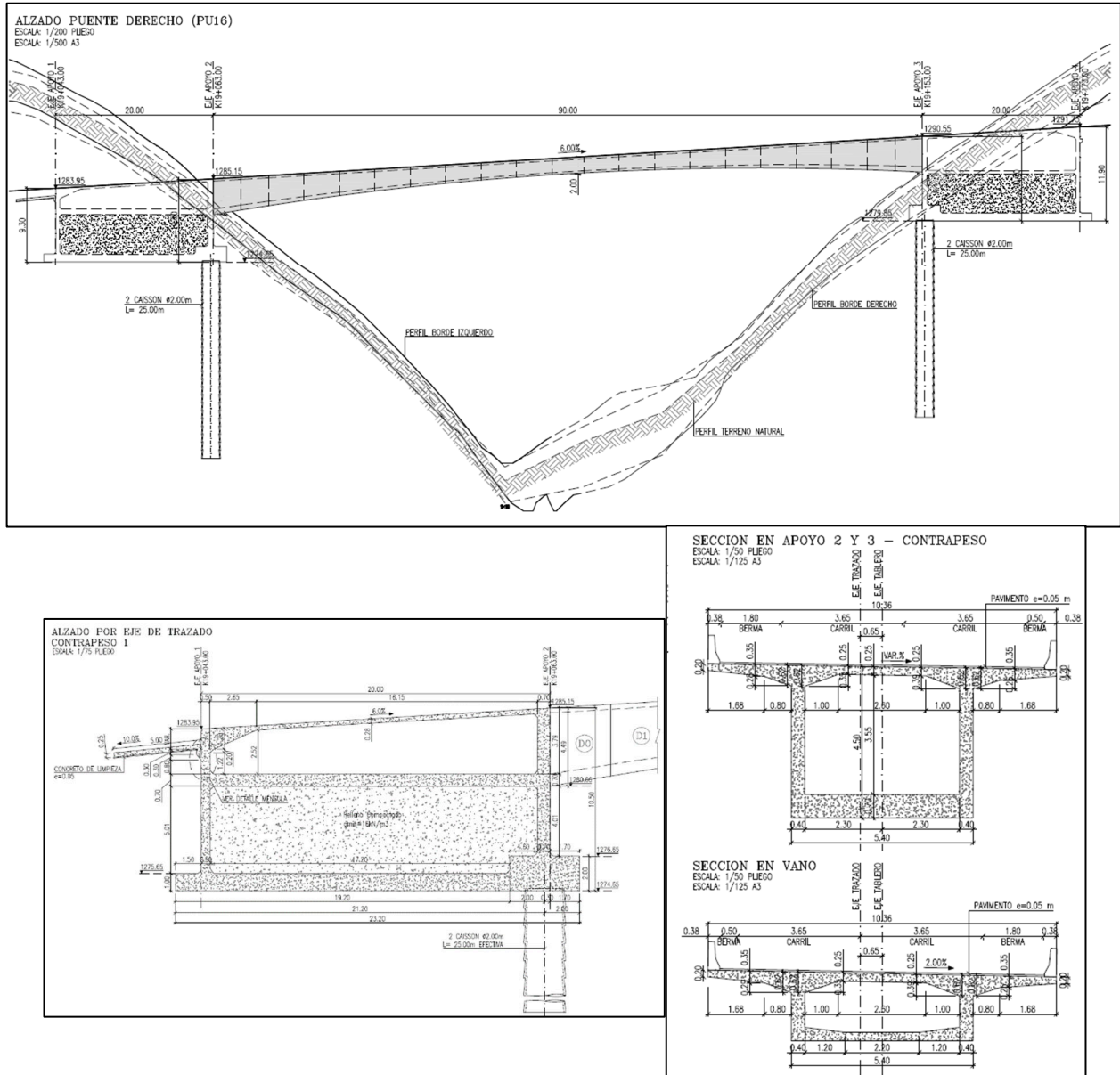
10. Bibliografía

- ASTM, (2013). ASTM C881 Standard Specification for Epoxy-Resin Base Bonding Systems for Concrete
- Comité E706 de ACI, (2002). Reparación de grietas Estructurales por inyección de Resinas Epóxicas.
- Concesionaria Vial del Pacifico, (2018). Autopista Conexión Pacifico 1 – Unidad funcional 2. Volumen VII. Estudio y Diseños de estructuras.
- El Comité ACI 224R-01, (2001). Control de la fisuración en Estructuras de Hormigón ACI 224R-01.
- Comité E706 de ACI, (2002). Reparación de grietas Estructurales por inyección de Resinas Epóxicas
- Galvis, G. Villafañe, C (2019). Deformaciones por efectos diferidos en puentes viga – cajones contruidos por el método de voladizos sucesivos fundidos in situ. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.
- Gerbaudo, J. (2022). Evaluación de los efectos de las deformaciones diferidas en puentes de hormigón contruidos por voladizos sucesivos. Ingroup.
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP), (2014). Norma Colombiana de Diseño de Puentes. Invías .
- Quispe, Katherine. (2018). Aplicación de técnicas sostenibles de reparación de la fisuración del concreto armado en edificaciones. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Sika, (2010). Especificación ET 103, Reparación de fisuras en concreto mediante inyección a presión epóxica estructural y no estructural con recipiente presurizado
- Sotomayor, Cristian, (2020). Entendiendo las fisuras y grietas en las estructuras de concreto.
- Volcano Discovery (2025). Estadísticas de sismos: Municipio de Amagá, Antioquia Colombia. <https://www.volcanodiscovery.com/es/sismos/colombia/antioquia/amaga/stats.html>

