



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE
INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE
MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOSE LUIS MAMANI CANAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE
INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE
MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
DEL JIRÓN MARIANO NÚÑEZ JULIACA 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JOSE LUIS MAMANI CANAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:


Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

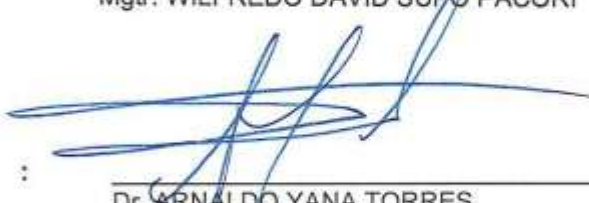
SEGUNDO MIEMBRO

:


Mgtr. WILFREDO DAVID SUÑO PACORI

ASESOR DE TESIS

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1458-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 04 de noviembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU - 10588 presentado por el (la) Bachiller: **JOSE LUIS MAMANI CANAZA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **JOSE LUIS MAMANI CANAZA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
- * **2do Miembro** : Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **JOSE LUIS MAMANI CANAZA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 13 de noviembre del 2025
- * **HORA** : 11:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO. - DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 830-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 1182 por el señor (a): JOSE LUIS MAMANI CANAZA quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 669-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 065 - 2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): JOSE LUIS MAMANI CANAZA, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 065 - 2025 **aprobandolo** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): JOSE LUIS MAMANI CANAZA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Dr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc:
Archivo
Intermedio (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 603-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 02 de julio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7073, presentado por el señor (a) JOSE LUIS MAMANI CANAZA solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 452-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 023-2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): JOSE LUIS MAMANI CANAZA ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 023-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): JOSE LUIS MAMANI CANAZA, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. **ARNALDO YANA TORRES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
Archivo 20.25
Interesado (n)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. OSCAR Y. VIANORTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Dr. Oscar Y. Vianorte Calla
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



JOSE LUIS MAMANI CANAZA

EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIM...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::13016:553764448

Fecha de entrega

6 feb 2026, 11:22 GMT-5

Fecha de descarga

9 feb 2026, 10:47 GMT-5

Nombre del archivo

T036_75851048_T.docx

Tamaño del archivo

17.1 MB

143 páginas

25.378 palabras

147.141 caracteres



TESIS UANCV

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NÚÑEZ JULIACA 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JOSE LUIS MAMANI CANAZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75851048
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-5168-4502
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	WILFREDO DAVID SUPO PACORI
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02428673
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"  https://maps.app.goo.gl/LNkL4twexw2UUURw5
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2025 – Noviembre 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03
- Librería	

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAJON
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS
DIRECTOR
Dr. Fritz Willy Manzanari Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JOSE LUIS MAMANI CANAZA, identificado con DNI
Nro. 75851048, en mi condición de egresado de:

☒ Escuela Profesional

☐ Programa de Segunda Especialidad,

☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la ☒ Tesis o ☐ Trabajo de Investigación, ☐ Trabajo Académico
denominada:

EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

DEL JIRÓN MARIANO NÚÑEZ JULIACA 2025

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 26 de diciembre del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)


Huella



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su amor y esfuerzo me han dado la oportunidad de llegar hasta aquí; a mis hermanos, por su apoyo constante, ya mis amigos, que estuvieron siempre presentes durante este recorrido. Este logro también es de ustedes.



AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi asesor, por su orientación y paciencia durante el desarrollo de este trabajo; a mis profesores, por su dedicación y compromiso en mi formación; ya mis compañeros y amigos, que con su apoyo hicieron que este camino fuera más llevadero. También, a mi familia, por su amor incondicional y por impulsarme a alcanzar mis metas.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática	12
1.2 Planteamiento del problema	13
1.2.1 Problema General	13
1.2.2 Problemas Específicos.	13
1.3 Objetivos de la investigación	13
1.3.1 Objetivo General	13
1.3.2 Objetivos Específicos.	14
1.4 Justificación de la investigación	14
1.4.1 Justificación técnica	14
1.4.2 Justificación social.	14
1.4.3 Justificación económica	15
1.5 Variables e indicadores.	15
1.5.1 Variable de caracterización	15
1.5.2 Variable de interés	16
1.6 Operacionalización de Variables	16

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	18
2.1.1 Antecedentes internacionales	18
2.1.2 Antecedentes nacionales	21
2.1.3 Antecedentes regionales.	24
2.2 Bases teóricas	26



2.2.1	Pavimento	26
2.2.1.1	Subrasante	27
2.2.1.2	Sub-base y Base Granular	27
2.2.1.3	Carpeta Asfáltica	27
2.2.2	Deterioro en pavimentos flexibles	29
2.2.2.1	Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking)	30
2.2.2.2	Ahuellamiento (Rutting)	30
2.2.2.3	Grietas Longitudinales y Transversales	31
2.2.2.4	Abultamientos y Hundimientos Localizados	31
2.2.2.5	Otros Deterioros Importantes	31
2.2.2.6	Impacto General del Deterioro en Pavimentos Flexibles	32
2.2.3	Índice de Condición del Pavimento (PCI)	32
2.2.3.1	Contexto y Fundamentación Técnica	34
2.2.3.2	Principios Metodológicos para la Evaluación con PCI	34
2.2.3.3	Aplicaciones prácticas y relevancia en gestión vial	35
2.2.3.4	Ventajas, Limitaciones y Consideraciones Técnicas	36
2.2.4	Importancia de la inspección visual en la evaluación de pavimentos	37
2.2.4.1	Contexto Histórico y Relevancia Actual	37
2.2.4.2	Procedimiento y metodologías de inspección visual	37
2.2.4.3	Ventajas y Aplicaciones	38
2.2.4.4	Limitaciones y complementariedad con tecnologías avanzadas	39
2.2.4.5	Rol estratégico en la sostenibilidad y seguridad vial	39
2.2.5	Mantenimiento para pavimentos	39
2.2.5.1	Tecnologías Aplicadas en el Mantenimiento Vial	43
2.2.5.2	Normativa Nacional Peruana	44
2.2.5.3	Casos y Experiencias Internacionales	47
2.3	Marco conceptual	47
2.3.1	Pavimento flexible	47
2.3.2	Índice de Condición del Pavimento (PCI)	48
2.3.3	Deterioro de pavimentos	48
2.3.4	Inspección visual	48
2.3.5	Mantenimiento preventivo	48
2.3.6	Rehabilitación de pavimentos	49



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Enfoque de la investigación	50
3.2	Tipo de la investigación.....	50
3.3	Nivel de la Investigación.....	51
3.4	Diseño de la Investigación	51
3.5	Método de la Investigación.....	51
3.6	Población y Muestra	52
3.6.1	Población.....	52
3.6.2	Muestra	52
3.7	Técnicas e Instrumentos	52
3.7.1	Técnicas.....	52
3.7.2	Instrumentos.....	54
3.8	Validez y Confiabilidad.	57
3.8.1	Validez.....	57
3.8.2	Confiabilidad.....	57
3.9	Plan de recolección y procesamiento de datos.	58
3.9.1	Desarrollo del plan de investigación	58
3.9.2	Procesamiento de datos	68

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados.....	69
4.1.1	Tipos de fallas y el grado de severidad de mayor incidencia que presenta el pavimento flexible.....	69
4.1.2	Resultados sobre índice de condición superficial del pavimento flexible.....	76
4.1.3	Resultados sobre propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible.....	88
4.2	Discusión de resultados.....	99
CONCLUSIONES		103
RECOMENDACIONES		104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA		105
ANEXOS.....		113



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables.....	17
Tabla 2 Categorización por el método de PCI	63
Tabla 3 Progresiva de los tramos analizados.	64
Tabla 4 Fallas y severidad en T-1, Progresiva 0+000 - 0+035.....	69
Tabla 5 Fallas y severidad en T-2, Progresiva 0+142 - 0+177.....	70
Tabla 6 Fallas y severidad en T-3, Progresiva 0+283 - 0+319.....	70
Tabla 7 Fallas y severidad en T-4, Progresiva 0+425 - 0+460.....	71
Tabla 8 Fallas y severidad en T-5, Progresiva 0+566 - 0+602.....	71
Tabla 9 Fallas y severidad en T-6, Progresiva 0+708 - 0+743.....	72
Tabla 10 Fallas y severidad en T-7, Progresiva 0+850 - 0+885.....	72
Tabla 11 Fallas y severidad en T-8, Progresiva 0+991 - 1+027.....	73
Tabla 12 Fallas y severidad en T-9, Progresiva 1+133 - 1+168.....	73
Tabla 13 Fallas y severidad en T-10, Progresiva 1+274 - 1+310.....	74
Tabla 14 Conteo total de fallas encontradas.....	74
Tabla 15 Nivel de condición en tramo 1, 0+000 - 0+035.....	76
Tabla 16 Nivel de condición en tramo 2, 0+142 - 0+177.....	77
Tabla 17 Nivel de condición en tramo 3, 0+283 - 0+319.....	78
Tabla 18 Nivel de condición en tramo 4, 0+425 - 0+460.....	79
Tabla 19 Nivel de condición en tramo 5, 0+566 - 0+602.....	80
Tabla 20 Nivel de condición en tramo 6, 0+708 - 0+743.....	81
Tabla 21 Nivel de condición en tramo 7, 0+850 - 0+885.....	82
Tabla 22 Nivel de condición en tramo 8, 0+991 - 1+027.....	83
Tabla 23 Nivel de condición en tramo 9, 1+133 - 1+168.....	84
Tabla 24 Nivel de condición en tramo 10, 1+274 - 1+310.....	85
Tabla 25 Resumen del PCI para los 10 tramos analizados.....	86
Tabla 26 Presupuesto referencial.....	98
Tabla 27 Detalle Costos Unitarios Clave	99



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Vía analizada en la ciudad de Juliaca.</i>	58
Figura 2	<i>Vía analizada Jr. Mariano Núñez.</i>	60
Figura 3	<i>Inspección de la vía Jr. Mariano Núñez.</i>	61
Figura 4	<i>Daños encontrados en la vía Jr. Mariano Núñez.</i>	62
Figura 5	<i>Resumen del conteo de fallas</i>	75
Figura 6	<i>Valor deducido en el tramo 1.</i>	76
Figura 7	<i>Valor deducido en el tramo 2.</i>	77
Figura 8	<i>Valor deducido en el tramo 3.</i>	78
Figura 9	<i>Valor deducido en el tramo 4.</i>	79
Figura 10	<i>Valor deducido en el tramo 5.</i>	80
Figura 11	<i>Valor deducido en el tramo 6.</i>	81
Figura 12	<i>Valor deducido en el tramo 7.</i>	82
Figura 13	<i>Valor deducido en el tramo 8.</i>	83
Figura 14	<i>Valor deducido en el tramo 9.</i>	84
Figura 15	<i>Valor deducido en el tramo 10.</i>	85
Figura 16	<i>Resumen de la evaluación del PCI para los 10 tramos inspeccionados.</i>	87



RESUMEN

La presente tesis: "Evaluación del estado superficial mediante inspección visual y propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez Juliaca 2025", El objetivo principal de esta tesis es evaluar el estado superficial del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez en la ciudad de Juliaca mediante una inspección visual basada en el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI). A partir de esta evaluación, se propone un plan de mantenimiento técnico y específico según el grado de deterioro identificado en los diferentes tramos de la vía. Se utilizó un diseño de investigación no experimental con un enfoque mixto cuantitativo y cualitativo, con tipo aplicada, nivel descriptivo y método científico. La vía fue dividida en diez tramos homogéneos, y se realizó una inspección visual directa aplicando fichas técnicas del manual PCI. Los resultados se analizaron combinando datos numéricos sobre los índices PCI con la descripción de las fallas observadas. Los resultados mostraron que el 100% de los tramos evaluados presentan deterioros significativos, con valores PCI que oscilan entre 0 (fallado) y 39 (malo). Las fallas más recurrentes fueron piel de cocodrilo, huecos, grietas longitudinales y transversales, ahuellamiento y desprendimiento de agregados. Los tramos presentaron diferentes niveles de severidad, desde altos hasta medios. A partir del diagnóstico, se diseñó un plan de mantenimiento segmentado que incluye reconstrucción total para el tramo 1, rehabilitación estructural profunda para los tramos 2, 3, 6 y 7, y mantenimiento correctivo para los demás tramos. La investigación reveló que el pavimento del Jirón Mariano Núñez está en estado crítico, con la mayoría de los tramos deteriorados. El uso del método PCI permitió una evaluación precisa, proponiendo un plan de mantenimiento que optimiza recursos y mejora la seguridad vial.

Palabras clave: Pavimento flexible, PCI, mantenimiento vial, inspección visual.



ABSTRACT

This thesis: "Evaluation of the superficial state through visual inspection and proposal for the maintenance plan of the flexible pavement of the Jirón Mariano Núñez Juliaca 2025", the main objective of this thesis is to evaluate the superficial state of the flexible pavement of the Jirón Mariano Núñez in the city of Juliaca through a visual inspection based on the method of the pavement condition index (PCI). From this evaluation, a technical and specific maintenance plan is proposed according to the degree of deterioration identified in the different sections of the road. A non -experimental research design was used with a quantitative and qualitative mixed approach, with applied type, descriptive level and scientific method. The route was divided into ten homogeneous sections, and a direct visual inspection was carried out by applying technical chips of the PCI manual. The results were analyzed by combining numerical data on PCI indices with the description of the faults observed. The results showed that 100% of the sections evaluated have significant deterioration, with PCI values that range between 0 (failed) and 39 (bad). The most recurring failures were crocodile skin, holes, longitudinal and transversal cracks, ahuellation and supplying of aggregates. The sections presented different levels of severity, from high to media. From the diagnosis, a segmented maintenance plan was designed that includes total reconstruction for section 1, deep structural rehabilitation for sections 2, 3, 6 and 7, and corrective maintenance for the other sections. The investigation revealed that the pavement of the Jirón Mariano Núñez is in critical condition, with most of the deteriorated sections. The use of the PCI method allowed a precise evaluation, proposing a maintenance plan that optimizes resources and improves road safety.

Keywords: Flexible pavement, PCI, road maintenance, visual inspection.



INTRODUCCIÓN

El pavimento flexible es una de las estructuras más comunes en la infraestructura vial urbana debido a su capacidad de adaptarse a las cargas vehiculares y a su relativa facilidad de mantenimiento. Sin embargo, con el tiempo y debido a la acción constante del tránsito, las condiciones meteorológicas y la calidad de los materiales con los que fue elaborado, el pavimento flexible empieza a deteriorarse, lo que perjudica la seguridad y la comodidad y eficiencia del tránsito de vehículos.

La importancia de monitorear el estado de los pavimentos, periódicamente radica en la detección temprana de fallas, a fin de articular las acciones de mantenimiento y rehabilitación respectivas, que abonen a prolongar la durabilidad de estos y a optimizar el uso de recursos. Al respecto, el PCI se ha consolidado como una herramienta confiable y ampliamente utilizada para evaluar, objetivamente, el estado del pavimento, a partir de una inspección visual que toma en cuenta la clase, severidad y extensión de los daños.

Este trabajo se centra en el análisis del pavimento flexible de la vía Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca, el cual, a pesar de ciertas condiciones del tráfico y climáticas desfavorables, ha tenido un deterioro superficial. Utilizando una revisión visual estructurada y el uso del método PCI se intentará determinar la situación en la que se encuentra y, además, proponer un programa de mantenimiento adecuado para que en los siguientes años siga siendo funcional y seguro.

El estudio está estructurado en cinco capítulos:

Capítulo I: En primer lugar, se proporciona la declaración de asunto. El problema está planteado en el estudio de relevancia. La justificación de los procedimientos de estudio es clara y se separa la necesidad de su ejecución. Objetivos generales y específicos son el núcleo de todo el trabajo, presente en la introducción, lo que le permite comprender el propósito claro del proyecto.



Capítulo II: En este contexto se resumen el marco teórico acerca de las características de un pavimento flexible. Los bases conceptuales en función de las cuales se realizará la evaluación técnica. En cuanto, al análisis del pavimento para el caso específico. Finalmente se expone lo anterior como la fundación del enfoque metodológico adoptado.

Capítulo III: La metodología utilizada para investigar se explica, incluido el diseño aplicado. Luego, la población y la muestra seleccionada se definen. Adicionalmente, se describen los instrumentos y técnicas utilizadas para recopilar los datos. En general, esta sección influye en la validez y la confiabilidad de las investigaciones realizadas.

Capítulo IV: Se expusieron los resultados obtenidos con el análisis del PCI. Se identificaron y describieron los tramos críticos con deterioro. Se analizaron los datos en relación a los criterios que se establezcan. Logrando de esta forma, mostrar el estado actual del pavimento evaluado.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.

A nivel global, El deterioro de las estructuras de pavimento flexible se ha convertido en un problema más crítico debido al aumento de la carga vehicular y la frecuencia de eventos climáticos extremos. El estudio realizado en Sudáfrica reveló que la precisión de la detección automatizada de grietas superficiales en estructuras de pavimento flexible mediante redes neuronales convolucionales era del 97% y más. Por lo tanto, es fundamental evaluar y conservar de manera óptima la infraestructura vial para promover la seguridad y eficiencia del transporte (Tapamo et al., 2023).

En el Perú, La degradación de pavimentos flexibles también se ha documentado por diversas investigaciones en varias regiones. Por ejemplo, en la autopista Chiclayo–Pimentel, se han registrado deslizamiento relevante que impiden o robusto la circulación y movilidad vial. El 95% de los conductores tienen un diagnóstico de falla mecánica en sus coches mientras conducen por el mal estado de la pista en Torres. Por otro lado, en la ciudad de Puno, las avenidas de mayor utilización presentan un PCI por debajo de los 40 años, lo que indica mala o muy mala condición (Universidad Nacional del Altiplano, 2019).

En Juliaca, En el corazón del Jirón Mariano Núñez, el pavimento flexible ha sufrido un notable desgaste debido al frenético tráfico y a la insuficiente atención. Este deterioro no solo afecta la seguridad de los usuarios, sino que también incrementa los costos de operación vehicular y reduce la vida útil de la infraestructura vial. La ausencia de una evaluación sistemática y actualizada del estado del pavimento limita la capacidad de las autoridades locales para planificar y ejecutar acciones de mantenimiento efectivas.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Problema General.

¿Cuál es el estado superficial mediante inspección visual y propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez Juliaca 2025?

1.2.2 Problemas Específicos.

1. ¿Cuáles son los tipos de fallas y el grado de severidad de mayor incidencia que presenta el pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca?
2. ¿Cuál es el índice de condición superficial del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca?
3. ¿Cuál es la propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el estado superficial mediante inspección visual y propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez Juliaca 2025.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Identificar los tipos de fallas y el grado de severidad de mayor incidencia que presenta el pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca.
2. Determinar el índice de condición superficial del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca.
3. Proponer un plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca.

1.4 Justificación de la investigación.

1.4.1 Justificación técnica.

La aplicación de la metodología de Evaluación más adecuada permitirá obtener un diagnóstico objetivo, cuantificable y detallado del deterioro presente y proyectado del estado superficial del pavimento flexible levantado. Esta herramienta técnica posibilita la exacta identificación de los tipos y grados de falla de tipo, elemento y factor en el pavimento, imprescindible para priorizar de manera óptima las alternativas de intervención de mantenimiento y reparación. En el contexto específico del Jirón Mariano Núñez, la obtención de un PCI nivel 3 brindará una precisa plataforma para la planificación técnica de los servicios de mantenimiento y rehabilitación, asegurando la óptima eficiencia de los recursos técnicos y materiales. Así, esta contribución asegura una prolongación duradera y significativa de la vida útil del pavimento, reuniendo su desempeño funcional y estructural con el tiempo.

1.4.2 Justificación social.

El deterioro en progresión y la ausencia de un mantenimiento adecuado a las vías urbanas influyen directamente sobre la seguridad vial y los usuarios en términos de la calidad de vida, ya que los mismos se encuentran expuestos a elevados riesgos a causa de las fallas superficiales; grietas, deformaciones y ahuellamientos que no garantizan un

buen desempeño. Dichas condiciones desfavorables prosiguen el malestar, retrasos y obstaculizan la movilidad eficiente dentro de la ciudad, afectando tanto a conductores como a peatones. Estas consideraciones demuestran que la proposición de un plan de mantenimiento construido sobre una evaluación visual completa de la condición del pavimento del Jirón Mariano Núñez acarrea un importante impacto social. Por lo tanto, la propuesta generaría un estado sustancialmente mejor en lo que respecta a las condiciones de tránsito clave y garantizaría un ambiente de camino más seguro, cómodo y asequible. Por lo tanto, tal propuesta influye en el bienestar de la población y en la naturaleza de la organización social en un contexto urbano.

1.4.3 Justificación económica.

El mantenimiento preventivo fundamentado en un diagnóstico técnico oportuno y preciso significa una Estrategia económica eficiente, en la medida que previene el deterioro acelerado y la necesidad de readecuaciones mayores y costosas saturaciones estructurales de rápida. Este plan de mantenimiento basado en un análisis riguroso minimiza el desperdicio de los escasos recursos financieros y dirige los mismos a efectuar actividades que van prolongar la vida del pavimento y a reducir el gasto futuro .lo mismo podemos afirmar en el caso de que la reducción La calidad de las calles de la ciudad a su vez, contribuirá a la reducción de costos indirectos o externos, derivados del desgaste de los vehículos, los elevados tiempos de viaje y los accidentes, de mantenerse las calles en buen estado, conduciendo a esto al aumento del desarrollo económico de la movilidad de personas y bienes, lo que consecuentemente optimizará la productividad y la competitividad del país.

1.5 Variables e indicadores.

1.5.1 Variable de caracterización.

Condición superficial del pavimento flexible.

Dimensiones:



- Identificación de fallas
- Severidad de fallas
- Clasificación del estado

1.5.2 Variable de interés

Propuesta de alternativas de solución.

Dimensiones:

- Tipo de mantenimiento

1.6 Operacionalización de Variables.

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables.

Variable de caracterización	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Condición superficial del pavimento flexible	Es el estado físico de la superficie del pavimento flexible, evaluado mediante la identificación, cuantificación y severidad de fallas, cuyo resultado final se expresa mediante el PCI.	Identificación de fallas	Tipo de falla según ASTM D6433	Registro de fallas	Ficha PCI	Nominal
		Severidad de fallas	Baja, Media, Alta	Clasificación	Ficha PCI	Ordinal
		Clasificación del estado	Excelente, Muy bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy malo, Fallado	Categoría final	Tabla PCI – ASTM	Ordinal
Variable de interés	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
Propuesta de alternativas de solución	Son las acciones técnicas recomendadas para mejorar el estado superficial del pavimento según el nivel de deterioro identificado mediante el PCI.	Tipo de mantenimiento	Reconstrucción total, rehabilitación mayor, mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento rutinario.	Clasificación técnica	Tabla PCI	Nominal



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 *Antecedentes internacionales.*

Según Kumar (2021), Con la intención de aplicarlo especialmente a pavimentos flexibles durante el proceso de selección de un plan de reparación vial, el objetivo principal de este estudio es construir un índice general ficticio que caracterice exhaustivamente el estado del pavimento. Basándose en el Índice Optimizado de Estado del Pavimento (OPCI), se diseñó una técnica basada en el enfoque del índice multiplicativo. Esto se realizó para obtener el resultado deseado. Este enfoque permite la integración de diversas variables que inciden directamente en el rendimiento estructural y funcional del pavimento, permitiendo la combinación de diversos aspectos importantes para evaluar su estado. Las muestras cubren el alcance de la investigación en el desarrollo y la aplicación de cuestionarios técnicos para obtener datos empíricos para validar o el modelo sugerido. Las características observadas en la lista recopilada de características significativas se indican a continuación con su respectiva ponderación: resistencia al deslizamiento, 0,15; rugosidad, 0,5; y capacidad portante, 0,6. OPCI es un 21% inferior al valor compuesto de evaluación del desempeño del índice de estado del pavimento convencional de PCI n. A pesar de los hallazgos significativos, un error]%



respecto al índice evaluación más completa y precisa del estado real del pavimento. Lo anterior se demuestra mediante el análisis anterior. De hecho, el índice compuesto de pavimento es un instrumento de vanguardia debido a la incorporación de los reguladores que considera indicadores independientes de funcionamiento y daño del pavimento. Así, debido a la posibilidad de que una persona pueda tomar decisiones basadas en la información y también de manera más eficiente, el integrador juega un papel importante en la determinación de los métodos de impacto del mantenimiento. Sin lugar a dudas, se puede afirmar que este estudio propone una opción más eficiente y profesional de investigación de diagnóstico de vida útil de pavimentos para seleccionar las estrategias óptimas para su impacto, determinando qué las integra mejor. Como se discutió anteriormente, existe una selección de implementación de indicadores integradores.

Según Oblitas (2021), El artículo científico titulado "Índice Internacional de Regularidad e Índice de Condición del Pavimento para Definir los Niveles de Servidabilidad del Pavimento", Con el propósito de estandarizar los niveles de severidad de las condiciones de las carreteras sobre la base de factores técnicos y datos objetivos, el actual estudio sugiere la necesidad de aplicar metodologías sistemáticas. Por medio de una metodología de comparación, el artículo identifica y compara múltiples tratamientos y visiones teóricas distintas entre sí, enriqueciendo el contenido analítico. De esta manera, todos los resultados son extraídos del consenso académico y tecnológico, permitiendo la toma de decisiones basada en la evidencia. Es una de las contribuciones de este procedimiento de revisión crítica que, aunque enfatizado en los avances realizados en las metodologías, se esperan resultados para esta área. Algunos de los puntos específicos obtenidos se refieren a la importancia de una revisión crítica que permita la acreditación del estado de los pavimentos a nivel mundial. Una de las conclusiones refiere a la urgente necesidad de crear instrumentos fidedignos y sistemáticos para evaluar el estado de las superficies de las carreteras. Es notorio que, en falta de este conocimiento técnico, los esfuerzos aplicados en tratamiento del



pavimento pueden ser inútiles o perversos. Así, la medición del estado actual de la superficie de la carretera, por inspecciones sistemáticas y criterios objetivos, a través de índices como el PCI, valoran el estado actual de la superficie de la carretera. Por lo tanto, para actualizarlos se deben usar materiales actualizados rehabilitación orientados a maximizar la eficiencia técnica y económica requiere este tipo de estudio como base. Si esta información se transforma para utilizarse los sistemas de gestión de la infraestructura vial, puede llevar a la asignación racional de los recursos que hay disponible y mayor capacidad para reaccionar al agravamiento de los deterioros de la carretera. La sostenibilidad y la gestión proactiva de la gestión de los activos viales se apoyan.

