



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE
PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA
DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. TITO APAZA CHAMBI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. TITO APAZA CHAMBI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE	:	 _____ Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
PRIMER MIEMBRO	:	 _____ Dr. ARNALDO YANA TORRES
SEGUNDO MIEMBRO	:	 _____ Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
ASESOR DE TESIS	:	 _____ Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	:	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1772-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 13 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 15145 presentado por el (la) Bachiller: TITO APAZA CHAMBI 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. TITO APAZA CHAMBI, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, 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 merito 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. MILTHON QUISPE HUANCA
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Dr. **EFRAIN PARILO SOSA.**

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: TITO APAZA CHAMBI; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 19 de diciembre del 2024
- * **HORA** : 14:00 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.


Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO


Dr. EFRAIN PARILO SOSA
DIRECTOR



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1192-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 011822 por el señor (a): TITO APAZA CHAMBI quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1093 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 193 - 2024 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): TITO APAZA CHAMBI, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, 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 Mgtr. 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° 193 - 2024 **aprobandó** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, 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 merito 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): TITO APAZA CHAMBI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024** 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. **EFRAIN PARILLO SOSA**.

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.



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

[Signature]
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



[Signature]
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

RESOLUCIÓN DECANAL N° 854-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-10002, presentado el señor (a) TITO APAZA CHAMBI solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 824-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 236-2024 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): TITO APAZA CHAMBI ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024**, 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 Mgtr. 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° 236-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024**.

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): TITO APAZA CHAMBI, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024** 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. **EFRAIN PARILLO SOSA**.

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.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
[Signature]
DR. MIRTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



[Signature]
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	7%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1%
7	vsip.info Fuente de Internet	<1%




Metadatos Complementarios



Título de la tesis	
EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	TITO APAZA CHAMBI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01872035
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0004-5218-3205
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02442876
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"
	 <p>https://maps.app.goo.g/PAEvstH2rCu8SncP6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 - Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03
- Librería	



 Dr. Mirón Patricio S. 2024
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo TITO APAZA CHAMBI, identificado con DNI
Nro. 01872035, 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 DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE

ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA

LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024

Asesorado por: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

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 13 de enero del 2025



Firma del Asesor
(obligatoria)



Firma del Estudiante
(obligatoria)





DEDICATORIA

A mis seres queridos, por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante este proceso. Esta tesis es el reflejo de su motivación constante.



AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo. En primer lugar, agradezco a mi director/a de tesis por su orientación, paciencia y valiosos consejos. Agradezco también a mis compañeros/as y amigos/as, cuya amistad y apoyo fueron fundamentales en este camino. Por último, a mi familia, por su comprensión y aliento constante.



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.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.2.1 Problema General.....	2
1.2.2 Problemas Específicos.	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.	3
1.4 Justificación de la investigación.....	3
1.4.1 Justificación técnica.....	3
1.4.2 Justificación social.....	4
1.4.3 Justificación económica.....	4
1.5 Hipótesis de la Investigación.....	5
1.5.1 Hipótesis General.....	5
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	5
1.6 Variables e indicadores.....	5
1.6.1 Variable independiente.....	5
1.6.2 Variable dependiente.....	5
1.7 Operacionalización de Variables.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
--	----------



2.1.1	Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2	Antecedentes nacionales.....	12
2.1.3	Antecedentes regionales.	16
2.2	Bases teóricas.....	18
2.2.1	Pavimento.	18
2.2.2	Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	20
2.2.2.1	Tipos de Defectos en Pavimentos Flexibles.....	21
2.2.3	Evaluación del PCI	25
2.2.3.1	Inspección Visual del Pavimento	25
2.2.3.2	Clasificación de los Defectos	26
2.2.3.3	Cálculo del PCI	26
2.2.3.4	Aplicaciones del PCI en la Gestión Vial	27
2.2.4	Metodología ASTM D6433-20	28
2.2.4.1	Procedimiento de Evaluación.....	28
2.2.4.2	Inspección de las Secciones.....	29
2.2.4.3	Asignación de Deducciones.....	30
2.2.4.4	Cálculo Final del PCI	30
2.2.4.5	Ventajas de la Metodología ASTM D6433-20	31
2.2.5	Propuesta de Soluciones para la Rehabilitación de Pavimentos Flexibles....	31
2.2.5.1	Mantenimiento Preventivo	31
2.2.5.2	Sellado de Fisuras	32
2.2.5.3	Sellado de Superficies	32
2.2.5.4	Bacheo Superficial.....	32
2.2.5.5	Mantenimiento Correctivo	33
2.2.5.6	Fresado y Recapado.....	33
2.2.5.7	Reemplazo Parcial de la Base	33
2.2.5.8	Rehabilitación Estructural	34
2.2.5.9	Reparación Total del Pavimento	34
2.2.5.10	Reforzamiento del Pavimento.....	34
2.2.6	Factores que Contribuyen al Deterioro de los Pavimentos Flexibles.....	35
2.2.6.1	Carga del Tráfico	35
2.2.6.2	Condiciones Climáticas.....	36
2.2.6.3	Drenaje.....	36
2.2.6.4	Calidad de los Materiales.....	37
2.2.7	Importancia de la Evaluación Periódica	37
2.3	Marco conceptual.....	38
2.3.1	Deterioro de pavimentos.....	38



2.3.2 Índice de condición del pavimento (PCI).....	38
2.3.3 Mantenimiento correctivo.....	39
2.3.4 Mantenimiento preventivo.....	39
2.3.5 Pavimento flexible.....	39
2.3.6 Rehabilitación estructural.....	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la Investigación	41
3.2 Método de la Investigación.....	41
3.3 Nivel y tipo de la investigación	42
3.3.1 Nivel de la Investigación	42
3.3.2 Tipo de la investigación	42
3.4 Población y Muestra	42
3.4.1 Población.....	42
3.4.2 Muestra	43
3.4.3 Técnicas e Instrumentos.....	43
3.4.3.1 Técnicas	43
3.4.3.2 Instrumentos	45
3.5 Plan de recolección y procesamiento de datos	47
3.5.1 Desarrollo del plan de investigación	47
3.5.2 Procesamiento de datos	53

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados.....	54
4.1.1 Análisis de los tipos de daño y su grado de severidad presentes en la vía. ..	54
4.1.2 Análisis del nivel de condición superficial de la vía.	61
4.1.3 Análisis de la propuesta de intervención para la vía.	69
4.2 Discusión de resultados.....	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES.....	80
REFERENCIAS	81
ANEXOS.....	87



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables.....	6
Tabla 2 Progresiva de los tramos analizados.	48
Tabla 3 Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+428.57).	54
Tabla 4 Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 2 (Km 0+428.57 a Km 0+857.14).	55
Tabla 5 Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 3 (Km 0+857.14 a Km 1+285.71).	56
Tabla 6 Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 4 (Km 1+285.71 a Km 1+714.28).	57
Tabla 7 Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 5 (Km 1+714.28 a Km 2+142.85).	58
Tabla 8 Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 6 (Km 2+142.85 a Km 2+571.42).	59
Tabla 9 Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 7 (Km 2+571.42 a Km 3+000).	60
Tabla 10 PCI del Tramo 1.....	61
Tabla 11 PCI del Tramo 2.....	62
Tabla 12 PCI del Tramo 3.....	63
Tabla 13 PCI del Tramo 4.....	64
Tabla 14 PCI del Tramo 5.....	65
Tabla 15 PCI del Tramo 6.....	66
Tabla 16 PCI del Tramo 7.....	67
Tabla 17 Condición e Intervención para Tramos.	68



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fisura..... 22

Figura 2 Deformaciones Plásticas..... 23

Figura 3 Desintegración Superficial..... 24

Figura 4 Agujeros..... 24

Figura 5 Localización de la vía..... 47

Figura 6 Registro del tramo 1..... 55

Figura 7 Registro del tramo 2..... 56

Figura 8 Registro del tramo 3..... 57

Figura 9 Registro del tramo 4..... 58

Figura 10 Registro del tramo 5..... 59

Figura 11 Registro del tramo 6..... 60

Figura 12 Registro del tramo 7..... 61

Figura 13 Condición del tramo 1..... 62

Figura 14 Condición del tramo 2..... 63

Figura 15 Condición del tramo 3..... 64

Figura 16 Condición del tramo 4..... 65

Figura 17 Condición del tramo 5..... 66

Figura 18 Condición del tramo 6..... 67

Figura 19 Condición del tramo 7..... 68

Figura 20 PCI, de cada tramo vial, analizados..... 69



RESUMEN

La tesis "**Evaluación de la condición actual de pavimentos flexibles mediante índice de condición de pavimento y propuesta de solución para la vía de salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024**", La presente tesis tiene como objetivo principal evaluar el estado superficial de los pavimentos flexibles de la salida Lampa en la ciudad de Juliaca durante el año 2024, utilizando el Índice de Condición del Pavimento (PCI). El estudio sigue un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, descriptivo y transversal. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) identificar los tipos de daños y su severidad en el pavimento, (2) determinar el nivel de condición superficial de las vías, y (3) proponer alternativas de intervención orientadas a mejorar su funcionalidad y prolongar su vida útil. La investigación reveló un deterioro significativo en el pavimento flexible de la vía, destacándose daños como "piel de cocodrilo", que afecta entre el 35 % y 50 % de la superficie, además de agrietamiento en bloque, abultamientos, hundimientos y corrugaciones, todos de alta severidad. Estos problemas reflejan una degradación estructural avanzada causada principalmente por la infiltración de agua y el tráfico pesado, indicando que el pavimento ha alcanzado el final de su vida útil. Según los resultados del PCI, siete tramos presentan una condición "MALA" ($PCI < 35$), y solo uno fue clasificado como "REGULAR". Esto justifica la necesidad de una rehabilitación integral. La propuesta de intervención considera la remoción de capas deterioradas, estabilización del suelo, optimización del sistema de drenaje y la implementación de mezclas asfálticas modificadas. Estas medidas buscan incrementar la capacidad estructural, mejorar el drenaje y garantizar una mayor durabilidad del pavimento.

Palabras clave: Pavimento flexible, (PCI), Intervención, Severidad.



ABSTRACT

The thesis **“Evaluation of the current condition of flexible pavements using the pavement condition index and proposed solution for the Lampa exit road in the city of Juliaca 2024”**, The main objective of this thesis is to evaluate the surface condition of the flexible pavements of the Lampa exit in the city of Juliaca during the year 2024, using the Pavement Condition Index (PCI). The study follows a quantitative approach, with a non-experimental, descriptive and transversal design. To this end, the following specific objectives were raised: (1) identify the types of damage and their severity in the pavement, (2) determine the level of surface condition of the roads, and (3) propose intervention alternatives aimed at improving their functionality and prolonging their useful life. The investigation revealed significant deterioration in the flexible pavement of the road, highlighting damages such as "crocodile skin", which affects between 35% and 50% of the surface, in addition to block cracking, bulges, sinkholes and corrugations, all of high severity. These problems reflect an advanced structural degradation caused mainly by water infiltration and heavy traffic, indicating that the pavement has reached the end of its useful life. According to the PCI results, seven sections are in "BAD" condition ($PCI < 35$), and only one was classified as "FAIR". This justifies the need for a comprehensive rehabilitation. The intervention proposal considers the removal of deteriorated layers, soil stabilization, optimization of the drainage system and the implementation of modified asphalt mixtures. These measures seek to increase structural capacity, improve drainage and ensure greater pavement durability.

Keywords: Flexible pavement, (PCI), Intervention, Severity.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente esencial para el desarrollo económico y social de cualquier región, ya que permite la movilidad de personas y mercancías, ya que mejora el acceso a los mercados y servicios gracias al movimiento de personas y cosas. Para el funcionamiento eficiente de las vías de transporte público, la durabilidad y calidad de los pavimentos flexibles son muy necesarias. Sin embargo, el continuo deterioro de las vías causado por el tráfico automotor y las condiciones climáticas adversas pueden poner en riesgo su integridad, lo que repercute no solo en la calidad de la vía sino también en la seguridad de quienes la utilizan.

Debido a la enorme actividad económica y de transporte que se desarrolla en la ciudad de Juliaca, ubicada en la región Puno, existe una creciente necesidad de la infraestructura vial que posee la ciudad. Debido a que la ruta de salida de Lampa es un corredor esencial para el movimiento de personas y el tránsito de mercancías, es necesario realizar una evaluación de su estado actual para garantizar que siga siendo viable en el largo plazo. Con el fin de facilitar la identificación de los grados de deterioro y la evaluación de las acciones de mantenimiento o rehabilitación necesarias, el Índice de Condición de Pavimento (PCI) es un instrumento de referencia que se utiliza para analizar el estado del pavimento.

