

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL COMPORTAMIENTO EN
CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO EN LA AV.
DE LA CULTURA, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN - CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. XIMENA AMANCA MEZA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Ing. DANNY TEÓFILO NIETO PALOMINO

CUSCO - PERÚ

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL COMPORTAMIENTO EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL
PUENTE CACHIMAYO EN LA AV. DE LA CULTURA, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN
- CUSCO

presentado por: XIMENA AMANCA MEZA con DNI Nro.: 73039568
para optar el título profesional de: INGENIERO CIVIL

.....
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 06 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 04 de abril de 2025



.....
Firma

Post firma: Ing. Danny Teofilo Nieto Palomino

Nro. de DNI 23807977

ORCID del Asesor: 0000-0001-6791-2053

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: <trn:oid::27259:445802695>

<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:445802695?locale=es-MX>

XIMENA AMANCA MEZA

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL COMPORTAMIENTO EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO EN L...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:445802695

Fecha de entrega

4 abr 2025, 11:54 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 abr 2025, 12:13 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

BORRADOR 2025 ABRIL05.pdf

Tamaño de archivo

14.0 MB

227 Páginas

54.380 Palabras

270.270 Caracteres

6% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 12 words)

Exclusions

- 28 Excluded Matches

Top Sources

- 5%  Internet sources
- 0%  Publications
- 3%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

2 Integrity Flags for Review

-  **Replaced Characters**
36 suspect characters on 17 pages
Letters are swapped with similar characters from another alphabet.
-  **Hidden Text**
633 suspect characters on 7 pages
Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

A mi familia.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil.

A mis amigos y todas aquellas personas que están y alegran mi vida.

RESUMEN

La evaluación estructural por medio del uso de la Guía de Inspección de Puentes (GIP) del Ministerio de transportes y Telecomunicaciones (MTC) y de un modelado numérico con propiedades de los materiales obtenidas por ensayos no destructivos, permite conocer el estado actual de un puente, evaluar la capacidad de carga y seguridad estructural. En esta investigación se utilizó la GIP para conocer el estado del Puente Cachimayo, identificar daños o deterioros que pudieran afectar la durabilidad de esta estructura vial y la seguridad de los usuarios, así como programar acciones necesarias para prolongar su vida útil y tomar decisiones sobre estos daños como mantenimiento, refuerzo o posible reemplazo.

Tras una inspección visual y básica global del Puente Cachimayo se llevó a cabo una inspección especial de la superestructura, registrándose los daños, así como también se empleó un equipo electrónico de medición desarrollado y calibrado en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil, para determinar los esfuerzos y deformaciones in-situ bajo la losa, que incluía galgas extensométricas. Estas galgas se colocaron en el punto medio de la losa donde se esperamos obtener los mayores esfuerzos y deformaciones debido al intenso tráfico actual según el estudio de tráfico realizado ($TPD=41\ 960$), especialmente de carga pesada que ha aumentado con el crecimiento urbano de la ciudad de Cusco.

Se desarrolló un modelo numérico utilizando la geometría actual del puente y las propiedades de los materiales encontradas mediante ensayos no destructivos. Este modelo simuló la configuración y el peso bruto de los vehículos que actualmente circulan por el puente. Los esfuerzos y deformaciones calculados en el modelo numérico se compararon con las mediciones in-situ obtenidas con las galgas extensiométricas permitiendo conocer con mayor detalle la condición de la superestructura, y su capacidad de soportar cargas actuales y futuras.

Como resultado de esta investigación se determinó que actualmente la condición del puente Cachimayo de acuerdo a la metodología de la GIP es deficiente ($CP=3$) y presenta deterioro en la superestructura en cuanto a la durabilidad y que de no realizarse intervención alguna podría afectar la funcionalidad de este elemento. El principal daño identificado es la infiltración manifestada a través de eflorescencias generalizadas en todos los componentes; la falta de tratamiento de estas eflorescencias puede derivar en corrosión de la armadura, pérdida de sección y consecuentemente una disminución de la capacidad de carga del puente.

Así mismo se proponen acciones que se deben realizar para el mantenimiento de cada componente del puente enfocado en la reparación de los daños existentes y prevención de su propagación. El objetivo es prolongar la vida útil del Puente Cachimayo y restaurar el estado inicial de serviciabilidad y funcionalidad. Para priorizar las intervenciones se elaboró una matriz de riesgo que evaluó la vulnerabilidad de cada componente considerando el nivel de riesgo o grado de daño según la GIP.

Respecto a los esfuerzos y deformaciones se tiene que los esfuerzos medidos in-situ con el equipo electrónico representaron del 52% al 84% de los esfuerzos máximos calculados mediante el modelo estructural para la carga más pesada que cruzaba el puente al momento de las lecturas; así mismo, la deformación máxima calculada mediante el modelo estructural que produce la carga más pesada que actualmente circula por el puente Cachimayo es de 3,5 mm y se encuentran al 30% de las deformación máxima sugerida por el Manual de puentes del MTC que es de 11,52 mm .

Estos resultados sugieren que el puente presenta un comportamiento estructural adecuado bajo las cargas vehiculares actuales y posee una capacidad de reserva considerable antes de alcanzar el límite de deflexión admisible.

Palabras clave: puente losa, evaluación estructural, inspección, durabilidad, mantenimiento.

ABSTRACT

The structural evaluation of bridges using the Bridge Inspection Guide (GIP) from the Ministry of Transport and Communications (MTC), complemented by numerical modeling based on material properties obtained through non-destructive testing, enables a comprehensive assessment of a bridge's current condition, load-bearing capacity, and structural safety.

This study applied the GIP methodology to assess the condition of the Cachimayo Bridge, identifying damages or deterioration that could compromise the structure's durability and the safety of its users. The goal was to support decision-making related to maintenance, reinforcement, or eventual replacement by proposing actions to extend the bridge's service life.

After a visual and general inspection, a special inspection of the superstructure was carried out, recording observed damages. Additionally, in-situ stresses and deformations under the slab were measured using an electronic device developed and calibrated in the Civil Engineering Faculty laboratory. Strain gauges were installed at mid-span—where maximum stress and deformation were expected due to intense current traffic (TPD = 41 960), particularly from heavy vehicles linked to urban growth in Cusco.

A numerical model of the bridge was developed using its current geometry and material properties from non-destructive testing. The model simulated the gross weight and configuration of vehicles currently crossing the bridge. Stresses and deformations from the model were compared with in-situ measurements, providing a more detailed picture of the superstructure's performance under actual load conditions.

The evaluation classified the bridge's condition as poor (CP = 3), with deterioration in the superstructure that compromises its durability. The main issue identified was infiltration, evidenced by widespread efflorescence in all components. If left untreated, this could lead to reinforcement corrosion, section loss, and reduced load-bearing capacity.

Maintenance actions are proposed for each bridge component, emphasizing the repair of existing damage and the prevention of further deterioration. A risk matrix was developed to prioritize interventions by assessing the vulnerability and risk level of each component in accordance with the GIP.

Regarding structural response, in-situ stress readings ranged from 52% to 84% of the maximum stresses predicted by the model under the heaviest vehicular load observed. The model estimated a maximum slab deformation of 3,5 mm, which represents 30% of the allowable deflection limit (11,52 mm) established in the MTC Bridge Manual.

These findings suggest that the Cachimayo Bridge currently exhibits adequate structural behavior under existing traffic loads, with a significant reserve capacity before reaching critical deflection thresholds.

Keywords: slab bridge superstructure, structural assessment, inspeccion, durability,maintenance.

INTRODUCCION

La necesidad de evaluar estructuralmente de los puentes surge principalmente de la incertidumbre sobre su estado actual, agravada por la falta de programas sistemáticos de evaluación, monitoreo y mantenimiento preventivo. La implementación de estos programas es crucial para extender la vida útil de estas infraestructuras, garantizando su funcionalidad y seguridad a largo plazo. Los puentes están expuestos a una variedad de factores que pueden causar deterioro con el tiempo, como cargas pesadas, condiciones climáticas extremas y falta de mantenimiento. Este deterioro puede comprometer su integridad estructural y poner en riesgo la seguridad de los usuarios

Los puentes como elementos fundamentales en la conexión de pueblos, distritos y provincias juegan un papel muy importante debido a que salvan obstáculos que permiten la continuidad de las vías de transporte. Los puentes que desde su creación han impulsado el crecimiento económico y la expansión de la humanidad deben ser preservadas y valoradas. Debido a su elevado costo de construcción, es crucial implementar programas de evaluación y mantenimiento preventivo para preservar su valor económico y evitar costosas reparaciones o reemplazos. Dada la importancia de estas estructuras, es imperativo garantizar la seguridad de los puentes mediante evaluaciones estructurales periódicas y programas de mantenimiento preventivo. La falta de mantenimiento puede acelerar el deterioro de estas estructuras, incrementando el riesgo de fallas estructurales, el cierre de puentes y el impacto económico negativo.

El registro del número de puentes, su estado estructural y condición actual, es fundamental para la medición del nivel de desarrollo de una nación, de una región o localidad en cuanto a la infraestructura vial. Los puentes como elementos frágiles dentro las carreteras nacionales departamentales y locales deben ser monitoreados no solo para conocer su estado y predecir sus deterioros sino para emprender labores de conservación, evitando colapsos parciales y totales.

En la ciudad del Cusco existen numerosos puentes que salvan obstáculos de ríos y desniveles como es el caso del Puente Cachimayo que salva el obstáculo del río Cachimayo y el desnivel entre la Av. de la Cultura y la Av. Los Manantiales y que además forma parte de la vía principal que conecta varios de los distritos dentro de la ciudad. El colapso de esta infraestructura produciría repercusiones económicas debido a que no se cuentan con vías alternas que tengan la capacidad para desviar el tráfico mientras se realizan labores de recuperación o construcción de un nuevo puente. Estos imprevistos pueden evitarse y prevenirse a través de la implementación de un sistema de gestión

local, provincial o regional mediante un seguimiento continuo, la predicción de necesidades de mantenimiento y la asignación de recursos, además administrar los puentes desde su calificación, prioridad de atención, restricciones de carga, limitaciones de servicio y la creación de un legajo o inventario detallado sobre la localización, la geometría, la tipología, la capacidad de carga, planos de diseño y construcción e intervenciones realizadas.

Para la inspección y evaluación de puentes, se emplean normativas técnicas como la 'Guía para Inspección de Puentes 2019' y el 'Manual de Diseño de Puentes 2018', ambos publicados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. A nivel internacional, se consultan referencias como el 'AASHTO Manual for Bridge Evaluation (MBA)' y la 'AASHTO LRFD Bridge Design Specification', emitidas por la Asociación Americana de Carreteras y Transporte (AASHTO).

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCION	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XV
CAPITULO I.-ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3 DELIMITACIÓN Y JUSTIFICACIÓN	2
1.4 OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	3
1.5 HIPÓTESIS	3
1.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPITULO II.-MARCO CONCEPTUAL	6
2.1 PUENTES	6
2.2 CARGAS EN PUENTES	11
2.3 FALLAS DE LAS ESTRUCTURAS DE PUENTES DE CONCRETO	16
2.4 INSPECCIÓN DE PUENTES.....	17
2.5 CAUSAS DE FALLAS OCURRIDAS EN PUENTES.....	21
2.6 PATOLOGÍA EN PUENTES	24
2.7 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS IN SITU.....	33
2.8 DESCRIPCIÓN DE LA CALIFICACIÓN GLOBAL DEL PUENTE Y SUS VARIABLES	35
CAPITULO III.-METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION.....	42
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	42
3.2 UNIVERSO, POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
CAPITULO IV.-RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	45
4.1 INSPECCIÓN INICIAL, RUTINARIA Y PRINCIPAL	45

4.2	INSPECCIÓN ESPECIAL.....	105
CAPITULO V.-PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....		153
5.1	FICHAS DE INSPECCIÓN	153
5.2	RESISTENCIA DE LOS MATERIALES	156
5.3	CONDICIÓN DEL PUENTE CACHIMAYO.....	161
5.4	PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	162
5.5	RESULTADOS INSPECCIÓN ESPECIAL DE LA SUPERESTRUCTURA.....	172
CAPITULO VI.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		182
	CONCLUSIONES	182
	RECOMENDACIONES.....	184
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		185
ANEXOS.....		187
6.1	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	187
6.2	FICHA TÉCNICA EQUIPO ELECTRÓNICO DESARROLLADO	189
6.3	FICHAS DE CONTEO VEHICULAR, ESTACIÓN E01, CARRIL DE SUBIDA	191
6.4	FICHAS DE CONTEO VEHICULAR, ESTACIÓN E02, CARRIL DE BAJADA	198
6.5	FACTORES DE CORRECCIÓN PROMEDIO PARA VEHÍCULOS PESADOS (2020-2010) .	205
6.1	PLANO DE UBICACIÓN, PLANO DE PLANTA Y ELEVACIÓN, PLANO TOPOGRÁFICO, PLANO DE DAÑOS, PLANO DE UBICACIÓN DE DAÑOS	206

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Luz en puentes tipo losa	8
Figura 2 Armadura, acero.	8
Figura 3 Partes componentes de un puente.....	9
Figura 4 Tableros de puentes	10
Figura 5 Esquema longitudinal de puente.....	11
Figura 6 Camión de diseño	14
Figura 7 Tipos de inspección.....	18
Figura 8 Metodología a seguir	44
Figura 9 Ubicación del puente en estudio.....	47
Figura 10 Puente Cachimayo, vista en planta.....	48
Figura 11 Vista lateral del Puente Cachimayo.....	48
Figura 12 Accesos al Puente Cachimayo.....	49
Figura 13 Señal preventiva P-18A.....	50
Figura 14 Señal vertical preventiva	50
Figura 15 Señal preventiva ausente	51
Figura 16 Señal preventiva P-21B.....	51
Figura 17 Señal vertical preventiva	52
Figura 18 Señal reglamentaria R-4	52
Figura 19 Señal vertical combinada.....	53
Figura 20 Señal reglamentaria R-14	53
Figura 21 Señal vertical combinada.....	54
Figura 22 Camión pesado transitando sobre el puente a horas 11:24 p.m.-Carril de bajada.....	55
Figura 23 Camión pesado cargado sobre el puente a horas 12:09 a.m.-Carril de subida.....	55
Figura 24 Bus interprovincial sobre el puente a horas 17:39 p.m.-Carril de subida	56
Figura 25 Mapa hidrológico de la Microcuenca de Cachimayo.....	57
Figura 26 Presencia de basura, desmonte, vegetación aguas arriba del Puente Cachimayo	58
Figura 27 Presencia de basura, desmonte, vegetación aguas arriba del Puente Cachimayo	58
Figura 28 Ubicación de sumideros tipo canal con rejilla metálica	59
Figura 29 Canal de evacuación de aguas pluviales carril de bajada.....	60
Figura 30 Canal de evacuación de aguas pluviales carril de subida.....	60
Figura 31 Patología 1: acumulación de polvo y arenas en baranda.....	61
Figura 32 Patología 2: falta de verticalidad en baranda.....	62

Figura 33 Patología 1: acumulación de polvo y arenas en acera	63
Figura 34 Patología 2: desprendimiento en acera	64
Figura 35 Patología 3: impacto en acera.....	64
Figura 36 Patología 4: peladuras en acera	65
Figura 37 Base del pilar usado como mingitorio.....	66
Figura 38 Patología 1: infiltración y eflorescencia en pilar central	67
Figura 40 Patología 2: infiltración en pilar central	67
Figura 39 Patología 3: peladuras en pilar central	68
Figura 41 Patología 1: peladura en aleta del estribo derecho	69
Figura 42 Patología 2: infiltración en aleta del estribo derecho	70
Figura 43 Patología 3: infiltración en aleta del estribo izquierdo.....	70
Figura 44 Patología 4: infiltración en aleta del estribo izquierdo.....	71
Figura 45 Patología 1: infiltración y eflorescencia en estribo derecho.....	72
Figura 46 Patología 2: infiltración en estribo izquierdo	73
Figura 47 Patología 1: fisuras bajo tablero losa.....	75
Figura 48 Patología 2: peladuras bajo tablero losa	75
Figura 49 Patología 3: eflorescencias bajo tablero losa.....	76
Figura 50 Patología 4: infiltración bajo tablero losa.....	76
Figura 51 Patología 5: infiltración y eflorescencia bajo tablero losa	77
Figura 52 Patología 6: impacto bajo tablero losa	77
Figura 53 Patología 7: hormigueros o cangrejera bajo tablero losa	78
Figura 54 Patología 1: desprendimientos en carpeta de rodadura	80
Figura 55 Patología 2: piel de cocodrilo en carpeta de rodadura.....	80
Figura 56 Patología 3: parchado o bacheado en carpeta de rodadura.....	81
Figura 57 Patología 4: fisuras en carpeta de rodadura.....	81
Figura 58 Preparación de yeso y colocación de los vendajes o capas de yeso	83
Figura 59 Vendajes o capas de yeso bajo el tablero	84
Figura 60 Verificación de puntos dos semanas después de colocado.....	85
Figura 61 Fisuras en el fondo de la losa	87
Figura 62 Conteo vehicular, día.....	88
Figura 63 Conteo vehicular, noche	88
Figura 64 Vehículos pesados circulando en el carril de bajada. Registrado de 12:00 a 3:30 am.89	
Figura 65 Vehículos pesados circulando en el carril de subida. Registrado de 12:00 a 4:00 am.89	

Figura 66 Gráfico clasificación vehicular.....	93
Figura 67 Gráfico variación horaria semanal vehículos ligeros pesados y articulados	94
Figura 68 Participación vehicular semanal según tipo de vehículo pesado, carril bajada.....	94
Figura 69 Participación vehicular semanal según tipo de vehículo pesado, carril subida.....	95
Figura 70 Variación horaria semanal vehículos articulados	95
Figura 71 Vehículos pesados categorías M ₂ y M ₃ , que circulan la Av. La Cultura	96
Figura 72 Vehículos pesados categorías N ₁ , N ₂ y N ₃ , que circulan la Av. La Cultura.....	97
Figura 73 Vehículos pesados categorías N ₁ , N ₂ y N ₃ que circulan la Av. La Cultura.....	98
Figura 74 Vehículos pesados categorías O ₂ , O ₃ y O ₄ que circulan la Av. La Cultura.....	99
Figura 75 Medidas del camión VOLVO FMX 6X4R	101
Figura 76 Vehículo real cruzando por el Puente Cachimayo, foto registrada a las 13:17 del lunes, 28 de octubre de 2024	101
Figura 77 Pesos y capacidades del camión VOLVO FMX 6X4R.....	102
Figura 78 Medidas del camión VOLVO FH 16 8x4	102
Figura 79 Medidas tomadas en campo de vehículo de configuración T3S3 Volvo FH 420	103
Figura 80 Pesos y capacidades del camión VOLVO FMX 6X4R.....	103
Figura 81 Vehículo categoría M ₃ , Hyundai County III.....	103
Figura 82 Pesos y capacidades del vehículo Hyundai County III	104
Figura 83 Tractocamión con semirremolque marca AML	104
Figura 84 Tractocamión con remolques marca CPR.....	104
Figura 85 Mediciones del Puente in situ.....	107
Figura 86 Puntos del levantamiento topográfico	108
Figura 87 Detector de materiales hasta 150 mm Bosch D-TECT 150	109
Figura 88 Prueba de pachómetro in-situ	109
Figura 89 Esclerómetro calibrado marca A&A INSTRUMENT	110
Figura 90 Malla cuadrada de 10cm x 10cm y espaciado interno de cuadrados de 2,5 cm.....	110
Figura 91 Ensayo de esclerometría en elementos estructurales del Puente Cachimayo.....	111
Figura 92 Tabla de equivalencia esclerómetro A&A INSTRUMENT, modelo ZC3-A.	112
Figura 93 Circuito de puente de Wheatstone.....	114
Figura 94 Galga extensiométrica	116
Figura 95 Sección de las probetas de acero ensayadas	117
Figura 96 Medidas perfil acero rectangular	118
Figura 97 Detalle testigo de acero	123

Figura 98 Detalle instalación de galgas extensiométricas en testigos de acero.....	123
Figura 99 Detalle de instalación de las vigas de acero en el equipo de carga (Máquina universal INSTRON 600DX).....	123
Figura 100 Detalle de lectura en software	124
Figura 101 Ensayo de testigos en laboratorio FIC-UNSAAC.....	124
Figura 102 Probetas ensayadas	125
Figura 103 Detalle de deformación de probeta N°1	125
Figura 104 Resultados ensayo de flexión de la máquina universal en probeta N°1	126
Figura 105 Resultados ensayo de flexión de la máquina universal en probeta N°2.....	126
Figura 106 Resultados ensayo de flexión de la máquina universal en probeta N°3.....	127
Figura 107 Resultados del programa Matlab del ensayo de flexión en la máquina universal en probeta N°1	128
Figura 108 Resultados sistema electrónico del ensayo de flexión en la máquina universal en probeta N°2	128
Figura 109 Resultados sistema electrónico del ensayo de flexión en la máquina universal en probeta N°3	129
Figura 110 Diagramas de fuerza cortante y momento flector	131
Figura 111 Diagramas de deflexión.....	132
Figura 112 Detalle de galgas colocadas bajo la superestructura del puente	134
Figura 113 Detalle de medios auxiliares para colocación de galgas bajo la losa de la superestructura	135
Figura 114 Ensayo in-situ en puente con acompañamiento de profesional electrónico	138
Figura 115 Registro de lecturas en el software Matlab in-situ	138
Figura 116 Sección transversal del Puente Cachimayo.....	139
Figura 117 Carriles de circulación vehicular del Puente Cachimayo definidos en modelo estructural	141
Figura 118 Definición de propiedad de materiales hallados in-situ del Puente Cachimayo definidos en modelo estructural.....	142
Figura 119 Definición de vehículo pesado Hyundai County III.....	143
Figura 120 Definición de vehículo pesado C3 VOLVO FMX 6X4R	144
Figura 121 Definición de vehículo pesado C3 VOLVO FH	145
Figura 122 Modelo estructural de la superestructura.....	146
Figura 123 Esfuerzos en la base de la losa, carril interior izquierdo; caso de carga: vehículo M3 Hyundai County III.....	147

Figura 124 Esfuerzos en la base de la losa, carril exterior izquierdo; caso de carga: vehículo M3 Hyundai County III.	148
Figura 125 Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga vehículo, M3 Hyundai County III en carril izquierdo exterior.	149
Figura 126 Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga de servicio, M3 Hyundai County III en carril izquierdo interior.	149
Figura 127 Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga vehículo, Volvo FMX 6X4R en carril izquierdo exterior.	150
Figura 128 Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga de servicio, Volvo FMX 6X4R en carril izquierdo interior.	150
Figura 129 Momentos resultantes en la dirección del Refuerzo en Tnf.m en la combinación de carga de Resistencia, Str-II, vehículos reales.	151
Figura 130 Momentos resultantes en la dirección del Refuerzo en Tnf.m en la combinación de carga de Resistencia, Str-II, vehículos diseño HL93.	152
Figura 131 Fichas de inspección.	154
Figura 132 Ficha de campo, esclerometría en estribo derecho del Puente Cachimayo.	158
Figura 133 Ficha de campo, esclerometría en estribo izquierdo del Puente Cachimayo.	159
Figura 134 Ficha de campo, esclerometría en pilar central del Puente Cachimayo.	160
Figura 135 Esquema atención Puente Cachimayo.	163
Figura 136 Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in situ, carril exterior de subida / Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ.	173
Figura 137 Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in situ, carril exterior de subida / Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ.	174
Figura 138 Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in situ, carril interior de subida / Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ.	175
Figura 139 Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in-situ, carril interior de subida / Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ.	176
Figura 140 Esfuerzos longitudinales modelo estructural vs esfuerzos longitudinales hallados in-situ.	177

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Pesos específicos	12
Tabla 2 Presencia de Factores Múltiples, m.	13
Tabla 3 Número de puentes fallados versus causas de fallas, por intervalos de 10 años (1980-2012)	22
Tabla 4 Número de puentes que fallaron por causa de fallas externas	23
Tabla 5 Anchos de fisuras razonables en hormigón armado bajos cargas de servicio	25
Tabla 6 Niveles de calificación cualitativa	36
Tabla 7 Calificativos de puentes según su importancia operacional y vida residual	37
Tabla 8 Relevancia estructural, RE, sugerida para varios componentes del puente	38
Tabla 9 Rango de valores de GD según las consecuencias de durabilidad, funcionales o estructurales	39
Tabla 10 Definición de niveles de consecuencia de falla	40
Tabla 11 Ubicación del Puente	46
Tabla 12 Calificación de los elementos que componen el Puente Cachimayo	82
Tabla 13 Fisuras registradas bajo la superestructura- losa de concreto armado	86
Tabla 14 Resultado conteo vehicular	91
Tabla 15 Resumen de tipos de vehículos con sus respectivos factores de corrección	92
Tabla 16 Tráfico vehicular	93
Tabla 17 Pesos y capacidad de vehículos categorías M que circulan la Avenida La Cultura	99
Tabla 18 Pesos y capacidad de vehículos categorías N que circulan la Avenida De La Cultura	100
Tabla 19 Pesos y capacidad de vehículos categoría O que circulan la avenida La Cultura	100
Tabla 20 Pesos y capacidades del camión VOLVO FH 16 8x4	102
Tabla 21 Características semirremolque marca AML	104
Tabla 22 Características remolque marca CRP	105
Tabla 23 Pesos y capacidades de los remolques marca CRP, figura 84.	105
Tabla 24 Procesamiento de datos (puntos). software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018	107
Tabla 25 Propiedades mecánicas tubo estructural ASTM A500/ASTM A500M LAC	117
Tabla 26 Dimensiones y medidas de probetas ensayadas en laboratorio	119
Tabla 27 Área sección de probeta de acero	120
Tabla 28 Resultados máquina universal	121
Tabla 29 Inercia sección de probetas de acero	122
Tabla 30 Recubrimiento del concreto en el estribo derecho del Puente Cachimayo	157

Tabla 31	Grado de calificación de los elementos que componen el Puente Cachimayo	161
Tabla 32	Actividades de mantenimiento sugeridas elemento barandas	164
Tabla 33	Actividades de mantenimiento sugeridas elemento aceras	165
Tabla 34	Actividades de mantenimiento sugeridas elemento pila	166
Tabla 35	Actividades de mantenimiento sugeridas elemento aletas	167
Tabla 36	Actividades de mantenimiento sugeridas elemento estribos	168
Tabla 37	Actividades de mantenimiento sugeridas en elemento losa	169
Tabla 38	Actividades de mantenimiento sugeridas en elemento superficie de rodadura	171
Tabla 39	Deformaciones modelo estructural vs deformaciones hallados in-situ	178
Tabla 40	Matriz de riesgo para el Puente Cachimayo	180
Tabla 41	Calificativos del puente según su importancia operacional y vida residual	181

CAPITULO I.- ASPECTOS GENERALES

1.1 Situación problemática

El puente Cachimayo, destinado a salvar un obstáculo natural como es el Río Cachimayo, además del tráfico proveniente de la Av. Collasuyo, es un elemento vial importante que forma parte del sistema arterial mayor de la ciudad del cusco y da continuación a la Prolongación Av. La Cultura, se construyó en el periodo de 1996-1998 bajo la administración del entonces alcalde Raúl Salizar Saico.

Los puentes son diseñados para un tiempo de vida útil y a menudo sufren problemas de deterioro por varias causas, entre ellas la sobre explotación, sobrecargas superiores a las de diseño y la falta de mantenimiento.

En la actualidad se desconoce el estado del puente Cachimayo y no se cuenta con registros de intervenciones, reparaciones o el levantamiento de las patologías presentes que indiquen cuál es el riesgo de colapso que pueda tener el puente.; además, no se halla documentación relativa al proyecto a la construcción o post construcción.

El puente es tipo losa, presenta daños evidentes en su estructura y en especial en el tablero, daños que pudieron ser causados por diversos factores y principalmente por el aumento del tráfico, un análisis del estado situacional determinará si el puente cumple con los requerimientos de funcionalidad con un nivel de seguridad aceptable, además se podrán tomar acciones para una eventual intervención, prolongar la vida útil, mejorar la calidad de vida de la población, contribuir al desarrollo económico, social y vial de la ciudad del Cusco. La inspección, el análisis y la evaluación de la estructura servirá de referencia para evaluaciones estructurales futuras de cualquier puente de la ciudad.

Debido a que no se conoce ni se tiene ningún registro de las características de los elementos estructurales, de los materiales empleados ni su procedencia, se hace necesario realizar una evaluación estructural por medio de una inspección especial que permitirá registrar las patologías, las propiedades de los materiales y en general conocer el estado actual del puente.

La inspección especial estará limitada a las partes visibles y de fácil acceso del puente; el análisis estará limitado a la superestructura formada por un tablero tipo losa de dos tramos.

1.2 Formulación del problema objeto de la investigación

1.2.1 Problema general

PG1: Como consecuencia del desarrollo y crecimiento que viene experimentando la ciudad del Cusco se ha generado un considerable aumento del tráfico incluyendo el de carga pesada, existe una sobreexplotación que afecta el comportamiento del puente; el problema objeto de investigación será: ¿Cuál es el estado actual en el que se encuentra la superestructura del puente Cachimayo, funcionando de manera ininterrumpida por más de 25 años?

1.2.2 Problema específico

PE1: ¿Cuáles son las características, los materiales y el deterioro existente en los elementos estructurales que componen el puente Cachimayo?

PE2: ¿Para mantener en servicio el puente Cachimayo, cuál es la condición de la superestructura del puente Cachimayo para proponer un programa de mantenimiento periódico?

1.3 Delimitación y justificación

1.3.1 Delimitación

El puente Cachimayo presenta componentes que no pueden ser evaluados debido a que no se tienen acceso a ellos y gran parte de su estructura no se encuentra expuesta, adicionalmente no se conserva en las entidades locales documentación existente sobre el puente como inventario de intervenciones posteriores a su construcción, documentación relativa al proyecto, memoria o planos que ayuden al conocimiento de su volumen y extensión.

Por lo expuesto, esta investigación se limita al estudio de la superestructura del puente, el tablero, que en el caso Puente Cachimayo se trata de un tablero tipo losa.

La unidad de análisis será el tablero.

1.3.2 Justificación

Este trabajo de investigación se justifica porque permitirá conocer si el Puente Cachimayo se encuentra en las condiciones óptimas para soportar las actuales y futuras solicitaciones del tráfico, conocer su situación actual después de estar tantos años en servicio y qué tanto afecta al puente la falta de mantenimiento por el incremento del tráfico, esto conociendo la situación actual de cada uno de los componentes del puente.

El deterioro de todo puente o estructura que forma parte del sistema vial dificulta el desplazamiento vehicular y peatonal que ocasiona inseguridad e incomodidad, por lo que se deben realizar trabajos de mantenimiento periódico que garanticen un buen funcionamiento; la determinación de la situación actual mediante la inspección del puente Cachimayo utilizando la Guía de Inspección de Puentes(GIP) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones(MTC), permitirá tomar acciones que conduzcan a una intervención ya sea para una posible rehabilitación o un cambio completo de la estructura del puente.

La inspección de los puentes es de suma importancia para mantener el efectivo desarrollo de un país, así como garantizar la seguridad de los usuarios (MTC, Guía de Inspección de Puentes, 2019).

1.4 Objetivos de investigación

1.4.1 Objetivo general

OG: Realizar una evaluación estructural del Puente Cachimayo según la Guía de Inspección de Puentes (GIP) del MTC para conocer el estado de conservación del puente y sus elementos estructurales para recomendar las acciones de mantenimiento necesarias.

1.4.2 Objetivos específicos

OE1: Realizar un registro de los deterioros presentes en la superestructura del puente Cachimayo, cuantificar los daños encontrados durante la inspección, y establecer las causas por las que se ha producido dicho deterioro y contemplar las actuaciones necesarias para resolver los daños.

OE2: Determinar por medio de ensayos no destructivos las propiedades de los materiales para conocer la condición de la superestructura y recomendar si es necesario un programa de mantenimiento rutinario y periódico para mantener en servicio el puente.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

HG: La superestructura del Puente Cachimayo se encuentra en una condición adecuada con deficiencias que no afectan la funcionalidad del puente, donde los elementos principales presentan deterioros que afecten únicamente a la durabilidad siendo necesario solo reparaciones menores.

1.5.2 Hipótesis específica

HE1: El tablero tipo losa del puente presenta un grado de daño leve que afecta a la durabilidad y no la funcionalidad, será necesario un mantenimiento rutinario.

HE2: La condición de la superestructura no es adecuada y es necesario plantear un programa de mantenimiento periódico.

1.6 Antecedentes de la investigación

1.6.1 En el ámbito local

Erazo Durán, A., & Cusi Jorge, C. (2020). Análisis de la vulnerabilidad física del puente Santiago, Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Erazo Durán y Cusi Jorge (2020) evaluaron la vulnerabilidad física del puente Santiago, una estructura de 50 años en Cusco. Utilizando un sistema de puntuación que consideró suelo, materiales y diseño, encontraron una vulnerabilidad física media del 41%, indicando daños reparables. Las pruebas de campo revelaron una resistencia promedio del concreto de 218 kg/cm² y una resistencia nominal del acero de 4200 kg/cm². El modelo numérico en CSI Bridge, con cargas de diseño HL-93, mostró deflexiones superiores a los límites permitidos, sugiriendo un posible colapso gradual con el aumento de tráfico. Aunque el puente aún cumple su función, la rehabilitación se considera vital para su durabilidad y capacidad.

Valer Chalco, L. (2018). Evaluación de puente colgante vehicular, mediante método de elementos finitos y análisis de vibraciones; caso puente Cunyac-2018. Universidad Andina del Cusco.

Valer Chalco (2018) evaluó la respuesta estructural del puente colgante vehicular Cunyac, de aproximadamente 50 años, mediante el Método de Elementos Finitos (FEM) calibrado con análisis de vibraciones ambientales. Utilizando acelerómetros triaxiales, se midieron vibraciones bajo diferentes condiciones, y se calibró un modelo numérico de elementos finitos con errores inferiores al 0.85% en frecuencias y periodos. El análisis estructural del modelo calibrado reveló que el puente no cumple con los parámetros de las normas AASHTO LRFD 2017 y el Manual de Puentes 2018, indicando deficiencias en la capacidad de carga y seguridad de sus componentes.

1.6.2 En el ámbito nacional

Sánchez Llanos, E. (2019). Nivel de confiabilidad de la superestructura del puente Huacariz. Universidad Privada del Norte.

Sánchez Llanos (2019) evaluó el nivel de confiabilidad de la superestructura del puente Huacariz en Cajamarca, utilizando un modelo estructural en CSI Bridge, estudios de tránsito y pruebas de esclerómetro. El análisis reveló un nivel de confiabilidad estructural bueno (β_{\min} Actual = 4.59), a pesar de que solo el 4% del tráfico consiste en vehículos pesados. El puente, calificado como "bueno" según criterios descriptivos, muestra una capacidad suficiente para su función actual y futura, con problemas menores que no afectan su seguridad estructural.

1.6.3 En el ámbito internacional

Altamirano Núñez, M. (2013). Evaluación del puente "El Quilo" ubicado en el km 17+200 de la vía Puyo-Baños por el método AASHTO-LRFD y su incidencia en la seguridad estructural y vial. Universidad Técnica de Ambato.

Altamirano Núñez (2013) evaluó el puente "El Quilo" en Ecuador, utilizando el método AASHTO-LRFD, para determinar su seguridad estructural y vial. Mediante inspecciones, estudios de tráfico e hidrológicos, y un modelo matemático, se identificaron daños en el concreto, como pérdida de recubrimiento y cavidades. El aforo vehicular reveló un tráfico predominante de vehículos ligeros. Las deformaciones estructurales se encontraron dentro de los límites de AASHTO-LRFD. A pesar de la imposibilidad de acceder a la armadura, la ausencia de fisuras sugiere un diseño adecuado para las cargas actuales. Se propuso el uso de fibras de carbono y apoyos elastoméricos para reforzar la estructura y mejorar su servicialidad.

Contreras Pérez, C., & Reyes Ravelo, E. (2014). Evaluación, diagnóstico patológico y propuesta de intervención del puente Romero Aguirre. Universidad de Cartagena.

Contreras Pérez y Reyes Ravelo (2014) realizaron una evaluación patológica del puente Romero Aguirre en Cartagena, encontrando que la resistencia del concreto coincidía con los planos de licitación. El estudio reveló patologías esperadas acordes al ambiente, como fisuras y exposición de acero. La inspección visual identificó daños principales en elementos no estructurales (andenes, barandas, accesos peatonales), mientras que vigas y pilas presentaban fallas menores sin riesgo estructural. No se encontraron estudios previos para comparar los resultados.

CAPITULO II.- MARCO CONCEPTUAL

2.1 Puentes

2.1.1 Historia

Con un origen en la prehistoria, la construcción de los puentes ha ido evolucionando tanto en envergadura como en el tipo de material empleado y su demanda se vio fuertemente incrementada con llegada de la locomotora y posteriormente con la del automóvil. La alta incidencia de accidentes en intersecciones y la necesidad de construir pasos a diferentes niveles han impulsado el uso de puentes. Como resultado, las intersecciones de carreteras y los cruces a nivel se resuelven mediante la construcción de este tipo de infraestructura.

2.1.2 Definición de puentes

Los puentes, como elementos de ingeniería estructural, son construcciones esenciales para superar barreras naturales, como ríos y desniveles del terreno, así como obstáculos creados por el ser humano. Su objetivo es asegurar el tránsito continuo y eficiente de personas, agua, conductos y vehículos, ya sea como parte de una carretera o como una estructura independiente.

2.1.3 Clasificación de puentes

Los puentes se clasifican por sus dimensiones, por su uso, por su material principal, por su sección transversal, por su disposición en planta y por su sistema estructural (Apaza, 2006).

Según su sección transversal los puentes se clasifican en puentes losa de sección maciza, puentes losa con vigas (vigas T), puentes de sección cajón, puentes de sección compuesta, losa de concreto y vigas de acero (Apaza, 2006).

Puente tipo losa de sección maciza:

Utilizadas generalmente para luces menores o iguales a 15 m, cuando el concreto es reforzado, dado que para este intervalo de luces resulta una solución competitiva desde el punto de vista económico comparado con los puentes de viga y losa. Transversalmente puede ser construida mediante una losa maciza o aligerada y en el sentido longitudinal presenta los siguientes tipos de acuerdo a la luz que requiera cubrir:

- Una luz simplemente apoyada.
- Luces continuas.

- Luces múltiples simplemente apoyadas.
- Pórtico continuo.

El sistema estructural incluye vigas de borde en sus extremos, donde se apoyan las barandas. Las luces continuas se utilizan cuando hay buenas condiciones del suelo fundación y se tienen cimentaciones adecuadas de cada uno de sus soportes, de tal forma que no se produzcan asentamientos que puedan generar solicitaciones muy grandes en el elemento continuo.

En los puentes tipo losa o viga, el elemento portante principal está sometido fundamentalmente a esfuerzos de flexión y cortante. (MTC, 2018).

Características puente tipo losa:

Los puentes tipo losa suelen requerir una mayor cantidad de concreto y acero en comparación con los puentes tipo losa con vigas. Sin embargo, compensan esta diferencia con la simplicidad en la construcción de su encofrado. A medida que la luz del puente aumenta, la disparidad en el uso de materiales entre ambos tipos se acentúa, pero no así los costos de encofrado.

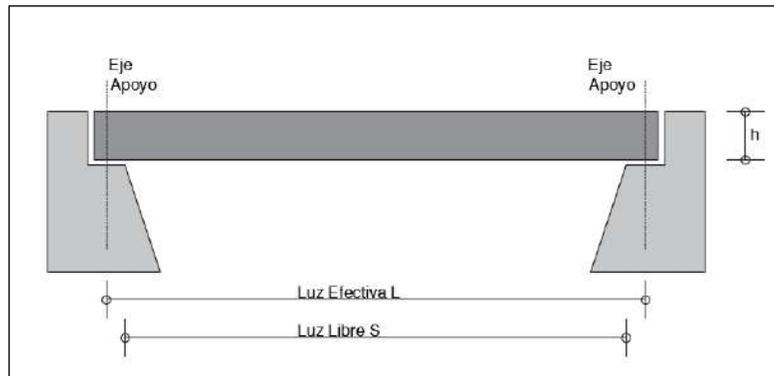
Debido a estas consideraciones, el uso de puentes tipo losa tiene un límite práctico. En el contexto económico del Perú, se considera recomendable su uso para luces de hasta diez metros.

La determinación de la luz efectiva se realiza mediante los siguientes criterios:

- En losas simplemente apoyadas, la luz efectiva corresponde a la distancia entre los apoyos, siempre que este valor no supere la suma de la luz libre y el espesor de la losa.
- En losas continuas, la luz efectiva es equivalente a la luz libre del tramo.

Figura 1

Luz en puentes tipo losa



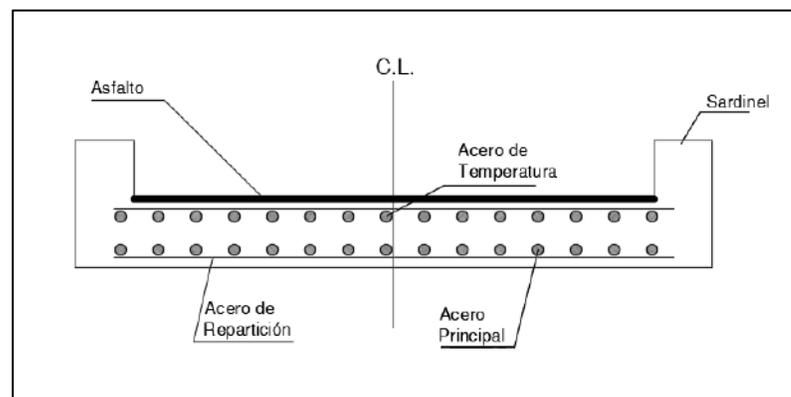
Nota. Fuente: (Apaza, 2006)

$$S < L < S + h$$

En las losas de puentes, el acero de refuerzo principal se dispone paralelo a la dirección del tráfico. Adicionalmente, en la superficie expuesta de estas losas, se coloca una malla de acero de temperatura, a menos que el diseño estructural indique lo contrario.

Figura 2

Armadura, acero.



Nota. Fuente: (Apaza, 2006)

La superficie de rodadura de la losa se compone de una capa asfáltica de 2 pulgadas de espesor. Para prevenir la acumulación de agua, esta capa se dispone con una pendiente ligera del 2%, inclinándose desde el centro hacia los extremos de la losa.

En cuanto a los apoyos, se emplea un sistema que combina un apoyo móvil y uno fijo. El dispositivo móvil se intercala entre la losa y el apoyo, actuando como un aislante que permite el movimiento relativo entre ambos.

Por otro lado, el apoyo fijo asegura la losa al estribo o pilar mediante varillas de acero (dowels) dispuestas paralelamente al estribo. Estas varillas restringen el desplazamiento horizontal de la losa, pero permiten la transmisión de otros tipos de movimiento.

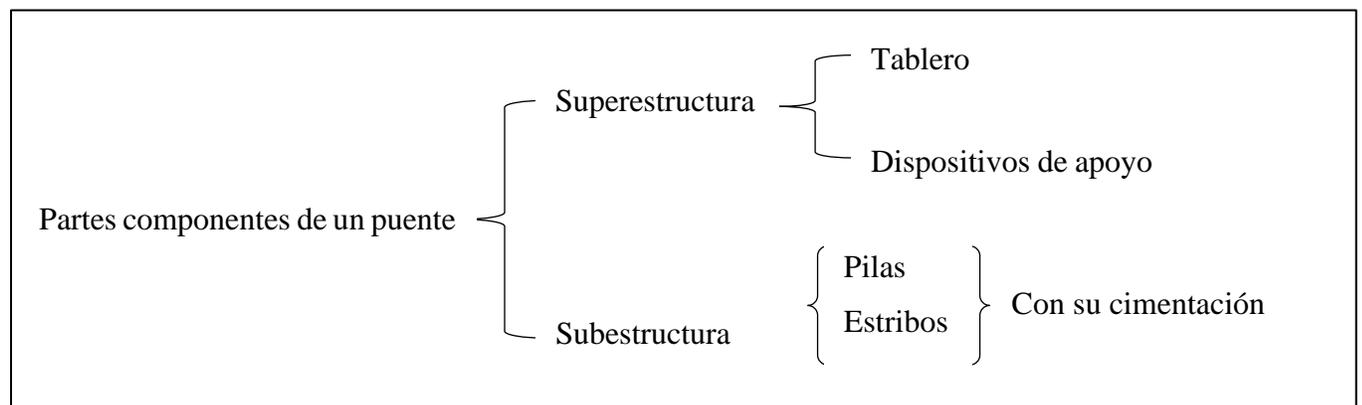
2.1.4 Componentes de un puente

Para la evaluación del estado de puentes existentes (diagnóstico) es indispensable conocer sobre sus diferentes componentes y tipologías (Muñoz, 2012).

Las partes principales de un puente se clasifican en superestructura e infraestructura o subestructura. La superestructura incluye todos aquellos componentes que hacen parte de su tablero, tales como losas, vigas, riostras, armadura, arco, cables tirantes, pendolones, catenaria, anclajes, bordillos, andenes, barandas, juntas de dilatación, apoyos, pavimento, drenes y separadores. La subestructura abarca las pilas, pilones, estribos, cimentaciones, torres y las aletas con su correspondiente cimentación (Muñoz, 2012). También las losas de aproximación de acceso, el terraplén de acceso, los conos y los taludes hacen parte de esta.

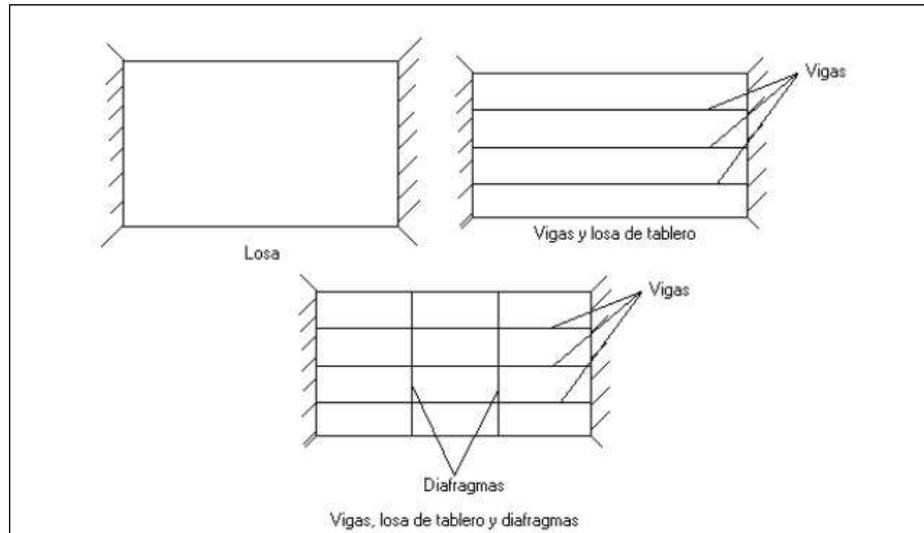
Figura 3

Partes componentes de un puente



Nota. Fuente: (Guillermo, 2010)

Tablero: es la parte resistente del puente y soporta directamente el tráfico vehicular. Puede ser de tipo losa simple o de viga y losa, este último con la opción de incluir vigas transversales.

Figura 4*Tableros de puentes*

Nota. Fuente: (Guillermo, 2010)

Dispositivos de apoyo: sobre ellos descansan los elementos del tablero, estos pueden ser fijos y móviles (de rodillo, deslizantes, planchas, cartón o acero).

Pilas: las pilas son elementos estructurales que proveen soporte al tablero del puente en puntos intermedios, transfiriendo las cargas que recibe este hacia la cimentación.

En cuanto a la clase de materiales, pueden ser albañilería de piedra o concreto ciclópeo, pilares de concreto armado, pilares de perfiles de acero y en cuanto a su forma pueden ser pilar muro, pilar columna, pilar en T, pilar cepa, pilar de celosía y pilar de arco. (Bosio y otros, 1994).

Estribos: los estribos son elementos estructurales que sostienen el tablero del puente en sus extremos, transfiriendo las cargas hacia la cimentación. Además, actúan como muros de contención, ya sea de forma total (estribos cerrados) o parcial (estribos abiertos). Estos elementos pueden construirse con diversos materiales, como concreto ciclópeo, concreto armado, pilotes o cilindros rellenos (provisionales), y adoptar diferentes formas, incluyendo estribos con alas inclinadas o en V, estribos con alas perpendiculares o en U, estribos en T, estribos cajón o celulares, estribos pilares y estribos en arco (Bosio y otros, 1994).

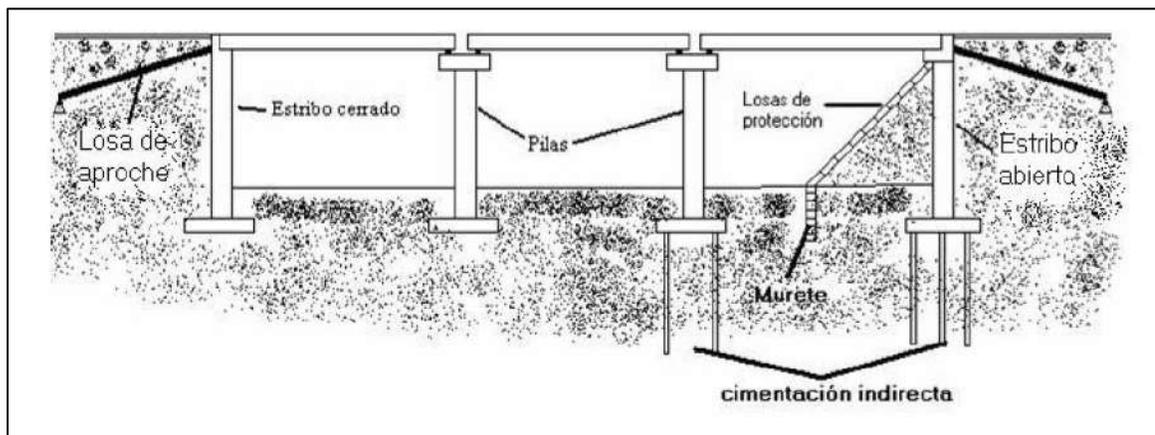
Cimentación: la cimentación, ya sea directa o indirecta, tiene la función de transferir las cargas del puente al suelo.

Un elemento relevante en los accesos al puente es la losa de aproximación, diseñada para prevenir irregularidades en la superficie de rodadura. Esta losa actúa como una transición entre la flexibilidad del pavimento de la carretera y la rigidez de la estructura del puente, y puede instalarse tanto en posición horizontal como inclinada.

En la figura 5 se pueden apreciar los elementos antes descritos.

Figura 5

Esquema longitudinal de puente



Nota. Fuente: (Guillermo, 2010)

2.2 Cargas en puentes

Para propósitos de diseño, las cargas o acciones se definen como los elementos de entorno que causan esfuerzos y deformaciones en la estructura (Bosio et al., 1994).

Según el Manual de Puentes aprobado por resolución directoral No 19-2018-MTC/14 Las cargas se clasifican en permanentes, variables y excepcionales (MTC, Manual de Puentes, 2018).

2.2.1 Cargas permanentes

Cargas muertas:

Las cargas permanentes son aquellas que actúan de manera constante sobre el puente durante toda su vida útil. Este tipo de carga incluye el peso propio de los elementos estructurales (DC), así como las cargas muertas adicionales (DW) provenientes de componentes como la superficie de rodadura, aceras y barandas. También se consideran cargas permanentes el empuje de tierras y las sobrecargas de suelo.

Se determinan de acuerdo a las dimensiones y pesos específicos de cada elemento según la tabla 1:

Tabla 1

Pesos específicos

MATERIAL		Unidad de Peso
		(kcf)
Aleaciones de aluminio		0.175
Superficies de desgaste bituminosas		0.140
Hierro fundido		0.450
Relleno de ceniza		0.060
Arena, limo o arcilla compactado		0.120
Concreto	Ligero	0.110
	Liviano	0.120
	Con peso normal $f'_c \leq 5.0$ ksi	0.145
	Con peso normal $5.0 < f'_c \leq 15.0$ ksi	$0.140 + 0.001f'_c$
Arena, limo o grava suelto		0.100
Arcilla blanda		0.100
Laminados grava, macadam, o de lastre		0.140
Acero		0.490
Mampostería de piedra		0.170
Madera	Dura	0.060
	blanda	0.050
Agua	Dulce	0.0624
	Salada	0.0640
Artículo		peso por unidad de longitud (kif)
Rieles de tránsito, unión y fijación por pista		0.200

Nota. Fuente: (MTC, Manual de Puentes, 2018)

Cargas de suelo: Aquellas que ejercen presión sobre los elementos que retienen el suelo como son los estribos y las alas. Estas cargas serán determinadas de acuerdo a los principios de la mecánica de suelos. Se tiene las presiones por el empuje (EH), sobrecarga del suelo (ES) y fricción superficial negativa (DD) generada entre el suelo y la estructura.

Deformaciones impuestas: Aquellas esfuerzos y deformaciones que son producidas debidos a la contracción por fraguado de los elementos de concreto.

2.2.2 Cargas variables

Cargas durante la construcción:

Se consideran aquellas debidas al peso propio de los materiales, equipos y cargas permanentes que se apliquen durante la construcción que pudieran ser parcialmente retiradas.

Cargas vivas vehiculares:

- **Número de vías:** el número de carriles de diseño será igual al valor entero del cociente entre el ancho de la calzada y el ancho de 3,60 m, en caso de que se tengan carriles de circulación con una distancia menor de 3,6 m de ancho, el ancho de carril de diseño será el ancho del carril de circulación.
- **Presencia múltiple de carga viva:** para determinar la carga máxima por sobrecarga en un puente, se deben considerar todas las posibles combinaciones de carriles cargados. A cada combinación se le aplica un factor de presencia múltiple, que ajusta la carga para reflejar la probabilidad de que varios carriles estén simultáneamente cargados con la sobrecarga de diseño HL93 en su totalidad. Es importante destacar que los factores de presencia múltiple no se utilizan junto con los factores de distribución de carga aproximados especificados en la normativa de diseño de puentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Tabla 2

Presencia de Factores Múltiples, m.

Numero de Vías Cargadas	Presencia de Factores Múltiples, m
1	1,20
2	1,00
3	0,85
>3	0,65

Nota. Fuente: (MTC, 2018)

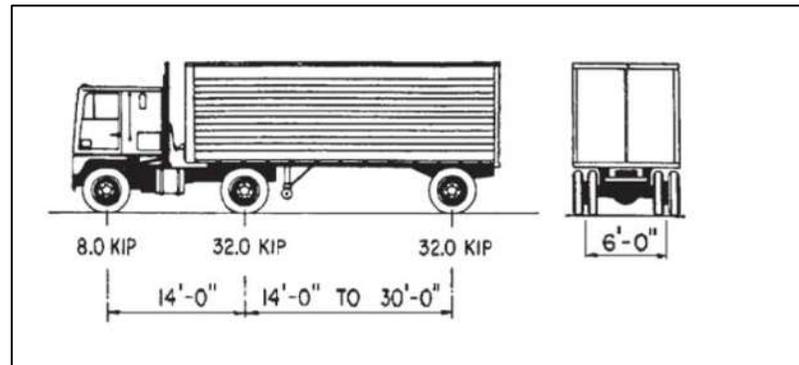
- **Diseño de cargas vivas de vehículos:**

La carga viva utilizada en el diseño de puentes es la HL-93, que representa la carga vehicular. Esta carga se compone de la combinación de un camión de diseño o un tándem de diseño, junto con una carga uniformemente distribuida.

Las características del camión de diseño son las mostradas en Figura 6, donde la distancia tomada entre los ejes de cargas de 32,0 kip esté entre 14,0 ft y 30,0 ft y producirá efectos extremos de fuerza.

Figura 6

Camión de diseño



Nota. Fuente: (MTC, 2018)

- El tándem de diseño consiste en dos ejes, cada uno con una carga de 25,0 kip, separados por una distancia de 4,0 ft. La distancia entre las ruedas traseras es de 6,0 ft.
- Se considera una carga distribuida uniformemente de 0,64 klf (954 kg/m) a lo largo de las secciones del puente donde pueda generar efectos desfavorables. Esta carga se distribuye transversalmente en un ancho de 10,0 ft (3,05 m).
- El área de contacto de los neumáticos de una rueda, ya sea simple o doble, se asume como un rectángulo de 20,0 in de ancho en dirección transversal al puente y 10,0 in en dirección longitudinal.
- **Aplicación de las cargas vehiculares vivas:** Las normas peruanas de diseño de puentes y las normas americanas establecen pautas para ubicar el camión o tándem de diseño de manera que se generen las solicitaciones extremas en los elementos estructurales del puente.
- **Posición de las cargas en dirección longitudinal:** Para determinar el efecto más crítico sobre el puente, las cargas se aplican longitudinalmente, ya sea de forma continua o discontinua, considerando las siguientes combinaciones:
 - El efecto combinado del tándem de diseño y la carga distribuida.
 - El efecto combinado del camión de diseño y la carga distribuida, ajustando la distancia para maximizar el efecto desfavorable.
 - El 90% del efecto de dos camiones de diseño, separados por al menos 50 ft, más el 90% del efecto de la carga distribuida. Esta combinación se utiliza en estructuras de vigas continuas para calcular el momento negativo máximo entre puntos de

contraflexión y la reacción en los pilares intermedios, con una separación de 14,0 ft entre los ejes de carga de 32,0 kip de ambos camiones.

- **Posición de las cargas en dirección transversal:**

Los carriles de diseño y la anchura de carga de 10,0 ft (3,05 m) se ubican de manera que generen las solicitaciones más extremas. Para el diseño del voladizo del tablero, el centro de las cargas de rueda del camión o tándem de diseño debe estar a una distancia mínima de 1,0 ft del borde del sardinel o baranda. Para el diseño de otros componentes, esta distancia mínima es de 2,0 ft desde el borde del carril de diseño.

A menos que se indique lo contrario, las longitudes o partes de los carriles de diseño que contribuyen a la solicitación máxima se cargan con la carga del carril de diseño.

2.2.3 Cargas de fatiga

En puentes son cargas repetitivas que actúan sobre la estructura durante su vida útil. Estas cargas pueden provocar la degradación gradual del material y, con el tiempo, pueden conducir a la falla del puente.

Tipos de cargas de fatiga en puentes:

- **Cargas vehiculares:** El paso continuo de vehículos sobre el puente genera cargas cíclicas en la estructura, principalmente en las vigas y losas. La magnitud y la frecuencia de estas cargas dependen del tipo de vehículo, la velocidad y el volumen de tráfico.
- **Cargas de viento:** El viento induce vibraciones en la estructura del puente, lo que genera cargas cíclicas adicionales. La severidad de estas cargas depende de la velocidad del viento, la forma del puente y la rigidez de la estructura.
- **Cargas sísmicas:** Los movimientos sísmicos generan aceleraciones en la estructura del puente, lo que produce cargas cíclicas de alta magnitud. La severidad de estas cargas depende de la intensidad del sismo y la respuesta sísmica del puente.
- **Otras cargas:** Además de las cargas mencionadas anteriormente, otros factores como la temperatura, la corrosión y los cambios dimensionales de los materiales también pueden contribuir a la fatiga en puentes.