Según Gómez et al. (2020) La tesis "Construcción de Pavimento Flexible en la Carretera "Camino Ganadero"" Esta evaluación proporciona un examen visual completo del pavimento, de la Carrera 22 a la intersección de la Avenida Los Maracos, específicamente en la Calle 21 Sur. La carretera es un corredor que conecta la zona sur de Villavicencio. Para este fin, se utilizó el método que fue desarrollado por el Instituto Nacional de Vías (2016), así como el Índice de Condición del Pavimento, que permite una evaluación subjetiva y objetiva del pavimento flexible. Esta inspección es total y se trata de la imagen de la superficie del sector estudiado. Examina daños superficiales visibles y revela patrones de patologías estructurales o deterioro profundo en el comportamiento del pavimento. Es técnico porque se realizó metódicamente, con tres niveles de análisis por nivel. El propósito de este trabajo es formular un diagnóstico tecnológico que apoyará la toma de decisiones futuras sobre el mantenimiento y reparación de la carretera, basado en hechos reales obtenidos en el campo. Podría existir la posibilidad de que este evento ocurriera en el futuro. Uno de los deterioros que causa un deterioro severo del pavimento y reduce la capacidad de soporte en el tiempo es el reconocido daño por "piel de cocodrilo". Fue el más común en el tramo que se estudiaba, según la evaluación propuesta. Se requieren medidas tecnológicas extremas

para prevenir más daño y mantener la vía operativa. La investigación permite entender mejor el proceso técnico propuesto por INVIAS, aunque estas favorecen al ICP, que es el método más difundido y se usa activamente. Es complejo y específico del sistema de gestión de Colombia. En consecuencia, el diagnóstico visual y técnico del pavimento es esencial para la gestión de diversas carreteras. En conclusión, estas similitudes confirman los resultados y amplían la evidencia de su solidez a nivel nacional e internacional.

2.1.2 Antecedentes nacionales.

Según Santos et al. (2020), su tesis "Evaluación del Pavimento Flexible desde la Superficie". El objetivo principal de esta investigación fue describir el estado actual del pavimento de la calle El Carmen y aportar ideas para su mejora, con especial atención a las manzanas 1, 2, 3 y 4 de la Urbanización Las Brisas. Debido a su papel crucial como conector entre los cinco sectores del barrio que atiende y al gran volumen de tráfico peatonal y vehicular que soporta, esta vía es de suma importancia. La investigación abarcó tanto el impacto social como la funcionalidad de la vía; un diagnóstico técnico se consideró el primer paso para brindar soluciones aceptables de restauración o mantenimiento. Para ello, se realizó una evaluación del pavimento utilizando la técnica del Índice de Estado del Pavimento (ICP) en obra. La norma ASTM D6433-07, reconocida internacionalmente, sienta las bases de este enfoque. Se utiliza para la inspección visual y la clasificación de la degradación de pavimentos flexibles. El estado funcional del pavimento se pudo analizar cuantitativamente mediante esta tecnología, y los resultados mostraron que la carretera se encontraba en un estado lamentable, con diversos problemas que se extendían continuamente a lo largo de su longitud. La investigación concluyó que el pavimento se encontraba en mal estado, lo que exigía una acción rápida para remediarlo. Es necesario considerar seriamente tanto las reparaciones localizadas como la restauración completa del pavimento como el mejor enfoque práctico, dada la magnitud y el volumen del deterioro. Se deben aplicar procesos



estandarizados para la evaluación de las carreteras urbanas, como lo demuestran los resultados de esta evaluación. Esto facilitará la toma de decisiones inteligentes y la planificación estratégica de cambios a largo, mediano y corto plazo.

Según Correa et al. (2019), su tesis "Evaluación del PCI y Propuesta de Intervención para el Pavimento Flexible de Los Incas, Piura". El funcionamiento de la carretera del Jirón Los Incas se restableció mediante la implementación de diversas estrategias de intervención, recomendadas por el proyecto con base en los hallazgos. Para lograr este objetivo, se empleó una técnica descriptiva aplicada. Esta metodología no solo permitió una evaluación integral de las características físicas de la superficie de la carretera, sino que también posibilitó la implementación de soluciones tangibles y sostenibles. La importancia de la investigación radica en que contribuye directamente a la mejora de la infraestructura urbana de Piura, en particular en una ruta que sirve como arteria vital para la circulación del tráfico local y la conexión entre barrios. Debido a que el estudio se dividió en tres sectores de evaluación separados, los resultados fueron diversos y demostraron que cada tramo de la ruta presentaba distintos grados de degradación. Esto puso de relieve la necesidad de implementar tratamientos específicos para cada segmento. Según los resultados de la investigación, el índice de condición física (ICF) del primer segmento del Jirón Los Incas fue de tan solo 38, lo que indica un estado deficiente según la escala de categorización utilizada. Por otro lado, el segundo segmento recibió una puntuación de 68, considerada aceptable, y el tercer segmento alcanzó un ICF de 83, considerado bueno. Los valores específicos especificados para el primer segmento fueron: 27 para el segmento de 0+025 a 0+059, 28 para el segmento de 0+059 a 0+093, 30 para el segmento de 0+093 a 0+127 y 63 para el segmento de 0+127 a 0+161, respectivamente. Estos resultados indican que las partes iniciales han sufrido una grave degradación, lo que indica que algunos puntos clave podrían requerir una restauración parcial o incluso una reconstrucción. Por otro lado, se recomienda el mantenimiento periódico como estrategia preventiva en sectores con mayor PCI. La conclusión de la tesis es que un enfoque de intervención gradual y focalizado, basado en

un diagnóstico técnico, no solo restauraría la transitabilidad de la vía, sino que también maximizaría el uso de recursos mediante medidas planificadas y específicas a largo plazo.

Según Salazar (2019), su tesis "Evaluación de Patologías de Pavimentos Flexibles Basada en PCI para Mejorar la Transitabilidad de la Carretera Pomalca-Tumán". Los investigadores utilizaron el método del Índice de Estado del Pavimento (ICP), que consiste en evaluar visualmente el deterioro y luego cuantificarlo según los estándares establecidos. Como se indicó anteriormente, este estudio se enfoca en aquel tramo de la carretera comprendido en el rango de kilómetros 0.000 al 10,000. La metodología empleada es descriptiva y no experimental, ya que no se modifica la situación real para obtener la información detallada del susodicho pavimento. En 2018, los mismos investigadores se encargaron de proponer modificaciones técnicas para mejorar la circulación en la ruta en cuestión, lo que resultó en el fijado de la metodología de evaluación. Tal procedimiento es necesario, no en último lugar ya que la citada ruta representa la vía de interconexión regional de las zonas urbanas y rurales. Los resultados obtenidos demuestran la existencia de varias enfermedades infiltradas, tales como las bandas de rodamiento que tienen la incidencia de 23,39%, la alopecia que ocasionalmente se presenta en el 2,91% de los casos y los deterioros de categoría similar, siempre vinculados a una probabilidad de 23,84%. En general, los resultados son sustentantes del proceso de erosión del pavimento, que a pesar de ser de largo plazo, se sigue notando en los años de 2018. Los valores de PCI per kilómetro son designados entre los niveles de "buenos" o "aceptables," en una gama de 65,91 al 72,59. Es un comportamiento favorable que indica que la estructura del pavimento admite las intervenciones de bajo dimensión, a pesar de manifestar una clara descomposición de superficie. Las actividades básicas de mantenimiento preventivo y correctivo consuntivas son el sellado de grietas, la reparación de superficies, el tratamiento de filtraciones. Así, según los autores, tendrían que efectuarse las primeras, pero no se necesitan las tareas de reconstrucción o una reestructuración exhaustiva.

2.1.3 Antecedentes regionales.

Según Margas (2019), su tesis "Diagnóstico del Estado de Conservación y Servidumbre del Tramo I de la Carretera Caracara-Lampa-Cabanillas-Cabanillas mediante Estudios de Rugosidad Superficial". Con respecto al estudio que evaluó el Índice Internacional de Rugosidad, su enfoque principal radicó en su contribución hacia el hallazgo del estado que posee la superficie del pavimento en términos de comodidad de conducción y servicio. Para llevar a cabo esta tarea específica, se utilizó el rugosímetro Merlín como Máquina Instrumental de Evaluación de Rugosidad de Bajo Costo. Esto se realizó debido a que esta herramienta en particular se destaca por ser una de las más reputadas en la industria de la evaluación de la rugosidad, siendo reconocida por su confiabilidad. La investigación fue llevada a cabo mediante un enfoque comparativo en el cual se midieron los grados de la rugosidad superficial en dos momentos diferentes: en 2014, cuando el pavimento se encontraba recién construido, y 2018, después de varios años de uso. Los índices de rugosidad superficial mostraron pocos cambios entre ambas épocas, como lo demuestran los resultados de este estudio. Esto indica las altas calificaciones de mantenimiento y capacidad de servicio del pavimento. Los valores de IRI medidos indicaron que las características estructurales y funcionales de la superficie del pavimento seguían siendo satisfactorias. Por ello, la superficie del pavimento podría considerarse "aceptable" en 2014 y "buena" en 2018-2019. Con base en estos resultados, el tramo de carretera examinado ha cumplido con su vida útil prevista y con los estándares de calidad a un nivel adecuado. Además, se destaca la necesidad de utilizar el análisis de rugosidad superficial y otros métodos de evaluación continua y técnica para monitorear el rendimiento de la infraestructura vial a lo largo del tiempo, planificar el mantenimiento eficazmente, optimizar los recursos disponibles y garantizar que las personas puedan utilizar un transporte seguro y eficiente.

Según Naider (2021) Utilizando el método del Índice de Estado del Pavimento (ICP), el objetivo principal del proyecto de investigación "Evaluación superficial del pavimento flexible mediante el método ICP para el mejoramiento de la Avenida Circunvalación Noroeste, Juliaca - 2021" es evaluar el estado del pavimento en la Avenida Circunvalación Noroeste, considerada una de las vías más importantes de la ciudad. Esta investigación se lleva a cabo con el fin de determinar la extensión, el tipo y la gravedad de los daños en el pavimento. Los resultados del estudio se utilizarán para diseñar soluciones viables para la reparación de la vía. La investigación se realizó con un enfoque metodológico mixto que incluyó la recopilación, el análisis y la correlación de datos cualitativos y cuantitativos. Esta metodología es congruente con la investigación existente, tanto a nivel evaluativo como de aplicación. Mediante el uso de pozos de prueba, se realizaron pruebas destructivas durante la fase inicial del proyecto para recolectar muestras representativas del pavimento. Posteriormente, estas muestras se examinaron en el laboratorio de acuerdo con los criterios técnicos más recientes. Durante la segunda fase, se utilizó el método del índice de condición del pavimento (ICP) para evaluar la superficie del pavimento en campo. Esta técnica permitió un diagnóstico técnico del estado de conservación del pavimento. Los datos recopilados demuestran que la base estructural del pavimento es la principal causa de la degradación que experimenta. Según los hallazgos del laboratorio, las tres fosas examinadas presentaron relaciones de carga de California (CBR) inferiores al requisito mínimo del 100 %. La Fosa 3 presentó la CBR más baja (70 %) y, por lo tanto, la menor capacidad portante. La presencia de suelos de grano fino, no aptos para soportar cargas recurrentes, también se evidenció mediante índices de plasticidad superiores al 2 %, como el 4,64 % en la Fosa 1. Como consecuencia de los hallazgos, se determinó que ninguna de las tres muestras se encontraba dentro de los límites permisibles para el tamaño de grano. Esto tiene un impacto negativo en la capacidad del pavimento para mantenerse estable y duradero. Es importante destacar que la puntuación general del PCI fue de 31, lo que se considera un estado "deficiente". El pavimento tiene muy pobre apariencia, y la solución técnica más

viable sería reemplazar totalmente la capa de rodamiento. En este caso podremos afirmar con contundencia que el pavimento no tiene reparación posible. Esto señala la importancia de estudios de geotecnia y superficie antes de llevar a cabo el diseño de operaciones de mantenimiento o rehabilitación. Es crucial destacar la necesidad de intervención estructural y del desarrollo de los citados estudios.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Pavimento.

El pavimento flexible es una estructura vial compuesta por múltiples capas superpuestas de materiales granulares y asfálticos, diseñadas para soportar y distribuir gradualmente las cargas de los vehículos sobre la subrasante. Estas capas suelen consistir en una capa superficial asfáltica que proporciona resistencia a la intemperie y una superficie de rodadura adecuada; una base granular que actúa como capa estructural que transfiere las cargas; y una capa de subbase que soporta y contribuye a la estabilidad del pavimento (Chen, 2020). La función principal de dicha estructura es distribuir uniformemente las cargas de los vehículos sobre las capas inferiores, reduciendo así la tensión sobre el terreno subyacente y previniendo el deterioro prematuro.

Flexible se desvía de que este tipo de pavimento puede deformarse bajo carga sin fracturarse, esto se debe a la naturaleza viscoelástica y granulada de los materiales constitutivos. Esta propiedad permite que este pavimento se adapte a las irregularidades del terreno y a las condiciones cambiantes del tránsito, disipando los esfuerzos generados por cargas repetitivas y evitando la transmisión directa de esfuerzos concentrados que podrían dañar interactuar con la estructura. Sin embargo, esta flexibilidad también implica una susceptibilidad mucho mayor al deterioro por fatiga, deformaciones permanentes, agrietamiento y ahuellamiento cuando se expone a tráfico pesado y condiciones climáticas adversas Malik, (2022).

En términos de mecánica, la respuesta del pavimento flexible está directamente relacionada con la interacción de las capas y las propiedades de los materiales de la capa de mezcla. El asfalto desempeña el papel de un material viscoelástico. Se caracteriza por ser dependiente de la temperatura y de la velocidad de carga, lo que aumenta la complejidad del diseño y análisis del pavimento, ya que esta capa debe ser examinada en detalle en términos de respuesta a la carga dinámica Zhang et al., (2021). Además, la calidad y compactación de las capas granulares son determinantes para evitar asentamientos diferenciales y garantizar la estabilidad del sistema estructural.

2.2.1.1 Subrasante:

Associated Press, n.d. define a subrasante como una capa de suelo natural estabilizado, que se sitúa al raspado. Cabe señalar que es vital para la durabilidad del pavimento ya que favorece un soporte adecuado de las capas superiores. En consecuencia, debería poseer cierta resistencia y capacidad de carga porque de lo contrario, en caso de que sea débil, ocasionará su hundimiento o deformación de las capas superiores. Para mejorar la calidad de la subrasante, existen estabilizaciones con aditivos de cal o cemento y otras técnicas de reforzamiento del geosintéticos.

2.2.1.2 Sub-base y Base Granular:

Por otro lado, la sub-base y la base granular son capas de material que se ubican en la parte superior de la subrasante. Sus propósitos principales son la distribución de las cargas producidas por el tráfico y un soporte estructural adicional para el pavimento. No obstante, la sub-base generalmente está compuesta de material menos grueso que la base granular, ambos juegan un papel vital en la absorción y distribución de las tensiones relativas a las cargas del tráfico. Una armazón óptima de las mismas es esencial para permitir la realización del esfuerzo y la distribución para impedir la deformación del pavimento.

2.2.1.3 Carpeta Asfáltica:

La capa superior para la pavimentación de la estructura flexible es la carpeta asfáltica, que se formula para resistir la abrasión, el desgaste, y las cargas por tráfico. La



función principal de la capa es proporcionar una superficie de rodadura para los vehículos, lo que la hace única ya que su rugosidad influye en la seguridad en las carreteras. La carpeta asfáltica es una capa delgada compactada, caliente, formada por asfalto y un agregado. Sin embargo, se señala que mientras las capas inferiores, como la sub-base granular, son ásperas, la carpeta asfáltica se compacta en densidad para ser más suave, con menos rugosidad. Además de la resiliencia a la compresión, la carpeta asfáltica también incluye algunas cualidades impermeabilizantes para detener el agua que dañaría las capas asfálticas subyacentes.

La selección de la fuente de datos correcta permitirá el mantenimiento adecuado y la evaluación del pavimento flexible en términos de desempeño funcional y estructural en las diferentes edades. La degradación progresiva resultante de factores mecánicos, climáticos y ambientales puede ser perjudicial para la seguridad vial, la comodidad del usuario o los costos operativos asociados. García, et al. 2023. Del mismo modo, la evaluación visual y los indicadores técnicos como el Índice de Condición del Pavimento PCI permitirán el diagnóstico del estado real, la identificación de las fallas predominantes y su gravedad y la discriminación de las intervenciones adecuadas y necesarias. Singh 2020. Estas intervenciones, si se realizan de manera oportuna, pueden evitar daños importantes al pavimento y extender su vida útil, optimizando los recursos financieros y materiales.

Por otro lado, la durabilidad de los pavimentos flexibles está influenciada por factores ambientales como la humedad, la temperatura, la radiación solar y las fluctuaciones de la temperatura. Como se mencionó anteriormente, el agua intrusa puede erosionar las capas granulares y provocar problemas como la falta de adherencia y los baches, y las temperaturas extremas son propensas a causar la contracción de las grietas o el asfalto ablandado. En consecuencia, los diseños modernos incluyen capas mejoradas, así como aditivos con el fin de mejorar la resistencia a esas condiciones, y son propensos a tener sistemas de drenaje adecuados para prevenir la acumulación de humedad.

La tendencia actual en ingeniería vial enfatiza la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, que utilizan tecnologías avanzadas para el monitoreo continuo y la evaluación periódica del pavimento Garcia et al., (2023). Algunas de estas estrategias incluyen sensores, imágenes satelitales, drones y técnicas de análisis de datos para anticipar la degradación y planificar acciones de rehabilitación óptimas para la eficiencia del sistema vial. En este esquema, el pavimento flexible está destinado a ser una solución más dinámica y adaptable, que, siempre que se administre técnicamente, puede cumplir con los requisitos del tráfico actual y futuros y condiciones del clima.

Por último, se debe considerar que el adecuado diseño, construcción, evaluación e incluso mantenimiento del pavimento flexible, no solo influye en la durabilidad de la infraestructura de carreteras y superficies de rodamiento, sino que también implica un impacto sobre la economía, sociedad y ambiente. Un pavimento en buenas condiciones favorece la efectiva movilidad de personas y carga, disminuye los costos de transporte y mantenimiento de vehículos, y mejora la seguridad vial, todo lo cual contribuye al desarrollo de regiones y ciudades sostenibles; Garcia et al., (2023).

2.2.2 Deterioro en pavimentos flexibles

“Los pavimentos flexibles se encuentran en un deterioro constante debido a una variedad de factores mecánicos, ambientales y constructivos. Estos factores no solo tienen un efecto en la función y la seguridad, sino que también reducen la vida útil de la estructura. Los mecanismos de daño no solo influyen en la parte visible, lo que es una representación de las condiciones que se encuentran en las capas que no se ven”. Es por eso que es difícil evaluar ese estado, y se necesita una atención especial para diagnosticar de una manera correcta Oliveira, et al., (2021). Una descripción detallada de los tipos de deterioro es también importante para desarrollar intervenciones de mantenimiento que prevengan el deterioro adicional y mitiguen los costos indirectos asociados con tareas de reparación mayores y rehabilitaciones estructurales.

2.2.2.1 Piel de Cocodrilo (Alligator Cracking)

El cocodrilo también conocido como agrietamiento por fatiga es otro daño típico y crítico en pavimentos flexibles. Se caracteriza por una red de grietas interconectadas que forman un patrón poligonal que se asemeja a la piel de un cocodrilo. Este daño «se encuentra en forma de parches justo debajo del borde de la estructura». Se origina en el cansancio estructural de la capa de rodadura debido a las cargas repetidas que superan los límites de resistencia del pavimento. La propagación de la grieta comienza con las micro fisuras, que se unen progresivamente disparadas por el cíclico deformación debajo de cargas pesadas. Además, factores como la presencia de humedad, deficiencias en el espesor de la capa asfáltica, o materiales de baja calidad aceleran la aparición y extensión de este deterioro Singh et al., (2021).

La piel de cocodrilo no solo compromete la integridad estructural, sino que también facilita la infiltración de agua, la cual deteriora aún más las capas inferiores, afectando la sub-base y la subrasante. Por tanto, esta falla es un indicador claro de que el pavimento requiere rehabilitación estructural para restaurar su capacidad de carga y evitar un colapso prematuro.

2.2.2.2 Ahuellamiento (Rutting)

El ahuellamiento consiste en deformaciones permanentes longitudinales, visibles como surcos o huellas en la superficie de la calzada, ubicados en las trayectorias de las ruedas de los vehículos. Este fenómeno es causado por la deformación plástica de las capas internas, particularmente en la base granular y la sub-base, debido a cargas repetidas y excesivas Oliveira et al., (2021). El ahuellamiento no solo afecta la comodidad y seguridad de la conducción al alterar la trayectoria del vehículo, sino que también aumenta el riesgo de accidentes por hidroplaneo durante lluvias intensas.

La susceptibilidad al ahuellamiento está influenciada por la calidad y compactación de los materiales, el diseño estructural y el drenaje del pavimento. Materiales granulares mal compactados o saturados por agua presentan una baja resistencia a la deformación, favoreciendo la aparición de estos hundimientos. Por ello, el

diagnóstico y control de la compactación durante la construcción, junto con un diseño adecuado que considere cargas proyectadas, son fundamentales para minimizar este deterioro Singh et al., (2021).

2.2.2.3 Grietas Longitudinales y Transversales

Las grietas longitudinales aparecen paralelas al eje del pavimento y suelen originarse por movimientos diferenciales del suelo, problemas en la adherencia entre capas o la fatiga del asfalto Kumar et al., (2020). Por su parte, las grietas transversales se forman perpendicularmente al eje y son consecuencia del envejecimiento del asfalto, contracciones térmicas, movimientos térmicos repetidos o fatiga.

Estas grietas comprometen la impermeabilidad del pavimento, facilitando la penetración de agua hacia las capas inferiores, lo que puede producir erosión, debilitamiento estructural y aceleración del deterioro. El control térmico, el uso de mezclas asfálticas modificadas y la correcta compactación son medidas preventivas que ayudan a reducir la aparición de estos daños Oliveira et al., (2021).

2.2.2.4 Abultamientos y Hundimientos Localizados

Los abultamientos son deformaciones elevadas que pueden indicar problemas como expansiones del suelo subyacente (por ejemplo, suelos expansivos o congelación), mientras que los hundimientos reflejan asentamientos diferenciales, compactación insuficiente o erosión interna Vásquez, (2002). Estas deformaciones afectan la uniformidad del pavimento y pueden generar puntos de concentración de esfuerzo que aceleran el deterioro.

Estos daños están relacionados con problemas en la subrasante o en la construcción de las capas estructurales, por lo que su detección temprana a través de técnicas de inspección visual o con equipos como perfilómetros y escáneres láser es fundamental para implementar correcciones oportunas.

2.2.2.5 Otros Deterioros Importantes

Adicionalmente, existen otros tipos de deterioros como la formación de baches, desprendimientos, desintegración superficial y deformaciones plásticas localizadas, que

también afectan la funcionalidad y seguridad vial. Estos fenómenos suelen ser consecuencia de la acumulación progresiva de daños y de la falta de mantenimiento preventivo Garcia, et al., (2023).

2.2.2.6 Impacto General del Deterioro en Pavimentos Flexibles

La presencia de estos deterioros no solo implica un deterioro físico del pavimento, sino que también tiene un impacto significativo en la seguridad vial, la comodidad del usuario y la eficiencia operativa del sistema de transporte. El deterioro incrementa el riesgo de accidentes, genera costos adicionales por reparaciones no programadas y afecta negativamente la movilidad urbana y regional Kumar et al., (2020). Por esta razón, es indispensable implementar programas de evaluación periódica que permitan monitorear el estado del pavimento, identificar deterioros tempranos y planificar intervenciones adecuadas.

El uso de metodologías estandarizadas, como el PCI (Índice de Condición del Pavimento), y tecnologías emergentes, incluidas pero no limitadas a imágenes satelitales, sistemas LIDAR y sensores embebidos, mejoran la comprensión del comportamiento del pavimento y la eficiencia de monitoreo y mantenimiento; Garcia et al., (2023).

2.2.3 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

La evaluación del estado superficial es un proceso esencial para comprender la condición del pavimento y planear futuras intervenciones. Al hacer esto, la inspección visual continuada y el uso de la Ficha PCI se convierten en dos herramientas fundamentales.

Inspección Visual

La inspección visual reina por su coste económico y rapidez. Facilita un análisis inicial del suelo, facilitando la detección de posibles anomalías:

- Tipo de fallo: Especifica el tipo de daño o deterioro presente en el pavimento (grietas, baches, fisuras, desprendimiento de agregados, etc.).

- Localización de fallas: Determina en qué áreas del pavimento se encuentran los daños.
- Severidad y frecuencia de fallas: Establece qué tan graves son los daños y cuán frecuentes son en el tramo evaluado.

Este método es muy conveniente para comprender el estado general del pavimento, así como cuando es necesario realizar una inspección/reparación detallada.

Ficha PCI (Pavement Condition Index)

La Hoja PCI es una metodología estandarizada, según la norma ASTM D6433, que se utiliza para cuantificar el estado de la superficie del pavimento. PCI tiene un rango de valores de 0 a 100, donde:

- 0: Representa el estado más grave (fallado).
- 100: Indica un pavimento en excelente condición.

El PCI se calcula mediante una recopilación sistemática de datos, que incluye:

- Registros fotográficos: Se documentan los daños observados para tener un respaldo visual y facilitar la planificación de reparaciones.
- Llenado de la ficha: En esta fase, se describe detalladamente cada tipo de daño observado, su ubicación y severidad.
- Caracterización de daños: Se realiza una caracterización del tipo de deterioro (fisuras, baches, deformaciones, etc.), ayudando a crear un perfil claro del estado del pavimento.

La metodología PCI es fundamental porque proporciona un sistema numérico objetivo y consistente para evaluar pavimentos y planificar las intervenciones adecuadas, ya sea mantenimiento preventivo o reparaciones mayores. Este índice facilita la toma de decisiones en función del estado real del pavimento y ayuda a priorizar las áreas que requieren atención inmediata.