Mediante la utilización de la metodología PCI, el objetivo de este estudio es evaluar el estado actual de los pavimentos flexibles que se encuentran en la salida de la vía Lampa en Juliaca. Una vez realizada esta evaluación, se establecerá un plan de solución integral con el fin de extender la vida útil de la vía, mejorar su capacidad de servicio y reducir los costos de mantenimiento futuro. Con el fin de facilitar la identificación de los métodos de restauración más adecuados, el estudio implicará tanto una evaluación visual del pavimento como una categorización del índice de condición de pavimento (PCI).



La tesis consta por 4 CAP.

Capítulo I: Aborda la problemática que motivó el desarrollo del estudio. En él, se formulan los objetivos, se explican las razones que justifican la investigación, se plantean las hipótesis, y se definen las variables, junto con sus dimensiones e indicadores correspondientes.

Capítulo II: En esta sección se recopilan antecedentes clave que fundamentan la investigación, incluyendo estudios previos cuyos resultados sirven como punto de comparación, así como teorías relevantes que ayudan a comprender el tema y clarifican los conceptos utilizados.

Capítulo III: En esta sección se desglosa la metodología que se utilizó en la investigación en sus partes componentes, incluidos los procesos que se utilizaron para la recopilación y el análisis de datos.

Capítulo IV: Aquí se presentan los resultados obtenidos mediante gráficos y tablas, acompañados de un análisis interpretativo que resalta los hallazgos más significativos del estudio.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.

Juliaca es un conocido centro de negocios y transporte en el área de Puno, y su continuo desarrollo socioeconómico depende de su red de carreteras. En los últimos años, las vías de la ciudad, en particular la vía de salida a Lampa, han experimentado un mayor deterioro. Este problema se debe a varias razones, entre ellas, el aumento del tráfico vehicular pesado, las condiciones climáticas desfavorables de la región y la ausencia de un mantenimiento sistemático y continuo.

La degradación del pavimento flexible de la vía de salida a Lampa se evidencia a través de problemas como grietas, baches, hundimientos y deformaciones. Estos factores impactan de manera inmediata en la movilidad de las personas y de las mercancías, prolongan la duración de los viajes, elevan los gastos de operación de los vehículos y disminuyen la competitividad económica de la región. El estado degradado del pavimento plantea un riesgo considerable para la seguridad vial, ya que aumenta la probabilidad de accidentes debido a la disminución de la tracción y la movilidad en las zonas comprometidas. A pesar de su importancia estratégica para Juliaca y la región Puno, las intervenciones ejecutadas en esta ruta han sido intermitentes y superficiales,



sin abordar a fondo las causas profundas del problema. Esto se debe, en gran medida, a la falta de un estudio técnico integral y a la falta de instrumentos que permitan evaluar objetivamente el estado actual del pavimento y planificar de manera efectiva su reparación. La falta de un enfoque técnico definitivo ha dificultado la priorización de las operaciones y la asignación efectiva de recursos para garantizar la transitabilidad y la seguridad en esta ruta.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es un instrumento esencial para evaluar con precisión el estado del pavimento. Esta técnica facilita la cuantificación de los niveles de degradación, la identificación de los tipos de daños y su gravedad, y el establecimiento de una base técnica para la toma de decisiones. La implementación del PCI en la salida de Lampa no solo permitirá conocer su estado actual, sino que también facilitará el desarrollo de soluciones sostenibles y efectivas para asegurar la operación a largo plazo de la infraestructura vial. Este análisis técnico y estratégico es esencial para mejorar el flujo vehicular, minimizar los gastos relacionados con la degradación de las vías y garantizar la seguridad de los usuarios en este corredor vital para el crecimiento regional.

1.2 Planteamiento del problema.

1.2.1 Problema General.

¿Cuál es el estado superficial de pavimentos flexibles por medio del método de índice de condición de pavimento de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?

1.2.2 Problemas Específicos.

1. ¿Cuáles son los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?
2. ¿Cuál será el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?



3. ¿Cuáles son las alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el estado superficial de pavimentos flexibles por medio del método de índice de condición de pavimento de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Determinar los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.
2. Determinar el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.
3. Proponer alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.

1.4 Justificación de la investigación.

1.4.1 Justificación técnica.

La evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición de Pavimentos (PCI, por sus siglas en inglés) se ha convertido en un enfoque estándar a nivel mundial para evaluar la integridad estructural y superficial de los pavimentos. Esta técnica ofrece una evaluación precisa y medible de la degradación, lo que permite seleccionar las acciones más adecuadas, que incluyen mantenimiento preventivo, rehabilitación o reconstrucción. La vía de salida de Lampa presenta grietas, baches y deformaciones que comprometen la seguridad vial y la integridad superficial. La utilización de una técnica como el PCI permitirá obtener datos objetivos sobre la condición actual del pavimento, estableciendo una base sólida para la toma de decisiones informadas. Además, facilitará



la formulación de un programa de reparación que maximice los recursos y prolongue la vida útil de la vía, mejorando así la seguridad y la resiliencia de la infraestructura.

1.4.2 Justificación social.

La vía de salida de Lampa es una vía de transporte fundamental en la ciudad de Juliaca. Vincula la ciudad con otras regiones importantes, permitiendo tanto el movimiento de personas como el transporte de suministros y servicios vitales para la población. El estado deteriorado de las aceras afecta negativamente a los residentes de la ciudad, prolongando la duración de los viajes, elevando los gastos de transporte y aumentando la probabilidad de accidentes. Estos problemas afectan especialmente a la población local que depende de esta vía para acceder a los mercados, instituciones educativas y centros de salud. Mejorar el estado de esta vía disminuiría el riesgo de accidentes y fomentaría un movimiento más eficiente y seguro, al tiempo que beneficiaría directamente la calidad de vida de los habitantes. De manera similar, una infraestructura vial adecuada mejora la participación social al permitir el acceso a servicios esenciales y oportunidades económicas.

1.4.3 Justificación económica.

El estado de deterioro de la vía de salida de Lampa genera gastos económicos tanto para la autoridad local como para los usuarios. Las condiciones deficientes del pavimento elevan los gastos de mantenimiento y reparación de los vehículos, el consumo de combustible y la duración de los viajes, lo que genera pérdidas económicas considerables para los transportistas y el público. Además, las medidas ad hoc y temporales son ineficaces y costosas a largo plazo, ya que no abordan los problemas estructurales fundamentales del pavimento. Una evaluación precisa del estado del pavimento mediante PCI facilitaría la formulación de una solución técnica eficaz y rentable. La optimización de las intervenciones en las carreteras reduciría la frecuencia de las reparaciones y minimizaría los gastos de mantenimiento a largo plazo. También

mejoraría la productividad económica de la región al mejorar la conectividad y permitir el movimiento de productos y servicios, lo que es esencial para el crecimiento regional.

1.5 Hipótesis de la Investigación.

1.5.1 *Hipótesis General.*

El pavimento flexible de la vía de salida Lampa presentara un deterioro significativo, según el Índice de Condición de Pavimento (PCI), lo que requerida una intervención para mejorar su condición.

1.5.2 *Hipótesis Específicas.*

1. Los pavimentos de la vía de salida Lampa presentaran fisuras, baches y desprendimientos, con un grado de severidad alto en las zonas de mayor tráfico.
2. El nivel de condición del pavimento flexible de la vía de salida Lampa, según el PCI, estará entre "regular" y "malo", lo que requiere intervención urgente.
3. Las alternativas de intervención para pavimentos flexibles en las vías de la ciudad de Juliaca 2024 se centrarán en el mantenimiento rutinario.

1.6 Variables e indicadores.

1.6.1 *Variable independiente.*

Estado del pavimento flexible.

Indicadores:

- Tipos de daños.
- Grado de severidad.

1.6.2 *Variable dependiente*

Índice de Condición de Pavimento (PCI)

Indicadores:

- (tipos de daños y grado de severidad).

1.7 Operacionalización de Variables.

Tabla 1

Cuadro de operacionalización de variables.

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de Medición
Estado superficial del pavimento	Estado de conservación y funcionalidad del pavimento flexible basado en inspección visual y el PCI.	Deterioros visibles. Severidad.	<input type="checkbox"/> Tipo de deterioro <input type="checkbox"/> Nivel de severidad <input type="checkbox"/> Área	Inspección visual

Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de Medición
(PCI)	El (PCI) el estado del pavimento a partir de la observación de sus daños. Sirve para hallar la necesidad de mantenimiento o rehabilitación.	Condición superficial	Índice PCI (Escala de 0 a 100).	- Cálculo de PCI basado en la inspección de daños.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 *Antecedentes internacionales.*

(Baque-Solis, 2020) investigación "Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí". Para determinar el estado del pavimento flexible en el tramo II de la vía que une el Puerto con el Aeropuerto, se realizó una investigación en la ciudad de Manta, provincia de Manabí. Las decisiones sobre la reparación y conservación de la vía, crítica para el comercio y la conectividad local, necesitaban de una base tecnológica, y ese fue el objetivo de este diagnóstico. Para la recolección de datos se utilizó el enfoque de observación directa, que permitió identificar el tramo de análisis y registrar las características y fallas del pavimento. Este tramo es uno de los más transitados y de mayor importancia estratégica de la ciudad, Para determinar el estado del pavimento se utilizó el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Utilizando formatos de registro para detectar y categorizar los problemas del pavimento, esta técnica se basa en un examen sistemático y organizado. Para evaluar el estado del pavimento en las 26 unidades seleccionadas para el tramo, se utilizó el índice PCI. El valor va de 0 (muy malo) a 100



(muy bueno). Con un valor PCI de 49, el pavimento se consideró en la categoría "Regular" en base a los datos recopilados. Esto significa que el pavimento aún es utilizable, pero se está deteriorando y debe repararse pronto para evitar que la degradación empeore. La pérdida de partículas de la superficie del pavimento es un signo revelador de este tipo de degradación, que puede ser causada por la mala calidad del material o por la exposición prolongada a condiciones climáticas adversas y alto tráfico. La piel de caimán, un signo común de fatiga estructural, representa el 4,51% de las fallas; los agregados pulidos, que afectan la adherencia y seguridad de la superficie, representan el 4,11%; y las fracturas de bloques, que reflejan contracciones o deformaciones en el pavimento, representan el 3,96%. Con base en los resultados, la carretera necesita un enfoque sistemático para el mantenimiento que separe los trabajos pequeños de los grandes. Prevenir daños adicionales requiere un mantenimiento rutinario como la reparación de desprendimientos de la superficie, el sellado de grietas y la reparación de secciones menores. Para restaurar completamente el funcionamiento y prolongar la vida útil del segmento, son necesarias intervenciones importantes que incluyen la reparación de capas estructurales y la mejora de la base del pavimento. La alta incidencia de separación de agregados llama la atención sobre el hecho de que este problema necesita ser solucionado de inmediato, ya que podría reducir significativamente la estabilidad del pavimento si no se controla. Este estudio enfatiza el valor del PCI como un instrumento técnico para el diagnóstico del estado del pavimento y como base para diseñar tratamientos viales eficientes. Los resultados mejoran enormemente la gestión vial en la zona y constituyen un buen ejemplo para otros entornos comparables donde el clima y el tráfico pesado son problemas persistentes para la infraestructura vial que necesita reparación o rehabilitación.