Anexos

Anexo 1

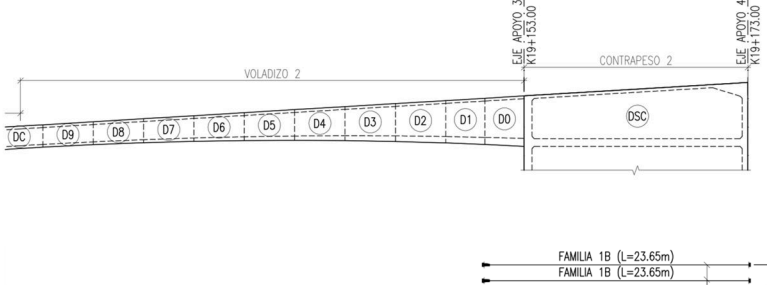
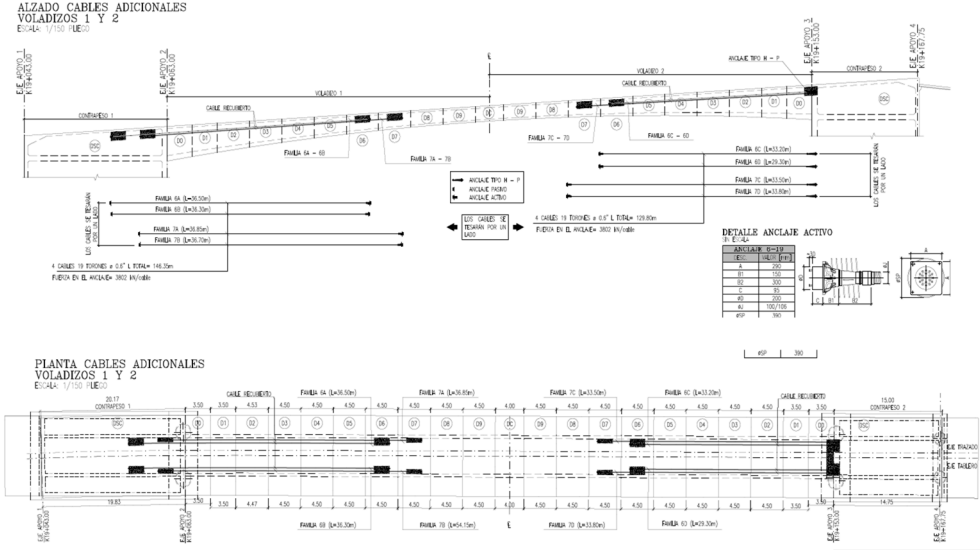
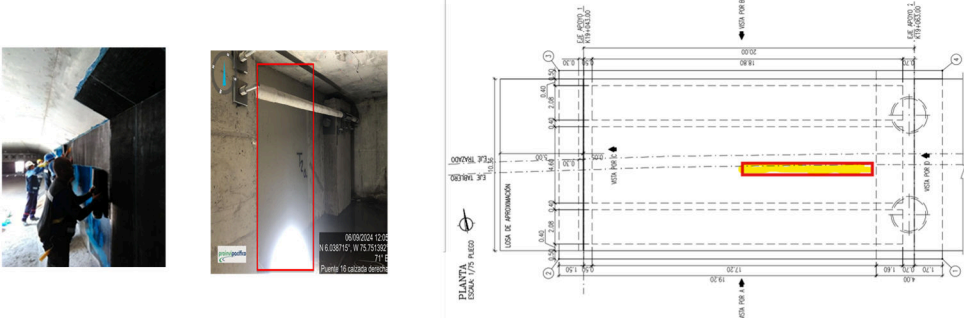
Planos principales del puente 16, Calzada Derecha.



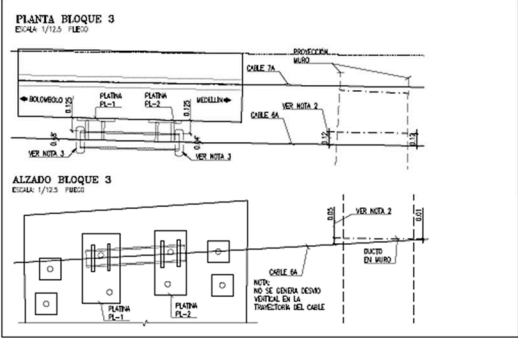
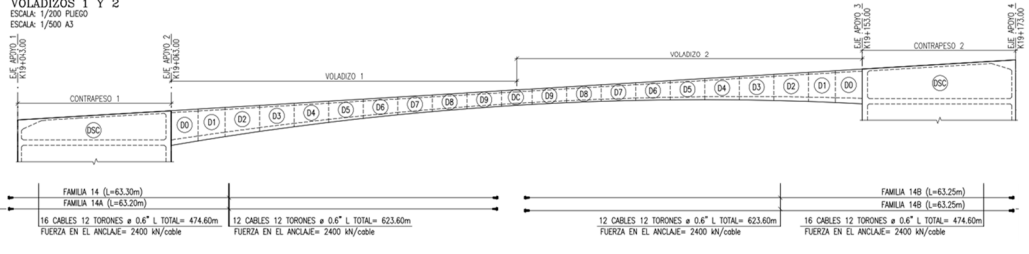
Fuente: Imágenes tomadas de planos estructurales Autopista Conexión Pacifico 1