2.2.3.1 Contexto y Fundamentación Técnica

El PCI responde a la necesidad de contar con un indicador objetivo, reproducible y confiable que permita describir la condición del pavimento a partir del análisis de sus deterioros visibles. Tradicionalmente, las evaluaciones se basaban en criterios subjetivos o medidas puntuales que dificultaban la comparación entre tramos o la planificación eficiente de intervenciones Vásquez, (2002). El PCI superó estas limitaciones al establecer protocolos específicos para la inspección visual, la clasificación y cuantificación del daño, y la conversión de estas observaciones en un índice numérico único que resume la condición general.

El índice se calcula en una escala de 0 a 100, donde 100 representa un pavimento en condiciones óptimas, sin daños visibles ni pérdida funcional, y 0 indica un pavimento completamente deteriorado, inservible o con daños estructurales severos. Este rango facilita la comunicación técnica y administrativa, pues permite categorizar la condición en estados como excelente (PCI 85-100), bueno (PCI 70-84), regular (PCI 55-69), malo (PCI 40-54) y fallado (PCI < 40) Shahin (1994); Vásquez (2002).

2.2.3.2 Principios Metodológicos para la Evaluación con PCI

La metodología del PCI se basa en la inspección visual sistemática, apoyada en la división del pavimento en unidades homogéneas o secciones de análisis que comparten características similares (tipo de pavimento, uso, tráfico). En cada unidad se identifican y registran todos los tipos de deterioros presentes, tales como grietas, ahuellamientos, baches, desprendimientos, deformaciones plásticas y otros daños comunes en pavimentos flexibles García, et al., (2023).

Los principales pasos para la evaluación son:

- **Segmentación del pavimento:** Se define la longitud y características homogéneas de las unidades de inspección para asegurar representatividad y precisión en la evaluación.
- **Identificación y clasificación de daños:** Cada deterioro se identifica según su tipo y se clasifica en niveles de severidad leve, moderado y severo, utilizando guías

visuales con ejemplos gráficos y descripciones claras que permiten reducir la subjetividad Vásquez (2002).

- **Medición de extensión y densidad del daño:** Se cuantifica la extensión afectada, normalmente en porcentaje o área, para cada tipo de daño y severidad, calculando la densidad que representa la proporción del daño en la unidad evaluada.
- **Asignación de valores deductivos:** A partir de tablas estandarizadas, cada combinación de tipo, severidad y extensión del daño recibe un valor deductivo que representa la reducción que dicho deterioro genera en la condición ideal ($PCI = 100$).
- **Ajuste iterativo para daños superpuestos:** Dado que múltiples daños pueden coexistir y superponerse en un mismo tramo, se aplica un método iterativo para evitar la sumatoria excesiva de valores deductivos, corrigiendo el índice para reflejar adecuadamente la condición real.
- **Cálculo final del PCI:** El índice final se determina restando el valor total de deducciones del valor máximo de 100, obteniendo un indicador único para cada unidad de pavimento evaluada.

Este procedimiento es altamente sistematizado y está diseñado para ser reproducible independientemente del evaluador, garantizando la consistencia y confiabilidad del diagnóstico Shahin (1994).

2.2.3.3 Aplicaciones prácticas y relevancia en gestión vial

El PCI se emplea con frecuencia en sistemas de manejo de carreteras, sirviendo para una variedad de usos y aplicaciones:

- **Planificación y priorización de mantenimiento:** Facilita detectar áreas vulnerables con estados deficientes para orquestar estrategias de mantenimiento preventivo, correctivo o restauración estructural.
- **Monitoreo temporal del estado del pavimento:** Al utilizar el PCI regularmente, se puede observar el progreso del deterioro y valorar la eficacia de las intervenciones llevadas a cabo.

- **Soporte para la toma de decisiones administrativas:** Facilita el diálogo entre expertos, directivos y líderes a través de un termómetro numérico y uniforme.
- **Optimización de recursos:** Al desentrañar el verdadero estado del asfalto, se evitan desembolsos desmesurados o intervenciones innecesarias, asegurando así la durabilidad económica de los proyectos viales Garcia et al., (2023).

Además, PCI se integra con otros métodos NDE como los deflectómetros de caída de peso y ensayos de laboratorio, para complementar el diagnóstico superficial con información de la capacidad estructural interna.

2.2.3.4 Ventajas, Limitaciones y Consideraciones Técnicas

La PCI presenta varias ventajas principales sobre otros sistemas. En primer lugar, es económica. La prueba se realiza en menos de un minuto. En segundo lugar, el método es sencillo. No requiere equipos complejos ni salas especialmente equipadas, y puede realizarse mediante exámenes masivos. Sin embargo, existen varias limitaciones que deben tenerse en cuenta:

- ✚ **Dependencia de la inspección visual:** Si bien hay directrices rígidas, la evaluación puede fluctuar debido a la fluctuación humana y las condiciones climáticas o lumínicas durante la inspección.
- ✚ **Foco en daños superficiales:** El PCI, en su mayoría, analiza daños visibles en la superficie y no ofrece datos concretos sobre el estado estructural interno, por lo que es prudente añadir pruebas adicionales.
- ✚ **Necesidad de actualización periódica:** Para preservar la validez del índice, la evaluación debe ser repita periódicamente, asegurando un monitoreo constante de la metamorfosis del asfalto.

Por lo tanto, el PCI es una herramienta fundamental, pero como mecanismo aislado no es suficiente, debe estar inserto dentro de un sistema de gestión de pavimentos que tome en cuenta todos los aspectos técnicos, económicos y operativos para el mantenimiento de la su vialidad Garcia et al., (2023).

2.2.4 Importancia de la inspección visual en la evaluación de pavimentos

Además, la inspección visual es uno de los métodos de evaluación del estado superficial del pavimento más esenciales y ampliamente utilizados. Es relativamente asequible, económico, eficiente y factible; por lo tanto, ha establecido una ventaja fundamental para la mayoría de los programas de manejo de pavimentos en el mundo . La metodología consiste esencialmente en la observación directa de la superficie del pavimento para lograr identificar y cuantificar deterioros visibles como grietas, ahuellamiento, bacheo, desprendimiento, deformación y otros defectos que puedan tener un impacto negativo en la seguridad, función y durabilidad del pavimento.

2.2.4.1 Contexto Histórico y Relevancia Actual

Por mucho tiempo, la inspección visual ha sido la única y, a menudo, la principal herramienta a disposición de los ingenieros para la evaluación de la superficie de la calzada. La inspección a simple vista ha sido y sigue siendo un enfoque prioritario que se realiza de la forma más equilibrada y sustentable posible en lo que se refiere a la cantidad de datos recopilados y recursos utilizados. A pesar del desarrollo de nuevas tecnologías como escáneres láser, sistemas de cámaras de alta resolución, vehículos de inspección equipados con sensores y análisis basados en inteligencia artificial, la inspección visual sigue siendo el método más utilizado debido a su bajo costo, rápida implementación y capacidad para identificar daños críticos en superficie que requieren atención inmediata; Garcia et al., (2023).

Además, la inspección visual sirve como complemento indispensable para la calibración y validación de resultados obtenidos por tecnologías automatizadas. La combinación de ambas metodologías potencia la precisión del diagnóstico y permite una gestión más completa y eficiente de la infraestructura vial.

2.2.4.2 Procedimiento y metodologías de inspección visual

La inspección visual debe realizarse siguiendo protocolos estandarizados que garantizan la objetividad y reproducibilidad de los resultados. Estos protocolos contemplan la definición clara de categorías y criterios para clasificar los tipos de daños,

su severidad y extensión. Por ejemplo, guías internacionales como las publicadas por ASTM o agencias nacionales de transporte especifican procedimientos detallados para el reconocimiento y evaluación de deterioros; Garcia et al., (2023).

Los pasos fundamentales incluyen:

- ✓ **Segmentación del pavimento:** Dividir la red o tramo vial en unidades homogéneas para evaluar cada sección bajo condiciones similares.
- ✓ **Identificación de daños:** Reconocer visualmente los diferentes tipos de deterioros presentes, desde grietas hasta deformaciones superficiales.
- ✓ **Clasificación y medición:** Evaluar la severidad (leve, moderada, severa) y extensión (área o longitud afectada) usando referencias visuales estandarizadas.
- ✓ **Registro sistemático:** Documentar los hallazgos en formatos estructurados que faciliten el análisis y seguimiento temporal.
- ✓ **Análisis y reporte:** Interpretar los datos para determinar el estado general del pavimento y priorizar intervenciones.

El rigor en la capacitación del personal evaluador es crucial para minimizar la subjetividad y garantizar la consistencia entre diferentes inspecciones y evaluadores.

2.2.4.3 Ventajas y Aplicaciones

La inspección visual ofrece múltiples ventajas que la consolidan como una herramienta indispensable en la evaluación vial:

- ✓ **Costo-beneficio:** Su bajo costo en comparación con tecnologías avanzadas la hace accesible para entidades con recursos limitados.
- ✓ **Rapidez:** Permite evaluar extensas redes viales en períodos relativamente cortos.
- ✓ **Detección temprana:** Facilita la identificación de daños críticos y emergentes que podrían afectar la seguridad vial.
- ✓ **Base para la gestión integral:** Proporciona datos fundamentales para sistemas de gestión de pavimentos (PMS), apoyando la toma de decisiones basadas en evidencia y la optimización de recursos.

- ✓ **Monitoreo continuo:** Permite el seguimiento histórico del deterioro, evaluando la efectividad de intervenciones y adaptando estrategias de mantenimiento Tapamo et al., (2023).

2.2.4.4 Limitaciones y complementariedad con tecnologías avanzadas

Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la inspección visual también tiene limitaciones intrínsecas como la experiencia del inspector, los sesgos y la incapacidad de detectar daños estructurales internos o causas de deterioro no visibles. Por lo tanto, se puede concluir que la inspección visual es más efectiva en combinación con tecnología avanzada tales como deflectómetros, escáneres láser y tecnología de inteligencia-sistemática artificial, que permiten complementar la información superficial con datos estructurales y automatizar procesos para mayor precisión y eficiencia Garcia et al., (2023).

Del mismo modo, las condiciones ambientales y de iluminación en que se efectúa la inspección también inciden en la calidad y certeza del diagnóstico. Por ello, es preciso planificar en función del día y la hora para lograr la máxima eficacia.

2.2.4.5 Rol estratégico en la sostenibilidad y seguridad vial

Finalmente, aunque no menos importante, la inspección visual no solo es crítica para la conservación y una gestión eficiente de los pavimentos, sino que también es un pilar esencial para la seguridad vial, ya que evita que los daños que limitan la conducción se pasen por alto y no se corrijan a tiempo. Al igual que alarga la vida de la infraestructura, reduce los costos económicos y ambientales relacionados con renovaciones mayores y la construcción de nuevas carreteras, contribuyendo a la sostenibilidad del sistema vial Tapamo et al., (2023).

2.2.5 Mantenimiento para pavimentos.

Estas actividades, según Pastor, deben realizarse de manera programada y sistemática, siempre anticipando la aparición de fallas y garantizando la transividad de las vías, lo cual es fundamental en la gestión tanto pública como privada del transporte.

Los enfoques contemporáneos en mantenimiento vial distinguen tres tipos principales:

- ✓ **Mantenimiento Preventivo:** Implica la ejecución de actividades periódicas y programadas, como limpieza, señalización o inspecciones técnicas, con el fin de prevenir el deterioro, reducir el riesgo de fallas y prolongar la vida útil de las vías. Investigaciones recientes destacan la necesidad de inversión tecnológica y capacitación en Latinoamérica para optimizar estos procesos Tinoco (2019); Pastor, (2020).
- ✓ **Mantenimiento Correctivo:** Intervención específica. Acción sobre fallas ya identificadas, tales como reparación de baches y reconstrucción parcial de capas degradadas, y recuperación de la funcionalidad después de eventos no previstos. Se divide en paliativo, que resuelve temporalmente la falla y curativo, que cura de raíz.
- ✓ **Mantenimiento Predictivo:** Dicho enfoque utiliza tecnología moderna como inteligencia artificial, sensores, análisis de datos y gemelos digitales para analizar la condición de las carreteras y pronosticar cómo se deteriorarán. Utiliza un mantenimiento predictivo. En este caso, es posible influir en la situación, lo que permite minimizar los recursos utilizados y demorar enormemente en los costos y tiempos de reparación de los daños reparables. Al mismo tiempo, países como Argentina implementan sistemas automatizados de inspección, algoritmos de machine learning y aplicaciones móviles para gestión de pavimentos Revista vial (2019); BID (2020); Impacto TIC (2024).

MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

La conservación de pavimentos flexibles es clave para asegurar la durabilidad y funcionalidad en el tiempo. Se divide a las acciones de varios tipos las que son divididas en base a su naturaleza y según el estado del pavimento. Las acciones de conservación se clasifican en correctivas, preventivas, y periódicas, se realizan de acuerdo al diagnóstico del pavimento que puede ser obtenido visualmente mediante inspección o

evaluación a través de un PCI. (Pavement Condition Index), y la disponibilidad presupuestaria.

1. Mantenimiento Rutinario

El mantenimiento cotidiano se enfoca en tareas sencillas y económicas destinadas a conservar el asfalto en un estado óptimo de funcionamiento:

- ✓ Limpieza: Consiste en la eliminación de residuos, agua estancada, escombros y vegetación en la superficie del pavimento. Esta acción es importante para evitar la acumulación de materiales que puedan dañar la superficie o afectar el drenaje.
- ✓ Bacheo: Se refiere a la reparación de baches o huecos que se forman debido a la fatiga del material, el tránsito pesado, o condiciones climáticas adversas. El bacheo ayuda a restaurar la superficie, mejorando la seguridad y la comodidad del tránsito.
- ✓ Sellado de Grietas: Las grietas que aparecen debido a la contracción, expansión térmica o carga vehicular pueden permitir la infiltración de agua, lo que agrava el daño al pavimento. El sellado de grietas es una medida preventiva para evitar la penetración de agua y reducir el riesgo de daño adicional en la base y subbase del pavimento.

2. Mantenimiento Periódico

El mantenimiento periódico se realiza de forma programada para prolongar la vida útil del pavimento y evitar reparaciones mayores en el futuro:

- ✓ Recapeo: Implica la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica sobre el pavimento existente para restaurar su funcionalidad y mejorar la superficie de rodadura. Es una solución adecuada cuando el pavimento tiene daños menores pero aún conserva su integridad estructural.
- ✓ Slurry Seal: Es un tratamiento superficial que consiste en la aplicación de una mezcla de emulsión asfáltica, agua y arena, lo que mejora la textura de la superficie y proporciona una capa protectora contra el agua y el desgaste.
- ✓ Microaglomerados: Similar al slurry seal, pero con un contenido mayor de materiales finos, lo que proporciona una mayor resistencia y mejor textura. Es adecuado para

pavimentos que presentan daños superficiales menores y es más económico que el recapeo.

- ✓ **Fresado y Reciclado:** El fresado permite retirar una capa dañada del pavimento para su posterior reciclaje. Esta técnica se utiliza para pavimentos con grietas extensas o deformaciones en la capa superficial. El material fresado puede ser reutilizado en la reconstrucción o en la subbase, lo que reduce el impacto ambiental y los costos.

3. Rehabilitación Profunda o Reconstrucción Total

Este tipo de mantenimiento es necesario cuando el pavimento ha alcanzado un estado de deterioro tan grave que las acciones de mantenimiento preventivo o periódico ya no son suficientes. La rehabilitación profunda o la reconstrucción total son necesarias cuando el PCI es muy bajo, lo que indica que el pavimento tiene daños estructurales significativos:

- ✓ **Rehabilitación Profunda:** Se trata de una intervención que implica la remoción de varias capas del pavimento hasta llegar a la subbase, seguida de una reconstrucción de las capas afectadas con materiales nuevos o reciclados. Esto es necesario cuando las capas estructurales del pavimento están comprometidas y requieren una mejora sustancial para restaurar su funcionalidad.
- ✓ **Reconstrucción Total:** Es la solución más drástica y costosa, que implica la eliminación completa del pavimento existente y la construcción de una nueva estructura. Esto se hace cuando el pavimento no puede ser rehabilitado de manera efectiva debido a daños extensivos.

4. Elección y Planificación del Mantenimiento

La elección del tipo de mantenimiento se realiza en función de diversos factores:

- ✓ **Diagnóstico Visual:** El estado visual del pavimento, basado en la inspección directa y el uso de herramientas como drones y cámaras de alta resolución.
- ✓ **PCI (Pavement Condition Index):** Este índice cuantifica el estado del pavimento en una escala de 0 a 100, lo que permite identificar el tipo de intervención necesaria según el nivel de deterioro.

- ✓ Disponibilidad Presupuestal: La planificación del mantenimiento también debe ajustarse a los recursos financieros disponibles. Dependiendo del presupuesto, se pueden priorizar intervenciones más económicas y de bajo impacto, o bien optar por intervenciones más costosas y estructurales.

2.2.5.1 Tecnologías Aplicadas en el Mantenimiento Vial

Las innovadoras tecnologías han transformado radicalmente la vigilancia, administración y mantenimiento de caminos en Latinoamérica, abriendo la puerta a una metamorfosis hacia paradigmas de gestión más astutos, eficientes y ecológicos.

- **ITS (Intelligent Transportation Systems):** Los Sistemas Inteligentes de Transporte son plataformas que integran tecnología digital, telecomunicaciones y análisis de datos para optimizar la seguridad y el flujo vehicular. En el Perú, el MTC y diversos municipios han promovido la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real, semaforización inteligente, cámaras y sensores, así como peajes automatizados para disminuir la accidentalidad y aumentar la eficiencia del tránsito. Asimismo, a nivel internacional, se resaltan soluciones como la comunicación vehículo a infraestructura V2I; aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para identificar patrones y anticipar congestiones.
- **Sensores y monitoreo IoT:** Los sensores inteligentes embebidos en pavimentos y señalización vial, permiten el monitoreo en tiempo real de variables como carga, humedad, temperatura y fatiga estructural. Integrados con tecnología IoT, son la clave para detección anticipada de deterioros, planificación de intervenciones preventivas y generación de modelos predictivos de mantenimiento. En Perú, Chile, México y Colombia fue seleccionada como innovación clave el empleo de sensores IoT para contribuir a la reducción de costos e incremento de la seguridad vial.
- **Drones:** Además, el uso de drones o vehículos aéreos no tripulados ha transformado la inspección de ferrocarriles y carreteras al permitir el levantamiento fotogramétrico, la vigilancia y la detección de emergencias y la evaluación de daños sobre áreas grandes, rápida y precisamente realizada. Por otra parte, América Latina ha sabido

llevar a cabo programas piloto en Colombia, México y Perú para implementar equipos de última tecnología en la supervisión y atención de accidentes, mejorando la respuesta ante emergencias y la gestión de las reparaciones.

2.2.5.2 Normativa Nacional Peruana

En el caso de Perú, la gestión del mantenimiento vial se rige principalmente por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial DS N° 034-2008-MTC, que establece las directivas técnicas y administrativas para la conservación, rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura vial nacional, regional y local. Esta norma define las responsabilidades de los diferentes niveles de gobierno y los estándares a cumplir en cuanto a calidad, seguridad y sostenibilidad en los trabajos viales.

Por otro lado, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones ha elaborado diferentes Manuales y Especificaciones Técnicas, como el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción que se refiere a procedimientos, materiales y criterios para la ejecución de las actividades de conservación y rehabilitación.

TÉCNICAS MODERNAS DE MANTENIMIENTO EN PERÚ

En los últimos años, el mantenimiento de pavimentos en Perú ha mejorado y ha evolucionado notablemente, utilizando nuevas tecnologías que reducen los costos y aumenta la eficiencia de las intervenciones. A continuación, una de las técnicas y tecnologías que son consideradas modernas en el mantenimiento del pavimento:

Asfaltos Modificados:

- ✓ Tecnología de Mezclas Asfálticas Modificadas: El uso de asfaltos modificados con polímeros, como el SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) o el EVA (Etileno-Vinil-Acetato), mejora la durabilidad y flexibilidad del pavimento. Esto le permite soportar cargas elevadas, variaciones térmicas y el desgaste causado por el tráfico constante, lo que a su vez prolonga la vida útil de la carretera y le otorga un rendimiento superior en condiciones climáticas extremas y de tráfico intenso.

- ✓ Ventajas: Aumento en la resistencia al desgaste del asfalto, robustez contra fisuras y longevidad prolongada, lo que disminuye la necesidad de arreglos frecuentes.

Empleo de Geosintéticos:

- ✓ Geosintéticos como Geomallas y Geotextiles: Los geosintéticos son materiales sintéticos que se emplean para fortalecer tanto el pavimento como la subrasante. Su colocación en capas dependiendo del tipo de material sirve para distribuir la carga de forma más homogénea, previniendo deformaciones y causantes finales a la estabilidad general.
- ✓ Ventajas: Impedir la aparición de fisuras y ahuellamientos. Esto es especialmente crítico en áreas con suelos inestables. * Posibilitar el uso de materiales reciclados para la subbase. Por lo tanto, salen más baratos los materiales.

Control Digital de Compactación:

- ✓ Monitoreo de Compactación con Tecnología GPS y Sensores: Monitorización de la compactación de las capas. El uso de rodillos vibratorios con GPS y sensores inteligentes permite realizar un seguimiento en tiempo real de la velocidad y la homogeneidad con que la capa del pavimento se coloca inicialmente y luego se compacta. Por ejemplo, este enfoque permite asegurar que cada capa se compacte a la densidad y el espesor adecuados, lo que mejorará la calidad de la reparación y reducirá el riesgo de que falle prematuramente.
- ✓ Ventajas: Facilita un control meticuloso de la compactación, asegurando que las capas sean homogéneas y preparadas para soportar el tráfico y las inclemencias del clima.

Drones para Inspección:

- ✓ Inspección Visual Aérea con Drones: Los drones equipados con cámaras de alta resolución permiten realizar inspecciones detalladas del pavimento sin necesidad de interrumpir el tráfico. Estos drones pueden identificar grietas, baches, fisuras y otros daños en el pavimento de manera eficiente, sin necesidad de enviar personal al lugar.

- ✓ Ventajas: Ahorro de tiempo y costos, mayor precisión en la identificación de fallas, y menor riesgo para los trabajadores al realizar las inspecciones de manera remota.

Sensores IoT para Monitoreo Preventivo:

- ✓ Internet de las Cosas (IoT) para Monitoreo en Tiempo Real: Sobre la base del IoT, los sensores pueden implementarse para monitorear el pavimento en tiempo real y recolectar datos sobre temperaturas, humedad y presión, así como fluctuaciones y deflexiones en losas. De esta manera, los sistemas pueden detectar distintos problemas en etapas tempranas y alertar a los equipos de mantenimiento antes de que se conviertan en fallas de alto riesgo.
- ✓ Ventajas: Mejora de la eficiencia una intervención preventiva, se podrá optimizar el uso de los recursos evitando daños severos en el pavimento gracias a la realización de pruebas para identificar problemas antes de que se conviertan en un problema importante. * Los sensores permitirán gestionar los recursos de una manera mucho más efectiva, lo que se traducirá en menores costos a largo plazo.

IMPACTO DE ESTAS TECNOLOGÍAS:

Estas técnicas modernas no solo mejoran la calidad de las reparaciones y el mantenimiento de pavimentos, sino que también optimizan los costos y los tiempos de intervención, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de los recursos públicos. Al integrar tecnologías de vanguardia, como asfaltos modificados, geosintéticos, drones, sensores IoT y control de compactación digital, se logran pavimentos más duraderos, seguros y económicos.

Igualmente, la instalación de tales innovaciones permite la planificación de realización preventiva en acciones demostradas al basarse en datos reales reduciendo la dependencia a recurrentes episodios de reparación y restándole vehículos a la operación procurando limitar los límites de velocidad mínimo requeridos en las calles afectadas por tales reparaciones.

2.2.5.3 Casos y Experiencias Internacionales

La eficacia y la durabilidad del mantenimiento vial han sido reveladas en múltiples investigaciones y proyectos globales que fusionan tecnologías de vanguardia con enfoques de gestión contemporáneos.

Modelos de Gestión HDM-4: Otro enfoque desarrollado con el Banco Mundial es el software HDM-4, que facilita evaluar múltiples escenarios de conservación y simular el rendimiento de las vías, permitiendo la influencia de factores técnicos y económicos para un enfoque basado en decisiones para la gestión de activos viales. En Perú y otros países latinoamericanos, la implementación de esta herramienta llevó a reducciones significativas en los costos de explotación, una mayor calidad percibida y una vida de servicio más prolongada.

Tecnologías inteligentes e integración de datos: Por lo tanto, desde una perspectiva comparada, estudios en América Latina y Europa coinciden respecto a mejoras sustanciales en seguridad vial, eficiencia de recursos y gestión ambiental. Esto se logra aplicando sistemas inteligentes de transporte, gemelos digitales, sensores IoT y plataformas analíticas para monitoreo y mantenimiento predictivo de la infraestructura vial.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Pavimento flexible

En general, el pavimento flexible se diferencia del rígido en el número de capas y el material utilizado para su construcción. Consiste en varias capas de material granular y asfáltico utilizado para dispersar el tráfico en el suelo a través de la deformación en lugar de la fractura. Todas estas propiedades lo hacen aplicable en áreas con condiciones del suelo inconstantes y bajo tráfico., de ahí su uso común en áreas urbanas y carreteras.

2.3.2 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El PCI es una técnica normalizada para evaluar visualmente la condición superficial y estructural de un pavimento. Consecuentemente, se le asigna un valor numérico entre 0 y 100 que refleja el estado general del pavimento, donde 100 corresponde a un buen estado de construcción y 0 a uno crítico. Con esos parámetros, el PCI ayuda a detectar los daños, la severidad y la extensión de la falla a fin de que se generen oportunamente las decisiones de mantenimiento y rehabilitación.

2.3.3 Deterioro de pavimentos

El deterioro de pavimentos engloba las maneras en las que las superficies de pistas se ven afectadas en su integridad y funcionalidad. Estas consideran grietas, ahuellamientos, deformaciones y desprendimientos que son fruto de la combinación de cargas vehiculares, factores climáticos y deficiencias de diseño o constructivos. El deterioro disminuye la seguridad de tránsito y condiciones de viaje como la economía vida de la capa de rodado.

2.3.4 Inspección visual

Tanto la inspección visual como el método convencional y práctico como económico para evaluar la condición de superficie del pavimento, que utiliza un enfoque de observación directa para identificar y clasificar los diferentes tipos y severidades de daño. A pesar de la disponibilidad de tecnologías avanzadas, la inspección visual es la base fundamental para el diagnóstico inicial en la mayoría de los programas de gestión vial.