(Coy Pineda, 2017) investigación "Evaluación superficial de un pavimento flexible de la calle 134 entre carreras 52a A 53c comparando los métodos Vizir y Pc", En este procedimiento se hace hincapié en la auscultación superficial o visual como método



clave, y este estudio aporta las herramientas necesarias para evaluar el estado de un pavimento flexible. Este procedimiento es fundamental para realizar una evaluación integral de los daños aparentes en la superficie o capa de rodadura del pavimento. Se caracteriza por su sencillez de aplicación y su bajo coste. El objetivo principal es proporcionar una clasificación objetiva del estado del pavimento, que es fundamental para determinar qué reparación o rehabilitación se debe priorizar para devolverlo a sus condiciones originales de servicio, funcionalidad y seguridad. Además de detectar y documentar las fallas del pavimento, la auscultación superficial proporciona una base cuantitativa para evaluarlas. Este enfoque permite calificar el estado del pavimento de forma consistente, lo que ayuda a la toma de decisiones tanto tácticas como estratégicas necesarias para su conservación. Con esta calificación se puede gestionar mejor la infraestructura vial mediante la priorización de intervenciones, la asignación de recursos y la creación de planes de mantenimiento eficientes. El Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el método Vizir son dos técnicas particulares de auscultación de superficies que se examinan y contrastan en esta investigación. A pesar de sus similitudes, los dos enfoques para la evaluación del pavimento son muy diferentes en términos de metodología, criterios de evaluación y los resultados que producen. Para las primeras evaluaciones o en situaciones con recursos restringidos, el enfoque Vizir es perfecto debido a su rapidez y facilidad de uso. La investigación que requiere mayores niveles de precisión y rigor técnico se atiende mejor con la técnica PCI, que se destaca por su metodología más completa y consistente. En este artículo, comparamos y contrastamos muchos métodos, teniendo en cuenta aspectos como la precisión, la accesibilidad, el costo, el tiempo de implementación y la adaptación a diversas condiciones del pavimento. También examinamos los pros y los contras de cada técnica. Además, se utilizan diferentes escenarios que van desde caminos rurales con baja densidad de tráfico hasta caminos metropolitanos con alta densidad de tráfico para evaluar la aplicabilidad práctica de cada estrategia. Los académicos y profesionales de la ingeniería civil pueden beneficiarse de la visión holística de este enfoque al determinar mejor qué



instrumento se adapta mejor a las circunstancias únicas de cada proyecto. El estudio concluye con sugerencias prácticas basadas en los resultados, que demuestran cuál de los enfoques probados funciona mejor en determinados contextos. Por ejemplo, el enfoque Vizir se recomienda para evaluaciones rápidas y económicas, mientras que el PCI se considera la mejor opción para proyectos que exigen precisión y una planificación cuidadosa para el futuro. Además de mejorar la utilización de los recursos actuales, estas sugerencias tienen como objetivo promover la adopción de métodos de auscultación que permitan el mantenimiento preventivo y a largo plazo de las redes viales. En última instancia, esta investigación muestra que la auscultación de superficies es una herramienta crucial para evaluar pavimentos flexibles y proporciona una forma práctica de utilizarla. Las carreteras son esenciales para el desarrollo económico y social de todas las regiones, y este estudio ayuda a desarrollar capacidades técnicas en gestión vial mediante la comparación y evaluación de metodologías de evaluación. El objetivo es promover el uso de instrumentos que garanticen que las carreteras sean funcionales y duraderas.

(Cordero Garcés & Guaranda Mero, 2017) Investigación "Análisis comparativo de los metodos Vizir-PCI aplicada en pavimento flexible via Jipijapa-la Mona, Canton Jipijapa". El mantenimiento de las carreteras no solo garantiza una movilidad segura y eficiente, sino que también facilita el traslado de los productos desde las zonas de producción hasta los consumidores, lo que aumenta la productividad y la competitividad regional. Las carreteras en buen estado también reducen los costos logísticos y los tiempos de viaje, al tiempo que facilitan la vida de los residentes al hacer que las carreteras sean más seguras, agradables y accesibles. Esta función vital pone de relieve la necesidad de hacer del mantenimiento y la rehabilitación de las carreteras una prioridad máxima en las estrategias de desarrollo del país y en las políticas gubernamentales. Para asegurar su funcionamiento y longevidad, esta carretera debe someterse a esfuerzos adecuados de mantenimiento y conservación, ya que es una



arteria vital para la conectividad regional y el transporte de productos agrícolas. El objetivo general del estudio es evaluar la salud del pavimento flexible mediante el contraste de dos métodos de ingeniería vial bien conocidos, la técnica VIZIR (Visión de Inspección de Zonas de Riesgo e Itinerarios) y el PCI. Debe realizarse una comparación exhaustiva, ya que, si bien ambos métodos son útiles para la evaluación de carreteras, difieren en metodología, precisión y aplicación. Se utiliza una amplia recopilación de datos sobre las condiciones de la superficie del pavimento para desarrollar la investigación, que luego identifica los tipos de fallas, su gravedad y las posibles razones. Una forma rápida y sencilla de evaluar visualmente las regiones dañadas e identificar áreas importantes que necesitan acción es el método VIZIR. En contraste, el PCI ofrece una evaluación más precisa del estado general del pavimento a través de su enfoque estandarizado y técnicamente avanzado, que emplea un sistema de calificación que se deriva de un examen exhaustivo de los defectos encontrados en cada unidad de muestra. Para comparar y contrastar los dos enfoques, analizamos todos los datos recopilados y comparamos los pros y contras de cada estrategia según las circunstancias únicas de la ruta Jipijapa-La Mona. El objetivo de esta estrategia es identificar la metodología de diagnóstico que sea más adecuada para las necesidades reales de la carretera dentro de las limitaciones operativas y financieras de la zona. Con los datos que recopilamos, podemos diseñar un plan de intervención técnica que aborde tanto las áreas pequeñas que necesitan reparación (como el sellado de grietas y la aplicación de parches) como las áreas más grandes, como la eliminación de capas dañadas y la estabilización de la base del pavimento. Además, el análisis destaca la viabilidad económica de los enfoques de intervención, garantizando que los métodos sean sostenibles a largo plazo y aprovechen al máximo los recursos disponibles. Al adoptar una visión holística, podemos ocuparnos de los problemas urgentes de la carretera y, al mismo tiempo, planificar su mantenimiento a mediano y largo plazo, lo que ahorrará dinero en reparaciones costosas y complicadas en el futuro y mantendrá satisfechos a los usuarios. Al final, esta iniciativa pretende ayudar a mejorar la gestión vial en Ecuador

mediante la difusión de enfoques de evaluación relevantes a nivel local. Este informe tiene como objetivo ayudar a los responsables de la infraestructura vial, describiendo las ventajas y desventajas de los métodos VIZIR y PCI. El objetivo es fomentar la toma de decisiones bien informadas que conduzcan a una red vial más resiliente y sostenible, que satisfaga las necesidades socioeconómicas y de desarrollo del país. Esta estrategia integral confirma que la infraestructura vial de Ecuador es crucial para el desarrollo del país y el bienestar de sus ciudadanos.

2.1.2 Antecedentes nacionales.

(Campos Requejo, 2018) investigación "Evaluación superficial aplicando Metodología PCI del pavimento flexible de la carretera Bagua-Alenya, provincia Bagua, Amazonas - 2018". El Índice de Calidad de Pavimentos (PCI) es un método fiable y riguroso para evaluar la calidad de los pavimentos. Esta técnica, que cuenta con un amplio respaldo técnico, facilita la estimación de la aptitud de servicio de los pavimentos y la determinación de las características estructurales y funcionales de la superficie en servicio. Para planificar el mantenimiento preventivo o correctivo, el PCI se basa en la observación y el análisis minuciosos de los defectos aparentes del pavimento para calcular una puntuación que represente su estado general. La capacidad de proporcionar una indicación fiable del estado del pavimento en términos de integridad estructural y funcionalidad, variables cruciales para garantizar la seguridad y el confort de los usuarios, es una de las principales aportaciones de esta tecnología. Con la ayuda de esta indicación, podemos determinar qué reparaciones son más urgentes en términos de urgencia y tipo de daño del pavimento, y luego ordenarlas por orden de importancia para devolver el pavimento a su mejor estado posible para su uso. Mediante la técnica PCI para su evaluación se puede obtener un diagnóstico exhaustivo del estado actual del pavimento, paso esencial para determinar las opciones de intervención más adecuadas. Al clasificar los defectos según su efecto sobre el rendimiento y el funcionamiento del pavimento, este estudio ayudará a identificar con precisión qué áreas necesitan



reparaciones específicas. Un aspecto de este proceso es determinar si las tareas en cuestión están relacionadas con el mantenimiento rutinario, como la reparación de pequeñas grietas, o si se necesitan intervenciones más extensas, como rehabilitaciones estructurales. La técnica PCI no solo ayuda a detectar problemas, sino que también contribuye al desarrollo de estrategias a largo plazo. La optimización de los recursos disponibles y la garantía de una gestión más eficaz de las redes viales se logran mediante la provisión de un marco sistemático y cuantitativo para la evaluación del pavimento. Esto es de suma importancia cuando existe la necesidad de priorizar estratégicamente y racionalmente los tratamientos debido a la financiación limitada. En última instancia, al aplicar el enfoque PCI al pavimento estudiado, se puede obtener un diagnóstico preciso y basado en evidencia. Esto, a su vez, se puede utilizar para desarrollar soluciones tecnológicas que restablezcan el funcionamiento del pavimento y extiendan su vida útil. Este método ayuda a construir un sistema de transporte que sea más seguro, eficiente y robusto, al tiempo que garantiza que la infraestructura vial pueda resistir la prueba del tiempo.

(Medina Hostia & Vivanco Ríos, 2021) investigación "Análisis superficial de pavimentos flexibles y alternativas de Intervención tramo puente Los Maestros - Cutervo, vía Acomayo, Ica, 2021", La infraestructura vial del departamento de Ica se ha deteriorado significativamente a través de los años, con numerosos daños que afectan la comodidad y seguridad de los usuarios de la vía. La mayoría de estos problemas se han presentado porque no se ha implementado una estrategia exhaustiva para el mantenimiento del pavimento y otros componentes de la vía que son vitales para la seguridad de los peatones y conductores. El escenario tiene un efecto perjudicial sobre la conectividad, el transporte de productos y servicios y la calidad de vida de los residentes, además de aumentar el peligro de accidentes. El objetivo general de este estudio es utilizar la técnica del Índice de Estado de Pavimento (ICP) en el tramo de la vía Acomayo en la Región Ica entre los puentes Cutervo y Los Maestros. Los objetivos aquí son



determinar el estado actual de la infraestructura vial, averiguar cuál es el valor del índice de pavimento que representa esa condición y luego proponer opciones de rehabilitación que harían más transitable la vía. El objetivo de esta estrategia es devolver el pavimento a un estado utilizable y, al mismo tiempo, garantizar que las personas puedan utilizarlo de manera segura y eficiente, lo que es bueno tanto para los usuarios como para el crecimiento socioeconómico de la región. Esta evaluación se realizó mediante hojas de inspección visual que se elaboraron específicamente para realizar un seguimiento de los tipos de defectos, su gravedad y su extensión. Además, se evaluaron exhaustivamente y cuantitativamente las condiciones de la sección en examen utilizando los ábacos de pavimento flexible, como se describe en el manual PCI. En total, se evaluaron 2,32 kilómetros de la carretera y, con un PCI promedio de 35,34, la carretera se considera "mala" en la escala del índice. Con base en estos hallazgos, es evidente que se requieren acciones inmediatas para restaurar el funcionamiento del pavimento mediante la rehabilitación. Aplicando la técnica PCI, esta investigación tiene como objetivo evaluar las enfermedades del pavimento flexible y crear soluciones para mejorarlo. Además de ayudar con la planificación de la intervención, este diagnóstico será útil para la gestión de carreteras en futuros proyectos en la zona. Mejorar la conexión entre las localidades, aumentar la vitalidad económica de la zona y garantizar un tránsito más seguro y eficiente son objetivos del proyecto de restauración que se extenderá desde el puente Los Maestros hasta Cutervo.

(Callme Chivigorri & Torres Banda, 2024) investigación "Evaluación superficial y estructural del pavimento flexible de la Av. Primavera, Cerro Colorado, Arequipa". En esta vía, que se extiende por más de 1.700 metros de pavimento asfáltico, se realizó un examen exhaustivo para detectar fallas superficiales y deflexiones estructurales. Con el fin de diseñar medidas de mantenimiento o rehabilitación que mejoren el desempeño funcional del pavimento y prolonguen su vida útil, esta investigación tiene como objetivo principal analizar el estado estructural y superficial del pavimento. Para lograr este



objetivo, utilizamos la técnica de vigas Benkelman para el análisis estructural y el Índice de Condición del Pavimento (PCI) para la evaluación superficial. Usando el método PCI, pudimos detectar, categorizar y cuantificar las fallas superficiales del pavimento; usando la viga Benkelman, pudimos medir las deflexiones causadas por las cargas aplicadas, lo que nos dio una idea de la capacidad estructural del pavimento para soportar el tráfico vehicular. Este método de dos frentes, que analiza tanto la superficie externa del pavimento como su capacidad de carga interna, ofrece una imagen completa del estado del mismo. En este proyecto se optó por los ensayos no destructivos debido a sus numerosas ventajas. En lugares densamente poblados, resulta especialmente importante recopilar datos precisos sobre el estado del pavimento mediante estos métodos para no dañar la infraestructura vial ya establecida. Por su facilidad de uso, accesibilidad y fiabilidad a la hora de evaluar las cualidades estructurales del pavimento, la viga Benkelman destaca entre las demás pruebas realizadas. Para determinar la capacidad de carga y la resistencia a las cargas de tráfico durante la vida útil del pavimento, este enfoque mide las deflexiones que se producen cuando se aplica una carga controlada a la superficie de rodadura. Los resultados del análisis estructural se pueden utilizar para evaluar la resistencia del pavimento al desgaste y la fatiga inducidos por el tráfico, que son factores importantes para determinar la utilidad y la durabilidad del pavimento. Mediante el uso de algoritmos de regresión estadística con estos datos, pudimos cuantificar las correlaciones entre las deflexiones que registramos y los grados de degradación estructural. Además, el análisis de la superficie se realizó utilizando el enfoque PCI, que categorizó las fallas de la capa de rodadura según el tipo, la gravedad y la extensión. En resumen, esta investigación no solo evalúa el estado actual del pavimento de Avenida Primavera; también presenta soluciones basadas en los hallazgos. Al mejorar las técnicas de mantenimiento y rehabilitación de la carretera, estas ideas garantizarán la viabilidad a largo plazo de la carretera y brindarán a los pasajeros una mejor experiencia de transporte. Las investigaciones futuras que utilicen estas técnicas

podrían ayudar a evaluar otros sistemas viales en circunstancias comparables, lo que conducirá a una red vial mejor y más segura en general.