Anexo 2

Intervenciones realizadas durante y al finalizar la obra

Fecha de intervención	Ubicación
<p>2021. Tensionamiento de cables auxiliares Contrapeso 2</p>	
<p>2022. Reforzamiento de puente</p>	
<p>2023 Instalación de fibra de carbono</p>	







Nota: Tabla creada por los autores, a partir imágenes de planos: Autopista Conexión Pacífico 1








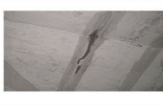
Fecha de intervención	Ubicación																																			
<p>2023 Nuevo sistema de reforzamiento, se destensiona el instalado en el 2022</p>																																				
<p>Tensionamiento de los ductos auxiliares desde las dovelas 5 - fibra inferior</p>	 <table border="1" data-bbox="365 1039 1388 1102"> <thead> <tr> <th>FAMILIA</th> <th>LONGITUD (L)</th> <th>CABLES</th> <th>TORONES</th> <th>DIAMETRO (d)</th> <th>LONGITUD TOTAL</th> <th>FUERZA EN EL ANCLAJE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FAMILIA 14</td> <td>63.30m</td> <td>16</td> <td>12</td> <td>0.6"</td> <td>474.60m</td> <td>2400 kN/cable</td> </tr> <tr> <td>FAMILIA 14A</td> <td>63.20m</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>0.6"</td> <td>623.60m</td> <td>2400 kN/cable</td> </tr> <tr> <td>FAMILIA 14B</td> <td>63.25m</td> <td>12</td> <td>12</td> <td>0.6"</td> <td>623.60m</td> <td>2400 kN/cable</td> </tr> <tr> <td>FAMILIA 14B</td> <td>63.25m</td> <td>16</td> <td>12</td> <td>0.6"</td> <td>474.60m</td> <td>2400 kN/cable</td> </tr> </tbody> </table>	FAMILIA	LONGITUD (L)	CABLES	TORONES	DIAMETRO (d)	LONGITUD TOTAL	FUERZA EN EL ANCLAJE	FAMILIA 14	63.30m	16	12	0.6"	474.60m	2400 kN/cable	FAMILIA 14A	63.20m	12	12	0.6"	623.60m	2400 kN/cable	FAMILIA 14B	63.25m	12	12	0.6"	623.60m	2400 kN/cable	FAMILIA 14B	63.25m	16	12	0.6"	474.60m	2400 kN/cable
FAMILIA	LONGITUD (L)	CABLES	TORONES	DIAMETRO (d)	LONGITUD TOTAL	FUERZA EN EL ANCLAJE																														
FAMILIA 14	63.30m	16	12	0.6"	474.60m	2400 kN/cable																														
FAMILIA 14A	63.20m	12	12	0.6"	623.60m	2400 kN/cable																														
FAMILIA 14B	63.25m	12	12	0.6"	623.60m	2400 kN/cable																														
FAMILIA 14B	63.25m	16	12	0.6"	474.60m	2400 kN/cable																														

Nota: Tabla creada por los autores, a partir imágenes de planos: Autopista Conexión Pacífico 1

Anexo 4

Imágenes de las lesiones y afectaciones encontradas

Registro en campo de lesiones encontradas	
Muro interno contrapeso	Muro interno contrapeso
	
Comentario: Fisura a 45° presente en todos los muros del contrapeso, con la tipología de inclinación a 45° la parte alta hacia el inicio del contrapeso y la parte baja hacia los pilotes	Comentario: Fisura a 45° presente en todos los muros del contrapeso, con la tipología de inclinación a 45° la parte alta hacia el inicio del contrapeso y la parte baja hacia los pilotes
	
Comentario: Fisura a 45° presente en todos los muros del contrapeso, con la tipología de inclinación a 45° la parte alta hacia el inicio del contrapeso y la parte baja hacia los pilotes	Comentario: Fisura a 45° presente en todos los muros del contrapeso, con la tipología de inclinación a 45° la parte alta hacia el inicio del contrapeso y la parte baja hacia los pilotes. En la parte externa presenta la misma tipología
	
Comentario: Fisura en la parte inferior del tablero superior del contrapeso	Comentario: Fisura en la parte inferior del tablero superior del contrapeso, ya está afectado por humedad, del exterior

Registro en campo de lesiones encontradas	
fisuras /grietas en la zona de juntas	fisuras /grietas en la zona de juntas
	
Comentario: Voladizo 1, empalme D4-D5, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva	Comentario: Voladizo 1, empalme D4-D5, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva
	
Comentario: Voladizo 1, empalme D5-D6, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva	Comentario: Voladizo 1, empalme D5-D6, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva
	
Comentario: Voladizo 1, empalme D6-D7, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva	Comentario: Voladizo 1, empalme D6-D7, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva
	
Comentario: Voladizo 1, empalme D6-D7, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva	Comentario: Voladizo 1, empalme D6-D7, presenta filtraciones y humedad, se ejecuto mal la junta constructiva