El monitoreo del estado del puente y el control del tráfico pueden ayudar a reducir las cargas de fatiga y prolongar la vida útil del puente.

2.3 Fallas de las estructuras de puentes de concreto

Las fallas se definen como la pérdida parcial o total de la capacidad de un miembro o sistema de concreto para desempeñar su función de carga vehicular o peatonal de manera segura.

Las fallas en puentes de concreto se pueden clasificar en las siguientes categorías:

2.3.1 Fallas por construcción

Fallas relacionadas a la concepción y diseño del proyecto. Las fallas más comunes en esta etapa se dan por las siguientes razones:

- Estimación inadecuada de cargas y condiciones de servicio.
- Cálculos incompletos o uso incorrecto de software de análisis estructural.
- Ausencia de juntas de contracción, dilatación y construcción.
- Dimensionamiento incorrecto de elementos estructurales.
- Especificaciones de materiales insuficientes o inadecuadas.
- Detalles constructivos deficientes en los planos.
- Diseño arquitectónico inapropiado.
- Disposición o cantidad insuficiente de acero de refuerzo.
- Uso de especificaciones obsoletas.
- Sistemas de drenaje inadecuados.

2.3.2 Fallas por materiales

Fallas relacionadas con la elección de los materiales que con el tiempo van experimentando cambios en sus propiedades y características que permiten varios usos y aplicaciones. Su elección debe estar basada en sus usos previos, su composición la experiencia y su calidad.

Las fallas más comunes en esta etapa se dan por las siguientes razones:

- Falso fraguado del cemento, que altera la relación agua/cemento.
- Fraguado rápido, que reduce la adherencia y la resistencia.
- Baja resistencia del concreto, que causa fallas prematuras y reduce la durabilidad.
- Falta de control de calidad de los materiales.
- Uso de acero de refuerzo de baja calidad.

2.3.3 Fallas por construcción

Las fallas en puentes pueden surgir debido a deficiencias en los métodos de construcción, desviaciones de los planos y especificaciones del proyecto, así como errores generales en el diseño. Las causas más frecuentes de estas fallas durante la etapa de construcción incluyen:

- Diseño y cálculo inadecuado de los encofrados.
- Defectos o deformaciones en los encofrados.
- Falta de control de calidad de los encofrados.
- Incumplimiento de las tolerancias geométricas de los elementos.
- Arriostramiento inadecuado del acero de refuerzo.

2.3.4 Fallas por falta de mantenimiento

Estas fallas se deben a la falta de inspección y mantenimiento adecuados. Un programa de mantenimiento efectivo debe incluir:

- Inspecciones visuales y detalladas regulares.
- Análisis avanzados mediante técnicas de auscultación y monitoreo.
- Frecuencia de inspección adaptada al uso y las condiciones ambientales.
- Programas de mantenimiento preventivo, correctivo o de emergencia.

2.4 Inspección de puentes

Se entiende por inspección al conjunto de acciones de gabinete y campo, desde recopilación de información hasta la toma de datos en campo, a fin de conocer el estado del puente en un instante dado. (MTC, Guía de Inspección de Puentes, 2019).

La inspección de puentes tiene como objetivos principales garantizar la seguridad del tráfico sobre la estructura y detectar posibles deficiencias, recomendando acciones correctivas. Existen diferentes tipos de inspecciones, como la inicial o de inventario, la rutinaria o periódica, la de daños y la especial, que varían en intensidad, frecuencia y recursos utilizados. La elección del tipo de inspección puede ajustarse a lo largo de la vida útil del puente, dependiendo de las necesidades específicas en cada momento.

Figura 7*Tipos de inspección*

Nota. Fuente: (MTC, 2019)

2.4.1 Inspección inicial

La inspección inicial, conocida también como inspección de inventario consiste en una actividad previa de recopilación de información detallada del puente, así como el registro de las condiciones estructurales actuales visibles, con el fin de empezar con su gestión y establecer un inicio para la toma de decisiones que aseguren la seguridad y durabilidad de los puentes.

En esta etapa se documentan los detalles del puente, su historia, diseño, construcción, materiales e inspecciones pasadas. Se identifican todos los componentes estructurales del puente, se evalúan los riesgos potenciales considerando factores como el volumen de tráfico, condiciones ambientales, etc.

2.4.2 Inspección rutinaria

La inspección rutinaria, también conocida como inspección básica, se realiza para detectar el deterioro en sus etapas iniciales, con el fin de prevenir que estos daños se agraven. Además, busca identificar aquellos daños que requieren reparación inmediata.

Las labores de inspección rutinaria de puentes se pueden llevar a cabo conjuntamente con el mantenimiento de las carreteras de las que forman parte, tratando de utilizar los materiales, equipos y personal especial necesario para llevar a cabo esta tarea.

En las inspecciones básicas o rutinarias se observan en los elementos que componen el puente algunos de los siguientes aspectos: roturas, presencia de vegetales, estado de los sistemas de

evacuación de aguas pluviales, presencia de daños por impacto de los vehículos, verticalidad y alineamiento longitudinal, falta de elementos, falta de protección, presencia de corrosión, existencia de baches, asentamientos, desniveles en la vía, erosión de terraplenes, rotura de losa de transición, erosiones, socavaciones, desmoronamientos, deformaciones, socavación, grietas, corrosión de acero estructural, pandeo local, vibraciones excesivas, eflorescencia, carbonatación, fractura de elementos, humedad, ruidos, aperturas excesivas o escasas en juntas. De todos estos el más importante es la inspección de los sistemas de evacuación de aguas pluviales, esto debido a que su incorrecto funcionamiento genera humedad que conllevará a serios problemas estructurales.

En esta etapa se realiza el registro de los deterioros observados en los elementos estructurales y no estructurales del puente, como son la superestructura y la subestructura.

2.4.3 Inspección principal

La inspección principal implica una evaluación exhaustiva y detallada de todos los componentes de un puente, con el objetivo de asignar una calificación basada en una escala cualitativa preestablecida que refleje su estado general.

Se obtiene el estado general del puente que será la mayor calificación de uno de sus componentes previamente calificados. En este tipo de inspección se identifica el tipo de intervención que es necesario realizar en el puente, así como la necesidad de realizar una inspección especial.

En este tipo de inspección de puentes se identifican los daños presentes en cada uno de los elementos estructurales, realizando una evaluación tanto cualitativa como cuantitativa de los deterioros. El objetivo es determinar el estado de conservación del puente y verificar si cumple con los estándares de funcionalidad y seguridad requeridos.

Las inspecciones principales deben realizarse de preferencia dos inspecciones cada cinco años pudiendo ser más frecuentes dependiendo de los daños encontrados en inspecciones anteriores, de alguna situación imprevista y de los documentos de gestión o plan de mantenimiento, si los hubiera.

Este tipo de inspecciones suelen ser más profundas que las inspecciones rutinarias o básicas, pero siguen siendo visuales, este tipo de evaluaciones no se realiza de forma detallada puesto que no se utilizan medios auxiliares.

Se realizan en esta etapa una revisión visual del puente, el contorno, aleros, estribos, revestimientos o terraplenes y caras laterales, se revisa debajo de la estructura como pilas y tablero,

se revisa también la zona superior de la infraestructura como son el pavimento, las juntas, barandas, losas de transición, señalización horizontal y vertical.

El resultado de esta inspección principal es fichas de registros de datos generales, deterioro, identificación de los materiales, registro y detalle de los deterioros, la condición de cada uno de los elementos, estado de conservación, recomendaciones, observaciones.

2.4.4 Inspección especial

La inspección especial consiste en efectuar exámenes profundos en la estructura que incluyen ensayos de campo y laboratorio especializados.

Este tipo de inspección surge por la necesidad de conocimiento de una estructura que ha sufrido un deterioro importante por causas accidentales, o como consecuencia de inspecciones principales previas que sugieran la realización de inspecciones principales por desconocimiento de las causas de los daños o deterioros registrados.

En este tipo de inspecciones a diferencia de los anteriores se utilizan medios auxiliares como son andamios, grúas, etc. para el acceso a la cara inferior del tablero.

Cuando no se cuenta con datos originales de los puentes, se realiza la toma de muestras y ensayos que tienen como objetivos principales la caracterización de los materiales constituyentes de la infraestructura como su composición y resistencia, así como también los espesores de recubrimiento, cuantías de armado, disposición de acero, espesor de pavimento, entre otras que se logran con la apertura de calas o perforaciones en varios puntos de forma estratégica.

Una etapa dentro de esta inspección es la realización de los trabajos de levantamiento geométrico detallado de la infraestructura, sobre el cuál se hará el registro de patologías y servirá también para el desarrollo de un plan de intervención, una modelación de la estructura en un software informático para su cálculo y para la realización de planos del estado actual y de las reparaciones. El levantamiento topográfico es importante también para la determinación de la sección longitudinal y transversal al estudiar los sistemas de evacuación pluvial del puente.

De observarse asentamientos diferenciales y/o giros que podrían haberse generado por la baja capacidad portante del suelo, será necesario realizar estudios geotécnicos como sondeos y calicatas que proporcionen la estratigrafía y los parámetros del suelo y pueden ser resueltas de forma adecuada

por especialistas. Las patologías presentes debido a la capacidad portante baja del suelo se detectan por la presencia de grietas o giros o desniveles en la infraestructura.

Las inspecciones detalladas pueden incluir la aplicación de factores de carga para evaluar la capacidad remanente de los componentes estructurales que presentan daño o deterioro significativo. Se pueden llevar a cabo pruebas no destructivas para determinar la capacidad de carga segura del puente.

La norma AASHTO Manual for Bridge Evaluation (MBA), recomienda diferentes ensayos destructivos y semidestructivos para estructuras de puentes de concreto y acero. Algunos de los ensayos específicos, son:

- Se realizan análisis del suelo mediante la extracción de muestras para determinar sus propiedades geotécnicas.
- Se llevan a cabo pruebas con esclerómetros para evaluar la dureza superficial del concreto.
- Se determina la resistencia del concreto mediante la extracción y ensayo de probetas testigo.
- Se utilizan ensayos de ultrasonido para evaluar la integridad interna del concreto.
- Se evalúan las propiedades mecánicas del acero mediante ensayos de tracción.
- Se realizan análisis químicos del concreto para identificar posibles causas de deterioro, como ataques a la pasta de cemento o los agregados.
- Se mide la profundidad de carbonatación del concreto.

El resultado de la inspección detallada de un puente se presenta en un informe de evaluación, el cual analiza los daños y deterioros identificados en la estructura, evaluando su importancia y proponiendo una serie de acciones para su corrección. Con base en la información recopilada, se procede a la elaboración de un proyecto de reparación o rehabilitación de los componentes del puente que lo requieran.

2.5 Causas de fallas ocurridas en puentes

Un análisis de 143 colapsos de puentes registrados a nivel mundial entre 1847 y 1975 identificó nueve categorías principales de fallas. La causa más común fue el daño por inundaciones, seguida de fracturas por fragilidad, terremotos, vientos fuertes, daños accidentales, fallas en estructuras de acero tipo cajón, corrosión y fatiga de materiales.

En los EE.UU. se realizó una comparación entre el número de puentes que fallaron y las causas que provocaron estas fallas y se determinó que la inundación y la socavación es la causa más común en falla de puentes con 47%, la colisión tiene el segundo lugar con 15% y la sobrecarga con el 13% tiene la tercera causa principal de falla de puentes.

De las 1062 fallas totales registradas en puentes durante el periodo 1980 al 2012, 257 ocurrieron durante 2000-2012, 419 durante 1990-1999 y 479 durante 1980-1989, de estos, la causa de siete fallas no fue definidas claramente y se catalogan como otros en la siguiente tabla.

Tabla 3

Número de puentes fallados versus causas de fallas, por intervalos de 10 años (1980-2012)

Causa de falla	2000-2012	1990-2000	1980-1990	Total	Porcentaje
Causa interna	32	36	50	118	11,1%
Socavación	53	92	55	200	18,8%
Colisión	51	55	57	163	15,3%
Inundación	40	154	107	301	28,3%
Sobrecarga	37	31	67	135	12,7%
Fuego	12	10	8	30	2,8%
Viento	8	8	1	17	1,6%
Desgaste ambiental	23	22	26	71	6,7%
Terremoto	1	11	8	20	1,9%
Otros	2	3	2	7	0,7%
Total	259	422	381	1062	100,0%

Nota. Fuente: (MTC, 2019)

2.5.1 Causas internas

El año 2003 el Dr. Wardhana publicó un documento relacionado con las fallas de puentes en los estados unidos entre 1989 y 2000 en él intentó tabular las causas internas versus material utilizado, tipo de instalación y tipo estructural, encontrándose que:

Las principales causas internas de fallas en puentes de concreto se atribuyen a deficiencias en la ejecución de la construcción y errores en el diseño.

Durante la fase de construcción, la mayoría de los fallos (30 de 34) fueron consecuencia de deficiencias constructivas. En la etapa de servicio, la causa interna más común fue el defecto en los materiales, seguida por errores de diseño.

Entre las principales causas internas de la falla de puentes se tiene: el error de diseño, la falta de mantenimiento, deficiencia en la construcción y defecto del material.

2.5.2 Falta de mantenimiento

La falta de inspecciones adecuadas es una de las principales causas de fallos en puentes, pudiendo incluso agravar la situación y provocar su colapso. Los diseñadores de puentes asumen que se realizará un mantenimiento correcto al estimar la vida útil de sus proyectos. Por ello, es crucial identificar los elementos críticos durante la construcción y asegurar su fácil acceso para futuras inspecciones. El mantenimiento regular debe incluir la sustitución de piezas oxidadas, la limpieza de áreas de drenaje, la aplicación de nuevas capas de pintura y la adición de refuerzos si el tráfico aumenta significativamente.

2.5.3 Causas externas

Las principales causas que causaron las fallas en los puentes encontradas por el Dr. Wardhana se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Número de puentes que fallaron por causa de fallas externas

Falla por causas externas	2000-2012	1990-2000	1980-1990	Total
Inundación	40	154	107	301
Socavación	53	92	55	200
Colisión	51	55	57	163
Sobrecarga	37	31	67	135
Degradación ambiental	23	22	26	71
Fuego	12	10	8	30
Terremoto	1	11	8	20
Viento	8	8	1	17

Nota. Fuente: (MTC, Guía de Inspección de Puentes, 2019)

2.5.4 Sobrecarga

El peso y la frecuencia de los camiones son las dos causas principales de fallas en puentes, en especial en aquellos puentes con mayor antigüedad, esto debido a que los nuevos vehículos que circulan por la red nacional tienen cada vez más peso, por lo tanto, se deben considerar limitaciones de carga detalladas para evitar las fallas debido a la sobrecarga. El exceso de carga en los puentes puede acelerar el deterioro por fatiga en sus componentes estructurales.

De los 135 puentes que fallaron por sobrecarga en el estudio realizado por el Dr. Wardhana el 11% de ellos son de concreto y el 76% de todos estos colapsaron por completo.

2.6 Patología en puentes

La patología de puentes se enfoca en el estudio de las causas, consecuencias y manifestaciones de daños y defectos en estas estructuras. Estos problemas pueden surgir de una variedad de factores, incluyendo errores en el diseño o construcción, cargas vehiculares excesivas, envejecimiento natural, exposición a condiciones climáticas adversas y falta de inspección y mantenimiento adecuados.

2.6.1 Daños o defectos

Los daños o defectos en el concreto son alteraciones que comprometen la integridad de los elementos estructurales de un puente, afectando su comportamiento y durabilidad. Estas alteraciones, si no se detectan y reparan a tiempo, pueden llevar a fallas estructurales.

Según los estudios de inspección visual realizados por el INVIAS (Instituto Nacional de Vías, Colombia) en puentes durante los periodos 1996-1997, 2001-2002 y 2008-2009, los principales daños que provocan el deterioro de los componentes estructurales varían según el elemento considerado, y se describen a continuación:

Daños en la losa

Este elemento está presente en todos los tipos de tableros de puentes. Los daños más comunes encontrados en este elemento son:

Infiltración: se observa el deterioro del concreto de las losas debido a una disposición inadecuada de los drenes en el tablero que genera infiltración y empozamiento del agua sobre la superficie de rodadura y afecta la durabilidad de sus componentes aledaños. Las fallas en la losa de deben principalmente a la insuficiente o deficiente cantidad de drenes y longitudes inadecuadas de los mismos.

Daño estructural: producido por una deficiente capacidad del componente que no es capaz de resistir las cargas provenientes de la superficie de rodadura, se presentan debido a esto daños como son grietas por flexión primarias y secundarias que pueden estar acompañados con el desprendimiento de parte del componente.

Estos daños están relacionados con un inadecuado diseño que podía producir un colapso parcial o total de este elemento. las fisuras se presentan en forma de malla en la parte superior o inferior de la losa, también aparecen en la calzada. La presencia de un patrón sistemático de fisuras en la superficie de rodadura es un indicativo de problemas en la losa. Las grietas pueden también parecer con la sobrecarga de camiones que circulan por el puente y no cumplen con las normas legales o de peso máximo de circulación permitido para el puente.

Algunos de las causas que llevaron a estos daños son el espesor de losa menor al mínimo reglamentario, la mala calidad del concreto y el uso de acero de liso de refuerzo.

La presencia de fisuras de ancho considerable en una losa de puente es un indicador de que la estructura podría estar sufriendo una falta de capacidad estructural y estar sometida a esfuerzos que exceden su resistencia.; de acuerdo con el Comité ACI 224 en su documento ACI 224R-01 sobre el Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón, se tiene el siguiente cuadro de valores razonables de anchos de fisuras en hormigón armado bajo cargas de servicio:

Tabla 5

Anchos de fisuras razonables en hormigón armado bajos cargas de servicio

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	(in)	(mm)
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.012	0,3
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua	0,004	0,10

Nota. Fuente: (Comité ACI 224, 2001)

Para el diagnóstico relacionado con la presencia de grietas en losas se recomienda emplear las recomendaciones dadas por el Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL). Este recomienda:

- Si las fisuras son menores a 0,3 mm de ancho, se asume que las tensiones no son significativas y no se requieren intervenciones.

- Si el ancho de las fisuras se encuentra entre 0,3 y 0,6 mm, aunque las tensiones pueden ser elevadas, no representan un peligro inmediato.
- Un ancho de fisura superior a 0,6 mm indica tensiones elevadas y la posible existencia de problemas relacionados con la capacidad de carga de la estructura.

Daño concreto/corrosión de refuerzo y acero expuesto: este tipo de daño están relacionados a procesos constructivos deficientes que se evidencian con la presencia de cangrejeras o hormigueros y aceros expuestas así también por segregación y juntas frías no adecuadas. En estos casos se pueden presentar grietas no estructurales de retracción o fraguado que pueden ser identificados; grietas en el concreto causadas por corrosión del acero que hacen que el concreto se hinche internamente y produzca fisuras longitudinales paralelas al acero de refuerzo; el deterioro de las losas de puentes puede originarse por deficiencias como la carbonatación o la disminución del pH del concreto. Estas condiciones exponen el acero de refuerzo, haciéndolo vulnerable a la corrosión. Asimismo, un alto contenido de sulfatos y cloruros, especialmente en puentes ubicados en ambientes agresivos, puede provocar daños visibles a través de eflorescencias, que son depósitos de sales cristalizadas blanquecinas que se manifiestan como manchas en la superficie del concreto.

Daños en la superficie de rodadura

La superficie de rodadura cumple la función de generar en el tablero de los puentes una rugosidad adecuada para el paso de vehículos y camiones.

Los daños típicos que presentan en este elemento en base a las diferentes inspecciones visuales realizadas en puentes por el Instituto Nacional de vías, del Gobierno de Colombia, son:

Asentamiento: el asentamiento de los terraplenes que dan acceso a un puente afecta el estado de la superficie de rodadura cerca de las juntas de dilatación.

Descomposición: en los tableros de puentes con superficies de rodadura asfálticas, es común observar desconchados y baches generalizados en la capa de asfalto. Estos problemas suelen ser el resultado de un diseño deficiente, una construcción inadecuada o el uso de materiales de baja calidad.

Infiltración: en los puentes de carpeta de rodadura de concreto o asfalto, la acumulación de agua puede provocar la descomposición de los materiales, esta situación, combinada con una capacidad estructural insuficiente del pavimento, suele ser el resultado de desniveles en la superficie y un manejo deficiente de los sistemas de drenaje y evacuación de aguas pluviales.

Daño estructural: en algunos casos, el pavimento de la superficie de rodadura no tiene la capacidad estructural para soportar las cargas que circulan, esta falla se puede observar en la superficie de rodadura cuando esta presenta fisuras de diferente tipo, como la fisura tipo cocodrilo

Otros: otros tipos de daños no frecuentes en la superficie de rodadura son causados por vibraciones excesivas o impacto.

El ‘Manual de Carreteras-Conservación Vial’, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el volumen I, nos muestra los tipos de deterioros/fallas y niveles de gravedad en pavimentos flexibles en calzada y berma. sin embargo, en un puente de concreto con carpeta de rodadura no tiene una función estructural predominante, siendo su función principal la protección de la losa de concreto contra gientes atmosféricos, el desgaste por el tráfico y los productos químicos.

Daños en aceras y sardineles

Las aceras llamadas también andenes están diseñados para el paso de los peatones y los sardineles o bordillos para servir de apoyo y evitar que se salgan los vehículos del puente.

Los daños típicos que presentan en este elemento en base a las diferentes inspecciones visuales realizadas en puentes por el Instituto Nacional de vías, del Gobierno de Colombia, son:

Daño estructural: este tipo de daños se identifican por grietas o deformaciones debido a la falta de capacidad estructural debidas a posibles deficiencias en su construcción o por la mala calidad de sus materiales que puede estar combinado con impacto o con juntas de construcción mal construidas.

Impacto: estos son producidos por accidentes de vehículos y camiones y se presentan tanto en veredas como en sardineles.

Asentamiento: el asentamiento de los terraplenes de acceso o en las pilas afectan la estabilidad de estos componentes.

Daño en concreto y acero expuesto: este tipo de daños se presenta en hormigueros o cangrejeras en el concreto combinado con acero expuesto consecuencia de un mal diseño o un deficiente proceso constructivo. Este tipo de daño son producidos por carbonatación o baja de PH del concreto que provoca que el acero de refuerzo quede expuesto, por sulfatos, por materia orgánica, cloruros y otros.

Se observan aceros expuestos acompañados de indicios de corrosión con óxido, grietas no estructurales por construcción y retracción de fraguado.

Descomposición: este daño se refiere al desprendimiento del recubrimiento de concreto debido a un inadecuado diseño y está relacionado con procesos constructivos deficientes y está causado por infiltración.

Otros: daños ocasionados por vibraciones o infiltración y la ausencia del elemento que puede ocasionar accidentes al no evitar las colisiones o accidentes al no evitar que los vehículos salgan del puente.

Daños en barandas

Las barandas tienen la función de evitar que los vehículos salgan del puente, así como evitar que los peatones caigan del puente.

Los daños típicos que presentan en este elemento en base a las diferentes inspecciones visuales realizadas en puentes por el Instituto Nacional de vías, del Gobierno de Colombia, son:

Impacto: estos son producidos por accidentes de vehículos y camiones los que ocasionan la disminución de la funcionalidad de las barandas, pudiendo generar el desprendimiento total del elemento.

Corrosión del acero estructural: este tipo de daños se presenta por falta de pintura de protección que provoca la corrosión de elementos de acero estructural en el caso de barandas de acero o mixtos.

Daño en concreto y acero expuesto: estos daños se presentan debido a los deficientes procesos de construcción y se detectan por la presencia de acero expuesto y hormigueros en los componentes de las barandas de concreto. La corrosión en los elementos de un puente se produce cuando el concreto pierde su capacidad de protección debido a la carbonatación o a una disminución del pH. Estos factores impiden que el recubrimiento de concreto proteja adecuadamente el acero de refuerzo, lo que lo hace vulnerable a la oxidación.

Otros:

- Ausencias de barandas ocasionados por impacto de vehículos.
- Desniveles de este elemento por asentamientos de pilas y/o estribos.
- Componentes afectados por daño estructural, como la corrosión del refuerzo.
- Vibraciones.
- Descomposición.
- Infiltración.

Daños en Estribos

Los estribos, cuya función principal es sostener las cargas verticales de la superestructura y resistir los empujes horizontales del suelo de relleno, tanto estáticos como dinámicos, son susceptibles a los siguientes daños típicos:

Daño estructural: este daño se presenta por un inadecuado diseño provocando una deficiencia estructural de este elemento y quitándoles la capacidad de soportar los empujes horizontales de tierra provenientes de los suelos de los terraplenes de acceso, este daño también le quita la capacidad de soportar cargas verticales provenientes de la superestructura. Estos daños se manifiestan en grietas o fisuras en los estribos y están relacionados con problemas de durabilidad y calidad de concreto.

Asentamiento y socavación: provocados por asentamiento y/o socavación que producen la inestabilidad estructural de este elemento y pone en riesgo la estabilidad de las aletas, del terraplén de acceso y de la subestructura estos daños se manifiestan por la rotación de estribo la separación de la aleta y en forma de grietas.

Cuando se presentan daños por socavación se pierde el soporte de la cimentación de los estribos, se puede observar en este tipo de daños huecos pilotes descubiertos y vacíos debajo de las zapatas de cimentación, así también.

La socavación de los terraplenes de acceso de las aletas y de los estribos se producen también cuando el área hidráulica no es suficiente, esto significa que la luz del puente no es la adecuada.

Daño en concreto, acero expuesto y corrosión: este tipo de daños se presenta en los estribos por procesos deficientes en su construcción, pudiéndose observar hormigueros o cangrejas y acero de refuerzo expuesto. Este tipo de daño son producidos por carbonatación o baja de PH del concreto que provoca que el acero de refuerzo quede expuesto, que el recubrimiento de concreto no proteja adecuadamente y sea vulnerable a la corrosión, además puede deberse a un alto contenido de sulfatos y cloruros especialmente de puentes en zonas costeras. En este tipo de daños se observan grietas no estructurales cambios de color que indican la presencia de humedad.

Infiltración: los daños por infiltración en los estribos de concreto provienen de las juntas de dilatación que muchas veces carecen de sello y son permeables lo que con el tiempo provoca la disminución de la capacidad de carga de este elemento y su deterioro.

Daños en Aletas

Estos componentes conjuntamente con los estribos tienen la función de resistir los empujes horizontales del suelo de relleno, tanto estáticos como dinámicos.

Las aletas pueden ser construidos de forma separada o monolítica con los estribos.

Los daños típicos que presentan en este elemento en base a las diferentes inspecciones visuales realizadas en puentes por el Instituto Nacional de vías, del Gobierno de Colombia, son:

Daño estructural: este tipo de daños ocurren por deficiencias en la construcción que provoca que las aletas no sean capaces de soportar las cargas actuantes para las que fueron diseñados; además se presentan como productos de un inadecuado diseño, geometría, cimentación y unión inapropiada con el estribo.

Infiltración: es el daño que se presenta con mayor frecuencia en las aletas siendo uno de los principales, se presenta por una insuficiente capacidad de drenaje de aguas pluviales en la vía o por la ausencia de estas.

Asentamientos: este tipo de daños provocan rotaciones o deformaciones de las aletas como producto de asentamientos de su cimentación debido a que su diseño no fue el adecuado.

Erosión y socavación: este tipo de daños provocan el movimiento y desplome de las aletas por socavación lateral del cauce en sus cimentaciones provocando una inestabilidad por socavación además que pone en peligro la estabilidad de los terraplenes de acceso. En este tipo de daño se observan grietas y o rotaciones en la estructura de las aletas que pueden ser fácilmente identificadas visualmente.

Daño concreto/corrosión de refuerzo: este tipo de daño son producidos por carbonatación o baja de PH del concreto que provoca que el acero de refuerzo quede expuesto, que el recubrimiento de concreto no proteja adecuadamente y sea vulnerable a la corrosión, además puede deberse a un alto contenido de sulfatos y cloruros especialmente de puentes en zonas costeras. En este tipo de daños se observan grietas no estructurales cambios de color que indican la presencia de humedad.

Daño del concreto y acero expuesto: Este tipo de daños se presenta en las aletas por procesos deficientes en su construcción. En este tipo de daños se presentan hormigueros y el refuerzo de acero expuestos.

Daños en Pilas

Este elemento tiene la función de sostener las cargas verticales provenientes de la superestructura y las fuerzas sísmicas que actúan sobre el puente. Los daños típicos presentes en este elemento son:

Infiltración: los daños por infiltración en las pilas provienen de la infiltración proveniente de juntas de dilación que muchas veces carecen de sello y son permeables lo que con el tiempo provoca la disminución de la capacidad de carga de este elemento y su deterioro.

Daño estructural: las deficiencias en la construcción pueden llevar a que las pilas de un puente no sean capaces de soportar las cargas sísmicas o las cargas verticales de la superestructura. Esto se manifiesta en la aparición de grietas por flexión y por cortante.

Impacto: estos daños son producidos por impactos sobre las pilas de rocas debido a crecientes sobre el concreto de las pilas del puente.

Erosión y socavación: este tipo de daños pueden ser consecuencia de movimientos y deslizamientos provocados por la erosión lateral del lecho del río, afectando la cimentación. Esta socavación puede resultar en la pérdida de soporte y la inestabilidad de las pilas, lo que incrementa el riesgo de colapso del puente.

Daño en concreto, acero expuesto y corrosión: estos daños se manifiestan a través de grietas no estructurales y cambios de color, indicativos de humedad. Estos problemas son consecuencia de deficiencias en la durabilidad del concreto, ya sea por carbonatación o por una disminución del pH. Estas condiciones impiden que el recubrimiento de concreto proteja adecuadamente el acero de refuerzo, lo que lo hace vulnerable a la corrosión.

Asentamiento: se presentan deformaciones en las pilas producto de asentamientos de su cimentación debido a que este componente no está diseñado correctamente. En este tipo de daños se presentan deformaciones longitudinales en la superestructura que se reflejan en las barandas y movimientos o desplomes debido a la socavación lateral de la cimentación de las pilas.

Descomposición: este tipo de daño es producto de la falta de mantenimiento sobre las pilas que genera la descomposición del concreto en este elemento.

Otros: producto de vibraciones u otros que afecten la durabilidad.

Daños en Conos y taludes

Están localizados cerca a los estribos y aletas y forman parte del terraplén de acceso. Los daños típicos presentes en este elemento son:

Erosión y socavación: este tipo de daños consiste en la inestabilidad de taludes adyacentes los estribos y a las aletas del puente producto de erosión, socavación o de una mala conformación de su relleno. Esta falla se puede detectar por el movimiento lento del terreno pudiéndose detectar con la inclinación de los troncos de árboles o escalonamientos de la superficie o por la rotación de elementos como suelo o roca alrededor de un punto de bajo en la parte inferior. Otra falla en los taludes se presenta por socavación de lateral.

Infiltración: erosión de taludes adyacentes a los estribos generada por un manejo inadecuado de las aguas de escorrentía.

Otros: otros tipos de daño son los relacionados con problemas de estabilidad de taludes, por una inadecuada construcción o falla estructural.

2.7 Pruebas no destructivas in situ

En las inspecciones especiales las auscultaciones de la estructura incluyen ensayos especializados en campo y laboratorio.

El manual puentes existentes en Estados Unidos recomienda diferentes ensayos destructivos y semidestructivos para estructuras de puentes de concreto y acero. Algunas de las inspecciones especiales son:

2.7.1 Prueba del pachómetro

La prueba de pachómetro, también conocida como prueba de cover meter o determinación de recubrimiento, es un método no destructivo que se utiliza para medir el espesor del recubrimiento del acero de refuerzo en una estructura de concreto armado. La prueba se realiza para conocer la durabilidad de la estructura, ya que el recubrimiento de concreto protege el acero de la corrosión. La prueba de pachómetro se encuentra normada en la Norma Técnica Peruana NTP 339.182:2013 - Determinación del recubrimiento de concreto en estructuras de hormigón armado mediante métodos no destructivos. Esta norma define los pasos a seguir para llevar a cabo la prueba de pachómetro.

Procedimiento general para la prueba de pachómetro:

- a) Preparación de la superficie: la superficie del concreto debe estar limpia y seca.
- b) Condicionamiento del equipo: el pachómetro debe estar calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- c) Realización de la prueba: se deben realizar un mínimo de diez lecturas en diferentes puntos de la superficie del concreto.

2.7.2 Prueba de esclerómetro

La prueba de esclerometría es un método no destructivo utilizado para estimar la resistencia a la compresión de los elementos de concreto. Esta prueba se basa en el principio de que la altura de rebote de un martillo sobre una superficie de concreto está relacionada con la resistencia del concreto. La prueba de esclerometría se encuentra normada por la Norma Técnica Peruana NTP 339.181:2013 – Esclerometría, esta norma establece las pautas para llevar a cabo la prueba de esclerometría.

Procedimiento general para la prueba de esclerometría:

- a) Preparación de la superficie: La superficie debe estar limpia, seca y libre de irregularidades.
- b) Condicionamiento del equipo: El esclerómetro debe estar calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
- c) Realización de la prueba: Se deben realizar un mínimo de 10 lecturas en diferentes puntos de la superficie del concreto.

2.7.3 Monitoreo e instrumentación de elementos sometidos a cargas vivas

Con esta labor se pretende conocer las fuerzas internas reales que tienen los elementos principales del puente, así verificar el nivel de estas fuerzas comparadas con las que la normativa de cada país establece.

Para determinar la acción de las cargas de tráfico sobre algunos de los elementos principales del puente, se pueden emplear diferentes tipos de instrumentación y monitoreo electrónico. Algunos consisten en LVDT (Transductor diferencial de variación lineal) o Strain gages (galgas extensiométricas), además permite investigar los niveles de sollicitaciones generadas por la carga viva y compararlas con las del diseño calculadas empleando el camión de acuerdo a las normas vigentes, así como calibrar los modelos estructurales a través de pruebas de carga y medir los desplazamientos verticales a tiempo real.

2.8 Descripción de la calificación global del puente y sus variables

La calificación propuesta en la GIP consta de seis niveles como se muestra en la tabla 6. Para calificar el puente en una de las categorías de condición, este método considera tres variables:

Grado de daño (GD): esta variable cuantifica la magnitud del deterioro observado en los componentes del puente y utiliza una escala numérica de 0 a 3 para asignar un valor al daño.

Relevancia estructural (RE): esta variable evalúa la importancia de cada elemento dentro del sistema estructural del puente. Se aplica a todos los componentes del puente y su entorno y los valores de esta variable van de 1 a 4, y su valor depende de la función del componente y de las consecuencias para la estructura de los daños o fallas del elemento en la estructura.

Factor de consecuencia de falla (FCF): esta variable considera los efectos de un fallo en los elementos del puente, evalúa las consecuencias en términos económicos, el riesgo para la vida o lesiones de los usuarios, y la importancia operacional del puente; también se toma en cuenta el tipo de falla probable en los elementos y el grado de daño.

Tabla 6*Niveles de calificación cualitativa*

CONDICION	DESCRIPCION	NECESIDAD DE ATENCIÓN
1 SATISFACTORIA	Buen estado. Sin daño a los daños son leves. La estabilidad estructural, seguridad vial y durabilidad están aseguradas.	Labores de mantenimiento rutinario preventivo.
2 ADECUADA	Deficiencias no afectan el funcionamiento adecuado del puente, en donde los elementos principales ¹ pueden presentar deterioros que afecten únicamente por durabilidad. Deterioros deben ser tratados por aspectos de durabilidad, evitar la progresión del daño en elementos secundarios ² , o procurar un adecuado nivel de seguridad vial a los usuarios.	Reparaciones menores que se programan en conjunto con el siguiente mantenimiento periódico del puente
3 DEFICIENTE	Deterioro significativo que podría afectar aspectos funcionales pero los componentes estructurales del puente funcionan aún de forma adecuada, sin impacto en los márgenes de seguridad estructural. Daño o defecto en seguridad vial riesgoso para los usuarios	Es necesario programar una intervención no rutinaria en conjunto con el siguiente mantenimiento periódico
4 SERIA	Puente estable, pero con deterioro en uno o varios elementos estructurales primarios, o falla en secundarios, que reducen significativamente los márgenes de seguridad estructural. Si no se trata la progresión del deterioro, este podría conducir a una situación inestable a futuro. Deficiencia en seguridad vial muy riesgosa para los usuarios	Atención pronta. Se recomienda atender pronto el puente para evitar la progresión del daño. Se debe atender una situación peligrosa en la seguridad vial de forma prioritaria incluyendo el señalamiento al usuario de la condición de tránsito riesgosa
5 ALARMANTE	Le estabilidad de la estructura puede estar comprometida en un periodo de tiempo corto debido a la progresión activa del daño, o la deficiencia compromete (o podría comprometer en el corto plazo) parcial o totalmente el tránsito vehicular sobre el puente	Atención prioritaria. Los trabajos de rehabilitación son prioritarios y se recomienda colocar señales visibles al usuario indicando la condición riesgosa del puente. Según el tipo de daño, es posible que sea necesaria una evaluación de la capacidad estructural actual de la infraestructura para juzgar si es necesario restringir su uso.
6 RIESGO INACEPTABLE	Condición de deterioro no aceptable en puentes de importancia muy alta o situación de puente inestable con riesgo alto de colapso. Daño severo en un elemento crítico ³ o daños severos extendidos sobre varios elementos principales. Daño irreversible que probablemente requiera el cambio del puente o una rehabilitación mayor.	Atención in mediata. Cerrar el puente o restringir su uso inmediatamente. Evaluar la necesidad de colocación de soportes temporales o un puente temporal. Realizar una evaluación estructural con propuesta de rehabilitación o cambio de puente, e iniciar proceso de rehabilitación o de construcción de una estructura nueva.

1 Elementos principales: tablero, vigas principales de superestructura, torres, cables, apoyos, pilas, bastiones, cimentaciones, y elementos de refuerzo o rehabilitación estructural sobre elementos principales.
2 Elementos secundarios: dispositivos y señalamiento de seguridad vial, elementos de los accesos y obras/dispositivos/señalamiento/tratamientos de protección contra eventos extraordinarios (impacto vehicular, sismo, avenida) o durabilidad por
3 Elemento crítico: elemento principal no redundante cuyo falla lleva al colapso de la estructura.

Nota. Fuente: (MTC, 2019)

2.8.1 Pasos para determinar la calificación de puentes

Para la calificación visual de la condición estructural del puente según el Manual de Inspecciones de Puentes, GIP del MTC se siguen seis pasos, los cuales son:

Información preliminar e inspección visual del puente

Se realiza la búsqueda de información básica del puente como los planos destructivos, la fecha de construcción, el historial de inspecciones mantenimiento y características del tránsito, con estos datos se determina la importancia operacional y el rango de vida remanente.

Tabla 7

Calificativos de puentes según su importancia operacional y vida residual

Importancia Operativa y Económica del Puente	Vida Remanente del Puente ASL (vida útil entre 50 y 75 años)
Convencionales (CO)	ASL 1 (menor a 15 años)
Esenciales (E)	ASL 2 (15-50 años)
Críticos (CR)	ASL 3 (mayor a 50 años)

Nota. Fuente: (MTC, 2019)

Vida de servicio remanente

En la estimación de la vida remanente del puente se tomará en cuenta la edad, la condición estructural, la especificación utilizada para el diseño y la capacidad para soportar el tránsito actual y futuro, el efecto de los deterioros producidos por las cargas permanentes y temporales en la capacidad sismorresistente del puente.

Relevancia estructural, RE, e identificación de componentes del puente

Se les asigna un valor de Relevancia Estructural, RE a todos los elementos que fueron listados en orden de relevancia, de acuerdo a su función en el puente y la consecuencia de su falla sobre la estructura. Se toma en consideración además la seguridad vial, durabilidad y protección del entorno.

La Tabla 8 presenta los componentes de un puente que están diseñados para proteger la estructura frente a eventos sísmicos e hidrológicos. Para evaluar la eficacia de estos sistemas de protección, se considera que la magnitud de los eventos puede variar con el tiempo. Por lo tanto, se incluye la variable ASL (vida útil remanente de la estructura) para tener en cuenta esta variabilidad.

Tabla 8

Relevancia estructural, RE, sugerida para varios componentes del puente

TIPO DE FALLA DEL COMPONENTE	RE = 1	RE=2	RE=3	RE=4
A: Servicio, Seguridad Vial y Durabilidad	+ Juntas de Expansión +Seguridad Vial: - Señalización - Iluminación - Drenaje en Puente +Superficie de ruedo +Durabilidad - Pintura estructura	+Seguridad Vial*: - Barreras vehiculares en puente - Aceras Juntas de expansión**		
B: Falla elemento secundario, de entorno o de Protección	+Accesos: -Barrera vehicular -Drenaje en acceso -Manejo de aguas	+Protección: -Altura o carga máxima +Accesos: - Relleno y losa de aproximación - Muros de contención +Aletones y muros +Superestructura: - Diafragma - Arriostres (superior o inferior)	+Superestructura: - Diafragma (sesgo>30°) - Vigas transversales y largueros de piso - Armadura/viga rigidizadora (colgantes o atirantados) +Rehabilitación: - Postensión externa Recalce o pilas adicionales	
C: Redundante: Falla del elemento principal de forma individual no causaría necesariamente colapso del puente		+Rehabilitación: - Refuerzo con fibra en vigas y losas - Refuerzo con fibra en pila - Refuerzo/adición de vigas +Apoyos: - Elastomérico sencillo - Elastomérico reforzado	+Tablero + Superestructura: - 4 o más vigas de concreto o acero - Puente tipo cajón - Cuerpo arco de concreto - Elemento secundario en cercha +Unión rígida (puente tipo marco) +Bastión: -Cabezal y cuerpo -Cimiento sobre pilotes +Pila: -Cuerpo muro o marco con pantalla -Viga cabezal -Pilotes múltiples de acero +Colgantes y atirantados -Cables secundarios y sus anclajes	+Superestructura - Estructura de madera - Elemento primario en cercha +Pila: - Cimiento pilotes sobre pilotes
D: No redundante: Falla de elemento principal podría causar colapso total, o una falla grave para funcionamiento del puente			+ Apoyos: - Apoyo en cerchas metálicas - Expansivo (rodillo, pin, etc.) - Apoyo fijo en cerchas metálicas - Apoyos tipo pot bearing, de disco, esféricos y cilíndricos - Aislamiento sísmico +Bastión: Cimiento superficial	+Pila: - Columna - Cuerpo tipo marco - Cimiento superficial o desconocido +Superestructura - Puente con 3 o menos vigas de concreto o acero - Puente de arco de - mampostería o acero +Colgantes atirantados Torres Cables primarios y sus anclajes
PS: Elemento entra en función en caso de sismo	Puentes ASL1	Puentes ASL2	Puentes ASL3	
PH: Elemento entra en función solo en caso flujos de detritos, crecida del río ³	0°	Puentes ASL2 y Puentes ASL1 ¹	Puentes ASL3	
	V° Puentes ASL2 y Puentes ASL1 ¹	Puentes ASL3		
	R° Puentes ASL3			
NOTAS: **cuando se tenga una gran apertura peligrosa a usuarios o el tránsito deba reducir la velocidad °Amenaza hidrológica (evidenciada por ejemplo mediante la recurrencia de "overtopping" sobre la estructura): O=Ocasional (acurre cada 10 años o menos), V=Una vez en la vida (se estima un evento importante ocurre al menos una vez en la vida, ≈ 50 años), R= Remota (≈cada 100 años). Consultar para su estimación a vecinos y los estudios hidrológicos con los que cuente la estructura ¹ Vida de servicio remanente: ASL1 (Menor a 15 años) / ASL2 (Entre 15 años y 50 años) / ASL3 (Mayor que 50 años) ³ No Aplica en pasos a desnivel				

Fuente (MTC, Guía de Inspección de Puentes, 2019)

Determinación de grados de daño, GD

Se identifican los elementos, se clasifican los daños observados por elementos, se calcula la extensión y severidad de los daños y luego se le asigna un valor de grado de daño, GD.

La peligrosidad y magnitud del daño se ven reflejadas en esta variable, su uso es fundamental a la hora de definir una estrategia de intervención.

Tabla 9

Rango de valores de GD según las consecuencias de durabilidad, funcionales o estructurales

CONSECUENCIA DEL DAÑO	GD = 0		GD = 1	GD = 2	GD = 3	
DURABILIDAD	X		X			
FUNCIONAL		X	X	X		X
ESTRUCTURAL			X	X	X	

Nota. Fuente (MTC, Guía de Inspección de Puentes, 2019)

- Los daños estructurales son aquellos que generan afectaciones estructurales evidentes como destrucción del material, agrietamientos de más de 3mm, desplazamientos o deformaciones excesivas ruptura de elementos, pérdida de sección.
- Los daños de durabilidad son aquellos que afectan la protección e incrementan la exposición al daño y suelen estar relacionados con los daños estructurales como agrietamiento, corrosión o pérdida de sección por descascaramiento.
- Los daños en los puentes que afectan su durabilidad son el recubrimiento insuficiente, pintura deteriorada o inapropiada, microagrietamientos y oxidación.
- Los daños funcionales son aquellos que no comprometen la integridad estructural de la construcción, pero sí afectan su operatividad y la calidad del servicio que presta a los usuarios, siendo los elementos que presentan estos daños, la superficie de rodadura, las juntas de expansión, seguridad, accesos y drenajes.

Grado de consecuencia de falla, CFC

Una vez identificados los elementos y asignados su grado de daño GD y relevancia estructural RE, se determina el valor del Factor de Consecuencia de Falla FCF el que se escoge según sean las

consecuencias de su falla y relevancia sobre el puente RE(tabla 8) y la importancia del puente en términos de las consecuencias en caso de colapso o de una restricción o prohibición (tabla 10).

Una variable adicional es el denominado C+, ideado para puentes de gran importancia estratégica, económica y que su colapso representa un alto riesgo.

Tabla 10

Definición de niveles de consecuencia de falla

CONSECUENCIA		FCF	DESCRIPCIÓN
Nivel 1:	BAJA	0.7	Consecuencias leves sin riesgo de pérdida de vidas o lesiones, molestias a usuarios, servicio puede ser afectado en períodos cortos (Puentes Convencionales "CO").
Nivel 2:	MODERADA	0.85	Consecuencias moderadas. Riesgo leve de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica considerable (Puentes Esenciales "E").
Nivel 3:	ALTA	1	Consecuencias altas. Riesgo moderado de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica alta (Puentes Críticos "CR").
Nivel 4:	SEVERA	1.15	Consecuencias muy altas. Riesgo alto de pérdidas de vida o lesiones. Consecuencia económica muy alta (Puentes Críticos con TPD > 50000 vehículos "CR+").

Nota. Fuente (MTC, Guía de Inspección de Puentes, 2019)

Calificación de los elementos del puente, CE

Los tres factores calculados se combinan para determinar la calificación de los elementos del puente. El valor de la calificación del elemento, CE, varía de 1 a 6, se determina redondeando a un valor entero el resultado de la siguiente ecuación.

$$CE_i = \begin{cases} 1, & \text{si } GD = 0 \\ \lceil \{Entero(FCF \times RE)\} - 1 \rceil + GD, & \text{si } GD \neq 0 \end{cases} \quad (2.1)$$

CE_i : calificación del componente "i" del puente.

2.8.2 Clasificación global del puente CP

La calificación global (CP) del puente se asigna en función del elemento con mayor puntaje obtenido, el cual se describe mediante la siguiente ecuación:

$$CP = \text{máx}(CE_i) \quad (2.2)$$

Esta metodología de evaluación considera que un puente está compuesto por elementos individuales, pero también lo analiza como un sistema integral. Se asume que el fallo del elemento más débil del puente conduce al fallo de toda la estructura.

El valor de CP permite una evaluación objetiva de la condición final del puente después de ser evaluado y según el estado en el que se encuentre se tomarán las acciones necesarias para su conservación y/o rehabilitación.

CAPITULO III.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.1 Tipo de investigación

- Objetivo: aplicada, se centra en la aplicación práctica de los resultados obtenidos.
- Diseño de la prueba: no experimental, se emplea un diseño no experimental que observa y describe fenómenos en su entorno natural, tal como ocurren.
- Marco temporal: transversal, se recopilan datos en un momento específico.
- Fuente de los datos: primaria, la información utilizada es recopilada directamente de la fuente original.
- Estrategia y enfoque metodológico: se utiliza una estrategia de investigación de campo, enfoque mixto que combina enfoques cuantitativos y cualitativos.
- Finalidad: investigación orientada a la aplicación práctica de los resultados.
- Control de diseño de prueba: diseño no experimental, donde no se manipulan variables independientes.
- Temporalidad: estudio transversal, que recopila datos en un momento específico.
- Fuente de datos: primaria.
- Estrategia y enfoque metodológico: estrategia investigación de campo, enfoque mixto.

3.2 Universo, población y muestra

3.2.1 Universo

La población está conformada por el Puente Cachimayo.

3.2.2 Muestra

La muestra está conformada por la superestructura del Puente Cachimayo, la losa.

Para la instrumentación referida al monitoreo de los elementos sometidos a cargas vivas será el tramo del puente sobre los carriles de circulación de la Av. Los Manantiales.

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1 Técnicas

La recolección de datos será mediante técnicas de observación, la misma que será directa, estructurada y de campo.

Se utilizarán las siguientes técnicas de recolección de datos:

a) **Recolección de medidas de la configuración estructural-levantamiento Geométrico**

La configuración del puente, así como de los elementos que componen la superestructura del Puente Cachimayo fueron obtenidos por medio de la medición directa en campo, mediante un levantamiento topográfico.

b) **Medición de la resistencia de los materiales**

Las propiedades de los materiales fueron obtenidas mediante el ensayo no destructivo de esclerometría para el concreto usándose la técnica de ensayo de esclerometría o Rebound Hammer Test recomendado en el Manual de Evaluación de puentes de la AASHTO (2013) y sigue las especificaciones de las normas: NTP 339.181(2001), MTC E 725, ASTM C 805. y la información proporcionada por el fabricante para el acero de refuerzo.

c) **Monitoreo de elementos sometidos a cargas vivas mediante un sistema electrónico**

Para la determinación de los efectos de las cargas reales que actúan sobre la superestructura del puente se realizaron mediciones en la superestructura apoyados de un sistema electrónico de monitoreo e instrumentación.

d) **Aforos y clasificación de tráfico**

Con el objetivo de determinar el tráfico, cuantificar y clasificar el tipo de vehículo que circula por el Puente Cachimayo, se realizó un conteo de vehículos tomando como estación de conteo el Puente Cachimayo.

Las características del conteo realizado en el Puente Cachimayo, son:

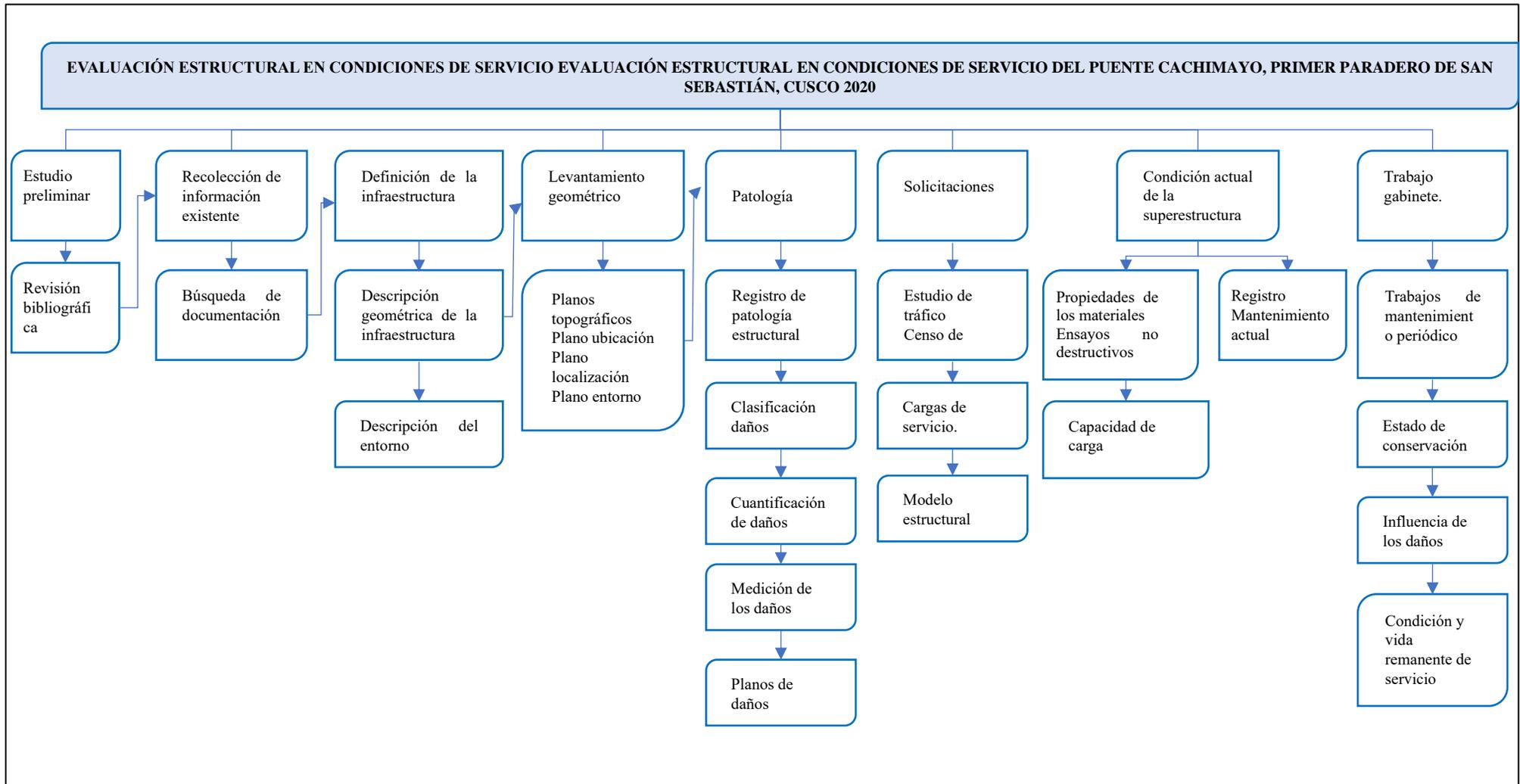
- El conteo fue realizado durante 7 días, lunes a domingo.
- Los conteos fueron realizados durante las 24 horas.
- Los conteos vehiculares fueron realizados de 15 en 15 minutos y cerrados hora por hora para identificar variaciones horarias.

3.3.2 Instrumentos

Se utilizarán fichas de recolección de datos de campo, medición con instrumentos topográficos como el distanciómetro y estación total, equipo electrónico con galgas extensiométricas, fotografías, los softwares CSiBridge y Exel.

Figura 8

Metodología a seguir



Nota. Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV.- RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1 Inspección inicial, rutinaria y principal

La inspección inicial como actividad previa necesaria ser realizó para obtener datos del puente como, su localización, el tipo de puente, materiales utilizados en su construcción, así como sus características geométricas.

La inspección rutinaria o básica se enfocó en detectar daños en los elementos mediante fotografías y fichas técnicas y servirán de punto de partida para programar seguimiento e inspecciones especiales que necesite el Puente Cachimayo. Con esta inspección se conocerá el estado de los componentes y en general de toda la infraestructura.

La inspección principal realizada al puente se realizó de manera minuciosa y se asignaron a los elementos del puente una calificación de acuerdo a las tablas de calificación global de puentes y sus variables. (MTC, Guia de Inspección de Puentes, 2019) proporciona las tablas utilizadas para esta calificación. En este tipo de inspección se determinó la condición global del puente que está dada por la calificación de su elemento más desfavorable y no se realizan ensayos ni mediciones complementarias.

4.1.1 Datos generales

Antecedentes:

A pesar de una búsqueda exhaustiva en los archivos de la Municipalidad Distrital de San Sebastián y en las bases de datos de la Municipalidad Provincial del Cusco, no se encontraron registros detallados de las intervenciones de mantenimiento realizadas al Puente Cachimayo. Esta situación podría deberse a la falta de una base de datos o a la pérdida de información histórica.

No se cuenta, por tanto, con datos originales del Puente Cachimayo, planos de construcción, cuantías de armado, espesores de recubrimiento, distribución de acero, propiedades, composición y resistencia de los materiales, espesor de pavimento, entre otras.

Historia:

El puente fue construido en el periodo 1996-1998 bajo la administración del entonces alcalde, Raúl Salizar Saico con el objetivo de salvar el obstáculo natural que es el Rio Cachimayo y dar continuidad a la Avenida De La Cultura.

El Puente como Intercambio vial entre las Avenidas la Cultura y Los Manantiales, fue puesto en servicio a finales de los años 90 y hasta el año 2025 sigue agilizando el tráfico dentro de la Ciudad del Cusco, comunicando los 08 distritos de la Provincia del Cusco: Cusco, Ccorca, Santiago, San Sebastián, Wánchaq, San Jerónimo, Poroy y Saylla, permitiendo el tránsito peatonal como vehicular.

Localización:

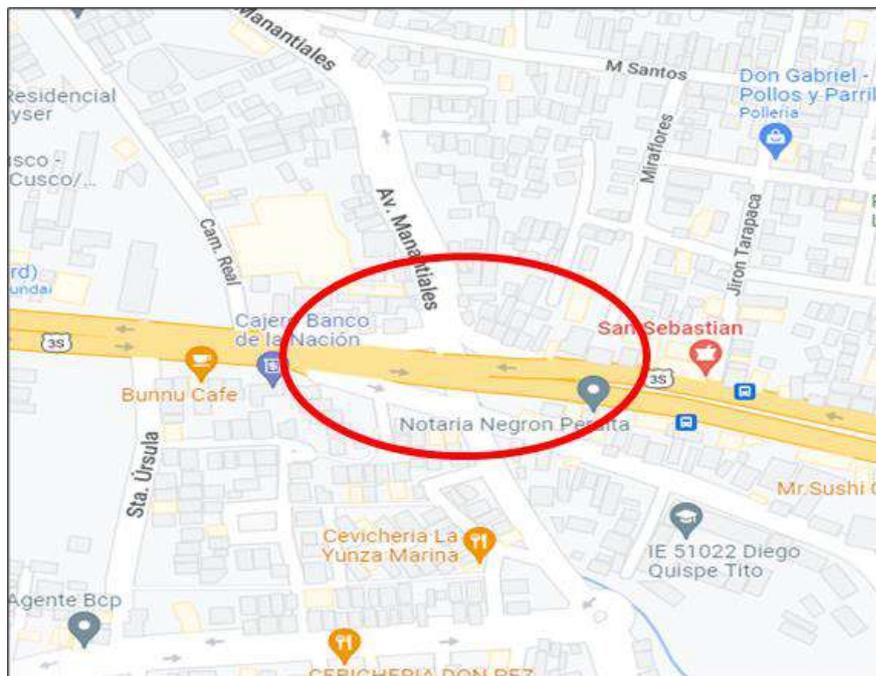
El Puente Cachimayo como intercambio vial se encuentra ubicado en la intersección a desnivel entre las avenidas De La Cultura y la Los Manantiales.