2.1.3 Antecedentes regionales.

(Apaza Porto, 2021) investigación "Evaluación superficial del pavimento flexible por el método PCI para el mejoramiento de la avenida circunvalación noroeste, Juliaca-2021), Al utilizar este método, podemos averiguar cuántas ubicaciones fueron impactadas, qué tipo de daños hubo, qué tan graves fueron y luego utilizar esa información para encontrar buenas alternativas para reparar la vía. Dado que el estudio incorpora la recopilación, el análisis y la combinación de datos cualitativos y cuantitativos en un solo proceso, se clasifica como evaluativo, aplicado y de método mixto. Hubo dos fases principales para la ejecución de la metodología. El primer tipo de estudio fue el de daños e implicó excavar pozos de prueba y tomar muestras de pavimento para analizar en el laboratorio. Estas pruebas se llevaron a cabo de acuerdo con los estándares técnicos aceptados para evaluar las propiedades geotécnicas de los materiales. Utilizando el método PCI, descubrimos y clasificamos las fallas del pavimento en la segunda etapa, lo que nos permitió priorizar los tratamientos en función de su gravedad y extensión. Los datos obtenidos mostraron que los defectos detectados fueron causados por problemas importantes en la base estructural del pavimento. Entre los descubrimientos más notables se encuentran los tres pozos que tenían lecturas CBR (California Bearing Ratio) por debajo del 100%. El CBR del pozo 3 del 70% indicó una vulnerabilidad estructural grave, por lo que es el número más crucial. El pozo 1 tuvo un índice de 4,64%, que es mayor que el límite sugerido del 2%, y otras áreas también mostraron índices de plasticidad significativos. La inadecuación del material granular de la base se demostró además por la granulometría de las muestras examinadas, que cayó por debajo de los límites normativos. Con base en los resultados del estudio de superficie PCI, el pavimento fue clasificado como "pobre" con un índice promedio de 31. Este hallazgo sugiere que el pavimento ha perdido gran parte de su capacidad funcional, lo



que afecta la transitabilidad y la seguridad de los usuarios, además de mostrar un deterioro aparente notable. Teniendo en cuenta los problemas geotécnicos identificados, se determina que la carretera necesita no solo un reemplazo total de la capa de asfalto, sino también una intervención extensa en la base estructural. En este estudio, se diagnosticó de manera integral y racional el estado del pavimento mediante la aplicación del enfoque PCI. Para garantizar la funcionalidad de la carretera, prolongar su vida útil y ofrecer una infraestructura vial segura y eficiente para los usuarios, se propone un plan de intervención basado en los resultados obtenidos. Este plan incluye la mejora de la base granular y la rehabilitación completa de la capa de asfalto. Para que los planes de mantenimiento de carreteras sean eficientes y sostenibles a largo plazo, es necesario evaluar la estructura de la carretera, así como su superficie. Este estudio enfatiza la importancia de hacer precisamente eso.

(Ccama Quispe & Turpo Arapa, 2021) investigación "Evaluación superficial del estado del pavimento flexible y verificación de tramos con fallas estructurales mediante Deflectometría, vía Juliaca – Lampa, Puno" El estudio de las condiciones superficiales y estructurales del pavimento flexible de la vía Juliaca-Lampa es el objetivo principal de esta investigación. Para lograrlo, se empleó una estrategia de investigación de métodos mixtos que integra análisis cualitativos y cuantitativos. De esta manera, se pueden utilizar los métodos técnicos planteados en este estudio tanto para caracterizar como para calcular las variables importantes. La investigación se realizó a un nivel descriptivo-aplicativo, utilizando el método Pavement Condition Index (PCI) para la evaluación superficial y la viga Benkelman como técnica no destructiva para la evaluación estructural. Las variables no fueron manipuladas, lo que hace que el diseño sea no experimental. En su conjunto, el Tramo 5 de la vía Juliaca-Lampa presenta un valor promedio de 4,13 en el estudio de superficie PCI. Debido a su grave estado, el pavimento se categoriza como "FALLIDO" en este resultado, lo que indica la necesidad de una acción inmediata. A la luz de este diagnóstico, se ha sugerido la reconstrucción completa



del pavimento para restablecer su funcionamiento y asegurar la adecuada acogida del tráfico vehicular. El análisis estructural, que utilizó el método de vigas de Benkelman, reveló hallazgos preocupantes en ambos carriles de la vía examinada. Se logró una deflexión típica de 107,86 mm/100 en el carril izquierdo y 150,35 mm/100 en el carril derecho. Un pavimento en una etapa avanzada de fatiga estructural tendría valores de deflexión como este, que superan considerablemente el rango aceptable de 88,98 mm/100. El rendimiento y la vida útil del pavimento se ven afectados por esta degradación porque reduce su capacidad para resistir las presiones del tráfico. De manera similar, se examinó la subrasante del pavimento y se encontró que tenía un índice de carga de California (CBR) promedio "MALO" de 3,54%. Dado que una subrasante con estas cualidades no puede brindar el soporte requerido para las capas superiores del pavimento, este resultado demuestra la necesidad de mejorar las propiedades mecánicas de esta capa. Finalmente, es necesaria una intervención exhaustiva ya que el tramo 5 de la carretera Juliaca-Lampa tiene serios problemas superficiales y estructurales. Las propuestas buscan mejorar la capa de subrasante y reconstruir el pavimento en su totalidad para garantizar el funcionamiento, la longevidad y la seguridad de la vía. Para establecer planes de mantenimiento y rehabilitación a largo plazo que contribuyan al desarrollo de una infraestructura vial eficiente y segura, esta investigación enfatiza la necesidad de realizar evaluaciones exhaustivas y bien fundamentadas.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Pavimento.

El pavimento es una estructura compuesta por una o varias capas de materiales seleccionados y diseñados para soportar y distribuir las cargas provenientes del tráfico vehicular y peatonal, protegiendo el terreno subyacente o subrasante de deformaciones

excesivas. Se utiliza con el fin de proporcionar una superficie adecuada para la circulación, que cumpla con las exigencias de seguridad, confort, durabilidad y economía.

Desde una perspectiva técnica, el pavimento puede clasificarse en pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos semirrígidos, dependiendo de su composición y el comportamiento estructural ante las cargas.

- 1. Pavimentos flexibles:** Son aquellos que están formados por varias capas de materiales granulares y mezclas bituminosas (generalmente asfalto) que, bajo la aplicación de las cargas, deforman en mayor medida que los pavimentos rígidos. En estos pavimentos, las cargas se distribuyen de manera progresiva entre las capas inferiores, dependiendo de la rigidez de cada capa. El mantenimiento es más frecuente debido a la acción del clima y el desgaste por uso, aunque permite reparaciones más rápidas y económicas en comparación con los pavimentos rígidos.
- 2. Pavimentos rígidos:** Están formados principalmente por concreto hidráulico (hormigón) que, a diferencia de los flexibles, distribuye las cargas de manera más uniforme sobre una gran área, soportando mayores esfuerzos de flexión. Debido a su rigidez, estos pavimentos tienden a presentar una menor deformación bajo carga, siendo más duraderos, pero también más costosos en términos de construcción y mantenimiento. Sin embargo, presentan menor capacidad de adaptación a deformaciones del terreno y fisuraciones.
- 3. Pavimentos semirrígidos:** Combinan características de los pavimentos flexibles y rígidos, utilizando una base tratada con ligantes hidráulicos o estabilizadores. Esto mejora la capacidad estructural y la durabilidad de la capa base, aunque la capa de rodadura sigue siendo de asfalto.

La estructura del pavimento suele estar conformada por las siguientes capas:

- **Capa de rodadura:** Es la capa superficial, en contacto directo con el tráfico. Debe tener buenas propiedades de resistencia al desgaste, impermeabilidad y capacidad para soportar las condiciones climáticas adversas.

- **Capa de base:** Distribuye las cargas provenientes de la capa de rodadura hacia las capas inferiores. Está constituida por materiales granulares o estabilizados y su función es proporcionar un soporte estructural adecuado.
- **Capa de subbase:** Generalmente compuesta por material granular o estabilizado, su función es reducir las tensiones transmitidas a la subrasante y mejorar la capacidad de soporte del pavimento.
- **Subrasante:** Es el terreno natural o preparado sobre el cual se construyen las capas superiores. Las propiedades de la subrasante son fundamentales en el diseño del pavimento, ya que una subrasante inadecuada puede provocar fallos prematuros en la estructura.

2.2.2 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en la década de 1970, es un indicador clave utilizado para medir la condición tanto estructural como funcional de un pavimento. El PCI es fundamental en la gestión de infraestructuras viales, ya que ofrece una evaluación rápida y efectiva del estado de los pavimentos sin recurrir a pruebas destructivas. Este índice utiliza una escala que varía de 0 (pavimento completamente deteriorado) a 100 (pavimento en perfecto estado). Un pavimento con un PCI alto se considera en buen estado y funcional, mientras que un pavimento con un PCI bajo requiere intervención inmediata (Shahin, 2005).

La metodología para determinar el PCI está estandarizada bajo la ASTM D6433, la cual establece los pasos necesarios para llevar a cabo una inspección visual de los pavimentos. Este proceso implica la identificación, clasificación y cuantificación (ASTM, 2020). El PCI es ampliamente utilizado por ingenieros civiles y administradores de carreteras, dado que ofrece una evaluación objetiva y cuantificable de la condición de las vías, facilitando así la toma de decisiones en cuanto a mantenimiento y rehabilitación de infraestructuras viales (Haas et al., 2015).

En la actualidad, el PCI es una de las herramientas más populares a nivel mundial para evaluar pavimentos, debido a su simplicidad y a la posibilidad de generar datos comparables que permiten optimizar la planificación y el presupuesto de mantenimiento (Mills et al., 2019). Este índice es utilizado tanto en pavimentos flexibles como rígidos, lo que lo convierte en una herramienta versátil en la evaluación de la condición de carreteras, calles y aeropuertos (Huang, 2004).

2.2.2.1 Tipos de Defectos en Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles están conformados por varias capas de materiales, como asfalto y agregados, que se diseñan para resistir las cargas aplicadas por el tráfico. Sin embargo, a lo largo del tiempo, estos pavimentos pueden sufrir diferentes tipos de defectos que afectan su desempeño. Los defectos que se encuentran en los pavimentos flexibles se agrupan según su tipo, origen y severidad, y son los principales factores considerados al calcular el PCI (Shahin, 2005).

Fisuras: Uno de los defectos más comunes en los pavimentos flexibles son las fisuras, que pueden presentarse en diversas formas, tales como fisuras longitudinales, transversales y en bloque. Las fisuras longitudinales generalmente se originan debido a esfuerzos mecánicos y la acción del tráfico pesado, lo que provoca tensiones diferenciales en el pavimento. Por otro lado, las fisuras transversales se deben a cambios en la temperatura, lo que provoca la contracción y expansión del material asfáltico (Yoder & Witczak, 1975). Las fisuras en bloque son patrones que dividen la superficie del pavimento en bloques, generalmente debido al envejecimiento del asfalto y la pérdida de flexibilidad, o por deficiencias en la base estructural (Shahin, 2005).

El deterioro asociado a las fisuras es particularmente importante, ya que permite que el agua y otros elementos entren en las capas inferiores del pavimento, acelerando el proceso de deterioro. Si no se controlan, las fisuras pueden evolucionar y resultar en defectos más graves, como la formación de agujeros (Huang, 2004).