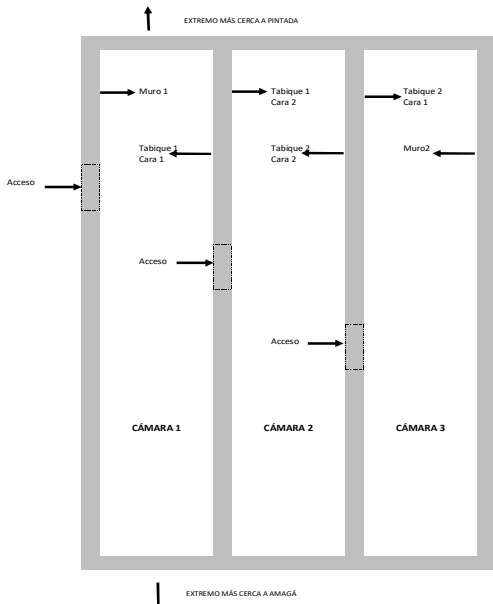
Registro en campo de lesiones encontradas	
Muro interno dovelas	Muro interno dovelas
	
Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 2 izquierda vol 2	Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 4 derecha vol 2
	
Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 2 derecha vol 1	Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 5 derecha vol 2
	
Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 4 izquierda vol 1	Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 8 izquierda vol 2
	
Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 6 izquierda vol 2	Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 9 izquierda vol 1

Registro en campo de lesiones encontradas	
Muro interno dovelas	Muro interno dovelas
	
Comentario: Fisura a 45° presente en dovela 3 izquierda voladizo 2, a 60°	Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 5 derecha vol 2
	
Comentario: Fisura a 45°, esta es la dovela 7 izquierda vol 1	Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 8 derecha vol 2
	
Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 4 izquierda vol 2	Comentario: Fisura a 60°, esta es la dovela 9 izquierda vol 1
	
Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 3 derecha vol 2	Comentario: Fisura a 45° presente en casi todas las dovelas, esta es la dovela 5 izquierda vol 1

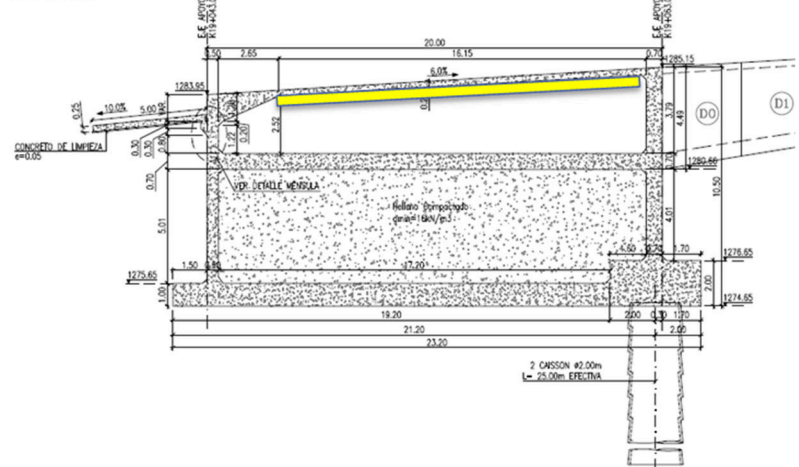
Anexo 5:

Ubicación de las lesiones y su longitud en Contrapesos y dovelas

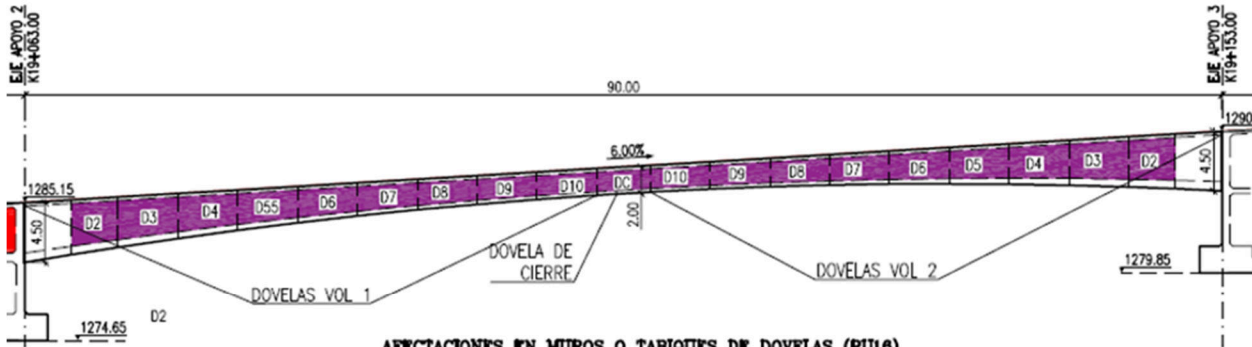
ESTRUCTURA DEL CONTRAPESO																								
Área	Estructura	Fibra No.	Ancho (mm)	Longitud (cm)	Área	Estructura	Fibra No.	Ancho (mm)	Longitud (cm)	Área	Estructura	Fibra No.	Ancho (mm)	Longitud (cm)	Área	Estructura	Fibra No.	Ancho (mm)	Longitud (cm)					
Cámara 1	Muro 1	1	0.75	87	Cámara 2	Tabique 1- Cara 2	1	1.20	297	Cámara 3	Cara 1	1	1.20	97	Cámara 1	Losa superior- cara inferior tablero	-	-	-	Cámara 3	Losa superior- cara inferior tablero	1	0.60	146
		2	1.20	164			2	0.95	111			2	0.75	215			2	0.55	160					
		3	0.95	98			3	0.55	120			3	1.40	200			3	1.60	161					
		4	0.70	98			4	0.70	243			4	1.10	197			4	0.75	197					
		5	0.60	67			5	0.55	55			5	1.60	320			5	1.80	80					
		6	0.55	165			6	0.70	179			6	1.00	226			6	1.60	158					
		7	1.30	85			7	0.70	221			7	1.20	364			7	1.00	222					
		8	0.65	129			8	0.55	121			8	1.20	251			8	0.55	232					
		9	0.80	201			9	0.50	136			9	0.95	79			9	0.75	126					
		10	0.60	88			10	0.70	75			10	0.55	223			10	0.65	116					
		11	0.85	289			11	0.55	143			11	0.95	47			11	1.60	162					
		12	0.90	237			12	0.70	186			12	1.40	268			12	0.55	226					
		13	1.00	115			13	0.85	173			13	0.70	67			13	1.60	131					
		14	0.70	231			14	0.80	94			14	0.80	42			14	1.10	63					
		15	1.00	300			15	0.85	224			15	0.60	51			15	1.50	44					
		16	1.40	133			16	0.70	259			16	0.65	164			16	1.40	247					
		17	0.90	126			17	0.65	275			17	0.80	383			17	0.40	238					
Cámara 1	Tabique 1- Cara 1	1	1.10	136	Cámara 2	Tabique 3- Cara 2	1	0.60	233	Cámara 1	Losa superior- cara inferior tablero	1	0.55	76	Cámara 3	Losa superior- cara inferior tablero	18	1.60	156					
		2	0.95	191			2	0.70	223			2	1.00	258			18	0.65	39					
		3	0.90	152			3	0.85	181			3	1.50	359			19	1.40	206					
		4	0.65	214			4	0.95	103			4	1.10	91			20	0.70	297					
		5	0.70	233			5	1.10	114			5	1.10	275			21	1.40	247					
		6	0.70	242			6	0.90	196			6	1.20	275			22	0.70	112					
		7	0.65	214			7	1.10	89			7	0.50	237			23	0.55	246					
		8	0.70	184			8	0.80	118			8	0.70	92			24	0.60	239					
		9	0.65	107			9	1.00	226			9	0.85	208			10	0.55	386					
		10	0.70	148			10	0.85	208			10	0.50	247			11	0.70	328					
		11	0.80	73			11	0.65	181			11	0.50	258			12	0.65	242					
		12	0.50	101			12	1.10	95			12	0.55	179			13	0.70	328					
		13	0.65	182			13	1.10	236			13	0.30	121			14	0.60	426					
		14	0.80	53			14	0.60	123			14	0.55	211			15	0.55	246					
		15	0.80	284			15	0.80	351			15	0.60	212			16	0.60	239					
		16	0.90	259			16	0.95	278								17	0.70	328					
		17	0.75	844			17	0.65	183								18	0.60	238					
18	0.60	123	18	1.00	188				19	0.55	164													
19	0.55	251	19	0.80	220				20	0.65	168													
20	1.20	881	20	0.60	40				21	0.65	43													
21	0.90	321	21	1.10	92				22	1.10	173													
22	1.80	39	22	1.10	88				23	1.80	119													
23	0.75	101	23	0.75	57				24	0.90	133													
			24	1.00	132				25	0.70	123													
			25	0.80	128				26	0.68	160													



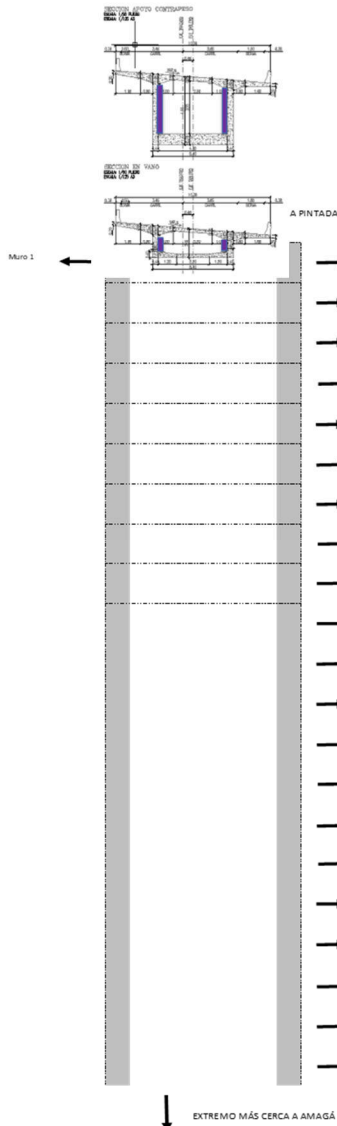
ALZADO POR EJE DE TRAZADO
CONTRAPESO 1
ESCALA: 1/75 PLECO



Afectaciones en dovelas



AFECCIONES EN MUROS O TABIQUES DE DOVELAS (PU16)