Tabla 11

Ubicación del Puente

Ubicación Política	
Departamento	Cusco
Provincia	Cusco
Distritos	Wánchaq, San Sebastián
Datum	WGS84
Cuadrante	Zona 19L
Latitud	N 8502574.97 m
Longitud	E 181591.99 m
Altitud	3328 msnm a 3301 msnm

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 9*Ubicación del puente en estudio*

Nota. Fuente: Google Maps, 2024

4.1.2 Información básica, características de diseño geométrico

El puente sobre la avenida Los Manantiales y el río Cachimayo, está construido en base a concreto armado, de tipo losa de 0.80m de peralte. La longitud de este puente de dos tramos es de 21.32 m con un apoyo central continuo(pila) a lo largo del ancho del puente.

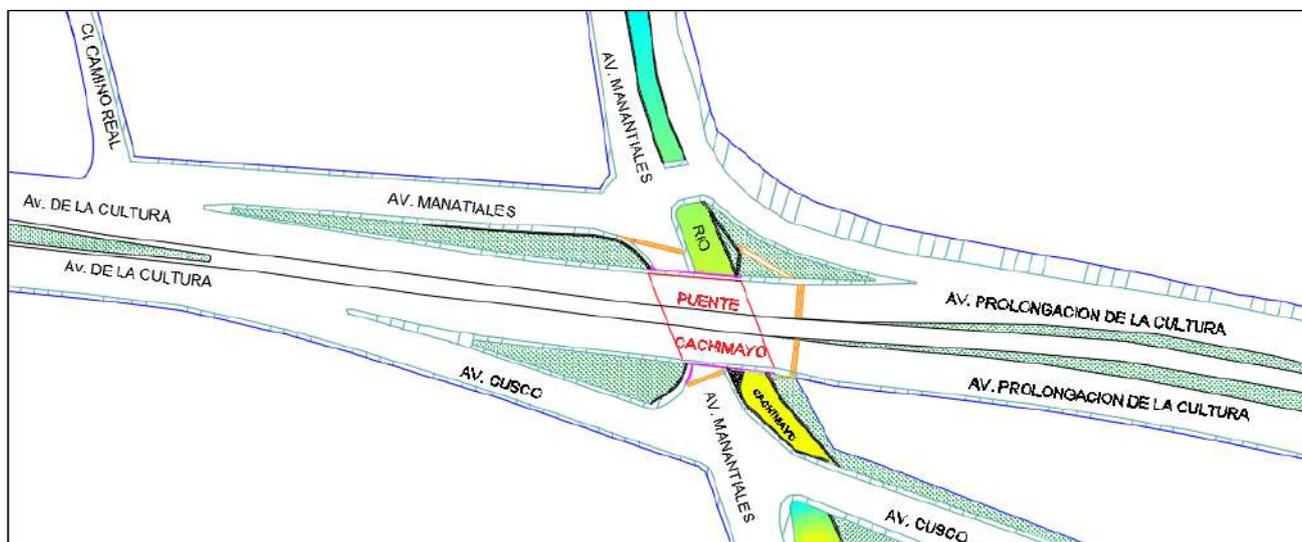
La intersección a desnivel con la Av. La Cultura tiene un ancho de 21 m en promedio en los que presenta veredas laterales de un ancho promedio de 1,5 m también presenta dos calzadas de 9,46 m de ancho para los carriles de bajada y para los carriles de subida, además cuenta con una ciclovía en su parte central de 4,16 de ancho con 2,08m de ancho cada carril de circulación.

La sección de la Av. Los Manantiales bajo el cruce a desnivel con la avenida La Cultura, es de 17 m de ancho, de los cuales 8,5 m lo ocupan los dos carriles de la avenida Los Manantiales, 2,5 m ocupa el pilar intermedio de concreto ciclópeo y 6 m el cauce del río Cachimayo. La altura libre para el tránsito vehicular bajo el puente es de 4,5 m, y su perfil presenta un desnivel de hasta 1 m respecto a los niveles antes y después de la intersección, dándole una forma de badén.

En la figura 10 se muestra la planta de la infraestructura en estudio, mientras que en la figura 11 se puede apreciar una vista lateral de los tramos del puente.

Figura 10

Puente Cachimayo, vista en planta.



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Vista lateral del Puente Cachimayo



Nota. Fuente: Fotografía del autor

4.1.3 Accesos al puente

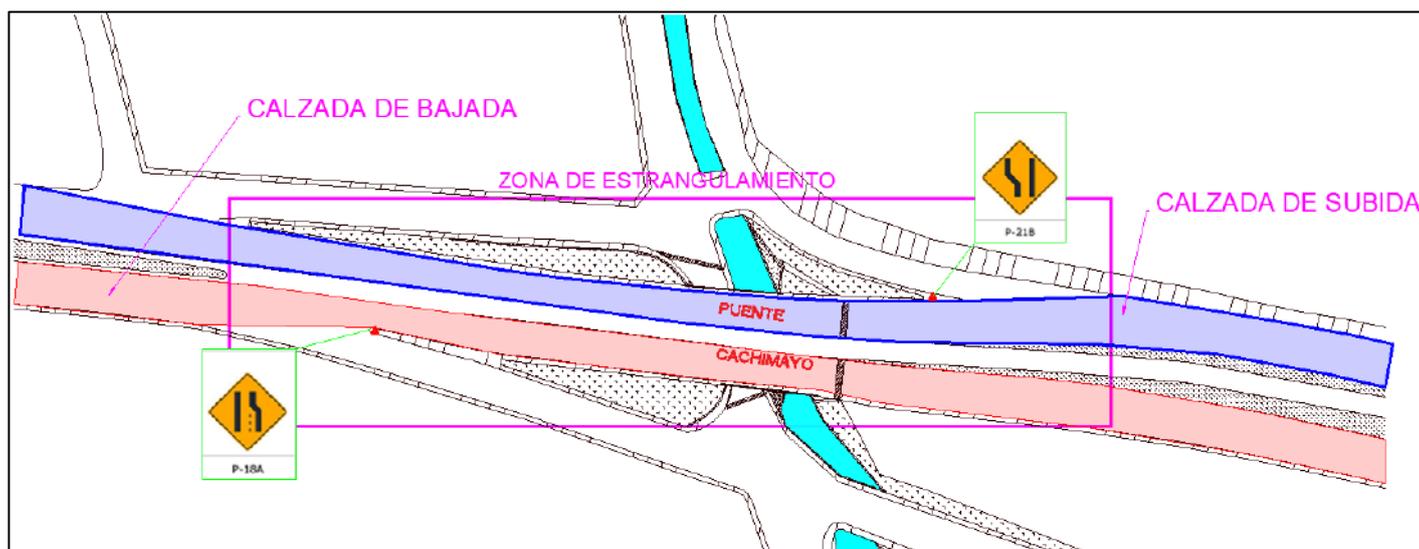
El Puente Cachimayo como elemento parte de la red vial PE-3S y conexión entre la Av. La Cultura y la Prolongación de la Av. La Cultura.

La Av. Prolongación Av. De La Cultura presenta en esta zona del puente una disminución del ancho de los carriles (estrangulamiento), el estrechamiento es el siguiente:

- En el acceso derecho el carril de subida el carril pasa de un ancho de calzada de 9,30 m. en Prolongación de la Av. La Cultura a un ancho de 7,38 m. en la zona del puente para continuar en la Av. La Cultura en un ancho de 10,71 m.
- En el acceso izquierdo el carril de bajada pasa de un ancho de calzada de 9,33 m. en la Av. La Cultura a un ancho de 7,33 m. en la zona del puente para continuar en la Prolongación de la Av. La Cultura en un ancho de 9,45 m.

Figura 12

Accesos al Puente Cachimayo



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Seguridad vial

Señales Preventivas:

El Puente Cachimayo presenta al inicio de su acceso derecho de subida, la señal vertical preventiva: **señal reducción del carril externo al lado derecho (P-18A)**. Esta señal advierte al Conductor la proximidad de una reducción del carril externo al lado derecho de la calzada

Figura 13

Señal preventiva P-18A



Nota. Fuente: (MTC, 2016)

Figura 14

Señal vertical preventiva



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Actualmente no se encuentra la señal preventiva P-18A en el carril derecho de subida, producto de un choque contra la señal que fue removida.

Figura 15

Señal preventiva ausente



Nota. Fuente: Fotografía del autor

El puente Cachimayo presenta al inicio de su acceso izquierdo de bajada, la señal vertical preventiva: **ensanchamiento de la calzada a la izquierda (P-21B)**. Esta señal tiene como objetivo informar a los conductores de que la calzada se ampliará más adelante, y el eje de la carretera se desviará hacia la izquierda.

Figura 16

Señal preventiva P-21B



Nota. Fuente: (MTC, 2016)

Figura 17

Señal vertical preventiva



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Señales Informativas Reglamentarias:

Restricciones de tráfico pesado: La circulación de vehículos pesados está restringida por una señal vertical Combinada ubicada dos paraderos antes de ingreso al puente en el carril derecho de subida. Una señal informativa: **señal prohibido seguir de frente o dirección prohibida (R-4)**, que prohíbe el ingreso a una zona restringida al tránsito de vehículos pesados y buses interprovinciales y una señal regulatoria o de reglamentación que prohíbe la circulación en la dirección señalada por la flecha.

Figura 18

Señal reglamentaria R-4



Nota. Fuente: (MTC, 2000)

Figura 19

Señal vertical combinada



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Así mismo se encuentra una señal vertical Combinada ubicada en el paradero “cuarto” en la Prolongación Av. La Cultura. Una señal informativa: **señal de circulación obligatoria (R-14)**, que indica el desvío obligatorio de buses de turismo interprovinciales, camiones de carga con peso mayor 8500 Kg según ordenanza municipal número 016 del año 2017 y una señal regulatoria que indica al conductor, la obligación de seguir la dirección específica marcada por la flecha.

Figura 20

Señal reglamentaria R-14



Nota. Fuente: (MTC, 2016)

Figura 21

Señal vertical combinada



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Sin embargo, los vehículos interprovinciales y los vehículos pesados que circulan a lo largo del carril de subida y que tienen las características indicadas en estas señales toman el desvío hasta aproximadamente las 10 p.m., pasada esta hora y de acuerdo con el estudio de aforo realizado, hacen caso omiso a esta señal de carácter obligatorio y siguen de frente sobre el Puente Cachimayo.

Figura 22

Camión pesado transitando sobre el puente a horas 11:24 p.m.-Carril de bajada



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 23

Camión pesado cargado sobre el puente a horas 12:09 a.m.-Carril de subida



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 24

Bus interprovincial sobre el puente a horas 17:39 p.m.-Carril de subida



Nota. Fuente: Fotografía del autor

4.1.5 Capacidad hidráulica del puente

El Puente Cachimayo cruza sobre el río Cachimayo que forma parte de la Microcuenca de Cachimayo, el caudal promedio es de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (Aguilar y otros, 2014). El río Cachimayo presenta canalización antes y después del puente, la Municipalidad Distrital de San Sebastián a través del convenio con el Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente (IMA) del Gobierno Regional, realizó la defensa ribereña del Río Cachimayo con la construcción de fondo de losa en río y muros de concreto con cerca de 4 km de encausamiento desde la APV. Kari grande hasta el encuentro con el Río Huatanay y la descolmatación del cauce del río desde el año 2020.

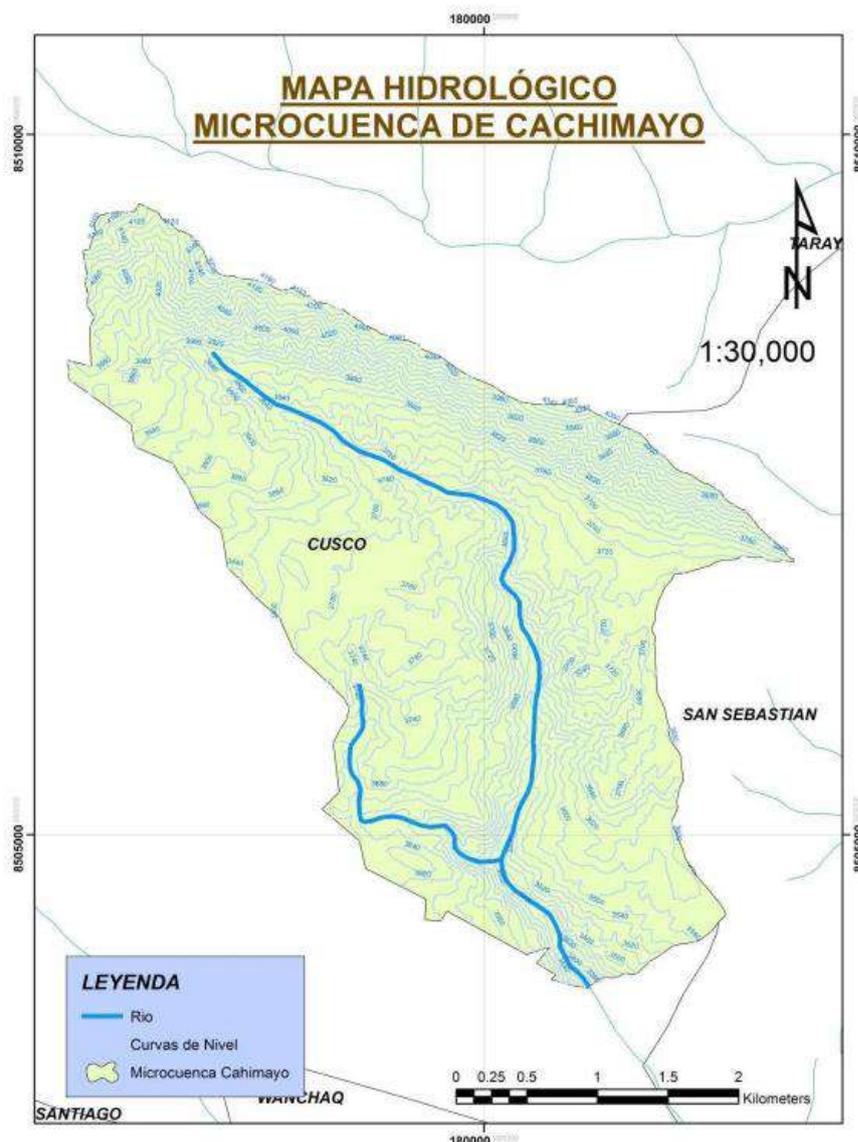
Los diferentes proyectos de inversión pública que se realizaron en los últimos años son los siguientes:

- Mejoramiento de la Canalización del Río Cachimayo entre los tramos Inicio Av. Cusco y Calle Dinamarca, Distrito de San Sebastián - Cusco – Cusco.
- Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Protección ante Inundaciones en Riberas del Río Cachimayo, Tramo APV. Kari Grande-Encuentro con el Río Huatanay del Distrito de San Sebastián - Provincia de Cusco - Departamento de Cusco.

Con estas intervenciones se mejora la capacidad hidráulica del puente ya que se previene las inundaciones evitando la acumulación aguas arriba del puente, así como la proliferación de vegetación y la acumulación de sedimentos en el lecho del río que contribuirían con la socavación del estribo derecho del puente.

Figura 25

Mapa hidrológico de la Microcuenca de Cachimayo



Nota. Fuente: (Aguilar y otros, 2014)

Actualmente, pese a estas intervenciones se observa la presencia de desmonte, basura y vegetación en el cauce debido a que no se realizan trabajos de limpieza y remoción de obstáculos, esto reduce el tirante del cauce de río pudiendo afectar la capacidad hidráulica del puente.

Figura 26

Presencia de basura, desmote, vegetación aguas arriba del Puente Cachimayo



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 27

Presencia de basura, desmote, vegetación aguas arriba del Puente Cachimayo



Nota. Fuente: Fotografía del autor

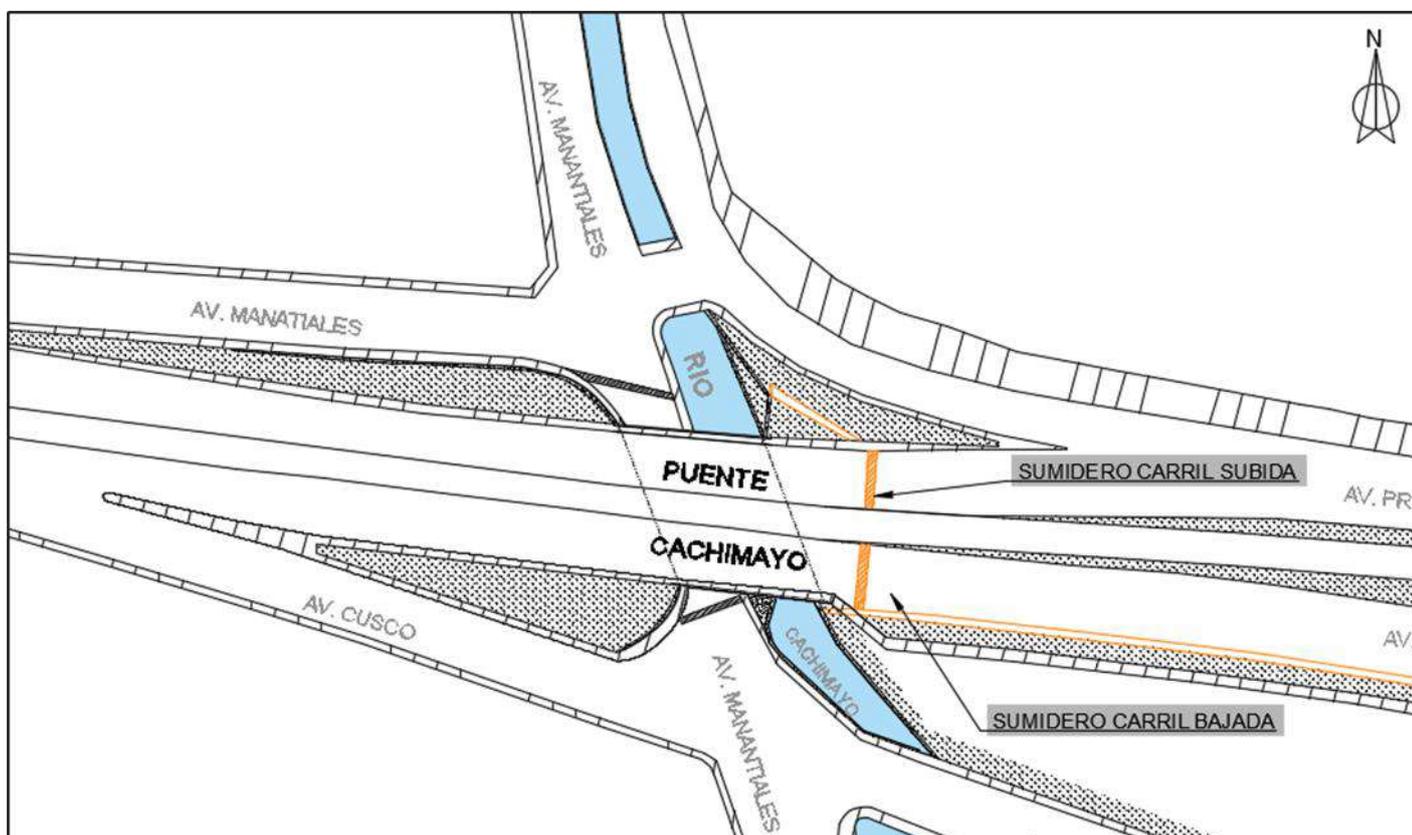
4.1.6 Drenaje transversal y longitudinal

El drenaje en puentes es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de los elementos del puente y en consecuencia de la estructura en general. La función principal de los sistemas de drenaje es evacuar de manera eficiente el agua que se acumula en la superficie de la vía, proveniente de lluvias, filtraciones o condensación.

El Puente Cachimayo presenta un sumidero al inicio del carril de subida en el carril de aproximación y al final de carril de bajada. Ambos sumideros cruzan transversalmente los anchos de las calzadas del carril de subida y bajada de la prolongación avenida de La Cultura.

Figura 28

Ubicación de sumideros tipo canal con rejilla metálica



Nota. Fuente: Elaboración propia

Actualmente los sistemas de drenaje de ambos carriles se encuentran en malas condiciones debido a la proliferación y la acumulación de residuos sólidos, lo cual indica una falta de mantenimiento prolongada.

Figura 29

Canal de evacuación de aguas pluviales carril de bajada



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 30

Canal de evacuación de aguas pluviales carril de subida



Nota. Fuente: Fotografía del autor

4.1.7 Registro de patologías, descripción y calificación de los elementos que constituyen el Puente Cachimayo

Como parte de la inspección principal, se realiza una inspección visual minuciosa del estado de los componentes del puente y se proporciona una calificación basada en la metodología del Manual de Inspecciones de Puentes del MTC.

Para efectuar las evaluaciones de los daños, las fotografías son muy útiles. Se toma la cantidad necesaria de fotografías de daños en cada elemento descrito en este ítem.

Barandas

Tipo de daño:

Las barandas en el Puente Cachimayo tienen una función de protección vehicular y peatonal y como resultado de la inspección se observaron daños que afectan la durabilidad como son el impacto, que puede verificarse por la falta de verticalidad de la baranda y corrosión de acero estructural por partes debido a la falta de pintura de protección, además de otros como acumulación de basuras, vegetación, polvo y arena.

Se pudo observar en la inspección que este elemento recibió varios mantenimientos rutinarios de limpieza y pintura de sus componentes de acero.

Figura 31

Patología 1: acumulación de polvo y arenas en baranda



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 32

Patología 2: falta de verticalidad en baranda



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Grado de daño: los daños encontrados en las barandas son mínimos, se tiene para este elemento una calificación de grado de daño **GD=0**.

Relevancia estructural: las barandas son un elemento de seguridad vial y tienen una función de protectora que salvaguarda los vehículos y a los peatones que pudieran caer del puente, se tiene para este elemento una calificación de relevancia estructural **RE=2**.

Grado de consecuencia de falla: la relevancia del elemento baranda en términos de consecuencia en caso de colapso se tiene un grado de consecuencia de falla alta **FCF=1**, debido a que existe una consecuencia alta con riesgo moderado de pérdidas humanas o lesiones y una consecuencia económica alta si este elemento falla.

Calificación del elemento: la calificación del elemento baranda, B es:

$$CE_i = [\{Entero(FCF \times RE)\} - 1] + GD$$

$$CE_B = [\{Entero(1 \times 2)\} - 1] + 0 = 1$$

$$CE_B = 1$$

Losa acera

Tipo de daño:

Este componente de concreto armado llamado también andén, tiene la función de evitar que los vehículos se salgan del puente, así como de servir de apoyo a las barandas y el paso de peatones.

En este elemento inspeccionado se observó daños como son el impacto, y desprendimiento o peladuras por deficiencias constructivas o abrasión por los peatones, y otros daños como la acumulación de basuras, polvo y vegetación. Daños que afectan la durabilidad y la funcionalidad de este elemento.

Se pueden apreciar además grietas y deformaciones debidas a la falta de capacidad estructural, relacionadas con posibles deficiencias en la construcción o por la mala calidad de los materiales.

Figura 33

Patología 1: acumulación de polvo y arenas en acera



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 34

Patología 2: desprendimiento en acera



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 35

Patología 3: impacto en acera



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 36

Patología 4: peladuras en acera



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Grado de daño: los daños encontrados en este elemento son mínimos, se tiene para este elemento una calificación de grado de daño **GD=0**.

Relevancia estructural: las barandas son un elemento de seguridad vial y tienen una función de protectora que salvaguarda los vehículos y a los peatones que pudieran caer del puente, se tiene para este elemento una calificación de relevancia estructural **RE=2**.

Grado de consecuencia de falla: la relevancia del elemento andén o acera losa en términos de consecuencia en caso de colapso tiene un grado de consecuencia de falla alta **FCF= 1**, debido a que existe una consecuencia alta con riesgo moderado de pérdidas humanas o lesiones y una consecuencia económica alta si este elemento falla.

Calificación del elemento: la calificación del elemento acera, AC es:

$$CE_i = [\{\text{Entero}(FCF \times RE)\} - 1] + GD$$

$$CE_{AC} = [\{\text{Entero}(1 \times 2)\} - 1] + 0 = 1$$

$$CE_{AC} = 1$$

Pila central

Tipo de daño:

El Puente Cachimayo tiene un pilar de concreto armado que sirve de apoyo intermedio y recibe la reacción de los tramos de losa adyacentes y soporta las cargas verticales que le transmite la superestructura.

El pilar central que sostiene los apoyos intermedios de las losas continuas del Puente Cachimayo es un pilar tipo muro de concreto armado. Como resultado de la inspección, se observó daños por infiltración, esto por la insuficiente capacidad de manejo de aguas de escorrentía presentes provenientes de la junta sin sello y permeable; como consecuencia de estas infiltraciones se evidencian peladuras o desconches en la superficie del concreto debido al ataque de los sulfatos presentes en el agua o en el suelo.

Se pudieron identificar eflorescencias como consecuencia de la infiltración de aguas en la pila que afectan la durabilidad del concreto en este elemento y con el tiempo la capacidad de carga.

En la inspección también se pudo verificar que el extremo derecho viene siendo usado como un urinario por la población y sobre todo por los comercios cercanos al puente, como son los lavaderos de carros. Este uso de la estructura está socavando la base del pilar y podría provocar la exposición del acero de refuerzo seguido de corrosión y daño estructural del elemento.

Figura 37

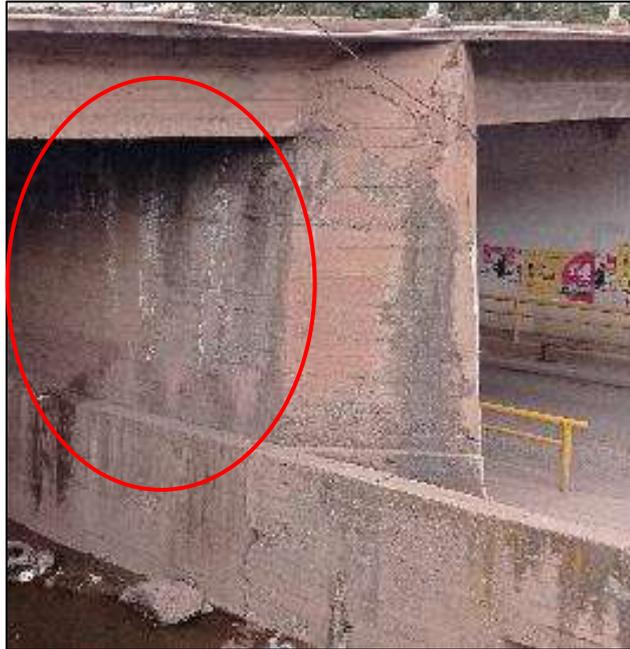
Base del pilar usado como mingitorio



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 38

Patología 1: infiltración y eflorescencia en pilar central



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 39

Patología 2: infiltración en pilar central



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 40

Patología 3: peladuras en pilar central



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Grado de daño: los daños encontrados en este elemento, son daños que afectan la durabilidad y que podrían llegar a causar daños de tipo estructural si no son corregidos. Se tiene para este elemento una calificación de grado de daño **GD=1**.

Relevancia estructural: las pilas son un elemento fundamental de estabilidad general del puente y de transmisión y distribución de cargas verticales, se tiene para este elemento una calificación de relevancia estructural **RE=3**.

Grado de consecuencia de falla: la relevancia del elemento pila o en términos de consecuencia en caso de colapso se tiene un grado de consecuencia de falla alta **FCF=1**, debido a que existe una consecuencia alta con riesgo moderado de pérdidas humanas o lesiones y una consecuencia económica alta si este elemento falla.

Calificación del elemento: la calificación del elemento pilar PL es:

$$CE_i = [\{\text{Entero}(FCF \times RE)\} - 1] + GD$$

$$CE_{PL} = [\{\text{Entero}(1 \times 3)\} - 1] + 1 = 3$$

$$CE_{PL} = 3$$

Aletas

Tipo de daño:

El Puente Cachimayo presenta aletas que fueron construidos monolíticamente con los estribos y junto con los estribos soportan los empujes del suelo de relleno.

Durante la inspección se observaron daños de infiltración debido no hay suficiente capacidad de manejo de las aguas provenientes de la vía que recaen y discurren sobre las aletas del Puente Cachimayo.

En una de las aletas del estribo derecho se puede apreciar que las aguas provenientes de la calzada caen directamente sobre ella y se aprecian peladuras o desconches, esta agua podría llegar al acero de refuerzo dejándolo propenso a la corrosión.

Figura 41

Patología 1: peladura en aleta del estribo derecho



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 42

Patología 2: infiltración en aleta del estribo derecho



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 43

Patología 3: infiltración en aleta del estribo izquierdo



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 44

Patología 4: infiltración en aleta del estribo izquierdo



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Grado de daño: los daños encontrados en este elemento, son daños que afectan la durabilidad y que podrían llegar a causar daños de tipo estructural si no son corregidos. Se tiene para este elemento una calificación de grado de daño **GD=1**.

Relevancia estructural: las alas son un elemento fundamental de estabilidad de los terraplenes de acceso al puente, se tiene para este elemento una calificación de relevancia estructural **RE=2**.

Grado de consecuencia de falla: la relevancia del elemento aletas en términos de consecuencia en caso de colapso se tiene un grado de consecuencia de falla alta **FCF=0.85**, debido a que existe una consecuencia, moderada con riesgo leve de pérdidas humanas o lesiones y una consecuencia económica considerable si este elemento falla.

Calificación del elemento: la calificación del elemento pilar, PL es:

$$CE_i = [\{\text{Entero}(FCF \times RE)\} - 1] + GD$$

$$CE_{AL} = [\{\text{Entero}(0.85 \times 2)\} - 1] + 1 = 2$$

$$CE_{AL} = 2$$

Estribos

Tipo de daño:

El Puente Cachimayo tiene dos estribos de concreto armado que actúan como apoyos extremos del puente y cada uno recibe la acción de un tramo de losa del puente juntamente con la pila central, los estribos soportan conjuntamente con las aletas el empuje de tierras de los taludes de acceso.

Las aletas y estribos del Puente Cachimayo fueron vaciadas monolíticamente y forman con respecto al eje del cuerpo del estribo ángulos menores de 45° .

Como resultado de la inspección, se observó daños por infiltración debido a la insuficiente capacidad de manejo de aguas de escorrentía presentes en la vía y por falta de dispositivos de drenaje; como consecuencia de esta infiltración de aguas por los apoyos de las losas (juntas), se aprecian eflorescencias que afectan la durabilidad del concreto en este elemento y con el tiempo la capacidad de carga.

Figura 45

Patología 1: infiltración y eflorescencia en estribo derecho



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 46

Patología 2: infiltración en estribo izquierdo



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Grado de daño: los daños encontrados en los estribos afectan la durabilidad y funcionalidad y tienden a incrementar la exposición al daño, se tiene para este elemento una calificación de grado de daño **GD=1**.

Relevancia estructural: los estribos son elementos fundamentales en la estructura de un puente, transmiten las cargas de la superestructura al suelo su función es de vital importancia para garantizar la estabilidad y seguridad del puente; se tiene para este elemento una calificación de relevancia estructural **RE=3**.

Grado de consecuencia de falla: la relevancia del elemento estribos en términos de consecuencia en caso de colapso se tiene un grado de consecuencia de falla muy alta **FCF= 1.15**, debido a que existe una consecuencia muy alta con riesgo leve de pérdidas humanas o lesiones y una consecuencia económica muy alta considerable si este elemento falla.

Calificación del elemento: la calificación del elemento pilar PL es:

$$CE_i = [\{Entero(FCF \times RE)\} - 1] + GD$$

$$CE_{EST} = [\{Entero (1.15 * 3)\} - 1] + 0 = 3$$

$$CE_{EST} = 3$$

Losa

Tipo de daño:

El tablero que constituye la superestructura del puente del Puente Cachimayo es un tablero tipo losa maciza de concreto armado y, recibe directamente la carga móvil de los vehículos.

Como resultado de la inspección se encontró daños por infiltración que es el que más se presenta en este componente por el deterioro de la carpeta de rodadura que genera estancamiento del agua sobre la superficie de rodadura, este tipo de daño se debe a la falta de un drenaje adecuado, falta de hermeticidad de la carpeta de rodadura y juntas; así como también se evidencian eflorescencias bajo el tablero y en los apoyos.

Se encontraron daños en el concreto, se observa la presencia de grietas longitudinales y transversales debido a la falta de capacidad de la losa que no es capaz de soportar las cargas actuantes provenientes de la carpeta de rodadura, este daño está relacionado con un mal diseño que generan estas grietas de flexión, otro tipo de daño observado en este componente es la cangrejera o hormigueros que se presentan debido a deficiencias constructivas, un mal vibrado del concreto vaciado que puede provocar la exposición del acero de refuerzo a la corrosión; se observaron daños de impacto debido a que los vehículos que transitan bajo el puente tienen una altura superior al galibo del Puente Cachimayo.

El Puente Cachimayo no cuenta con dispositivos de juntas de dilatación que aseguren que los desplazamientos horizontales generados en un puente no causen daños a las estructuras que lo rodean. En la unión de las losas continuas que se encuentra sobre el pilar no se aprecia ningún dispositivo de esta junta y se observa que esta junta no es impermeable debido a que se puede apreciar las infiltraciones en el pilar del puente.

Figura 47

Patología 1: fisuras bajo tablero losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 48

Patología 2: peladuras bajo tablero losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 49

Patología 3: eflorescencias bajo tablero losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 50

Patología 4: infiltración bajo tablero losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 51

Patología 5: infiltración y eflorescencia bajo tablero losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 52

Patología 6: impacto bajo tablero losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 53

Patología 7: hormigueros o cangrejera bajo tablero losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Grado de daño: los daños encontrados en la losa afectan la durabilidad y funcionalidad y tienden a incrementar la exposición al daño, haciendo uso de la tabla 9, se tiene para este elemento una calificación de grado de daño **GD=1**.

Relevancia estructural: el tablero tipo losa es un elemento fundamental en la estructura de un puente, que soporta las cargas vivas (vehículos, peatones) y muertas (peso propio del tablero) y las transmite a las pilas y estribos. Por lo tanto, su RE es extremadamente alta ya que transmiten las cargas de la superestructura al suelo, su función es de vital importancia para garantizar la estabilidad y seguridad del puente; se tiene para este elemento una calificación de relevancia estructural **RE=3**.

Grado de consecuencia de falla: la relevancia del elemento losa en términos de consecuencia en caso de colapso se tiene un grado de consecuencia de falla muy alta **FCF= 1.15**, debido a que existe una consecuencia muy alta con riesgo leve de pérdidas humanas o lesiones y una consecuencia económica muy alta considerable si este elemento falla.

Calificación del elemento: la calificación del elemento losa, Lsa es:

$$CE_i = [\{Entero(FCF \times RE)\} - 1] + GD$$

$$CE_{Lsa} = [\{Entero (1.15 * 3)\} - 1] + 1 = 3$$

$$CE_{Lsa} = 3$$

Superficie de Rodadura-Pavimento

Tipo de daño:

En el tablero del puente que tiene como superficie de rodadura una carpeta asfáltica se encontraron daños estructurales como las fisuras longitudinales y transversales por fatiga o retracción térmica por envejecimiento o exceso de filler y sobre todo piel de cocodrilo debidas a que el pavimento de la superficie de rodadura no tiene la capacidad de soportar las cargas que repetidas superiores a las admisibles.

Se observó también descomposición y desprendimientos que pudieron tener origen en defectos de adherencias del asfalto o dosificación del mismo, debido a defectos constructivos o por agentes agresivos como el agua o agregados defectuosos usados, así mismo se tienen daños de infiltración debido a la descomposición del asfalto por el empozamiento del agua causadas por desniveles y un mal manejo de las aguas de escorrentía.

En la carpeta de rodadura se observa que realizaron reparaciones o parchado de fallas superficiales que indican que existieron fallas o deterioros, estas reparaciones existentes enmascaran un problema que debieron ser registradas y monitoreadas para conocer si las soluciones fueron provisionales o definitivas.

Figura 54

Patología 1: desprendimientos en carpeta de rodadura



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 55

Patología 2: piel de cocodrilo en carpeta de rodadura



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 56*Patología 3: parchado o bacheado en carpeta de rodadura**Nota.* Fuente: Fotografía del autor**Figura 57***Patología 4: fisuras en carpeta de rodadura**Nota.* Fuente: Fotografía del autor

Grado de daño: los daños encontrados en la superficie de rodadura afectan la durabilidad y funcionalidad y tienden a incrementar la exposición al daño, haciendo uso de la tabla 9, se tiene para este elemento una calificación de grado de daño **GD=1**.

Relevancia estructural: la superficie de rodadura tiene la función específica de protección la losa contra agentes atmosféricos, desgaste por tráfico y productos químicos; se tiene para este elemento una calificación de relevancia estructural **RE=1**.

Grado de consecuencia de falla: la relevancia del elemento carpeta de rodadura en términos de consecuencia en caso de colapso o una prohibición o restricción de su uso, se tiene un grado de consecuencia de falla baja **FCF= 0.7**, debido a que existe una consecuencia leve sin riesgo de pérdidas humanas o lesiones si este elemento falla.

Calificación del elemento: la calificación del elemento carpeta de rodadura, CR es:

$$CE_i = [\{Entero(FCF \times RE)\} - 1] + GD$$

$$CE_{ROD} = [\{Entero (0.7 * 1)\} - 1] + 1 = 1$$

$$CE_{ROD} = 1$$

Como resumen de la calificación de cada uno de los elementos según la metodología de la Guía de Inspección de Puentes del MTC, tenemos:

Tabla 12

Calificación de los elementos que componen el Puente Cachimayo

ELEMENTO	GRADO DE DAÑO (GD)	RELEVANCIA ESTRUCTURAL (RE)	CONSECUENCIA DE FALLA (CFC)	CALIFICACIÓN DEL ELEMENTO (CE_i)
Barandas	0	2	1	1
Losa acera (veredas)	0	2	1	1
Pila central	1	3	1	3
Aleta	1	2	0,85	2
Estribos	1	3	1,15	3
Losa	1	3	1,15	3
Superficie de rodadura (pavimento)	1	1	0,7	1

4.1.8 Registro y comprobación de actividad de fisuras bajo la losa

Para un monitoreo de las fisuras presentes bajo la losa de concreto del Puente Cachimayo se realizó un método sencillo que consiste en la colocación de una capa delgada de yeso bajo la parte central de la losa y sobre las fisuras con el propósito de conocer la deformación de las fisuras y saber si estas están activas.

Si la fisura está activa el yeso se romperá o mostrará signos de tensión; el uso del yeso permite una visualización directa de la actividad de la fisura y se trata de un ensayo no destructivo que no daña la estructura.

Figura 58

Preparación de yeso y colocación de los vendajes o capas de yeso



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 59

Vendajes o capas de yeso bajo el tablero



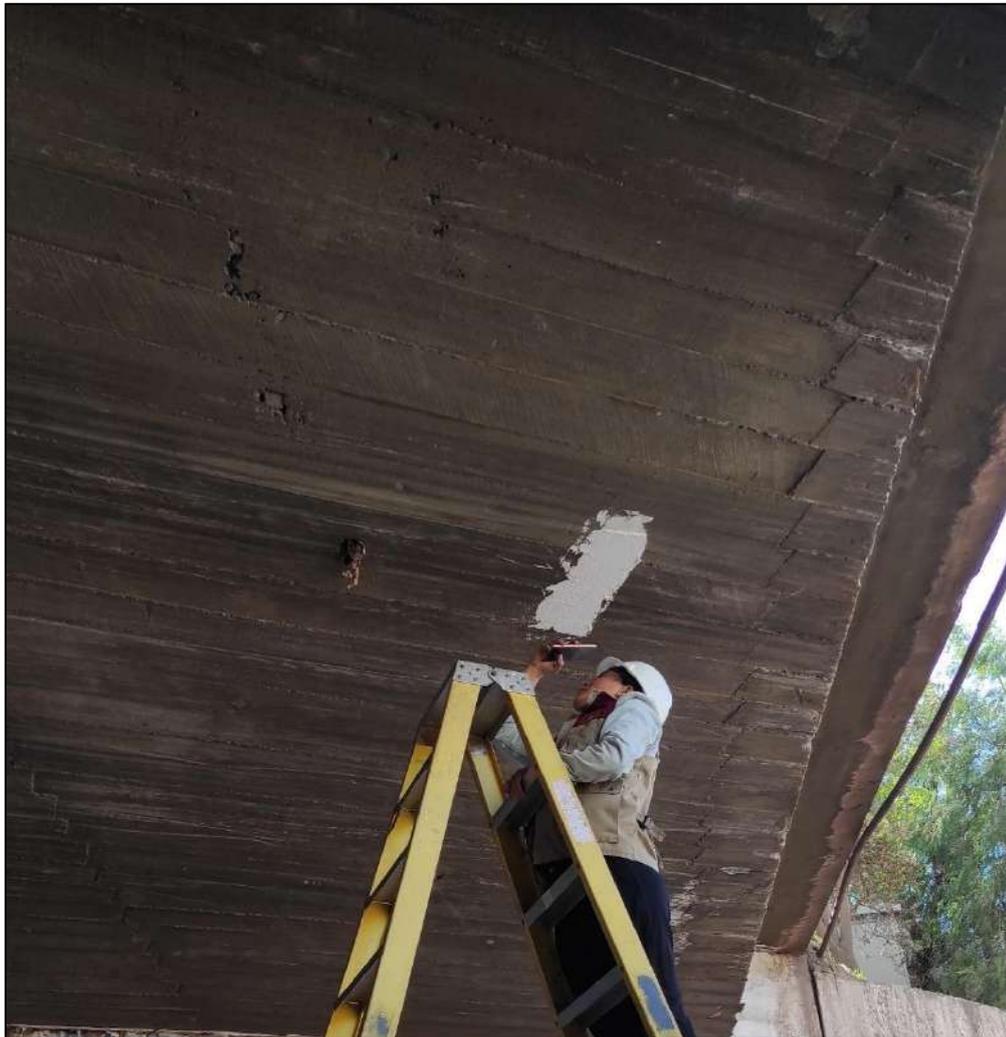
Nota. Fuente: Fotografía del autor

Dos semanas después de los ensayos se realizó el seguimiento, de las capas de yeso aplicadas, el yeso no se rompió y no mostró signos de tensión que indiquen que las fisuras están activas y se estén propagando.

Factores como la temperatura, la humedad y los cambios de carga pudieron afectar el yeso debido a que después de las inspecciones no se puede observar roturas en la capa aplicada.

Figura 60

Verificación de puntos dos semanas después de colocado



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Tabla 13*Fisuras registradas bajo la superestructura- losa de concreto armado*

Elemento	Longitud de la fisura (mm)	Abertura de la Fisura (mm)	Clasificación de fisuras (mm)	Tipo de Falla
Fisuras longitudinales				
Losa	200	0,1	fina	retracción
Losa	110	0,1	fina	retracción
Losa	360	0,1	fina	retracción
Losa	310	0,2	media	retracción
Losa	170	0.1	fina	retracción
Losa	12400	0,2	media	retracción
Losa	120	0,1	fina	retracción
Losa	110	0,1	fina	retracción
Losa	90	0,1	fina	retracción
Losa	120	0,1	fina	retracción
Losa	130	0,1	fina	retracción
Losa	554	0,2	media	retracción
Losa	130	0,1	fina	retracción
Losa	180	0,2	media	retracción
Losa	50	0,2	media	retracción
Losa	75	0,2	media	retracción
Fisuras transversales				
Losa	200	0,1	fina	retracción
Losa	100	0,1	fina	retracción

Nota. La clasificación de fisuras se basa en su grosor: finas (<0,1mm), medias (0,1-0,2mm) y anchas (>0,3mm), siguiendo las directrices de ASOCRETO (Asociación Colombiana de Productores de Concreto). Las fisuras observadas en el fondo de la losa son mayormente finas y superficiales, presentando una distribución aleatoria sin un patrón discernible. Esta característica, junto con su naturaleza fina, sugiere que son fisuras de retracción, un fenómeno que ocurre durante la etapa constructiva debido a la contracción del concreto al perder humedad durante su endurecimiento

Figura 61

Fisuras en el fondo de la losa



Nota. Fuente: Fotografía del autor

4.1.9 Estudio Vehicular-conteo de tráfico y adquisición de datos

El Puente Cachimayo consta de dos calzadas separadas, cada una destinada a un sentido de circulación opuesto:

- Calzada 1: Dispone de dos carriles para vehículos que se desplazan desde San Sebastián hacia Cusco (sentido de subida).
- Calzada 2: Consta de dos carriles para vehículos que circulan desde Cusco hacia San Sebastián (sentido de bajada).

Se realizó del aforo en ambos sentidos de circulación durante siete días continuos, teniendo en cuenta el flujo de vehículos como son, autos, camionetas, micro, bus, camión.

Para obtener el aforo vehicular total diario, se analizaron los videos facilitados por la Municipalidad Distrital de Cusco. Durante la inspección en campo en el horario nocturno, se constató la circulación de vehículos pesados, ignorando la Ordenanza Municipal N° 016-2017 de la Municipalidad Distrital de San Sebastián.

Figura 62

Conteo vehicular, día



Figura 63

Conteo vehicular, noche



En las siguientes fotos capturadas de los videos facilitados por la gerencia de tránsito de la Municipalidad distrital del Cusco y que fueron también observados durante

el aforo in-situ, se observa vehículos interprovinciales y los vehículos de transporte de carga pesada que circulan a lo largo del carril de subida y de bajada a partir de las 10 p.m. hasta tempranas horas del día.

Figura 64

Vehículos pesados circulando en el carril de bajada. Registrado de 12:00 a 3:30 am.



Figura 65

Vehículos pesados circulando en el carril de subida. Registrado de 12:00 a 4:00 am.



a. Tránsito total semanal (TS)

El número total de vehículos que cruzan durante una semana en el carril de subida como de bajada en el punto de aforo o ascenso (Puente Cachimayo), está definido como:

$$TS = \frac{N}{T} \quad (4.1)$$

TS: número total de vehículo que cruza en una semana

N: número total de vehículos que cruzan

T: periodo determinado (unidad de tiempo)

$$TS = \frac{N}{T} = \frac{275897}{1} = 275897 \text{ vehiculos mixtos/semana}$$

b. Volumen de tránsito promedio diario (TPD)

El número total de vehículos que cruzan durante un periodo de tiempo entre los días del periodo.

$$TPDS = \frac{TS}{T} \quad (4.2)$$

Donde:

TS: tránsito semanal

T: periodo determinado (unidad de tiempo)

$$TPDS = \frac{TS}{T} = \frac{275897}{7 \text{ días}} = 39419 \frac{Veh}{\text{día}}$$

c. Volumen de tránsito promedio diario anual (TPDA)

Debido a que no se cuenta con un aforo vehicular de los 365 días del año, se tomó las muestras en los días de la semana en los que se realizó el aforo vehicular. Con las muestras tomadas de los días de aforo semanal tomadas, generalizamos el comportamiento del tráfico, se asume el TPDA en base al Tránsito Promedio Diario Semanal (TDPS), mediante la expresión:

$$TPDA = (TPDS) \times FCe \quad (4.3)$$

Donde:

TPDA: tránsito promedio diario semanal

FCe: factor de corrección estacional mensual

En el Perú el factor de corrección estacional la calcula la Oficina General de Peajes del Perú (OGPP) en base a análisis de datos existentes en estaciones de peaje del Provias Nacional (2010-2016); utilizaremos el factor de corrección promedio para vehículos ligeros y pesados correspondiente a la estación de peaje P061 en Cusco (Peaje: Saylla) encontrada en la “Ficha Técnica Estándar para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas”, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del año 2017.

Luego de verificar y organizar la información obtenida de los conteos de tráfico, se determinaron los volúmenes de vehículos que circulan por ambos tramos de la carretera. Los resultados incluyen datos diarios, clasificados por tipo de vehículo y sentido de circulación, así como un resumen del tráfico total en ambos sentidos.

Tabla 14*Resultado conteo vehicular*

TIPO DE VEHÍCULO		TS CALZADA 1, CALZADAS DE SUBIDA: SAN SEBASTIÁN-CUSCO							TS CALZADA 2, CALZADA DE BAJADA: CUSCO-SAN SEBASTIÁN							AMBOS TPD'S		
		MI	JU	VI	SA	DO	LU	MA	TS	MI	JU	VI	SA	DO	LU		MA	TS
AUTOS	AUTOS	16524	14190	13211	18134	14829	17304	15653	109845	14678	11715	13441	16646	14068	16099	13898	100545	30056
CAMIONETAS	PICK UP	944	919	982	1002	806	952	853	6458	765	784	1094	1259	1112	811	688	6513	1853
	PANEL RURAL	46	27	21	46	7	46	7	200	1	7	17	20	17	1	0	63	38
	Combi	564	559	602	584	459	564	475	3807	396	458	657	701	657	405	324	3598	1058
MICRO	MICRO	2357	2455	2543	2561	2085	2439	2203	16643	1990	2165	2914	3786	3028	2155	1857	17895	4934
BUS	2 E	270	254	252	270	194	270	194	1704	129	183	246	192	246	129	77	1202	416
	>=3 E	2	1	1	2	0	2	0	8	0	0	1	1	1	0	0	3	2
CAMION	2 E	501	605	591	521	410	501	424	3553	304	501	657	783	661	308	249	3463	1003
	3 E	32	17	39	32	10	32	10	172	8	2	45	46	45	8	3	157	47
	4 E	3	0	1	3	1	3	1	12	0	0	1	2	1	0	0	4	3
SEMI TRAYLER	2S1/2S2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	2S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3S1/3S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	>= 3S3	4	5	7	4	2	4	2	28	1	0	5	8	5	1	0	20	7
TRAYLER	2T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3T2	1	0	0	1	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	>=3T3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		21248	19033	18250	23160	18803	22118	19822	142434	18272	15815	19078	23444	19841	19917	17096	133463	39419

Nota. Fuente: Elaboración propia

d. Volumen de tránsito promedio diario anual (TPDA)

Para obtener una estimación más precisa del tráfico, se aplicará un factor de corrección estacional. Este ajuste tiene como objetivo eliminar las variaciones en el volumen de vehículos que se producen a lo largo del año debido a factores como el turismo, las condiciones climáticas, las temporadas de cosecha, los días festivos, las vacaciones escolares y otros patrones de viaje.

Así, el Volumen de Tránsito Promedio Anual (TPDA) es:

Tabla 15

Resumen de tipos de vehículos con sus respectivos factores de corrección

	Descripción	TPDS	Factor de corrección	TPDA
Tipo de vehículo	Autos	30056	1,07	32083
	Camionetas	2949	1,07	3148
	Micro	4934	1,07	5267
	Bus	417	1,07	445
	Camión	1052	0,96	1009
	Semi Trayler	7	0,96	7
	Trayler	1	0,96	1
	Total	39419		41960

Nota. Fuente: Elaboración propia

- Factor corrección estacional de vehículos pesados

$$FCe \text{ veh. pesados} = 0,959322$$

- Factor corrección estacional de vehículos ligeros

$$FCe \text{ veh. ligeros} = 1,06744$$

La tabla resultante presenta los factores de ajuste para los volúmenes de tráfico, diferenciados por tipo de vehículo. Estos factores se calcularon a partir de los coeficientes de corrección mensual, obtenidos de los datos proporcionados por la estación de peaje de Saylla

e. Clasificación vehicular promedio

Una vez obtenidos los datos de campo sobre la clasificación de los vehículos, se procedió a determinar la proporción de cada tipo de vehículo en la muestra total. Esta composición vehicular se presenta a continuación:

- Vehículos ligeros: 97,58%
- Vehículos pesados: 2,42%

Tabla 16

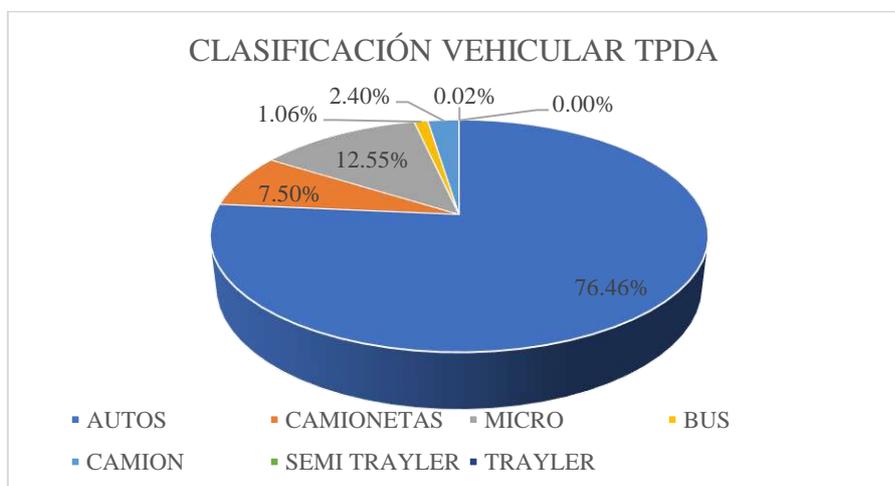
Tráfico vehicular

Tipo de vehículo	TPDA	Distribución
Autos	32083	76,46%
Camionetas	3148	7,50%
Micro	5267	12,55%
Bus	445	1,06%
Camión	1009	2,40%
Semi Trayler	7	0,02%
Trayler	1	0%
Total	41960	100,00%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 66

Gráfico clasificación vehicular



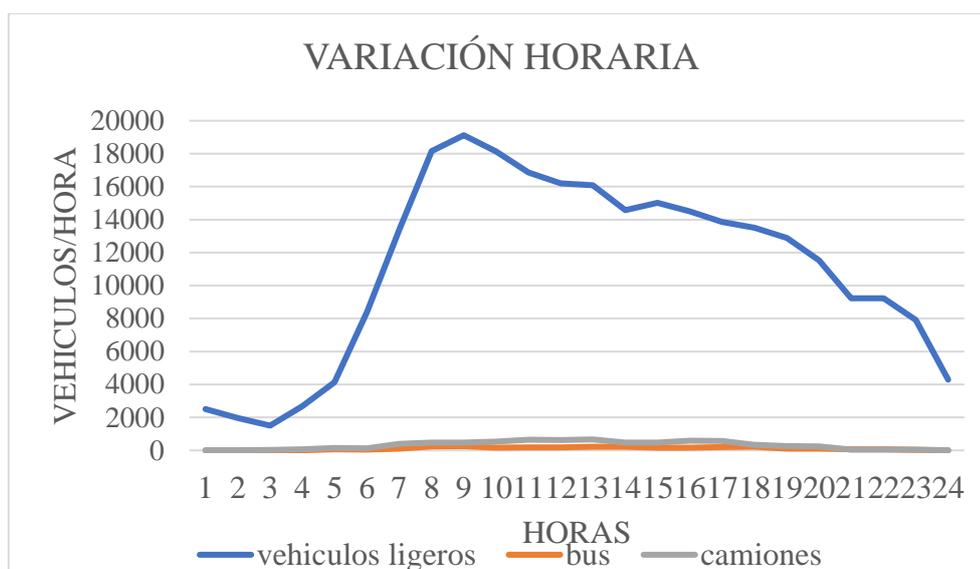
Nota. Fuente: Elaboración propia

f. Variación horaria

El análisis de la variación horaria del tráfico revela la distribución del volumen total de vehículos a lo largo del día. Según los datos recopilados en el conteo vehicular, la figura 67 muestra las horas en las que se registran los mayores y menores volúmenes de tráfico pesado en ambos sentidos de la vía.