Figura 1*Fisura.*

Deformaciones Plásticas: Las deformaciones plásticas incluyen defectos como los hundimientos y los ahuellamientos, los cuales ocurren cuando el material del pavimento se desplaza de manera permanente debido a cargas excesivas. Estos defectos suelen estar vinculados a la falta de resistencia en las capas inferiores del pavimento o a una compactación inadecuada durante la construcción (Shahin, 2005). Las altas temperaturas también pueden suavizar el asfalto, facilitando el desplazamiento del material bajo el tráfico pesado. Los ahuellamientos son una preocupación significativa en pavimentos utilizados por vehículos de carga, ya que tienden a concentrarse en las áreas más transitadas de la carretera, lo que aumenta el riesgo de accidentes (Haas et al., 2015).

Figura 2

Deformaciones Plásticas.



Pavimento con deformaciones plásticas

Desintegración Superficial: La desintegración superficial incluye defectos como el desgaste y el descascarillado, que ocurren cuando la capa superficial del pavimento pierde su cohesión debido a la fatiga o a la exposición a condiciones climáticas adversas (Yoder & Witczak, 1975). La lluvia, el tráfico y las variaciones de temperatura provocan un desgaste progresivo en el pavimento, especialmente cuando este ya ha alcanzado una etapa avanzada de deterioro. La desintegración superficial puede reducir la fricción del pavimento, lo que aumenta los riesgos para la seguridad de los usuarios de la vía (Huang, 2004).

El desgaste del pavimento es indicativo de que el pavimento ha llegado al final de su vida útil funcional y debe considerarse su reparación o rehabilitación antes de que se produzcan defectos más graves (Mills et al., 2019). Es fundamental realizar una evaluación temprana y aplicar medidas correctivas para prevenir un deterioro mayor, lo que podría incrementar significativamente los costos de mantenimiento (Shahin, 2005).

Figura 3

Desintegración Superficial.



Agujeros: Los agujeros son depresiones localizadas en el pavimento que generalmente se forman cuando el material se desprende de la superficie, debido a la erosión o debilitamiento de las capas inferiores. La principal causa de los agujeros es el mal drenaje, ya que el agua acumulada debilita la base del pavimento, causando que se desprendan fragmentos del asfalto (Haas et al., 2015). Los agujeros representan un peligro inmediato para el tránsito, ya que pueden causar daños a los vehículos o incluso accidentes, por lo que es esencial su reparación rápida y efectiva (Shahin, 2005).

Figura 4

Agujeros.





2.2.3 Evaluación del PCI

Es un proceso clave para determinar el estado de los pavimentos y priorizar las intervenciones necesarias en términos de mantenimiento y rehabilitación. Esta metodología ha sido ampliamente adoptada debido a su capacidad para proporcionar una evaluación rápida, no destructiva y eficiente del estado funcional y estructural del pavimento. La evaluación del PCI sigue una serie de pasos estandarizados que incluyen una inspección visual, la clasificación de los defectos y el cálculo del PCI. Este enfoque se detalla en la metodología ASTM D6433-20, la cual proporciona una guía precisa para evaluar los pavimentos de manera consistente (ASTM, 2020).

2.2.3.1 Inspección Visual del Pavimento

El primer paso en la evaluación del PCI es la inspección visual del pavimento, que se realiza mediante un recorrido por la vía para identificar y registrar los tipos y grados de defectos visibles en su superficie. Este paso es esencial para obtener una visión clara del deterioro actual del pavimento. La inspección visual se enfoca en identificar los defectos más comunes que afectan a los pavimentos flexibles, tales como fisuras, deformaciones, ahuellamientos, desintegración superficial y agujeros. Estos defectos son categorizados de acuerdo con su severidad (baja, media o alta) y su área de extensión (Shahin, 2005).

Durante la inspección visual, el pavimento se divide en unidades de muestreo representativas, que abarcan secciones del pavimento de un tamaño predefinido. Esto asegura que los defectos registrados sean una muestra adecuada del tramo de la carretera en evaluación, permitiendo que los resultados reflejen con precisión el estado general del pavimento (Mills et al., 2019). Este enfoque estandarizado minimiza las variaciones subjetivas entre inspectores, asegurando consistencia en las evaluaciones a lo largo del tiempo.

La inspección visual se complementa con el uso de herramientas como fotografías y registros escritos para documentar la ubicación y severidad de los defectos. Estos datos son fundamentales para las etapas posteriores de la evaluación del PCI, ya que proporcionan la base para el cálculo del índice (Haas et al., 2015).

2.2.3.2 Clasificación de los Defectos

El siguiente paso en la evaluación del PCI es la clasificación de los defectos observados durante la inspección visual. Los defectos se agrupan de acuerdo con su tipo, tales como fisuras, deformaciones, desintegración superficial y agujeros, y se clasifican según su severidad en tres niveles: baja, media o alta. Esta clasificación es crucial porque los defectos más severos tienden a tener un impacto negativo más significativo en el desempeño del pavimento y, por lo tanto, se les asignan valores de deducción más altos durante el cálculo del PCI (ASTM, 2020).

La severidad de los defectos no solo determina su impacto sobre el pavimento, sino que también permite inferir su velocidad de deterioro. Por ejemplo, una fisura longitudinal de severidad baja puede no representar un problema inmediato, pero si no se trata, puede evolucionar hacia una fisura de mayor severidad, lo que afectará la capacidad estructural del pavimento. Por otro lado, defectos como los agujeros son clasificados con una severidad alta desde el principio, ya que su presencia puede comprometer la seguridad de los usuarios y dañar los vehículos, lo que exige una reparación urgente (Shahin, 2005).

El uso de herramientas gráficas, como mapas de defectos, ayuda a visualizar la distribución y frecuencia de los defectos a lo largo del tramo del pavimento evaluado. Esta información es valiosa para comprender las causas subyacentes del deterioro, como problemas de drenaje o sobrecarga, y permite desarrollar estrategias de mantenimiento más efectivas (Huang, 2004).

2.2.3.3 Cálculo del PCI

Una vez que se han identificado y clasificado los defectos, se procede al cálculo del PCI. Este cálculo se realiza asignando valores de deducción a los defectos registrados, que se basan en la severidad y extensión del deterioro. Los valores de deducción están estandarizados en tablas predefinidas en la ASTM D6433-20, que permiten calcular el impacto de cada tipo de defecto sobre la condición general del pavimento (ASTM, 2020).

El PCI inicial de un pavimento es 100, lo que indica que el pavimento se encuentra en un estado perfecto sin ningún tipo de defecto. A medida que se registran los defectos y se suman los valores de deducción, el PCI disminuye. El PCI final puede variar desde 0 (pavimento completamente deteriorado) hasta 100 (pavimento en perfecto estado)., mientras que un PCI bajo señala la necesidad de reparaciones o rehabilitación urgentes (Shahin, 2005).

El cálculo del PCI también permite la estratificación de las prioridades de intervención. Por ejemplo, los pavimentos con un PCI superior a 80 pueden requerir únicamente mantenimiento rutinario, como sellado de fisuras, mientras que los pavimentos con un PCI entre 40 y 60 pueden necesitar rehabilitación parcial o recapeo. Pavimentos con un PCI inferior a 40 suelen requerir reconstrucción completa o intervenciones mayores, ya que su estado estructural está severamente comprometido (Haas et al., 2015).

2.2.3.4 Aplicaciones del PCI en la Gestión Vial

El PCI permite realizar evaluaciones del estado del pavimento tanto a corto como a largo plazo, así como planificar el mantenimiento, lo que lo convierte en una herramienta indispensable para la gestión de la red vial. El uso del PCI para priorizar las terapias es uno de sus usos más importantes. Dado que las agencias gubernamentales y privadas suelen tener presupuestos limitados para el mantenimiento vial, el PCI permite identificar qué tramos de carretera requieren atención inmediata y cuáles pueden esperar, optimizando la asignación de recursos (Mills et al., 2019).

Además, el PCI puede utilizarse para realizar predicciones sobre la vida útil restante del pavimento. A través del monitoreo regular del PCI, los ingenieros pueden evaluar cómo el pavimento se deteriora con el tiempo y estimar cuándo será necesaria una intervención significativa. Estas predicciones son útiles para desarrollar programas de mantenimiento preventivo, que son mucho más rentables que las reparaciones correctivas (Shahin, 2005).

Otro aspecto importante es que el PCI facilita la comparación entre diferentes tramos de carretera dentro de una misma red. Esto permite identificar áreas problemáticas que pueden estar asociadas con factores como drenaje inadecuado, sobrepeso del tráfico o diseño deficiente, permitiendo tomar medidas correctivas para evitar el deterioro prematuro en futuras construcciones (Huang, 2004).

2.2.4 Metodología ASTM D6433-20

La norma ASTM D6433-20, titulada "Guía para la Inspección Visual de Pavimentos y el Cálculo del Índice de Condición del Pavimento", establece un conjunto de lineamientos y procedimientos para llevar a cabo inspecciones visuales de pavimentos, así como para calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Esta metodología ha sido ampliamente aceptada y utilizada a nivel mundial debido a su enfoque sistemático y reproducible, lo que la convierte en una herramienta clave para la gestión de pavimentos tanto urbanos como rurales (ASTM, 2020). El objetivo principal de esta norma es proporcionar un método estandarizado que permita a los ingenieros civiles, administradores de infraestructura y gestores de carreteras obtener una evaluación objetiva del estado funcional y estructural de los pavimentos, basada en la inspección visual de defectos.

La metodología ASTM D6433-20 es aplicable a pavimentos flexibles, como los de asfalto, y su versatilidad ha permitido que sea utilizada en diversas aplicaciones, que van desde la gestión de pavimentos urbanos con tráfico ligero hasta la evaluación de carreteras rurales sometidas a condiciones más extremas. La ventaja de esta norma es que no requiere pruebas destructivas, lo que permite evaluar grandes extensiones de carretera de manera eficiente y económica (Shahin, 2005).

2.2.4.1 Procedimiento de Evaluación

El procedimiento de evaluación según la norma ASTM D6433-20 se estructura en varias etapas clave que deben seguirse meticulosamente para asegurar la precisión de los resultados. A continuación, se describen los pasos más importantes del proceso:



División del Pavimento en Secciones Homogéneas

El primer paso del procedimiento es la división del pavimento en secciones homogéneas. Este proceso implica dividir la vía en tramos de pavimento que compartan características similares en términos de materiales de construcción, tipo de tráfico, condiciones ambientales y historial de mantenimiento. Las secciones homogéneas deben ser lo suficientemente representativas para que los resultados obtenidos reflejen con precisión el estado general de la vía (ASTM, 2020).

La importancia de esta división radica en que las secciones con características dispares pueden presentar diferentes tipos de deterioro, lo que podría sesgar los resultados si se evalúan de manera conjunta. Por ejemplo, una sección de carretera que recibe tráfico pesado experimentará un deterioro diferente al de una sección con tráfico ligero, incluso si están en la misma vía (Mills et al., 2019). La identificación de estas diferencias es crucial para asegurar que las intervenciones de mantenimiento y rehabilitación sean efectivas.

2.2.4.2 Inspección de las Secciones

Una vez que las secciones han sido delimitadas, se procede a realizar la inspección visual de cada una. Durante esta fase, se documentan y cuantifican los defectos visibles en la superficie del pavimento. Los inspectores deben estar capacitados para identificar los diferentes tipos de deterioro que pueden afectar a los pavimentos flexibles, como fisuras, deformaciones, desintegraciones superficiales y agujeros. Cada defecto se clasifica según su tipo y nivel de severidad (baja, media o alta), lo que proporciona una visión clara de la gravedad de los problemas observados (Shahin, 2005).

La inspección visual es una de las características más importantes del proceso, ya que permite evaluar grandes extensiones de pavimento sin la necesidad de utilizar equipos sofisticados o realizar pruebas destructivas. Además, esta metodología es flexible y puede adaptarse a diferentes condiciones de inspección, desde carreteras de acceso rural hasta vías urbanas congestionadas (Haas et al., 2015). La precisión y



consistencia de los datos obtenidos dependen de la capacidad de los inspectores para aplicar correctamente las guías establecidas por la ASTM D6433-20.

2.2.4.3 Asignación de Deducciones

El siguiente paso del procedimiento es la asignación de deducciones para cada defecto identificado. La ASTM D6433-20 establece tablas predefinidas que detallan los valores de deducción que deben asignarse según el tipo de defecto, su severidad y su extensión dentro de la sección inspeccionada (ASTM, 2020). Las deducciones son proporcionales al impacto que cada defecto tiene en la funcionalidad y seguridad del pavimento.