ESTRUCTURA INTERNA DEL PUENTE									
Área	Dovela	Figura No.	Ancho (mm)	Longitud (cm)	Área	Dovela	Figura No.	Ancho (mm)	Longitud (cm)
Muro 1 Voladizo 1	2 y 3	2	1.20	133	Muro 2 Voladizo 1	2 y 3	1	0.65	220
	2 y 3	3	0.75	303		3	2	0.75	275
	3	4	0.70	128		3	3	1.20	234
	3	5	0.55	189		3	4	1.10	191
	3	6	0.55	97		3 y 4	5	0.85	211
	3	7	0.85	147		3	6	0.65	126
	3	8	0.65	194		4	7	0.80	167
	3 y 4	9	0.55	243		4	8	0.70	224
	3 y 4	10	0.75	222		4	9	0.80	96
	3 y 4	11	0.55	163		4 y 5	10	0.90	274
4	12	0.60	88	4	11	1.40	60		
4	13	0.80	153	4 y 5	12	1.40	303		
4	14	0.80	227	5	13	0.65	131		
4	15	0.90	267	5	15	0.75	220		
4 y 5	16	0.70	146	5 y 6	16	1.30	110		
4	17	0.75	111	5 y 6	17	0.85	355		
4 y 5	18	0.60	181	6	18	0.65	29		
4	19	1.00	79	6	19	0.60	50		
5	20	0.80	16	6	20	0.75	145		
5	21	0.70	199	6	21	1.40	110		
5	22	1.00	100	6	22	0.95	60		
5	23	0.95	223	6	23	0.60	98		
5	24	0.90	154	6 y 7	24	0.55	110		
5	25	0.55	105	6	25	0.75	26		
5 y 6	26	0.70	160	6 y 7	26	1.30	152		
5 y 6	27	0.65	107	7	27	1.10	26		
5 y 6	28	0.70	158	7	28	0.95	51		
6	29	0.95	202	7	29	0.90	161		
6	30	0.55	237	7	30	0.55	39		
6	31	0.85	201	7	31	0.65	30		
6	32	0.60	170	7	32	0.65	113		
6	33	0.75	130	7 y 8	33	0.95	145		
6	34	1.10	180	8	34	0.80	71		
6 y 7	35	0.55	145	8	35	0.75	75		
6 y 7	36	0.95	156	9	36	0.70	118		
7	37	0.90	140	10	37	1.00	93		
7	38	0.75	40	10	38	0.55	97		
7	39	0.75	52	Central	39	0.55	120		
7	40	0.70	169	Central	40	0.65	68		
7	41	0.70	168	10	41	0.75	210		
7	39	0.95	48	10	42	0.95	146		
8	42	1.20	105	9	43	0.80	215		
9	78	1.00	115	8	44	0.70	195		
10	43	0.70	109	8	45	0.65	60		
Central	44	0.55	215	8	47	0.95	51		
10	45	0.55	202	7	48	0.75	136		
9	46	1.00	105	7	49	1.20	89		
9	47	0.55	60	7	50	1.10	91		
9	48	1.00	90	7	51	0.95	69		
9	49	0.60	115	7 y 8	52	0.80	220		
8	50	0.95	65	6	53	0.75	110		
7	51	0.85	75	6	54	0.60	109		
6 y 7	52	0.60	31	6	55	0.55	75		
6	53	0.60	105	6	56	0.85	97		
6	54	0.70	203	6	57	0.65	198		
6	55	1.10	160	6	58	1.10	286		
6	56	0.95	161	6	59	1.30	78		
6	57	1.20	173	6	60	0.55	265		
5 y 6	58	0.95	201	6	61	0.65	210		
5 y 6	59	1.00	173	5	62	1.20	85		
6	60	0.70	23	5	63	0.85	80		
5	61	0.60	294	5	64	0.75	110		
5	62	1.20	230	5	65	0.95	95		
5	63	1.60	37	5	66	0.90	120		
5	64	0.55	0	5	67	0.55	79		
4	65	0.55	37	5	68	0.65	164		
4	66	0.70	107	5	69	0.65	29		
4	67	0.55	148	5	70	0.65	130		
4	68	1.00	73	5	71	0.75	68		
4	69	0.90	101	5	72	1.20	120		
4	70	0.85	182	5	73	0.75	111		
4	71	0.55	53	5	74	0.65	152		
4	72	0.55	284	5	75	0.70	101		
3	73	0.95	249	5	76	0.70	61		
3	74	0.75	344	4	77	0.55	128		
3	75	0.80	123	4	78	0.85	190		
3	76	1.20	251	4	79	0.90	238		
2	77	0.75	381	3	80	1.10	155		
				3	81	1.20	180		
				3	82	0.95	195		
				3	83	1.00	183		
				3	84	1.20	144		

Anexo 6

Resultados de los ensayos realizados por la empresa ConcreServicios SAS

Nota: El tipo de forma de falla en el ensayo del núcleo es bajo la norma ACTM C39

TABLA DE RESULTADOS

Ensayo	Dato referencia	Dato obtenido	Observación
Medición de potencial de corrosión	0.44 V	0.35 V	Puede entender que a este acero le costó bastantetrabajo alcanzar el equilibrio por lo que puede que el potencial llegase a ser menor delregistrado. Además de ello, se observa que el menor voltaje, se puede deber a la composicióndel acero habiendo materiales de menor conductividad
Ultrasonido	28 Mpa	36.36	la resistencia cumple la de diseño
Esclerometría	28Mpa	31.90	la resistencia cumple la de diseño
Compresión de núcleo	28 Mpa	32.43	la resistencia cumple la de diseño
Ultrasonido	42 Mpa	44.43	la resistencia cumple la de diseño
Esclerometría	42 Mpa	40.56	la resistencia NO cumple la de diseño
Compresión de núcleo	42 Mpa	40.94	la resistencia NO cumple la de diseño