2.3.5 Mantenimiento preventivo

Es el conjunto de actividades para evitar o retardar la aparición de daños en el pavimento, como el sellado de grietas, tratamientos superficiales y pequeñas reparaciones que alargan la vida útil del pavimento y reduce la necesidad de



reparaciones de recapeo. Es una estrategia más costosa que mantiene y prolonga la durabilidad del pavimento y se mejora la seguridad vial.

2.3.6 Rehabilitación de pavimentos

La rehabilitación de pavimentos se refiere a las mayores intervenciones llevadas a cabo en un pavimento para restaurar su funcionalidad y capacidad estructural, primera y luego la segunda cuando se ha perdido. Incluye fresado, reemplazo de capas y reconstrucción parcial o total. Esta etapa es necesaria cuando el pavimento presenta daños severos que no pueden ser corregidos mediante mantenimiento preventivo o correctivo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de la investigación

Según Hernández et al. (2019) señalan que el enfoque mixto “permite enriquecer el análisis y la interpretación de los resultados, al complementar la precisión de los datos cuantitativos con la profundidad y contexto que aportan los datos cualitativos”.

El enfoque es **mixto**, ya que combina técnicas y análisis tanto cuantitativos (por ejemplo, medición del Índice de Condición del Pavimento - PCI) como cualitativos (como la inspección visual y descripción de patologías), integrando ambos tipos de datos para obtener una comprensión más completa del estado del pavimento.

3.2 Tipo de la investigación

Según Sampieri et al., (2020), describe la investigación aplicada como aquella que “se centra en la utilización práctica del conocimiento científico para resolver problemas inmediatos y mejorar situaciones particulares, en contraste con la investigación básica, que busca ampliar el conocimiento sin un propósito inmediato”.

Se denomina investigación aplicada, ya que busca crear saberes valiosos y particulares para idear tácticas de mantenimiento que eleven la eficacia y longevidad del asfalto.

3.3 Nivel de la Investigación

Según Morales (2021), El enfoque descriptivo se dedica a desentrañar interrogantes como quién, qué, dónde y cómo, centrándose en la observación y registro meticuloso de las particularidades del objeto de análisis.

La investigación es de nivel descriptivo, puesto que pretende explicar detalladamente y caracterizar las condiciones actuales del pavimento flexible, determinado tipos de fallas, grados de severidad y esparcimiento de estas y sin intervenir el objeto de estudio.

3.4 Diseño de la Investigación

Según Hernández et al. (2019). La investigación no experimental se define a partir de la observación de los hechos por parte del investigador, ya que este no tiene libertad para manipular a voluntad las variables. Este tipo diseño se refiere investigación o estudio en modificación o intervención sobre las variables analizadas.

Diseño de la investigación no experimental, ya que no se manipulan variables ni se interviene sobre el objeto de estudio, sino que se lleva a cabo una observación directa y sistemática del estado superficial del pavimento flexible en su condición natural.

3.5 Método de la Investigación

Según Hernández et al. (2019). El método científico es un procedimiento ordenado y sistemático que busca generar conocimientos a partir de la observación, formulación de hipótesis, experimentación y análisis para llegar a conclusiones objetivas y verificables.

El método utilizado es **científico**, basado en la observación, recolección y análisis de datos empíricos para obtener conclusiones objetivas y fundamentadas que permitan evaluar la condición del pavimento y proponer un plan de mantenimiento.

3.6 Población y Muestra

3.6.1 Población

Según Sampieri et al. (2020) definen la población como “el conjunto completo de elementos que cumplen con ciertos criterios definidos.”

La población objeto de estudio corresponde a la totalidad del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez en la ciudad de Juliaca.

3.6.2 Muestra

Según Kerlinger (2021), una muestra es “un subconjunto seleccionado de la población que, para permitir la generalización de los resultados, debe reflejar sus características.”

En este estudio, la muestra corresponde a un tramo de 1.4 km de la vía Jirón Mariano Núñez en la ciudad de Juliaca, dividido en 10 segmentos homogéneos, definidos conforme a la metodología del índice PCI y los criterios de homogeneidad de superficie.

3.7 Técnicas e Instrumentos

3.7.1 Técnicas.

Para la evaluación del estado superficial del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez, se empleó la técnica de inspección visual sistemática en campo. Esta técnica es una de las más utilizadas en ingeniería civil para evaluar el estado del pavimento, especialmente en pavimentos con daños superficiales. La inspección visual permite identificar y clasificar las fallas del pavimento según su tipo, gravedad y extensión, sin necesidad de métodos invasivos como perforaciones y tecnologías de escaneo

sofisticadas. Además, no requiere equipos costosos, lo que la convierte en un método rentable y accesible para evaluar pavimentos eficazmente.

En este estudio, la inspección visual se estructuró siguiendo los procedimientos y criterios del Índice de Condición del Pavimento (PCI), que es una metodología estándar y reconocida internacionalmente para evaluar el estado de los pavimentos flexibles. El PCI es un sistema de clasificación objetivo que clasifica las fallas observadas en varios tipos: agrietamiento transversal, longitudinal, agrietamiento tipo cocodrilo, ahuellamiento, baches, desprendimiento y deformación superficial, entre otros. Cada tipo de falla observada se asignó a uno de tres niveles de gravedad: baja, media o alta. Esto permitió explorar en qué medida la capacidad estructural del pavimento se ve afectada por dichas fallas.

Esta técnica es una de las más utilizadas en ingeniería civil para evaluar el estado del pavimento, especialmente en pavimentos con daños superficiales. La inspección visual permite identificar y clasificar las fallas del pavimento según su tipo, gravedad y extensión, sin necesidad de métodos invasivos como perforaciones y tecnologías de escaneo sofisticadas. Además, no requiere equipos costosos, lo que la convierte en un método rentable y accesible para evaluar pavimentos eficazmente.

Por su parte, esta técnica permitió obtener una visión global del estado superficial de cada tramo de la vía; esto a su vez ayudó a identificar las áreas más deterioradas y establecer intervenciones de mantenimiento en función de la gravedad del daño. Esta es una técnica no destructiva, económica y fácil de aplicar, lo que la hace ideal para la evaluación de grandes tramos de pavimento sin la necesidad de herramientas costosas o métodos complejos. Los resultados obtenidos demuestran que esta metodología es efectiva para la evaluación temprana de fallas y planificación de actividades de mantenimiento preventivo que ayuden a evitar un mayor deterioro.

Por otro lado, no podemos olvidar la inspección visual como una herramienta práctica para evaluar pavimento, ya que no requiere tecnologías avanzadas, pero proporciona la información necesaria y precisa sobre el estado de la superficie para

tomar decisiones basadas en evidencia sobre el mantenimiento. En particular, la inspección visual puede arrojar luz sobre los daños supérficos a menudo localizados en aberturas en el pavimento. Estos daños son críticos ya que exponen al resto de la superficie a los factores que provocaron su formación. Probablemente, pueden resultar en la degradación de la superficie a nivel de subsuperficie si no se tratan rápidamente. En muchos casos, la observación visual y adecuada de la superficie puede proteger de daños importantes y salvar recursos para medidas correctivas caras y prolongadas.

Por otro lado, la inspección visual también presenta limitaciones, sobre todo en daños estructurales, ya que algunos problemas pueden no ser visibles desde la superficie. A pesar de estos inconvenientes, esta técnica puede ser muy útil para obtener una primera impresión del estado del pavimento. Además, es posible combinar esta técnica con otras metodologías de evaluación, incluido sensores y equipos avanzados. Es decir, la inspección se puede llevar a cabo utilizándose los dispositivos que permiten realizar un análisis desde la superficie y por debajo del pavimento. Sin dudas, en este caso, esta técnica puede ser complementaria a la anterior ya que realizará una evaluación de las condiciones internas de los daños al pavimento.

3.7.2 Instrumentos

La inspección visual fue seguida por la técnica usando varios instrumentos de medición para asegurarse de que los datos recopilados fueran precisos, cuantificables y confiables. Los instrumentos se seleccionaron cuidadosamente para garantizar que las mediciones sean comparables y precisas para evaluar las fallas en el sistema del pavimento. La combinación de la inspección visual con mediciones permitió tener una mejor idea sobre el estado de cada tramo, influyendo las percepciones a los resultados finales. Los siguientes son los instrumentos utilizados.

1. Odómetro manual:

Durante la inspección, se utilizó el odómetro manual para medir las distancias recorridas. Es crucial para garantizar un delineado adecuado de la vía en cada sección;

de esta manera, se registran las longitudes de los tramos inspeccionados para facilitar la segmentación del pavimento en unidades homogéneas para realizar estudios detallados. Además, permite obtener mediciones precisas de las distancias cubiertas, lo que es importante para garantizar que tales mediciones sean representativas del estado de este tipo de pavimento. Para el caso de Jirón Mariano Núñez, se dividió la longitud de la vía en tramos de longitudes más o menos de 140m; específicamente, se evaluaron diez tramos homogéneos. Por lo tanto, fue una herramienta clave para registrar las longitudes de los tramos inspeccionados con alta precisión y proteger la cobertura de toda la longitud durante la inspección.

2. Cinta métrica y regla:

Entre las herramientas que fueron fundamentales para medir con precisión las dimensiones de las diversas fallas del pavimento, la cinta métrica y la regla fueron esenciales. La cinta métrica fue útil para medir la longitud de las grietas transversales y longitudinales. Por otro lado, la regla se utilizó para medir la profundidad de las grietas y el diámetro de los baches. Las mediciones precisas de las dimensiones de las fallas son esenciales para evaluar la escala de su severidad porque ayudan a calcular el grado en que afectan la funcionalidad y seguridad del pavimento. Por ejemplo, se evaluaron tanto la longitud como la profundidad de las grietas longitudinales. De la misma manera, se midieron el diámetro y la profundidad de los baches. Dichas mediciones son cruciales no solo para ayudar a clasificar las fallas según su severidad según el método PCI, sino también para permitir intervenciones prioritarias. Además, la medición precisa de los daños es esencial en la estimación de costos, ya que las áreas dañadas extensas incurrirían en costos más altos.

3. Formato PCI:

Los formatos técnicos normalizados se usaron para registrar los datos detallados de la inspección visual, como el formato PCI-01. Estos formatos son diseñados específicamente para recopilar información sobre pavimentos flexibles. Además, permiten un registro uniformado en términos del tipo de falla, ubicación exacta, gravedad

y la densidad de las fallas observadas. Tal uniformidad en términos de hallazgos garantiza un acopio de datos organizado y consistente. Por lo tanto, facilita un análisis posterior y una comparación de los resultados. Además, el formato técnico también garantiza los mismos registros uniformes de las fallas en todos los tramos inspeccionados. Por lo tanto, proporciona una base adecuada para las decisiones de intervención y el desarrollo de planes de mantenimiento. Estos formularios son, por tanto, una herramienta crucial para garantizar la trazabilidad de los datos y generar informes precisos para su uso como base en posteriores auditorías de pavimentos de carreteras o estudios de pavimentos.

4. Cámara fotográfica digital:

La cámara digital captura el alcance del daño para documentarlo visualmente. Las fotos tomadas no son solo evidencia fotográfica de los daños, sino que también se pueden utilizar para comparar e rastrear visualmente el progreso y la expansión del daño en inspecciones futuras. La capacidad de tomar imágenes de alta resolución permite correlacionar el rango del daño observado y verifica la expansión del mismo. Visualmente a lo largo del tiempo. A la inspección. Además, la documentación fotográfica proporciona una base para comparar la condición de la carretera a lo largo del tiempo, facilitando una evaluación efectiva de la eficiencia y la utilidad de la intervención dadas previamente. Esta evidencia fotográfica también se incluye en el informe técnico como parte de las recomendaciones de modificación para informar a los responsables en la toma de decisiones un mejor entendimiento de la situación. visual también se utilizará para comparar los acuerdos fuera del campo, lo que formula la documentación de la inspección accesible y totalmente transparente.

3.8 Validez y Confiabilidad.

3.8.1 Validez.

Validez: La validez de la investigación se refiere a la capacidad del estudio de medir lo que se propone evaluar. Para ello es importante que los resultados sean representativos del fenómeno en estudio. En este caso, para la investigación realizada fue el método de Índice de Condición del Pavimento. PCI. Se aplicó un método validado y ampliamente utilizado a nivel internacional para evaluar el estado superficial de pavimentos. Según la información revisada, el PCI se ha utilizado exitosamente en varias investigaciones anteriores en ingeniería civil garantiza que los resultados obtenidos sean válidos y reflejen de manera precisa el estado real del pavimento del Jirón Mariano Núñez.

Para garantizar la validez interna, la vía fue segmentada en diez tramos homogéneos, cada uno de aproximadamente 140 metros. Dicha segmentación permitió realizar evaluaciones sobre secciones de la vía individualizadas, pero suficientemente integrales, para tener una representación confiable del estado global, la cual aseguró que los resultados pudieran ser extrapolados para planificar las intervenciones de mantenimiento adecuadas. Del mismo modo, la metodología de inspección visual se ajustó al manual PCI, también subjetivo, pero con el cual el diagnóstico mantiene igualmente su validez. Se ha validado a nivel internacional y es un procedimiento estandarizado.

3.8.2 Confiabilidad.

En cuanto a la confiabilidad de los resultados obtenidos, esta se ve garantizada por la estandarización del proceso de recolección de datos. Utilizando el PCI, cuyo procedimiento de recopilación de información se basa en una observación visual minuciosa, además de la clasificación de los tipos de fallas con criterios claros y preestablecidos, se produce que la consistencia y reproducibilidad de los resultados



permitan la validación de estos en circunstancias diferentes, así como por diferentes evaluadores. Asimismo, el protocolo de verificación visual fue el mismo para todos los tramos, lo que reduce el riesgo de variabilidad en la evaluación.

En cuanto a la fiabilidad, el uso de dispositivos de medición precisos, como odómetros y cintas métricas, ayuda a cuantificar con precisión la magnitud de los daños observados. Además, la toma de fotografías de las patologías identificadas garantiza un registro objetivo y verificable del estado del pavimento, lo que aumenta la fiabilidad de los hallazgos.

Para asegurar además la confiabilidad Inter evaluador, se implementó una etapa de capacitación para toda la comisión. Dicha etapa propició que todos los evaluadores usaran los mismos factores de acceso y valoración, reduciendo la subjetividad y mitigando la aplicación visual al 100% de interpretación.

3.9 Plan de recolección y procesamiento de datos.

3.9.1 Desarrollo del plan de investigación

ETAPA I: UBICACIÓN DE LA VÍA.

Figura 1

Vía analizada en la ciudad de Juliaca.



Nota. Google maps

Para este estudio se seleccionó un tramo de 1.4 kilómetros en el Jirón Mariano Núñez, situado en Juliaca. Este segmento fue subdividido en diez secciones homogéneas, las cuales serán sometidas a un análisis detallado empleando el método PCI, con el fin de evaluar su estado superficial y funcional.

ETAPA II: PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN Y CÁLCULO

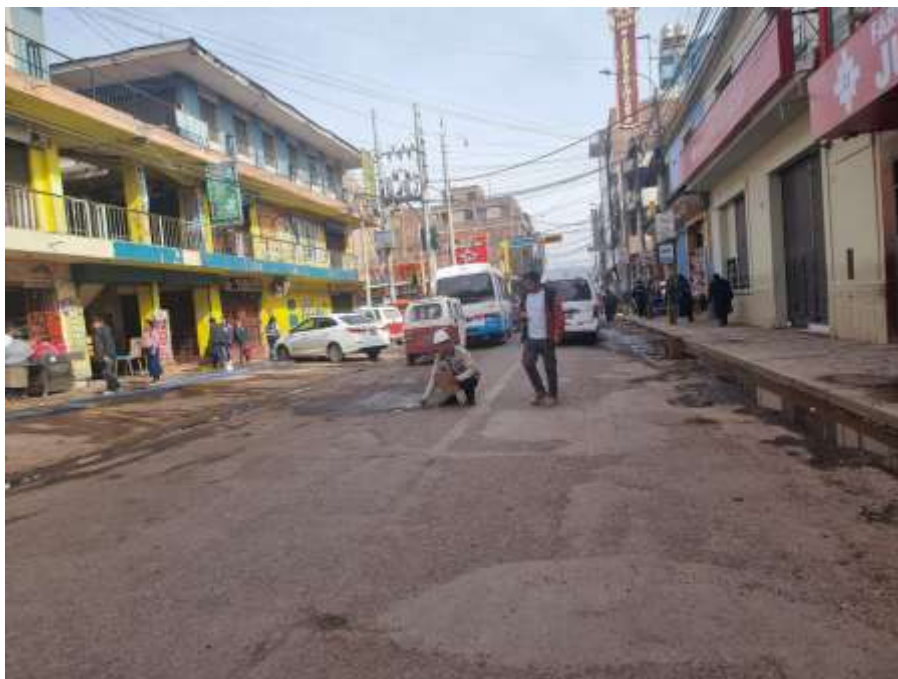
1. División del tramo en unidades de muestreo homogéneas:

Para iniciar el análisis del tramo total de 1.4 km del Jirón Mariano Núñez, se realiza una segmentación detallada en 10 unidades de muestreo homogéneas. Cada unidad abarca aproximadamente 230 m² y se define considerando criterios técnicos como el ancho constante del pavimento, la uniformidad en la composición del material, el tipo de tráfico que soporta y la presencia de características superficiales similares. Esta división es fundamental para asegurar que cada unidad refleje condiciones relativamente

uniformes y permita la obtención de datos representativos y comparables entre sí. Además, segmentar el tramo facilita la identificación puntual de zonas críticas o de mayor deterioro, lo que contribuye a focalizar las acciones de mantenimiento.

Figura 2

Vía analizada Jr. Mariano Núñez.



2. Inspección en campo con enfoque sistemático y exhaustivo:

Una vez segmentado el tramo, se procede a realizar una inspección visual meticulosa en cada unidad. Este recorrido se efectúa siguiendo un protocolo establecido que asegura la detección completa y precisa de todos los daños presentes. Según el Manual PCI, se evalúan múltiples tipos de patologías propias de pavimentos flexibles, tales como fisuras longitudinales, transversales, en bloques, piel de cocodrilo, exudación de materiales asfálticos, hundimientos, corrugaciones, formación de huecos y desprendimientos, entre otros. Cada daño identificado se clasifica en niveles de severidad (baja, media o alta), tomando en cuenta no solo su tamaño o extensión, sino también su impacto funcional en la capacidad estructural y de servicio del pavimento. La evaluación incluye la descripción de la ubicación exacta, la forma, el patrón y la

distribución espacial, lo que permite un análisis detallado del estado general del pavimento.

Figura 3

Inspección de la vía Jr. Mariano Núñez.



3. Registro y cuantificación sistemática de datos:

Toda la información recopilada durante la inspección se documenta en formatos oficiales estandarizados, como el PCI-01, diseñados para pavimentos asfálticos. Estos formatos permiten registrar detalladamente cada tipo de daño, su severidad, extensión y densidad relativa dentro de la unidad de muestreo. La cuantificación precisa de estos parámetros es vital para garantizar la consistencia y calidad de los datos, facilitando además el procesamiento estadístico y la comparación entre diferentes tramos o períodos de tiempo. Para medir la extensión de cada daño se utilizan instrumentos de precisión (odómetro, cinta métrica y regla) que aseguran la exactitud de las mediciones y minimizan posibles errores humanos durante la toma de datos.

4. Cálculo del valor deducido y determinación del PCI:

Con la información cuantitativa obtenida, se procede al cálculo del valor deducido para cada tipo de daño, aplicando las curvas y tablas normativas descritas en el Manual PCI. Este valor representa la pérdida funcional ocasionada por cada patología en la unidad evaluada. Para evitar errores en la acumulación de deducciones, se aplica un procedimiento iterativo para calcular el Máximo Valor Deducido Corregido (CDV), que ajusta las deducciones cuando los daños se superponen o interactúan. Finalmente, el Índice de Condición del Pavimento (PCI) se determina restando el CDV de 100, obteniéndose así un valor numérico que refleja con precisión la condición superficial y funcional de cada unidad muestreada.

Figura 4

Daños encontrados en la vía Jr. Mariano Núñez.



5. Cálculo del PCI global para el tramo completo:

Para tener una visión integral del estado del pavimento en todo el tramo de 1.4 km, se realiza el cálculo del PCI global a partir del promedio ponderado de los valores individuales obtenidos en cada una de las 10 unidades de muestreo. Cuando existan unidades adicionales o tramos con características particulares (diferentes áreas o

condiciones específicas), se asignan pesos proporcionales que reflejan la influencia relativa de cada segmento en el resultado final. Este cálculo global proporciona una referencia útil para comparar con estándares técnicos y planificar acciones de mantenimiento a nivel macro.

6. Análisis profundo y categorización de resultados:

Los valores del PCI obtenidos son analizados conforme a las categorías establecidas en el Manual PCI, que segmenta el estado del pavimento en rangos desde “excelente” (PCI cercano a 100) hasta “pobre” (PCI cercano a 0). Esta clasificación cualitativa facilita la interpretación y permite identificar con claridad las áreas que requieren intervención inmediata, así como aquellas que pueden mantenerse bajo vigilancia. Además, el análisis puede complementarse con estudios históricos de mantenimiento para evaluar la evolución del pavimento y la eficacia de intervenciones previas, ayudando a mejorar la gestión y optimización de recursos.

Tabla 2

Categorización por el método de PCI

RANGO	CLASIFICACIÓN
100-85	Excelente
85-70	Muy bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy malo
10-0	Fallado

Nota. Manual de PCI.

7. Elaboración de propuesta de plan de mantenimiento integral:

Finalmente, con base en el diagnóstico obtenido y en la tipología y severidad de los daños, se diseña un plan de mantenimiento específico para el tramo del Jirón Mariano Núñez. Este plan incluye acciones preventivas y correctivas orientadas a mitigar el deterioro, prolongar la vida útil del pavimento y mejorar la seguridad vial. Las

intervenciones se priorizan considerando la criticidad de cada daño y las recomendaciones técnicas del Manual PCI, pudiendo incluir sellado de fisuras, bacheo, recapeos superficiales o rehabilitación estructural. La propuesta también contempla aspectos de costo-beneficio, asignación eficiente de recursos y planificación temporal para minimizar impactos en el tránsito y garantizar la sostenibilidad del pavimento a largo plazo.

Tabla 3*Progresiva de los tramos analizados.*

UM	P. INICIAL	P. FINAL	LONGITUD (m)	ANCHO(m)	ÁREA(m ²)	MUESTRAS TOMADAS
1	0+000	0+035	35,4	6,5	230,1	1
2	0+035	0+071	35,4	6,5	230,1	
3	0+071	0+106	35,4	6,5	230,1	
4	0+106	0+142	35,4	6,5	230,1	
5	0+142	0+177	35,4	6,5	230,1	2
6	0+177	0+212	35,4	6,5	230,1	
7	0+212	0+248	35,4	6,5	230,1	
8	0+248	0+283	35,4	6,5	230,1	
9	0+283	0+319	35,4	6,5	230,1	3
10	0+319	0+354	35,4	6,5	230,1	
11	0+354	0+389	35,4	6,5	230,1	
12	0+389	0+425	35,4	6,5	230,1	
13	0+425	0+460	35,4	6,5	230,1	4
14	0+460	0+496	35,4	6,5	230,1	
15	0+496	0+531	35,4	6,5	230,1	
16	0+531	0+566	35,4	6,5	230,1	
17	0+566	0+602	35,4	6,5	230,1	5
18	0+602	0+637	35,4	6,5	230,1	
19	0+637	0+673	35,4	6,5	230,1	
20	0+673	0+708	35,4	6,5	230,1	
21	0+708	0+743	35,4	6,5	230,1	6
22	0+743	0+779	35,4	6,5	230,1	
23	0+779	0+814	35,4	6,5	230,1	
24	0+814	0+850	35,4	6,5	230,1	
25	0+850	0+885	35,4	6,5	230,1	7
26	0+885	0+920	35,4	6,5	230,1	
27	0+920	0+956	35,4	6,5	230,1	

28	0+956	0+991	35,4	6,5	230,1	
29	0+991	1+027	35,4	6,5	230,1	8
30	1+027	1+062	35,4	6,5	230,1	
31	1+062	1+097	35,4	6,5	230,1	
32	1+097	1+133	35,4	6,5	230,1	
33	1+133	1+168	35,4	6,5	230,1	9
34	1+168	1+204	35,4	6,5	230,1	
35	1+204	1+239	35,4	6,5	230,1	
36	1+239	1+274	35,4	6,5	230,1	
37	1+274	1+310	35,4	6,5	230,1	10
38	1+310	1+345	35,4	6,5	230,1	
39	1+345	1+381	19	6,5	123,5	
40	1+381	1+400	19	6,5	123,5	

Procedimiento para el Cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Identificación y conteo de patologías:

Se inicia con el inventario total de daños en el pavimento flexible, considerando la gravedad, tipo y dimensiones de cada falla (profundidad, longitud, área). Estos datos se registran en guías de observación, siguiendo el Manual PCI. Las severidades se clasifican en: Bajo (L), Medio (M) y Alto (H).

Determinación del tamaño de muestra:

Se calcula el número mínimo de unidades a evaluar (n) usando la fórmula:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

N: total de unidades en la población

σ : desviación estándar del PCI

e: error admisible (5%)

Esto garantiza un nivel de confianza del 95% y un margen de error ± 5 .

Selección de unidades de muestreo:

La primera unidad se selecciona aleatoriamente usando el intervalo de muestreo:

$$i = \frac{N}{n}$$

Donde i es el intervalo, redondeado al entero inferior. Esto asegura representación equitativa de la zona de estudio.

Cálculo de valores deducidos por patología:

Con base en la inspección visual, se utiliza un ábaco que relaciona la densidad y severidad de los daños para obtener el valor deducido de cada patología. Se ordenan los valores deducidos de mayor a menor, limitando el máximo a 10 deducciones por unidad.

Cálculo del número máximo de deducciones (m_i):

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \leq 10$$

HDV_i es el valor deducido máximo para la unidad i . Si el número de deducciones excede m_i , se consideran solo las primeras m_i .

Deducción máxima corregida (DMC):

Se calcula la DMC sumando los valores deducidos utilizando un procedimiento iterativo para ajustar la corrección, reemplazando valores mínimos por incrementos del 2%, hasta obtener el valor más alto posible.

Cálculo final del PCI:

Finalmente, el PCI se determina con la fórmula:

$$PCI = 100 - DMC$$

Donde DMC es la deducción máxima corregida. Este valor refleja la condición real del pavimento y se usa para evaluar su estado y planificar el mantenimiento correspondiente.