Por ejemplo, una fisura de alta severidad tiene una deducción mayor que una fisura de baja severidad, ya que la primera puede comprometer la integridad estructural del pavimento a corto plazo, mientras que la segunda puede no requerir intervención inmediata (Shahin, 2005). Los valores de deducción se suman a medida que se identifican más defectos, reduciendo progresivamente el PCI inicial.

2.2.4.4 Cálculo Final del PCI

El PCI final se obtiene restando las deducciones acumuladas del valor inicial de 100, que representa un pavimento en perfecto estado. El PCI resultante es un valor numérico que indica la condición general del pavimento, donde 100 representa un pavimento en perfecto estado y 0 indica un pavimento completamente deteriorado (ASTM, 2020).

Un PCI entre 85 y 100 generalmente indica que el pavimento está en buen estado y solo requiere mantenimiento rutinario, mientras que un PCI entre 40 y 55 indica la necesidad de rehabilitación parcial o recapeo. Pavimentos con un PCI por debajo de 40 requieren una intervención más agresiva, como reconstrucción completa (Haas et al., 2015). La metodología ASTM D6433-20 permite repetir este proceso de evaluación a lo largo del tiempo para monitorear el deterioro progresivo del pavimento y ajustar los planes de mantenimiento según sea necesario.

2.2.4.5 Ventajas de la Metodología ASTM D6433-20

La norma ASTM D6433-20 es valiosa no solo por su simplicidad y facilidad de aplicación, sino también por su capacidad de proporcionar resultados consistentes que permiten monitorear el deterioro del pavimento a lo largo del tiempo. Esta metodología es ideal para la gestión proactiva de pavimentos, ya que permite planificar intervenciones de manera eficiente, priorizando las secciones más deterioradas para minimizar costos y mejorar la seguridad vial (Mills et al., 2019).

Otra ventaja significativa de esta norma es que facilita la comunicación entre diferentes partes interesadas, como ingenieros, administradores y tomadores de decisiones, al proporcionar un índice cuantificable y de fácil interpretación que resume la condición del pavimento. Esto permite la optimización de los recursos y la planificación de programas de mantenimiento más efectivos, basados en datos precisos y objetivos (Shahin, 2005).

2.2.5 Propuesta de Soluciones para la Rehabilitación de Pavimentos Flexibles

Una vez que se ha evaluado el estado de un pavimento flexible mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el siguiente paso es definir una estrategia de rehabilitación adecuada. La elección de las soluciones de rehabilitación dependerá del grado de deterioro detectado, la severidad de los defectos observados, las condiciones del entorno, el tipo de pavimento y los recursos disponibles para llevar a cabo las intervenciones necesarias (Shahin, 2005). A continuación, se presentan las principales estrategias de rehabilitación de pavimentos flexibles, organizadas en tres categorías: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y rehabilitación estructural.

2.2.5.1 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es una estrategia orientada a cuidar la condición del pavimento hacer larga su vida útil antes de que el deterioro se vuelva significativo. Este enfoque está dirigido principalmente a pavimentos que aún están en buen estado, pero que presentan defectos menores que podrían agravarse con el tiempo si no se abordan

adecuadamente. Las actividades de mantenimiento preventivo son especialmente efectivas cuando se implementan en las primeras etapas del deterioro, antes de que se requiera una rehabilitación más costosa (Haas et al., 2015). Las principales técnicas de mantenimiento preventivo incluyen:

2.2.5.2 Sellado de Fisuras

Es medio preventiva crucial para evitar que el agua y otros agentes ambientales penetren en el pavimento a través de las grietas. La entrada de agua puede debilitar las capas inferiores, acelerando el proceso de deterioro y aumentando el riesgo de fallas más severas (Huang, 2004). Esta técnica implica la aplicación de materiales selladores, generalmente compuestos de asfalto modificado o polímeros, que se inyectan en las fisuras para sellarlas y prevenir la infiltración. El sellado de fisuras es una medida relativamente económica y puede extender la vida útil del pavimento en varios años si se aplica correctamente (Shahin, 2005).

2.2.5.3 Sellado de Superficies

El sellado de superficies consiste en la aplicación de capas delgadas de asfalto sobre la superficie del pavimento, con el objetivo de restaurar la textura y mejorar la resistencia al desgaste. Esta técnica no solo protege al pavimento de la exposición a factores ambientales, como la radiación UV y el agua, sino que también mejora la fricción, lo que es fundamental para la seguridad vial (Mills et al., 2019). Además, el sellado de superficies puede mejorar la estética del pavimento, haciéndolo más atractivo y funcional sin la necesidad de intervenciones mayores.

2.2.5.4 Bacheo Superficial

El bacheo superficial es una técnica utilizada para reparar pequeños agujeros o defectos localizados en la superficie del pavimento antes de que se expandan. Estos defectos, si no se reparan a tiempo, pueden crecer y afectar la integridad estructural del pavimento, lo que requerirá soluciones más costosas y complejas (Haas et al., 2015). El proceso de bacheo superficial implica la limpieza de los bordes del área dañada y la

colocación de mezcla asfáltica caliente o fría, dependiendo de las condiciones climáticas y el tipo de pavimento.

2.2.5.5 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo se aplica cuando el pavimento presenta un deterioro moderado que afecta su funcionalidad, pero no ha comprometido completamente su estructura. Esta estrategia se centra en la reparación de los defectos existentes para restaurar la condición del pavimento a niveles aceptables de rendimiento. Las técnicas de mantenimiento correctivo son más costosas que las preventivas, pero menos invasivas y caras que la rehabilitación estructural completa (Shahin, 2005). Algunas de las técnicas más comunes incluyen:

2.2.5.6 Fresado y Recapado

Esta técnica es particularmente útil cuando el deterioro se encuentra principalmente en la capa superficial y las capas inferiores están en buenas condiciones. El fresado permite mantener la elevación original de la carretera, lo que es crucial para evitar problemas de drenaje y adaptaciones innecesarias en la infraestructura adyacente. Una vez fresada la superficie, se aplica una nueva capa de asfalto que restaura la funcionalidad y el aspecto del pavimento.

2.2.5.7 Reemplazo Parcial de la Base

Cuando el deterioro afecta no solo la superficie del pavimento, sino también las capas inferiores, se puede recurrir al reemplazo parcial de la base. Este procedimiento implica excavar las zonas afectadas, reemplazar los materiales deteriorados y compactar una nueva base antes de aplicar la nueva capa de asfalto. Esta técnica es efectiva en situaciones donde la base presenta fallas localizadas, como hundimientos o ahuellamientos, pero el resto del pavimento aún se encuentra en condiciones aceptables (Mills et al., 2019). El reemplazo parcial de la base permite restaurar la capacidad estructural del pavimento sin necesidad de reconstruir toda la carretera, lo que reduce significativamente los costos.



2.2.5.8 Rehabilitación Estructural

En los casos en los que el pavimento presenta daños estructurales severos, como grandes deformaciones, fisuras extensivas o fatiga avanzada, es necesaria una rehabilitación estructural. Estas técnicas son las más invasivas y costosas, ya que implican la reconstrucción parcial o total del pavimento para restaurar su capacidad de carga y funcionalidad (Haas et al., 2015). Las soluciones de rehabilitación estructural más comunes incluyen:

2.2.5.9 Reparación Total del Pavimento

La reparación total del pavimento implica la reconstrucción completa de todas las capas del pavimento, desde la capa superficial hasta la subrasante. Esta solución es necesaria cuando las fallas estructurales son generalizadas y afectan gravemente la seguridad y el rendimiento del pavimento (Shahin, 2005). El proceso comienza con la remoción de todas las capas deterioradas, seguido de la compactación de una nueva subrasante y la aplicación de nuevas capas de base y superficie. Si bien es una solución costosa, la reparación total del pavimento garantiza un nuevo ciclo de vida prolongado para la infraestructura vial.

2.2.5.10 Reforzamiento del Pavimento

El reforzamiento del pavimento es una técnica que busca mejorar la capacidad estructural del pavimento sin necesidad de reemplazar todas sus capas. Esto se puede lograr mediante la adición de capas adicionales de asfalto o el uso de geosintéticos (como geotextiles o geomallas) que refuerzan la estructura del pavimento y aumentan su resistencia a las deformaciones (Huang, 2004). El uso de geosintéticos es especialmente útil en áreas donde el pavimento está sujeto a cargas pesadas o condiciones ambientales adversas, como suelos blandos o alta humedad (Shahin, 2005). Esta técnica permite prolongar la vida útil del pavimento y mejorar su desempeño sin los altos costos asociados a la reconstrucción completa.



2.2.6 Factores que Contribuyen al Deterioro de los Pavimentos Flexibles

El deterioro de los pavimentos flexibles es un proceso inevitable que puede verse acelerado por una serie de factores tanto ambientales como mecánicos. La interacción de estos factores afecta la integridad estructural y funcional del pavimento, lo que puede llevar a la aparición de defectos como fisuras, ahuellamientos, baches y desintegración superficial. Entender estos factores es fundamental para la planificación del mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos, ya que permite tomar medidas preventivas y correctivas más efectivas. A continuación, se analizan algunos de los factores más importantes que contribuyen al deterioro de los pavimentos flexibles.

2.2.6.1 Carga del Tráfico

La carga del tráfico, especialmente la causada por vehículos pesados, es una de las principales causas del deterioro en los pavimentos flexibles. Cada vehículo genera tensiones en la superficie y capas inferiores del pavimento, y la magnitud de estas tensiones aumenta significativamente con el peso de los vehículos, particularmente con los vehículos de carga pesada (Haas et al., 2015). Con el tiempo, estas tensiones provocan deformaciones permanentes, como ahuellamientos, debido al desplazamiento del material asfáltico. Además, la repetida aplicación de cargas puede generar fatiga en el pavimento, lo que resulta en la aparición de fisuras y otros defectos estructurales (Shahin, 2005).

La capacidad del pavimento para soportar el tráfico depende en gran medida de su diseño estructural. Un pavimento diseñado para tráfico ligero sufrirá deterioro acelerado si se incrementa el número o peso de los vehículos que circulan por él. Esto es especialmente común en áreas urbanas o rurales donde el crecimiento económico puede aumentar el volumen de tránsito sin una mejora concomitante en la infraestructura (Huang, 2004). Por esta razón, es esencial considerar el tipo de tráfico al diseñar y mantener pavimentos, utilizando modelos de carga basados en proyecciones de tráfico a largo plazo (Shahin, 2005).

2.2.6.2 Condiciones Climáticas

Las condiciones climáticas son otro factor crucial en el deterioro de los pavimentos flexibles. Las fluctuaciones de temperatura y humedad tienen un impacto directo en la fatiga térmica del pavimento. Los ciclos de congelación y descongelación, comunes en regiones con inviernos fríos, provocan la expansión y contracción repetida del material asfáltico, lo que facilita la aparición de fisuras (Mills et al., 2019). Estas fisuras permiten que el agua penetre en las capas subyacentes del pavimento, debilitando la estructura y acelerando el proceso de deterioro.

Además, el aumento de la temperatura puede suavizar el material asfáltico, reduciendo su resistencia a las cargas aplicadas por el tráfico. En climas cálidos, esto puede dar lugar a deformaciones permanentes en la superficie del pavimento, como los ahuellamientos, que resultan del desplazamiento de material bajo cargas repetidas (Huang, 2004). Por otro lado, la exposición continua al agua, sin un adecuado sistema de drenaje, también puede debilitar la estructura del pavimento, ya que la acumulación de humedad en la subbase reduce su capacidad de carga y favorece la formación de baches y otros defectos.

2.2.6.3 Drenaje

El agua es un agente altamente destructivo cuando se acumula en las capas inferiores del pavimento, ya que socava la subbase y reduce su capacidad para soportar el tráfico. Esto puede llevar a la aparición de hundimientos, baches y otras fallas estructurales (Shahin, 2005). Si desea mantener las capas inferiores del pavimento secas y estructuralmente sólidas, necesita un sistema de drenaje que pueda evitar que el agua se acumule.

Los problemas de drenaje pueden ser causados por un diseño inadecuado del pavimento, la falta de mantenimiento de las alcantarillas o drenajes, o por condiciones geográficas que favorecen la acumulación de agua en ciertas áreas. Para mitigar el impacto de este factor, es esencial implementar sistemas de drenaje efectivos y mantenerlos adecuadamente durante toda la vida útil del pavimento (Huang, 2004).