Figura 67

Gráfico variación horaria semanal vehículos ligeros pesados y articulados

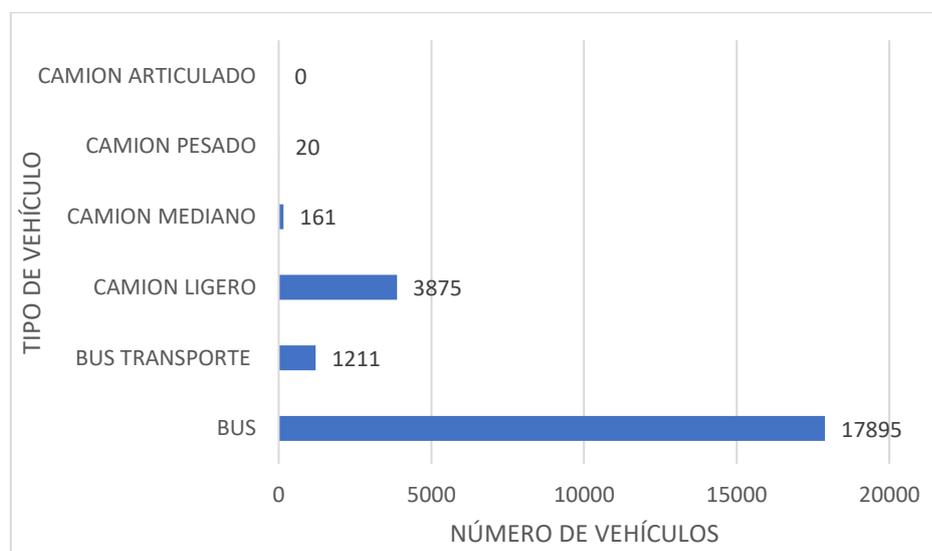


Nota. Fuente: Elaboración propia

Respecto al tráfico vehicular pesado, se tiene:

Figura 68

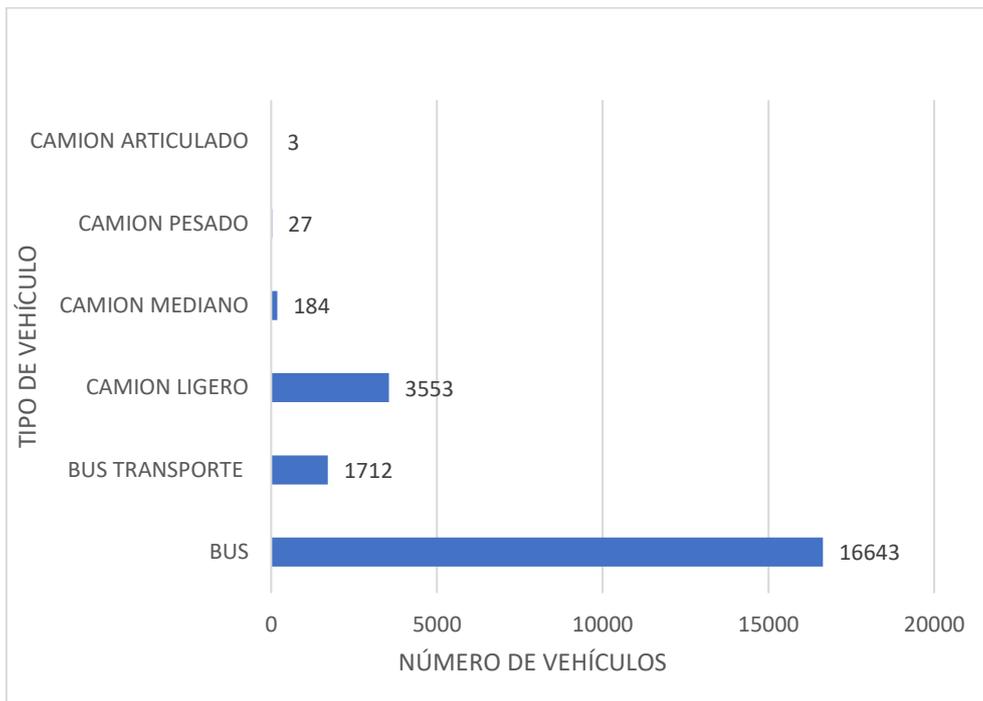
Participación vehicular semanal según tipo de vehículo pesado, carril bajada



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 69

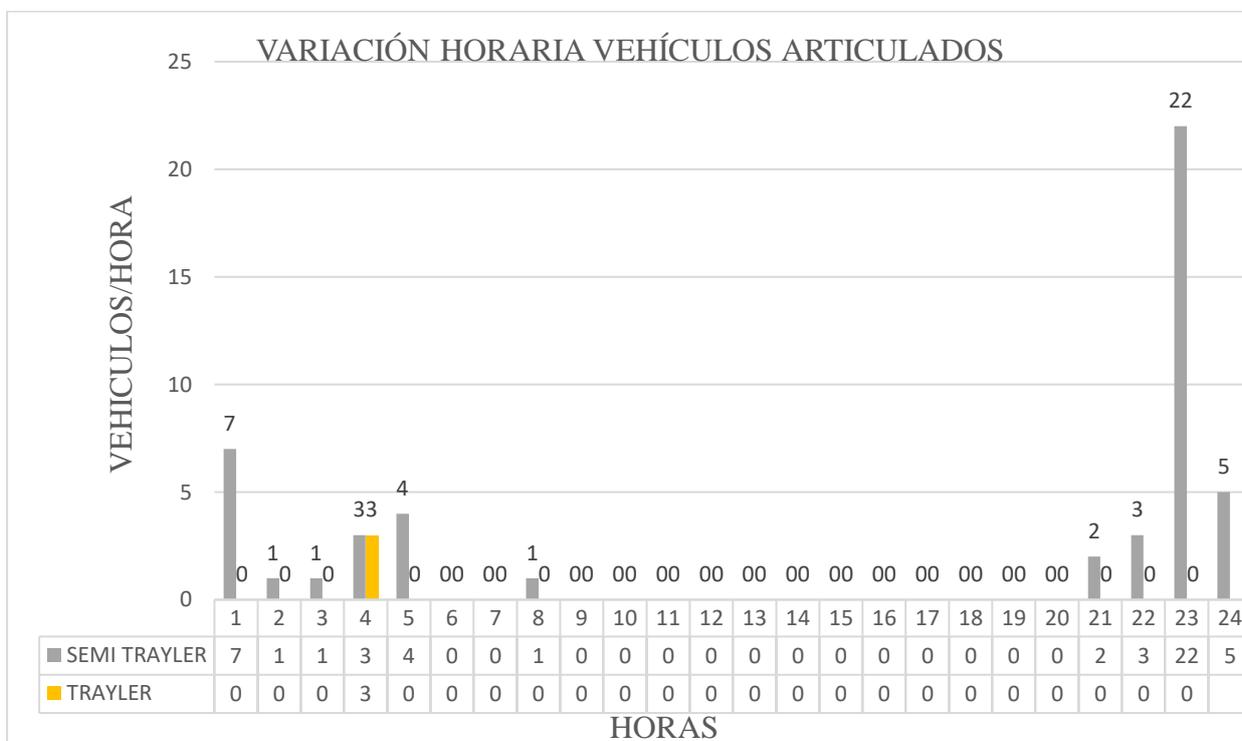
Participación vehicular semanal según tipo de vehículo pesado, carril subida



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 70

Variación horaria semanal vehículos articulados



Nota. Fuente: Elaboración propia

En conformidad con los datos obtenidos de campo del censo o conteo vehicular mostrados en la tabla 13, el tráfico que circula actualmente por el Puente Cachimayo está constituido en 83,96% por vehículos livianos, el 12,55% por buses de transporte público, el 1,06% por buses de transporte interprovincial, el 2,40% por camiones ligeros y camiones pesados, el 0,02% por camiones pesados y 0,019% por camiones pesados articulados.

Además, se recolectaron datos in-situ sobre las características físicas como el peso y las medidas de los vehículos que circulan por la Av. La Cultura y utilizan el puente, las imágenes fueron recolectadas dentro de la ciudad del Cusco.

Figura 71

Vehículos pesados categorías M₂ y M₃, que circulan la Av. La Cultura



Figura 72

Vehículos pesados categorías N₁, N₂ y N₃, que circulan la Av. La Cultura



DATOS DEL VEHICULO		
PLATE	ANADA	ANCLAJE
N3-CAMION	VOLVO	1983
MODELO	F-12	DIESEL
FORMA DE CARGA	VOLQUETE	3
COLORES	BLANCO ROJO	
PLATE	ETM1DFC80776475	CLASIFICACION
PLATE	YS2HFC7DA029350	PESO
NUMERO DE EJES	2	PESO PERMITIDO
ANCHO	3	30.100
ALTO	2.50	25.000
LONGITUD	7.80	14.900
ROCIO YAMPAY MENI REGISTRADO		



Datos del Vehiculo		
Categoría: N2	Año de Fab.: '92	Cilindros: 4
Marca: HYUNDAI	Año Modelo:	Cilindrada: 3.958
Modelo: MIGHTY	Versión:	P. Bruto: 5.230
Color: AZUL BLANCO	Ejes: 2	P. Neto: 2.730
Motor: D4AF804343	Asientos: 3	Carga Util: 2.588
Combustible: PETROLEO	Pasajeros: 2	Longitud: 4.50
Form. Rodante:	Ruedas: 4	Altura: 1.80
VIN:	Carrocera: BARANDA	Ancho: 2.50
Serial/Chasis: JMF0A17FH055847	Potencia:	



Datos del Vehiculo		
Categoría: N2	Año de Fab.: 1993	Cilindros: 4
Marca: MITSUBISHI	Año Modelo: 1993	Cilindrada: 5.816
Modelo: FUSO FIGHTER	Versión: CARGO	P. Bruto: 11.200
Color: BLANCO VERDE ALUMINO AMARILLO	Ejes: 2	P. Neto: 5.200
Motor: 6D15T42751	Asientos: 3	Carga Util: 5.000
Combustible: DIESEL	Pasajeros: 2	Longitud: 9.20
Form. Rodante: 4X2	Ruedas: 6	Altura: 2.25
VIN: EX92	Carrocera: BARANDA	Ancho: 2.27
Serial/Chasis: FV5FKZ38834	Potencia: 188.27@2700	



Datos del Vehiculo		
Categoría: N3	Año de Fab.: 2013	Cilindros: 6
Marca: VOLVO	Año Modelo: 2013	Cilindrada: 12.240
Modelo: FMX 6X4	Versión:	P. Bruto: 25.900
Color: BLANCO AZUL AMARILLO	Ejes: 3	P. Neto: 14.250
Motor: D13078578A1E	Asientos: 2	Carga Util: 10.710
Combustible: DIESEL	Pasajeros: 1	Longitud: 8.19
Form. Rodante: 6X4	Ruedas: 10	Altura: 3.25
VIN: 93KJ582D10E805143	Carrocera: VOLQUETE	Ancho: 2.50
Serial/Chasis: 93KJ582D10E805143	Potencia: 324@1800	

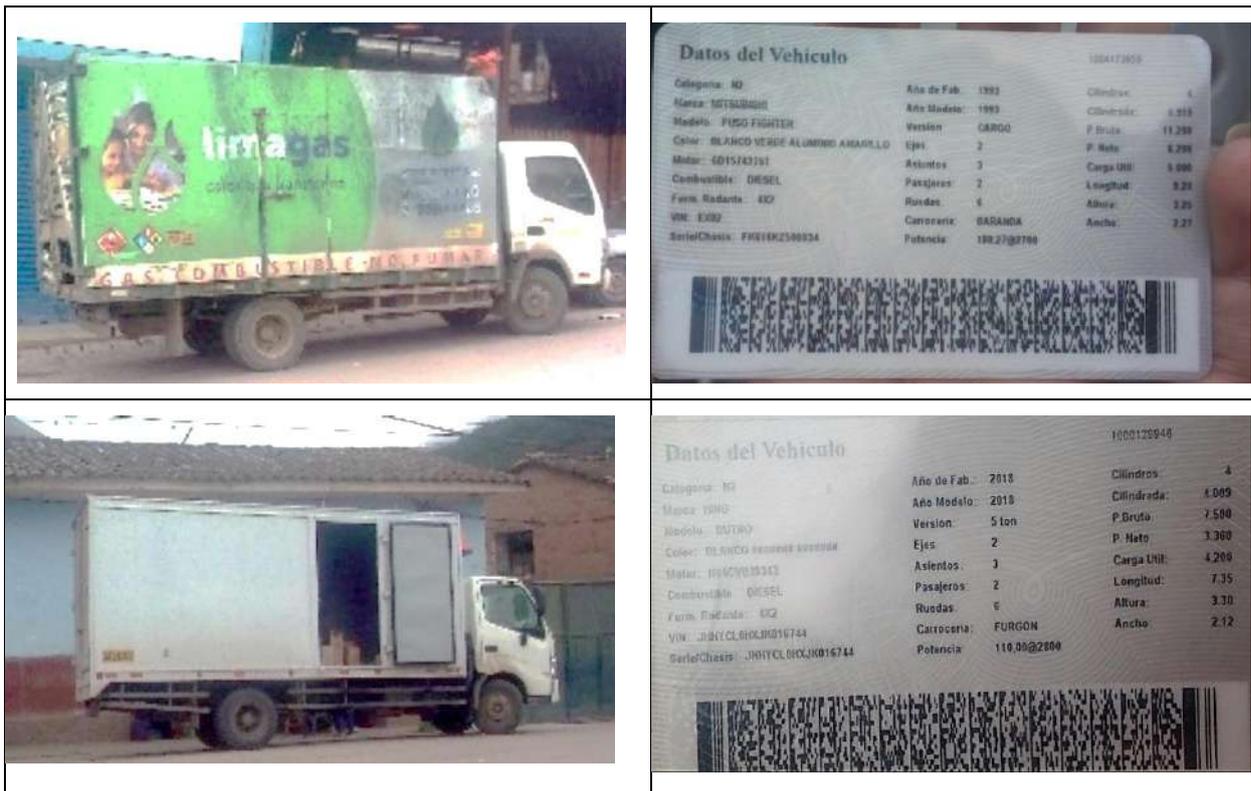


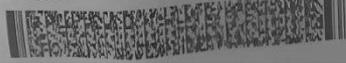
Figura 73

Vehículos pesados categorías N₁, N₂ y N₃ que circulan la Av. La Cultura



Figura 74

Vehículos pesados categorías O₂, O₃ y O₄ que circulan la Av. La Cultura

	<p>Datos del Vehículo 1004427431</p> <table border="0"> <tr> <td>Categoría: O4</td> <td>Año de Fab: 2017</td> <td>Cilindros: 8</td> </tr> <tr> <td>Marca: C.P.R.</td> <td>Año Modelo: 2017</td> <td>Cilindrada: 8 000</td> </tr> <tr> <td>Modelo: SRF</td> <td>Version: 3</td> <td>P. Bruto: 44 710</td> </tr> <tr> <td>Color: VERDE #####</td> <td>Ejes: 3</td> <td>P. Neto: 7 550</td> </tr> <tr> <td>Motor:</td> <td>Asientos: 0</td> <td>Carga UH: 37 160</td> </tr> <tr> <td>Combustible:</td> <td>Pasajeros: 0</td> <td>Longitud: 14 257</td> </tr> <tr> <td>Form. Rodante: 3RS</td> <td>Ruedas: 6</td> <td>Altura: 4 38</td> </tr> <tr> <td>VIN: 8T934513GH1FX5304</td> <td>Carrocería: FURGON</td> <td>Ancho: 2 53</td> </tr> <tr> <td>Serie/Chasis: 8T934513GH1FX5304</td> <td>Potencia:</td> <td></td> </tr> </table> 	Categoría: O4	Año de Fab: 2017	Cilindros: 8	Marca: C.P.R.	Año Modelo: 2017	Cilindrada: 8 000	Modelo: SRF	Version: 3	P. Bruto: 44 710	Color: VERDE #####	Ejes: 3	P. Neto: 7 550	Motor:	Asientos: 0	Carga UH: 37 160	Combustible:	Pasajeros: 0	Longitud: 14 257	Form. Rodante: 3RS	Ruedas: 6	Altura: 4 38	VIN: 8T934513GH1FX5304	Carrocería: FURGON	Ancho: 2 53	Serie/Chasis: 8T934513GH1FX5304	Potencia:												
Categoría: O4	Año de Fab: 2017	Cilindros: 8																																					
Marca: C.P.R.	Año Modelo: 2017	Cilindrada: 8 000																																					
Modelo: SRF	Version: 3	P. Bruto: 44 710																																					
Color: VERDE #####	Ejes: 3	P. Neto: 7 550																																					
Motor:	Asientos: 0	Carga UH: 37 160																																					
Combustible:	Pasajeros: 0	Longitud: 14 257																																					
Form. Rodante: 3RS	Ruedas: 6	Altura: 4 38																																					
VIN: 8T934513GH1FX5304	Carrocería: FURGON	Ancho: 2 53																																					
Serie/Chasis: 8T934513GH1FX5304	Potencia:																																						
	<p>Datos del Vehículo</p> <table border="0"> <tr> <td>Categoría: O4</td> <td>Año Fabric.: 2014</td> </tr> <tr> <td>Marca: LIM</td> <td>Año Modelo: 2014</td> </tr> <tr> <td>Modelo: LIM/SRP-03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Color: BLANCO AZUL GRIS CELESTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de VIN: 819ES24H1ECPG5427</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de Serie: 819ES24H1ECPG5427</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de Motor: 819ES24H1ECPG5427</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carrocería: BARANDA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Potencia: #####</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Form. Rod.: T353</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Combustible: #####</td> <td></td> </tr> </table> <table border="0"> <tr> <td>Cilindros: 0</td> <td>Cilindrada: 0.000</td> </tr> <tr> <td>Asientos: 0</td> <td>P. Bruto: 48.000</td> </tr> <tr> <td>Pasajeros: 0</td> <td>P. Neto: 16.900</td> </tr> <tr> <td>Ruedas: 12</td> <td>Carga UH: 31.500</td> </tr> <tr> <td>Ejes: 3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Longitud: 12.65</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura: 3.55</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ancho: 2.60</td> <td></td> </tr> </table> 	Categoría: O4	Año Fabric.: 2014	Marca: LIM	Año Modelo: 2014	Modelo: LIM/SRP-03		Color: BLANCO AZUL GRIS CELESTE		Número de VIN: 819ES24H1ECPG5427		Número de Serie: 819ES24H1ECPG5427		Número de Motor: 819ES24H1ECPG5427		Carrocería: BARANDA		Potencia: #####		Form. Rod.: T353		Combustible: #####		Cilindros: 0	Cilindrada: 0.000	Asientos: 0	P. Bruto: 48.000	Pasajeros: 0	P. Neto: 16.900	Ruedas: 12	Carga UH: 31.500	Ejes: 3		Longitud: 12.65		Altura: 3.55		Ancho: 2.60	
Categoría: O4	Año Fabric.: 2014																																						
Marca: LIM	Año Modelo: 2014																																						
Modelo: LIM/SRP-03																																							
Color: BLANCO AZUL GRIS CELESTE																																							
Número de VIN: 819ES24H1ECPG5427																																							
Número de Serie: 819ES24H1ECPG5427																																							
Número de Motor: 819ES24H1ECPG5427																																							
Carrocería: BARANDA																																							
Potencia: #####																																							
Form. Rod.: T353																																							
Combustible: #####																																							
Cilindros: 0	Cilindrada: 0.000																																						
Asientos: 0	P. Bruto: 48.000																																						
Pasajeros: 0	P. Neto: 16.900																																						
Ruedas: 12	Carga UH: 31.500																																						
Ejes: 3																																							
Longitud: 12.65																																							
Altura: 3.55																																							
Ancho: 2.60																																							
																																							

De las figuras 71, figura 72, figura 73 y figura 74 tenemos:

Tabla 17

Pesos y capacidad de vehículos categorías M que circulan la Avenida La Cultura

Categoría	Carga Útil	Peso Neto	Peso Bruto
M3-C1	3,00	4,50	7,50
M3	2,49	4,18	6,67

Tabla 18*Pesos y capacidad de vehículos categorías N que circulan la Avenida De La Cultura*

Categoría	Carga Útil	Peso Neto	Peso Bruto
N1	1,21	1,23	2,44
N1	1,24	2,00	3,24
N1	1,50	2,00	3,50
N2	2,50	2,73	5,23
N2	2,80	3,70	6,50
N2	3,41	3,09	6,50
N2	4,00	2,50	6,50
N2	4,20	3,30	7,50
N2	4,03	4,35	8,38
N2	5,55	6,20	11,20
N3	10,716	7,70	18,416
N3	10,71	14,29	25,00
N3	14,9	10,10	25,00
N3	15,93	9,05	25,00
N3	18,00	7,00	25,00
N3	16,50	8,70	25,00
N3	21,086	10,914	32,00

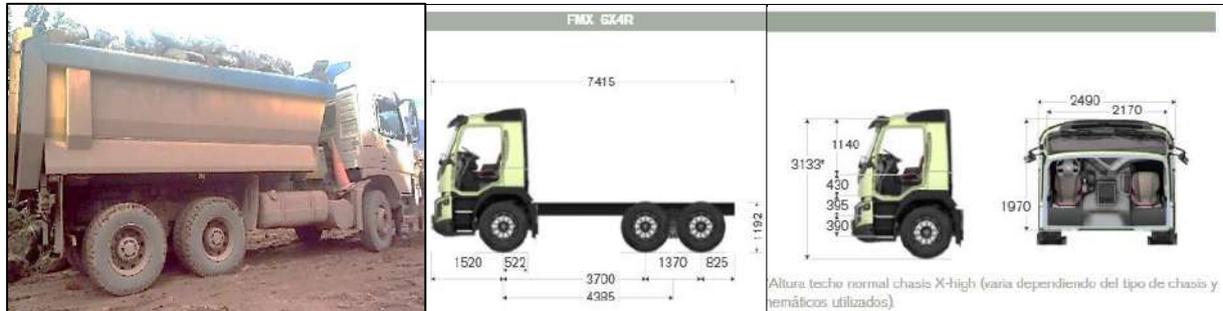
Tabla 19*Pesos y capacidad de vehículos categoría O que circulan la avenida La Cultura*

Tipo vehículo	Categoría	Configuración vehicular	Carga útil	Peso neto	Peso bruto
Semirremolque	O4	S3	31,50	16,50	48,00
Semirremolque	O4	3RS	32,00	8,00	40,00
Remolque	O4	S2S2	37,16	7,55	44,71

De los vehículos más pesados tendremos:

Figura 75

Medidas del camión VOLVO FMX 6X4R



Nota. Fuente: Fabricante, medidas en mm.

Figura 76

Vehículo real cruzando por el Puente Cachimayo, foto registrada a las 13:17 del lunes, 28 de octubre de 2024



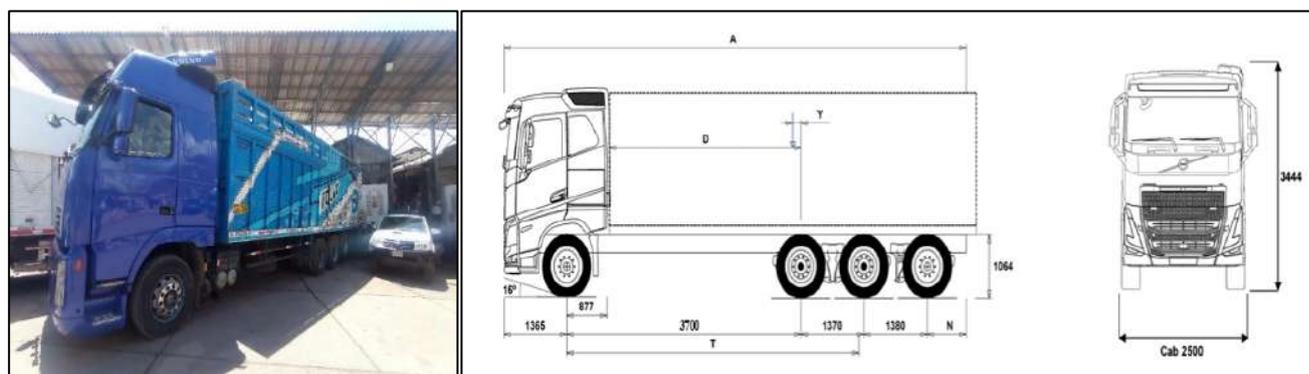
Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 77*Pesos y capacidades del camión VOLVO FMX 6X4R*

PESOS Y CAPACIDADES (Kg)			
FMX 6X4R	Eje delantero	Eje trasero	Total
Capacidad técnica	9.000	32.000	41.000
Limite legal	6.000	18.000	24.000
Peso del chasis*	5.150	4.650	9.800

*Pesos estimados con 100 lts de combustible, sin chofer y con rueda de auxilio. Llantas de acero, frenos a tambor, cabina extendida techo normal y eje RTH3210F. Distancia entre ejes 3700 mm. Para motor 11 lts restar 140 kg. Para eje con reductor RTS2370 restar 150 Kg.

Nota. Fuente: Fabricante, medidas en mm.

Figura 78*Medidas del camión VOLVO FH 16 8x4*

Nota. Fuente: Fabricante

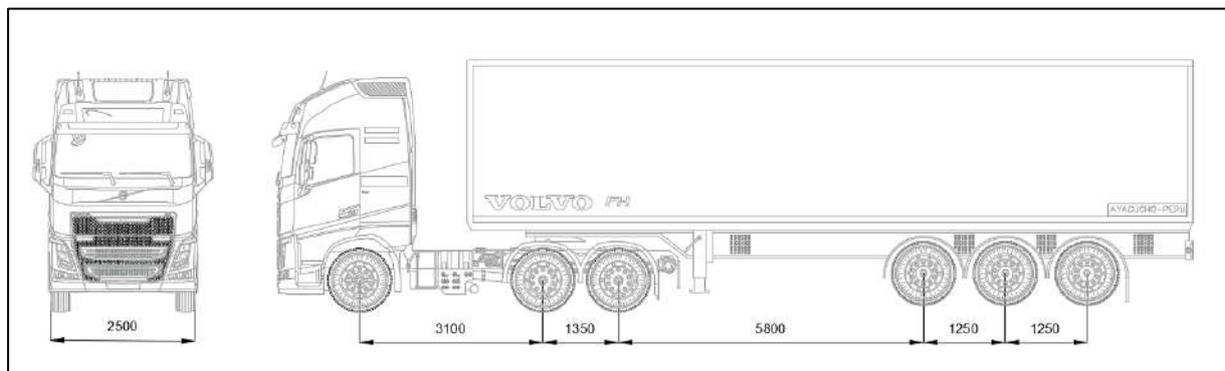
Tabla 20*Pesos y capacidades del camión VOLVO FH 16 8x4*

Peso Bruto Vehicular[kg]	32,000
Eje Delantero[kg]	8,000
Eje Trasero[kg]	24,000

Nota. Fuente: Fabricante

Figura 79

Medidas tomadas en campo de vehículo de configuración T3S3 Volvo FH 420



Nota. Fuente: Fabricante

Figura 80

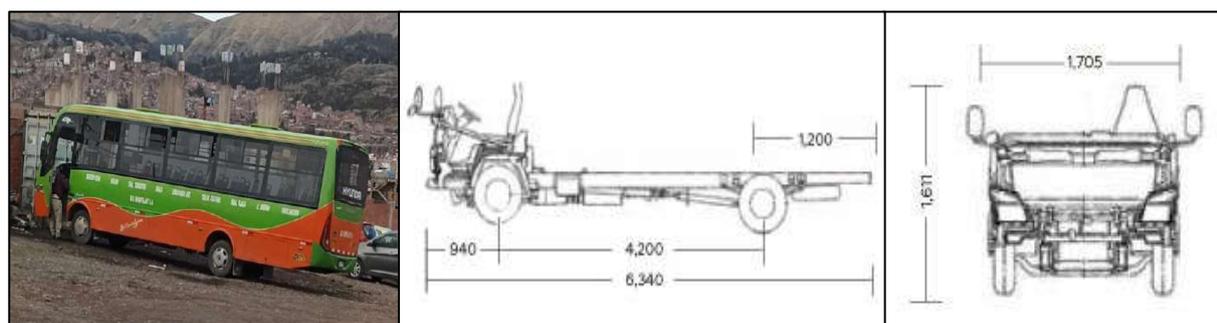
Pesos y capacidades del camión VOLVO FMX 6X4R

Pesos y Capacidades (kg)	
Peso seco*	9000
Capacidad de carga máxima sobre 5ta rueda legal [técnico]	16000 [19500]
Peso bruto legal [técnico]	25000 [28500]
Capacidad de arraste legal máximo (inc bonificación)*	39000 [41400]
Peso bruto combinado legal máximo [Peso bruto combinado técnico máximo]	48000 [60000]
Capacidad máxima delantera	7500
Capacidad máxima posterior	21000
Peso seco sobre ejes delanteros*	5100
Peso seco sobre ejes traseros*	3900
<small>*Pesos en orden de marcha, con tanque de combustible vacío, neumático de reserva, sin extintor, motor de 500 CV, sin conductor, neumáticos 295/80R22.5 y tolerancia de 1.5%. La inclusión de opcionales puede modificar los pesos arriba indicados. Peso del AdBlue (64 L) + 70 kg. Peso del Diésel (735) + 625 kg.</small>	

Nota. Fuente: Fabricante

Figura 81

Vehículo categoría M3, Hyundai County III



Nota. Fuente: Fabricante, medidas en mm

Figura 82*Pesos y capacidades del vehículo Hyundai County III*

PESOS	
Peso bruto vehicular (t)	7,800
Capacidad del eje delantero (t)	3,100
Capacidad del eje posterior (t)	4,700
Peso neto vehicular (t)	2,255

Nota. Fuente: Fabricante**Figura 83***Tractocamión con semirremolque marca AML**Nota.* Fuente: Fotografía del autor**Tabla 21***Características semirremolque marca AML*

Tipo de Vehículo	Categoría	Marca	Modelo	Categoría	Número de ejes	Número de ruedas
Semirremolque	O4	AML	AML-03	Cisterna Combustible CAP 10,000 GALS	3	12

Figura 84*Tractocamión con remolques marca CPR**Nota.* Fuente: Fotografía del autor

Tabla 22*Características remolque marca CRP*

Tipo de Vehículo	Categoría	Marca	Modelo	Categoría	Número de ejes	Número de ruedas
Semirremolque	O4	CPR	SRF	Furgón	2	4

Tabla 23*Pesos y capacidades de los remolques marca CRP, figura 84*

	Capacidad de ejes propiamente dichos
Primer conjunto de ejes posteriores(kg)	13,60
Segundo conjunto de ejes posteriores(kg)	13,60
*Distancia entre ejes 1,3m	

Nota. Fuente: Fabricante

4.2 Inspección especial

Se realizó una auscultación profunda de los elementos del Puente Cachimayo que incluye ensayos de campo y laboratorio cuyo objetivo es la caracterización de los materiales constituyentes de la estructura, la determinación de resistencias y composición de los materiales, así como conocer con mayor detalle los daños encontrados; en especial en la losa que recibe directamente el impacto de las cargas de tráfico, así mismo se realiza un modelo numérico de la superestructura para comparar los esfuerzos y deformaciones provocadas por la carga que circula al momento de las mediciones in-situ que son modeladas en el programa así como la carga máxima del camión más pesado que circula actualmente por el puente; estos resultados los comparamos con las medidas in-situ mediante las galgas y conocer así la capacidad de carga del puente frente a estas solicitaciones.

La inspección especial se lleva cabo en el Puente Cachimayo debido a que el puente tiene muchos años en servicio y no se cuenta con información disponible relativa a su construcción, espesores de recubrimiento, cuantía de armado, disposición de barras, datos geométricos, resistencia, composición de sus materiales, fichas de inspecciones realizadas; esta inspección servirá para conocer las causas de los daños y poder tomar decisiones sobre las

actuaciones necesarias para reparar, rehabilitar, mejorar las condiciones de servicio de la estructura, prolongar su vida útil y poder conocer las restricciones de carga del puente.

4.2.1 Levantamiento topográfico

Para el conocimiento geométrico Puente Cachimayo se realizó un levantamiento topográfico con una Estación Total marca Leica TS06.

El levantamiento detallado de la estructura servirá para el levantamiento de las patologías, para una valoración estructural de la obra, para la modelación de la estructura en el programa CsiBridge, el análisis y para el dibujo de planos de la geometría actual del Puente Cachimayo.

Los datos iniciales de ingreso fueron:

- Zona, sistema de coordenadas:

UTM-WGS 1984 datum, Zone 19 South, Meter; Cent. Meridian 69d W

- Entrada de coordenadas inicial, punto inicial:

Latitud Norte: 8502581,817 m

Longitud Este: 181599,065 m

Altitud 3372,186 msnm a 3301 msnm

- Datum:

WGS 84

El número de puntos levantados en total fue de cuatrocientos veinte ocho,428.

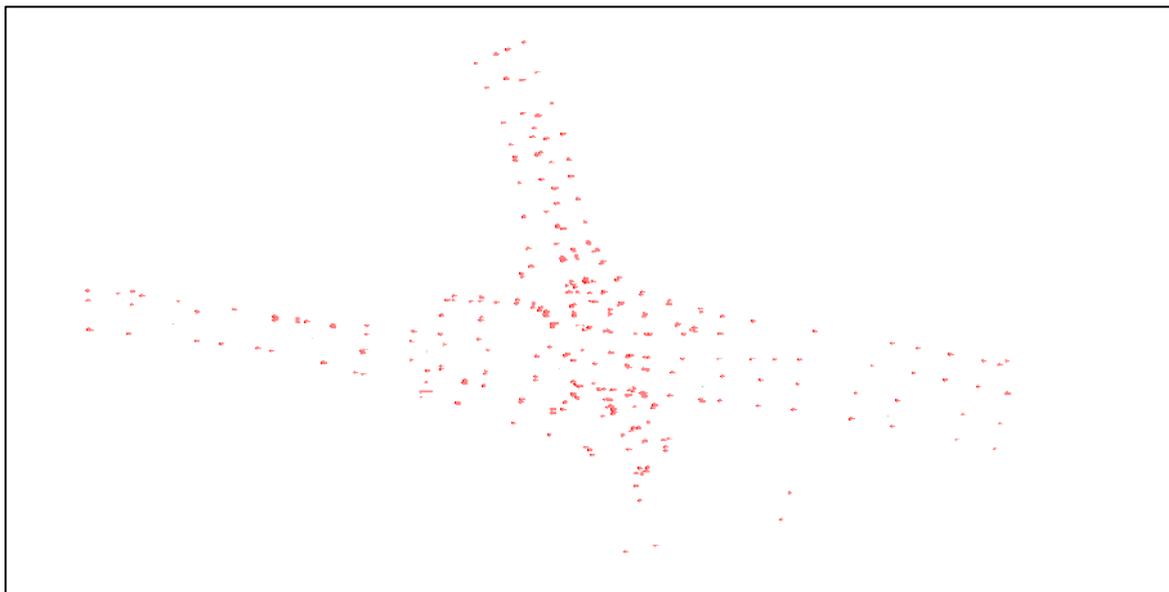
Figura 85*Mediciones del Puente in situ**Nota.* Fuente: Fotografía del autor**Tabla 24***Procesamiento de datos (puntos). software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2018*

Point Number	Easting	Northing	Point Elevati...	Name	Raw Descripti...	Full Descript...
1	181587.5732m	8502597.3370m	3370.680m		RA	RA
2	181590.7551m	8502599.6720m	3370.637m		RA	RA
3	181606.4619m	8502572.4830m	3376.241m		AV	AV
4	181600.0633m	8502581.1290m	3376.371m		PUENTE	PUENTE
5	181600.3635m	8502573.6680m	3376.235m		C	C
6	181606.2584m	8502572.1540m	3376.238m		AV	AV
7	181606.6797m	8502572.6450m	3376.237m		AV	AV
8	181607.3952m	8502572.7340m	3376.230m		AV	AV
9	181608.8453m	8502580.4640m	3376.225m		V	V
10	181613.0532m	8502580.3440m	3376.223m		SUMID	SUMID
11	181612.5750m	8502572.1430m	3376.204m		SUMID	SUMID
12	181613.7477m	8502572.0460m	3376.211m		SUMID	SUMID
13	181614.2400m	8502580.3560m	3376.245m		SUMID	SUMID
14	181625.8511m	8502571.5740m	3376.076m		SUMID	SUMID
15	181626.2613m	8502580.3730m	3376.104m		SUMID	SUMID
16	181639.5887m	8502580.4490m	3376.034m		V	V
17	181639.0167m	8502571.4420m	3375.983m		V	V
18	181640.3566m	8502586.8890m	3375.949m		V	V
19	181651.0305m	8502571.3400m	3376.044m		V	V
20	181651.4563m	8502585.0860m	3376.009m		V	V
21	181659.0372m	8502571.2300m	3376.065m		V	V
22	181667.8836m	8502571.1270m	3376.046m		V	V
23	181672.6144m	8502591.4850m	3376.165m		V	V

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 86

Puntos del levantamiento topográfico



Nota. Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Medición de la resistencia de los materiales

Para la caracterización de los materiales constituyentes del puente de concreto armado, como son principalmente el concreto y el acero, se realiza para el concreto el ensayo de esclerometría según la norma ASTM C-805, empleado una evaluación comparativa de la resistencia del concreto a la compresión y como no se pueden realizar ensayos semidestructivos o destructivos para la determinación la resistencia del acero a la fluencia se utilizarán datos proporcionados por del fabricante.

4.2.3 Prueba del Pachómetro

Para conocer el recubrimiento del acero en la estructura el puente, se realizó la prueba del pachómetro en el estribo derecho del Puente Cachimayo, para lo cual se trazó una línea horizontal y se utilizó el equipo Bosch D-TECT 150 que detecta metales ferrosos hasta 15 cm de profundidad.

Se trazó una línea recta con la ayuda de un tiralíneas para poder mantener la verticalidad durante las lecturas y se tomaron dos lecturas a lo largo del cuerpo del estribo.

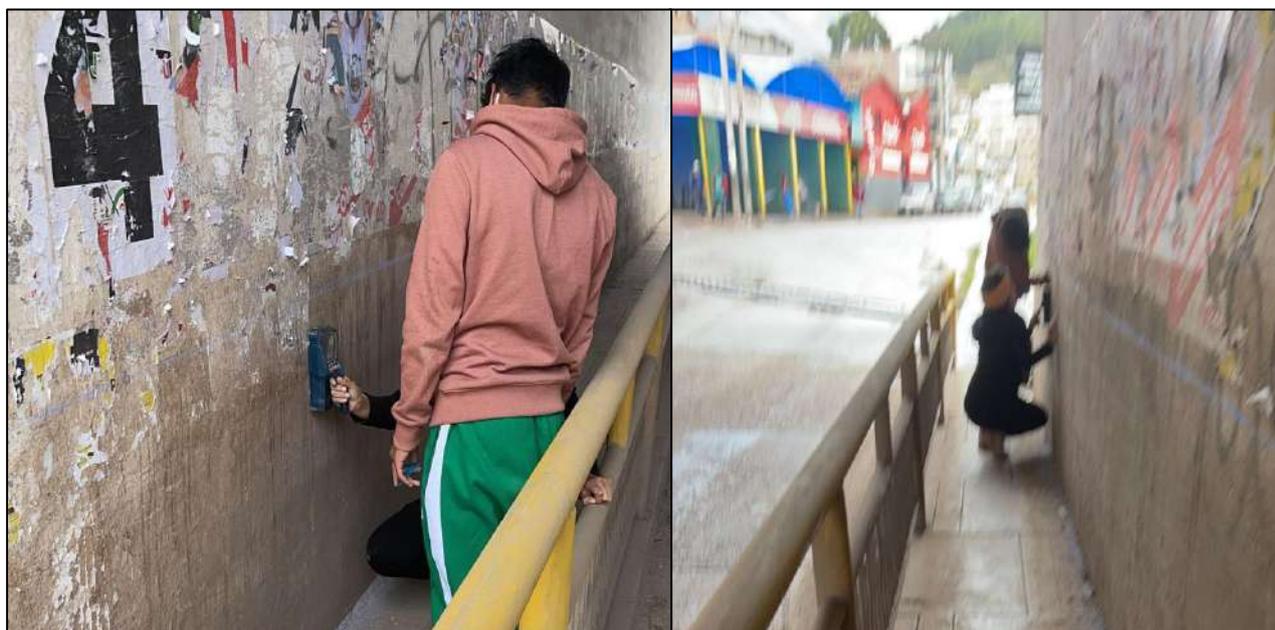
La prueba de pachómetro sirvió también de apoyo para realizar el ensayo de esclerometría, son el pachómetro se detectaron libres de acero o instalaciones.

Figura 87

Detector de materiales hasta 150 mm Bosch D-TECT 150

**Figura 88**

Prueba de pachómetro in-situ



Nota. Fuente: Fotografía del autor

4.2.4 Resistencia del concreto-Prueba del esclerómetro

La determinación de la resistencia a la compresión del concreto en el Puente Cachimayo se obtuvo con el equipo: Martillo para prueba de concreto, esclerómetro, de la marca A&A INSTRUMENT, modelo ZC3-A, cuyo alcance de indicación es de 100 para el número de rebote. Este equipo de procedencia China de tipo analógico se encuentra calibrado al momento de los ensayos.

Figura 89

Esclerómetro calibrado marca A&A INSTRUMENT



Nota. Fuente: Fotografía del autor

El ensayo de esclerometría se realizó en el estribo izquierdo y en la pila central del puente, el ángulo de inclinación de los ensayos realizados fue a cero grados, 0°.

Previo a la elección de las zonas de ensayo se realizó la prueba de pachómetro que sirvió de apoyo para realizar este ensayo en zonas libres de acero o instalaciones.

Figura 90

Malla cuadrada de 10cm x 10cm y espaciado interno de cuadrados de 2,5 cm



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 91

Ensayo de esclerometría en elementos estructurales del Puente Cachimayo

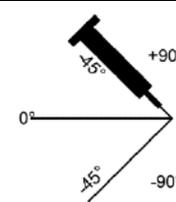


Nota. Fuente: Fotografía del autor

La siguiente tabla muestra la correlación entre el índice de rebote y el ángulo de impacto para conocer el valor de la resistencia a compresión, f'_c .

Figura 92

Tabla de equivalencia esclerómetro A&A INSTRUMENT, modelo ZC3-A.

		ANGULO DE IMPACTO, a						
R	a-90°	a-45°	0°	a+45°	a+90°			
	20	125	115					
21	135	125						
22	145	135	110					
23	160	145	120					
24	170	160	130					
25	180	170	140	110				
26	198	185	158	115				
27	210	200	165	130	105			
28	220	210	180	140	120			
29	238	220	190	150	138			
30	250	238	210	170	145			
31	260	250	220	180	160			
32	280	265	238	190	170			
33	290	280	250	210	190			
34	310	290	260	220	200			
35	320	310	280	238	21			
36	340	320	290	250	230			
37	350	340	310	265	245			
38	370	350	320	280	260			
39	380	370	340	300	280			
40	400	380	350	310	295			
41	410	400	370	330	310			
42	425	415	380	345	325			
43	440	430	400	360	340			
44	460	450	420	380	360			
45	470	460	430	395	375			
46	490	480	450	410	390			
47	500	495	465	430	410			
48	520	510	480	445	430			
49	540	525	500	460	445			
50	550	540	515	480	460			
51	570	560	530	500	480			
52	580	570	550	515	500			
53	600	590	565	530	520			
54	Over 600	Over 600	580	550	530			
55	Over 600	Over 600	600	570	550			

VALOR DE REBOTE, R

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, F (kg/cm²)

Nota. Fuente: Fabricante A&A INSTRUMENTS

4.2.5 Monitoreo e instrumentación de elementos sometidos a cargas vivas mediante un sistema electrónico

Para el diseño del sistema electrónico, su implementación en laboratorio y campo se contó con el apoyo de una empresa electrónica.

El objetivo del sistema electrónico es determinar la acción de las cargas de tráfico sobre la losa hallando las deformaciones unitarias y esfuerzos de la superestructura del puente cuando es sometido a cargas vivas vehiculares durante su operación normal y almacenar dichos datos en tiempo real en un computador, además de poder calibrar el modelo estructural y poder tomar mejores decisiones respecto a su rehabilitación.

Se diseñó el sistema para registrar datos en dos (2) puntos bajo el tablero del puente que corresponden a los carriles de subida, en los cuales se instalan galgas extensiométricas que se deforman junto con la losa y los elementos sensibles a la deformación. La señal captada por las galgas en cada punto se procesa mediante un controlador, que la amplifica, filtra y digitaliza para su posterior análisis.

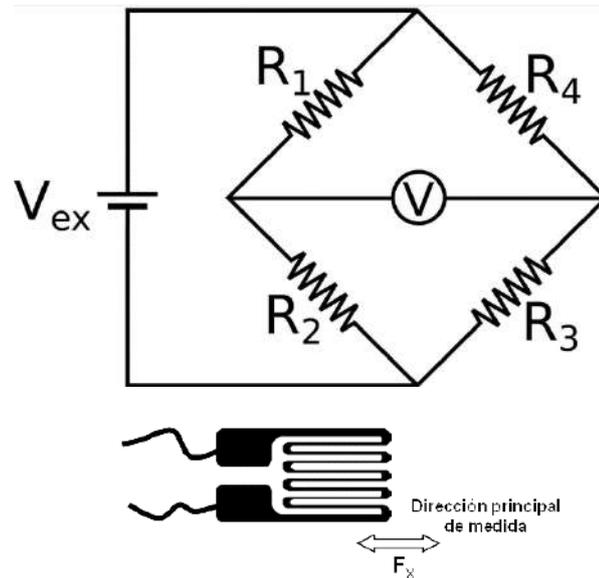
La instalación de los sensores consiste en dos galgas instaladas a 90 grados, una de ellas instalada en la dirección de la deformación alineado con los esfuerzos principales que para el Puente Cachimayo será la dirección longitudinal debido al momento flector por las cargas vehiculares del tráfico, la otra galga está instalada a 90 ° y ayudará a contrarrestar los efectos térmicos debido a que ambas estarán sometidas a la misma variación de temperatura; además la ventaja de utilizar dos galgas es que permitirá detectar pequeños movimientos o deformaciones del material, no relacionadas directamente con la carga aplicada que pueden afectar la lectura de una sola galga. Las dos galgas están conectadas en un puente Wheatstone para la amplificación de la señal.

Puente de Wheatstone: Las dos galgas utilizadas por punto bajo el tablero y por debajo de las líneas de carril se conectan en ramas opuestas del instrumento eléctrico denominado puente de Wheatstone. El puente Wheatstone puede ser de tipo cuarto, medio o puente completo y depende del número de resistencias o galgas activas; en el ensayo que será realizado en el Puente Cachimayo se tiene una galga activa por tanto el puente Wheatstone funciona con un cuarto de puente. El principio de funcionamiento del puente Wheatstone se basa en el equilibrio de voltaje entre los dos brazos del circuito para tener un equilibrio de voltaje igual a cero ($V=0$), en el cuarto de puente una galga se coloca en la zona donde se espera que se produzca la deformación principal, y la otra se coloca perpendicular en una zona de referencia donde se

espera que la deformación sea mínima o nula; esta segunda galga se coloca para contrarrestar los efectos de temperatura que alterarían la lectura de la galga principal activa.

Figura 93

Circuito de puente de Wheatstone



Nota. Fuente: Elaboración propia

Inicialmente todos los brazos del circuito del puente Wheatstone tienen el mismo valor de resistencia y son iguales a la resistencia, R de la galga utilizada.

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (4.3)$$

Cuando la galga activa (R_4) se deforma, se produce una variación de resistencia, tal que:

$$R_4 = R + \Delta R \quad (4.4)$$

La lectura del voltaje V de salida utilizando la primera ley de Kirchhoff, que relaciona el voltaje de excitación V_{EX} y los valores de la resistencia, es:

$$V = V_{EX} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \quad (4.5)$$

Dónde:

V_{EX} : voltaje de excitación o alimentación, $V_{ex} = 5V$ ($5000 \mu V$).

V : voltaje medido (μV).

R_1, R_3 and R_4 : resistencias de los brazos del puente Wheatstone(Ω).

R_3 : Resistencia de la galga pasiva no sometida a esfuerzo mecánico (Ω).

R_4 : Resistencia de la galga activa en su dirección fundamental X(Ω).

R: resistencia nominal de la galga.

Remplazando los valores de variación de resistencia de la galga activa en esta ecuación se obtiene:

$$\frac{V}{V_{EX}} = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2 + \frac{\Delta R}{R}} \right) \quad (4.6)$$

Así también la sensibilidad a la deformación de la galga está dada por el factor de galga K, cuyo valor está expresada mediante la relación entre la variación de la resistencia de la galga R y la deformación unitaria de galga, ϵ .

$$K = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \quad (4.7)$$

$$K\epsilon = \frac{\Delta R}{R} \quad (4.8)$$

Remplazando la ecuación 4.8 en la ecuación 4.7, finalmente tendremos:

$$\epsilon = \frac{1}{K} \left(\frac{4}{\frac{V_{EX}}{V} - 2} \right) \quad (4.9)$$

Donde:

V_{ex} : volteje de excitación(μV).

V: volteje medido(μV).

K: factor de galga (Fabricante).

ϵ : deformación unitaria de galga normalizada(mm/mm).

Las galgas extensométricas que se utilizaron son el modelo BX120-50AA, las cuales tienen una resistencia nominal de 120 ohmios, cuya sensibilidad a la deformación llamada factor de galga es de 7,8.

Figura 94*Galga extensiométrica*

Nota. Fuente: Nylamp Mechatronics.com

Especificaciones técnicas:

- Modelo: BX120-50AA
- Resistencia: 120 Ω
- Factor de galga (gauge factor): 7,8
- Material: Aldehído
- Longitud de galga: 50 mm
- Dimensiones: 58,2X6,5 mm
- Longitud cables: 33 mm

4.2.6 Calibración del sistema electrónico en laboratorio

Para la calibración del equipo electrónico se realizó el montaje de las galgas sobre un perfil de acero hueco de sección rectangular cerrada, en la cual se realizó el ensayo de flexión en cuatro puntos utilizando la máquina universal de marca INSTRON 600DX de 600 KN(135,000lbf) de capacidad y software PartnerTM del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil.

En el ensayo de flexión de 4 puntos realizado, la probeta se coloca sobre dos apoyos y se somete a carga en el centro con un punzón de ensayo con dos puntos de presión, la fuerza se aplica sobre la probeta mediante dos puntas de flexión posicionadas de forma simétrica sobre los apoyos. En el ensayo de flexión realizado para la calibración del sistema electrónico la distancia entre los apoyos fue de 15 cm a cada lado del eje central de aplicación de la carga.

El ensayo de flexión, realizado según la norma ASTM A370 (que establece los procedimientos para pruebas mecánicas de productos de acero), proporciona información sobre las propiedades del material, incluyendo el esfuerzo máximo que puede soportar antes de

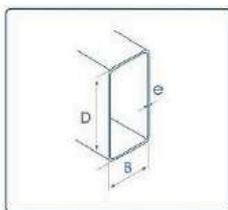
deformarse, deformaciones que ocurren durante el ensayo, la resistencia a la fractura y el modo en que el material se rompe.

En resumen, los resultados del ensayo de flexión permiten evaluar la capacidad del material para resistir esfuerzos de flexión y su comportamiento bajo este tipo de carga

El ensayo de flexión para la calibración se realizó sobre tres testigos de acero de las siguientes características:

Figura 95

Sección de las probetas de acero ensayadas



- Material: Tubo Lac rectangular mecánico
- Acero ASTM A1011- LAC
- Norma de fabricación: ASTM A-500
- F'y: 2530 Kg/cm²
- Medida estándar
 - 60x40 mm
 - 2 1/4 x2 1/2

Tabla 25

Propiedades mecánicas tubo estructural ASTM A500/ASTM A500M LAC

SECCIÓN	NORMA TÉCNICA		GRADO	LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)	ELONGACIÓN MÍNIMO
	DEL TUBO	DEL ACERO				
REDONDO	ASTM A 500 / A500M	ASTM A 500 GRADO A	A	228	310	25
		ASTM A1011 CS TIPO B		-	≥ 290	≥ 25
CUADRADO	AST A 500 / A500M	AST A500 GRADO A	A	270	310	25
		ASTM A1011 CS TIPO B		-	≥ 290	≥ 25
RECTÁNGULO	ASTM A 500 / A500M	ASTM A500 GRADO A	B	269	310	25
		ASTM A1011 CS TIPO B		-	≥ 290	≥ 25

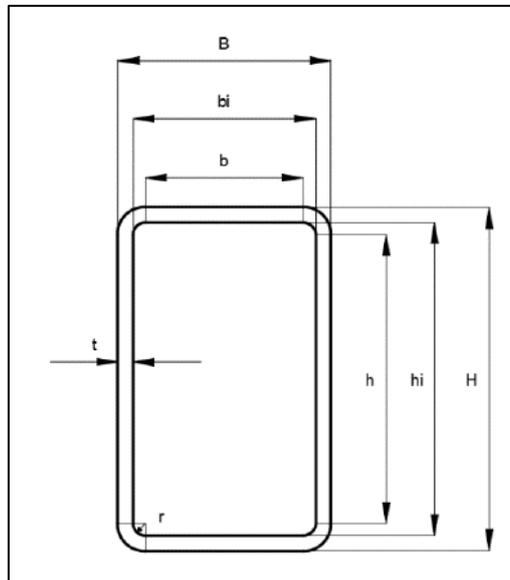
(±) Dimensiones y Tolerancias.

Nota. Fuente: Aceros Arequipa

De los ensayos realizados en el laboratorio se tiene:

Figura 96

Medidas perfil acero rectangular



Nota. Fuente: Elaboración propia

Las medidas en milímetros(mm) de los tres testigos, donde:

B : ancho entre las paredes del perfil tubular

H : altura entre las paredes del perfil tubular

b : distancia libre entre almas menos las esquinas redondeadas de cada lado

h : luz libre entre las alas menos las esquinas redondeadas de cada lado

b_i : ancho libre entre las paredes del perfil tubular

h_i : altura libre entre las paredes del perfil tubular

r : radio interno de curvatura

t : espesor

Tabla 26*Dimensiones y medidas de probetas ensayadas en laboratorio*

TESTIGO	L (m)	B (mm)	H (mm)	t (mm)	r (mm)	bi (mm)	hi (mm)
1	1,2	36,7	56,5	1,6	1,6	33,5	53,3
2	1,2	40,4	60,4	1,6	1,6	37,2	57,2
3	1,2	40,5	60,4	1,6	1,6	37,3	57,2

Nota. Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las áreas de secciones cuadradas rectangulares, se considera que el radio interno de curvatura es igual al espesor.

$$r_i = t = 1,6 \text{ mm} \quad (4.10)$$

Según “Especificación para Construcciones de Acero” del Instituto Americano de Construcción en Acero, cuando no se conoce el radio de la esquina redondeada de un elemento, las dimensiones b y h deben calcularse restando tres veces el espesor del material a las dimensiones exteriores correspondientes.

$$b = B - 3t \quad (4.11)$$

$$b = 36,7 - 3 \times 1,6$$

$$b = 33,5 \text{ mm}$$

$$h = H - 3t \quad (4.12)$$

$$h = 56,5 - 3 \times 1,6$$

$$h = 53,3 \text{ mm}$$

además, por diferencia del ancho y el espesor del perfil de acero, se tiene:

$$b_i = B - 2t \quad (4.13)$$

$$b_i = 36,7 - 2 \times 1,6$$

$$b_i = 33,5 \text{ mm}$$

$$h_i = H - 2t \quad (4.14)$$

$$h_i = 56.5 - 2 \times 0.16$$

$$h_i = 53.3 \text{ mm}$$

así, el cálculo del área total de la sección A_g

$$A_g = B \times H - [(r_i + t)^2(4 - \pi)] \quad (4.15)$$

$$A_g = 36,7 \times 56,5 - [(1,6 + 1,6)^2(4 - \pi)]$$

$$A_g = 2064.76 \text{ mm}^2$$

El cálculo del área central es:

$$A_c = b_i \times h_i - (t)^2(4 - \pi) \quad (4.16)$$

$$A_c = 33,5 \times 53,3 - (1,6)^2(4 - \pi)$$

$$A_c = 1783,35 \text{ mm}^2$$

Finalmente, el área de acero es:

$$A_s = A_g - A_c \quad (4.17)$$

$$A_g - A_c = 2064,76 - 1783,35$$

$$A_s = 281,40 \text{ mm}$$

Así siguiendo realizando el mismo cálculo anterior para las demás probetas, tendremos:

Tabla 27

Área sección de probeta de acero

PROBETA	Área(mm²)
1	281,40
2	305,72
3	306,05

Nota. Fuente: Elaboración propia

De los resultados que se obtuvieron de la máquina universal se tiene:

Tabla 28

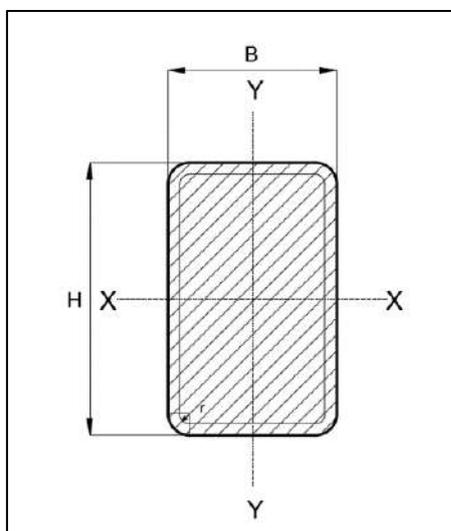
Resultados máquina universal

Unidades	Área (mm ²)	Punto máximo Carga (kg)	Carga en el punto de rotura (kg)	Esfuerzo en el punto de rotura (kg/mm ²)	Material
1	29,69	907	890	29,96	TUBO DE ACERO RECTANGULAR
2	310,12	1218	833	2,68	TUBO DE ACERO RECTANGULAR
3	310,44	1207	785	2,52	TUBO DE ACERO RECTANGULAR

Nota. Fuente: Elaboración propia

El momento de inercia para el perfil de acero tubular se hallará restando la inercia del contorno exterior menos la inercia del contorno interior.

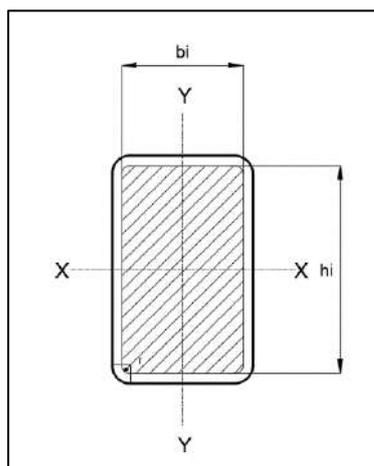
La inercia total I_{gx} con respecto al eje X para el contorno exterior de la probeta N°2 es:



$$I_{gx} = \frac{(B - 2r_i - 2t) \times H^3}{12} + \frac{(r_i + t)(h - 2t - 2r_i)^3}{6} + \frac{(9\pi^2 - 64)(r_i + t)^4}{36\pi} + \pi(r_i + t)^2 \left(\frac{4(r_i + t)}{3\pi} + \frac{h - 2r_i - 2t}{2} \right)^2 \quad (4.18)$$

$$I_{gx} = 544939,79 \text{ mm}^4$$

La inercia interna I_{cx} con respecto al eje X, para el contorno interior es:



$$I_{cx} = \frac{(B - 2r_i - 2t)h_i^3}{12} + \frac{(r_i + t)(h - 2t - 2r_i)^3}{6} + \frac{(9\pi^2 - 64)(r_i + t)^4}{36\pi} + \pi r_i^2 \left(\frac{4 \times r_i}{3\pi} + \frac{H - 2r_i - 2r_i}{2} \right)^2 \quad (4.19)$$

$$I_{cx} = 421193,25 \text{ mm}^4$$

Entonces la inercia I_{sx} del perfil de acero con respecto al eje X, es:

$$I_{sx} = I_{gx} - I_{cx} \quad (4.20)$$

$$I_{sx} = 544939,79 - 421193,25 \text{ mm}^4$$

$$I_{sx} = 123746,54 \text{ mm}^4$$

Así para las probetas dos y tres, tendremos entonces:

Tabla 29

Inercia sección de probetas de acero

PROBETA	Inercia(mm ⁴)
1	123746,54
2	155786,46
3	156063,13

Nota. Fuente: Elaboración propia

En las siguientes figuras se muestran el montaje del equipo electrónico, el ensayo de flexión en vigas, las gráficas y resultados obtenidos durante el ensayo realizado en laboratorio para la calibración del ensayo.