ETAPA III: PROCEDIMIENTO METODOLOGÍA PCI

Clasificación de severidad:

Cada deterioro se clasifica según su severidad — leve, moderada o severa — considerando extensión, profundidad y tipo de daño. Esta clasificación es fundamental, ya que la severidad determina el valor de deducción asignado a cada daño.

Cuantificación de deterioros:

Se mide la extensión de los daños en área (m^2) o longitud (m) según corresponda.

Estas mediciones son clave para calcular las deducciones en el PCI.

Cálculo del PCI por unidad:

Siguiendo la norma ASTM D6433-20, se asigna un valor de deducción a cada daño en función de su severidad y extensión. El PCI se calcula restando la suma de deducciones de 100.

Promedio de PCI por sección:

Se promedian los PCI de todas las unidades de muestreo para obtener la condición general del tramo. Se utiliza promedio ponderado cuando ciertas unidades tienen mayor impacto en tráfico o funcionalidad, priorizando áreas críticas.

Análisis e Interpretación

- Identificación de patrones: Se analizan tipos y ubicación de daños frecuentes para inferir causas (tráfico, clima, subbase débil).
- Clasificación de tramos: Se categoriza cada tramo según su condición (excelente a fallado), facilitando la toma de decisiones.

Propuesta de Intervenciones

- Mantenimiento preventivo: Sellado de grietas y microaglomerados para detener progresión de daños menores.
- Rehabilitación menor: Fresado y recapeo para daños superficiales moderados.
- Rehabilitación mayor: Remoción y reemplazo de capas en áreas con daños estructurales severos.
- Reconstrucción total: Para PCI muy bajo, se recomienda reconstrucción completa incluyendo subbase.

Informe Técnico

El informe final incluirá:

- Descripción detallada de la metodología y procedimiento.
- Resultados de inspección con gráficos y fotografías ilustrativas.



- Recomendaciones específicas de mantenimiento y rehabilitación.
- Mapas georreferenciados con clasificación PCI por zonas.

3.9.2 *Procesamiento de datos*

Los datos recopilados se organizarán en tablas que clasifiquen y describan detalladamente los tipos de deterioro observados en el pavimento. Posteriormente, se emplearán herramientas informáticas para procesar esta información, generando gráficos visuales como histogramas y gráficos de dispersión que faciliten la identificación de patrones y tendencias en el comportamiento del firme. Se aplicarán métodos estadísticos rigurosos para analizar los datos de forma precisa y confiable, garantizando que los resultados sean presentados de manera clara y comprensible, lo que permitirá tomar decisiones fundamentadas y efectivas en la gestión del mantenimiento vial.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados.

4.1.1 Tipos de fallas y el grado de severidad de mayor incidencia que presenta el pavimento flexible.

Tabla 4

Fallas y severidad en T-1, Progresiva 0+000 - 0+035

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
----------------	-----------	--------------

Piel de Cocodrilo	Alta	10,26%
Ahuellamiento	Media	6,41%
Huecos	Alta	3,04%
Grieta Longitudinales / Transversales	Media	3,39%

Se presenta las principales fallas identificadas en el tramo T-1 (0+000 a 0+035), detallando su severidad y densidad porcentual. Se observa que la "Piel de Cocodrilo" y los "Huecos" son las patologías más severas, con densidades del 10.26% y 3.04% respectivamente, mientras que el "Ahuellamiento" y las "Grietas Longitudinales/Transversales" presentan severidad media y densidades menores.

Tabla 5

Fallas y severidad en T-2, Progresiva 0+142 - 0+177

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Huecos	Alta	3,04%
Grieta de borde	Alta	13,04%
Parcheo	Media	6,95%
Grieta Longitudinales / Transversales	Media	4,78%

El tramo T-2 (0+142 a 0+177), destacando que la grieta de borde presenta la mayor densidad con un 13.04% y severidad alta. Los huecos también tienen severidad alta, pero con menor densidad (3.04%), mientras que el parcheo y las grietas longitudinales/transversales presentan severidad media con densidades menores.

Tabla 6

Fallas y severidad en T-3, Progresiva 0+283 - 0+319

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Grieta Longitudinales / Transversales	Baja	5,00%
Pulimiento de Agregado	Media	5,65%
Huecos	Alta	2,17%
Desprendimiento de Agregados	Baja	8,26%

El tramo T-3 (0+283 a 0+319), donde el desprendimiento de agregados y el pulimento de agregados muestran densidades significativas de 8.26% y 5.65%, respectivamente. Las grietas longitudinales/transversales tienen severidad baja con una densidad del 5%, mientras que los huecos, con severidad alta, presentan la menor densidad (2.17%).

Tabla 7

Fallas y severidad en T-4, Progresiva 0+425 - 0+460

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Piel de Cocodrilo	Media	7,82%
Grieta Longitudinales / Transversales	Alta	3,04%
Huecos	Media	1,30%
Desprendimiento de Agregados	Baja	4,35%

El tramo T-4 (0+425 a 0+460), destacando que la "Piel de Cocodrilo" presenta severidad media con una densidad del 7.82%. Las grietas longitudinales/transversales tienen severidad alta pero menor densidad (3.04%), mientras que los desprendimientos de agregados y huecos presentan severidad baja y media con densidades menores.

Tabla 8

Fallas y severidad en T-5, Progresiva 0+566 - 0+602

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Ahuellamiento	Media	8,26%
Piel de Cocodrilo	Media	3,04%
Grieta Longitudinales / Transversales	Alta	4,78%
Parcheo	Baja	1,30%

El tramo T-5 (0+566 a 0+602), donde el ahuellamiento muestra la mayor densidad con 8.26% y severidad media. Las grietas longitudinales/transversales presentan severidad alta con una densidad del 4.78%, mientras que la piel de cocodrilo y el parcheo tienen severidad media y baja, con densidades menores.

Tabla 9

Fallas y severidad en T-6, Progresiva 0+708 - 0+743

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Grieta Longitudinales / Transversales	Media	10,43%
Desprendimiento de Agregados	Baja	4,78%
Huecos	Alta	3,04%
Desnivel Carril / Berma	Media	7,39%

Las grietas longitudinales/transversales presentan la mayor densidad con 10.43% y severidad media. El desnivel de carril o berma también muestra severidad media con una densidad significativa del 7.39%. Los desprendimientos de agregados y huecos presentan densidades menores, con severidades baja y alta, respectivamente.

Tabla 10

Fallas y severidad en T-7, Progresiva 0+850 - 0+885

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Huecos	Media	3,91%
Grieta de Borde	Media	9,56%
Parcheo	Alta	14,34%
Desprendimiento de Agregados	Bajo	5,65%

El tramo T-7 (0+850 a 0+885), donde el parcheo presenta la mayor densidad con 14.34% y severidad alta. La grieta de borde y los desprendimientos de agregados tienen densidades de 9.56% y 5.65% con severidad media y baja, respectivamente, mientras que los huecos muestran severidad media con una densidad del 3.91%.

Tabla 11

Fallas y severidad en T-8, Progresiva 0+991 - 1+027

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Parcheo	Media	3,91%
Desprendimiento de Agregados	Alta	2,61%
Grieta de reflexión de junta	Alta	2,17%
Huecos	Media	3,04%

Se presenta las fallas identificadas en el tramo T-8 (0+991 a 1+027), donde el parcheo y los huecos muestran severidad media con densidades de 3.91% y 3.04%, respectivamente. Las fallas con mayor severidad alta son el desprendimiento de agregados (2.61%) y la grieta de reflexión de junta (2.17%).

Tabla 12

Fallas y severidad en T-9, Progresiva 1+133 - 1+168

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Grieta Longitudinales / Transversales	Bajo	3,91%
Piel de Cocodrilo	Alta	8,69%
Ahuellamiento	Media	3,91%
Parcheo	Media	3,48%

La piel de cocodrilo tiene la mayor densidad con 8.69% y severidad alta. El ahuellamiento y las grietas longitudinales/transversales presentan severidades media y baja con densidades similares alrededor del 3.9%, mientras que el parcheo muestra severidad media con una densidad del 3.48%.

Tabla 13

Fallas y severidad en T-10, Progresiva 1+274 - 1+310

Tipo de fallas	Severidad	Densidad (%)
Parcheo	Alta	9,56%
Piel de Cocodrilo	Media	6,95%
Desprendimiento de Agregados	Baja	4,35%
Grieta de Borde	Media	2,61%

El parcheo presenta la mayor densidad con 9.56% y severidad alta. La piel de cocodrilo y la grieta de borde presentan severidad media con densidades de 6.95% y 2.61%, respectivamente, mientras que el desprendimiento de agregados muestra severidad baja con una densidad del 4.35%.

Tabla 14

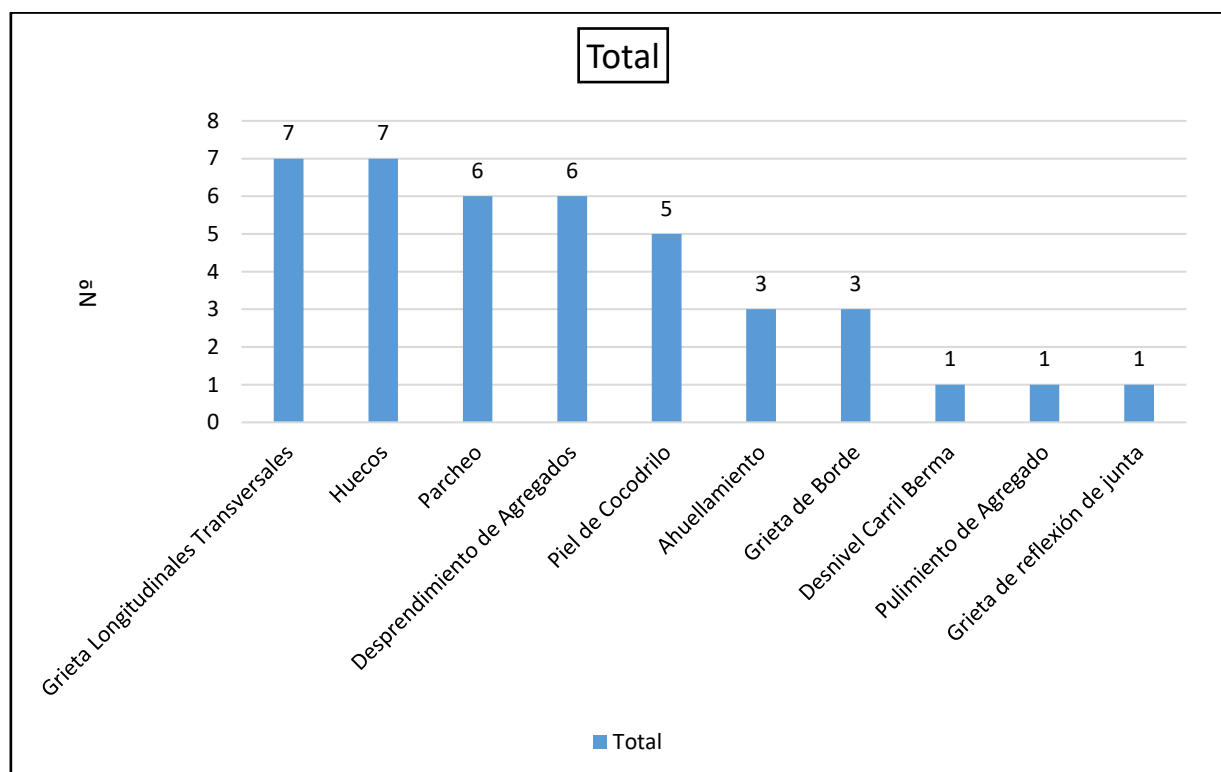
Conteo total de fallas encontradas

Tipo de Falla	Conteo Total
Grieta Longitudinales Transversales	7
Huecos	7
Parcheo	6
Desprendimiento de Agregados	6
Piel de Cocodrilo	5
Ahuellamiento	3
Grieta de Borde	3
Desnivel Carril Berma	1
Pulimiento de Agregado	1
Grieta de reflexión de junta	1

Las fallas más frecuentes incluyen grietas longitudinales transversales y huecos, con un total de 7 incidencias cada una. Otros tipos de fallas observadas incluyen desprendimiento de agregados, piel de cocodrilo y ahuellamiento, las cuales también contribuyen al deterioro de la infraestructura vial.

Figura 5

Resumen del conteo de fallas



4.1.2 Resultados sobre índice de condición superficial del pavimento flexible.

Tabla 15

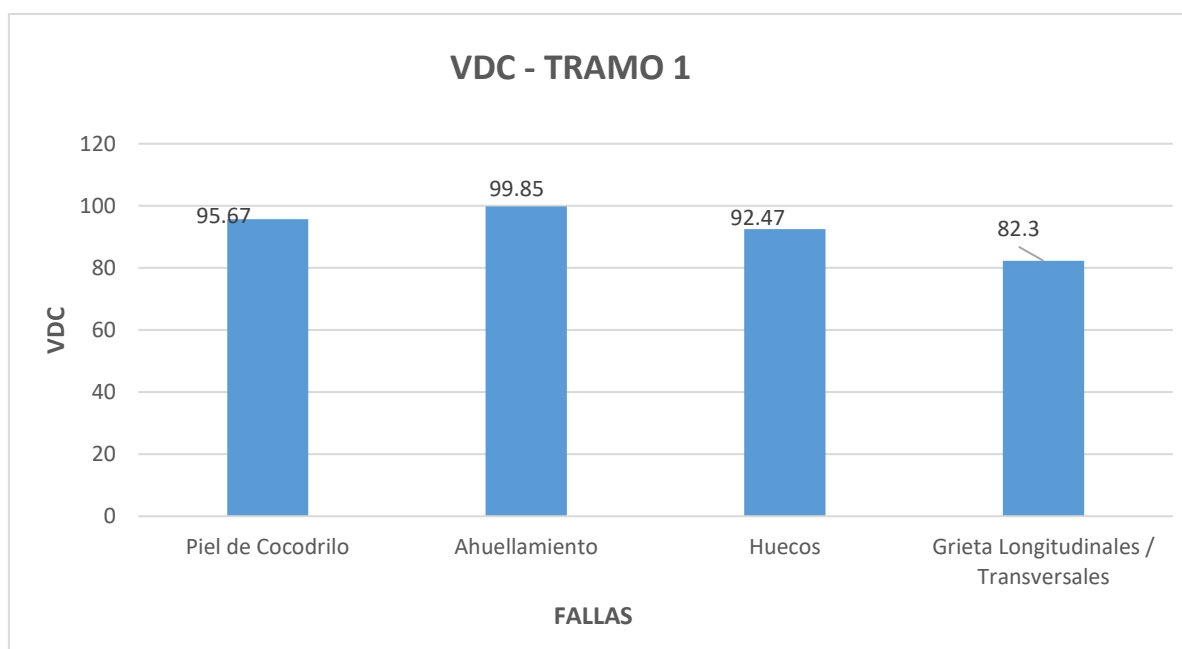
Nivel de condición en tramo 1, 0+000 - 0+035.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Piel de Cocodrilo	95,67	Calificación 0 "FALLADO"
Ahuellamiento	99,85	
Huecos	92,47	
Grieta Longitudinales / Transversales	82,3	

El daño por ahuellamiento presenta un VDC de 99.85, generando un PCI de 0, lo que indica condición crítica. Las grietas longitudinales/transversales, con un VDC de 82.3, también resultan en calificación "FALLADO", reflejando un deterioro severo del pavimento.

Figura 6

Valor deducido en el tramo 1.



Se muestra los valores deducidos corregidos (VDC) en el tramo 1, siendo el ahuellamiento el daño más severo con un VDC de 99.85. Le siguen la piel de cocodrilo (95.67), huecos (92.47) y grietas longitudinales/transversales (82.3).

Tabla 16

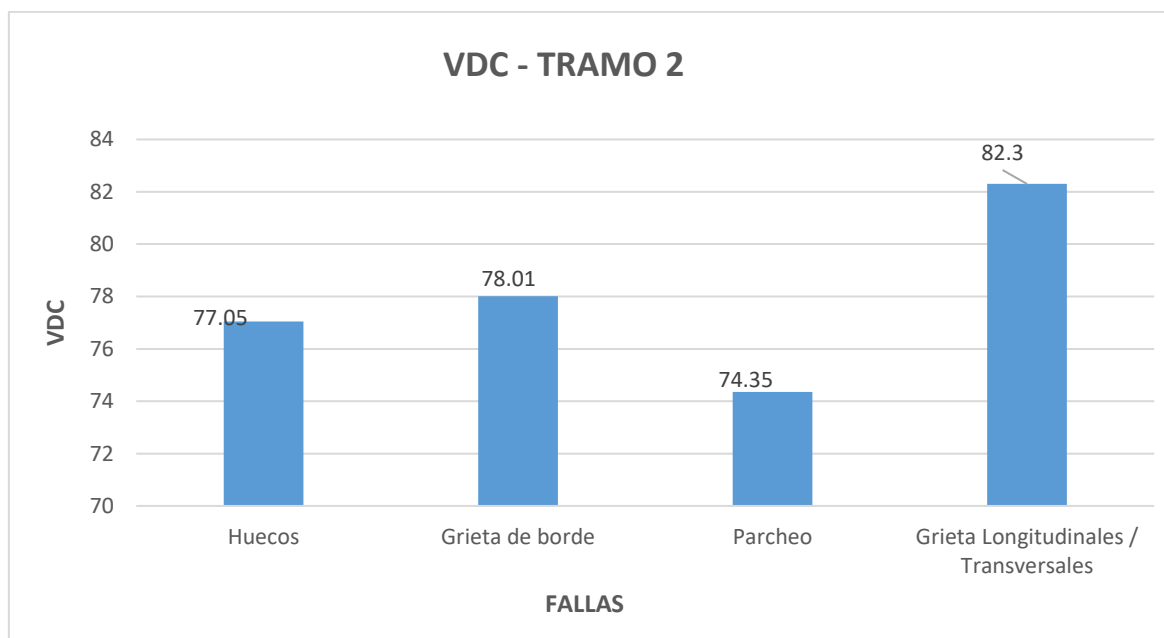
Nivel de condición en tramo 2, 0+142 - 0+177.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Huecos	77,05	Calificación 18% "MUY MALO"
Grieta de borde	78,01	
Parcheo	74,35	
Grieta Longitudinales / Transversales	82,3	

En el tramo 2 (0+142 a 0+177), donde la grieta longitudinal/transversal presenta el mayor impacto con un VDC de 82.3. El parcheo, grieta de borde y huecos registran VDC entre 74.35 y 78.01. El PCI obtenido indica una condición superficial calificada como "muy mala", con un valor de 18%.

Figura 7

Valor deducido en el tramo 2.



Se presenta los valores deducidos corregidos (VDC) para el tramo 2, destacando que las grietas longitudinales/transversales tienen el mayor impacto con un VDC de 82.3. Huecos, grieta de borde y parcheo muestran valores entre 74.35 y 78.01.

Tabla 17

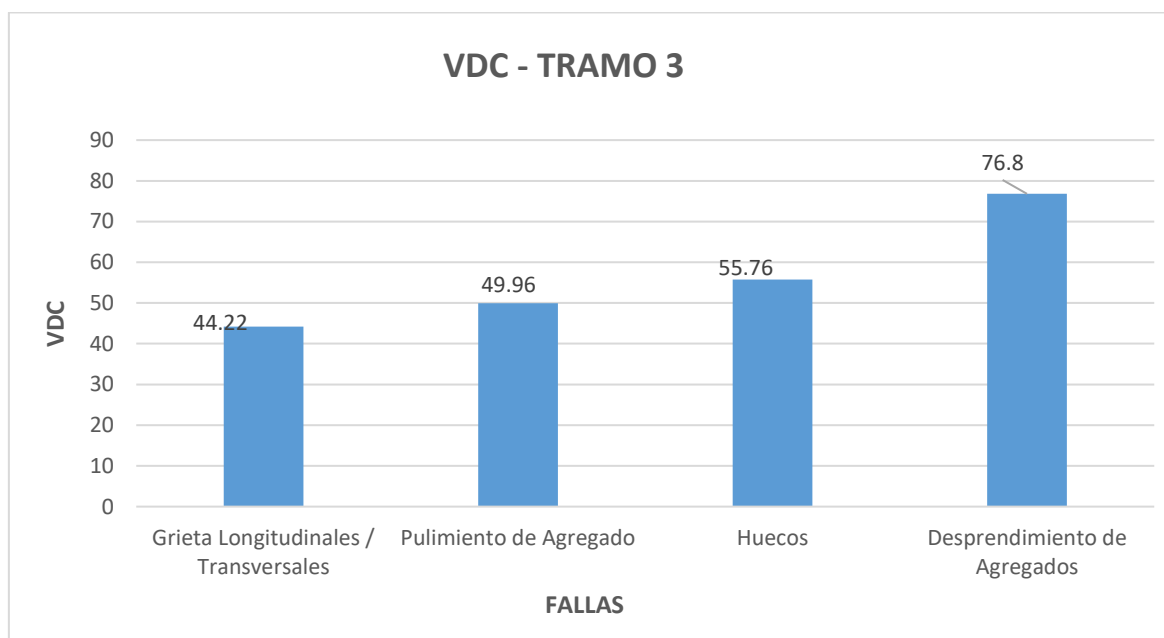
Nivel de condición en tramo 3, 0+283 - 0+319.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Grieta Longitudinales / Transversales	44,22	Calificación 23% "MUY MALO"
Pulimiento de Agregado	49,96	
Huecos	55,76	
Desprendimiento de Agregados	76,8	

En el tramo 3 (0+283 a 0+319), donde la grieta longitudinal/transversal presenta el mayor impacto con un VDC de 76.8. El parcheo, grieta de borde y huecos presentan valores menores entre 44.22 y 55.76. El PCI resultante indica una condición superficial calificada como "muy malo" con un valor del 23%.

Figura 8

Valor deducido en el tramo 3.



En el tramo 3, donde el desprendimiento de agregados presenta el mayor impacto con 76.8. Las grietas longitudinales/transversales, pulimiento de agregado y huecos tienen valores menores, entre 44.22 y 55.76.

Tabla 18

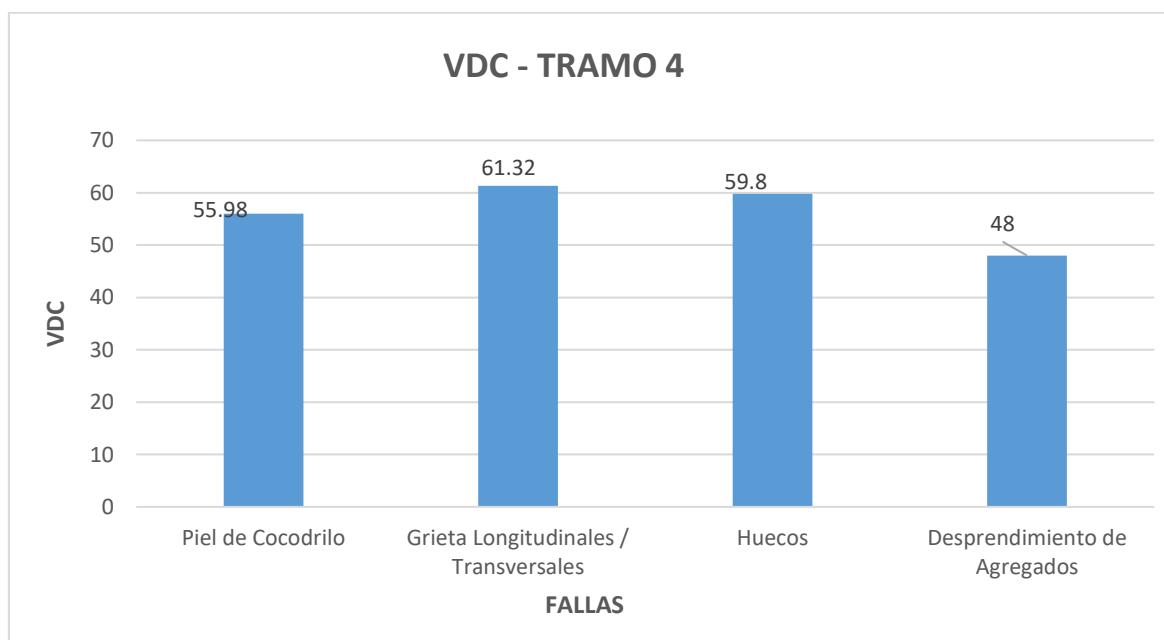
Nivel de condición en tramo 4, 0+425 - 0+460.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Piel de Cocodrilo	55,98	Calificación 39% "MALO"
Grieta Longitudinales / Transversales	61,32	
Huecos	59,80	
Desprendimiento de Agregados	48,00	

En el tramo 4 (0+425 a 0+460), donde las grietas longitudinales/transversales registran el mayor impacto con un VDC de 61.32. La piel de cocodrilo, huecos y desprendimiento de agregados muestran valores entre 48.00 y 59.80. El PCI indica una condición superficial calificada como "malo" con un valor del 39%.

Figura 9

Valor deducido en el tramo 4.



El tramo 4, donde las grietas longitudinales/transversales tienen el mayor impacto con 61.32, seguidas por huecos (59.80), piel de cocodrilo (55.98) y desprendimiento de agregados (48.00).