Además, en áreas propensas a fuertes precipitaciones o inundaciones, se deben considerar soluciones más robustas de drenaje, como la instalación de drenajes subterráneos o el uso de materiales permeables en la subbase (Mills et al., 2019).

2.2.6.4 Calidad de los Materiales

La calidad de los materiales utilizados en la construcción del pavimento es otro factor determinante en su durabilidad y resistencia al deterioro. Los pavimentos contruidos con mezclas asfálticas mal diseñadas o con materiales de baja calidad tienden a deteriorarse más rápidamente que aquellos que emplean materiales de alta calidad y bien seleccionados (Shahin, 2005). La selección adecuada de agregados, un betún de calidad y una correcta proporción de la mezcla asfáltica son factores clave para asegurar la durabilidad del pavimento y su capacidad para resistir las cargas del tráfico y las condiciones climáticas adversas.

El uso de agregados inadecuados, como aquellos con alta porosidad o baja resistencia, puede provocar el rápido desgaste de la superficie del pavimento. Además, el empleo de betún de baja calidad puede reducir la capacidad del pavimento para resistir las variaciones térmicas y las cargas repetidas del tráfico, lo que lleva a la desintegración superficial y la aparición de defectos estructurales. Por tanto, la calidad de los materiales es un factor fundamental para garantizar la longevidad del pavimento y minimizar los costos de mantenimiento a largo plazo (Haas et al., 2015).

2.2.7 Importancia de la Evaluación Periódica

La evaluación periódica de los pavimentos flexibles es esencial para mantener su funcionalidad y prolongar su vida útil. Utilizando herramientas como el Índice de Condición del Pavimento (PCI), es posible identificar defectos en sus primeras etapas y llevar a cabo intervenciones oportunas que previenen el deterioro acelerado. Esta evaluación no solo permite corregir los defectos visibles, sino que también proporciona información valiosa sobre las causas subyacentes del deterioro, lo que facilita la planificación de estrategias de mantenimiento más efectivas (Shahin, 2005).

El mantenimiento preventivo basado en evaluaciones periódicas puede reducir drásticamente los costos a largo plazo, ya que es mucho más económico reparar pequeños defectos antes de que se conviertan en problemas mayores. Además, una infraestructura vial bien mantenida mejora la seguridad vial al reducir el riesgo de accidentes causados por baches, fisuras y otros defectos en el pavimento (Haas et al., 2015). La implementación de evaluaciones regulares utilizando el PCI garantiza una gestión más eficiente de los recursos y contribuye a una mejor planificación de las intervenciones de rehabilitación.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Deterioro de pavimentos.

El deterioro de los pavimentos es el proceso natural de degradación debido a factores como el tráfico pesado, las condiciones climáticas, el mal drenaje y el uso de materiales de baja calidad. Los efectos visibles incluyen fisuras, ahuellamientos, baches y desintegración superficial. El deterioro puede ser progresivo si no se realiza un mantenimiento adecuado, lo que lleva a la necesidad de intervenciones correctivas o estructurales para mantener la funcionalidad y seguridad de la vía.

2.3.2 Índice de condición del pavimento (PCI).

El PCI es un método estandarizado para evaluar el estado de los pavimentos flexibles y rígidos, basado en la observación de defectos superficiales. El índice varía de 0 (pavimento completamente deteriorado) a 100 (pavimento en perfecto estado), y se calcula mediante inspección visual siguiendo la metodología ASTM D6433-20. Su objetivo es cuantificar la condición estructural y funcional de las carreteras, facilitando la toma de decisiones sobre mantenimiento y rehabilitación. Es una herramienta fundamental en la gestión de infraestructuras viales.

2.3.3 Mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento se realiza cuando el pavimento ha sufrido un deterioro moderado que afecta su funcionalidad. Involucra técnicas como el fresado y recapado de la capa superficial, o el reemplazo parcial de la base en áreas afectadas. Su objetivo es restaurar el rendimiento estructural del pavimento sin la necesidad de realizar una reconstrucción completa. Es más costoso que el mantenimiento preventivo, pero menos invasivo que la rehabilitación estructural.

2.3.4 Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es una estrategia destinada a conservar la integridad del pavimento y prolongar su vida útil. Implica acciones menores, como el sellado de fisuras, el sellado de superficies y el bacheo superficial, para prevenir el deterioro progresivo. Se aplica cuando el pavimento aún está en buen estado para evitar la aparición de defectos graves. Esta estrategia es más económica que las reparaciones mayores y asegura un rendimiento óptimo a largo plazo, evitando deterioros significativos.

2.3.5 Pavimento flexible.

Varias capas de materiales, entre ellos agregados y mezclas asfálticas, conforman un pavimento flexible, que dispersa progresivamente las cargas del tráfico hacia niveles inferiores. Puede adaptarse a los cambios del terreno gracias a su diseño, que permite deformaciones elásticas sin agrietarse. El cuidado que se le dé y los materiales que se utilicen determinarán su duración.

2.3.6 Rehabilitación estructural.

Es una intervención profunda que se lleva a cabo cuando el pavimento presenta daños severos en su estructura, como grandes deformaciones o fatiga extensa. Incluye la reconstrucción total del pavimento, desde la capa superficial hasta la subrasante, o el



reforzamiento mediante geosintéticos y capas adicionales de material. Esta solución es costosa, pero garantiza la restauración completa del pavimento y un nuevo ciclo de vida prolongado. Se utiliza en situaciones donde otras formas de mantenimiento ya no son efectivas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la Investigación

Hernández, Fernández y Baptista, (2010, p. 149) El diseño de esta investigación es tipo no experimental, ya que no se manipulan las variables de estudio, ya que no se manipulan variables independientes y se limita a observar y analizar la situación tal como ocurre. Asimismo, es de tipo transversal, puesto que la recolección de datos se realiza en un solo momento del tiempo, evaluando el estado actual del pavimento flexible de la vía de salida Lampa, en la ciudad de Juliaca, en el año 2024.

3.2 Método de la Investigación

(Reyes, 2022), método científico un proceso organizado para investigar y entender fenómenos. Involucra observar, hacer preguntas, proponer hipótesis, realizar experimentos, analizar los resultados y sacar conclusiones. Su objetivo es garantizar que los resultados sean objetivos y reproducibles. Este proyecto utiliza un método científico para examinar la condición del pavimento flexible de la Salida Lampa, mediante la metodología de PCI.

3.3 Nivel y tipo de la investigación

3.3.1 Nivel de la Investigación

Según Morales y Baca (2021), los niveles de investigación indican la profundidad con la que se estudia un tema y se dividen en exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, dependiendo del propósito del estudio. Esta investigación está en los niveles descriptivo y explicativo. El nivel descriptivo se centrará en identificar y caracterizar el estado actual del pavimento mediante el PCI, proporcionando detalles sobre su condición. El nivel explicativo analizará las causas del deterioro, como el clima, la carga vehicular y la calidad de los materiales, proponiendo soluciones para mejorar la infraestructura vial.

3.3.2 Tipo de la investigación

Gómez y Pérez (2022) destacan que "la investigación cuantitativa y cualitativa representan enfoques metodológicos complementarios, donde la primera se orienta a la medición y la segunda a la interpretación, mientras que la investigación mixta integra ambos para enriquecer los resultados. El tipo de investigación es aplicada, ya que busca dar solución a un problema específico relacionado con la infraestructura vial en la vía de salida Lampa de Juliaca. El objetivo es proporcionar una solución técnica que sea implementable en un contexto real, lo cual aporta beneficios directos a la comunidad.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

Según Hernández Sampieri et al. (2020), la población es "el conjunto total de casos que concuerdan con una serie de especificaciones". Esto puede incluir personas, objetos, organizaciones o eventos, dependiendo del objeto de estudio. La población del estudio está constituida por todas las vías pavimentadas con pavimentos flexibles en la

ciudad de Juliaca. Estas vías forman parte del sistema vial urbano y son esenciales para la conectividad de la ciudad y el transporte de bienes y personas.

3.4.2 Muestra

Kerlinger y Lee (2021) definen la muestra como "un grupo reducido de casos extraído de la población, que debe ser representativo para que los resultados sean generalizables". La muestra de esta investigación es la vía de salida Lampa, un tramo vial estratégico que conecta el área urbana de Juliaca con las rutas de salida hacia zonas rurales y otras ciudades, se analizó 3 Km, de la vía indicada.

3.4.3 Técnicas e Instrumentos

3.4.3.1 Técnicas

El presente estudio emplea una serie de técnicas fundamentales para la evaluación y diagnóstico del estado actual del pavimento. Estas técnicas han sido seleccionadas por su relevancia y precisión en el análisis de pavimentos flexibles, permitiendo obtener datos concretos y cuantificables que respaldan las propuestas de intervención. A continuación, se describen en detalle las técnicas que serán utilizadas:

1. Inspección Visual Directa

La inspección visual directa es una técnica cualitativa que se utilizará en primera instancia para observar y registrar las condiciones visibles del pavimento. Esta técnica consiste en la revisión in situ de la vía objeto de estudio, donde se identificarán defectos tales como grietas, deformaciones, hundimientos, baches, y desprendimientos. Se clasificarán según su severidad en tres niveles: bajo, medio y alto, lo cual permitirá establecer un diagnóstico preliminar.

La importancia de esta técnica radica en su capacidad para proporcionar una visión general rápida de los problemas más evidentes en la infraestructura vial, y es un método ampliamente utilizado en la ingeniería civil debido a su simplicidad y bajo costo. Sin embargo, sus limitaciones residen en la subjetividad del observador y en la

posibilidad de que algunos defectos subyacentes no sean detectados a simple vista. Por ello, se complementará con mediciones más precisas como las que se describen en el siguiente apartado.

2. Medición de Defectos mediante el (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) es un método cuantitativo estándar internacionalmente aceptado para evaluar la condición de los pavimentos.

El PCI otorga un valor numérico entre 0 y 100, donde 0 representa una condición de pavimento "muy malo" y 100 indica una condición "excelente". La medición se realiza a través de la identificación y clasificación de los defectos observados durante la inspección visual, los cuales se registran en fichas de campo específicas para cada tramo evaluado. Los tipos de defectos que se consideran en esta metodología incluyen, entre otros, grietas longitudinales y transversales, baches, fisuras en bloque, ahuellamientos y desprendimientos de material.

Cada uno de estos defectos se clasifica según su tipo, extensión y severidad, y a partir de ello se calcula el índice final mediante fórmulas preestablecidas en el manual del PCI. Este procedimiento se llevará a cabo en una muestra representativa del área total de la vía, seleccionada estratégicamente para garantizar que los resultados obtenidos reflejen la condición general del pavimento. Las mediciones se realizarán con la ayuda de instrumentos de precisión que garantizarán la fiabilidad de los datos recolectados.

Justificación del Uso del PCI

La elección del PCI como método principal para la evaluación del pavimento en este estudio se debe a su capacidad para generar un diagnóstico detallado y estandarizado. Al ser un índice numérico, permite realizar comparaciones directas entre diferentes secciones de la vía, así como también con otras evaluaciones previas o futuras, facilitando la toma de decisiones para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento. Además, su implementación permite identificar no solo los tipos de fallas

presentes, sino también el grado de deterioro que estas han alcanzado, lo que es fundamental para proponer soluciones técnicas acordes a la magnitud del problema.

El uso del PCI es particularmente relevante en el contexto de la rehabilitación de pavimentos flexibles, ya que proporciona una base objetiva para determinar las necesidades de intervención en cada tramo específico. De igual forma, su empleo facilita la priorización de los recursos, permitiendo que las acciones correctivas se enfoquen en las áreas con mayor urgencia.

Relación entre ambas técnicas

La combinación de la inspección visual directa con la medición a través del PCI garantiza una evaluación integral del pavimento. Mientras que la inspección visual permite una identificación preliminar y cualitativa de los defectos, el PCI ofrece un análisis más riguroso y cuantitativo, otorgando un valor objetivo a la condición del pavimento. Esta complementación entre métodos cualitativos y cuantitativos asegura que los datos recogidos en campo sean tanto representativos como precisos, mejorando así la fiabilidad del diagnóstico y las propuestas de rehabilitación que se presentarán en este estudio.

3.4.3.2 Instrumentos

En este estudio, los instrumentos utilizados juegan un papel crucial en la recolección y análisis de datos referentes a la condición del pavimento. Estos instrumentos han sido seleccionados con el objetivo de garantizar la precisión y la sistematización de la información obtenida, facilitando así el desarrollo de propuestas técnicas basadas en un análisis riguroso. A continuación, se describen en detalle los principales instrumentos que se emplearán:

1. Fichas de Inspección

Las fichas de inspección constituyen una herramienta esencial para la documentación sistemática de los defectos observados durante el proceso de evaluación del pavimento. Estas fichas están específicamente diseñadas para registrar cada tipo de falla de acuerdo con los criterios establecidos por el Índice de Condición del Pavimento

(PCI). Cada ficha contiene un formato estandarizado que facilita la clasificación y cuantificación de los defectos, como grietas longitudinales, transversales, fisuras, baches, y deformaciones.