Figura 97

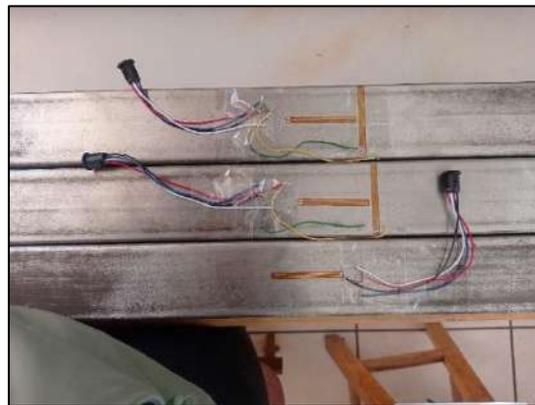
Detalle testigo de acero



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 98

Detalle instalación de galgas extensiométricas en testigos de acero



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 99

Detalle de instalación de las vigas de acero en el equipo de carga (Máquina universal INSTRON 600DX)



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 100

Detalle de lectura en software



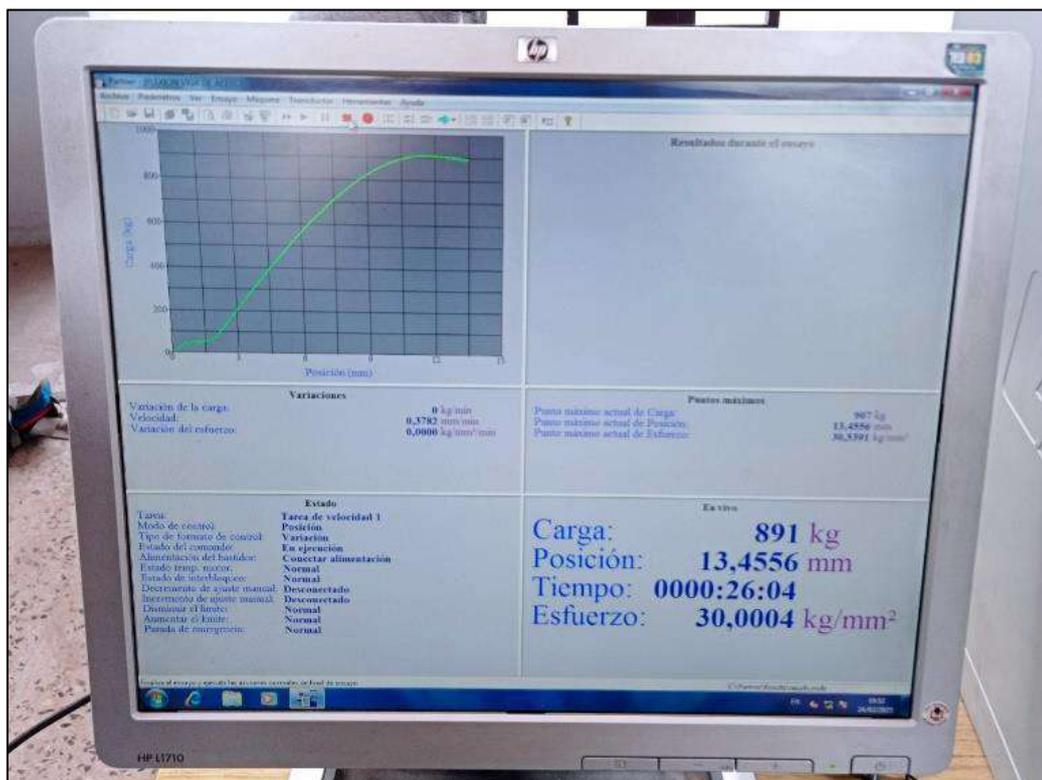
Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 101

Ensayo de testigos en laboratorio FIC-UNSAAC



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 102*Probetas ensayadas**Nota.* Fuente: Fotografía del autor**Figura 103***Detalle de deformación de probeta N°1**Nota.* Fuente: Fotografía del autor

Las gráficas obtenidas del ensayo de flexión a cuatro puntos en la maquina universal, se muestran en la figura 104, figura 105 y figura 106.

Figura 104

Resultados ensayo de flexión de la máquina universal en probeta N°1



Figura 105

Resultados ensayo de flexión de la máquina universal en probeta N°2

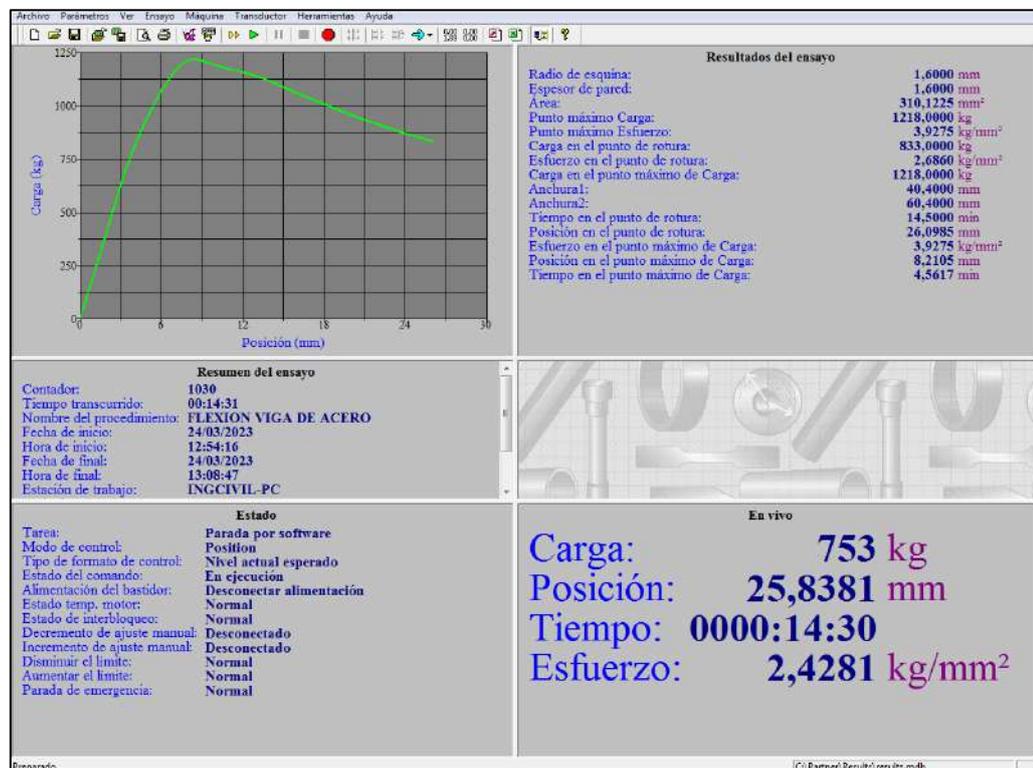
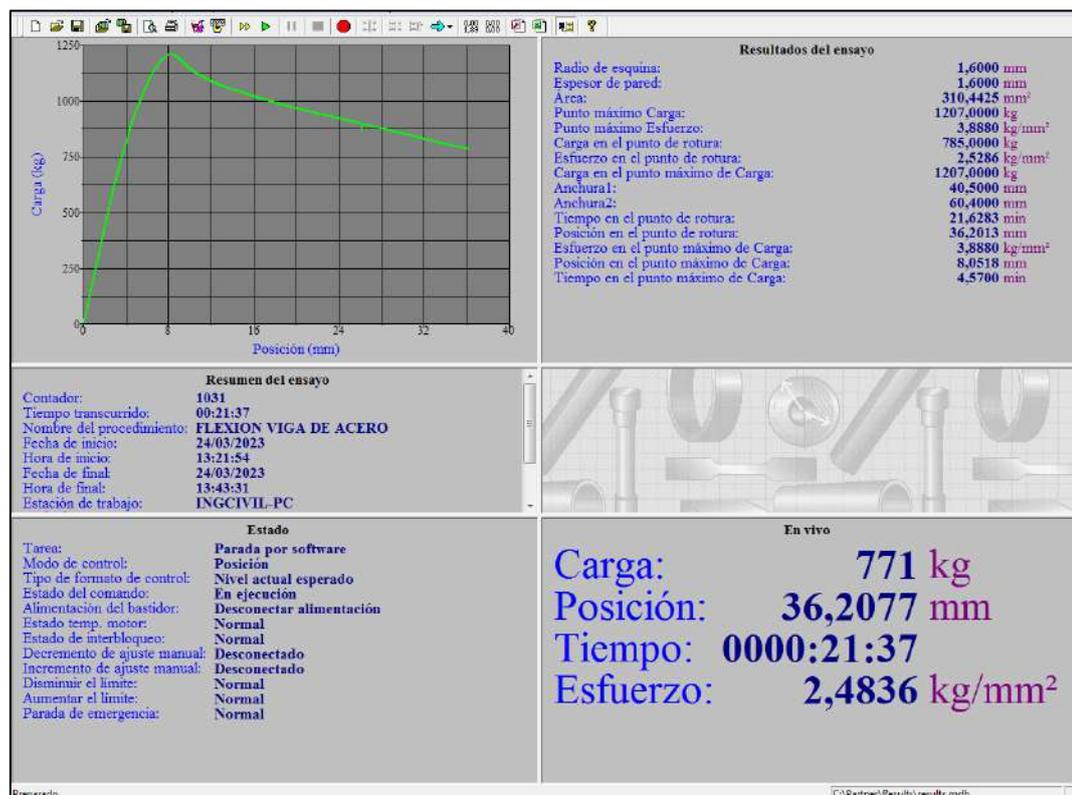


Figura 106

Resultados ensayo de flexión de la máquina universal en probeta N°3

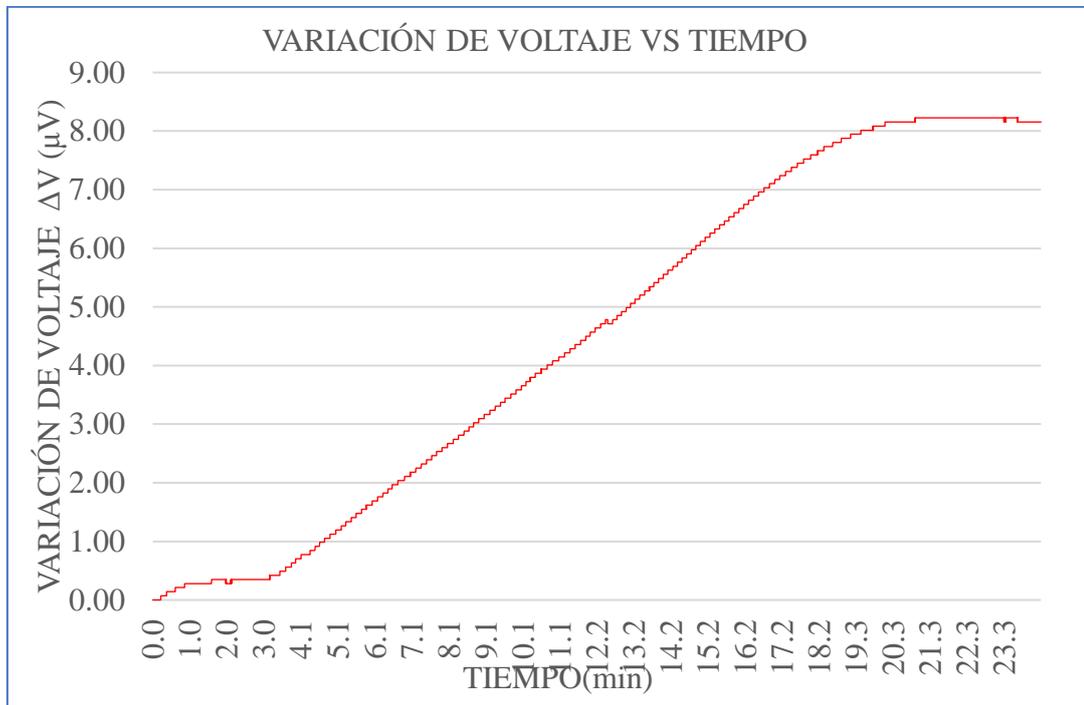


El registro de los datos mediante el sistema electrónico se realizó cada 100 milisegundos (10 Hz) y mediante el software Matlab se obtuvieron gráficos cuya abscisa muestra el tiempo y la ordenada muestra la variación de voltaje debido a la deformación de la galga activa.

Las gráficas obtenidas y corregidas mediante el dispositivo electrónico se muestran en la figura 107, figura 108 y figura 109.

Figura 107

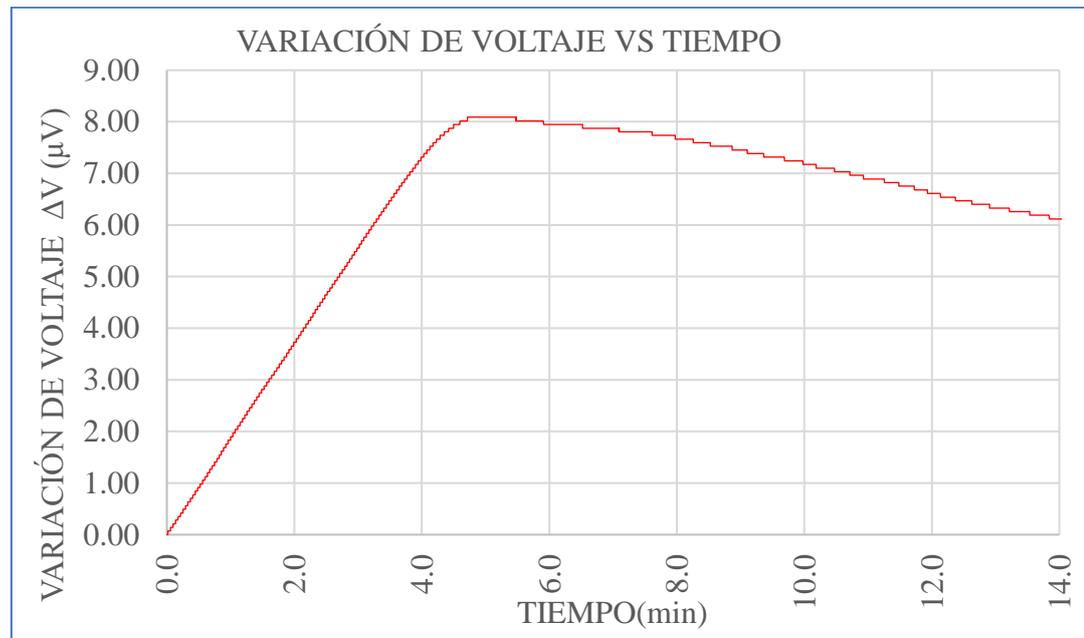
Resultados del programa Matlab del ensayo de flexión en la máquina universal en probeta N°1



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 108

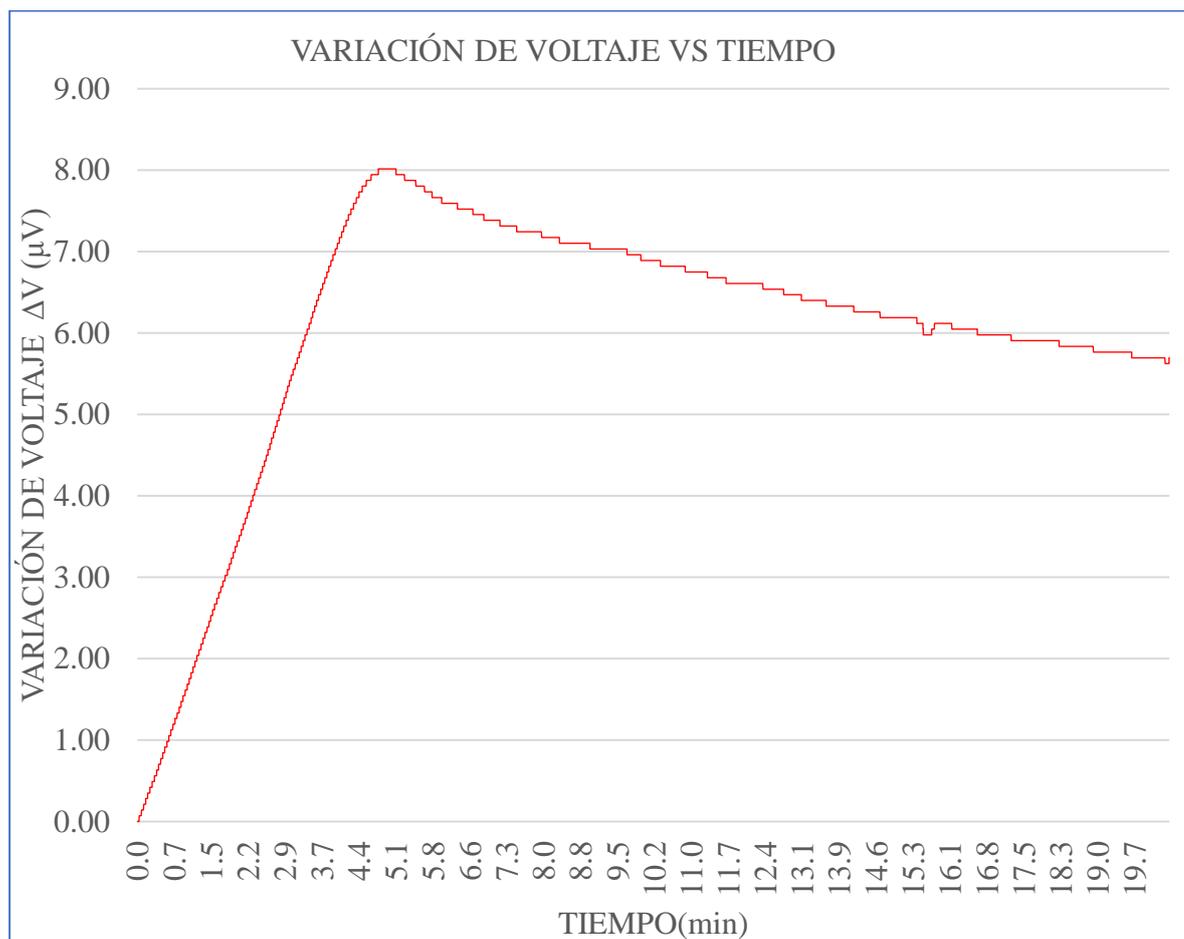
Resultados sistema electrónico del ensayo de flexión en la máquina universal en probeta N°2



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 109

Resultadas sistema electrónico del ensayo de flexión en la máquina universal en probeta N°3



Nota. Fuente: Elaboración propia

Para la calibración del equipo, hallaremos la deformación unitaria de las probetas en los ensayos realizados con la máquina universal y la deformación unitaria hallada con las lecturas de voltaje debido a la deformación de las galgas y encontraremos un factor de corrección entre ambas lecturas.

Deformaciones unitarias obtenidas del Equipo Electrónico obtenido del ensayo a flexión realizado en laboratorio:

Las deformaciones unitarias del material ensayado y lecturas con el equipo electrónico se obtienen utilizando la ecuación: $\varepsilon = \frac{1}{K} \left(\frac{4}{\frac{V_{EX}}{V} - 2} \right)$ mediante los datos obtenidos de las deformaciones máximas en milivoltios de las galgas.

Deformaciones unitarias obtenidas de la Máquina universal del ensayo a flexión realizado en Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil:

En el ensayo a flexión realizado en la Máquina Universal se registraron los siguientes datos: la carga aplicada en kilogramos fuerza, el tiempo transcurrido en minutos y las deflexiones máximas en milímetros para cada incremento de carga. Estos datos nos permitirán determinar las propiedades mecánicas como son los esfuerzos a flexión, el módulo elástico y la deformación unitaria.

Para determinar la deformación unitaria máxima en la viga, que se produce en la fibra más alejada del eje neutro, determinaremos el esfuerzo máximo debido a la flexión y el momento flector máximo.

Para aplicar las fórmulas que relacionan el momento flector con los esfuerzos por flexión, se asumen ciertas condiciones simplificadoras: se considera que las secciones transversales de la viga, que inicialmente son planas, permanecen planas después de la deformación; se asume que el material es homogéneo y que su comportamiento elástico es lineal, siguiendo la ley de Hooke. Bajo estas suposiciones, se pueden aplicar las siguientes relaciones:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}} \times y}{I} \quad (4.21)$$

Donde:

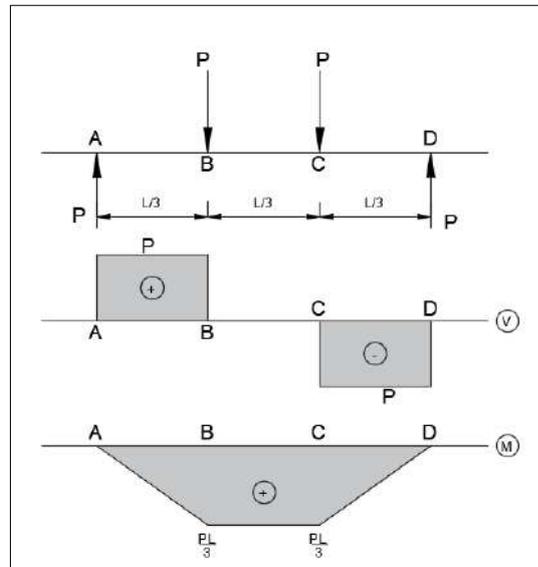
$\sigma_{\text{máx}}$: tensión máxima a flexión de la viga bajo condiciones de elasticidad lineal (N/mm^2).

M: momento máximo el momento máximo en una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales a una distancia $L/3$ de cada apoyo ($\text{N}\cdot\text{mm}$), calculado.

y: distancia desde el eje neutro hasta el punto donde se determina el esfuerzo (mm).

I: momento de inercia de la sección transversal respecto al eje neutro (mm^4).

El valor máximo del momento flector, generado por las cargas aplicadas, se determinó mediante el análisis de los diagramas de fuerza cortante y momento flector. Estos diagramas corresponden a una viga simplemente apoyada, sometida a las condiciones de carga especificadas en la figura 110, que fueron replicadas en un ensayo de laboratorio. La viga tenía una longitud de 900 mm entre los apoyos.

Figura 110*Diagramas de fuerza cortante y momento flector*

Nota. Fuente: Elaboración propia

$$M_{\text{máx}} = \frac{PL}{3} \quad (4.22)$$

Donde:

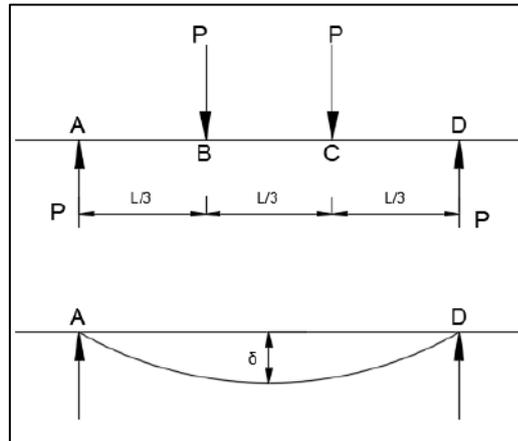
M: momento máximo el momento máximo en una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales a una distancia $L/3$ de cada apoyo (N.mm), calculado.

P: carga aplicada(N/mm²), ensayo a flexión.

L: separación entre los apoyos(mm).

El momento máximo en la fibra inferior de la viga que para nuestro caso es el perfil de acero estructural hueco lo determinamos con la ecuación 4.22.

La ecuación 4.23 se determina utilizando el método de la doble integración; método basado en la relación del momento flector, la pendiente y la deflexión de una viga.

Figura 111*Diagramas de deflexión*

Nota. Fuente: Elaboración propia

La deflexión máxima en el punto medio de la viga(L/2) es:

$$\delta_{\text{máx}} = \frac{23PL^3}{648EI} \quad (4.23)$$

$$E = \frac{23PL^3}{648I\delta_{\text{máx}}} \quad (4.24)$$

Donde:

δ : deflexión máxima (mm), ensayo a flexión.

P: carga aplicada(N/mm²), ensayo a flexión.

L: separación entre los apoyos(mm).

I: momento de inercia de la sección transversal respecto al eje neutro(mm⁴), calculado.

E: Módulo de elasticidad calculado (N/mm²).

Para la determinación del módulo elástico del ensayo a flexión en laboratorio, despejamos la deflexión máxima de una viga bajo dos cargas puntuales de igual dimensión y aplicadas a un tercio de ambos extremos cada una, mediante la ecuación 4.23.

Luego, para hallar las deformaciones unitarias del ensayo realizado en laboratorio, reemplazamos el módulo de elasticidad en la Ley de Hooke.

$$\epsilon_{\text{máx}} = \sigma_{\text{máx}}/E \quad (4.25)$$

Donde:

$\epsilon_{\text{máx}}$: Deformación unitaria máxima(mm/mm).

$\sigma_{\text{máx}}$: esfuerzo transferido a las galgas debido a las cargas aplicadas(N/mm²).

E: Módulo de elasticidad calculado (N/mm²).

Realizadas las operaciones para la obtención de las deformaciones unitarias, comparamos los resultados obtenidos de las lecturas de la máquina universal y del equipo electrónico para hallar el factor de corrección FC y calibrar el equipo; para ello utilizaremos los puntos máximos de carga o el punto máximo de la zona elástica, debido a que estos valores son conocidos en ambas lecturas, tanto por la máquina universal como por el equipo electrónico así:

Carga máxima aplicada máquina universal: P=1218 Kgf.

Deformación unitaria calculada del ensayo a flexión con la ecuación 4.25:

$$\epsilon_{\text{máx}} = 0,00287(\text{mm/mm}).$$

Volteje máximo medido: V=8,085 μ V.

Deformación unitaria de galga normalizada $\epsilon_{\text{máx}} = 0,00082$ (mm/mm).

$$FC = \frac{\epsilon_{\text{máx}} (\text{máquina universal})}{\epsilon_{\text{max}}(\text{galgas})} \quad (4.26)$$

$$FC = \frac{0,00287}{0,00082}$$

$$FC = 3,47$$

4.2.7 Medios y procedimiento de la inspección especial de la superestructura

Para poder obtener las deformaciones bajo la losa se inició con la preparación de la superficie para el pegado de las galgas, la instalación del equipo electrónico al que están conectado las galgas y por medio del cual se registran las lecturas de variación de voltaje.

Para poder acceder a la parte inferior de la losa se hicieron uso de medios auxiliares como son los andamios y escalas; se tiene que precisar que debido a que el puente se encuentra

en servicio y por debajo de la losa se tiene en un tramo el río Cachimayo y en el otro tramo el tráfico proveniente de la Av. Cusco y Av. Los Manantiales; se dificultó la instalación del sistema electrónico desarrollado; además que, pese al uso de la escalera, se tuvo que moverse continuamente para no interrumpir el paso de los vehículos por debajo del puente.

La instalación de las galgas se hizo en horas de la tarde y la noche, debido a que a estas horas la circulación disminuye bajo el puente.

Se siguió el siguiente procedimiento:

- Pulir, limpiar y secar la superficie para facilitar la adhesión.
- Aplicar el adhesivo en la zona donde irán pegadas las galgas.
- Colocar adecuadamente la galga y se presiona para asegurar el contacto de la galga con la superficie del concreto.
- Asegurar los cables para evitar que esos se desprendan, debido a que estos son muy finos pueden arrancarse.

Las galgas extensométricas que se utilizaron son el modelo BX120-50AA de 5 cm de longitud cuya medida que es recomendable para el concreto, debido a que el concreto es heterogéneo y esta longitud abarca mayor área y minimiza la obtención de mediciones erróneas.

La colocación de las galgas lo realizó el profesional electrónico para garantizar la instalación correcta.

Figura 112

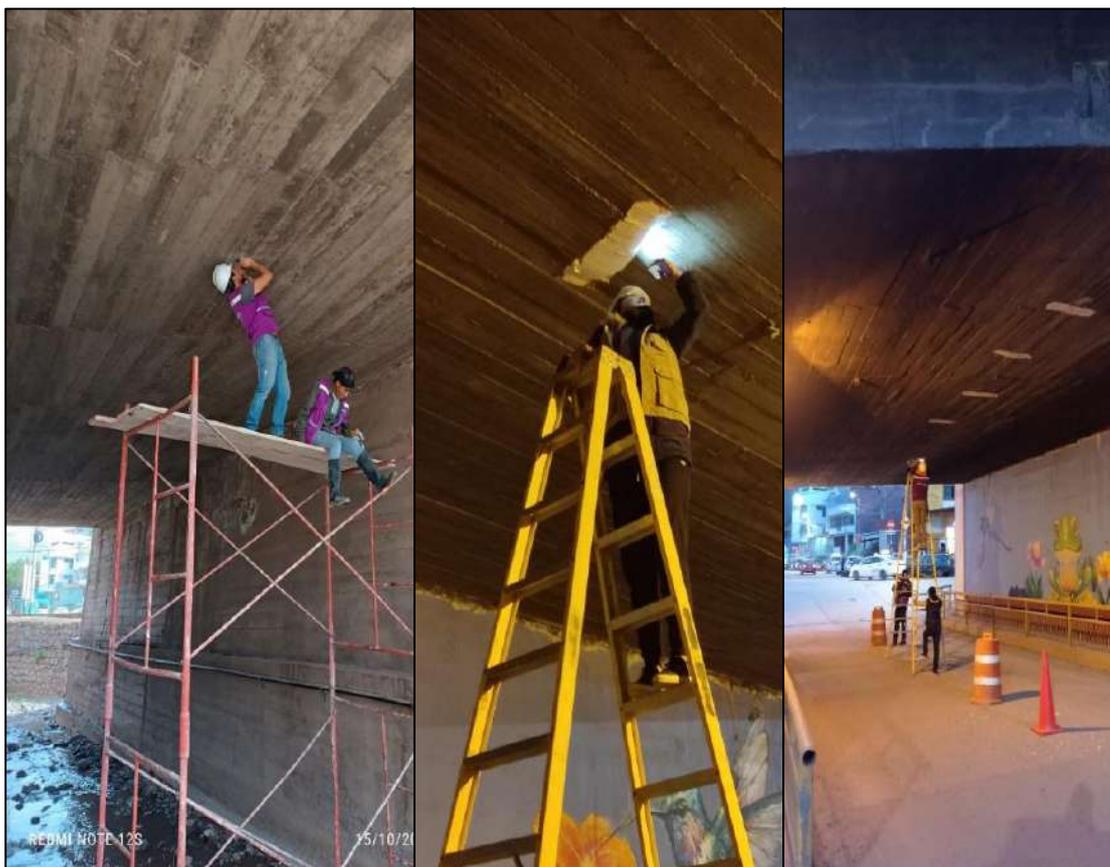
Detalle de galgas colocadas bajo la superestructura del puente



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 113

Detalle de medios auxiliares para colocación de galgas bajo la losa de la superestructura



Nota. Fuente: Fotografía del autor

4.2.8 Obtención in-situ de esfuerzos y desplazamientos en la superestructura con sistema electrónico in-situ

Esfuerzos:

Corregidos los valores con la prueba en laboratorio y calibrado el equipo y realizados los ensayos in-situ en el Puente, hallaremos los esfuerzos reales a los que está sometido el puente al paso de la carga vivas de los vehículos durante el periodo de lecturas in-situ. Los esfuerzos reales a los que está sometido bajo el tablero losa del puente, una vez conocidos la deformación unitaria y el factor de corrección utilizaremos la Ley de Hooke, tal que:

$$\sigma = 3,47\varepsilon E \quad (4.27)$$

Donde:

E: relación empírica entre el módulo de elasticidad del concreto y su resistencia a la compresión (kg/cm²), Norma Peruana E.060 Concreto Armado.

$$E = 15000\sqrt{f'c} \quad (4.28)$$

Donde:

$f'c$:221,69 kg/cm², resistencia a la compresión del concreto hallado con las pruebas del esclerómetro (kg/cm²).

ϵ : deformación unitaria obtenida de las lecturas de las galgas en campo bajo la losa.

Así

$$\sigma = (3,47\epsilon) * 15000\sqrt{f'c}$$

$$\sigma = (3,47\epsilon) * 22,335 \text{ kg/cm}^2$$

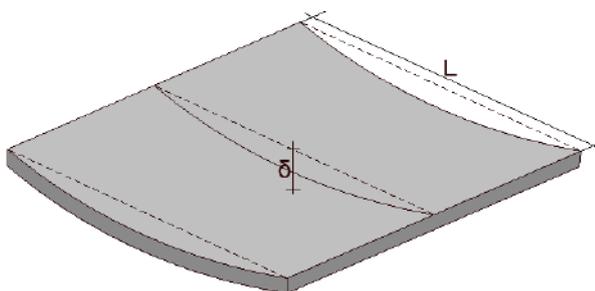
Donde:

$$\sigma = 77542,39\epsilon \quad (4.29)$$

Con la ecuación 4.29 se obtiene los esfuerzos reales bajo el tablero losa del puente que serán comparados con los esfuerzos calculados en el modelo matemático del puente.

Deformaciones:

Se realiza la instalación en la parte central bajo la el tablero losa del Puente Cachimayo en el tramo debajo de los carriles de subida para poder registrar las lecturas de la deformación de las galgas y posteriormente poder procesar e interpretar los resultados.



La deflexión en el centro de la losa se determina a partir de las deformaciones unitarias que se obtuvieron con las galgas extensiométricas simplificando la losa como una viga simplemente apoyada; la carga se desconoce por lo que se utiliza la siguiente relación simplificada:

- a) Calculamos la relación curvatura-deformación: la curvatura(k) de una viga se relaciona con la deformación unitaria (ϵ) y el peralte (h), como:

$$k = \frac{2\epsilon}{h} \quad (4.30)$$

Donde:

k : curvatura(1/cm).

h : Espesor de la losa (cm).

- b) Calculamos la relación curvatura-deflexión: para una viga simplemente apoyada, la curvatura se relaciona con la deflexión máxima (δ) y la luz (L) como:

$$k = \frac{8\delta}{4L^2} \quad (4.31)$$

Donde:

k : curvatura(1/cm).

δ : deflexión máxima (cm).

L : Luz de la losa(cm).

- c) Igualando las expresiones para la curvatura y despejando la deflexión máxima (δ), tendremos:

$$\delta = \frac{\epsilon L^2}{2h} \quad (4.32)$$

Donde:

ϵ : deformación unitaria halladas de las galgas in-situ(cm/cm).

L : Luz de la losa(cm).

h : Espesor de la losa (cm).

Esta ecuación es una simplificación de la relación entre la deformación unitaria y la curvatura en una viga, se deriva de la teoría de vigas de Euler-Bernoulli. Es una fórmula simplificada que se basa directamente en la deformación unitaria medida con galgas extensiométricas y es útil para obtener una estimación rápida de la deflexión máxima en mediciones in situ.

Figura 114

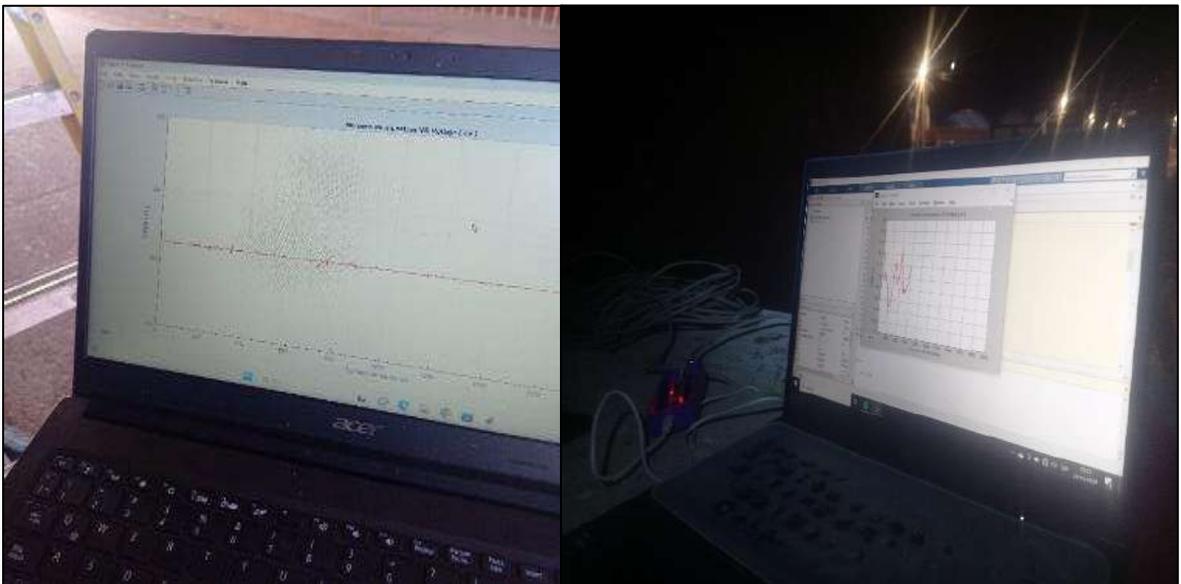
Ensayo in-situ en puente con acompañamiento de profesional electrónico



Nota. Fuente: Fotografía del autor

Figura 115

Registro de lecturas en el software Matlab in-situ



Nota. Fuente: Fotografía del autor

4.2.9 Modelación estructural del Puente Cachimayo

Descripción:

Se realizó el modelo estructural para el Puente Cachimayo desarrollado en el software CSIBRIDGE v23.2.0.

Con el uso de la herramienta informática se realiza el análisis estructural del puente tipo losa y se determinan las fuerzas resultantes y deformaciones originadas por solicitaciones como las cargas permanentes y sobrecargas móviles que actúan directamente sobre el puente.

Para el análisis de la estructura se emplearán las especificaciones para el diseño de puentes AASHTO 2014.

Las características geométricas del puente obtenidas mediante el levantamiento topográfico y levantamiento geométrico realizado y registrado en las fichas de inspección son las siguientes:

Longitud: 21,32 m.

Número de vías: 2.

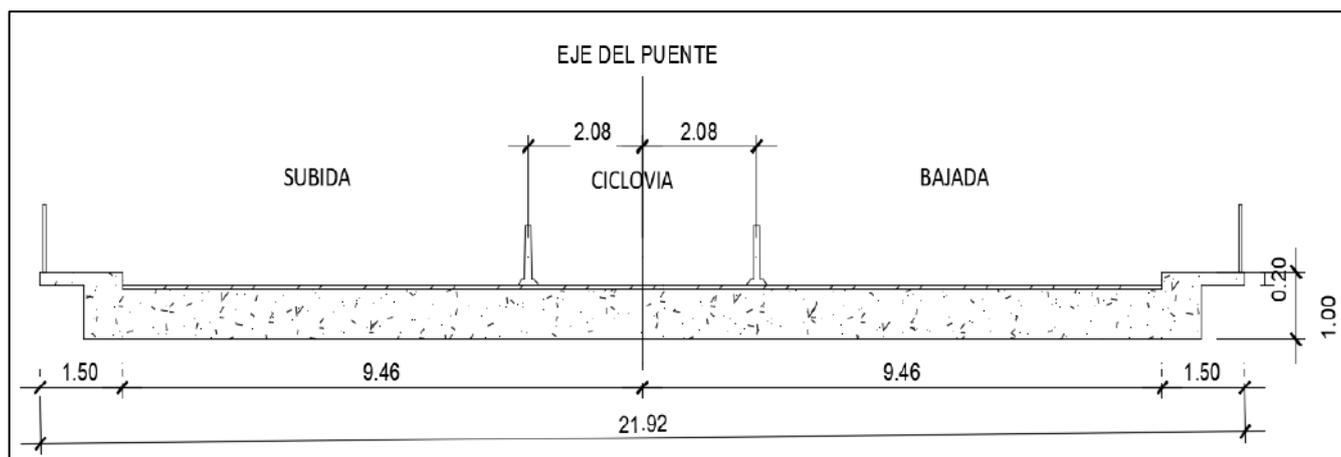
Ancho de calzada: 9,46 m.

Ancho de veredas: 1,5 m.

Espesor de la superficie de rodadura: 50 mm.

Figura 116

Sección transversal del Puente Cachimayo



Nota. Fuente: Elaboración propia

Propiedad de los materiales:

a) Concreto:

Resistencia a la compresión del concreto determinado mediante la prueba del esclerómetro es:

$$f'c = 221,69 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad del concreto: $E = 15000\sqrt{f'c}$

$$E = 223\,338 \text{ kg/cm}^2$$

Peso específico: $pe = 2400 \text{ kg/m}^3$

Módulo de Poisson: $u = 0,20$.

b) Acero de refuerzo:

Límite de Fluencia del acero ($f'y$) del fabricante = 420 MPa mínimo.

Cargas:**Casos de carga**

DC: Peso de los componentes estructurales, peso propio de la estructura.

DW: Peso de la superficie de desgaste, asfalto.

LL: Sobrecarga vehicular, carga viva.

PL: Carga viva, peatonal.

Cargas vivas

De acuerdo a los aforos realizados se tienen vehículos ligeros y pesados. Los vehículos pesados que circulan por el puente y fueron registrados en cuando a sus pesos y medidas y que serán utilizados en el modelo estructural para determinar los esfuerzos y deformaciones a los que está sometido en el momento de la lectura in situ por medio del sistema electrónico.

Carga de la superficie de rodadura, Asfalto: peso de la superficie de desgaste.

- Peso específico asfalto: 2000 kg/m^3 .
- Espesor asfalto: 0,5 cm.
- Peso por metro cuadrado: 100 kg/m^2 .

Carga peatonal:

- Peso por metro cuadrado = 415 kg/m^2 .

Carga barandas:

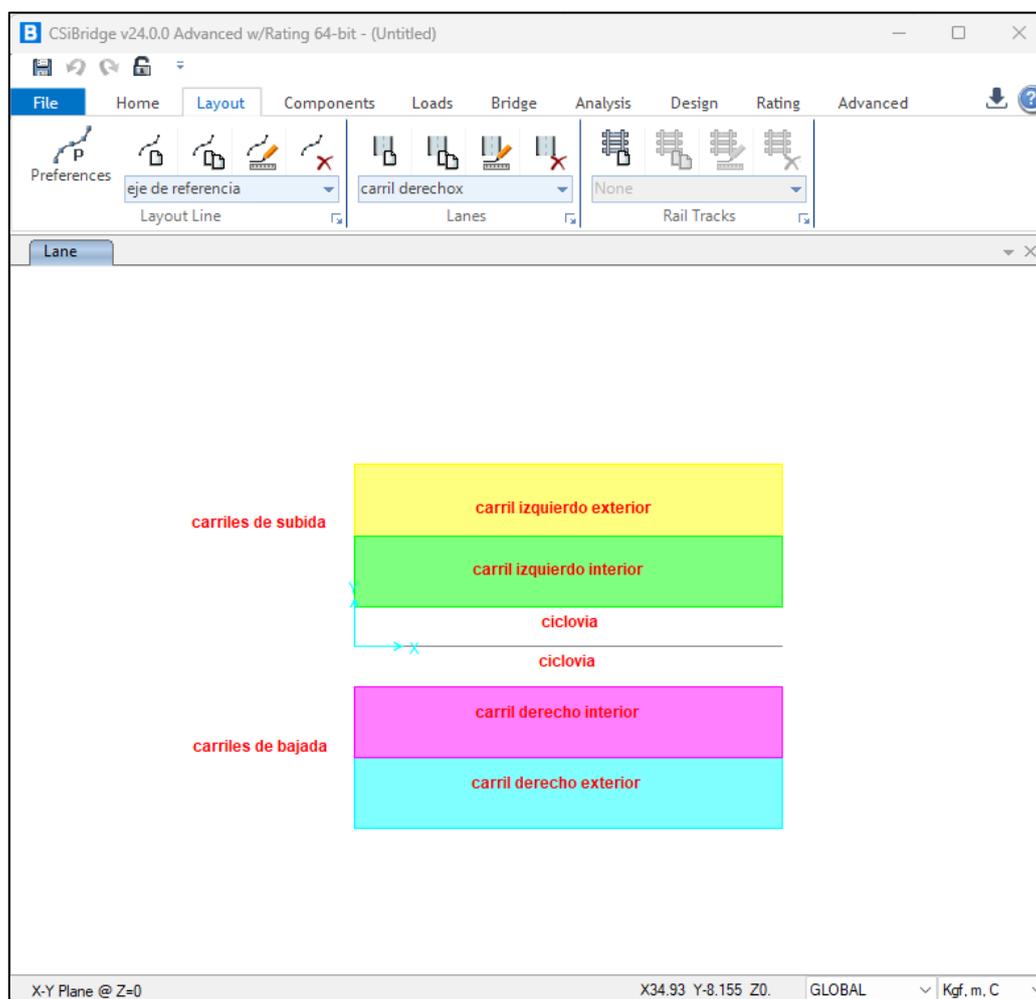
- Peso lineal por metro = 300 kg/m .

Modelamiento:

Ejecutamos el programa CSIBRIDGE y realizamos el modelamiento con las propiedades halladas in situ, además de las cargas vivas reales que circulan por el puente.

Figura 117

Carriles de circulación vehicular del Puente Cachimayo definidos en modelo estructural



Nota. La superestructura cuenta con una ciclovía en la parte central del puente por lo que se definen los carriles sin considerar esta parte central debido a que no recibe carga vehicular. Se cuentan con cuatro carriles, dos de subida y dos de bajada.

Figura 118

Definición de propiedad de materiales hallados in-situ del Puente Cachimayo definidos en modelo estructural

The figure displays two side-by-side screenshots of the 'Material Property Data' dialog box, showing the configuration for concrete and rebar materials.

Left Window: Material Property Data (Concrete)

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: concreto 221.69 (Blue)
 - Material Type: Concrete
 - Material Grade: f c 4000 psi
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 2.400E-03
 - Mass per Unit Volume: 2.447E-06
 - Units: Kgf, cm, C
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus Of Elasticity, E: 223338.87
 - Poisson, U: 0.2
 - Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06
 - Shear Modulus, G: 93057.86
- Other Properties For Concrete Materials:**
 - Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 221.69
 - Expected Concrete Compressive Strength: 281.2279
 - Lightweight Concrete
 - Shear Strength Reduction Factor: [Empty]
- Switch To Advanced Property Display
- Buttons: OK, Cancel

Right Window: Material Property Data (Rebar)

- General Data:**
 - Material Name and Display Color: FY4200 (Red)
 - Material Type: Rebar
 - Material Grade: Grade 60
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 7.849E-03
 - Mass per Unit Volume: 8.004E-06
 - Units: Kgf, cm, C
- Uniaxial Property Data:**
 - Modulus Of Elasticity, E: 2038901.9
 - Poisson, U: 0.3
 - Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 - Shear Modulus, G: [Empty]
- Other Properties For Rebar Materials:**
 - Minimum Yield Stress, Fy: 4200.
 - Minimum Tensile Stress, Fu: 6327.6266
 - Expected Yield Stress, Fye: 4640.2595
 - Expected Tensile Stress, Fue: 6960.3893
- Switch To Advanced Property Display
- Buttons: OK, Cancel

Nota. Las propiedades del concreto se determinaron mediante pruebas de esclerómetro, obteniendo una resistencia a la compresión promedio de 221,69 kg/cm². El módulo de elasticidad se calculó utilizando la relación empírica de la Norma Peruana E.060-Concreto Armado. Para el acero, se utilizaron las propiedades proporcionadas por el fabricante: resistencia ($f_y=4200$ kgf/cm²) y módulo de Poisson (0,3).

Figura 119

Definición de vehículo pesado Hyundai County III

B Vehicle Data

Vehicle Name: M3 SERV URBA | Design Type: Vehicle Live | Units: Tonf, m, C

Source: User Defined | Notes: Notes...

Length Effects: Axle: None | Uniform: None

Vehicle Location in Lane:

 Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only

Straddle Reduction Factor:

 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Usage:

 Lane Negative Moments at Supports

 Interior Vertical Support Forces

 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:

Lane Exterior Edge: 0.3048

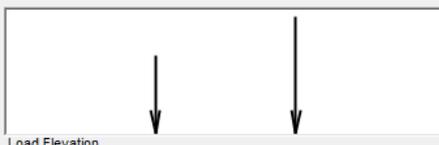
Lane Interior Edge: 0.6096

Center of Gravity:

Height - Axle Loads: 0.

Height - Uniform Loads: 0.

Load Plan: 

Load Elevation: 

Modify/Show Loads: Vertical Loading... | Horizontal Loading...

OK | Cancel

B Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1 | Axle Load Scale Factor: 1.33

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05	3.1	Two Points	1.705
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05	3.1	Two Points	1.705
Fixed Length	4.2		0.	Fixed Width	3.05	4.7	Two Points	2.49
Trailing Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05			

Add | Insert | Modify | Delete

Floating Axle Loads:

For Lane Moments: Value: 0 | Width Type: One Point | Axle Width: 1

For Other Responses: Value: 0 | Width Type: One Point | Axle Width: 1

Floating Axle Load Scale Factor: 1

 Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

 Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects:

 Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

Uniform Load Factor:

OK | Cancel

Nota. Datos generales del vehículo M3 Hyundai County III, se muestra el espaciamiento entre los ejes del vehículo y las cargas por eje.

Figura 120

Definición de vehículo pesado C3 VOLVO FMX 6X4R

B Vehicle Data

Vehicle Name: C3 VOLVO FMX 6X4R | Design Type: Vehicle Live | Units: Tonf, m, C

Source: User Defined | Notes: Notes...

Length Effects:
 Axle: None | Uniform: None

Vehicle Location in Lane:
 Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only
 Straddle Reduction Factor:
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Usage:
 Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load:
 Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Center of Gravity:
 Height - Axle Loads: 0.
 Height - Uniform Loads: 0.

Load Plan
 Load Elevation
 Modify/Show Loads: Vertical Loading... Horizontal Loading...

B Vehicle Data - Vertical Loading

Uniform Load Scale Factor: 1 | Axle Load Scale Factor: 1.33

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05	9.	Two Points	2.49
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05	9.	Two Points	2.49
Fixed Length	3.7		0.	Fixed Width	3.05	18.	Two Points	2.49
Fixed Length	1.37		0.	Fixed Width	3.05	18.	Two Points	2.49
Trailing Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05		Two Points	

Add | Insert | Modify | Delete

Floating Axle Loads:
 For Lane Moments: Value: 0 | Width Type: One Point | Axle Width: 1
 For Other Responses: Value: 0 | Width Type: One Point | Axle Width: 1
 Floating Axle Load Scale Factor: 1
 Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments
 Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects:
 Adjust Vertical Loads for Superelevation
 Axle Load Factor:
 Uniform Load Factor:

OK | Cancel

Nota. Datos generales del vehículo C3 VOLVO FMX 6X4R, se muestra el espaciamiento entre los ejes del camión y las cargas por eje.

Figura 121

Definición de vehículo pesado C3 VOLVO FH

B Vehicle Data X

Vehicle Name
VOLVO FH

Source
Source: User Defined Convert to User Defined

Length Effects
 Axle: None Modify/Show...
 Uniform: None Modify/Show...

Vehicle Location in Lane
 Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only
 Straddle Reduction Factor:
 Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

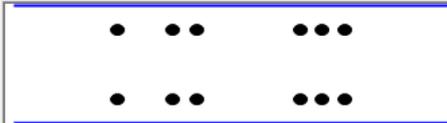
Usage
 Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

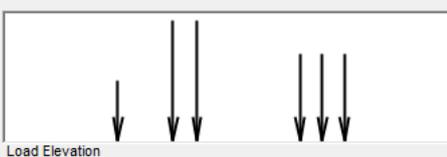
Design Type
Vehicle Live

Units
Tonf, m, C

Notes
Notes...

Min Dist Allowed From Axle Load
 Lane Exterior Edge: 0.3048
 Lane Interior Edge: 0.6096

Load Plan


Load Elevation


Center of Gravity
 Height - Axle Loads: 0.
 Height - Uniform Loads: 0.

Vertical Loading... Horizontal Loading...

OK Cancel

B Vehicle Data - Vertical Loading X

Loads

Uniform Load Scale Factor: Axle Load Scale Factor:

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05	7.5	Two Points	2.5
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05	7.5	Two Points	2.5
Fixed Length	3.1		0.	Fixed Width	3.05	10.5	Two Points	2.5
Fixed Length	1.35		0.	Fixed Width	3.05	10.5	Two Points	2.5
Fixed Length	5.8		0.	Fixed Width	3.05	6	Two Points	2.5
Fixed Length	1.25		0.	Fixed Width	3.05	6	Two Points	2.5
Fixed Length	1.25		0.	Fixed Width	3.05	6	Two Points	2.5
Trailing Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.05	6	Two Points	2.5

Add Insert Modify Delete

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	<input type="text" value="0"/>	One Point	<input type="text" value="1"/>
For Other Responses	<input type="text" value="0"/>	One Point	<input type="text" value="1"/>

Floating Axle Load Scale Factor:

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Ignore Vertical Loads if Horizontal Centrifugal or Braking Loads are Defined

Superelevation Effects

Adjust Vertical Loads for Superelevation

Axle Load Factor:

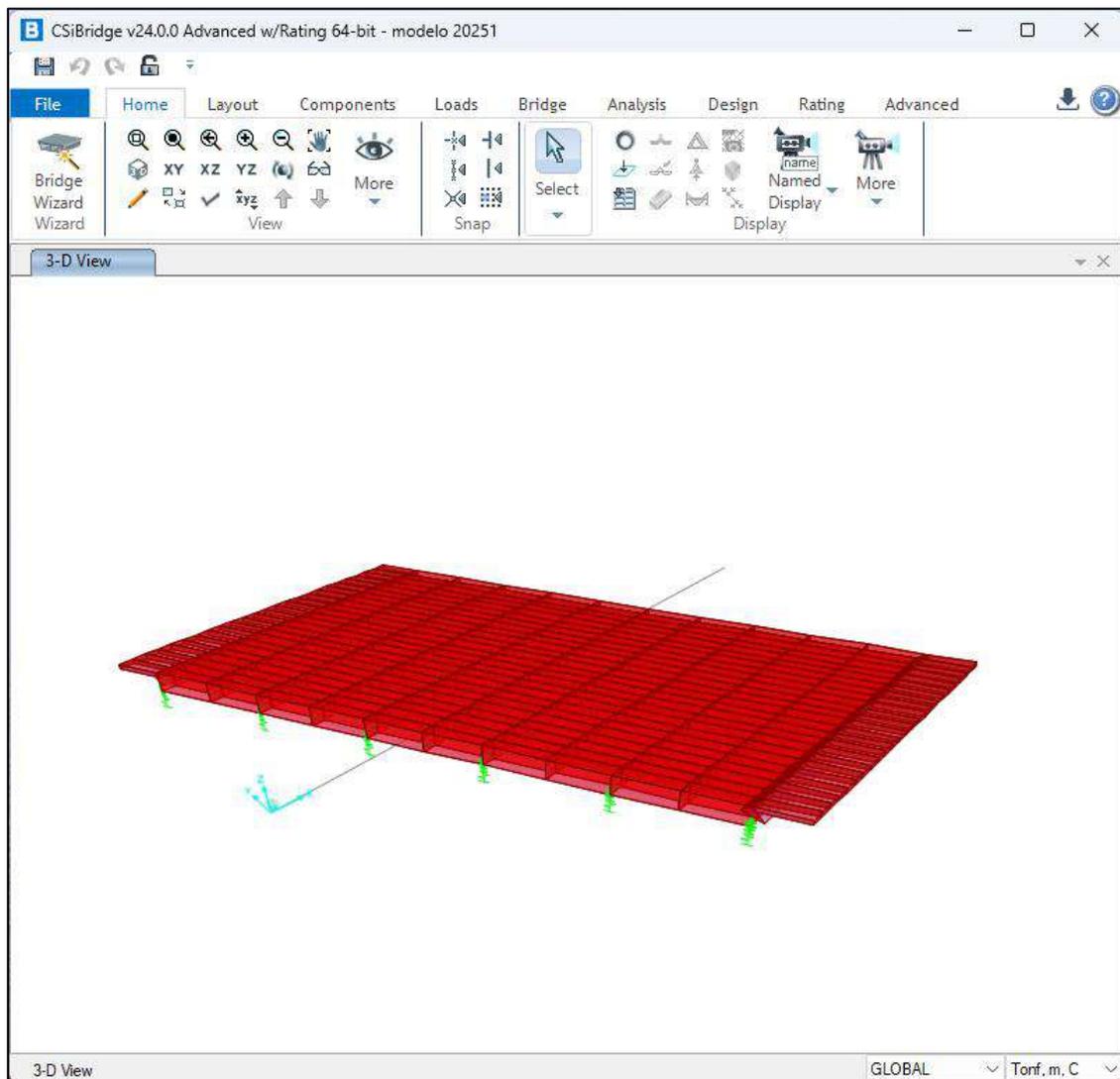
Uniform Load Factor:

OK Cancel

Nota. Datos generales del vehículo C3 VOLVO FH, se muestra el espaciamiento entre los ejes del camión y las cargas por eje.

Figura 122

Modelo estructural de la superestructura



Nota. Modelo discretizado: longitud máxima de segmento para el vano del tablero 0,5 m, actualización de modelo como objeto área y tamaño máximo de submalla de 0,5 m.

Figura 123

Esfuerzos en la base de la losa, carril interior izquierdo; caso de carga: vehículo M3 Hyundai County III.

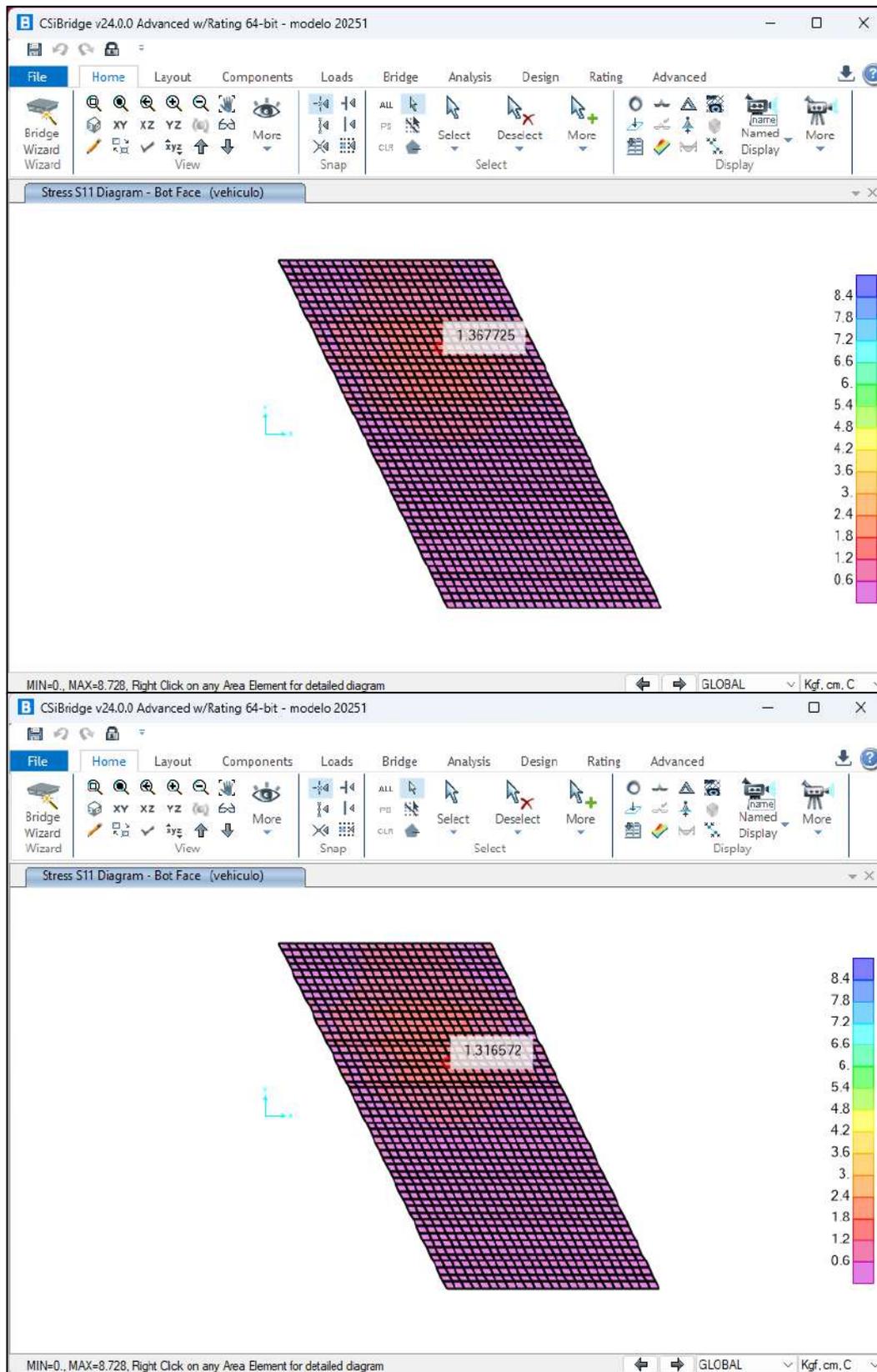


Figura 124

Esfuerzos en la base de la losa, carril exterior izquierdo; caso de carga: vehículo M3 Hyundai County III.