Tabla 19

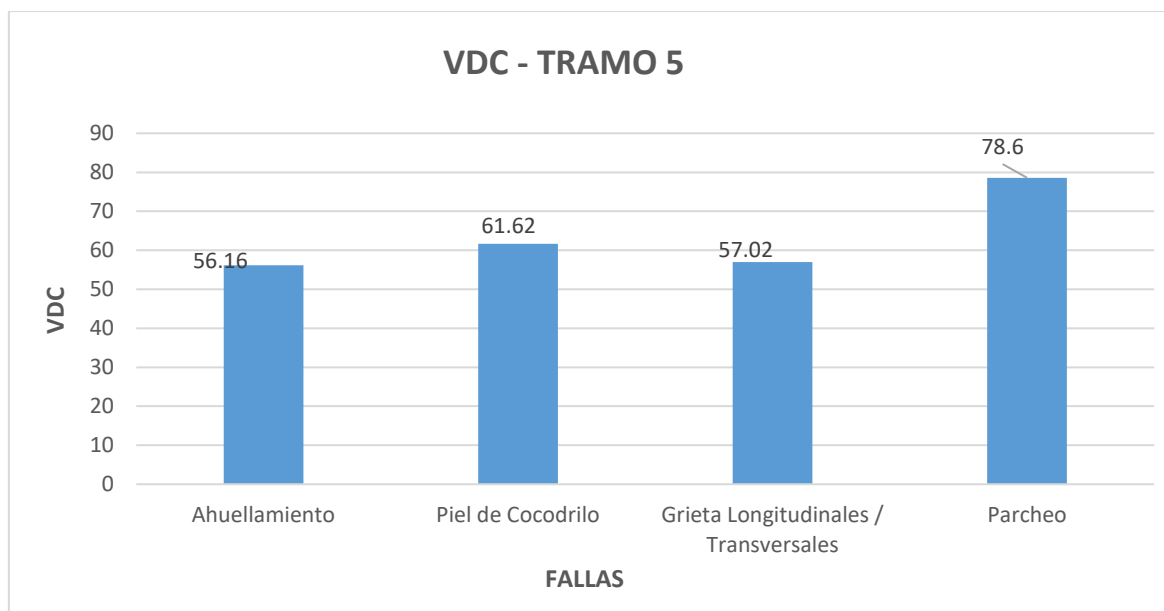
Nivel de condición en tramo 5, 0+566 - 0+602.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Ahuellamiento	56,16	Calificación 21% "MALO"
Piel de Cocodrilo	61,62	
Grieta Longitudinales / Transversales	57,02	
Parcheo	78,60	

El tramo 5 (0+566 a 0+602), donde el parcheo presenta el mayor impacto con un VDC de 78.60. La piel de cocodrilo, ahuellamiento y grietas longitudinales/transversales registran valores entre 56.16 y 61.62. El PCI resultante indica una condición superficial calificada como "malo" con un valor del 21%.

Figura 10

Valor deducido en el tramo 5.



Los valores deducidos corregidos (VDC) en el tramo 5, donde el parcheo presenta el mayor impacto con 78.6. Le siguen la piel de cocodrilo (61.62), grietas longitudinales/transversales (57.02) y ahuellamiento (56.16).

Tabla 20

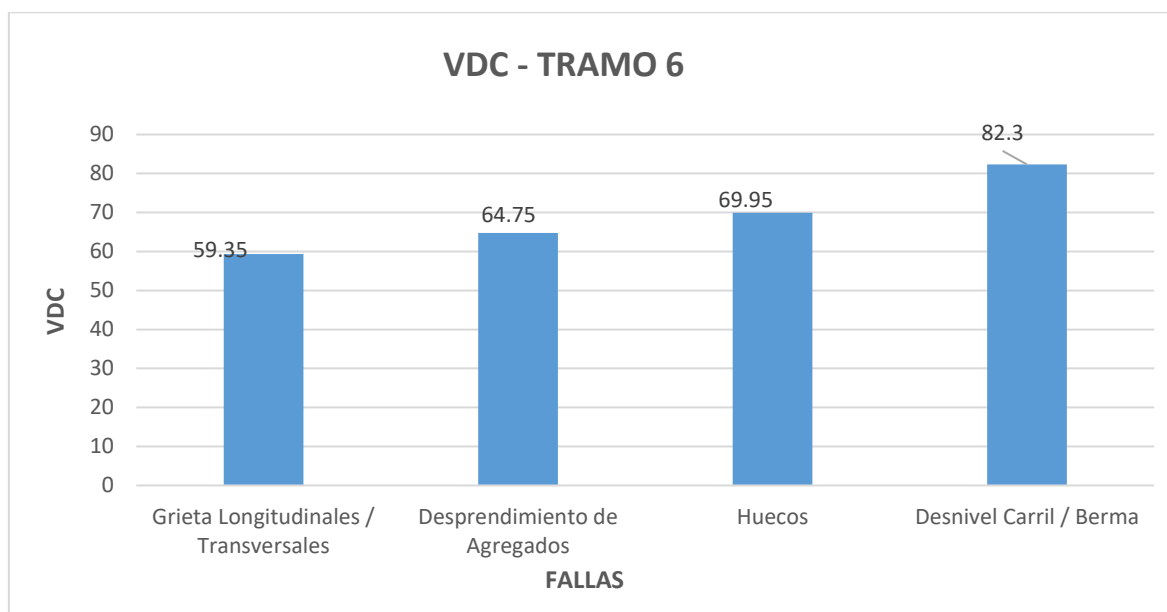
Nivel de condición en tramo 6, 0+708 - 0+743.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Grieta Longitudinales / Transversales	59,35	Calificación 18% "MUY MALO"
Desprendimiento de Agregados	64,75	
Huecos	69,95	
Desnivel Carril / Berma	82,3	

El tramo 6 (0+708 a 0+743), donde el desnivel de carril o berma presenta el mayor impacto con un VDC de 82.3. Los huecos, desprendimiento de agregados y grietas longitudinales/transversales registran valores entre 59.35 y 69.95. El PCI indica una condición superficial calificada como "muy malo" con un valor del 18%.

Figura 11

Valor deducido en el tramo 6.



Los valores deducidos corregidos (VDC) en el tramo 6, donde el desnivel de carril o berma presenta el mayor valor con 82.3. Le siguen los huecos (69.95), desprendimiento de agregados (64.75) y grietas longitudinales/transversales (59.35).

Tabla 21

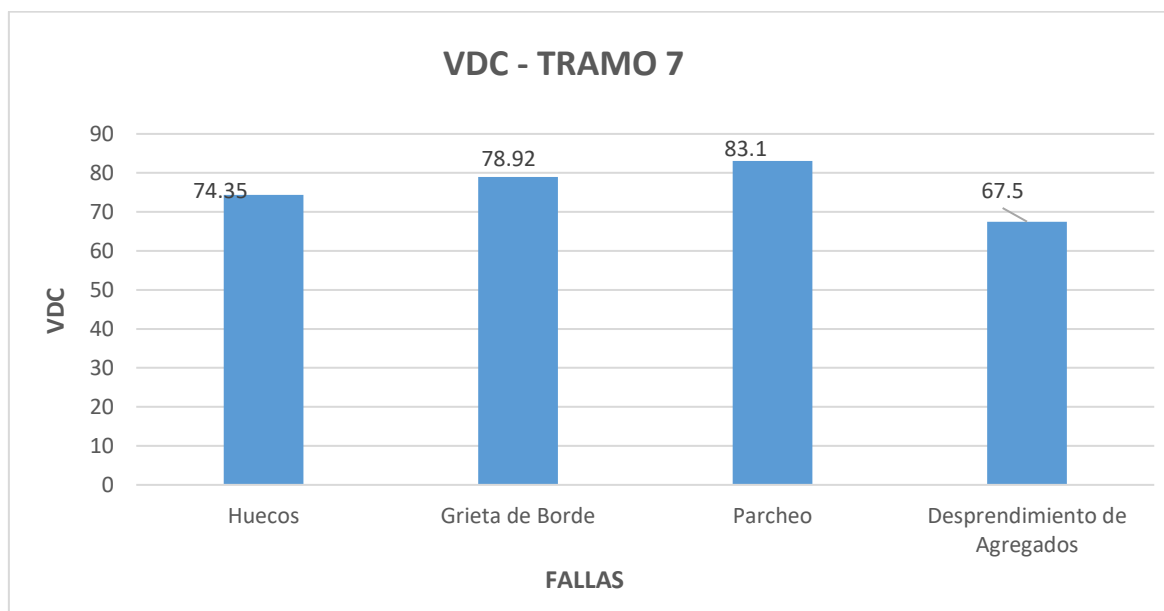
Nivel de condición en tramo 7, 0+850 - 0+885.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Huecos	74,35	Calificación 17% "MUY MALO"
Grieta de Borde	78,92	
Parcheo	83,1	
Desprendimiento de Agregados	67,5	

El tramo 7 (0+850 a 0+885), donde el parcheo muestra el mayor impacto con un VDC de 83.1. La grieta de borde y desprendimiento de agregados presentan valores intermedios de 78.92 y 67.5, respectivamente. El PCI indica una condición superficial calificada como "muy malo" con un valor de 17%.

Figura 12

Valor deducido en el tramo 7.



Los valores deducidos corregidos (VDC) en el tramo 7, destacando el parcheo con el mayor valor (83.1), seguido por la grieta de borde (78.92), el desprendimiento de agregados (67.5) y los huecos (74.35).

Tabla 22

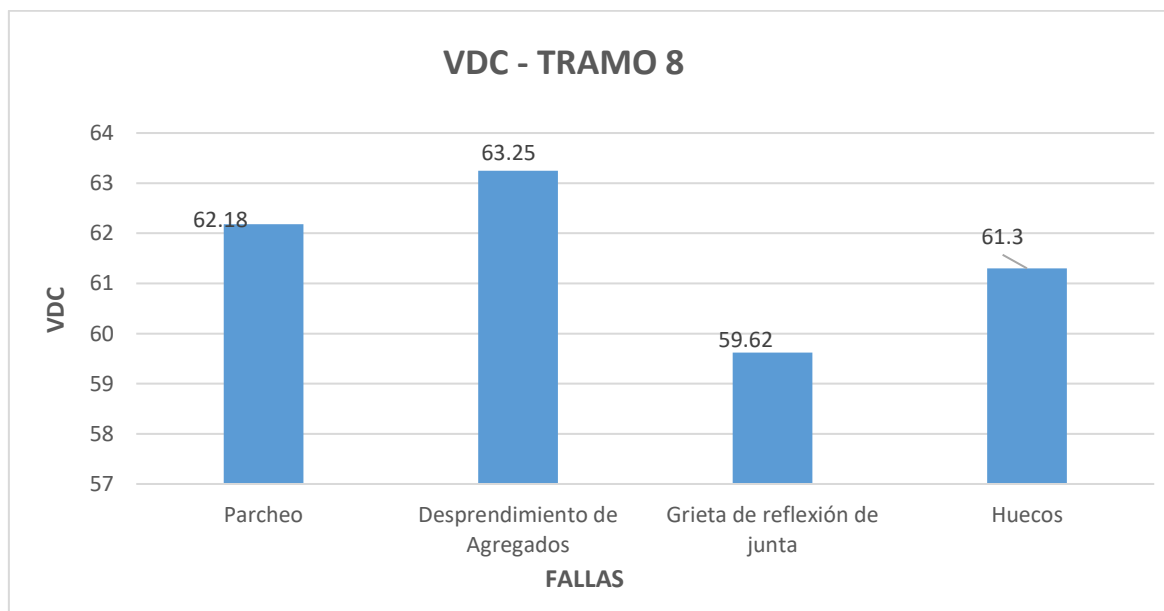
Nivel de condición en tramo 8, 0+991 - 1+027.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Parcheo	62,18	Calificación 37% "MALO"
Desprendimiento de Agregados	63,25	
Grieta de reflexión de junta	59,62	
Huecos	61,3	

El tramo 8 (0+991 a 1+027), donde el parcheo tiene el mayor valor con 62.18. El desprendimiento de agregados, grieta de reflexión de junta y huecos presentan valores similares entre 59.62 y 63.25. El PCI indica una condición superficial calificada como "malo" con un valor del 37%.

Figura 13

Valor deducido en el tramo 8.



Los valores deducidos corregidos (VDC) en el tramo 8, donde el desprendimiento de agregados presenta el valor más alto con 63.25, seguido por el parcheo (62.18), huecos (61.3) y grieta de reflexión de junta (59.62).

Tabla 23

Nivel de condición en tramo 9, 1+133 - 1+168.

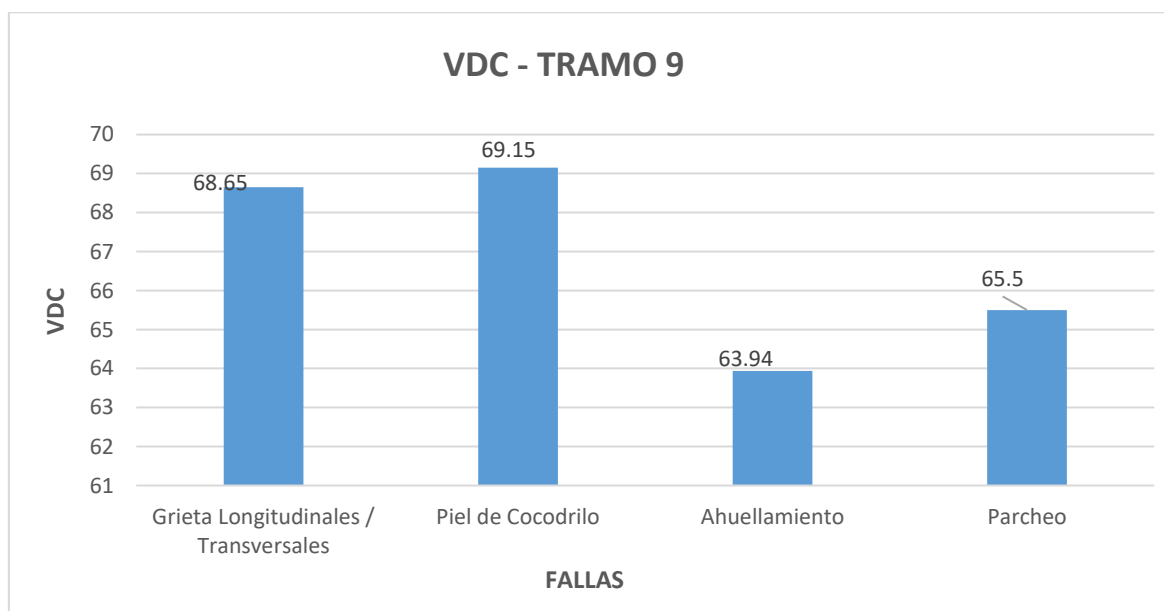
Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Grieta Longitudinales / Transversales	68,65	Calificación 31% "MALO"
Piel de Cocodrilo	69,15	
Ahuellamiento	63,94	
Parcheo	65,5	

El tramo 9 (1+133 a 1+168), donde la piel de cocodrilo presenta el mayor valor con 69.15.

Le siguen las grietas longitudinales/transversales, ahuellamiento y parcheo con valores entre 63.94 y 68.65. El PCI indica una condición superficial calificada como "malo" con un valor del 31%.

Figura 14

Valor deducido en el tramo 9.



Los valores deducidos corregidos (VDC) en el tramo 9, con la piel de cocodrilo como la falla más significativa con 69.15. Le siguen las grietas longitudinales/transversales (68.65), el parcheo (65.5) y el ahuellamiento (63.94).

Tabla 24

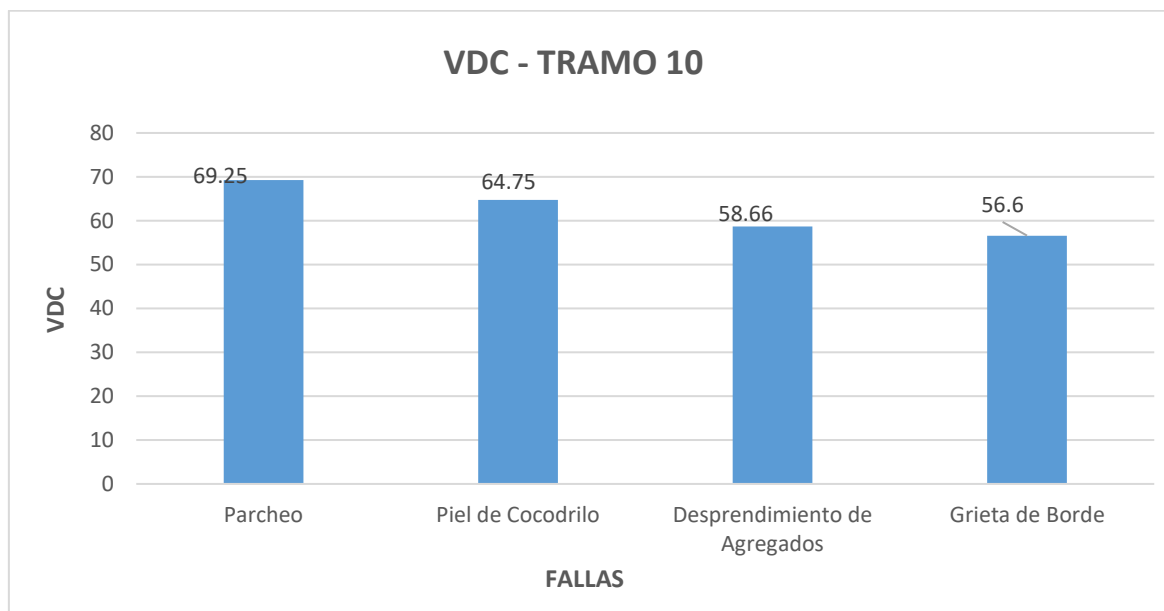
Nivel de condición en tramo 10, 1+274 - 1+310.

Tipo de daños	Valor deducido corregido	PCI
Parcheo	69,25	Calificación 31% "MALO"
Piel de Cocodrilo	64,75	
Desprendimiento de Agregados	58,66	
Grieta de Borde	56,6	

El tramo 10 (1+274 a 1+310), destacando el parcheo con el mayor impacto (69.25). La piel de cocodrilo, desprendimiento de agregados y grieta de borde presentan valores entre 56.6 y 64.75. El PCI indica una condición superficial calificada como "malo" con un valor del 31%.

Figura 15

Valor deducido en el tramo 10.



Los valores deducidos corregidos (VDC) en el tramo 10, con el parcheo como el daño más significativo (69.25), seguido por piel de cocodrilo (64.75), desprendimiento de agregados (58.66) y grieta de borde (56.6).

Tabla 25*Resumen del PCI para los 10 tramos analizados.*

Tramo	PCI	Clasificación	Intervenciones Necesarias
1	0	FALLADO	Reconstrucción total del pavimento.
2	18	MUY MALO	Rehabilitación estructural profunda o reconstrucción parcial.
3	23	MUY MALO	Rehabilitación estructural profunda o reconstrucción parcial.
4	39	MALO	Mantenimiento correctivo: parches profundos y tratamientos superficiales.
5	21	MALO	Mantenimiento correctivo: parches y fresado localizado.
6	18	MUY MALO	Rehabilitación estructural profunda o reconstrucción parcial.
7	17	MUY MALO	Rehabilitación estructural profunda o reconstrucción parcial.
8	37	MALO	Mantenimiento correctivo: parches y tratamientos superficiales.
9	31	MALO	Mantenimiento correctivo: parches y fresado localizado.
10	31	MALO	Mantenimiento correctivo: parches y fresado localizado.

El análisis del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para los 10 tramos evaluados del Jirón Mariano Núñez revela una variabilidad significativa en el estado superficial del pavimento flexible, que se traduce en diferentes necesidades de intervención para cada segmento. Según la clasificación obtenida y conforme a las directrices establecidas en el Manual PCI para pavimentos flexibles, se establecen las siguientes recomendaciones técnicas.

Para el tramo 1, con un PCI de 0, el pavimento se encuentra en estado fallado, indicando un deterioro estructural y funcional severo que obliga a una reconstrucción total del pavimento. Esta intervención consiste en la remoción completa de la estructura afectada y la reposición de las capas que conforman el pavimento, con el fin de restaurar su capacidad portante y funcionalidad.

Los tramos 2, 3, 6 y 7, que presentan un PCI entre 17 y 23, son clasificados como muy malos. En estos casos, la recomendación técnica apunta a una rehabilitación estructural profunda o reconstrucción parcial, que puede incluir procesos como fresado de las capas dañadas, reciclado en frío, estabilización del subsuelo, y aplicación de

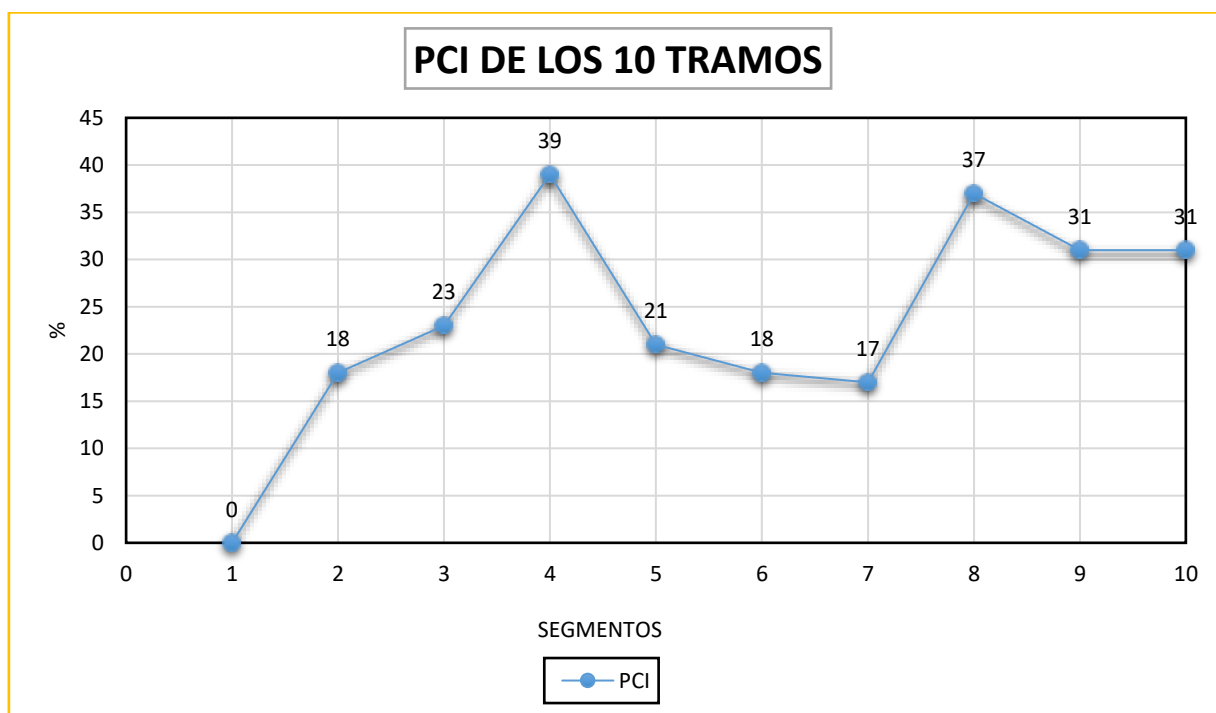
nuevas capas asfálticas. Estas acciones buscan recuperar la integridad estructural y prevenir un deterioro acelerado.

Para los tramos clasificados como malos (tramos 4, 5, 8, 9 y 10), con PCI entre 21 y 39, las intervenciones necesarias corresponden a un mantenimiento correctivo, centrado en la aplicación de parches profundos, fresado localizado y tratamientos superficiales. Estos procedimientos permiten reparar daños puntuales y mejorar la uniformidad de la superficie, prolongando la vida útil del pavimento sin necesidad de una rehabilitación estructural completa.

En conjunto, estas intervenciones reflejan un plan integral de mantenimiento y rehabilitación adaptado a las condiciones específicas de cada tramo, buscando optimizar los recursos y mejorar la transitabilidad, seguridad y durabilidad del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez.

Figura 16

Resumen de la evaluación del PCI para los 10 tramos inspeccionados.



Se observa que algunos tramos presentan PCI por debajo de 40, indicando estados críticos, mientras que otros alcanzan valores superiores a 60, reflejando mejores condiciones estructurales.

4.1.3 Resultados sobre propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible.

1. Generalidades y Diagnóstico

Identificación de la Vía. El estudio se desarrolla en el Jirón Mariano Núñez, ubicado en la ciudad de Juliaca, clasificado funcionalmente como vía urbana local (clase IV según el MTC), destinada principalmente a tránsito vehicular liviano y mixto, con una longitud comprendida entre las progresivas 0+000 y 1+310 m, dividida para su análisis en 10 tramos homogéneos. Esta sectorización permitió aplicar de manera sistemática la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y registrar con precisión las fallas presentes en cada segmento de la calzada.

Inventario Vial Condicional. La vía cuenta con pavimento flexible de una calzada bidireccional, donde se observa un estado superficial deteriorado, caracterizado por presencia de ahuellamientos de severidad media a alta, superficie irregular y parches con desempeño deficiente. Asimismo, se identificaron bermas con desniveles significativos, como el tramo T-6 con un desnivel carril–berma de densidad 7,39%, y sectores con bermas no pavimentadas que presentan pérdida de material y deficiente capacidad de confinamiento lateral del pavimento, lo cual incrementa la vulnerabilidad de la estructura frente a las cargas de tránsito y a la acción del agua.

Evaluación Superficial (Metodología PCI). La condición del pavimento se evaluó mediante inspección visual siguiendo la metodología PCI, registrando tipo de falla, severidad y densidad en cada tramo; los principales daños identificados fueron grietas longitudinales–transversales, huecos, parcheos, piel de cocodrilo, ahuellamientos, desprendimiento de agregados y grietas de borde. Los valores de PCI obtenidos varían entre 0 y 39, clasificando los tramos desde “fallado” (PCI=0 en el tramo 1) hasta “malo” y

“muy malo” en los restantes tramos, con Valores Deducidos Corregidos elevados en fallas críticas como ahuellamiento (99,85 en T-1), parcheo (83,10 en T-7) y piel de cocodrilo (95,67 en T-1), lo que evidencia un estado superficial globalmente deficiente que requiere intervenciones de reconstrucción, rehabilitación estructural y mantenimiento correctivo.

2. Programa de Conservación Rutinaria

El programa de conservación rutinaria se plantea como un conjunto de actividades permanentes, de frecuencia mensual y anual, orientadas a mantener el nivel de servicio y evitar el agravamiento de las fallas identificadas en los tramos con PCI clasificados como “malo” y “muy malo” del Jirón Mariano Núñez. Estas acciones se ejecutan de manera sistemática sobre la calzada, las bermas, el sistema de drenaje y los elementos de señalización, de acuerdo con los lineamientos del MTC para conservación vial rutinaria.

Conservación de Calzada. Comprende el sellado de fisuras longitudinales y transversales de severidad baja y media mediante la aplicación de emulsiones bituminosas o selladores asfálticos en caliente, previo corte y limpieza de las grietas, con el fin de evitar la infiltración de agua que acelera la formación de piel de cocodrilo y huecos. Asimismo, se realiza bacheo superficial y bacheo menor en huecos aislados y parcheos defectuosos utilizando mezcla asfáltica en frío o en caliente, según disponibilidad, siguiendo las especificaciones del EG-2013 para reparación localizada de pavimentos flexibles.