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA PARA 28 MPA CONTRAPESO 1

Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Fecha de Toma	Edad de ensayo	Fecha de Retiro	Numero de Rebotes - Esclerometro										Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Correlación (Polinómica) (MPa)	
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
M28	01	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	32.0	31.5	28.5	32.0	30.5	32.0	31.0	32.5	33.3	3.01	3.21	M28	01	Concreto convencional	28	32.20			
M28	01	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	28.5	29.5	29.0	31.0	30.0	32.0	31.0	31.5	29.0	29.5	3.01	1.20	3.96	M28	01	Concreto convencional	28	32.28	
M28	01	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	30.0	31.5	30.5	31.5	30.0	31.5	29.5	30.0	30.0	30.5	3.05	0.75	2.44	M28	01	Concreto convencional	28	32.26	
M28	02	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	33.0	36.5	35.0	31.5	33.0	34.0	33.0	33.5	33.0	3.32	1.87	5.64	M28	02	Concreto convencional	28	31.95		
M28	02	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	32.0	33.0	33.5	34.5	31.5	32.0	34.0	31.0	33.5	3.26	1.26	3.80	M28	02	Concreto convencional	28	32.05		
M28	02	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	35.5	34.0	30.5	31.0	32.5	33.5	34.0	35.0	30.0	32.5	3.29	1.89	5.74	M28	02	Concreto convencional	28	32.01	
M28	03	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	33.5	36.0	32.5	36.5	34.5	36.0	30.5	32.5	33.0	34.0	3.81	1.90	5.50	M28	03	Concreto convencional	28	31.78	
M28	03	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	35.0	32.0	35.0	35.5	36.0	36.0	36.0	31.5	36.0	34.7	1.69	4.86	M28	03	Concreto convencional	28	31.64		
M28	03	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	34.0	35.0	36.5	36.5	34.0	34.0	37.0	36.0	32.0	33.0	34.9	1.65	4.74	M28	03	Concreto convencional	28	31.61	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	32.5	35.5	32.0	35.0	34.0	34.0	34.5	37.5	36.0	35.0	33.0	34.6	1.71	4.94	M28	04	Concreto convencional	28	31.88
M28	04	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	36.5	33.0	33.5	34.5	32.0	36.0	36.5	33.0	33.5	34.0	34.3	1.59	4.63	M28	04	Concreto convencional	28	31.75	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-02-16	56	2022-09-10	35.5	34.0	35.0	33.0	36.5	37.0	34.5	35.0	36.0	32.0	34.9	1.55	4.44	M28	04	Concreto convencional	28	31.61	

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE NUCLEO DE CONCRETO 28 MPA CONTRAPESO

Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Fecha de Toma	Edad de ensayo	Fecha de Retiro	Resistencia a la compresión							Forma de Falla
							Diámetro Prom (mm)	Altura/Long. Prom (mm)	Área (cm²)	Carga Máx (kN)	Resistencia (MPa)	% Evolución		
M28	01	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.24	204.32	7891.20	260.12	32.96	117.73	4	
M28	01	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.43	205.90	7922.20	255.58	32.29	115.22	4	
M28	01	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.44	200.89	7923.77	260.52	32.88	117.42	5	
M28	02	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.26	202.25	7891.40	244.17	30.91	110.45	5	
M28	02	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	102.24	202.83	8209.78	248.86	30.29	108.17	5	
M28	02	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	101.71	203.42	8124.88	251.91	31.00	110.73	4	
M28	03	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	102.14	204.03	8193.73	265.51	32.53	116.16	4	
M28	03	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.08	203.72	7867.08	256.13	32.56	116.28	4	
M28	03	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.37	204.96	7912.21	262.53	33.18	118.90	4	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.24	204.54	7891.73	261.97	33.20	118.56	5	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.17	203.80	7880.71	256.00	32.48	116.02	5	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	100.43	204.81	7921.67	259.05	32.70	116.79	4	

ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA PARA 28 MPA CONTRAPESO 1

Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Fecha de Toma	Edad de ensayo	Fecha de Retiro	Numero de Rebotes - Esclerometro										Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación (%)	Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Correlación (Polinómica) (MPa)
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
M28	01	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	41.0	42.0	39.0	38.5	36.5	40.5	41.5	41.5	40.0	2.10	5.20	M28	01	Concreto convencional	28	41.62		
M28	01	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	38.5	39.0	39.0	38.5	38.8	38.0	40.0	38.0	3.39	3.65	M28	01	Concreto convencional	28	39.68			
M28	01	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	38.5	39.0	41.5	40.0	39.5	37.5	40.0	41.5	38.5	3.80	3.93	1.29	3.27	M28	01	Concreto convencional	28	40.94
M28	02	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	39.5	39.0	40.0	41.5	39.5	40.5	41.5	41.5	39.5	1.17	2.84	M28	02	Concreto convencional	28	41.54		
M28	02	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	0.04	5.14	M28	02	Concreto convencional	28	41.30		
M28	02	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	37.5	40.5	36.5	37.5	44.0	37.0	39.0	37.5	39.0	38.0	2.20	5.69	M28	02	Concreto convencional	28	40.12	
M28	03	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	36.0	36.0	37.5	38.0	38.5	35.5	40.0	39.0	40.5	36.0	1.65	4.32	M28	03	Concreto convencional	28	39.78	
M28	03	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	40.0	41.0	38.0	37.5	36.5	38.0	42.0	36.0	37.0	38.0	3.85	2.07	5.39	M28	03	Concreto convencional	28	39.90
M28	03	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	39.5	40.5	38.5	39.0	41.0	41.0	41.5	36.0	40.0	39.6	1.64	4.15	M28	03	Concreto convencional	28	41.01	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	42.0	36.5	37.0	37.0	38.5	40.5	37.5	38.5	38.0	3.64	2.11	5.68	M28	04	Concreto convencional	28	39.86	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	36.0	42.0	41.5	38.0	41.0	39.5	41.0	41.5	38.0	3.90	1.98	4.97	M28	04	Concreto convencional	28	41.30	
M28	04	Concreto convencional	28	2025-03-16	56	2022-09-10	38.0	37.5	39.0	40.0	38.5	37.0	36.0	36.5	38.0	40.0	3.81	1.36	3.58	M28	04	Concreto convencional	28	39.69