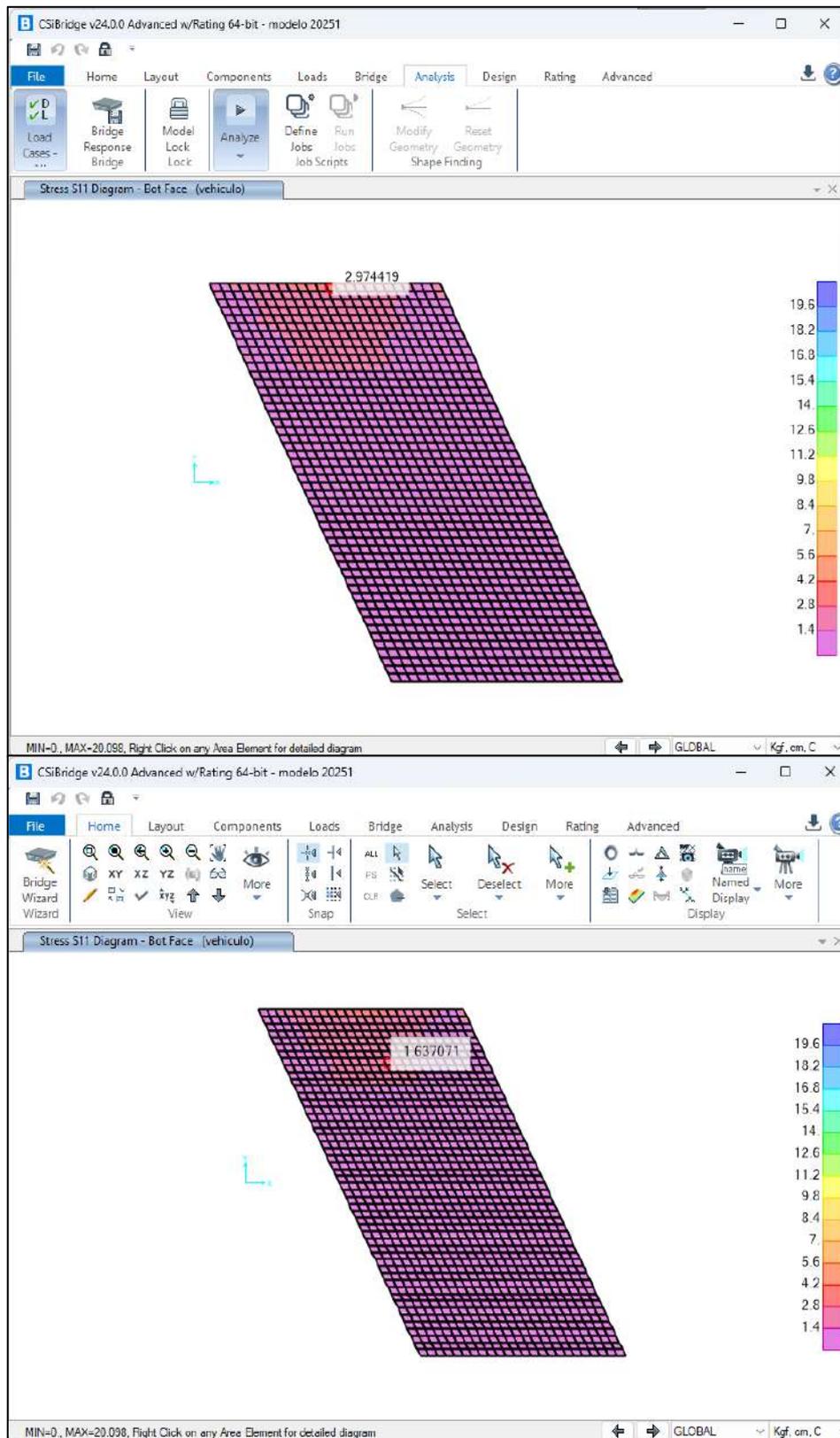


Figura 125

Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga vehículo, M3 Hyundai County III en carril izquierdo exterior.

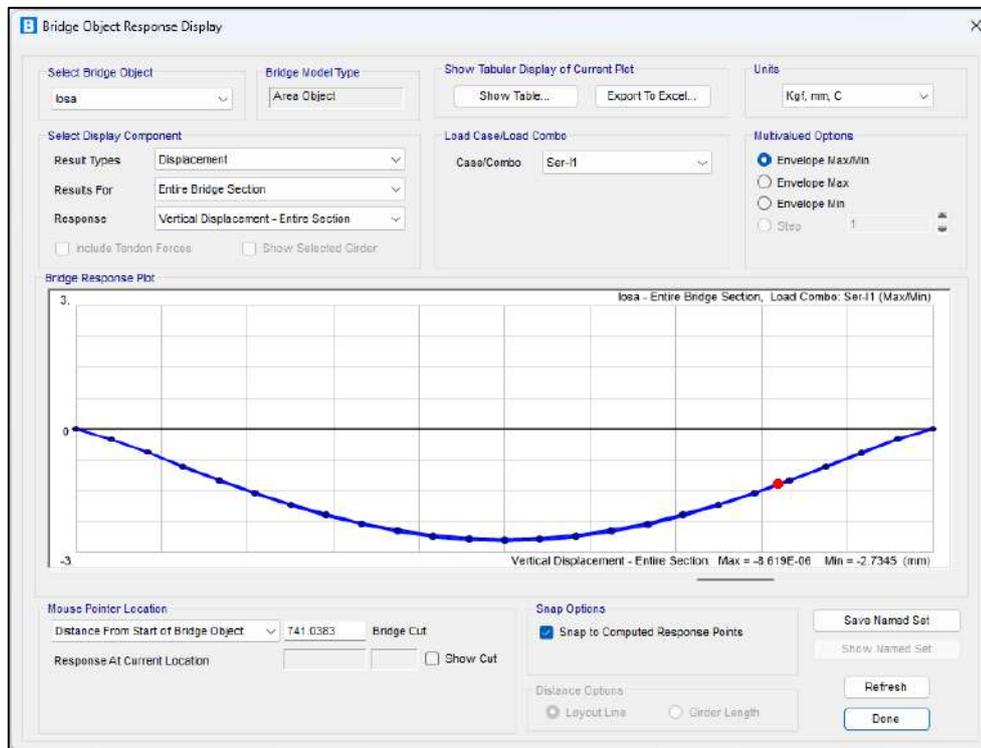
**Figura 126**

Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga de servicio, M3 Hyundai County III en carril izquierdo interior.

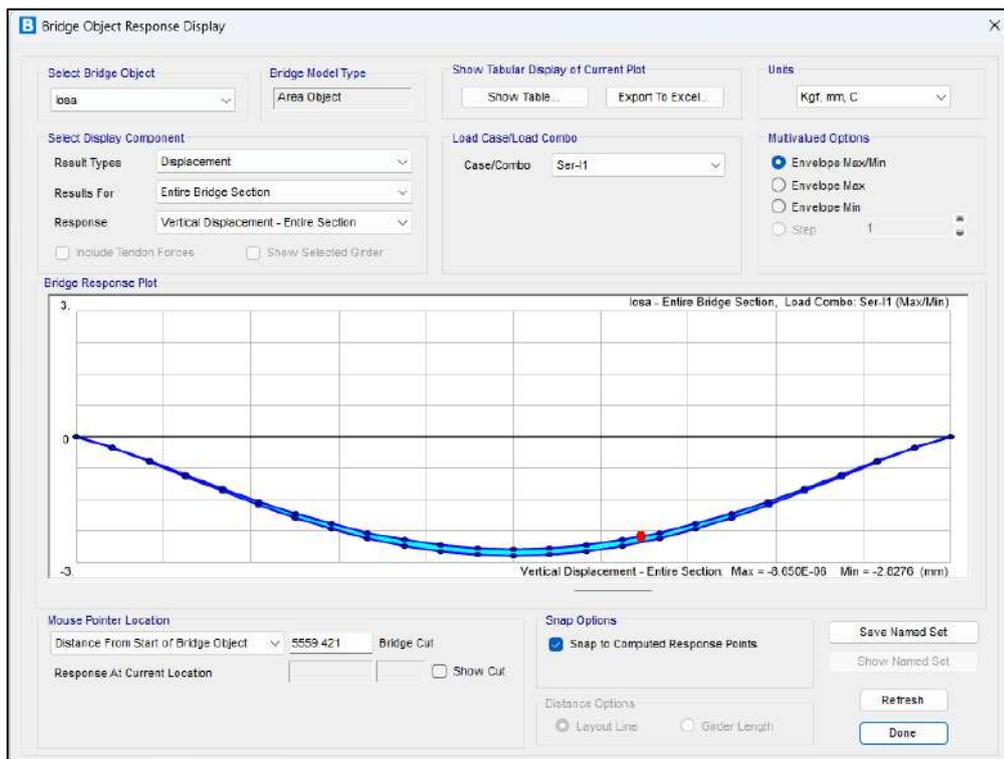


Figura 127

Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga vehículo, Volvo FMX 6X4R en carril izquierdo exterior.

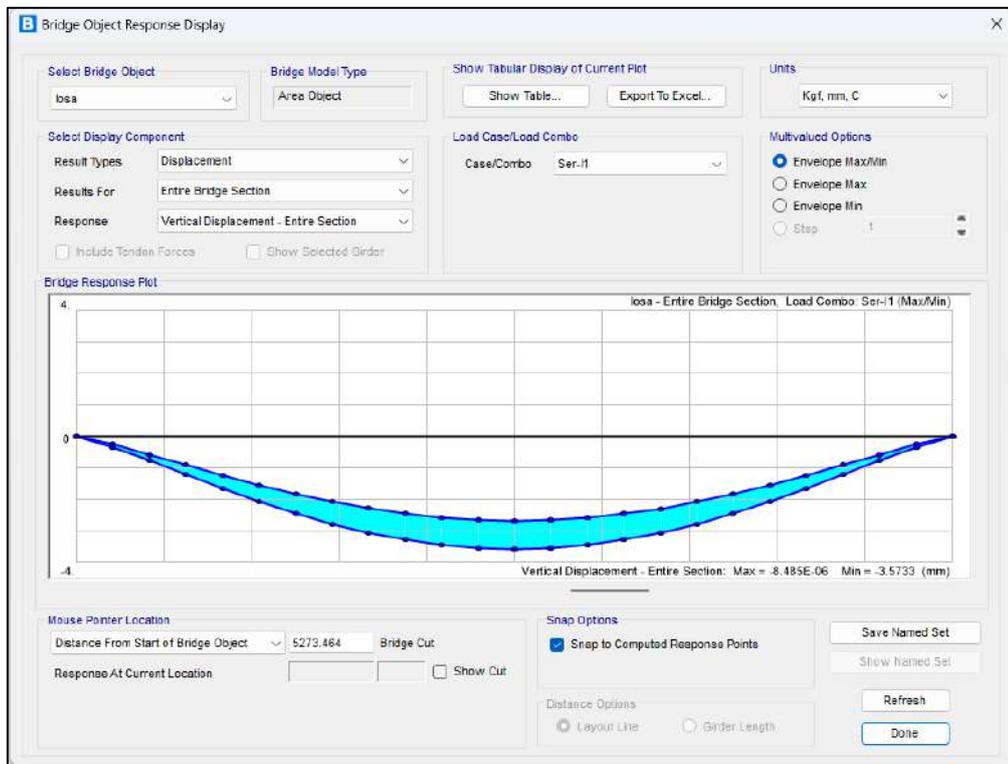
**Figura 128**

Diagrama desplazamiento Max/Min en la combinación de carga de servicio, Volvo FMX 6X4R en carril izquierdo interior

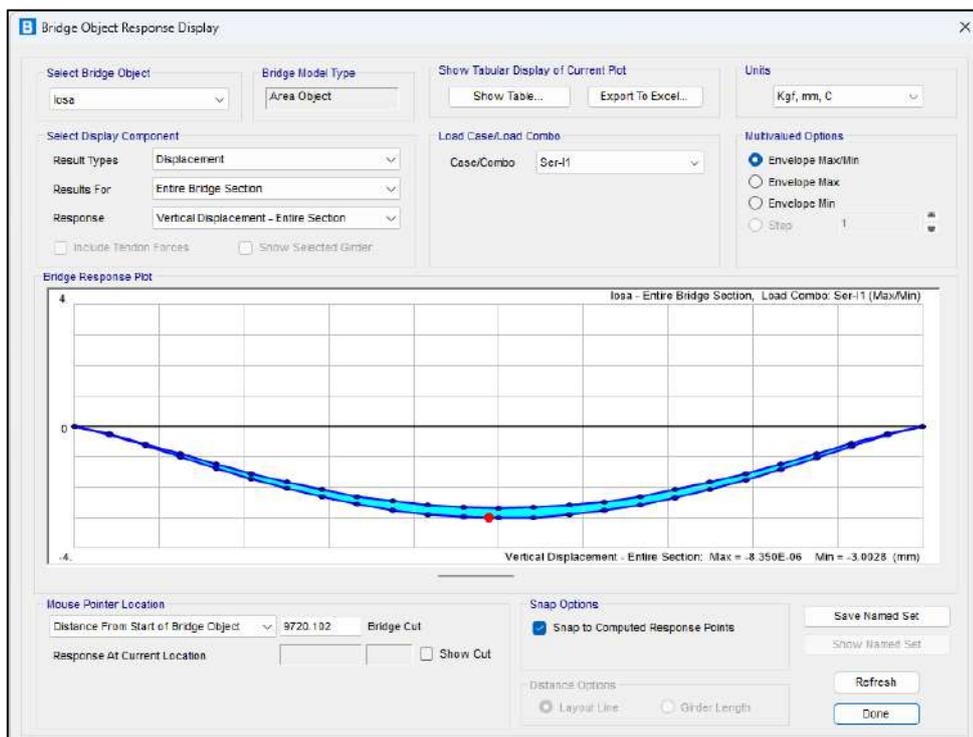


Figura 129

Momentos resultantes en la dirección del Refuerzo en Tnf.m en la combinación de carga de Resistencia, Str-II, vehículos reales.

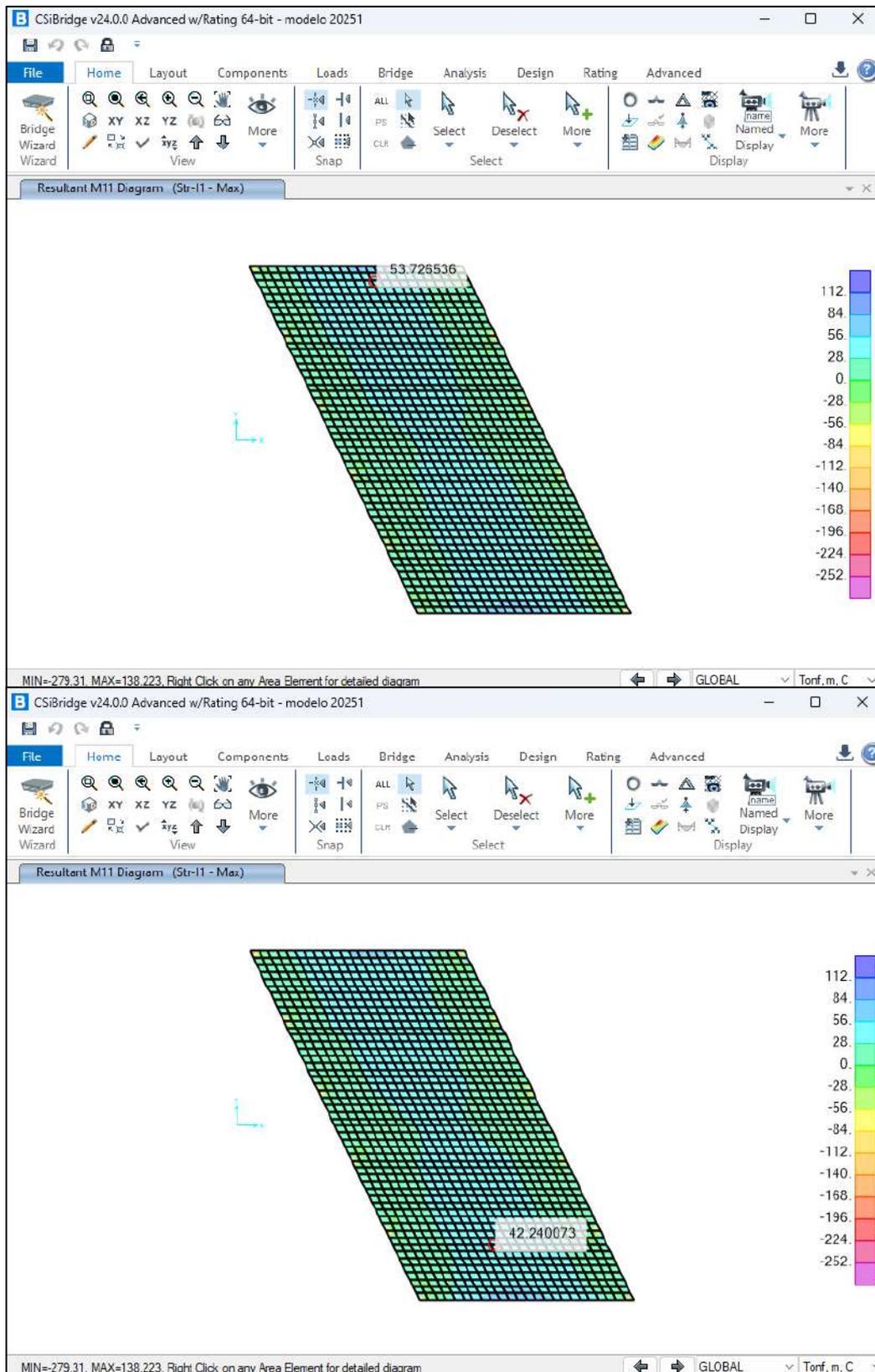
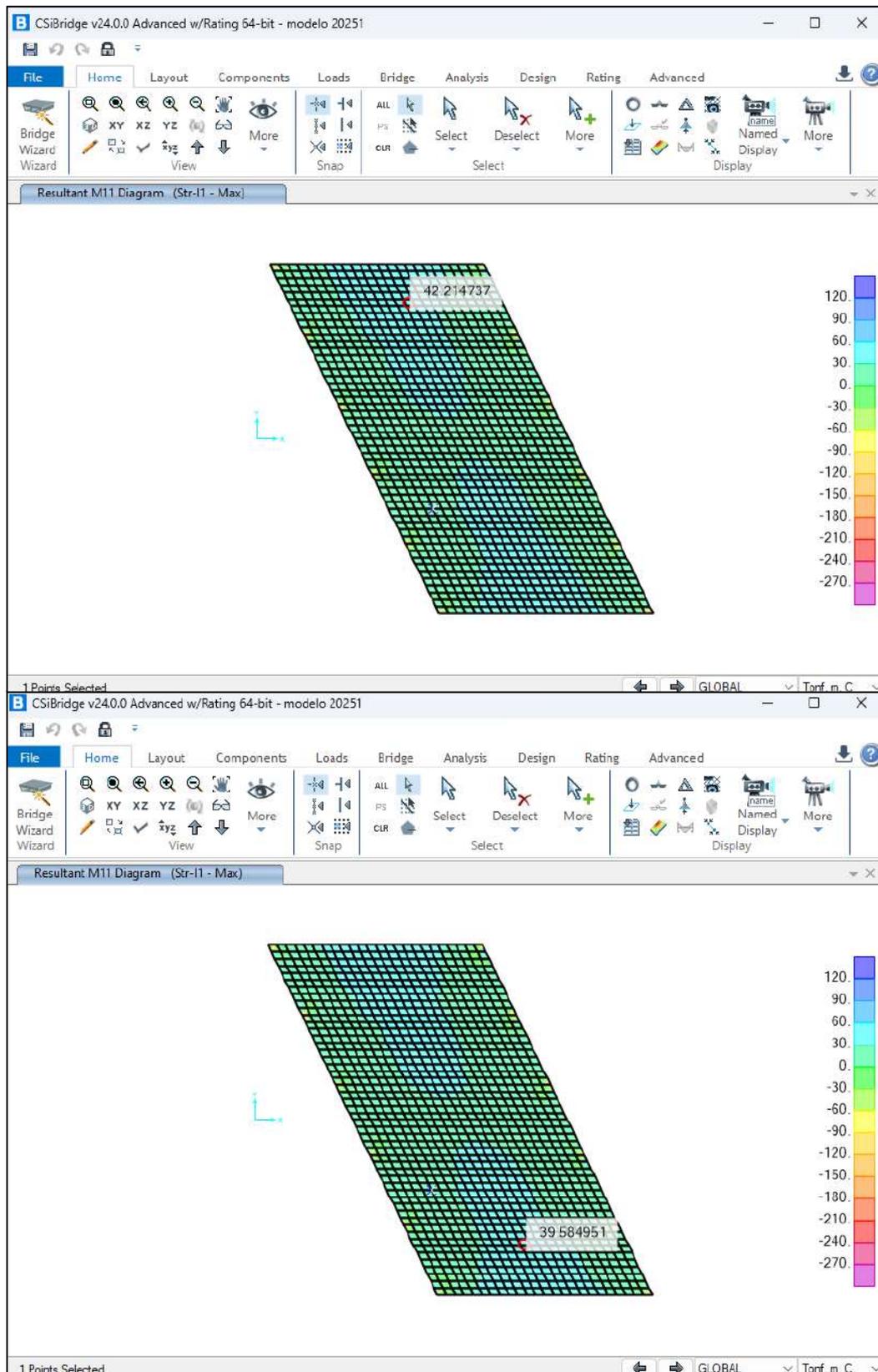


Figura 130

Momentos resultantes en la dirección del Refuerzo en Tnf.m en la combinación de carga de Resistencia, Str-II, vehículos diseño HL93.



CAPITULO V.- PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Fichas de inspección

Con el fin de tener de manera organizada los resultados de la inspección inicial, rutinaria y principal se utilizan de forma estándar las fichas de inspección.

La toma y recopilación de la información fue registrada en las siguientes fichas de inspección que se encuentran en el anexo de la Guía de Inspección de Puentes del MTC.

Figura 131

Fichas de inspección



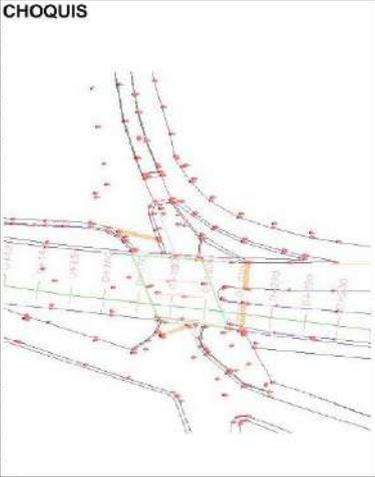
DATOS DE INSPECCIÓN

1) IDENTIFICACION Y UBICACIÓN:							
Nombre del Puente:	PUENTE CACHIMAYO	Tramo:	Ruta nacional PE-3S				
Tipo de Puente:	Puente tipo losa	Departamento Político:	Cusco				
Sobre(*):	Río	Departamento Vial:	Cusco				
Altitud(msnm):	3376.23	Provincia:	Cusco				
Latitud(grado, min):	8° 50' 58.2"	Distrito:	WANCHAQ/SAN SEBASTIAN				
Longitud(grado, min):	1° 58' 24"	Poblado más cercano:	URB. Manantiales				
Ruta:	PE-3S	Kilometraje:					
2) DATOS GENERALES							
Puente Sobre:	Río	Nombre:	Puente Cachimayo				
Longitud Total:	21.32	Num. Vías de Tránsito:	Dos				
Ancho Calzada:	9.46	Sobrecarga Diseño:	Se desconoce				
Ancho Vereda:	1.5	Numero Proyecto:	Se desconoce				
Altura Libre Superior(m):	4.39	Año Construcción:	1996				
Altura Libre Inferior(m):	4.39	Última Inspección:	No se cuenta				
Tipo Servicio :	Camiones hasta cierta carga	Último Trabajo:	Pintado barandas y estribos				
Flujo Tráfico:	41 960	% Camiones y Buses:	16.04				
Año:	1996	Alineamiento:	Esviado				
Cond. Ambientales:	Benigno						
3) TRAMOS							
Número de tramo:	DOS	Longitud Total:	21.32				
		Longitud restantes:					
Tramos :	Desiguales	Longitud 1º Tramo:	11.52				
Luz Principal:	21.32	Longitud 2º Tramo:	9.80				
TRAMO 1 (PRINCIPAL)		TRAMO 2					
Categoría / Tipo (6):	Losa	Categoría / Tipo:	Losa				
Características Secundarias:	-	Características Secundarias:					
Cond. De Borde (7):	Simplemente apoyada	Cond. De Borde (7):	Simplemente apoyada				
Material Predominante (8):	Concreto armado	Material Predominante (8):	Concreto armado				
4) TABLERO DE RODADURA							
LOSA		VIGA					
Material:		Tipo:					
Espesor(m):	0.8	Nº Vigas:	No cuenta				
Superficie de Desgaste:	Alfalo	Material:	-				
		Forma:	-				
		Peralte(m):	-				
		Última Inspección:	-				
		Separación entre Ejes:	-				
5) SUBESTRUCTURA							
ESTRIBO IZQUIERDO		ESTRIBO DERECHO					
Elevación/Tipo:	Gravedad	Elevación/Tipo:	Gravedad				
Elevación/Material:	Concreto armado	Elevación/Material:	Concreto armado				
Cimentación/Tipo:	Zapata	Cimentación/Tipo:	Zapata				
Cimentación/Material:	Concreto armado	Cimentación/Material:	Concreto armado				
6) PILARES							
PILAR 1		PILAR 2		PILAR 3		PILAR 4	
Elevación/Tipo:	Tipo muro	Elevación/Tipo:	-	Elevación/Tipo:	-	Elevación/Tipo:	-
Elevación/Material:	Concreto armado	Elevación/Material:	-	Elevación/Material:	-	Elevación/Materia	-
Cimentación/Tipo:	Zapata	Cimentación/Tipo:	-	Cimentación/Tipo:	-	Cimentación/Tipo:	-
Cimentación/Material:	Concreto armado	Cimentación/Material:	-	Cimentación/Material:	-	Cimentación/Mate	-
(*) Sobre río, quebrada, carretera, línea férrea, etc.							
7) MACIZOS/CÁMARAS DE ANCLAJE							
IZQUIERDO				DERECHO			
Elevación/Tipo:	Pilar Muro			Elevación/Tipo:	Pilar Muro		
Elevación/Material:	Concreto armado			Elevación/Material:	Concreto armado		
Cimentación/Tipo:	Zapata			Cimentación/Tipo:	Zapata		
Cimentación/Material:	Concreto armado			Cimentación/Material:	Concreto armado		


DATOS DE INSPECCIÓN

8) DETALLES			
A.BARANDAS		B.VEREDAS Y SARDINELES	
Tipo:	Barandas peatonales	Ancho Vereda (m)	1.5
Material:	Acero	Altura de Sardinel (m):	0.15
		Material:	Concreto
C. APOYOS			
APOYO 1		APOYO 2	
Tipo:	No cuenta	Tipo:	No cuenta
Material:	-	Material:	-
Ubicación:	-	Ubicación:	-
Número:	-	Número:	-
D.JUNTAS DE EXPANSIÓN		E.DRENAJE DE CALZADA	
Tipo:	No cuenta	Tipo:	Canaleta
Material:	-	Material:	Concreto
9) ACCESOS			
ACCESO IZQUIERDO		ACCESO DERECHO	
Longitud Transición (m):	151.46	Longitud Transición (m):	107.3
Alineamiento:	Paralelo	Alineamiento:	Paralelo
Ancho de Calzada (m):	7.33	Ancho de Calzada (m):	7.38
Ancho Total de Bermas (m):	0.3	Ancho Total de Bermas (m):	0.3
Pendiente Alta:	-3.87%	Pendiente Alta:	0.15%
Visibilidad:	Buena	Visibilidad:	Buena
10) SEGURIDAD VIAL			
ACCESO IZQUIERDO		ACCESO DERECHO	
Señal Informativa:	-	Señal Informativa:	-
Señal Preventiva:	Señal reducción de la calzada a la izquierda (P-	Señal Preventiva:	Señal reducción del carril externo al lado derecho (P-18A)
Señal Reglamentaria:	-	Señal Reglamentaria:	Señal Prohibido seguir de frente(R-4) Señal de circulación obligatoria(R-14)
Señal Horizontal:	Marcas planas en el pavimento	Señal Horizontal:	Marcas planas en el pavimento
Barreras de contención:	Barandas peatonales	Barreras de contención:	Barandas peatonales
Iluminación:	Buena	Iluminación:	Buena
Visibilidad:	Regular	Visibilidad:	Regular
11) SOBRECARGA			
Carga de Diseño:	Se desconoce	Carga Máxima Actual:	8500 kg
Sobreesfuerzo:	Se desconoce	Señalización de Carga:	Señal informativa paraderos abajo.
12) RUTA ALTERNA-TIPO DE OTRAS RUTAS			
Tipo de Otras Rutas			
A.VADO		B.PUENTE PARALELO	
Distancia de Puente(Km):	-	Posibilidad de Construir:	No
Periodo de Funcionamiento(meses):	-	Longitud Total(m):	-
Profundidad de Aguas Mínimas(m):	-	Sobreestructura:	-
Naturaleza del Suelo:	-	Tipo:	-
Variante Existente:	-		
Necesidad de Construirlo:	No		
13) CONDICIÓN DEL SECTOR DE LA CARRETERA			
Condición de la Carretera:	Buena		
14) SUELO DE CIMENTACIÓN			
ESTRIBO IZQ.		ESTRIBO DER.	
Material:	Suelo Fino	Material:	Suelo Fino
Comentarios:	Suelo suave	Comentarios:	Suelo suave
PILAR 1		PILAR 2	
Material:	Suelo Fino	Material:	Suelo Fino
Comentarios:	Suelo suave	Comentarios:	Suelo suave
15) NIVELES DE AGUA			
Aguas Máximas(m):	3370.66	Periodo Aguas Máximas:	7.4
Aguas Mínimas(m):	3370.16	Periodo Estiaje:	4.6
Aguas Extraordinarias(m):	3370.66	Frecuencia de Retorno:	100 años
Galibo Determinado en Campo(m):	5.41	Fecha(dd/mm/aa):	27/10/2023
Galibo Obtenido del Plano(m):	5.977	Galibo Aguas Máximas(m):	5.91
16) CAPACIDAD HIDRAULICA DEL PUENTE:			
Longitud Aceptable:	-	Longitud Requerida:	-
Altura Aceptable:	-	Altura Adicional Requerida(m):	-

DATOS DE INSPECCIÓN

Necesita Encauzamiento:	Presenta	Longitud de Encauzamiento:	524 m(antes),2798 m(después de su encuentro con el Río Huatanay)
Socavación del Cauce:	No presenta	Profundidad de Socavación:	No presenta
17) PERFIL LONGITUDINAL			
Número de Puntos:	18 puntos a partir del Eje del Puente, cada 10	Punto Fijo Aguas Abajo:	-
Distancia desde Punto Fijo	Aguas Abajo	Aguas Arriba	CHOQUIS 
Antes del eje del puente			
1	3382.26 m	3370.08 m	
2	3381.41 m	3369.33 m	
3	3380.45 m	3369.15 m	
4	3377.45 m		
5	3378.52 m		
6	3377.7 m		
7	3377.03 m		
8	3376.51 m		
9	3376.26 m		
Después del eje del puente			
1	3376.26 m		
2	3376.06 m		
3	3375.87 m		
4	3375.77 m		
5	3375.78 m		
6	3377.86 m		
7	3375.95 m		
8	3376.03 m		
9	3376.08 m		
Protección Contra Socavación:	Tipo:		
18) COMENTARIOS, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES			
>Se tienen drenajes en la carretera antes del ingreso al puente en el acceso derecho de subida y al final del acceso izquierdo de bajada. Así mismo en la carretera que se encuentra debajo del puente.			
>La condición de los canales de concreto que evacúan el agua superficial del puente y de la carretera están abandonadas, a la fecha de esta inspección presenta vegetación, sedimentos y basura que obstruye el flujo de agua y estaría provocando la acumulación de agua en la superficie de la carretera e infiltrándose por el apoyo del puente deteriorando la losa y estribos.			
>La carpeta de rodadura se encuentra en regular estado, presenta trabajos de mantenimiento como parchados o bacheo superficial, sellado de fisuras			
>Las rehabilitación frecuente en el puente es la pintura en las barandas.			
FECHA INSPECCIÓN://	INSPECTOR:	FIRMA:	
FECHA SUPERVISIÓN://	SUPERVISOR:	FIRMA:	

5.2 Resistencia de los materiales**5.2.1 Concreto**

Debido a que se desconoce la resistencia de diseño y no se cuenta con documentos o algún legajo del proyecto o de la construcción del puente en las oficinas de los gobiernos locales o provinciales de la jurisdicción donde se encuentra ubicado el puente, se tomará el promedio de los resultados obtenidos del ensayo de esclerometría.

De los ensayos se tiene en el pilar central las resistencias de 238 kg/cm²; 238 kg/cm² y 210 kg/cm²; debido a que descartaron dos lecturas por estar encima o debajo de los 6 puntos de diferencia respecto a la mediana; en el estribo derecho se tiene de resultado 238 kg/cm²; 220 kg/cm²; 238 kg/cm²; 220 kg/cm² y 220 kg/cm²; en el estribo izquierdo se tiene los resultados de 210 kg/cm²; 210 kg/cm²; 220 kg/cm²; 210 kg/cm²; 210 kg/cm²; así el promedio aritmético

de los resultados y por consiguiente la resistencia real actual del concreto en campo será de 221,69 kg/cm².

Según las especificaciones de los materiales del Manual de Puentes del MTC en el numeral 2.5.4., para aplicaciones estructurales no se usarán concretos con resistencia a la compresión menor a 24 ksi (170 kg/cm²), y además indica que generalmente el tipo de concreto de Clase A que se utiliza generalmente para todos los elementos estructurales es de 40 ksi (280 kg/cm²), con lo que el valor hallado en campo, se cumple parcialmente con estas condiciones.

Los resultados de los ensayos realizados se registraron en las fichas de las figuras 132, figura 133 y figura 134.

El recubrimiento del refuerzo se encontró con la prueba del pachómetro cuyos resultados se muestran en la tabla 30.

Tabla 30

Recubrimiento del concreto en el estribo derecho del Puente Cachimayo

Longitud	Recubrimiento promedio en la longitud de 3,93 m del ensayo 1	Recubrimiento promedio en la longitud de 3,93 m del ensayo 2
3,93 m	5,3	5,5
3,93 m	5,0	5,3
3,93 m	5,5	4,6
3,93 m	4,5	5,5
3,93 m	5,3	5,0
3,93m	5,5	5,5
Total 23,60 m		
Promedio	5,2	5,2

Según la tabla 5.10.1.1 'Recubrimiento para las armaduras principales no protegidas (in)', de las Especificaciones AASHTO para el Diseño de Puentes, para pilares vaciados in-situ en ambientes no corrosivos se tiene un recubrimiento de 50 mm. El recubrimiento hallado con la prueba del pachómetro es de 5,2 cm con lo que estaríamos dentro lo especificado por la norma.

Figura 132

Ficha de campo, esclerometría en estribo derecho del Puente Cachimayo

DETERMINACION DEL INDICE DE REBOTE															
Norma Técnica Peruana NTP 339.181:2013 – Esclerometría															
Tesis :		"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO 2020"													
Nombre del Puente:		Puente Cachimayo													
Ubicación:		Av. de la Cultura, Primer paradero de San Sebastián													
Elemento:		Estribo derecho													
Fecha:		15/12/2023													
Tipo de ensayo:		Malla cuadrada de 10cm x 10cm y espaciado interno de cuadrados de 2.5 cm													
DATOS DEL CONCRETO						ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN					PERFIL				
Edad del Concreto:		>27 años													
Tipo de Concreto:		Concreto Armado													
Aditivos Usados:		No													
Humedad Interna:		No													
Curado del Concreto:		Se desconoce													
Formaleta Usada:		Madera													
Nº TOMA	LECTURA MARTILLO (INDICE DE REBOTE)					DATOS REORDENADOS					LECTURAS DEPURADAS				
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5
1	29.00	30.00	36.00	30.00	31.00	28.00	30.00	36.00	28.00	25.00	3.0	1.0	-5.0	3.0	6.0
2	32.00	31.00	30.00	31.00	32.00	29.00	29.00	25.00	29.00	27.00	2.0	2.0	6.0	2.0	4.0
3	30.00	31.00	31.00	32.00	30.00	29.00	29.00	29.00	30.00	28.00	2.0	2.0	2.0	1.0	3.0
4	29.00	32.00	31.00	28.00	29.00	30.00	30.00	30.00	30.00	29.00	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0
5	31.00	30.00	32.00	31.00	30.00	31.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6	33.00	29.00	30.00	31.00	25.00	31.00	30.00	30.00	31.00	30.00	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0
7	32.00	32.00	29.00	31.00	37.00	31.00	30.00	30.00	31.00	30.00	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0
8	28.00	30.00	30.00	30.00	35.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
9	31.00	30.00	25.00	31.00	31.00	32.00	30.00	31.00	31.00	30.00	-1.0	1.0	0.0	0.0	1.0
10	37.00	29.00	37.00	31.00	32.00	32.00	31.00	31.00	31.00	31.00	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	35.00	34.00	35.00	32.00	34.00	32.00	31.00	31.00	31.00	31.00	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	31.00	36.00	31.00	30.00	30.00	33.00	32.00	32.00	31.00	32.00	-2.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0
13	32.00	34.00	32.00	29.00	30.00	34.00	32.00	32.00	32.00	32.00	-3.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
14	34.00	30.00	34.00	31.00	27.00	35.00	34.00	34.00	32.00	34.00	-4.0	-3.0	-3.0	-1.0	-3.0
15	31.00	30.00	31.00	33.00	30.00	37.00	34.00	35.00	32.00	35.00	-6.0	-3.0	-4.0	-1.0	-4.0
16	38.00	30.00	30.00	32.00	28.00	36.00	36.00	37.00	33.00	37.00	-7.0	-5.0	-6.0	-2.0	-6.0
MEDIANA:						31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	PARAMETROS DE ACEPTACION DE ENSAYO: (1) El índice de rebote es la mediana de todas las lecturas expresada con un número entero. (2) Si más del 20% de las lecturas difieren de la mediana en más de 6 unidades(± 6) se descarta la totalidad de las lecturas. (3) el 20% de 16 lecturas son 3 lecturas (4) para el cálculo de la resistencia a compresión se utiliza la tabla de equivalencias del fabricante del equipo.				
Lectura Promedio=						32.06	31.13	31.50	30.81	30.69					
Dureza de rebote Schmidt, R=						32.00	31.00	32.00	31.00	31.00					
Resist/compresión f'c(kgf/cm2)=						238.00	220.00	238.00	220.00	220.00					
FECHA INSPECCIÓN: //															
INSPECTOR:															

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 133

Ficha de campo, esclerometría en estribo izquierdo del Puente Cachimayo

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REBOTE															
Norma Técnica Peruana NTP 339.181:2013 – Esclerometría															
Tesis :		"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO 2020"													
Nombre del Puente:		Puente Cachimayo													
Ubicación:		Av. de la Cultura, Primer paradero de San Sebastián													
Elemento:		Estribo izquierdo													
Fecha:		15/12/2023													
Tipo de ensayo:		Malla cuadrada de 10cm x 10cm y espaciado interno de cuadrados de 2.5 cm													
DATOS DEL CONCRETO					ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN					PERFIL					
Edad del Concreto:		>27 años													
Tipo de Concreto:		Concreto Armado													
Aditivos Usados:		No													
Humedad Interna:		No													
Curado del Concreto:		Se desconoce													
Formaleta Usada:		Madera													
N° TOMA	LECTURA MARTILLO (ÍNDICE DE REBOTE)					LECTURAS DEPURADAS									
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	DATOS REORDENADOS					DIFERENCIA(2)				
1	27.00	32.00	33.00	32.00	29.00	27.00	27.00	30.00	27.00	27.00	3.00	3.00	0.00	3.00	3.00
2	32.00	30.00	33.00	30.00	30.00	27.00	28.00	30.00	28.00	28.00	3.00	2.00	0.00	2.00	2.00
3	29.00	31.00	30.00	31.00	28.00	28.00	28.00	30.00	29.00	28.00	2.00	2.00	0.00	1.00	2.00
4	29.00	31.00	30.00	31.00	33.00	29.00	29.00	30.00	29.00	28.00	1.00	1.00	0.00	1.00	2.00
5	30.00	30.00	31.00	32.00	31.00	29.00	29.00	30.00	30.00	29.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
6	27.00	30.00	31.00	30.00	30.00	29.00	30.00	31.00	30.00	29.00	1.00	0.00	-1.00	0.00	1.00
7	30.00	31.00	32.00	29.00	30.00	30.00	30.00	31.00	30.00	30.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00
8	32.00	28.00	33.00	29.00	29.00	30.00	30.00	31.00	31.00	30.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00
9	32.00	29.00	33.00	31.00	30.00	30.00	30.00	31.00	31.00	30.00	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00
10	31.00	31.00	30.00	31.00	28.00	31.00	31.00	31.00	31.00	30.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.00
11	33.00	33.00	31.00	27.00	32.00	32.00	31.00	32.00	31.00	30.00	-2.00	-1.00	-2.00	-1.00	0.00
12	29.00	28.00	31.00	30.00	30.00	32.00	31.00	32.00	31.00	30.00	-2.00	-1.00	-2.00	-1.00	0.00
13	28.00	27.00	32.00	28.00	31.00	32.00	31.00	33.00	32.00	31.00	-2.00	-1.00	-3.00	-2.00	-1.00
14	30.00	30.00	30.00	31.00	27.00	32.00	31.00	33.00	32.00	31.00	-2.00	-1.00	-3.00	-2.00	-1.00
15	32.00	31.00	31.00	33.00	30.00	33.00	32.00	33.00	32.00	32.00	-3.00	-2.00	-3.00	-2.00	-2.00
16	33.00	29.00	30.00	32.00	28.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00
MEDIANA:						30.00	30.00	31.00	31.00	30.00	PARAMETROS DE ACEPTACION DE ENSAYO: (1) El índice de rebote es la mediana de todas las lecturas expresada con un número entero. (2) Si más del 20% de las lecturas difieren de la mediana en más de 6 unidades(± 6) se descarta la totalidad de las lecturas. (3) el 20% de 16 lecturas son 3 lecturas (4) para el cálculo de la resistencia a compresión se utiliza la tabla de equivalencias del fabricante del equipo.				
Lectura Promedio=						30.25	30.06	31.31	30.44	29.75					
Dureza de rebote Schmidt, R=						30.00	30.00	31.00	30.00	30.00					
Resist/compresión $f'c$(kgf/cm²)=						210.00	210.00	220.00	210.00	210.00					
FECHA INSPECCIÓN: //															
INSPECTOR:															

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 134

Ficha de campo, esclerometría en pilar central del Puente Cachimayo

DETERMINACIÓN DEL INDICE DE REBOTE																						
Norma Técnica Peruana NTP 339.181:2013 – Esclerometría																						
Tesis :	"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO 2020"																					
Nombre del Puente:	Puente Cachimayo																					
Ubicación:	Av. de la Cultura, Primer paradero de San Sebastián																					
Elemento:	Pilar Central																					
Fecha:	15/12/2023																					
Tipo de ensayo:	Malla cuadrada de 10cm x 10cm y espaciado interno de cuadrados de 2.5 cm																					
DATOS DEL CONCRETO					ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN					PERFIL												
Edad del Concreto:	>27 años																					
Tipo de Concreto:	Concreto Armado																					
Aditivos Usados:	No																					
Humedad Interna:	No																					
Curado del Concreto:	Se desconoce																					
Formaleta Usada:	Madera																					
N° TOMA	LECTURA MARTILLO (INDICE DE REBOTE)					DATOS REORDENADOS					LECTURAS DEPURADAS											
	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5							
1	30.00	38.00	30.00	25.00	25.00	28.00	27.00	30.00	25.00	24.00	4.00	5.00	2.00	7.00	8.00							
2	33.00	38.00	31.00	30.00	37.00	30.00	33.00	30.00	29.00	25.00	2.00	-1.00	2.00	3.00	7.00							
3	31.00	35.00	31.00	29.00	35.00	30.00	34.00	30.00	29.00	25.00	2.00	-2.00	2.00	3.00	7.00							
4	32.00	34.00	33.00	29.00	31.00	30.00	34.00	30.00	29.00	28.00	2.00	-2.00	2.00	3.00	4.00							
5	32.00	34.00	30.00	33.00	32.00	31.00	35.00	30.00	30.00	28.00	1.00	-3.00	2.00	2.00	4.00							
6	33.00	39.00	32.00	30.00	25.00	31.00	35.00	31.00	30.00	30.00	1.00	-3.00	1.00	2.00	2.00							
7	36.00	39.00	33.00	31.00	39.00	31.00	36.00	31.00	30.00	30.00	1.00	-4.00	1.00	2.00	2.00							
8	30.00	27.00	30.00	30.00	32.00	32.00	37.00	31.00	30.00	30.00	0.00	-5.00	1.00	2.00	2.00							
9	31.00	33.00	33.00	31.00	28.00	32.00	38.00	31.00	31.00	31.00	0.00	-6.00	1.00	1.00	1.00							
10	31.00	38.00	35.00	31.00	33.00	33.00	38.00	32.00	31.00	32.00	-1.00	-6.00	0.00	1.00	0.00							
11	37.00	38.00	32.00	32.00	34.00	33.00	38.00	32.00	31.00	32.00	-1.00	-6.00	0.00	1.00	0.00							
12	30.00	37.00	30.00	30.00	30.00	33.00	38.00	33.00	31.00	33.00	-1.00	-6.00	-1.00	1.00	-1.00							
13	28.00	36.00	31.00	29.00	30.00	34.00	39.00	33.00	32.00	34.00	-2.00	-7.00	-1.00	0.00	-2.00							
14	38.00	35.00	34.00	31.00	24.00	36.00	39.00	33.00	32.00	35.00	-4.00	-7.00	-1.00	0.00	-3.00							
15	34.00	40.00	31.00	33.00	30.00	37.00	40.00	35.00	33.00	37.00	-5.00	-8.00	-3.00	-1.00	-5.00							
16	33.00	40.00	30.00	32.00	28.00	38.00	40.00	34.00	33.00	39.00	-6.00	-8.00	-2.00	-1.00	-7.00							
MEDIANA:						32.00			31.00	30.00												
Lectura Promedio=						32.44	se descartan las lecturas	31.63	30.38	PARAMETROS DE ACEPTACION DE ENSAYO:												
Dureza de rebote Schmidt, R=						32.00		32.00	30.00	(1) El índice de rebote es la mediana de todas las lecturas expresada con un número entero.												
Resist/compresión f'c(kgf/cm2)=						238.00		238.00	210.00	(2) Si más del 20% de las lecturas difieren de la mediana en más de 6 unidades(±6) se descarta la totalidad de las lecturas.												
																(3) el 20% de 16 lecturas son 3 lecturas						
																(4) para el cálculo de la resistencia a compresión se utiliza la tabla de equivalencias del fabricante del equipo.						
FECHA INSPECCIÓN: //																						
INSPECTOR:																						

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Acero

Los aceros utilizados para la construcción en Cusco provienen; además de otros, de la siderúrgica Aceros Arequipa que opera desde el año 1966; la norma peruana exige que los fierros de construcción cumplan con la norma técnica peruana NTP 341.03-Grado 60, es por ello que en Cusco se venía y vienen utilizando aceros de fabricantes que cumplen con esta norma para la fabricación de todas las barras corrugadas.

Límite de Fluencia del acero (f_y) del fabricante: 420 MPa mínimo.

5.3 Condición del Puente Cachimayo

5.3.1 Calificación de los elementos del Puente (CE)

Para calificar el puente dentro y conocer la condición de la infraestructura según la GIP del MTC, se evalúan las tres variables: el Grado de Daño (GD), la relevancia estructural (RE) y Factor de Consecuencia de Falla (FCF) que respectivamente hacen referencia a la magnitud y severidad de las patologías a la importancia del elemento dentro del puente y la importancia de la estructura en términos de consecuencia en caso de colapso o restricción del uso; se tiene la tabla 31, cuyos datos fueron determinados en el capítulo de Recolección y Procesamiento de Datos de esta investigación.

Tabla 31

Grado de calificación de los elementos que componen el Puente Cachimayo

ELEMENTO	GRADO DE DAÑO (GD)	RELEVANCIA ESTRUCTURAL (RE)	CONSECUENCIA DE FALLA (CFC)	CALIFICACIÓN DEL ELEMENTO (CEi)
Barandas	0	2	1	1
Losa acera (veredas)	0	2	1	1
Pila central	1	3	1	3
Aleta	1	2	0,85	2
Estribos	1	3	1,15	3
Losa	1	3	1,15	3
Superficie de rodadura (pavimento)	1	1	0,7	1

5.3.2 Calificación global del Puente Cachimayo (CP)

Para determinar la calificación global el Puente Cachimayo se evaluó individualmente cada uno de sus elementos, posteriormente se le asigna al puente la calificación del elemento que obtuvo la puntuación más alta, es decir el elemento que presenta una condición deficiente.

$$CP = \text{máx}(CE_i)$$

Donde:

CE_i: calificación del componente “i” del puente

CP: calificación del puente

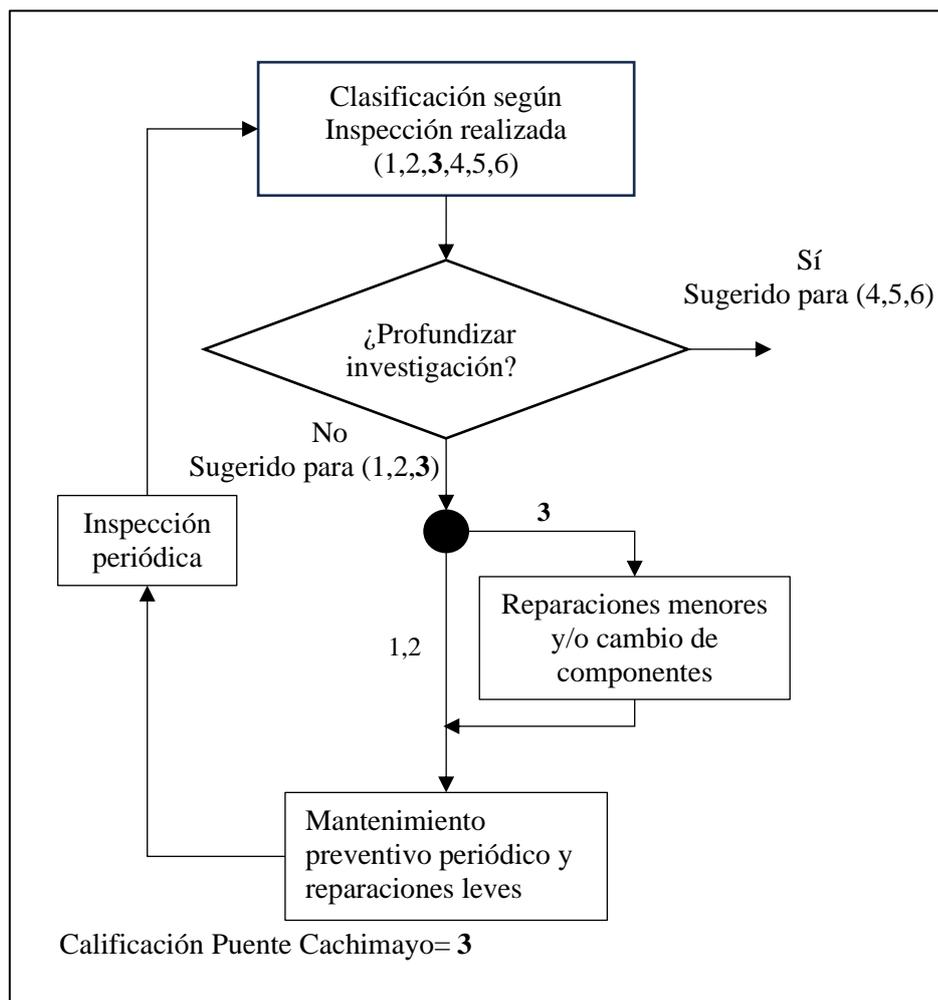
Así la calificación del puente estará dada por la calificación más alta de los elementos en de la tabla anterior que para nuestro caso es la losa los estribos y el pilar del puente:

$$CP_{\text{Puente Cachimayo}} = 3$$

El valor de la calificación global del Puente Cachimayo es de 3 en el rango de valores de 1 a 6; esta calificación corresponde a una condición deficiente que presenta un deterioro significativo que podría afectar aspectos funcionales del puente, el puente funciona aún de forma adecuada, sin impacto en los márgenes de seguridad estructural .El daño o defecto en seguridad vial es riesgoso para los usuarios, por lo que se deben establecer límites respecto a la carga de tráfico que viene deteriorando el puente.

5.4 Propuesta de intervención

Según la calificación obtenida siguiendo el método propuesto por la Guía de Inspección de puentes propone un esquema de atención de puentes según calificación obtenida, para una calificación de CP=3 se sugiere reparaciones menores y/o cambio de componentes, además nos sugiere la realización de mantenimiento preventivo y periódico y reparaciones leves.

Figura 135*Esquema atención Puente Cachimayo*

5.4.1 Propuesta de intervención rutinaria, periódica y rehabilitación de elementos del puente

Las propuestas de intervención rutinarias y periódicas aplicables a los elementos del puente y la rehabilitación de se detallan según cada componente.

Baranda

De acuerdo al registro de las patologías de este elemento para corregir los daños encontrados se sigue las siguientes actividades:

Tabla 32*Actividades de mantenimiento sugeridas elemento barandas*

Daños encontrados	Obras de Mantenimiento Rutinario	Obras de Mantenimiento periódico	Obras de Rehabilitación
Falta de verticalidad	Alineamiento de barandas de acero	Refuerzo en la fijación del anclaje de baranda de acero	Cambio de componente baranda
Corrosión de acero expuesto	Limpieza y pintura de barandas de acero	Limpieza y pintura de barandas de acero	
Acumulación de polvo y vegetación	Limpieza de barandas de acero		

Respecto al cambio de la baranda de acero esta consiste en la remoción de las partes dañadas que no son reparables incluyendo las conexiones en el tablero, para el caso los anclajes.

El fin de estas intervenciones es mantener y proteger la seguridad de los usuarios y así conservar la funcionalidad de seguridad vial.

Como recomendación la limpieza de la pintura envejecida se puede realizar con chorro de arena.

Losa acera -veredas

Tabla 33

Actividades de mantenimiento sugeridas elemento aceras

Daños encontrados	Obras de Mantenimiento Rutinario	Obras de Mantenimiento periódico
Impacto	Limpieza de acera	Reparación o reemplazo parcial de acera
Desprendimiento o peladuras	Limpieza, resane y pintura en acera	Reparación o reemplazo total de acera
Acumulación de basuras, polvo y vegetación	Limpieza de acera	Limpieza de sistemas de drenaje

Respecto a una rehabilitación, cambio completo o total de la acera, esta no sería recomendable para el Puente Cachimayo debido a que la acera se encuentra vaciada monolíticamente; no presenta acero expuesto ni signos de corrosión; se recomienda su reparación.

Pila Central

Tabla 34

Actividades de mantenimiento sugeridas elemento pila

Daños encontrados	Obras de Mantenimiento Rutinario	Obras de Mantenimiento periódico	Obras de Rehabilitación
Infiltración	Limpieza y sellado de juntas de Pila	Pintura de pila de concreto Impermeabilización de juntas	Reparación del concreto
Peladuras o desconches en la superficie	Limpieza y resane de Pila	Limpieza y resane y pintura de pila de concreto	Reparación del concreto
Eflorescencias	Limpieza y sellado de juntas de Pila	Limpieza y sellado y pintura de pila de concreto	Reparación del concreto

Mediante la reparación del concreto, que es el procedimiento más recomendado, se busca conservar el estado del concreto de la pila central del Puente Cachimayo y asegurar su buen funcionamiento estructural y estético.

Además, se debería cerrar el espacio que existe entre la defensa riverenseña y el pilar central que actualmente es usado como mingitorio, debido a que contamina el entorno y acelera el deterioro del concreto por la acción corrosiva de los sulfatos presentes en la orina que compromete la integridad del pilar y en consecuencia del puente.

Aletas

Tabla 35

Actividades de mantenimiento sugeridas elemento aletas

Daños encontrados	Obras de Mantenimiento Rutinario	Obras de Mantenimiento periódico	Obras de Rehabilitación
Infiltración	Limpieza de aletas Protección de terraplenes	Pintura de aletas de concreto Limpieza de sistemas de drenaje	Reparación del concreto
Peladuras o desconches en la superficie	Limpieza y resane de aletas	Limpieza, resane y pintura de aletas de concreto	Reparación del concreto

El mayor daño encontrado en las aletas del puente es la infiltración que debe solucionarse con un correcto manejo de las aguas de escorrentía, sistemas de drenaje y perfilado y protección con vegetación en los terraplenes que estas aletas contienen.

Respecto al canal de evacuación de aguas pluviales que descarga directamente sobre la aleta del estribo derecho; este debe ser modificado de forma que las peladuras e infiltración del agua no generen corrosión al llegar a la armadura; se sugiere la construcción de una extensión del canal, tal que el agua de escorrentía no recaiga directamente sobre la aleta.

Estribos

Tabla 36

Actividades de mantenimiento sugeridas elemento estribos

Daños encontrados	Obras de Mantenimiento Rutinario	Obras de Mantenimiento periódico	Obras de Rehabilitación
Infiltración	Limpieza y sellado de juntas estribos	Pintura de estribos de concreto Impermeabilización de juntas	Reparación del concreto
Eflorescencias	Limpieza y sellado de juntas estribos	Limpieza, sellado de juntas y pintura de estribos de concreto	Reparación del concreto

Ambos estribos del Puente Cachimayo se encuentran en buen estado debido a que no se evidencian grietas ni fisuras.

La pronta atención de las juntas para sellarlas e impermeabilizarlas evitará la evolución de este daño que afecta su durabilidad y con el tiempo puede disminuir su capacidad de carga.