Conservación de Bermas. En los sectores donde se registran desniveles entre carril y berma, como en el tramo T-6 con densidad de 7,39%, se programa la nivelación y recomposición de las bermas mediante aporte de material granular, conformación con motoniveladora y compactación con rodillo vibratorio hasta alcanzar la densidad especificada, garantizando el apoyo lateral adecuado de la calzada. En bermas no pavimentadas, se incluye la reposición de material perdido, el reperfilado y la compactación periódica para reducir la erosión y el arrastre de finos hacia la calzada.

Drenaje y Obras de Arte. Se ejecuta la limpieza rutinaria de cunetas, alcantarillas, zanjales de coronación y badenes, retirando sedimentos, basura y vegetación que puedan obstruir el flujo de agua y provocar encharcamientos sobre la superficie de rodadura. Estas actividades son prioritarias en época de lluvias, ya que la deficiencia de drenaje está asociada al incremento de huecos, desprendimiento de agregados y deterioro acelerado de las capas asfálticas observado en varios tramos del jirón.

Señalización y Seguridad. El programa incluye la inspección y mantenimiento de la señalización vertical (señales reglamentarias, preventivas e informativas) y el repintado periódico de las marcas en el pavimento, tales como líneas de eje, bordes y pasos peatonales, conforme a las normas del MTC. Estas acciones de conservación rutinaria de la señalización buscan mejorar la seguridad vial en un corredor que presenta superficie irregular y zonas con PCI bajo, reduciendo el riesgo de accidentes durante la operación normal y durante las futuras intervenciones de conservación periódica.

3. Programa de Conservación Periódica

El programa de conservación periódica se orienta a recuperar la integridad estructural y superficial de los tramos con PCI entre 0 y 39, priorizando aquellos catalogados como "muy malos" (T-2, T-3, T-6 y T-7) y el tramo "fallado" T-1, donde las intervenciones rutinarias resultan insuficientes para detener el deterioro. Estas acciones se programan en ciclos semestrales, considerando el régimen de precipitaciones de Juliaca y la necesidad de minimizar interferencias con el tránsito urbano.

Tratamientos Superficiales. En los tramos clasificados como "malo" (T-4, T-5, T-8, T-9 y T-10), donde predominan fallas de tipo piel de cocodrilo de severidad media, desprendimiento de agregados y parcheos con densidades moderadas, se plantea la aplicación de tratamientos superficiales tales como slurry seal, micro-pavimentos o sellos bituminosos monocapa o bicapa, de acuerdo con las especificaciones del MTC para conservación periódica de pavimentos flexibles. Estos tratamientos permiten sellar la superficie, mejorar la textura y restaurar la impermeabilidad del pavimento, con costos

unitarios del orden de 50–70 S/ m², resultando apropiados para extender la vida útil de tramos cuyo soporte estructural aún es aprovechable.

Refuerzos Asfálticos. Para los tramos con PCI “muy malo” (T-2, T-3, T-6 y T-7) se propone la colocación de una carpeta asfáltica de refuerzo (recapeo) de 5 a 7 cm de espesor, previa ejecución de fresado localizado o profundo, bacheo estructural y recomposición de base en zonas con ahuellamientos, huecos profundos y desprendimiento severo de agregados, siguiendo la metodología de rehabilitación estructural descrita en tu Capítulo 4 y las Especificaciones EG-2013. En el tramo T-1, con PCI igual a 0 y condición “fallado”, el programa de conservación periódica se complementa con una reconstrucción total del pavimento (remoción del paquete existente, nueva subbase, base y carpeta asfáltica), que si bien constituye una intervención de mayor envergadura, se integra al plan como acción necesaria para restituir la capacidad portante y la funcionalidad del corredor urbano.

4. Especificaciones Técnicas y Metodología

Marco Normativo. El diseño del plan de mantenimiento y las intervenciones propuestas para el Jirón Mariano Núñez se sustentan en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), que establecen los criterios de diseño, construcción y conservación de pavimentos flexibles en el Perú. De manera complementaria se consideran el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, así como el Manual 7 SGGP-2014 para la inspección visual de pavimentos, que definen los procedimientos para la identificación de fallas, evaluación del estado superficial y uso del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en vías urbanas y carreteras.

Control de Calidad. Para garantizar la eficacia de las actividades de reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento propuestas, se contemplan ensayos de control de calidad tanto en laboratorio como en campo, de acuerdo con las normas del

MTC y estándares ASTM. En las capas granulares de subbase y base se realizan ensayos de CBR, granulometría, límites de consistencia y densidad in situ (Proctor Modificado), conforme al Ítem 200 de las EG-2013, mientras que en las mezclas asfálticas de refuerzo o reconstrucción se ejecutan ensayos de estabilidad y flujo Marshall, contenido de ligante y vacíos, junto con mediciones de deflexiones con viga Benkelman y, cuando corresponda, índices de rugosidad internacional (IRI) en campo, a fin de verificar que el pavimento rehabilitado alcance la capacidad estructural y el nivel de servicio requeridos en el corredor urbano evaluado.

5. Programación y Presupuesto

Cronograma de Ejecución. La ejecución del plan de mantenimiento del Jirón Mariano Núñez se propone para el periodo enero–marzo de 2026, antes del pico de precipitaciones, a fin de aprovechar mejores condiciones de humedad y temperatura para las mezclas asfálticas y minimizar interrupciones al tránsito urbano. En las semanas 1 y 2 se desarrollan las actividades de conservación rutinaria (sellado de fisuras, bacheo superficial y limpieza de drenaje) en todos los tramos; entre las semanas 3 y 8 se ejecutan las intervenciones de conservación periódica y rehabilitación estructural en los tramos más críticos (T-1 al T-7), y de la semana 9 a la 12 se realizan las acciones de mantenimiento correctivo en los tramos T-8, T-9 y T-10, complementadas con la restitución de señalización horizontal y vertical; adicionalmente, se programa un monitoreo anual post-ejecución para verificar el comportamiento del pavimento y actualizar el PCI.

Presupuesto Detallado. El presupuesto se elabora a partir de análisis de costos unitarios basados en los rendimientos y precios de referencia del MTC, considerando partidas diferenciadas para reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento correctivo. Para el tramo T-1 (longitud aproximada de 35 m), donde se plantea la reconstrucción total, se estima un costo del orden de S/ 250 por m², lo que para un área cercana a 2 100 m² representa alrededor de S/ 525 000; para los tramos T-2, T-3, T-6 y T-7, con

rehabilitación estructural mediante fresado, bacheo profundo y recapeo asfáltico, se considera un costo medio de S/ 150 por m² para un área conjunta aproximada de 2 000 m², equivalente a S/ 300 000; finalmente, para los tramos T-4, T-5, T-8, T-9 y T-10, donde predominan intervenciones de mantenimiento correctivo y tratamientos superficiales, el costo estimado es de S/ 60 por m² sobre un área aproximada de 2 500 m², alcanzando S/ 150 000. El costo total referencial del plan de mantenimiento se aproxima así a S/ 975 000, valor que deberá ajustarse en la etapa de formulación del proyecto en función de los metrados definitivos, los precios vigentes en el Sistema Nacional de Inversión Pública y los análisis de precios unitarios oficiales del MTC.

6. Planes Complementarios

Plan de Seguridad Vial y Desvíos. Durante la ejecución del plan de mantenimiento del Jirón Mariano Núñez se implementará un esquema de seguridad vial temporal que contemple la señalización según las Especificaciones Técnicas Generales del MTC, Ítem 600, incluyendo conos, vallas, paneles informativos y dispositivos luminosos en horario nocturno. Para las etapas de rehabilitación y reconstrucción se dispondrán banderilleros y se establecerán desvíos unidireccionales por tramo, con pasos alternados y controlados, a fin de mantener la continuidad del tránsito, reducir el riesgo de accidentes y proteger a los trabajadores en zonas con PCI muy bajo y superficie irregular.

Plan de Manejo Socio-Ambiental. Los residuos generados por el fresado de la carpeta asfáltica, demolición de capas y material de excavación serán acopiados y transportados a un botadero autorizado por la municipalidad, evaluando la posibilidad de reutilización del material fresado en bases estabilizadas cuando sea técnicamente viable. Se programarán riegos de agua periódicos para el control de polvo en calzada y bermas, así como la restricción de actividades ruidosas a horarios diurnos, cumpliendo los límites establecidos en la norma de niveles de ruido ambiental DS 074-2001-PCM, con el objetivo de minimizar impactos sobre la población aledaña al corredor urbano intervenido.

PROCEDIMIENTO DE RECONSTRUCCIÓN TOTAL

La reconstrucción total se aplica al tramo con $PCI = 0$ (estado fallado), donde la estructura del pavimento ha perdido su capacidad funcional y estructural, por lo que se retira todo el paquete existente y se construye uno nuevo desde la subrasante.

Factibilidad.

- $PCI = 0$ hace ineficiente cualquier mantenimiento superficial o correctivo; se requiere reposición completa del paquete estructural.
- Existe disponibilidad local de materiales pétreos y plantas de asfalto, lo que reduce costos de transporte y plazos de obra.
- Se cuenta con contratistas, personal especializado y maquinaria adecuada para pavimentos flexibles.

Recursos principales.

- Maquinaria: retroexcavadora, fresadora, volquetes, motoniveladora, rodillos (liso, neumático, pata de cabra), cisterna, planta de asfalto, pavimentadora y equipo menor de señalización y compactación.
- Materiales: granulares para subrasante, subbase y base; mezcla asfáltica en caliente; emulsiones para imprimación y liga; agua y materiales de señalización.
- Personal: ingeniero residente, técnico de laboratorio, topógrafo, capataz, operadores de maquinaria, cuadrilla de obreros y personal de seguridad vial.

Etapas constructivas.

1. Delimitación, señalización y demolición: definir el tramo, instalar señalización y desvíos, demoler carpeta, base y subbase hasta subrasante estable y evacuar escombros a botadero autorizado.
2. Subrasante: retirar suelos inadecuados, conformar rasante y pendientes, ajustar humedad y compactar al 95% Proctor Modificado.
3. Subbase y base granular: extender en capas de 15–20 cm, controlar granulometría y humedad, compactar al 95% Proctor y dejar superficie uniforme con correcta pendiente transversal.

4. Carpeta asfáltica: limpiar base, aplicar imprimación y liga, extender mezcla asfáltica al espesor de diseño y compactar con rodillos (estático, neumático y vibratorio).
5. Acabados y control: verificar espesores y densidades, revisar pendientes y regularidad, limpiar la vía, retirar señalización de obra y habilitar el tránsito cuando se cumplan los parámetros de calidad.

Procedimiento De Rehabilitación Estructural

La rehabilitación estructural se aplica en tramos con PCI muy malo o malo severo, donde el pavimento presenta deterioro importante pero aún es posible aprovechar parte del paquete mediante fresado, reciclado o refuerzo con nueva carpeta asfáltica.

Factibilidad.

- Daños como ahuellamientos, piel de cocodrilo, huecos y desprendimiento de agregados vuelven insuficiente el mantenimiento superficial, pero no justifican aún la reconstrucción total.
- Permite reducir costos frente a la reconstrucción, aprovechando capas existentes y usando fresado, reciclado y sobrecarpetas.
- Hay disponibilidad local de equipos de fresado, compactación y planta de asfalto, así como personal especializado.

Recursos principales.

- Maquinaria: fresadora, retroexcavadora puntual, motoniveladora, volquetes, rodillos, planta de asfalto, cisterna y equipo menor.
- Materiales: granulares para refuerzo de base, mezcla asfáltica para sobrecarpeta y bacheo profundo, emulsiones para riegos de liga y, de ser necesario, ligantes (cal, cemento) para estabilización.
- Personal: ingeniero/supervisor, técnico de laboratorio, topógrafo, capataz, operadores y cuadrilla de obreros, más personal de seguridad y señalización.

Etapas constructivas.

1. Delimitación y diagnóstico: definir tramos a rehabilitar según PCI y tipo de falla, instalar señalización y desvíos, y clasificar zonas para fresado con sobrecarpeta, reconstrucción parcial de base y bacheo profundo.
2. Fresado o retiro de carpeta: fresar la carpeta a la profundidad de diseño; en daños severos retirar carpeta y parte de base, y limpiar la superficie.
3. Rehabilitación de base: retirar material defectuoso, reponer y compactar material granular, estabilizar cuando corresponda y conformar la base con pendientes y rasante de proyecto.
4. Bacheo profundo: cortar en marcos regulares, retirar material dañado, reponer base si es necesario y rellenar con mezcla asfáltica compactada por capas.
5. Sobrecarpeta asfáltica: limpiar, aplicar riego de liga, extender la carpeta de refuerzo con pavimentadora y compactar con rodillos hasta densidad y vacíos especificados.
6. Terminación: sellar grietas residuales, corregir pequeñas transiciones, restituir bermas y drenaje, renovar señalización horizontal y vertical y habilitar el tramo al tránsito tras verificar calidad (densidad, espesores, textura, regularidad).

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo se aplica a tramos con PCI malo, donde la estructura aún es recuperable mediante intervenciones localizadas (bacheo profundo, parcheo, sellado de grietas, corrección de ahuellamientos moderados y tratamientos superficiales).

Factibilidad.

- El deterioro (huecos, grietas, desprendimiento de agregados, ahuellamiento moderado, parches deteriorados) puede corregirse puntualmente sin reemplazar todo el paquete estructural.
- Estas técnicas son de rápida ejecución, menor costo e impacto, y permiten mantener parcialmente la transitabilidad.
- Existen cuadrillas de conservación, equipo liviano y disponibilidad de mezcla asfáltica en la zona.

Recursos principales.

- Maquinaria: cortadora de pavimento, compresor de aire, compactadores manuales y planchas vibratorias, rodillo pequeño, volquetes ligeros, cisterna para riego y equipo de aplicación de emulsión.
- Materiales: mezcla asfáltica caliente o fría, emulsiones para liga y sellado, material granular para relleno de baches, lechadas o microcarpetas y elementos de señalización.
- Personal: técnico de conservación, capataz, operadores de equipos menores, obreros para bacheo y sellado y personal de señalización y control de tránsito.

Etapas constructivas.

1. Delimitación y señalización: identificar y priorizar zonas a intervenir, organizar frentes de trabajo manteniendo un carril operativo e instalar señalización y pasos alternados.
2. Bacheo y parcheo: cortar sobre pavimento sano, retirar material deteriorado, reponer base si es necesario, aplicar riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactar hasta nivelar con la calzada.
3. Sellado de grietas: limpiar y, si hace falta, abrir ligeramente grietas; aplicar sellador bituminoso y alisar la superficie para evitar rebordes.
4. Tratamientos superficiales: en zonas con desprendimiento de agregados o pulimento, limpiar, aplicar emulsión y ejecutar riegos de sello, lechadas o microcarpetas según diseño y tiempos de curado.
5. Corrección de ahuellamientos moderados: fresar o escarificar, rellenar con mezcla asfáltica y compactar restituyendo rasante y escurrimiento.
6. Obras complementarias: limpiar drenaje próximo, restituir marcas viales y retirar señalización temporal, dejando la vía en condiciones seguras de operación.

Presupuesto Referencial por Tipo Intervención

Costos incluyen materiales (60%), mano de obra/maquinaria (30%), indirectos/utilidades (10%), IGV 18%. Total, estimado: S/ 1,248,500 (viable para Municipalidad Provincial de San Román).

Tabla 26

Presupuesto referencial

Tramo(s)	Tipo Intervención	Longitud (m)	Superficie (m ²)	Volumen Principal	Costo Unitario (S/m ²)	Costo Total (S/)
T1 (0000-0035)	Reconstrucción Total (subrasante+subbase 20cm+base 15cm+carpeta 8cm)	35	245	18 m ³ mix asfáltica	850	208,250
T2, T3, T6, T7 (total 140m)	Rehabilitación Estructural (fresado 10cm+sobrecarga 6cm+estabilización base)	140	980	72 m ³ mix asfáltica	650	637,000
T4, T5, T8, T9, T10 (total 175m)	Mantenimiento Correctivo (bacheo 20% área+fresado local+sellado grietas)	175	1,225	15 m ³ mix asfáltica	320	392,000
TOTAL	Plan Integral	350	2,450	105 m ³ mix	Promedio 509	1,237,250

Se presenta el presupuesto referencial por tipo de intervención en un proyecto vial, detallando los costos asociados a la reconstrucción total, rehabilitación estructural y mantenimiento correctivo de tramos específicos. El presupuesto incluye materiales (60%), mano de obra/maquinaria (30%), indirectos/utilidades (10%) e IGV (18%). El costo

total estimado es de S/ 1,248,500 para la Municipalidad Provincial de San Román, con un costo promedio de S/ 503.93 por metro cuadrado.

Tabla 27*Detalle Costos Unitarios Clave*

Ítem	Descripción	Unidad	Precio Unit. (S/)	Fuente
Mezcla asfáltica caliente	Agregado+ligante CA 85/100	m ³	1,200	Petroperú/Repsol
Grava/base granular	Material pétreo zona Puno	m ³	85	Proveedores locales
Fresadora pavimento	Alquiler 8h/día	h	2,800	SERVITRAN
Retroexcavadora	Alquiler + operador	h	350	Municipalidades Puno
Mano obra calificada	Jornalista/obrero especializado	jrn	120	MTC Tablas
Riego imprimación	Emulsión asfáltica	m ²	8	Análisis PU

Se muestra los costos unitarios de diversos ítems clave para un proyecto vial, como la mezcla asfáltica caliente, grava/base granular, fresadora de pavimento, retroexcavadora, mano de obra calificada y riego imprimación. Los precios unitarios están expresados en soles y varían según el tipo de material o servicio, con fuentes de información como Petroperú/Repsol, SERVITRAN, y MTC Tablas.

4.2 Discusión de resultados.

1. Comparación de resultados con estudios previos

Al analizar los resultados, se observa que la totalidad del tramo evaluado presenta un PCI menor a 40, lo que implica que la vía está en condiciones “malas”, “muy malas” o incluso “falladas”, como es el caso del tramo 1 (PCI = 0). Este dato es alarmante, ya que indica que no existe un solo tramo que cumpla con los criterios técnicos mínimos de conservación para vías urbanas en buen estado. Esto contrasta de forma significativa con el estudio realizado por Margas (2019), quien evaluó la condición

de una carretera interurbana aplicando el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) con el equipo Merlin.

En su investigación, Margas identificó que la vía mantenía un nivel de serviciabilidad “aceptable” en el año 2014 y “bueno” en 2018, a pesar del uso continuo. Esto se debió a una estrategia de monitoreo periódico y mantenimiento progresivo. En contraste, el Jirón Mariano Núñez muestra síntomas de abandono en la gestión de conservación, lo cual es evidente en la alta incidencia de fallas como piel de cocodrilo, huecos, ahuellamiento, grietas longitudinales/transversales, parcheo y desprendimiento de agregados, muchas de ellas con severidad alta. Esta diferencia evidencia claramente el impacto positivo de aplicar un mantenimiento preventivo y una política técnica de seguimiento, como se propone también en el presente trabajo.

Aun considerando que Margas utilizó una metodología distinta basada en el confort de rodadura (IRI) y que esta investigación se enfocó en el tipo, severidad y porcentaje de fallas (PCI), ambos estudios coinciden en la importancia del monitoreo sistemático y la conservación programada para mantener una infraestructura vial eficiente. La experiencia de Margas demuestra que es posible mantener vías funcionales en el tiempo, mientras que el caso del Jirón Mariano Núñez refleja el deterioro progresivo ante la ausencia de medidas de conservación sostenida.

2. Coincidencias técnicas con estudios similares

Por otro lado, esta investigación guarda una relación directa y más precisa con el estudio de Naider (2021), quien también utilizó la metodología del PCI en una vía urbana de Juliaca: la Avenida Circunvalación Noroeste. En ese caso, se identificó un PCI promedio de 31 puntos, clasificación que coincide con varios tramos del Jirón Mariano Núñez, y que se considera como “malo” o “deficiente”. Sin embargo, Naider fue más allá al complementar el análisis superficial con pruebas destructivas mediante calicatas y ensayos de laboratorio, encontrando problemas graves en la base del pavimento.

Las muestras analizadas por Naider revelaron que los índices CBR eran inferiores al 100%, e incluso una de las calicatas presentó un valor de 70%, lo que indica baja capacidad portante. También se encontraron índices de plasticidad elevados y granulometría fuera de los rangos técnicos recomendados, confirmando que los materiales de la base eran inadecuados. Si bien en el presente estudio no se realizaron ensayos de laboratorio ni calicatas, los tipos de fallas identificadas —especialmente piel de cocodrilo, grietas extensivas y hundimientos o deformaciones— son indicios claros de problemas estructurales en la base o subbase del pavimento.

Esta coincidencia refuerza la hipótesis de que el deterioro del Jirón Mariano Núñez no es solo superficial, sino que puede tener origen en fallas estructurales profundas. Así como Naider recomendó el reemplazo completo de la carpeta asfáltica, y en algunos casos de la base granular, los resultados del presente estudio han llevado a proponer acciones de reconstrucción total en el tramo 1, y rehabilitación estructural profunda en los tramos 2, 3, 6 y 7.

3. Análisis integral de resultados obtenidos

La distribución de fallas en los distintos tramos del Jirón Mariano Núñez evidencia que cada segmento requiere una estrategia de intervención diferenciada. La piel de cocodrilo aparece como la patología de mayor incidencia, especialmente en los tramos 1, 4, 9 y 10, lo cual indica fatiga estructural avanzada. Los parcheos y huecos se repiten con frecuencia, pero su alta severidad y extensión revelan que se trata de soluciones ineficaces aplicadas sin criterios técnicos.

Otros deterioros como el ahuellamiento y el desprendimiento de agregados sugieren problemas en la resistencia a deformaciones plásticas, posiblemente asociadas a deficiente compactación o exceso de humedad en capas inferiores. Las grietas longitudinales y transversales, presentes en casi todos los tramos, muestran un proceso generalizado de agrietamiento térmico y estructural.

En este sentido, el plan de mantenimiento propuesto no solo responde al estado actual de cada tramo, sino que establece una hoja de ruta para aplicar soluciones específicas, eficientes y sostenibles:

- Tramo 1 → Reconstrucción total del pavimento.
- Tramos 2, 3, 6 y 7 → Rehabilitación estructural profunda, con fresado, estabilización de base y nueva carpeta.
- Tramos 4, 5, 8, 9 y 10 → Mantenimiento correctivo localizado, con parches, fresado superficial y tratamientos superficiales.
- Además, para toda la vía → Mantenimiento preventivo periódico, incluyendo inspección semestral, sellado de fisuras, limpieza de drenaje y aplicación de microaglomerados.

4. Implicancias para la gestión vial urbana

Este estudio pone en evidencia la urgente necesidad de planificación técnica en la gestión de pavimentos urbanos en Juliaca. La inexistencia de registros técnicos históricos, la falta de mantenimiento preventivo, y la ausencia de inspecciones periódicas han generado una crisis de deterioro acumulado en la vía estudiada. Los resultados también demuestran que los métodos técnicos como el PCI no solo permiten diagnosticar con precisión el estado del pavimento, sino que son herramientas fundamentales para priorizar inversiones, optimizar recursos y tomar decisiones eficientes.



CONCLUSIONES

General. Se evaluaron 10 tramos del Jirón Mariano Núñez, obteniéndose valores de PCI entre 0 y 39. El 100% de la vía presenta deterioro significativo. El pavimento se clasifica como fallado, muy malo o malo. Se propuso un plan técnico de mantenimiento según la condición real de cada tramo.

Primera. Las fallas más frecuentes fueron la piel de cocodrilo (10.26%), grieta de borde (13.04%), parcheo (hasta 14.34%) y grietas longitudinales/transversales (hasta 10.43%). Estas se presentaron con severidades altas y medias en todos los tramos. La densidad de fallas evidencia deterioro superficial generalizado.

Segunda. El PCI más bajo fue 0 (tramo 1) y el más alto 39 (tramo 4), sin tramos en estado aceptable. 1 tramo fue clasificado como fallado, 4 como muy malos (PCI entre 17–23) y 5 como malos (PCI entre 21–39). Esto indica un nivel de serviciabilidad crítico en toda la vía.

Tercera. Se planteó un plan de mantenimiento: reconstrucción total para el tramo 1 (PCI=0); rehabilitación estructural en tramos 2, 3, 6 y 7 (PCI entre 17–23); y mantenimiento correctivo para los demás. Estas intervenciones se definen con base en la severidad, tipo de falla y PCI.

RECOMENDACIONES

Primera. Se recomienda que futuras investigaciones repliquen este tipo de estudios en otros sectores urbanos de Juliaca. Esto permitirá generar un diagnóstico comparativo y proponer una política de conservación vial más amplia. Además, se sugiere implementar un sistema de gestión vial municipal. Esto facilitará priorizar intervenciones según datos técnicos reales.

Segunda. Futuras investigaciones podrían ampliar el análisis de fallas incorporando variables como tránsito vehicular, tipo de suelo y clima. Esto permitiría correlacionar la aparición de fallas con factores externos. También se recomienda realizar evaluaciones

en periodos distintos del año. Así se analizará el comportamiento estacional del pavimento.

Tercera. Se sugiere complementar el método PCI con tecnologías como IRI o GPR, para tener una evaluación más completa del estado del pavimento. Asimismo, futuras investigaciones pueden incluir análisis de capas estructurales, no solo superficiales. Esto ayudaría a precisar mejor el nivel real de deterioro.