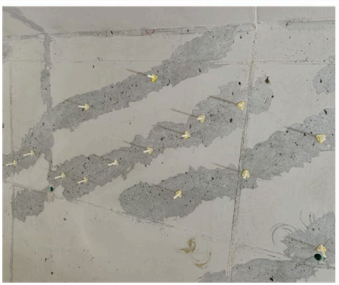


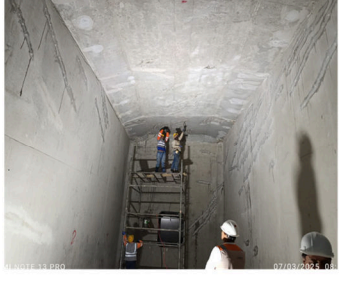


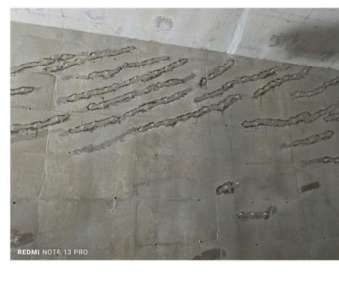
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE NUCLEO DE CONCRETO 42 MPA DOVELAS

Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Fecha de Toma	Edad de ensayo	Fecha de Retiro	Resistencia a la compresión							Forma de Falla
							Diámetro Prom (mm)	Altura/Long. Prom (mm)	Área (cm²)	Carga Máx (kN)	Resistencia (MPa)	% Evolución		
M42	01	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	102.76	204.85	8293.50	324.40	39.11	111.76	4	
M42	01	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	102.11	204.11	8188.38	322.29	39.36	112.46	4	
M42	01	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	102.35	204.71	8227.99	324.69	39.46	112.75	4	
M42	02	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	102.48	202.91	8248.37	326.35	40.78	116.51	5	
M42	02	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.55	203.36	7940.61	331.42	41.74	119.25	5	
M42	02	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.48	204.23	7929.03	333.15	42.02	120.05	5	
M42	03	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.22	204.34	7888.05	321.87	40.80	116.58	4	
M42	03	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.55	204.37	7940.61	323.70	40.77	116.47	4	
M42	03	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.70	205.12	7963.79	324.62	40.76	116.46	5	
M42	04	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.31	203.96	7902.75	303.44	38.40	109.71	5	
M42	04	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.62	204.19	7951.67	298.82	37.58	107.37	5	
M42	04	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	100.52	201.05	7936.40	300.25	37.83	108.09	4	

RESISTENCIA DEL CONCRETO DE DOVELAS DE ACUERDO A ULTRASONIDO

Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Fecha de Toma	Edad de ensayo	Fecha de Retiro	Velocidad de onda P (m/s)							Código	N° Muestra	Tipo de concreto	Resistencia Nominal (MPa)	Velocidad de onda P (m/s)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Módulo de Elasticidad (ksi)	Resistencia Calculada (MPa)		
							1	2	3	4	5	6	7									8	9
M42	01	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	0.1038	0.205	0.668	0.00170	21482	515	3971.8	M42	01	Concreto convencional	42	21482	515	3971.8	0.2	30274	42.2
M42	01	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	0.1021	0.204	0.581	0.00167	21058	518	3840.3	M42	01	Concreto convencional	42	21058	518	3840.3	0.2	29729	40.1
M42	01	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	0.1025	0.205	0.602	0.00166	21383	513	3903.4	M42	01	Concreto convencional	42	21383	513	3903.4	0.2	30671	42.5
M42	02	Concreto convencional	42	2022-07-30	56	2022-09-24	0.1025																

Anexo 7
Intervenciones

Intervención de reparación por inyección de fisuras y grietas		
		
foto 1: Rerpación de grietas en muros dovelas	foto 2: Reparación de grietas en dovelas	foto 3: Instalación de boquillas de inyección en muros dovelas
		
foto 4: Instalación de boquillas de inyección en tablero superior de dovelas	foto 5: Inyección de grietas en tablero superior de dovelas	foto 6: Reparaciones en tablero superior de dovela central
		
foto 7: Vista de grieta sellada	foto 8: vista de grieta sellada en muros	foto 9: Vista de grieta sellada en muros