Losa

Tabla 37

Actividades de mantenimiento sugeridas en elemento losa

Daños encontrados	Obras de Mantenimiento Rutinario	Obras de Mantenimiento periódico	Obras de Rehabilitación
Infiltración	Limpieza de sistemas de drenaje Limpieza y sellado de juntas de la losa	Reconstrucción, reparación o alargamiento de sistemas de drenaje	Reparación del concreto Reforzamiento de losa con fibras de carbono o vidrio
Eflorescencias	Limpieza de sistemas de drenaje Limpieza y sellado de juntas de la losa	Pintura de losa de concreto Impermeabilización de carpeta de rodadura	Reparación del concreto Reforzamiento de losa con fibras de carbono o vidrio
Daño estructural (Grietas longitudinales y transversales)	Limpieza y sellado de la losa	Limpieza, sellado y pintura de losa de concreto	Refuerzo (sobrelosa) Reparación del concreto Inyección de grietas con epoxi/resina Reforzamiento de losa con fibras de carbono o vidrio
Daño Concreto (Cangrejera u hormigueros)	Limpieza, resane y sellado de losa	Limpieza, resane y sellado y pintura de losa de concreto Impermeabilización de carpeta de rodadura	Reparación del concreto
Impacto	Limpieza de la losa	Reparación parcial de losa	Reparación del concreto

El daño estructural reflejado en las fisuras de flexión bajo el tablero de losa se debe principalmente a la sobrecarga de los camiones que circulan por el puente sin cumplir con la ordenanza municipal O.M. N°016-2017 del gobierno local, la Municipalidad Distrital de San Sebastián.

El tratamiento del daño estructural se logra con el uso de materiales compuestos de fibras de carbono y vidrio que se colocarán para el refuerzo de la losa debido al deterioro en el

que se encuentra y a la mayor carga vida que viene recibiendo; otra alternativa de refuerzo es la construcción de una sobrelosa que se logra limpiando el pavimento existente, escarificando la parte superior de la losa y colocando unos conectores metálicos para la fijación de la sobrelosa que asegurarán el trabajo conjunto con la losa existente y el pavimento nuevo.

La inyección de grietas con epoxi/resina se realiza para sellar la superficie y evitar la penetración de las aguas provenientes de la escorrentía que puedan generar corrosión en el acero de refuerzo; previo a este procedimiento la superficie debe estar limpia y libre de polvo.

Además de lo anterior se debe considerar el retiro total del pavimento existente y el sellado de las grietas que se ven reflejadas en el pavimento con el propósito de parar la infiltración de las aguas de escorrentía que se acumulan sobre la carpeta de rodadura por la ausencia de un sistema de drenaje en la parte superior de la losa como bombeo de la carpeta o sumideros.

La pintura en los elementos de concreto se realiza para evitar su deterioro producto de la afectación del medio ambiente y nos permitirá mantener sus propiedades físicas y químicas.

Superficie de rodadura

Tabla 38

Actividades de mantenimiento sugeridas en elemento superficie de rodadura

Daños encontrados	Obras de Mantenimiento Rutinario	Obras de Mantenimiento periódico	Obras de Rehabilitación
Daño estructural (fisuras longitudinales y transversales)	Limpieza de la superficie de rodadura Sellado de fisuras y grietas	Limpieza, sellado de fisuras y tratamiento superficial simple (sellos asfálticos)	Cambio de pavimento asfáltico Recapeo (Renivelación con sobrecarpeta con mezcla asfáltica en frío o en caliente)
Daño estructural (Piel de cocodrilo)	Limpieza de la superficie de rodadura Sellado de fisuras y grietas	Limpieza, parchado y tratamiento superficial simple (sellos asfálticos)	Cambio de pavimento asfáltico Recapeo (Renivelación con sobrecarpeta con mezcla asfáltica en frío o en caliente) Recapeo
Descomposición y desprendimiento (Baches en la superficie)	Limpieza de la superficie de rodadura Parchado superficial superficie de rodadura	Limpieza, parchado y tratamiento superficial simple (sellos asfálticos)	Cambio de pavimento asfáltico Recapeo (Renivelación con sobrecarpeta con mezcla asfáltica en frío o en caliente) Reparación del pavimento
Reparaciones o parchados	Limpieza de la superficie de rodadura Parchado superficial superficie de rodadura	Limpieza, parchado y tratamiento superficial simple (sellos asfálticos)	Fresado parcial de la carpeta asfáltica Recapeo (Renivelación con sobrecarpeta con mezcla asfáltica en frío o en caliente)

El tratamiento superficial simple de fisuras, grietas y peladuras se recomienda como una actividad periódica en el puente sobre todo previo al periodo de lluvias que inicia en noviembre en Cusco. Se realizan en el sellado asfáltico los sellos con emulsión asfáltica, lechadas asfálticas y los sellos tipo arena -asfalto y otros tratamientos superficiales simples.

El objetivo del recapado asfáltico es evitar que la carpeta de rodadura pase de un estado regular a un estado crítico. Con el recapeo se busca restaurar las condiciones estructurales y superficiales para mejorar así la circulación de vehículos y garantizar un tránsito cómodo, rápido y seguro.

El fresado parcial de la carpeta asfáltica se realiza para recuperar el perfil longitudinal y transversal del pavimento sobre todo se sugiere para evitar la acumulación de aguas de escorrentía, evitar la infiltración y mejorar su funcionalidad, sobre todo porque se cuenta con reparaciones o parchados sobresalientes y se notan como ondulaciones al paso de los vehículos.

5.4.2 Propuesta de intervención rutinaria, periódica de drenaje superficial

Para el adecuado funcionamiento del sistema de drenaje superficial actual del Puente Cachimayo y para garantizar la durabilidad de los elementos que componen el puente y del puente en general, se deben realizar tareas periódicas de limpieza y remoción de toda basura, vegetación presente para que no se obstaculice el libre flujo de agua, estos deben realizarse previos al inicio de la temporada de lluvias y constantemente durante este periodo. Además, durante esta labor es necesario verificar la pendiente del fondo sea adecuada para asegurar que el agua fluya libremente y evitar la formación de charcos o estancamientos debido a depresiones en la superficie.

5.5 Resultados inspección especial de la superestructura

5.5.1 Esfuerzos in-situ en la superestructura

Para estimar los esfuerzos en la superestructura se realizaron ensayos in-situ midiendo deformaciones unitarias y los esfuerzos consiguientes de la losa del Puente Cachimayo. Los gráficos obtenidos por el equipo electrónico registrados en Matlab y corregidos muestran en la figura 136, figura 137, figura 138 y figura 139.

Se pudo observar los picos en los gráficos que se registraron al paso de los vehículos pesados; estos resultados se tomaron al medio de la losa en ambos carriles de subida.

Figura 136

*Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in situ, carril exterior de subida/
Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ*

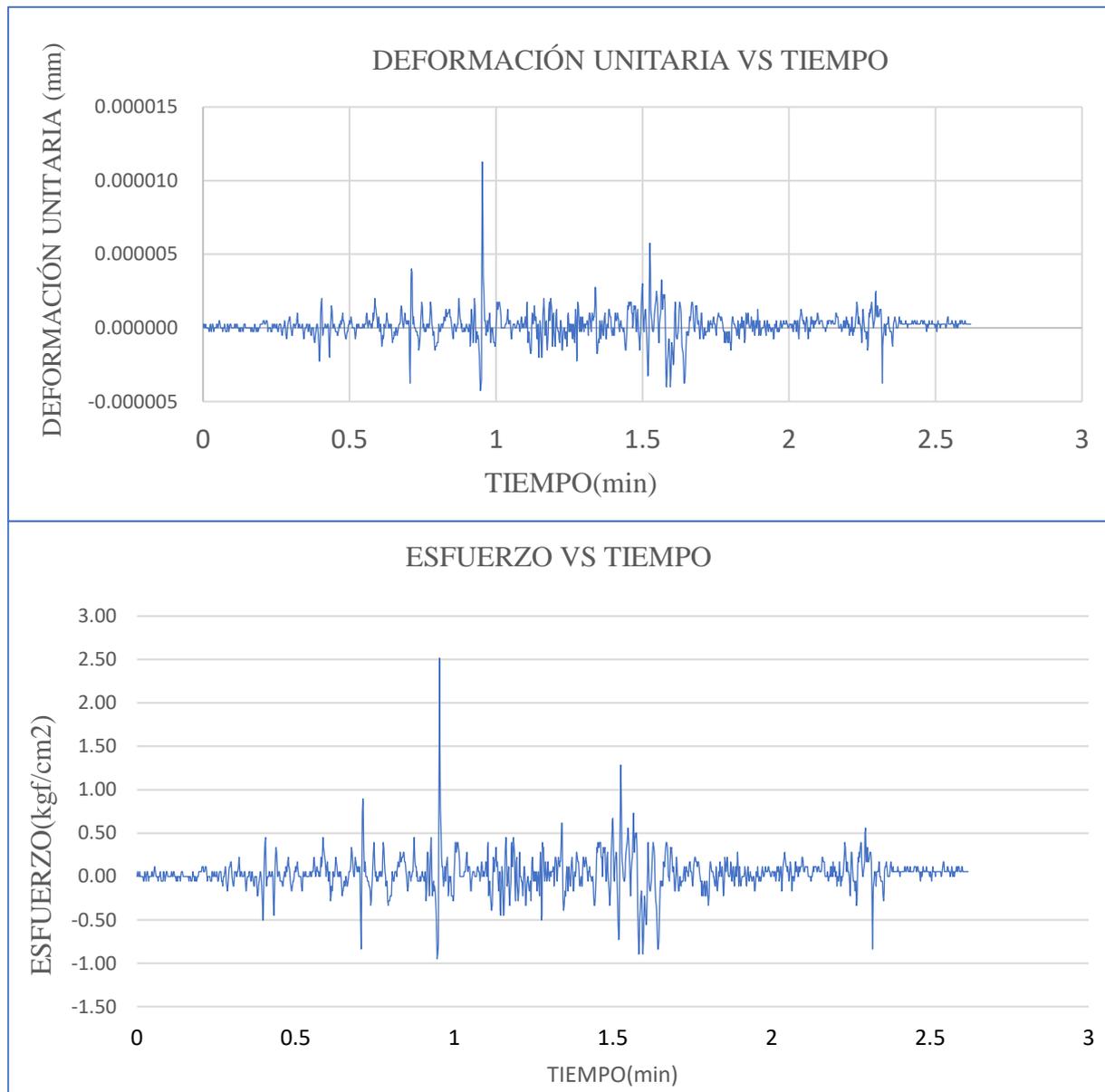


Figura 137

*Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in situ, carril exterior de subida /
Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ*

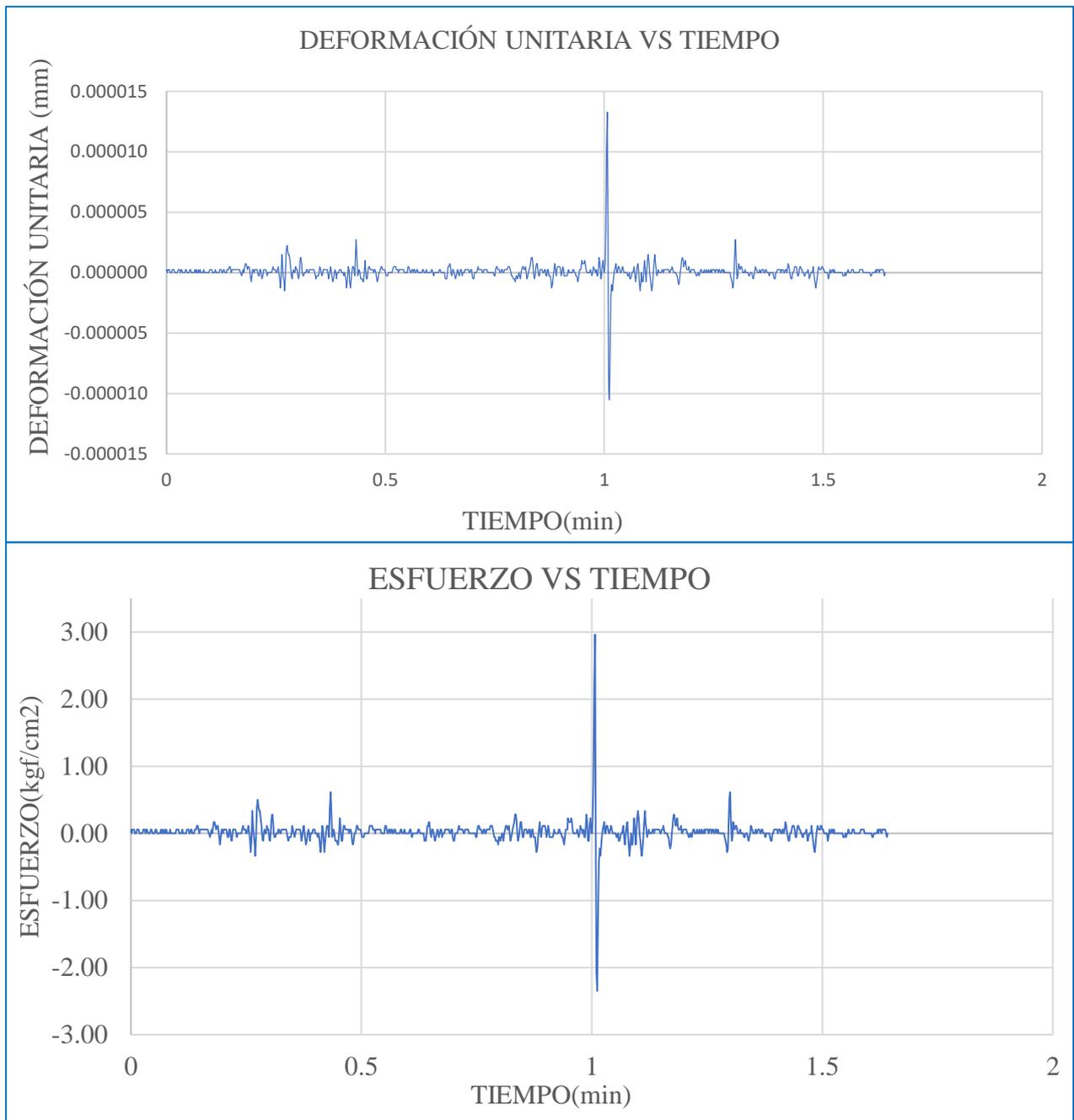


Figura 138

*Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in situ, carril interior de subida /
Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ*

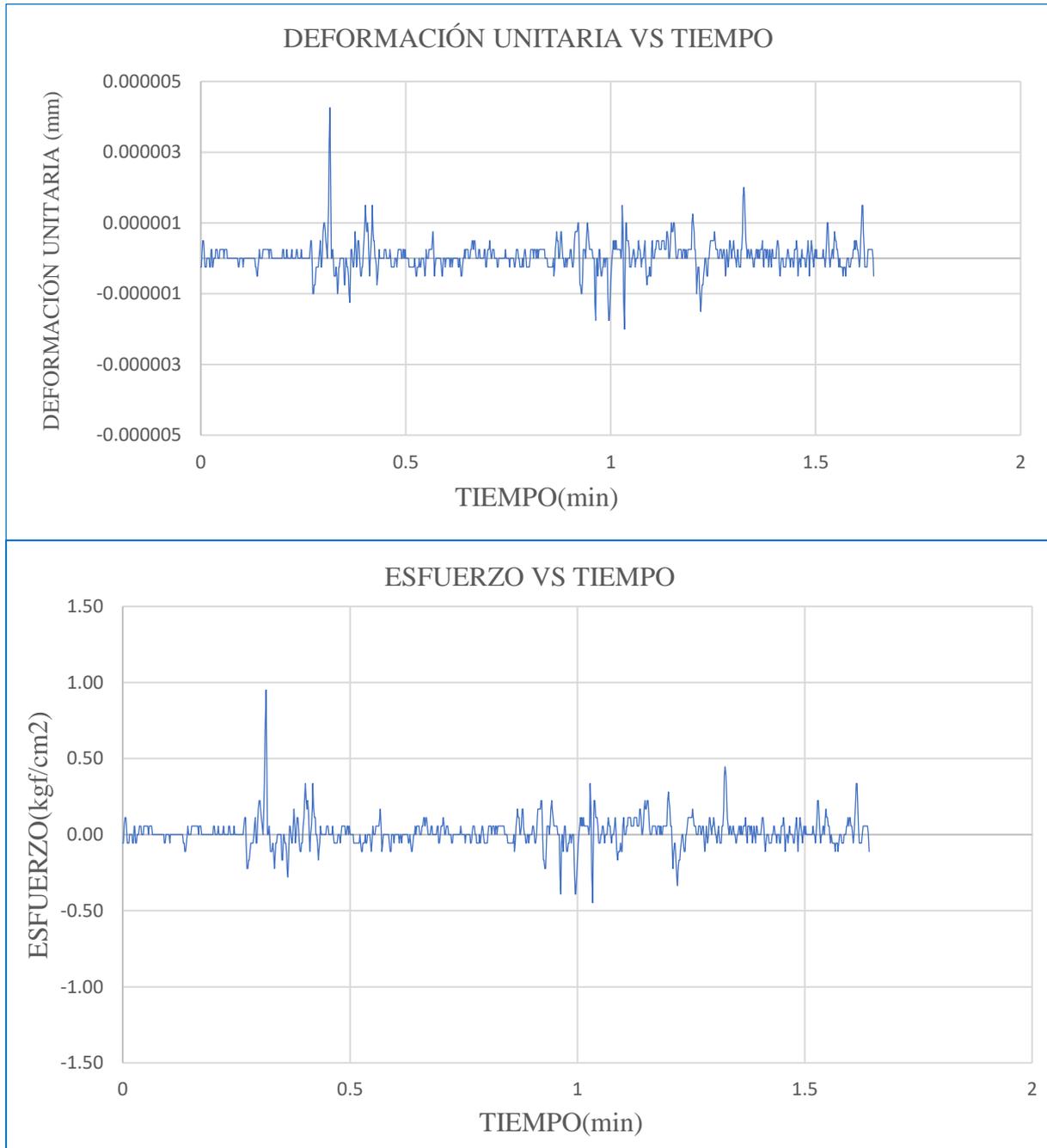
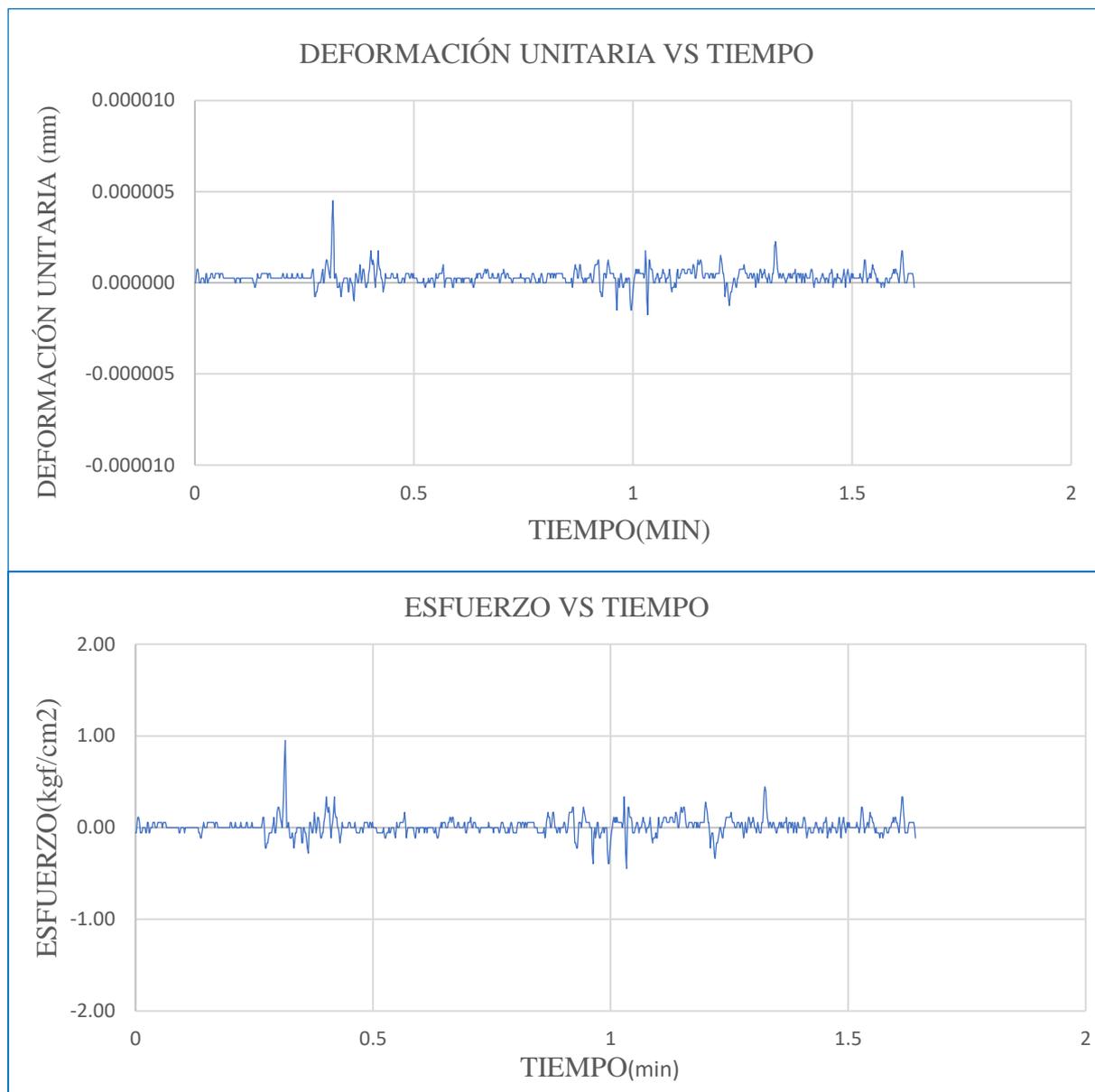


Figura 139

Deformación unitaria corregida vs tiempo del ensayo in-situ, carril interior de subida /

Variación de esfuerzo vs tiempo del ensayo in situ



5.5.2 Esfuerzos y deformaciones hallados con el Modelo Estructural versus hallados in-situ

Esfuerzos:

En el modelo estructural se pudo determinar los esfuerzos en los carriles de subida exterior e interior de los cuales se tomaron las lecturas que se muestran en la tabla 140.

Figura 140

Esfuerzos longitudinales modelo estructural vs esfuerzos longitudinales hallados in-situ

	Esfuerzos longitudinales modelo estructural	Esfuerzos longitudinales In-situ
Carril se subida interior	1,32 kg/cm ²	0,72 kg/cm ²
	1,36 kg/cm ²	0,98 kg/cm ²
Carril de subida exterior	1,64 kg/cm ²	0,7 kg/cm ²
	2,97 kg/cm ²	2,50 kg/cm ²

Los esfuerzos longitudinales medidos in-situ en el carril de subida interior representan entre el 55% al 72% de los esfuerzos máximos calculados mediante el modelo estructural debido a la carga real de tránsito durante las mediciones. De manera similar, en el carril de subida exterior, las mediciones in-situ varían entre el 43% al 84% de los valores obtenidos en el modelo estructural.

Estos resultados sugieren que las mediciones in-situ corresponden a las calculadas en el modelo con el vehículo pesado que circulaba al momento de las mediciones. Estas discrepancias pueden atribuirse a diversos factores, entre ellos:

- Carga de modelo: en el modelo estructural definimos el vehículo real completamente cargado alcanzando su peso máximo permitido, esta suposición difiere significativamente de las condiciones reales observadas durante las mediciones in situ, donde los vehículos circulaban con cargas variables, posiblemente muy por debajo de su capacidad máxima.
- Adhesión de las galgas: debido a la rugosidad de la superficie de la losa la adhesión de las galgas puede afectar la precisión de las lecturas.
- Velocidad de los vehículos: las altas velocidades de los vehículos, reducen el tiempo de contacto, siendo los picos de las mediciones de corta duración; y en el caso de

velocidades de circulación baja las mediciones no registran picos altos así se la carga elevada.

- Área de instrumentación: la instrumentación en un área puntal puede no captar la influencia de la máxima carga de los camiones, se requiere utilizar múltiples sensores a lo largo del carril.
- Registro de Cargas: al momento de realizar las mediciones se registra el vehículo más pesado que circula por la vía, este no suele coincidir con el vehículo más pesado que puede circula por el puente.
- Deformaciones bidireccionales: si bien las losas deforman en dos direcciones, longitudinal y transversalmente, las mediciones solo consideran la dirección longitudinal.

A pesar de que los resultados entre el modelo estructural y las mediciones in-situ no presentan diferencias notables, la precisión de estas mediciones podría ser significativamente mejorada mediante la implementación de un programa de monitoreo a largo plazo, que permita capturar una mayor variabilidad de las cargas vehiculares. Además, la utilización de equipos de medición con mayor precisión y sensibilidad contribuiría a reducir el margen de error y a obtener resultados más precisos.

Deformaciones:

Tabla 39

Deformaciones modelo estructural vs deformaciones hallados in-situ

	Deflexiones modelo estructural	deflexiones In-situ
Carril se subida interior	2,83 mm	0,91 mm 0,35 mm
Carril de subida exterior	2,73 mm	0,37mm 0,22mm

Nota. Las deflexiones del modelo estructural fueron halladas para que vehículo M3 Hyundai Counter III en centro de la losa para el caso de servicio.

El modelo estructural arrojó deflexiones máximas de 2,83 mm en el carril de subida interior y 2,73 mm en el carril de subida exterior. Las deflexiones medidas in situ con galgas extensiométricas variaron entre 0,91 mm y 0,35 mm en el carril de subida interior, y entre 0,37 mm y 0,22 mm en el carril de subida exterior.

Al comparar las deflexiones medidas in situ con las calculadas por el modelo numérico, se observa que las deformaciones medidas con el equipo electrónico representan aproximadamente el 32% de las deflexiones del modelo bajo las cargas del vehículo pesado que circulaba al momento de las lecturas que para nuestro caso fue el microbús M3 Hyundai Counter III , estos resultados indican que las deformaciones reales medidas en el puente son significativamente menores que las halladas por el modelo numérico.

Además, del modelo numérico, al simular el paso del camión más pesado que circula actualmente que corresponde al camión C3 Volvo FMX 6X4R, se obtuvieron deflexiones máximas de 3,00 mm a 3,57 mm y según las especificaciones AASHTO LRFD, la deflexión máxima admisible para cargas vehiculares en puentes de hormigón, acero y aluminio es la longitud del puente dividida por 1000 ($L/1000$). Para el Puente Cachimayo, con una longitud de 11,52 metros, esto resulta en una deflexión máxima admisible de 11,52 mm.

Al comparar las deflexiones máximas del modelo con el límite de AASHTO, encontramos que:

La deflexión de 3,00 mm representa el 26,04% del límite de 11,52 mm.

La deflexión de 3,57 mm representa el 31,00% del límite de 11,52 mm.

Estos porcentajes indican que, incluso bajo la carga del camión más pesado modelado, las deflexiones predichas por el modelo numérico se mantienen significativamente por debajo del límite establecido por AASHTO LRFD 2017.

Estos resultados sugieren que el puente presenta un comportamiento estructural adecuado bajo las cargas vehiculares actuales y posee una capacidad de reserva considerable antes de alcanzar el límite de deflexión admisible.

5.5.3 Matriz de riesgo según calificación de los elementos y vida residual de la estructura

Para identificar y evaluar los posibles peligros y las consecuencias asociados con los daños encontrados en la inspección del Puente Cachimayo, se plantea una matriz de riesgo en el caso de no recibir ningún tipo de mantenimiento.

La matriz de riesgo nos ayuda a visualizar en el caso del Puente Cachimayo los peligros potenciales y su impacto; la identificación de riesgos es de importancia debido a que nos ayuda a identificar el nivel de riesgo al que está expuesta la estructura que reducirá su vida útil.

Se utiliza para realizar la matriz de riesgos la norma ISO 31000 que proporciona un marco general de la gestión de riesgos para poder identificar, analizar y evaluar los riesgos.

El nivel de riesgo será la probabilidad de evolución de los daños, de modo que de no realizarse intervención alguna los daños aumentan su extensión se propagan y se derivan en consecuencias funcionales y estructurales.

Tabla 40

Matriz de riesgo para el Puente Cachimayo

GRADO DE CONSECUENCIA DE FALLA- FCF (según calificación de los elementos ítem 5.3.1 y tabla 10)	GRADO DE DAÑO-GD (nivel de peligro según calificación de los elementos ítem 5.3.1)			
	0(Protegido) Bajo	1(Atacado o Expuesto) Medio	2(Dañado) Alto	3(Fallado) Severo
Baja (0,70)		Superficie de rodadura		
Moderada (0,85)		Aletas		
Alta (1)	Baranda/aceras	Pila central		
Severa (1,15)	Estribos	Losa		

Nota. El nivel de riesgo se indica mediante un código de colores: verde (bajo), amarillo(medio), naranja (alto) y rojo (muy alto).

El Puente Cachimayo, al formar parte de la red vial PE-3S, es una estructura de importancia estratégica y económica. Su colapso representaría un alto riesgo de pérdida de vidas humanas debido al elevado volumen de tráfico que soporta (TPD=41 960). Un nivel de deterioro moderado se considera una situación de riesgo inaceptable, dadas las posibles consecuencias económicas y la potencial pérdida de vidas humanas que podrían resultar de su fallo, según lo establecido en la Guía de Inspección de Puentes del MTC.

La matriz de riesgos realizada nos servirá para priorizar la intervención de los peligros según el nivel de riesgo; los riesgos bajos requieren monitoreo regular, el riesgo medio requiere planificación y mitigación, el riesgo alto requiere acciones inmediatas y un riesgo, muy alto requiere una atención urgente.

5.5.4 Vida de servicio remanente

Respecto a la vida de servicio remanente del Puente Cachimayo, se estimará según la edad, la condición estructural, según su calificación y su capacidad de soportar el tráfico actual y futuro. Utilizando la tabla 7, y según el capítulo 5 “Rehabilitación de Puentes Existentes” de la guía “Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes” (Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica, 2013) ,que a su vez cita el Manual de Rehabilitación Sísmica FHWA (Federal Highway Administration),se clasifican como puentes con una vida útil muy corta aquellos que se encuentran en la categoría ASL1, siempre y cuando existan planes confirmados para su reemplazo.

El Puente Cachimayo actualmente forma parte del Proyecto de Inversión Pública: “Mejoramiento del Intercambio Vial entre las Avenidas De La Cultura y Los Manantiales en los Distritos de Cusco Wánchaq y San Sebastián, Provincia de Cusco, Cusco”, que plantea el reemplazo del Puente Cachimayo; por lo tanto además de ser un puente esencial, debido a que actualmente recibe un volumen importante de tráfico (TPD=41 960) y que no clasifica como puente crítico según tabla 3.1 de la guía “Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes”.

Por consiguiente, la vida útil remanente del puente es de 15 años o menos, la cual puede incrementarse después de una rehabilitación, por ejemplo, a 35 años, y por lo tanto su categoría de vida de servicio pasaría de ASL1 A ASL2 (tabla 41).

Tabla 41

Calificativos del puente según su importancia operacional y vida residual

Importancia Operativa y Económica del Puente	Vida Remanente del Puente ASL (vida útil entre 50 y 75 años)
Convencionales (CO)	ASL 1 (menor a 15 años)
Esenciales (E)	ASL 2 (15-50 años)
Críticos (CR)	ASL 3 (mayor a 50 años)

Nota. Fuente: (MTC, 2019)

CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La condición del Puente Cachimayo obtenida la presente investigación para el puente es deficiente (CP=3) según la calificación de la GIP, pero los componentes estructurales del puente funcionan aún de manera adecuada y presentan deterioros que afectan la durabilidad. Es necesario programar una intervención rutinaria para extender su vida útil y evitar la propagación de los daños actuales.
- El tablero tipo losa presenta grado de daño medio (GD=1), que es la clasificación más alta respecto a la durabilidad lo que hace que las patologías presentes podrían afectar la funcionalidad del puente y alcanzar consecuencias estructurales como pérdida de su capacidad de carga, además acuerdo a la matriz de riesgos presenta un riesgo alto de evolución de daños; con lo que este elemento tiene prioridad de atención.
- La superestructura que incluye la carpeta de rodadura presenta daños de tipo funcional que afectan directamente la capacidad del pavimento de soportar el tráfico y proporcionar una conducción segura y cómoda, aunque estos daños encontrados no comprometen la estabilidad de la estructura, su falta de mantenimiento podría acelerar el deterioro de la estructura haciendo propicio las infiltraciones e incrementando el impacto de las cargas sobre el puente.
- El mayor daño encontrado en los elementos del puente son las infiltraciones y eflorescencias, estos daños se deben a las aguas de escorrentía que se acumulan en la superficie de rodadura que viene deteriorándose por la falta de mantenimiento, estos daños afectan principalmente la superestructura y a los estribos sobre los cuales está simplemente apoyada la losa; así mismo las fisuras halladas y registradas son inferiores a 0,3 mm y son en su mayoría fisuras de retracción que no se encuentran activas de acuerdo al ensayo realizado para verificar su actividad.
- Respecto a los esfuerzos, los medidas in-situ están en el rango del 55% al 84% de los calculados por el modelo numérico.
- Las deformaciones verticales halladas in-situ representan el 32% del desplazamiento hallado con el modelo estructural y las deformaciones halladas en el modelo con la carga vehicular más pesada que actualmente circula representa el 30% de la deflexión máxima admisible según la norma AASHTO LRFD lo que indica que el puente aún posee una capacidad adecuada para soportar las cargas actuales, sin embargo, se sugiere un monitoreo continuo para evaluar la evolución de las deformaciones.

- La vida útil remanente del puente es de 15 años o menos, la cual puede incrementarse hasta en 20 años después de intervenida.
- Según la matriz de riesgos realizada la mayoría de los elementos del puente Cachimayo presentan un riesgo medio que pueden ser aceptables, pero necesitan acciones de planificación y mitigación respecto a los daños; la losa presenta un riesgo alto y requiere una atención prioritaria.
- Las reparaciones y mantenimientos sugeridos en los resultados estarán sujetos al criterio de la implementación de la entidad responsable en concordancia con la normativa vigente.
- La inspección realizada permitirá obtener una base de datos confiable para el sistema administración de puentes local y de la provincia del Cusco. Esta data permitirá establecer una línea base de las condiciones estructurales del Puente Cachimayo en la que se muestran los daños existentes inspeccionados que pueden comprometer su vida útil; además este registro servirá para programar futuras intervenciones en este puente.
- Debido a que no se conoce la cuantía del acero, el armado y la distribución por la dificultad de realizar las mediciones no destructivas, el modelo estructural simplifica el comportamiento estructural y los resultados difieren a los resultados encontrados en campo.
- La toma de datos debe ser registrado en largos periodos, para poder obtener las lecturas al momento exacto en que el vehículo más pesado circula en el puente; el registro en campo obtenido no coincide necesariamente con el máximo que se puede obtener, esto debido a que no se cuenta con los medios necesarios ni la accesibilidad óptima a la estructura que se encuentra en servicio.
- Esta investigación, en sintonía con tesis y estudios previos de los antecedentes busca evaluar el estado y capacidad de puentes mediante ensayos in situ, modelado numérico y diversos métodos de análisis estructural, proporcionando diagnósticos clave para intervenciones gubernamentales. A diferencia de la práctica común de intervenir solo ante daños evidentes, se promueve la evaluación proactiva y el mantenimiento preventivo para extender la vida útil de los puentes, optimizar recursos y garantizar la seguridad, además de mejorar el diseño de futuras infraestructuras.
- La carga móvil respecto a las ciclovías, se desprecia debido a que la tasa de ciclistas por hora es en promedio es de 8 ciclistas por hora un domingo y de 6 ciclistas por hora un

día laborable según el aforo realizado en la semana del del 4 al 10 de marzo de 2024. (Huari, 2024).

Recomendaciones

- Para garantizar la seguridad del Puente Cachimayo, se sugiere implementar un sistema de control de cargas reales sobre el puente y el pavimento. Esto puede lograrse mediante la instalación de controles de pesaje fijos o un sistema de pesaje dinámico en las vías de acceso al puente.
- Se debe señalar las limitaciones de carga, para evitar que los daños se incrementen por sobrecarga ya que las frecuencias y sobrecargas de los camiones nuevos de mayor capacidad contribuyen a la aceleración de los daños y por ende al deterioro acelerado de la infraestructura, sobre todo cuando se tratan de puentes que tienen una antigüedad considerable como el caso del Puente Cachimayo.
- Se recomienda que todos los puentes que pertenecen a la red vial nacional deberían ser inspeccionados y monitorizados continuamente para conocer su estado y detectar cualquier cambio de su condición a fin de prevenir su deterioro y para disponer de una base de datos actualizada donde se registre todas las inspecciones y poder realizar y/o programar trabajos preventivos de mantenimiento y rehabilitación en puentes como el caso del Puente Cachimayo.
- En los principales puentes de la Región y en general de la nación se deben realizar labores de monitoreo e instrumentación de forma permanente, así como se debe considerar la instrumentación en los nuevos de Puentes que vayan a construirse.
- Los puentes que se encuentran en servicio deben ser monitoreados de forma permanente y en un tiempo no en base a las recomendaciones de la Guía de Inspección de Puentes.
- Debido a que la superestructura se trata de una losa maciza, se esperan deformaciones en las direcciones longitudinales y transversales de la estructura, se recomienda el uso de una roseta de galgas extensiométricas para poder combinar las lecturas de todas las galgas y se pueda determinar el estado de la sollicitación en ese punto.
- Para obtener resultados más cercanos a los hallados en los modelos numéricos de deben considerar efectos dinámicos como sismo, impacto, además de la temperatura, humedad y para lo cual sería necesario sistemas de instrumentación estandarizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Claros Chuquimia, R., & Meruvia Cabrera, P. E. (2004). Apoyo didáctico en la enseñanza-aprendizaje de la asignatura de puentes-texto alumno. Cochabamba, Bolivia.
- AASHTO. (2017). *AASHTO LRFD Bridge Design Especifications* (Octava ed.). Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- AASHTO. (2018). *The Manual for Bridge Evaluation* (Tercera ed.). Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- ACI Committee 318. (29 de Agosto de 2014). *ACI 318-14*. American Concrete Institute (ACI).
- Aguilar, F., Cruz, K., Pillco, F., Sanchez, L., & Maldonado, M. (2014). *Análisis de la Calidad Ambiental de la Microcuenca de Cachimayo*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Apaza, P. (2006). *Puentes ,Introducción al diseño de puentes de concreto*. Lima: D'Luis Editorial.
- Bosio, J. L., Lopez, J., Gallo, E., Pastor, M., & Lozada, P. (1994). *Puentes, análisis, diseño y construcción*. Lima.
- Carrera de Escante, E. (2008). En S. d. Autores Varios, *Análisis, Diseño y Construcción de Puentes* (pág. 107). Lima: Fondo Editorial ICG.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. (marzo de 2013). Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes. San Pedro, Costa Rica: Lanamme-UCR.
- Comité ACI 224. (2001). *Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*. American Concrete Institute (ACI).
- Fernandez Baca Vidal, C., & Benavente Velasquez, R. (s.f.). *Estudio del Mapa de Peligros de la Ciudad del Cusco*. Cusco.
- Guillermo, G. M. (2010). *Diseño y Construcción de Puentes*. Venezuela.
- Huari, G. (2024). Movilidad Urbana en Bicicleta en la Ciudad de Cusco(Tesis de pregrado). Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco,Cusco.
- INDECOPI. (2013). Concreto. Determinación del recubrimiento de concreto en estructuras de hormigón armado mediante métodos no destructivos, NTP 339.182:2013. *Segunda*. Lima, Perú.

- INDECOPI. (16 de Enero de 2013). Concreto. Método de ensayo para determinar el número de rebote del concreto endurecido (esclerometría), NTP 339.181:2013. *Segunda*. Lima, Perú.
- MTC. (03 de mayo de 2000). Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras. Lima, Perú.
- MTC. (31 de mayo de 2016). Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras. Lima, Perú.
- MTC. (20 de diciembre de 2018). Manual de Puentes. Lima, Perú.
- MTC. (08 de agosto de 2019). Guía de Inspección de Puentes. Lima, Perú.
- Muñoz Díaz, E. E., Núñez, F., Rodríguez Calderón, W., Otálora Sánchez, C., & Ruiz Valencia, D. M. (16 de Marzo de 2006). Evaluación por Confiabilidad Estructural de Puentes en Acero Apoyada en Monitoreo e Instrumentación. Bogotá, Colombia.
- Muñoz, E. E. (2012). *Ingeniería de Puentes ,Reseña histórica ,tipología, diagnóstico y recuperación* (Vol. 1). Bogotá, D.C.: Pontificia Pontificia Universidad Javeriana.
- Pinto, A., & Torres, R. (2015). Incidencia de la norma AASHTO LRFD Bridge Design Specifications en el Diseño de Tableros de Puentes de Concreto Reforzado. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 134.
- Sanchez De Guzman, D. (2006). *Durabilidad y patología del Concreto* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto - Asocreto.
- Trujillo Orozco, J. E. (2009). *Diseño de Puentes*. Colombia.

ANEXOS

6.1 Glosario de términos

Patología: estudio sistemático de las causas, manifestaciones y consecuencias de los daños y defectos que afectan a los puentes, con el fin de diagnosticar su estado y proponer soluciones de reparación o mantenimiento.

Daños: alteraciones físicas o químicas en los materiales o elementos de un puente que reducen su capacidad de carga, durabilidad o funcionalidad. Incluyen fisuras, grietas, corrosión, desprendimientos, entre otros.

Durabilidad: capacidad de un puente para resistir los efectos del ambiente (clima, agentes químicos, etc.) y el uso a lo largo del tiempo, manteniendo su funcionalidad y seguridad.

Serviciabilidad: capacidad de un puente para cumplir con su función prevista bajo condiciones de servicio normales, sin causar molestias o inseguridad a los usuarios (por ejemplo, vibraciones excesivas, deflexiones).

Aletas: muros de contención que se extienden desde los estribos de un puente para soportar el terraplén adyacente y prevenir la erosión.

Pilas: soportes intermedios de un puente que transmiten las cargas del tablero a la cimentación.

Losa Acera: superficie peatonal a los lados del tablero de un puente, diseñada para el tránsito seguro de personas.

Remolque: vehículo sin motor diseñado para ser arrastrado por otro vehículo, utilizado para transportar cargas pesadas.

Galga Extensiométrica: sensor utilizado para medir la deformación unitaria en un material, permitiendo determinar los esfuerzos a los que está sometido.

Semirremolque: remolque cuya parte delantera se apoya en un vehículo tractor, formando una unidad articulada.

Mantenimiento periódico: conjunto de actividades de mantenimiento programadas a intervalos regulares para prevenir el deterioro de un puente y prolongar su vida útil.

Mantenimiento rutinario: actividades de mantenimiento diarias o frecuentes, como limpieza y pequeñas reparaciones, para mantener el puente en condiciones óptimas.

Rehabilitación: conjunto de trabajos para restaurar la capacidad funcional y estructural de un puente que ha sufrido deterioro o daños.

Eflorescencias: depósitos de sales minerales en la superficie del concreto, causados por la migración de humedad y la evaporación.

Peladuras: desprendimiento de la capa superficial del concreto, dejando expuesta la armadura o capas inferiores.

Hormigueros o Cangrejas: son defectos superficiales o internos en el concreto armado, caracterizados por la presencia de vacíos o huecos, donde la pasta de cemento no logró rellenar completamente los espacios entre los agregados (grava y arena). Estos vacíos dejan expuesto el agregado grueso, dando una apariencia similar a un panel de abejas o a un nido de hormigas, de ahí los nombres "hormigueros" o "cangrejas".

Tren de Cargas: conjunto de cargas móviles (vehículos) que se desplazan sobre un puente, generando esfuerzos y deformaciones.

Esfuerzos: fuerzas internas que actúan dentro de un material como respuesta a cargas externas, medidas en unidades de presión (kg/cm^2 , N/m^2 , Pa, etc.).

Deformaciones: cambios en la forma o dimensiones de un material debido a la aplicación de esfuerzos.

Deflexión: desplazamiento vertical de un elemento estructural (como una viga o losa) bajo carga.

Curvatura: medida de la deformación por flexión de un elemento estructural, relacionada con el cambio en su forma.

Deformación unitaria: deformación por unidad de longitud de un material, expresada como la relación entre el cambio de longitud y la longitud original (adimensional).

6.2 Ficha técnica equipo electrónico desarrollado

	<p>Razón Social: SYSTEM DYNAMIC S.A.C. R.U.C: 20608654667 Dirección: APV Los Jardines de Versalles A-9 DPT. 601 Proyectos@ideoval.com</p>
---	--

NOMBRE DE PRODUCTO: REGISTRADOR DE DATOS DE GALGA EXTENSIOMÉTRICA

HOJA DE DATOS

DESCRIPCIÓN



MEDICIÓN

Tasa de muestreo:	10 Hz (100 ms)
ADC:	24 bits
Sensibilidad:	1uv
Tipo de galga:	120 ohm, 350ohm

CONECTIVIDAD Y SOFTWARE

Protocolo de comunicación:	RS485 9600bps
Software compatible:	Matlab
Distancia de operación:	500m

ENERGÍA

Fuente de alimentación:	1 batería recargable Li-ion de ion litio 4.2v 2400mAh
Duración de batería:	10 h uso continuo
Conector:	Din metálico de 3 pines

DIMENSIONES Y FABRICACIÓN

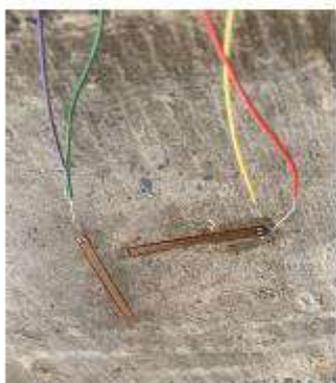
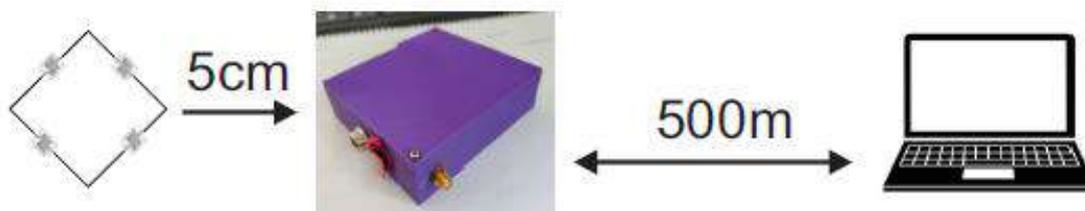
Dimensiones :	10cm x 12cm x 4cm
Material de carcasa:	ABS industrial
Peso:	100 gr.

APV. LOS JARDINES DE VERSALLES (PARADERO TELÉFONO) CUSCO - CUSCO - SAN SEBASTIÁN

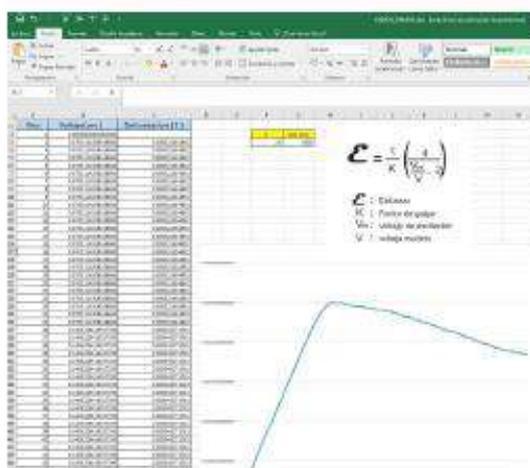
CONTACTO: 937372196

DESCRIPCIÓN

ESQUEMA DE CONEXIÓN



RESULTADOS



6.3 Fichas de conteo vehicular, estación E01, carril de subida

FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR PARA IMD																			
ESTUDIO DE TRAFICO																			
TRAMO DE LA VIA		San Sebastián-Cusco, Carretera en ruta Nacional 3S										ESTACION							
SENTIDO		O ← Carril de Subida										Primer paradero, San Sebastián.							
UBICACION		San Sebastián-Cusco										CODIGO DE LA ESTACION							
DIA		1										DIA Y FECHA							
												Miércoles							
												E1							
												15							
												11							
												23							
HORA	SENTIDO	AUTOS	CAMIONETAS				BUS			CAMION			SEMIOTRAYER				TRAYER		
			PICKUP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	20E	>=30E	20E	30E	40E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=03S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
DIAGRA. VEH.																			
00:00-00:15	E-O	66			1														
00:15-00:30	E-O	38				1													
00:30-00:45	E-O	28																	
00:45-01:00	E-O	30																	
01:00-01:15	E-O	41			1														
01:15-01:30	E-O	35							1	2									
01:30-01:45	E-O	28																	
01:45-02:00	E-O	28			1														
02:00-02:15	E-O	27			1														
02:15-02:30	E-O	22	1																
02:30-02:45	E-O	29		1	2	2													
02:45-03:00	E-O	19																	
03:00-03:15	E-O	33	1		1		1		1	1								1	
03:15-03:30	E-O	42	1		2		1		1	1	2								
03:30-03:45	E-O	54	3		5				1	1	1								
03:45-04:00	E-O	57			4	3				1									
04:00-04:15	E-O	55	2		4	3	3			1									
04:15-04:30	E-O	58	2		4	2	2												
04:30-04:45	E-O	79	2		5	7			4	1									
04:45-05:00	E-O	74	1	1	4	8	2		5	1									
05:00-05:15	E-O	97	1		2	10	2		3										
05:15-05:30	E-O	115	6		2	19	1		3										
05:30-05:45	E-O	135	10		5	23	1		2										
05:45-06:00	E-O	130	8	1	3	29	1		2										
06:00-6:15	E-O	142	8	2	6	34	2		8										
06:15-6:30	E-O	153	5	1	6	37	1		2										
06:30-6:45	E-O	216	6		2	35	2		6	1									
6:45-07:00	E-O	249	12		8	41	6		7										
07:00-7:15	E-O	205	10	1	7	42	5		7										
07:15-7:30	E-O	274	11		3	43	4	1	11										
07:30-7:45	E-O	260	11	2	5	38	3		10	1									
07:45-8:00	E-O	303	18	1	10	44	6		9	1									
08:00-8:15	E-O	313	14	1	9	42	6		8	1									
08:15-8:30	E-O	297	25	3	7	43	5		3	3									
08:30-8:45	E-O	301	27	1	11	43	5		7	2									
08:45-9:00	E-O	331	17	1	11	37	5		9	3									
09:00-9:15	E-O	338	19		11	36	4		9	4									
09:15-9:30	E-O	295	13	1	8	40	6		10										
09:30-9:45	E-O	285	19	1	11	40	5		8										
09:45-10:00	E-O	286	26	1	11	35	3		14										
10:00-10:15	E-O	303	17		12	35	4		11										
10:15-10:30	E-O	257	13	1	7	44	6		9										
10:30-10:45	E-O	248	15		4	39	4		13										
10:45-11:00	E-O	281	6	1	11	40	3		4										
11:00-11:15	E-O	234	14		13	45	5		10										
11:15-11:30	E-O	270	13	1	11	41	4		12	2									
11:30-11:45	E-O	271	12	1	12	38	3		11										
11:45-12:00	E-O	239	21	1	5	37	3	1	8										
12:00-12:15	E-O	273	19	2	6	41	4		14										
12:15-12:30	E-O	254	13	1	5	35	4		10										
12:30-12:45	E-O	238	17		9	38	3		11										
12:45-1:00	E-O	272	14		7	35	8		17										
13:00-13:15	E-O	231	14	1	7	40	5		9										
13:15-13:30	E-O	223	13		5	36	6		9	1									
13:30-13:45	E-O	252	18		7	39	2		3										
13:45-14:00	E-O	210	14	1	8	35	5		7										
14:00-14:15	E-O	243	8		6	34	1		10										
14:15-14:30	E-O	243	12	2	13	41	3		5										
14:30-14:45	E-O	215	5		6	36	1		5										
14:45-15:00	E-O	245	24	1	10	40	6		6										
15:00-15:15	E-O	228	15	1	9	42	4		11										
15:15-15:30	E-O	214	19	1	4	37	3		8										
15:30-15:45	E-O	244	20		5	39	1		12										
15:45-16:00	E-O	207	14		5	40	5		13										
16:00-16:15	E-O	200	17	1	10	40	6		4										
16:15-16:30	E-O	226	21		17	36	6		12										
16:30-16:45	E-O	189	16	1	9	41	2		12										
16:45-17:00	E-O	218	18		2	37	5		9										
17:00-17:15	E-O	218	15	1	4	40	7		8										
17:15-17:30	E-O	193	12		8	41	5		3										
17:30-17:45	E-O	220	11	2	11	32	5		9	1									
17:45-18:00	E-O	205	23		14	36	3		8	1									
18:00-18:15	E-O	192	9		4	37	3		8										
18:15-18:30	E-O	219	18	1	15	30	2		5	1									
18:30-18:45	E-O	186	13		16	41	5		3										
18:45-19:00	E-O	180	17	1	6	34	4		4	1									
19:00-19:15	E-O	203	11	1	7	33	3												
19:15-19:30	E-O	170	10	1	10	35	2		5										
19:30-19:45	E-O	196	13	1	4	32	3		5										
19:45-20:00	E-O	168	8		8	30	5		10										
20:00-20:15	E-O	171	5	1	6	19	4		2										
20:15-20:30	E-O	162	9		4	19	5		2										
20:30-20:45	E-O	145	8	1	7	11	2		2										
20:45-21:00	E-O	152	3		2	14	4		3										
21:00-21:15	E-O	148	11		5	13	4		1	1									
21:15-21:30	E-O	137	7		3	8	1		1										
21:30-21:45	E-O	132	7		8	10	1		1										
21:45-22:00	E-O	121	3		4	6	2		2	1									
22:00-22:15	E-O	107	5		4	6	4		1										
22:15-22:30	E-O	110	6		1	3			1					3					
22:30-22:45	E-O	95	5		6	3													
22:45-23:00	E-O	142	5		2	1													
23:00-23:15	E-O	80	5		3														
23:15-23:30	E-O	68	3		1	1													
23:30-23:45	E-O	63	3		1		1								1				
23:45-00:00	E-O	45	2		1														
PARCIAL:		16,524	944	46	564	2,357	270	2	501	32	3				4				1

 FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR PARA IMD ESTUDIO DE TRAFICO 																			
TRAMO DE LA VIA		San Sebastián-Cusco, Carretera en ruta Nacional 3S												ESTACION					
SENTIDO		O ← Camil de Subida												Primer paradero, San Sebastián.					
UBICACION		San Sebastián-Cusco												CODIGO DE LA ESTACION					
DIA														DIA Y FECHA					
3														Viernes 17 11 23					
HORA	SENTIDO	AUTOS	CAMIONETAS				BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
DIAGRA VEH																			
00:00-00:15	E-O	51	1		1														
00:15-00:30	E-O	58		1															
00:30-00:45	E-O	52	1		1														
00:45-01:00	E-O	34	1																
01:00-01:15	E-O	38		1															
01:15-01:30	E-O	41		1		1													
01:30-01:45	E-O	34		1															
01:45-02:00	E-O	38																	
02:00-02:15	E-O	32																	
02:15-02:30	E-O	23			1		1			1									
02:30-02:45	E-O	29			1	2				1					1				
02:45-03:00	E-O	28			1						1								
03:00-03:15	E-O	31			2		1												
03:15-03:30	E-O	39	1		3														
03:30-03:45	E-O	41	3		6		2												
03:45-04:00	E-O	44	1		4	2				4									
04:00-04:15	E-O	54	1		6	2	2			1									
04:15-04:30	E-O	40	1		5	5	4			3									
04:30-04:45	E-O	47	2		2	7	1			3	2								
04:45-05:00	E-O	75	2		4	8	1			1					1				
05:00-05:15	E-O	77	5		2	11	2			1									
05:15-05:30	E-O	94	4		6	17				5									
05:30-05:45	E-O	141	6		4	27	2			5									
05:45-06:00	E-O	127	4	1	5	35	1			2									
06:00-6:15	E-O	112	11		8	30	1			7									
06:15-6:30	E-O	127	5		11	42	2			9	1								
06:30-6:45	E-O	162	14		10	43	2			5									
6:45-07:00	E-O	278	9		8	51	5			19									
07:00-7:15	E-O	143	14		11	40	7			5									
07:15-7:30	E-O	267	15		13	47	4			8									
07:30-7:45	E-O	309	8		10	43	3			5	1								
07:45-8:00	E-O	217	21		6	47	8			12									
08:00-8:15	E-O	225	14	1	14	38	7			10									
08:15-8:30	E-O	213	24	1	9	46	2			7	2								
08:30-8:45	E-O	216	12		10	40	7			11	2								
08:45-9:00	E-O	237	21		8	49	5			10	1								
09:00-9:15	E-O	243	17		6	37	4			9									
09:15-9:30	E-O	212	15		8	35	4			11									
09:30-9:45	E-O	205	10		5	34	1			2	1								
09:45-10:00	E-O	205	12	1	11	40	3			5									
10:00-10:15	E-O	217	15		11	45	4			13	1								
10:15-10:30	E-O	184	18		11	49	2			12	1								
10:30-10:45	E-O	178	15	1	12	38	5			21	3								
10:45-11:00	E-O	201	15		12	39	4			12									
11:00-11:15	E-O	168	18	2	12	45	8			18	2								
11:15-11:30	E-O	194	19		11	41	2			8	2								
11:30-11:45	E-O	194	22		10	43	5			2	1								
11:45-12:00	E-O	171	19		7	35	4			16									
12:00-12:15	E-O	196	14	2	6	44	4		1	14	1								
12:15-12:30	E-O	182	15		11	37	3			12	3								
12:30-12:45	E-O	171	10		14	42	4			9									
12:45-1:00	E-O	195	12	2	8	32	4			10	1								
13:00-13:15	E-O	165	22		7	40	6			15	6								
13:15-13:30	E-O	160	15	1	8	48	5			7	1								
13:30-13:45	E-O	180	13		8	38	6			8									
13:45-14:00	E-O	151	15		9	42	3			10	3								
14:00-14:15	E-O	174	9	1	9	37	3			10	1								
14:15-14:30	E-O	174	25	1	8	43	6			5									
14:30-14:45	E-O	154	16		4	44	4			23									
14:45-15:00	E-O	176	20		11	38	4			9	1								
15:00-15:15	E-O	163	14	1	16	39	3			16									
15:15-15:30	E-O	153	21	1	9	46	4			10									
15:30-15:45	E-O	175	14	1	4	36	1			6	1								
15:45-16:00	E-O	148	20		10	42	7			8									
16:00-16:15	E-O	144	22		11	41	3			12									
16:15-16:30	E-O	162	17		14	41	2			13									
16:30-16:45	E-O	135	15		10	35	4			16									
16:45-17:00	E-O	156	25		12	42	4			15									
17:00-17:15	E-O	156	15		4	52	4			9									
17:15-17:30	E-O	138	12		6	41	7			5									
17:30-17:45	E-O	158	14		5	39	4			12									
17:45-18:00	E-O	147	7		8	41	5			3									
18:00-18:15	E-O	137	26		11	44	1			9									
18:15-18:30	E-O	157	16	1	4	47	5			4									
18:30-18:45	E-O	133	17		7	44	1			6									
18:45-19:00	E-O	129	13		5	48	1			6									
19:00-19:15	E-O	145	17		8	44	1			6									
19:15-19:30	E-O	122	11		4	30	5			1									
19:30-19:45	E-O	140	14		4	27				5									
19:45-20:00	E-O	120	7		4	25	2			7									
20:00-20:15	E-O	122	12	1	5	23	2			5									
20:15-20:30	E-O	116	7	1	6	23	2			3					1				
20:30-20:45	E-O	104	11		1	15	2			3	1								
20:45-21:00	E-O	108	7			16	2			4									
21:00-21:15	E-O	106	4		7	17	3												
21:15-21:30	E-O	189	3		3	11	3			3									
21:30-21:45	E-O	182	2		5	11	2			2									
21:45-22:00	E-O	167	4		8	11				1									
22:00-22:15	E-O	147	7	1	7	4	1												
22:15-22:30	E-O	151	5		1	5				1									
22:30-22:45	E-O	130	5		4	2	2			2									
22:45-23:00	E-O	195	3		5	2				1					1				
23:00-23:15	E-O	111	2		1	1													
23:15-23:30	E-O	93	2		1										1				
23:30-23:45	E-O	86	2				1			1									
23:45-00:00	E-O	62	3																
PARCIAL:		13211	982	21	602	2543	252	1	591	39	1	0							

 FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR PARA IMD ESTUDIO DE TRAFICO																				
TRAMO DE LA VIA San Sebastián-Cusco, Carretera en ruta Nacional 3S					ESTACION Primer paradero, San Sebastián.															
SENTIDO O ← Camil de Subida					CODIGO DE LA ESTACION E1															
UBICACION San Sebastián-Cusco					DIA Y FECHA Sábado					18	11	23								
DIA 4																				
HORA	SENTIDO	AUTOS	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER			
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
DIAGRA. VEH.																				
00:00-00:15	E-O	72	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
00:15-00:30	E-O	41	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
00:30-00:45	E-O	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
00:45-01:00	E-O	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
01:00-01:15	E-O	45	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
01:15-01:30	E-O	38	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
01:30-01:45	E-O	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
01:45-02:00	E-O	30	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
02:00-02:15	E-O	29	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
02:15-02:30	E-O	24	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
02:30-02:45	E-O	31	-	1	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
02:45-03:00	E-O	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
03:00-03:15	E-O	36	1	-	1	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
03:15-03:30	E-O	46	1	-	2	-	1	-	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	
03:30-03:45	E-O	59	3	-	5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
03:45-04:00	E-O	62	-	-	4	3	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
04:00-04:15	E-O	60	2	-	4	3	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
04:15-04:30	E-O	63	2	-	4	4	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
04:30-04:45	E-O	86	2	-	5	7	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
04:45-05:00	E-O	81	1	1	4	8	2	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05:00-05:15	E-O	106	1	-	2	11	2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05:15-05:30	E-O	126	6	-	2	20	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05:30-05:45	E-O	148	11	-	5	25	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
05:45-06:00	E-O	143	8	1	3	31	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06:00-6:15	E-O	156	8	2	6	37	2	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06:15-6:30	E-O	168	5	1	6	40	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
06:30-6:45	E-O	237	6	-	2	38	2	-	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6:45-07:00	E-O	273	13	-	8	45	6	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07:00-7:15	E-O	225	11	1	7	46	5	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07:15-7:30	E-O	301	12	-	3	47	4	1	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07:30-7:45	E-O	286	12	2	5	41	3	-	11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
07:45-8:00	E-O	333	19	1	11	48	6	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
08:00-8:15	E-O	344	15	1	9	46	6	-	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
08:15-8:30	E-O	326	27	3	7	47	5	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
08:30-8:45	E-O	331	29	1	12	47	5	-	7	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
08:45-9:00	E-O	364	18	1	13	40	5	-	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09:00-9:15	E-O	371	20	-	12	39	4	-	9	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09:15-9:30	E-O	324	14	1	8	44	6	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09:30-9:45	E-O	313	20	1	12	44	5	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
09:45-10:00	E-O	314	28	1	12	38	3	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10:00-10:15	E-O	333	18	-	13	38	4	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10:15-10:30	E-O	282	14	1	7	48	6	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10:30-10:45	E-O	272	16	-	4	42	4	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10:45-11:00	E-O	309	6	1	12	44	3	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:00-11:15	E-O	257	15	-	14	49	5	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:15-11:30	E-O	297	14	1	12	45	4	-	13	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:30-11:45	E-O	298	13	1	13	41	3	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:45-12:00	E-O	262	23	1	5	40	3	1	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12:00-12:15	E-O	300	20	2	6	45	4	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12:15-12:30	E-O	279	14	1	5	38	4	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12:30-12:45	E-O	261	18	-	9	41	3	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12:45-1:00	E-O	299	15	-	7	38	8	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:00-13:15	E-O	254	15	1	7	44	5	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:15-13:30	E-O	245	14	-	5	39	6	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:30-13:45	E-O	277	19	-	7	42	2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:45-14:00	E-O	231	15	1	8	38	5	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14:00-14:15	E-O	267	8	-	6	37	1	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14:15-14:30	E-O	267	13	2	14	45	3	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14:30-14:45	E-O	236	5	-	6	39	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14:45-15:00	E-O	269	26	1	11	44	6	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15:00-15:15	E-O	250	16	1	9	46	4	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15:15-15:30	E-O	235	20	1	4	40	3	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15:30-15:45	E-O	268	22	-	5	42	1	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15:45-16:00	E-O	227	15	-	5	44	5	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:00-16:15	E-O	220	18	1	11	44	6	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:15-16:30	E-O	248	23	-	18	39	6	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:30-16:45	E-O	207	17	1	9	45	2	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:45-17:00	E-O	239	19	-	2	40	5	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17:00-17:15	E-O	239	16	1	4	44	7	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17:15-17:30	E-O	212	13	-	8	45	5	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17:30-17:45	E-O	242	12	2	12	35	5	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17:45-18:00	E-O	225	25	-	15	39	3	-	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18:00-18:15	E-O	211	9	-	4	40	3	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18:15-18:30	E-O	240	19	1	16	33	2	-	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18:30-18:45	E-O	204	14	-	17	45	5	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18:45-19:00	E-O	198	18	1	6	37	4	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19:00-19:15	E-O	223	12	1	7	36	3	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19:15-19:30	E-O	187	11	1	11	38	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19:30-19:45	E-O	215	14	1	4	35	3	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19:45-20:00	E-O	184	8	-	8	33	5	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20:00-20:15	E-O	188	5	1	6	20	4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20:15-20:30	E-O	178	9	-	4	20	5	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20:30-20:45	E-O	159	8	1	7	12	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20:45-21:00	E-O	167	3	-	2	15	4	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21:00-21:15	E-O	162	12	-	5	14	4	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21:15-21:30	E-O	150	7	-	3	8	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21:30-21:45	E-O	145	7	-	8	11	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21:45-22:00	E-O	133	3	-	4	8	2													

 FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR PARA IMD ESTUDIO DE TRAFICO																							
TRAMO DE LA VIA San Sebastián-Cusco, Carretera en ruta Nacional 3S												ESTACION Primer paradero, San Sebastián.											
SENTIDO Carril de Bajada E →												CODIGO DE LA ESTACION E2											
UBICACION San Sebastián-Cusco												DIA Y FECHA Jueves 16 11 23											
DIA 2																							
HORA	SENTIDO	AUTOS	CAMIONETAS				MICRO	BUS				CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER			
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi			2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
DIAGRA. VEH.																							
00:00-00:15	O-E	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
00:15-00:30	O-E	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
00:30-00:45	O-E	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
00:45-01:00	O-E	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
01:00-01:15	O-E	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
01:15-01:30	O-E	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
01:30-01:45	O-E	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
01:45-02:00	O-E	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
02:00-02:15	O-E	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
02:15-02:30	O-E	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
02:30-02:45	O-E	21	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
02:45-03:00	O-E	22	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
03:00-03:15	O-E	28	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
03:15-03:30	O-E	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
03:30-03:45	O-E	42	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
03:45-04:00	O-E	44	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
04:00-04:15	O-E	43	-	-	6	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
04:15-04:30	O-E	53	-	-	4	5	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
04:30-04:45	O-E	62	-	-	2	8	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
04:45-05:00	O-E	69	-	-	3	11	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
05:00-05:15	O-E	80	6	-	2	9	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
05:15-05:30	O-E	107	4	-	2	14	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
05:30-05:45	O-E	116	-	-	8	18	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
05:45-06:00	O-E	137	9	-	-	27	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
06:00-6:15	O-E	123	6	-	2	32	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
06:15-6:30	O-E	122	1	-	5	29	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
06:30-6:45	O-E	160	6	-	10	40	3	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6:45-07:00	O-E	130	8	-	5	32	3	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
07:00-7:15	O-E	252	9	-	10	56	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
07:15-7:30	O-E	242	14	-	6	40	2	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
07:30-7:45	O-E	258	15	-	7	45	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
07:45-8:00	O-E	189	17	1	6	40	3	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
08:00-8:15	O-E	190	11	-	15	36	5	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
08:15-8:30	O-E	189	14	-	14	39	4	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
08:30-8:45	O-E	194	13	-	6	36	3	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
08:45-9:00	O-E	214	16	-	10	41	5	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
09:00-9:15	O-E	207	13	-	-	38	3	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
09:15-9:30	O-E	190	14	-	10	34	4	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
09:30-9:45	O-E	183	11	-	8	39	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
09:45-10:00	O-E	180	12	-	6	27	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10:00-10:15	O-E	192	20	-	9	36	1	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10:15-10:30	O-E	162	16	-	1	38	2	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10:30-10:45	O-E	156	12	-	5	36	4	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10:45-11:00	O-E	180	15	-	10	35	4	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
11:00-11:15	O-E	151	13	-	11	36	1	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
11:15-11:30	O-E	174	18	-	9	33	2	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
11:30-11:45	O-E	175	15	1	7	36	3	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
11:45-12:00	O-E	154	18	-	9	38	3	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
12:00-12:15	O-E	176	23	2	10	36	3	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
12:15-12:30	O-E	163	18	-	8	36	6	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
12:30-12:45	O-E	153	10	-	8	32	6	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
12:45-1:00	O-E	172	15	-	9	33	5	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
13:00-13:15	O-E	145	14	-	9	35	5	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
13:15-13:30	O-E	140	9	-	4	34	5	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
13:30-13:45	O-E	162	12	-	8	35	3	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
13:45-14:00	O-E	135	7	-	7	35	2	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
14:00-14:15	O-E	156	17	-	8	34	4	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
14:15-14:30	O-E	156	16	1	-	31	2	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
14:30-14:45	O-E	138	15	-	9	34	4	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
14:45-15:00	O-E	158	14	1	8	34	3	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
15:00-15:15	O-E	147	8	-	9	35	2	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
15:15-15:30	O-E	137	22	-	10	38	4	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
15:30-15:45	O-E	154	11	-	5	35	5	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
15:45-16:00	O-E	130	17	-	12	33	1	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16:00-16:15	O-E	126	9	-	9	36	6	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16:15-16:30	O-E	145	9	1	6	35	7	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16:30-16:45	O-E	122	5	-	9	36	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
16:45-17:00	O-E	140	9	-	3	27	5	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
17:00-17:15	O-E	140	12	-	3	40	3	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
17:15-17:30	O-E	124	9	-	5	34	6	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
17:30-17:45	O-E	142	11	-	4	32	3	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
17:45-18:00	O-E	132	6	-	7	34	4	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18:00-18:15	O-E	123	21	-	9	36	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18:15-18:30	O-E	139	13	-	3	38	4	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18:30-18:45	O-E	117	14	-	6	36	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18:45-19:00	O-E	113	10	-	4	39	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
19:00-19:15	O-E	130	14	-	7	36	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
19:15-19:30	O-E	108	9	-	3	20	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
19:30-19:45	O-E	126	11	-	3	22	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
19:45-20:00	O-E	108	6	-	3	20	1	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
20:00-20:15	O-E	109	9	-	4	17	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
20:15-20:30	O-E	104	6	-	5	18	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
20:30-20:45	O-E	93	9	-	-	12	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
20:45-21:00	O-E	97	6	-	-	13	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
21:00-21:15	O-E	95	3	-	6	14	2	-	-	-													



**FORMATO DE CLASIFICACION VEHICULAR PARA IMD
ESTUDIO DE TRAFICO**



TRAMO DE LA VIA		San Sebastián-Cusco, Carretera en ruta Nacional 3S										ESTACION		Primer paradero, San Sebastián.						
SENTIDO		Carril de Bajada E →										CODIGO DE LA ESTACION		E2						
UBICACION		San Sebastián-Cusco										DIA Y FECHA		Sábado 18 11 23						
DIA		4																		
HORA	SENTIDO	CAMIONETAS				MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER			TRAYLER				
		PICK UP	PANEL	RURAL Combi			2 E	>=3 E		2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
DIAGRA. VEH.																				
00:00-00:15	O-E	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:15-00:30	O-E	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:30-00:45	O-E	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
00:45-01:00	O-E	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01:00-01:15	O-E	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01:15-01:30	O-E	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01:30-01:45	O-E	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01:45-02:00	O-E	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02:00-02:15	O-E	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02:15-02:30	O-E	33	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02:30-02:45	O-E	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02:45-03:00	O-E	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03:00-03:15	O-E	45	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03:15-03:30	O-E	57	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03:30-03:45	O-E	59	2	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03:45-04:00	O-E	64	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04:00-04:15	O-E	78	-	1	7	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04:15-04:30	O-E	58	-	-	6	7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04:30-04:45	O-E	69	1	-	1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04:45-05:00	O-E	112	1	-	3	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05:00-05:15	O-E	114	6	-	1	16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05:15-05:30	O-E	139	4	-	7	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05:30-05:45	O-E	210	7	-	3	41	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
05:45-06:00	O-E	190	3	1	6	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:00-6:15	O-E	167	15	-	10	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:15-6:30	O-E	190	6	-	15	66	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06:30-6:45	O-E	242	19	-	14	67	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6:45-07:00	O-E	416	12	1	10	80	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:00-7:15	O-E	213	19	-	15	62	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:15-7:30	O-E	400	21	-	18	73	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:30-7:45	O-E	463	10	-	14	67	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07:45-8:00	O-E	254	31	-	7	73	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:00-8:15	O-E	256	19	1	19	59	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:15-8:30	O-E	254	34	1	12	72	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:30-8:45	O-E	259	16	-	14	62	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08:45-9:00	O-E	287	31	-	10	75	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:00-9:15	O-E	278	24	-	7	57	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:15-9:30	O-E	256	21	-	10	55	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:30-9:45	O-E	245	14	-	6	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
09:45-10:00	O-E	242	16	1	15	62	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00-10:15	O-E	257	21	-	15	70	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:15-10:30	O-E	216	25	-	15	75	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:30-10:45	O-E	209	21	1	16	59	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:45-11:00	O-E	242	21	-	16	60	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00-11:15	O-E	202	25	2	16	70	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:15-11:30	O-E	233	26	-	15	63	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:30-11:45	O-E	234	32	-	14	67	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:45-12:00	O-E	206	26	-	8	55	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00-12:15	O-E	235	19	2	7	68	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:15-12:30	O-E	214	21	-	15	57	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30-12:45	O-E	199	14	-	19	66	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:45-1:00	O-E	225	16	2	10	49	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00-13:15	O-E	190	32	-	8	62	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:15-13:30	O-E	184	21	1	10	74	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30-13:45	O-E	211	18	-	10	59	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:45-14:00	O-E	176	21	-	12	66	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00-14:15	O-E	205	12	1	12	57	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:15-14:30	O-E	205	37	1	10	67	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30-14:45	O-E	183	22	-	3	68	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:45-15:00	O-E	208	28	-	15	59	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00-15:15	O-E	191	19	1	22	60	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:15-15:30	O-E	178	31	1	12	72	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30-15:45	O-E	201	19	1	3	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:45-16:00	O-E	174	28	-	14	66	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00-16:15	O-E	169	32	-	15	63	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:15-16:30	O-E	194	24	-	19	63	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:30-16:45	O-E	162	21	-	14	55	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:45-17:00	O-E	189	37	-	16	66	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00-17:15	O-E	189	18	-	2	68	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:15-17:30	O-E	165	12	-	6	57	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:30-17:45	O-E	190	16	-	3	55	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:45-18:00	O-E	175	10	-	8	57	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00-18:15	O-E	164	33	-	12	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:15-18:30	O-E	188	19	-	2	63	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:30-18:45	O-E	157	21	-	7	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:45-19:00	O-E	151	15	-	3	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:00-19:15	O-E	174	21	-	8	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:15-19:30	O-E	144	12	-	2	34	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30-19:45	O-E	169	16	-	2	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:45-20:00	O-E	144	7	-	2	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00-20:15	O-E	140	12	-	3	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:15-20:30	O-E	138	7	-	6	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30-20:45	O-E	122	12	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:45-21:00	O-E	129	7	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00-21:15	O-E	127	2	-	7	23	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:15-21:30	O-E	252	1	-	1	13	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30-21:45	O-E	244	-	-	3	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:45-22:00	O-E	222	2	-	8	13	-	-	-	-	-									

6.5 Factores de Corrección Promedio para Vehículos Pesados (2020-2010)

Factores de corrección promedio para vehículos pesados (2000-2010)													
Código	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
		Pesados	Pesados	Pesados	Pesados								
P001	Aguas Calientes	1.152056	0.983990	1.013858	1.017953	1.070015	1.106987	1.066392	0.916331	0.917894	0.969064	0.893941	0.936015
P002	Aguas Claras	1.115155	1.063206	1.013084	1.026083	0.960271	0.922331	0.937617	0.980422	1.028749	1.038681	1.028577	1.013063
P003	Ambo	0.975396	1.001856	0.990894	1.022654	1.064697	1.062693	1.084708	1.012073	1.023322	0.979103	0.967478	0.903952
P004	Atico	1.002637	0.967990	1.001283	1.003859	1.053150	1.101172	1.037379	0.991104	1.041947	1.015129	0.997863	0.893016
P005	Ayaviri	1.111406	1.020008	1.264724	1.017185	1.063508	1.094743	1.004545	0.957472	0.973269	0.988975	0.952043	0.872650
P006	Bagua	1.037192	1.038676	1.064756	1.480583	1.035709	0.969377	0.989694	0.951046	1.010844	1.004341	1.005912	0.935287
P007	Bujama	1.023799	0.990646	1.008912	1.029835	1.062501	1.084767	1.057903	1.020938	1.063802	1.008891	1.009929	1.060760
P008	Camaná	0.987878	0.918781	0.980818	1.024526	1.076158	1.138937	1.059435	0.986145	1.048190	1.025378	1.012327	0.919004
P009	Cancas	1.003327	0.966822	0.999436	1.052351	1.154232	1.039043	1.003725	1.005452	1.017838	1.003000	0.978151	0.923694
P010	Caracolo	1.088225	0.962206	1.025379	1.037511	1.060026	1.058077	1.033234	0.913116	1.006702	0.981624	1.016104	0.935704
P011	Casearaca	1.017211	0.989811	0.972089	1.014503	0.975861	1.016677	1.024040	1.012504	1.055118	1.014133	1.018031	0.969961
P012	Casinchihua	1.228084	1.107520	1.095992	1.081502	1.052918	1.013756	0.956503	0.892909	0.951161	0.933450	0.951626	0.919227
P013	Catac	1.004148	1.032875	1.148238	1.065226	1.068467	0.997205	0.974436	0.926999	0.998365	0.955673	0.978974	0.921448
P014	Cerro de Pasco		1.566990	0.900925	0.978369	1.147177							
P015	Chalhuanca	1.112331	1.074472	1.080783	1.114410	1.118050	0.986149	0.983858	0.938133	0.953677	0.948843	0.983575	0.948397
P016	Chalhupquiuo (El Pedregal)	1.070696	1.105668	1.127595	1.025655	0.950560	0.942942	0.920036	0.948340	0.981226	0.956729	1.027332	1.008267
P017	Chicama	0.995423	0.990930	1.050979	1.071837	1.069606	1.027862	0.998617	0.971290	1.014403	1.045753	1.027710	0.936320
P018	Chilca	0.924254	0.893745	0.965260	1.010401	1.138275	1.170316	1.112000	1.104425	1.085696	1.019542	1.000055	0.947991
P019	Chullqui	0.968934	1.020285	1.016843	1.072139	1.119779	1.066516	1.079471	0.974897	0.974932	0.946290	0.932717	0.873061
P020	Chullucanas	0.999638	1.010383	1.157890	1.160212	1.091797	1.031974	0.991163	0.942327	0.967505	0.969838	0.956877	0.879145
P021	Ciudad de Dios	1.008812	0.960739	1.080950	1.057941	1.106456	1.087975	1.097579	0.958345	0.940683	0.943467	0.968021	0.974525
P022	Corcona	1.051301	1.018810	1.012837	0.949320	0.967974	1.005690	1.066033	0.989782	1.044532	1.011459	1.034433	0.977987
P023	Cruce Bayóvar	0.937815	0.951394	1.025536	1.141136	1.061117	1.037478	1.013926	0.996825	1.027720	1.051864	1.039579	0.923090
P024	Cuculí	0.950059	0.984751	1.402962	1.517595	1.246496	0.969531	1.009785	1.004337	0.920463	0.986391	0.907746	0.880555
P025	Desvío Olmos	1.017454	1.033046	1.049123	2.271120	1.097925	1.035464	0.990143	0.934863	0.987011	0.981228	0.964788	0.990910
P026	Desvío Talara	1.048883	1.003056	1.019170	1.030528	1.033714	1.021900	1.026971	1.017993	1.042366	0.992390	0.957055	0.895397
P027	El Fiscal	1.038485	0.906822	1.083871	1.080024	1.066607	1.184776	1.103372	1.061418	1.105289	1.083050	1.068755	0.950544
P028	El Paraíso	0.973067	0.994277	1.057835	1.057798	1.059652	1.044482	1.006399	1.002848	1.044331	0.992956	0.977690	0.881354
P029	Huacrapuquio	1.152575	1.115503	1.029777	1.001784	0.947483	0.960152	0.961270	0.955024	0.957631	0.972342	1.050900	0.991492
P030	Huarmey	0.933535	0.942690	1.010130	1.088803	1.123693	1.087517	1.029852	1.007590	1.065906	1.008860	1.010062	0.894778
P031	Huilique	1.078885	1.082401	1.122024	1.134512	1.072256	0.904700	0.988543	0.962398	0.960562	0.968604	0.946657	0.927700
P032	Ica	1.024076	1.011173	1.029908	1.022044	1.068010	1.079791	1.043697	1.002446	0.991907	0.944277	0.992716	0.891610
P033	Ilave	1.098290	1.036475	1.042219	1.643594	1.074546	1.072822	0.974334	0.861489	1.014579	0.989874	0.999383	0.886819
P034	Ilo	1.014983	0.977024	0.976785	1.069421	1.036196	1.093447	1.019384	1.045911	0.991919	1.027302	0.989154	0.883206
P035	Jahuary Chíncha	1.044326	1.016959	1.028146	1.000172	1.035235	1.059892	1.016620	1.004540	1.012376	0.970028	1.011518	0.897131
P036	Lunahuaná	1.117705	1.074653	1.072419	1.064922	0.861465	1.070093	1.031545	1.036390	0.998830	0.907237	0.935730	1.045576
P037	Marcona	1.049281	0.999218	0.968928	1.065838	1.084418	1.012221	1.025558	1.108298	0.974742	0.978969	0.932855	1.025148
P038	Matarani	0.844686	0.760509	0.932370	1.136254	1.155390	1.188635	1.161362	1.144690	1.132786	1.090607	1.133596	1.133546
P039	Moque	0.999739	1.029667	1.110047	1.122763	1.035493	0.963260	0.993512	0.915971	1.082418	1.019173	1.003934	0.917786
P040	Montalvo	1.018973	0.986837	1.004121	1.020575	1.025752	1.081602	1.033640	0.996394	1.049480	1.025485	1.010318	0.880087
P041	Mórrope	0.949054	0.951983	1.014531	1.078873	1.068757	1.029589	1.013005	0.994290	1.043866	1.056761	1.045365	0.906838
P042	Moyobamba	1.006811	0.996518	1.015998	1.076312	1.055468	0.988711	0.990681	0.944552	0.961954	0.980645	0.964170	0.987785
P043	Nazca	0.956162	1.083271	1.105598	1.098732	1.134869	1.145323	1.086919	1.031972	1.094248	1.058282	1.052412	0.971032
P044	Pacangailla	0.949198	0.953274	1.018721	1.338946	1.173096	1.019806	0.993534	0.963591	1.027556	1.056321	1.032569	0.924794
P045	Pacra	1.118314	1.067730	1.065327	0.948125	0.990753	0.959127	0.958425	0.980288	1.021957	1.005330	1.031313	0.976288
P046	Paíta	1.018951	0.952383	0.942930	1.041141	1.032175	1.028817	1.379026	1.027868	0.995480	1.018765	0.990450	0.904840
P047	Pampa Cuéllar	1.112577	1.075219	1.080287	1.027265	1.018126	1.112320	0.965437	0.914365	1.024142	0.999119	0.963115	0.886168
P048	Pampa Galera	1.104728	1.114355	1.130416	1.078073	0.945893	1.034742	1.067603	0.916792	0.963632	0.943888	0.936628	0.941910
P049	Patahuasi	1.089206	1.044719	1.059195	1.025297	1.062170	1.085018	1.026730	0.916007	0.971307	0.926516	0.941959	0.945931
P050	Pedro Ruiz	1.003620	0.964426	1.013598	3.570378	1.043144	1.114995	0.956615	0.944312	0.988379	1.017231	0.980771	1.136902
P051	Piura Sullana	0.971908	0.945697	1.017677	1.050156	1.041486	0.998695	0.991567	1.005043	1.029725	1.076486	1.047890	0.961201
P052	Pomalca	1.028688	0.984591	0.915422	0.911452	0.875076	0.853631	1.121234	1.174516	1.012305	0.999812	1.069298	1.056931
P053	Pomahuanca	0.979519	1.011112	1.012354									
P054	Pozo Redondo	0.965093	0.959281	1.000901	1.017464	0.993529	1.123378	1.026023	0.989466	1.049956	1.021359	1.014444	0.935085
P055	Pucará	1.067441	1.057953	1.116125	1.051319	1.066838	1.004507	0.951360	0.946114	0.972668	1.003390	0.970048	0.959383
P056	Punta Perdida	1.123175	0.974032	1.114108	1.100241	1.054507	1.150030	0.912521	0.824565	0.999358	0.996328	1.036562	1.009794
P057	Quiulla	1.094620	1.028769	0.994728	0.898368	0.932131	0.980860	0.969740	1.010022	1.032476	1.041747	1.038144	1.036301
P058	Ramiro Prialé	1.292422	0.939355	0.907594	1.086915	1.034067	0.973959	1.026707	0.935233	0.971744	0.907958	0.997630	1.055491
P059	Rumichaca	1.162753	1.022717	1.033297	0.941196	0.983642	0.934395	0.918484	0.947720	1.154767	0.990122	1.044174	1.052340
P060	Santa Lucía	1.089248	1.031527	1.091317	1.097922	1.103856	0.987479	1.049061	0.923008	0.988300	0.979695	0.951238	0.898871
P061	Saylla	1.033154	1.002258	1.048227	1.197009	1.087123	1.085906	1.026910	0.967106	0.969674	0.996550	0.959322	0.913599
P062	Serpentín de Pasamayo	0.984569	1.000589	1.044372	1.053622	1.046078	1.026596	1.012132	1.011370	1.030776	0.984974	0.975315	0.911831
P063	Sicuyani	1.062581	0.970722	1.036539	1.034068	1.039184	1.279381	1.026615	0.894581	1.453616	0.980164	0.945178	0.905259
P064	Simbila												
P065	Socos	1.146400	1.017059	1.019566	0.938151	0.980499	0.950679	0.981700	0.975897	1.036117	1.011057	1.063374	1.020175
P066	Tambo Grande	0.679286	0.793920	1.111716	1.336768	1.248861	1.105966	1.196294	1.225046	1.254410	1.069327	1.005585	0.729283
P067	Tomasiri	1.028449	0.994837	1.008505	1.027927	1.032552	1.091474	1.378336	0.981490	0.928631	1.005755	1.004334	0.878170
P068	Tunan	0.931964	1.004743	1.110132	1.079956	1.030331	0.962541	0.954718	0.958826	0.934054	0.903903	0.924840	0.848276
P069	Variante de Pasamayo	1.547650	1.297654	1.613231	1.442094	1.176629	1.026730	0.966506	0.998111	1.022116	0.857908	0.931199	0.984059
P070	Variante de Uchumayo												

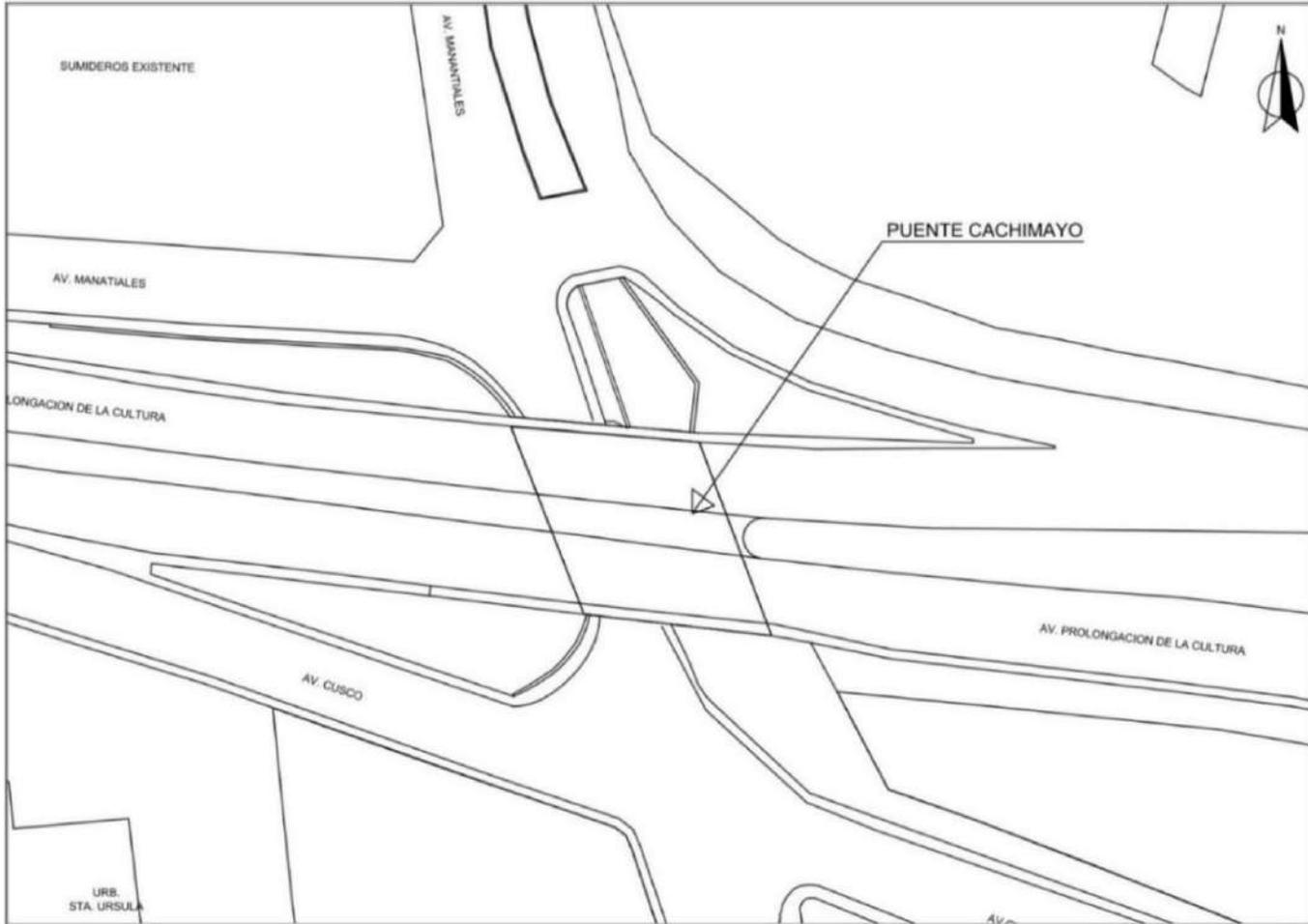
Factores de corrección promedio para vehículos ligeros (2000-2010)

Código	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
		Ligeros	Ligeros	Ligeros	Ligeros								
P001	Aguas Calientes	0.992382	0.920195	1.068743	1.075160	1.169200	1.184254	0.936857	0.879831	0.867443	1.050135	1.040737	1.010235
P002	Aguas Claras	1.120729	1.160006	1.095403	1.045593	0.973398	0.953971	0.890315	0.923189	1.050493	1.033557	1.008857	0.932598
P003	Ambo	1.035571	1.102719	1.094765	1.028035	1.011158	1.047825	1.020222	0.979908	1.031114	0.982223	0.952948	0.861338
P004	Aíco	0.934263	0.764183	1.000100	1.047885	1.162355	1.221341	1.023835	0.999045	1.141732	1.095546	1.105757	0.864690
P005	Ayaviri	1.036650	0.967293	1.509918	1.121253	1.191289	1.173181	0.957975	0.883276	0.880329	0.996700	0.985409	0.865891
P006	Bagua	1.056196	1.109595	1.169597	1.102517	1.074476	1.024215	0.969664	0.949647	0.955497	1.009393	1.038757	0.876256
P007	Bujama	0.619687	0.582335	0.689777	1.018653	1.661345	1.793992	1.366112	1.514720	1.653584	1.297168	1.217959	1.012960
P039	Mocce	0.988368	0.962589	1.015888	1.097568	1.088704	1.041461	1.020978	0.914061	1.042163	1.045342	1.020761	0.906705
P040	Montalvo	0.952951	0.982183	1.081383	1.089070	1.116355	1.120768	0.979418	0.915982	1.020771	1.048732	1.025820	0.868989
P041	Mórope	0.882757	0.924620	1.070067	1.124741	1.150790	1.169035	0.882586	0.979860	1.183850	1.101693	1.140363	0.785395
P042	Moyobamba	1.178276	1.138916	1.113240	1.051469	1.033499	0.926456	0.937374	0.928181	0.968301	0.971935	0.942950	0.938618
P043	Nazca	0.998482	0.968412	1.029348	1.054918	1.108427	1.123463	0.924936	0.902211	1.026323	1.026347	1.095925	0.896682
P044	Pacangulla	0.951242	0.972866	1.068221	1.033149	1.067478	1.103852	0.890865	0.949958	1.131137	1.130123	1.126137	0.839516
P045	Pacra	1.110540	1.116333	1.032097	1.091461	1.126100	1.055529	0.916323	0.999696	1.066166	1.025252	1.006582	0.966826
P046	Paita	0.888620	0.846215	0.955639	1.036748	1.152649	1.146220	1.350730	1.066184	1.026845	1.105145	1.089163	0.791592
P047	Pampa Cuéllar	1.049977	0.941641	1.121317	1.130921	1.165483	1.203320	0.967152	0.740558	1.051413	1.022972	1.039633	0.914584
P048	Pampa Galera	1.049449	1.115322	1.189206	1.141811	0.953547	1.044147	0.968588	0.820661	1.029797	1.005944	1.030903	0.927163
P049	Patahuasi	1.154511	0.945466	1.168618	1.091643	1.128276	1.126704	0.924874	0.767332	0.989006	0.952423	1.006260	0.952658
P050	Pedro Ruiz	0.993233	1.029596	1.080265	1.209410	1.101453	1.037956	0.924837	0.913536	0.982339	1.028582	1.004107	0.997269
P051	Piura Sullana	0.920508	0.918587	1.012812	1.067426	1.079278	1.051401	0.996521	0.994501	1.034053	1.082971	1.066464	0.939187
P052	Pomalca	0.769321	0.749243	0.782892	0.831381	0.786013	1.014466	1.793785	0.974946	0.991258	1.017340	1.051915	0.998837
P053	Pomahuanca	0.906348	1.043085	1.080231									
P054	Pozo Redondo	0.918618	0.883502	0.989741	1.057258	1.050785	1.191273	1.046164	1.000733	1.103416	1.048364	1.036116	0.848653
P055	Pucará	0.929663	0.968912	1.081974	1.106895	1.118226	1.060810	0.923353	0.909883	1.036513	1.071227	1.030331	0.937501
P056	Punta Perdida	1.016504	0.741978	1.141825	1.231290	1.206355	1.190819	0.886978	0.597177	1.158515	1.107127	1.283573	1.123881
P057	Quiulla	1.054813	1.085522	1.094876	0.922164	1.007071	1.060803	0.857949	0.958452	1.045872	1.058378	1.023853	0.930233
P058	Ramiro Prialé	0.993362	0.998265	1.019429	1.028051	1.032356	1.019612	0.965779	0.941970	1.024400	0.996099	1.016927	0.965203
P059	Rumichaca	1.313437	1.023745	0.995061	0.826767	1.198725	1.183175	0.864668	0.951512	1.214331	1.028613	1.086110	1.047318
P060	Santa Lucia	1.265383	0.949992	1.293140	1.239950	1.301753	1.048459	1.093066	0.840069	1.165849	1.130071	1.155767	0.847905
P061	Saylla	1.012254	0.962672	1.064325	1.292215	1.179586	1.171810	1.045055	0.979378	0.931480	1.056679	1.067440	0.987959
P062	Serpentín de Pasamayo	1.095463	1.007880	1.022644	1.013634	0.978524	0.993843	0.984806	1.037533	1.080017	0.895230	0.886778	0.852263
P063	Sicuyani	0.971417	0.758596	1.068523	1.111396	1.229779	1.311310	1.031490	0.683282	1.384191	1.019804	1.119919	0.978667
P064	Simbila												
P065	Socos	1.208747	1.059142	0.999469	0.877132	1.075259	1.064181	0.972343	0.965082	1.033340	0.996466	1.008091	0.997567
P066	Tambo Grande	0.883966	0.939828	1.044692	1.119472	1.138508	1.082810	1.093651	1.062226	1.074473	0.953255	0.961313	0.829641
P067	Tomasiri	1.040521	1.044316	1.084451	1.073745	1.064572	1.071234	1.333246	0.957206	0.855623	1.033469	1.028658	0.844004
P068	Tunan	1.010867	1.060881	1.108091	0.966025	1.086967	1.037544	0.817707	0.878406	0.969556	0.927743	1.001607	0.880768
P069	Variante de Pasamayo	0.958010	0.941581	0.982048	0.963565	1.072566	1.124447	0.939651	1.019935	1.135207	1.051909	1.075789	0.877645
P070	Variante de Uchumayo	0.806582	0.620889	0.956525	1.121810	1.146576	1.198611	1.096166	1.089260	1.171095	1.233508	1.129518	0.938597
P071	Vesique	0.814895	0.841455	0.958830	1.068780	1.118806	1.523528	1.020828	1.066687	1.146105	1.100048	1.096971	0.875895
P072	Virú	0.944645	0.927037	0.998822	1.021412	1.100525	1.062779	0.964774	1.053462	1.140958	1.072133	1.092897	0.861916
P073	Yauca	0.920191	0.837839	1.027747	1.055378	1.212323	1.080176	1.007029	1.015024	1.119397	1.099244	1.177167	0.866008
P074	Zarumilla	1.065796	0.985743	1.057975	1.062092	1.208126	1.037788	0.997303	0.955574	0.976400	0.987004	1.011604	1.555471

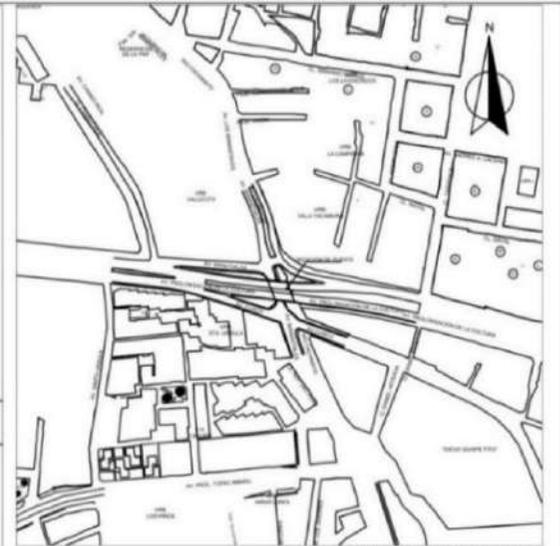
Fuente: Unidades Peaje PVN

Elaboración: OGPP

6.1 Plano de ubicación, plano de planta y elevación, plano topográfico, plano de daños, plano de ubicación de daños

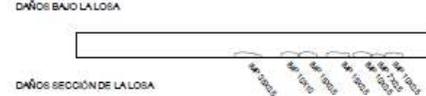
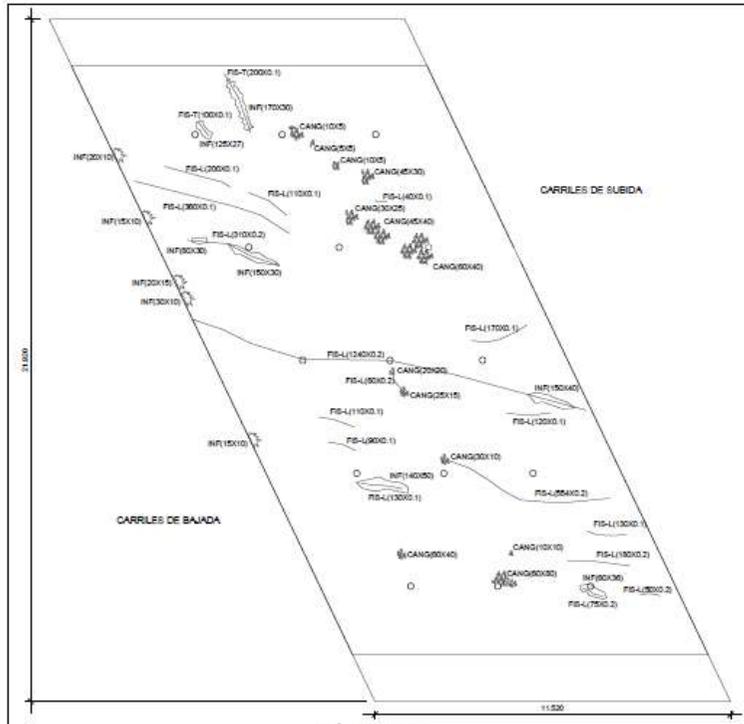


PLANO DE UBICACIÓN
ESC:1/500



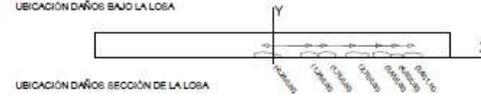
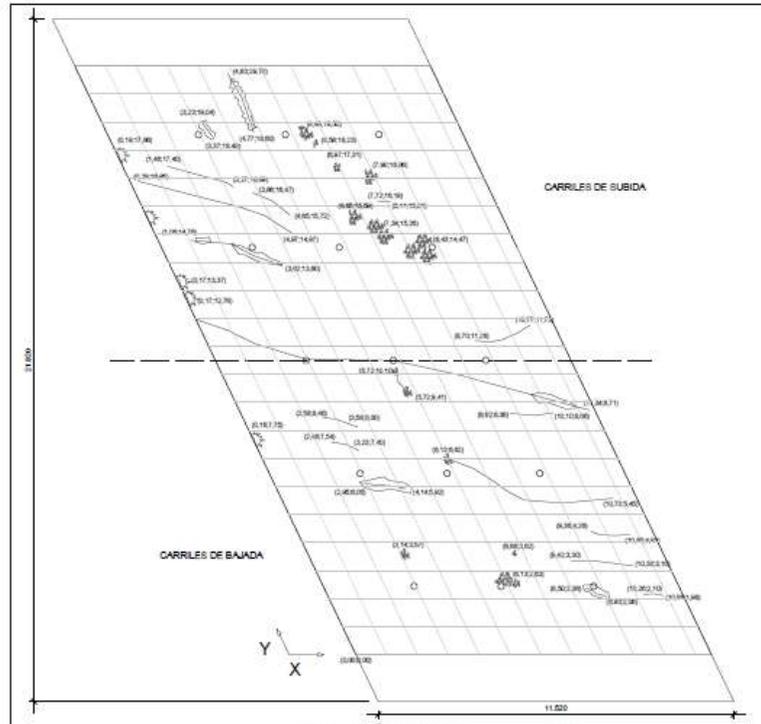
PLANO DE LOCALIZACIÓN
ESC:1/5000

	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
	TESIS "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO 2020"	
	TESISISTA: BACH.AMANCA MEZA XIMENA	
PLANO DE UBICACIÓN		
PLANO:	PLANO DE UBICACIÓN	
UBICACIÓN: PUENTE CACHIMAYO (AV.CULTURA PRIMER PARADERO)	FECHA: 27/08/2024	LÁMINA: U-01
DISTRITO: SAN SEBASTIÁN	ESCALA: INDICADA	
PROVINCIA: CUSCO		
DEPARTAMENTO: CUSCO		



NOTAS:
 CANG (Cangrejera) Vacío o hueco en el concreto, resultado de una mala compactación. Medir longitud y ancho en cm.
 FIS (Fisura) Aberturas o grietas en el concreto.
 FIS-L Longitudinal (paralela al eje principal). Medir longitud en cm, ancho en mm.
 FIS-T Transversal (perpendicular al eje principal). Medir longitud en cm, ancho en mm.
 INF (Infiltración) Marcas o manchas de humedad, indicando penetración de agua. Medir longitud y ancho en cm.
 IMP (Impacto) Daño por golpe o colisión, con posible desprendimiento de material. Medir longitud y ancho en cm.
 Según ASOCRETO (Asociación Colombiana de Productores de Concreto), las fisuras en concreto se clasifican por su ancho en tres categorías: "fina", con anchos menores a 1 mm; "medias", entre 1 y 2 mm; y "anchas", con anchos mayores a 2 mm. Fisuras con anchos significativos, especialmente aquellas clasificadas como "anchas", pueden indicar falta de capacidad estructural o esfuerzos excesivos en la losa, requiriendo una evaluación más detallada según las recomendaciones del ACI 224R-01 (American Concrete Institute), que es una guía técnica sobre el control de la fisuración en estructuras de concreto.

ESC-1/75



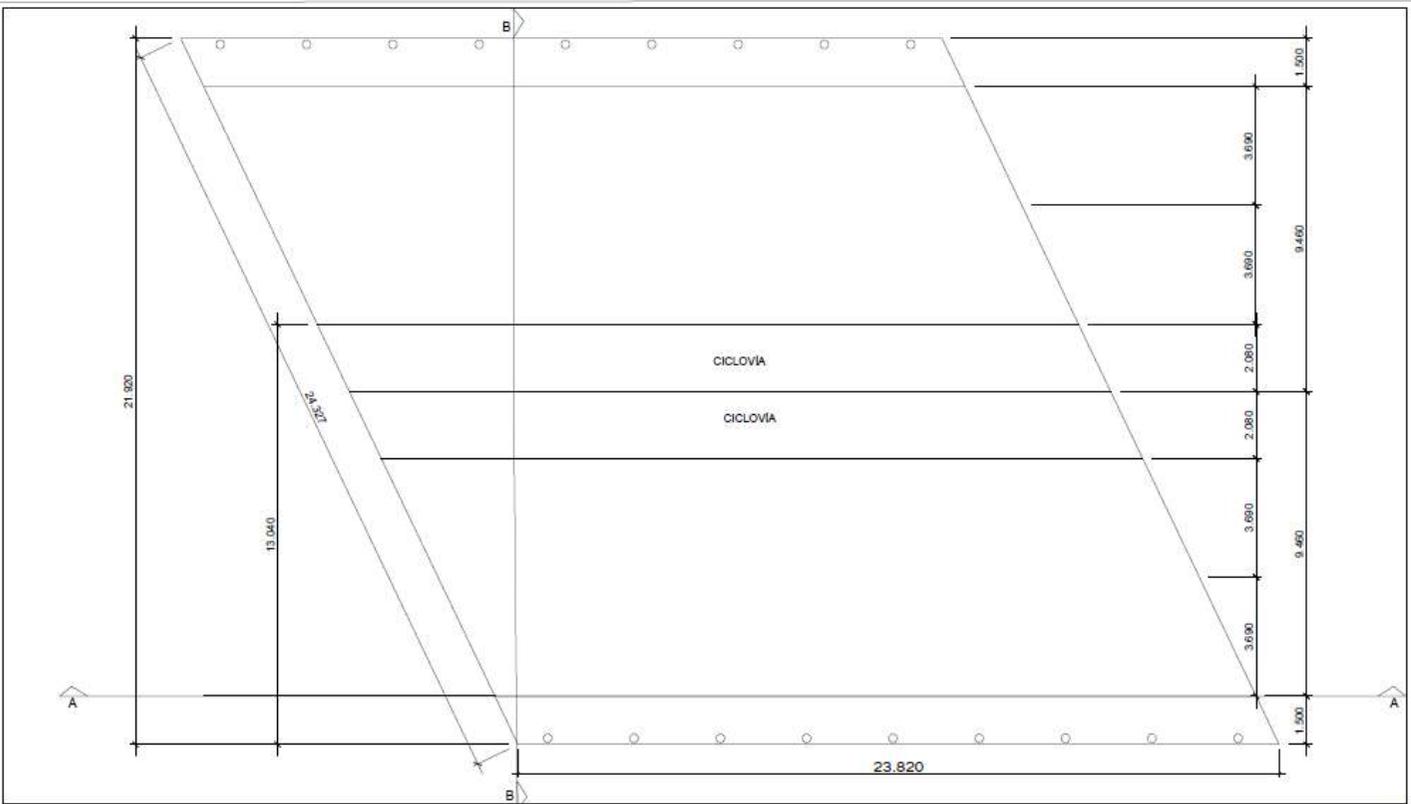
Notas:
 La planta del fondo de la losa se ha dividido en una malla de 1 metro por 1 metro para facilitar la ubicación de los daños registrados.
 Se emplea un sistema de coordenadas global, con origen en la esquina inferior izquierda de la losa, para indicar la posición de cada daño.
 Las coordenadas se expresan en la notación estándar (x, y), donde "x" es la distancia horizontal y "y" la distancia vertical desde el origen.
 Todas las distancias se miden en metros.

ESC-1/75

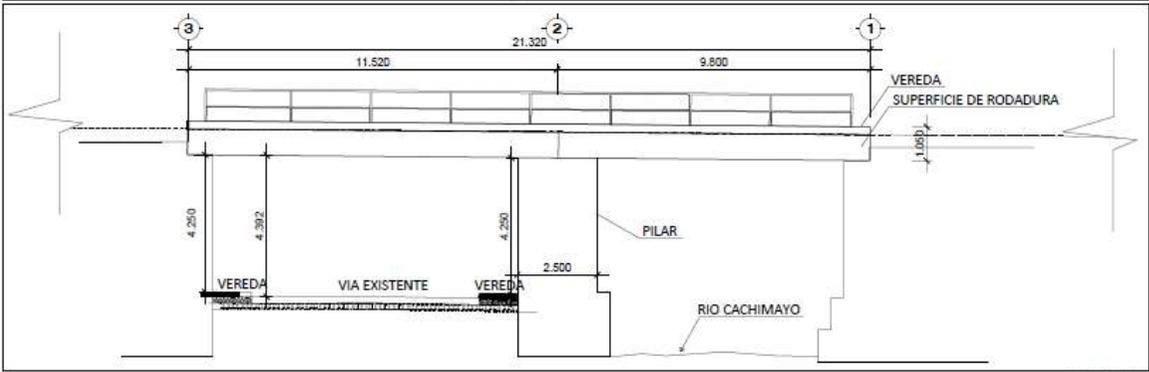
REPRESENTACIÓN GRÁFICA	TIPO DE DAÑO
	CANGREJERA CANG(Longitud en cm x Ancho en cm)
	FISURAS FIS-L(Longitud en cm, Ancho en mm) FIS-T(Longitud en cm, Ancho en mm)
	INFILTRACIÓN INF(Longitud en cm, Ancho en cm)
	IMPACTO IMP(Longitud en cm, Ancho en cm)
	AGUJEROS EN LOSA PARA ZOCALOS

UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABADEL CUSCO
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 INSTITUTO DE EVALUACION ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL
 PUERTO SACRAMENTO, PRIMER PARADISO DE SAN BERNARDO, CUSCO 2020
 TORRETA SACHA-MANCHA MEDA YIMBA

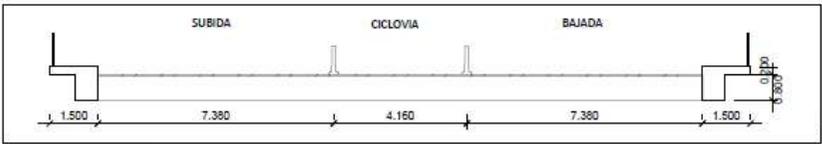
PLANO: DAÑOS BAJO LA SUPERESTRUCTURA-LOSA Y UBICACIÓN		FECHA: 2023/03/14	
PROYECTO: PUERTO SACRAMENTO	PROYECTANTE: INGENIERO CIVIL	FECHA: 2023/03/14	ESCALA: REDUCIDA
PROYECTO: PUERTO SACRAMENTO	PROYECTANTE: INGENIERO CIVIL	FECHA: 2023/03/14	ESCALA: REDUCIDA
PROYECTO: PUERTO SACRAMENTO	PROYECTANTE: INGENIERO CIVIL	FECHA: 2023/03/14	ESCALA: REDUCIDA
		PD-01	



PLANO EN PLANTA
ESC:1/100

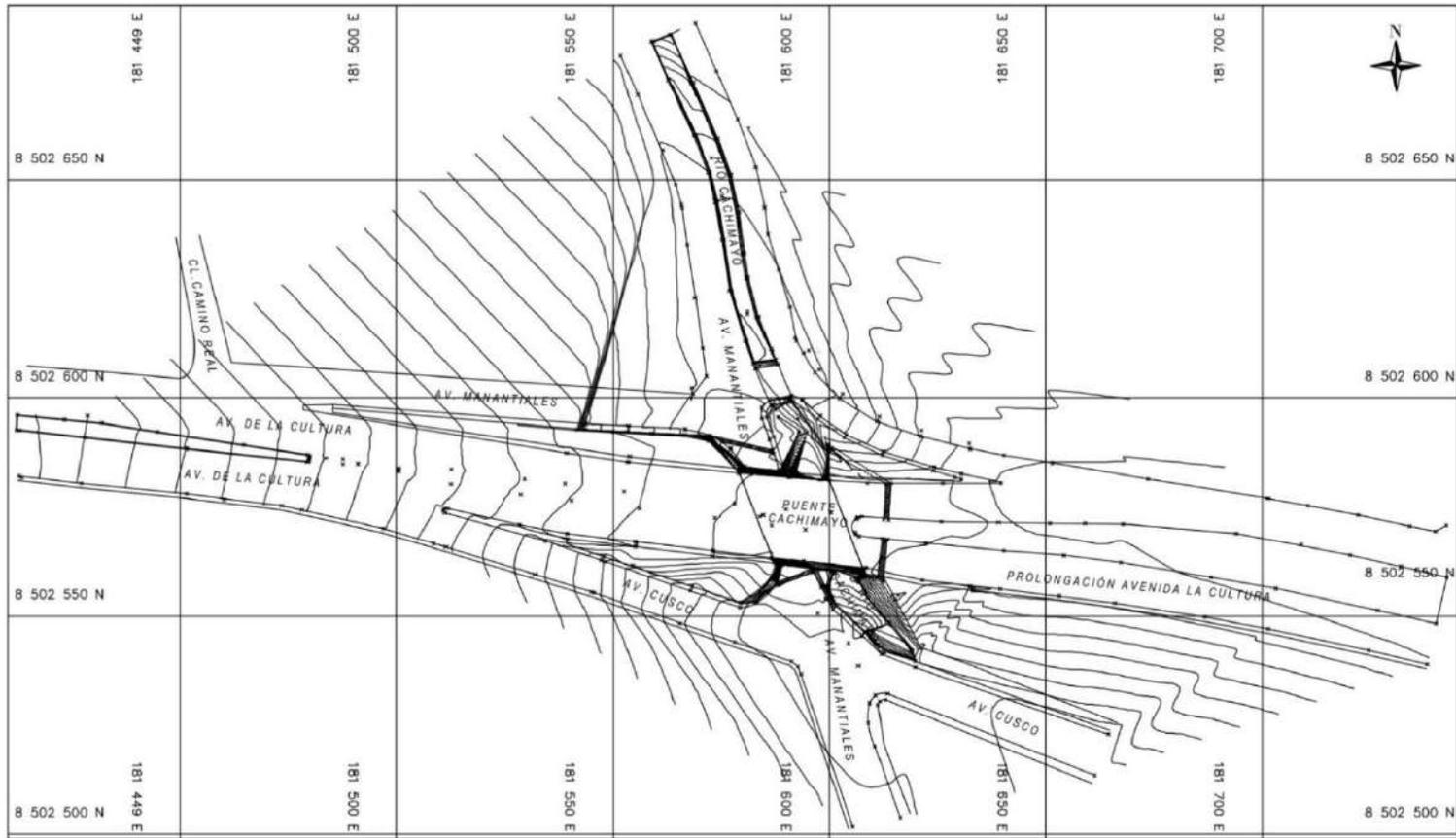


CORTE A-A
ESC:1/100



CORTE B-B
ESC:1/100

	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
	TESIS "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO 2020" TESISISTA: BACH AMANCA MEZA XIMENA	
PLANO Y ELEVACIÓN		
PLANO: PUENTE CACHIMAYO (AV. C.C. TURA PRIMER PARADERO)	FECHA: 27/08/2024	LÁMINA:
LOCALIDAD: SAN SEBASTIÁN	ESCALA: INDICADA	PE-01
PROVINCIA: CUSCO		
DEPARTAMENTO: CUSCO		



PLANO TOPOGRÁFICO
ESC: 1/1000

	UNIVERSIDAD SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
	TESIS "EVALUACIÓN ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE SERVICIO DEL PUENTE CACHIMAYO, PRIMER PARADERO DE SAN SEBASTIÁN, CUSCO 2020" TESISISTA: BACH. AMANCA MEZA XIMENA	
PLANO: PLANO TOPOGRÁFICO		
UBICACIÓN: PUENTE CACHIMAYO (AV. CULTURA PRIMER PARADERO)	FECHA: 27/08/2024	LÁMINA: T-01
DISTRITO: SAN SEBASTIÁN PROVINCIA: CUSCO DEPARTAMENTO: CUSCO	ESCALA: INDICADA	