Cuarta. Futuros estudios deberían incorporar análisis costo-beneficio por tipo de intervención (correctivo, preventivo, estructural). Esto permitiría proponer planes de mantenimiento más eficientes económicamente. También se recomienda evaluar la sostenibilidad de los materiales propuestos. Así se favorecerá una infraestructura vial más duradera y económica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Apaza Porto, H. N. (2021). Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pci para mejoramiento de la avenida circulación noroeste, Juliaca-2021. Juliaca: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58818>
- Aquino Apestegui, H. N., & Miranda Obregón, B. S. (2021). Estabilización de pista no pavimentada usando PET reciclado... Ancash: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/72984>
- Arenas Prado, G. S., & Rosas Casa, L. (2019). Mejoramiento de las propiedades mecánicas... Pasco: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58239>



- Balcells, J. (2018). La investigación social: introducción a los métodos y técnicas. Escuela Superior de Relaciones Públicas, PPU.
- Baque-Solis, B. S. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI... Manta, Ecuador: DIALNET. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>
- Callme Chivigorri, C. M., & Torres Banda, H. M. (2024). Evaluación superficial y estructural del pavimento flexible... Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8610>
- Campos Requejo, R. (2018). Evaluación superficial aplicando metodología PCI... Amazonas: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37494>
- Carrasco, S. (2018). Metodología de la investigación científica. Lima: San Marcos.
- Ccama Quispe, H. G., & Turpo Arapa, K. Y. (2021). Evaluación superficial del estado del pavimento flexible... Lampa: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65735>
- Chen, Y. (2020). Diseño estructural de pavimentos flexibles: fundamentos y aplicación práctica. Editorial Ingeniería Vial.
- Choque, P. J. (2019). Estudio comparativo del método PCI y el manual de conservación vial MTC... Puno-Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Cordero Garcés, M. O., & Guaranda Mero, B. G. (2017). Analisis comparativo de los metodos Vizir-PCI... JIPIJAPA-UNESUM. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/804>
- Correa, M., & Carpio, L. (2019). Evaluación PCI y propuesta de intervención... Piura: Universidad de Piura.
- Coy Pineda, O. M. (2017). Evaluación superficial de un pavimento flexible... Bogota: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/16508>



- Garcia, L., Hernández, R., & Morales, F. (2023). Gestión moderna del mantenimiento vial... Instituto Latinoamericano de Ingeniería y Transporte.
- Gavilanes Bayas, E. G. (2015). Estabilización y mejoramiento de sub-rasante... Quito: Universidad Internacional del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2191>
- Hernández, R. (2019). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- HERNANDEZ, A., RAMOS, M., PLACENCIA, B., INDACOCHEA, B., QUIMIS, A., & MORENO, L. (2018). Metodologia de la Investigacion Cientifica. Manabi: 3ciencias.
- Kerlinger, F. N. (2021). Investigación del comportamiento (4.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Khan, M., Alvarado, J., & Ruiz, E. (2022). Comportamiento de pavimentos asfálticos... Revista Internacional de Ingeniería Civil, 18(3), 77–89.
- Kumar, A. (2020). Deterioro estructural de pavimentos flexibles... Revista Ingeniería y Transporte, 15(2), 45–60.
- Kumar, A., Tapia, L., & Serrano, J. (2020). Tipos de grietas en pavimentos asfálticos... Ingeniería Civil Hoy, 12(4), 32–41.
- Kumar, R. & (2021). Development of overall pavement condition index... India.
- Malik, S. (2022). Viscoelasticidad del asfalto y diseño de capas... Universidad de Ingeniería Aplicada, Serie Técnica 5(1), 13–28.
- Margas, Q. (2019). Diagnóstico del estado de condición y serviciabilidad... Universidad Peruana Unión.
- Martín, D., & Gómez, C. (2020). Diagnóstico visual para la estructura del pavimento flexible... Universidad Santo Tomas.
- Medina Hostia, S., & Vivanco Ríos, R. W. (2021). Análisis superficial de pavimentos flexibles... Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85697>



- Morales, M. (2021). Diseños de investigación en las ciencias sociales. Fondo Editorial Universitario.
- Naider, A. P. (2021). Evaluación superficial del pavimento flexible por el método pci... Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/58818>
- Oblitas, G. B. (2021). International Evenness Index And Pavement Condition Index... ITECKNE, 18(2).
- Oliveira, R., Sánchez, P., & Torres, V. (2021). Diagnóstico de fallas típicas en pavimentos flexibles urbanos. Revista de Infraestructura Vial, 19(1), 56–70.
- PINO, R. (2018). Metodología de la investigación. Lima: San Marcos.
- Portilla Yandún, F. P., & Celi Yanchapanta, K. A. (2021). [Título no especificado]. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32376>
- Roberth, C. J., Santos, & M., M. E. (2020). Evaluación superficial del pavimento flexible... Universidad Cesar Vallejo.
- Salazar, A. (2019). Evaluación de las patologías del pavimento flexible... Universidad Cesar Vallejo.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. P. B. (2020). Metodología de la investigación (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Sánchez, M. J., Fernández, M., & Díaz, J. C. (2021). Técnicas e instrumentos de recolección de información... Scielo, Uisrael, 8(1), 113-128.
- Shahin, M. Y. (1994). Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots (2nd ed.). Springer.
- Singh, H., Kumar, A., & Varela, D. (2021). Criterios de falla y análisis de mantenimiento... Revista de Ingeniería Civil y Geotecnia, 16(2), 59–73.
- Tapamo, R., López, R., & Valencia, M. (2023). Inspección visual de pavimentos... Centro de Estudios Viales Latinoamericanos.
- Tocas, M. (2021). Formulación de planes de mantenimiento para pavimentos flexibles... Revista Técnica de Infraestructura Urbana, 23(1), 88–102.



- Torres, C. (2021). Mantenimiento correctivo y rehabilitación estructural... Editorial Técnica Andina.
- Vásquez, C. (2002). Manual de pavimentos: diseño, construcción y conservación. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Vásquez Varela, C. (2002). Evaluación de pavimentos mediante PCI y métodos complementarios. Instituto de Investigación de Transporte e Infraestructura.
- Yuni, J., & Urbano, C. (2021). Metodología y Técnicas para Investigar... Brujas. doi:ISBN: 979-8595351294
- Zhang, Y. (2021). Respuesta mecánica de pavimentos flexibles bajo cargas dinámicas. Revista Internacional de Mecánica de Pavimentos, 11(3), 23–39.
- Zhang, Y., Chen, Y., & Malik, S. (2021). Modelos viscoelásticos para análisis estructural de pavimentos asfálticos. Revista Avances en Ingeniería, 25(4), 110–126.
- Calle, H. (2023). Modelo de gestión de conservación vial utilizando el programa HDM-4 en Perú. Repositorio UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12345>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). Gestión de activos viales en Latinoamérica. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Gestion-de-activos-viales.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2025). Perú implementará el uso de tecnologías inteligentes en carreteras para mejorar la seguridad vial. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/2025-03-01-tecnologias-inteligentes-seguridad-vial>
- DGT España. (2025). Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS): Eficiencia y seguridad vial. <https://www.dgt.es/articulo/sistemas-inteligentes-de-transporte-its>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2022). La tecnología impulsa un transporte más seguro. <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/Pages/TransportSecurity.aspx>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2024). Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial (DS N° 034-2008-MTC).



<https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/250742-decreto-supremo-n-034-2008-mtc>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023). Normas vigentes en materia de Infraestructura Vial. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2025). Perú implementará el uso de tecnologías inteligentes en carreteras para mejorar la seguridad vial. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/2025-03-01-tecnologias-inteligentes-seguridad-vial>

ITS Perú. (2025). Sistemas Inteligentes de Transporte Perú: ITS. <https://itsperu.org>

Constructivo. (2025, octubre 28). Pavimentos inteligentes con sensores integrados: el futuro del monitoreo vial. <https://constructivo.com/noticias/pavimentos-inteligentes-con-sensores-integrados-futuro-mantenimiento-vial>

Infobae. (2025, julio 22). Drones de última tecnología llegan a reforzar la seguridad vial en Colombia. <https://infobae.com/colombia/2025/07/22/drones-de-tecnologia-para-seguridad-vial>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). Impulsando la transformación digital del transporte en América Latina. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Impulsando-la-transformacion-digital-del-transporte-en-America-Latina.pdf>

Moraval. (2023). ¿Pavimentos Inteligentes, lo sabías? <https://moraval.com/innovacion-pavimentos-inteligentes-tecnologias-sensores>

Digi. (2025, mayo 29). Ejemplos reales de cómo el IoT controla el tráfico de vehículos. <https://es.digi.com/blog/iot-control-trafico-vehicular>

SICE. (2024, agosto 6). Sistemas inteligentes de tráfico (ITS) para tráfico interurbano. <https://sice.com/noticias/tecnologia/sistemas-inteligentes-trafico-interurbano>

LinkedIn. (2023, diciembre 3). Sensores inteligentes y tecnologías IoT para el diseño de pavimentos. <https://es.linkedin.com/pulse/sensores-inteligentes-tecnolog%C3%ADas-iot-dise%C3%B1o-de-pavimentos>



- Insight Construction. (2024, agosto 31). Integración de RPAS y BIM en la Supervisión de Proyectos de Infraestructura Vial. <https://insight-construction.com/rpas-bim-supervision-infraestructura-vial>
- Pastor, C. (2020). El mantenimiento como herramienta para conseguir infraestructura de alta calidad y durabilidad en América Latina. [Banco Interamericano de Desarrollo]. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/El-mantenimiento-como-herramienta-para-conseguir-infraestructura-de-alta-calidad-y-durabilidad.pdf>
- Tinoco, R. C. (2019). Implementación de estrategias de revisión vehicular y mantenimiento preventivo. Revista Veritas. <https://revistaveritas.org/implementacion-revision-vehicular-mantenimiento-preventivo>
- Moreno, P., & Pastor, C. (2019). Influencia del mantenimiento vial y satisfacción del usuario. Ciencia Latina. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/496>
- Inteligencia Artificial en el mantenimiento predictivo de pavimentos. Revistavial. (2019). <https://revistavial.com/inteligencia-artificial-mantenimiento-predictivo-pavimentos>
- Revistas UNJ (2025). Mantenimiento preventivo en América Latina: Un análisis sectorial. https://revistas.unj.edu.pe/index.php/rev_presupuesto/article/view/120
- Impacto TIC (2024). Mantenimiento predictivo: ¿qué es y cuáles son sus aplicaciones? <https://impactotic.co/mantenimiento-predictivo-aplicaciones/>
- Banco Interamericano de Desarrollo (2020). Impulsando la transformación digital del transporte en América Latina. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Impulsando-la-transformacion-digital-del-transporte-en-America-Latina.pdf>





ANEXOS



Anexo 1. Matriz de Consistencia

TITULO DE TESIS: EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NÚÑEZ JULIACA 2025				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
Problema General: ¿Cuál es el estado superficial mediante inspección visual y propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez Juliaca 2025?	Objetivo General: Evaluar el estado superficial mediante inspección visual y propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez Juliaca 2025.	Hipótesis General: El estado superficial mediante inspección visual y propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez Juliaca 2025, será malo y el plan es un mantenimiento correctivo.	Variable Independiente Condición superficial del pavimento flexible.	Inspección visual, Método PCI (Pavement Condition Index) ASTM D6433
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Dimensiones: •Identificación de fallas •Severidad de fallas •Clasificación del estado. Variable Dependiente <i>Propuesta de alternativas de solución.</i> Dimensiones: - Tipo de mantenimiento	
¿Cuáles son los tipos de fallas y el grado de severidad de mayor incidencia que presenta el pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca? ¿Cuál es el índice de condición superficial del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca? ¿Cuál es la propuesta de plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca?	Identificar los tipos de fallas y el grado de severidad de mayor incidencia que presenta el pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca. Determinar el índice de condición superficial del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca. Proponer un plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca.	Los tipos de fallas y el grado de severidad de mayor incidencia que presenta el pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca, piel de cocodrilo y huecos en severidad alta. El índice de condición superficial del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca, presentará un estado malo. El plan de mantenimiento del pavimento flexible del Jirón Mariano Núñez de la ciudad de Juliaca, es un mantenimiento rutinario con actividades de sello de juntas y correcciones en huecos.		Plan de mantenimiento.



Anexo 2. Certificados de Calidad de Laboratorio



ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA:		UM - 01	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :		0+000
ANCHO DE VIA (m) :		6,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :		0+035
LONGITUD DE MUESTRA (m):		35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :		230,1

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parcheo	PAR	m2
2	Exudación	EXU	m2	12	Pulimento de Agregado	PUL	m2
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m2	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	C/E	m2
5	Corrugación	COG	m2	15	Abusellamiento	AHT	m2
6	Depresión	DPS	m2	16	Desplazamiento	DPT	m2
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabólica	GRP	m2
8	Grieta de reflexión de junta	GJU	m	18	Hinchamiento	HIN	m2
9	Desnivel Carril / Berma	DES	m	19	Desprendimiento de Agregados	DEA	m2
10	Grieta Longitudinales / Transversales	GTR	m				

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

[illegible]

Valor deducido mas alto	76,34
valor deducido menor	9,2
Numero maximo de valores deducidos	4

m	3,17	$m = 1 + (d/50) \cdot (100 - HDV) = 10$
Parte decimal	0,17	
Valor mínimo	0,2	

[illegible]

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	0 %

CONDICION DEL PAVIMENTO:

FALLADO



UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 02	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :	0+142
ANCHO DE VIA (m) :	5,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :	0+177
LONGITUD DE MUESTRA (m):	35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2):	230,1

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

TOTAL VD	138,45
----------	--------

m	3,18
Parte decimal	0,18
Valor mínimo	10,99

$$\Gamma_{\text{eff}} = 1 + (2/3)(1/100 - \text{HCV}) \approx 1.0$$

MAX VDC	82
---------	----

PCI	=	$100 - (\text{MaxVDC} \div \text{Total VD})$
PCI	=	18 %

MUY MALO



UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 03	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :	0+283
ANCHO DE VIA (m) :	5,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :	0+319
LONGITUD DE MUESTRA (m):	35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :	230,1

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

TOTAL VD	78,72
----------	-------

$m = 1 + (3/86) (100 - HDV) \approx 10$

RANGOS DE CAL

Rango
100 - 85
85 - 70
70 - 55
55 - 40
40 - 25
25 - 10
10 - 0

	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ M ₂ M ₁
--	---------------	---

PCI	=	$100 - (\text{MaxVDC} \div \text{Total VD})$
PCI	=	23 %

MUY MALO



UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 04	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :	0+425
ANCHO DE VIA (m) :	6,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :	0+460
LONGITUD DE MUESTRA (m):	35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :	230,1

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

Valor deducido mas alto	42,75
valor deducido menor	3,11
Numero maximo de valores deducidos	4

[illegible]

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	39 %

MALO



ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 05	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :	0+566
ANCHO DE VIA (m) :	6,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :	0+602
LONGITUD DE MUESTRA (m):	35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :	230,1

LONGITUD DE MUESTRA (m):				ÁREA DE LA MUESTRA (m²):			
35,4				2,001			
Nº	TIPO DE FALLA	COD	UNID	Nº	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parcheo	PAR	m2
2	Exudación	EXU	m2	12	Pulmiento de Agregado	PUL	m2
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m2	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	CFE	m2
5	Corrugación	COG	m2	15	Ahuellamiento	AHT	m2
6	Depresión	DPS	m2	16	Desplazamiento	DPT	m2
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabólica	GRP	m2
8	Grieta de reflexión de junta	GJU	m	18	Hinchamiento	HIN	m2
9	Desnivel Carril / Berma	DES	m	19	Desprendimiento de Agregados	DEA	m2
10	Grieta Longitudinales / Transversales	GTR	m				

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

[illegible]
$$m = 1 + (3/98) (100 - \text{HCV}) \approx 1.0$$
[illegible]

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	21 %

CONDICION DEL PAVIMENTO:

MALO



UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 06	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :	0+708
ANCHO DE VIA (m) :	6,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :	0+743
LONGITUD DE MUESTRA (m):	36,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :	230,1

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

Valor deducido mas alto	76,26
valor deducido menor	3,23
Numero maximo de valores deducidos	4

[illegible]

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	18 %

MUY MALO



UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 07	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :	0+850
ANCHO DE VIA (m) :	6,8	FIN DE PROGRESIVA (KM) :	0+885
LONGITUD DE MUESTRA (m):	35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :	230,1

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

Valor deducido mas alto	61,46
valor deducido menor	3,36
Numero maximo de valores deducidos	4

[illegible]

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	17 %

MUY MALO



ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 08	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :	0+991
ANCHO DE VIA (m) :	5,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :	1+027
LONGITUD DE MUESTRA (m):	35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :	230,1

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parcheo	PAR	m2
2	Exudación	EXU	m2	12	Pulimento de Agregado	PUL	m2
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m2	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	CFE	m2
5	Corrugación	COG	m2	15	Ahuellamiento	AHT	m2
6	Depresión	DPS	m2	16	Desplazamiento	DPT	m2
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabólica	GRP	m2
8	Grieta de reflexión de junta	GJU	m	18	Hinchamiento	HIN	m2
9	Desnivel Carril / Berma	DES	m	19	Desprendimiento de Agregados	DEA	m2
10	Grieta Longitudinales / Transversales	GTR	m				

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

[illegible]

Valor deducido mas alto	55,28
valor deducido menor	11,74
Numero maximo de valores deducidos	4

m	5,11	$m = 1 + (9/96) (100 - HDV) = 10$
Parte decimal	0,11	
Valor mínimo	11,74	

[illegible]

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	37 %

CONDICION DEL PAVIMENTO:

MALO

PROYECTO:	EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN MARIANO NÚÑEZ JULIACA 2025
EVALUADOR:	Bach. JOSE LUIS MAMANI CANAZA
MUESTRA:	VIA JIRÓN MARIANO NÚÑEZ - JULIACA
FECHA:	4 DE JULIO DEL 2025



ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA:		UM - 09	INICIO DE PROGRESIVA (KM) :		1+133
ANCHO DE VÍA (m) :		6,5	FIN DE PROGRESIVA (KM) :		1+166
LONGITUD DE MUESTRA (m):		35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2) :		230,1

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parcheo	PAR	m2
2	Exudación	EXU	m2	12	Pulimiento de Agregado	PUL	m2
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m2	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	CFE	m2
5	Corrugación	COG	m2	15	Ahuellamiento	AHT	m2
6	Depresión	DPS	m2	16	Desplazamiento	DPT	m2
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabólica	GRP	m2
8	Grieta de reflexión de junta	GJU	m	18	Hinchamiento	HIN	m2
9	Desnivel Carril / Balsa	DES	m	19	Desprendimiento de Agregados	DEA	m2
10	Grieta Longitudinales / Transversales	GTR	m				

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

[illegible]

Valor deducido mas alto	59,5
valor deducido menor	3,18
Numero maximo de valores deducidos	4

m	4,72	$m = 1 + (999 / (100 - HDV)) \leq 10$
Parte decimal	0,72	
Valor mínimo	3,98	

[illegible]

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCD)

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	31 %

CONDICION DEL PAVIMENTO:

MALO



UNIDAD DE MUESTRA:	UM - 10	INICIO DE PROGRESIVA (KM):	1+274
ANCHO DE VIA (m):	6,5	FIN DE PROGRESIVA (KM):	1+310
LONGITUD DE MUESTRA (m):	35,4	AREA DE LA UNIDAD (m2):	230,1

NIVEL DE SEVERIDAD	BAJA	MEDIA	ALTA
	(LOW)	(MEDIUM)	(HIGH)
	L	M	H

Valor deducido mas alto	50,64
valor deducido menor	3,11
Numero maximo de valores deducidos	4

m	5,53
Parte decimal	0,53
Valor mínimo	3,11

$$\pi = 1 + (3/98) (100 - HDV) = 1.306$$

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	31 %

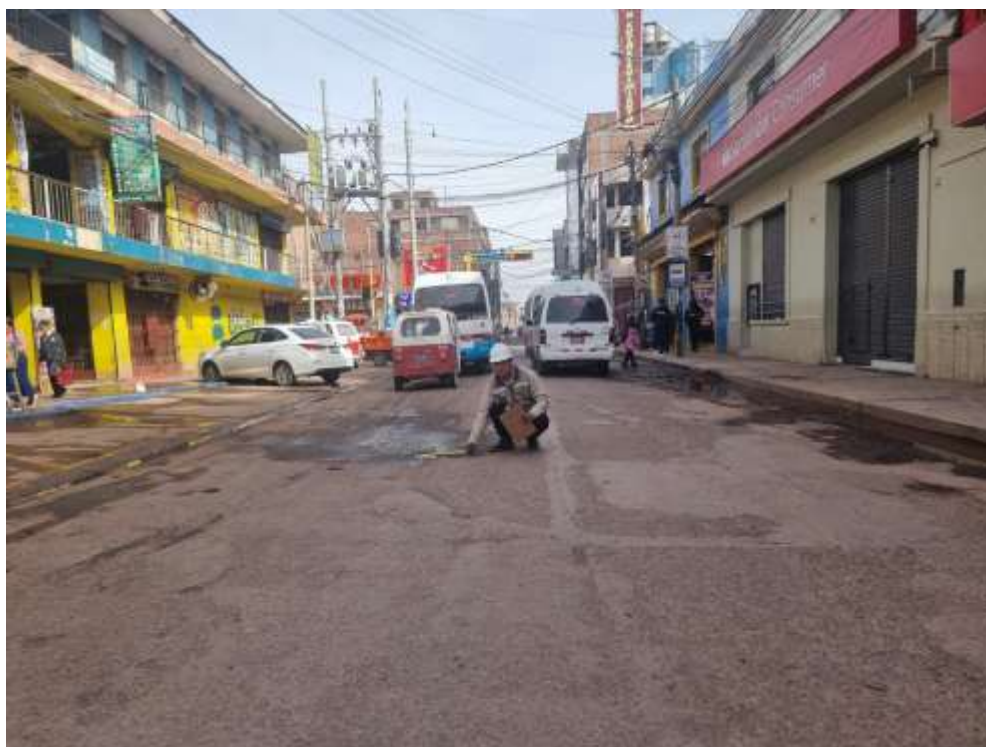
CONDICION DEL PAVIMENTO:

MALO



Anexo 3. Panel fotográfico

Fotografía N° 1. Falla ubicada en el segmento 1.



Fotografía N° 2. Falla ubicada en el segmento 2.



Fotografía N° 3. Falla ubicada en el segmento 3.



Fotografía N° 4. Falla ubicada en el segmento 4.



Fotografía N° 5. Falla ubicada en el segmento 5.



Fotografía N° 6. Falla ubicada en el segmento 6.



Fotografía N° 7. Falla ubicada en el segmento 7.



Fotografía N° 8. Falla ubicada en el segmento 8.

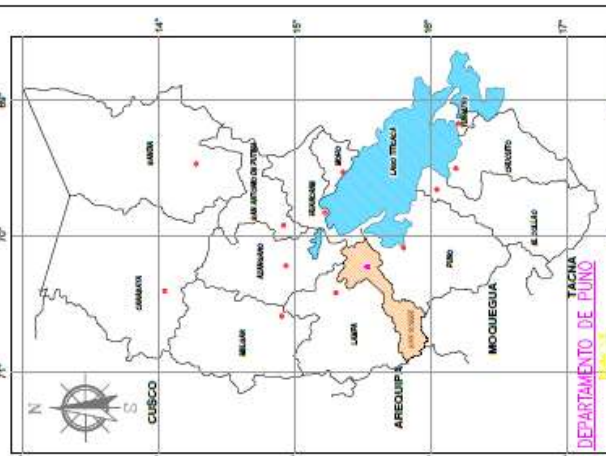
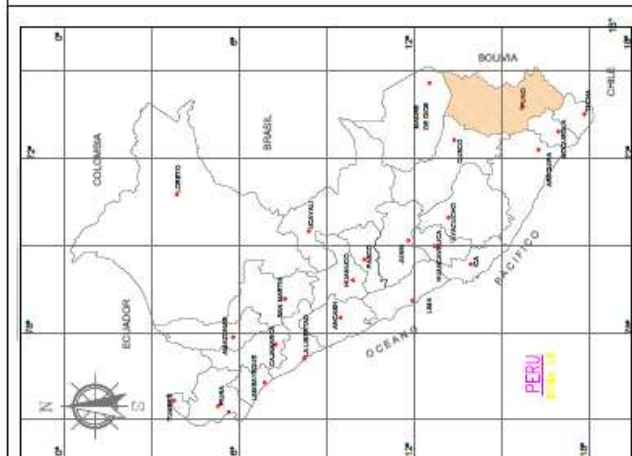
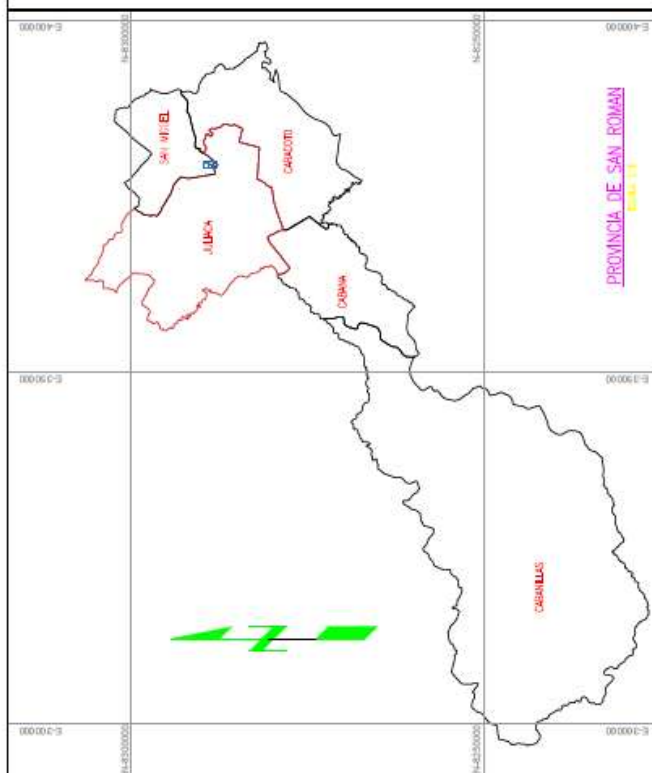


Fotografía N° 9. Falla ubicada en el segmento 9.



Fotografía N° 10. Falla ubicada en el segmento 10.





UNIVERSIDAD ANDINA
NESTOR CACERES VELAZQUEZ

TESIS:

EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE
INSPECCIÓN VISUAL Y PROPUESTA DE PLAN
MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL JIRÓN
MARIANO NUÑEZ JULIACA 2025

TESISTA:

BACH. JOSE LUIS HUANANI
CANAZA

ASESOR:

DR. ARNALDO YANA
TORRES

DISTITO:

JULIACA

PROVINCIA:

SAN ROMAN

DEPARTAMENTO:

PUNO

DISCIPLINA:

PAVIMENTOS

FECHA:

NOV. 2025

ESCALA:

INDICADA

UBICACIÓN:

UBICACIÓN

PLANO:

PLANO



ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 26-12-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JOSE LUIS MAMANI CANAZA

Dirección: Jr. VILQUECHICO Urb. SANTA ROSA Mz. WI Lt. 06

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 75851048

Teléfono: 962 839 482 email: joselmc.121@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL MEDIANTE INSPECCIÓN VISUAL Y

PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

DEL JIRÓN MARIANO NÚÑEZ JULIACA 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): PAVIMENTO FLEXIBLE, PCI, MANTENIMIENTO VIAL, INSPECCIÓN VISUAL

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.



Internacional



Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

26-12-2025

Fecha