Las fichas incluyen secciones detalladas para el registro de la extensión, severidad y tipo de cada defecto, asegurando que se recoja información completa y precisa en cada tramo evaluado. Este registro minucioso es fundamental para la posterior implementación del PCI, ya que permite un análisis objetivo de las condiciones del pavimento en diferentes secciones de la vía.

Además, las fichas de inspección proporcionan una base sólida de datos para comparar las condiciones actuales del pavimento con evaluaciones futuras o previas, lo que facilita el seguimiento del deterioro a lo largo del tiempo. La estandarización en el diseño de las fichas no solo garantiza la uniformidad en la recolección de datos, sino también la reducción de errores en el proceso de documentación.

2. Cinta Métrica y Herramientas de Medición

El uso de instrumentos de medición manuales, como la cinta métrica, resulta indispensable para garantizar la precisión en el registro de las dimensiones de los defectos observados en el pavimento. Con estas herramientas, se medirán variables críticas como la longitud, el ancho y la profundidad de cada tipo de falla. La exactitud en estas mediciones es esencial para asegurar que los cálculos posteriores, especialmente aquellos relacionados con el PCI, se basen en datos concretos y fidedignos.

Además de la cinta métrica, se emplearán otros instrumentos complementarios, tales como calibradores y reglas metálicas, para obtener mediciones detalladas en casos donde las fallas sean más complejas o de difícil acceso. Estas herramientas manuales permiten ajustar las mediciones a las especificaciones requeridas, proporcionando un control preciso en la identificación y clasificación de los defectos. La precisión de estas mediciones contribuye a una evaluación exhaustiva del estado del pavimento, lo que resulta en un diagnóstico más riguroso y en la definición de soluciones adecuadas.

3.5 Plan de recolección y procesamiento de datos

En específico, presentamos la secuencia que se describe a continuación. Esta investigación se realizó de acuerdo a un proceso específico para cumplir con los objetivos establecidos.

3.5.1 Desarrollo del plan de investigación

ETAPA I: EXPLORACIÓN DE INFORMACION

El primer paso es reunir toda la información esencial, lo que incluye la lectura de todos los libros, artículos, tesis y reglamentaciones aplicables.

ETAPA II: UBICACIÓN DE LA VIA.

Salida Lampa de la ciudad de Juliaca.

Figura 5

Localización de la vía.



Tabla 2*Progresiva de los tramos analizados.*

KM. INICIO	KM. FINAL
Km. 0+000	Km. 0+428.57
Km. 0+428.57	Km. 0+857.14
Km. 0+857.14	Km. 1+285.71
Km. 1+285.71	Km. 1+714.28
Km. 1+714.28	Km. 2+142.85
Km. 2+142.85	Km. 2+571.42
Km. 2+571.42	Km. 3+000

ETAPA III: PROCEDIMIENTO METODOLOGÍA PCI

Su propósito es asegurar la longevidad y funcionalidad de los caminos, minimizando los costos de mantenimiento a largo plazo y garantizando la seguridad de los usuarios. Para lograr este objetivo, es crucial implementar herramientas de diagnóstico que permitan identificar de manera precisa y cuantitativa las áreas que requieren intervención.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es una de las metodologías más aceptadas y utilizadas a nivel mundial para este propósito. Se basa en la evaluación visual del pavimento y proporciona un índice numérico que refleja su condición. Este índice, que varía de 0 a 100, es fundamental para la planificación de estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, siendo una herramienta imprescindible para los ingenieros civiles en el campo de la gestión de pavimentos.

Este estudio emplea la metodología descrita en la norma ASTM D6433-20 para pavimentos flexibles, proporcionando una descripción detallada del proceso de evaluación del PCI y las propuestas de intervención derivadas.

Delimitación del Área de Estudio

La selección del área de estudio es un paso crítico en cualquier evaluación de pavimentos, ya que garantiza la representatividad de los resultados obtenidos. Para este estudio, se seleccionaron tramos de pavimento flexible que son representativos de las condiciones locales de tráfico, uso y antigüedad del pavimento.



- ✓ **Criterios de selección:** Se identifican secciones con características homogéneas en cuanto a tráfico vehicular, año de construcción y tipo de mantenimiento previo. Este enfoque busca reducir la variabilidad interna en cada sección y facilitar la comparación entre distintas áreas evaluadas.
- ✓ **División en unidades de muestra:** Cada sección de pavimento se divide en unidades de muestra de aproximadamente 100 metros cuadrados, tal como lo especifica la norma ASTM D6433-20. Esta subdivisión permite una evaluación detallada y facilita la identificación de patrones de deterioro en diferentes partes del tramo.
- ✓ **Método de muestreo:** Se selecciona un muestreo estratificado por tramos, garantizando que se cubran todas las áreas críticas del pavimento. Esto incluye zonas de alto tráfico, intersecciones y áreas cercanas a curvas, donde comúnmente se observan mayores niveles de deterioro.

Inspección Visual del Pavimento

La inspección visual constituye una de las etapas más importantes del proceso de evaluación del PCI. Durante esta fase, se realiza un levantamiento exhaustivo de los daños superficiales presentes en el pavimento, documentando cada tipo de deterioro y clasificándolo de acuerdo a su severidad.

Tipos de deterioro evaluados:

- ✓ **Grietas por fatiga:** Son el resultado del debilitamiento estructural del pavimento debido al tráfico repetido, especialmente en áreas de alto tráfico pesado. Estas grietas aparecen en patrones de "piel de cocodrilo" y son indicadores de la necesidad de rehabilitación.
- ✓ **Grietas longitudinales y transversales:** Estas grietas se forman debido a la contracción y expansión del pavimento como consecuencia de los cambios de temperatura. Su presencia puede indicar problemas en la capa base o la subrasante.



- ✓ **Parcheos y baches:** Se registran tanto los parches realizados previamente como los baches no reparados. Los baches representan una pérdida de material del pavimento, y su gravedad depende del tamaño y la profundidad del daño.
- ✓ **Desintegración superficial:** Este deterioro se refiere a la pérdida gradual del agregado superficial debido a la erosión o mal uso de materiales en la mezcla asfáltica. Esta condición suele requerir mantenimiento preventivo.
- ✓ **Ondulaciones o deformaciones plásticas (ahuellamiento):** Se observan como hundimientos en la superficie del pavimento y son causadas por la consolidación del material en las capas inferiores del pavimento bajo la acción del tráfico pesado.
- ✓ **Exudación de asfalto:** Este fenómeno ocurre cuando el pavimento libera asfalto en la superficie, lo que puede causar problemas de deslizamiento y aumentar la susceptibilidad al deterioro adicional.

Clasificación de severidad: Cada deterioro es clasificado según su severidad (leve, moderada o severa) en función de su extensión, profundidad y tipo de daño. Esta clasificación es crucial para el cálculo del PCI, ya que la severidad afecta directamente el valor de deducción asociado a cada tipo de deterioro.

Cuantificación de deterioros: Se mide la extensión de los deterioros en términos de área (metros cuadrados) o longitud (metros lineales), dependiendo del tipo de daño. Estas medidas son esenciales para realizar los cálculos de deducción en el PCI.

Clasificación del Deterioro y Cálculo del PCI

Inmediatamente después de finalizar la inspección visual, se calcula el PCI para cada unidad de muestra individual. De acuerdo con las reglas de la norma ASTM D6433-20, que establece un valor de deducción para cada forma de degradación en función de su gravedad y extensión, este cálculo se lleva a cabo de acuerdo con esas recomendaciones.



Cálculo del PCI por unidad de muestra: El PCI se calcula restando los valores de deducción del puntaje inicial de 100. Estos valores de deducción se obtienen mediante tablas específicas de la norma ASTM, las cuales relacionan cada tipo de deterioro con su severidad y extensión.

Rangos del PCI: El valor resultante del PCI puede clasificarse en los siguientes rangos:

- ❖ **86 a 100:** Excelente. El pavimento presenta pocos o ningún deterioro, y no requiere intervención.
- ❖ **71 a 85:** Muy bueno. El pavimento está en buen estado, pero podría necesitar mantenimiento preventivo para evitar el avance del deterioro.
- ❖ **56 a 70:** Bueno. Se observan deterioros leves que podrían requerir reparaciones menores.
- ❖ **41 a 55:** Regular. El pavimento muestra signos de deterioro más pronunciados, y podría requerir una rehabilitación menor.
- ❖ **26 a 40:** Pobre. Se requiere una intervención significativa, ya que el pavimento presenta deterioros graves.
- ❖ **11 a 25:** Muy pobre. El pavimento está en condiciones críticas, con la necesidad de rehabilitación mayor o reconstrucción.
- ❖ **0 a 10:** Fallido. El pavimento ha colapsado y requiere una reconstrucción completa.

Promedio del PCI por Sección de Pavimento

Mediante el proceso de promediar los valores PCI de todas las unidades de muestra contenidas en cada sección, es posible obtener una evaluación completa de la sección del pavimento. Este promedio proporciona una perspectiva representativa del estado general del pavimento en esa parte, lo que también permite identificar áreas prioritarias de mejora en esa sección.

Método de promediado: Se utiliza el promedio ponderado si algunas unidades de muestra tienen un mayor impacto en el tráfico o la funcionalidad del tramo. Este

enfoque asegura que las áreas críticas reciban una mayor prioridad en las intervenciones propuestas.

Análisis e Interpretación de Resultados

Una vez calculados los valores del PCI, se procede al análisis de los resultados obtenidos. El análisis incluye la comparación de los valores del PCI entre las diferentes secciones del pavimento, lo que permite identificar los tramos que presentan condiciones más críticas.

- ✓ **Identificación de patrones de deterioro:** Se analizan los tipos y ubicaciones de los deterioros más frecuentes, lo que permite inferir las posibles causas (tráfico pesado, problemas en la subbase, clima, entre otros).
- ✓ **Clasificación de tramos:** Se clasifican los tramos en función de su condición (excelente, muy bueno, etc.), proporcionando un diagnóstico detallado que facilita la toma de decisiones sobre el tipo de intervención a realizar.

Propuesta de Intervenciones

A partir del análisis de los resultados, se proponen intervenciones específicas para cada sección de pavimento. Estas intervenciones están diseñadas para restaurar la funcionalidad del pavimento y prolongar su vida útil.

Mantenimiento preventivo: Consiste en la aplicación de tratamientos superficiales, como el sellado de grietas, la colocación de microaglomerados o la aplicación de selladores asfálticos, diseñados para prevenir el avance de deterioros menores y prolongar la vida útil del pavimento en sus primeras etapas de desgaste.

Rehabilitación menor: Implica la reparación de deterioros superficiales mediante técnicas como el fresado superficial y la colocación de una nueva capa de recubrimiento asfáltico (reapeo). Este tipo de intervención es adecuado para pavimentos con deterioros moderados que no afectan significativamente la estructura subyacente.

Rehabilitación mayor: Comprende la remoción y reemplazo de capas deterioradas del pavimento, incluyendo capas de rodadura y, en algunos casos, capas



base. Se aplica en áreas donde existen fallas estructurales más graves, pero la subbase aún presenta condiciones aceptables.

Reconstrucción total: Es una intervención integral aplicada en pavimentos con un Índice de Condición del Pavimento (PCI) muy bajo o con daños estructurales severos que comprometen la funcionalidad de todas las capas del pavimento. Incluye la remoción completa del pavimento existente y, de ser necesario, la reparación o el reemplazo de la subbase y la base.

3.5.2 *Procesamiento de datos*

La presentación de los datos recolectados se realizará inicialmente a través de tablas detalladas, organizadas según los indicadores de deterioro identificados en el pavimento. Posteriormente, se empleará software especializado para realizar cálculos automatizados y generar gráficos visuales, como diagramas de barras y gráficos de dispersión, que facilitarán la interpretación visual de las tendencias y patrones de deterioro. Las técnicas estadísticas utilizadas, basadas en métodos robustos y confiables, permitirán un análisis preciso de los resultados. Esto garantizará que los datos sean presentados de forma clara y accesible, mejorando la comprensión y facilitando la toma de decisiones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados.

4.1.1 Análisis de los tipos de daño y su grado de severidad presentes en la vía.

Tabla 3

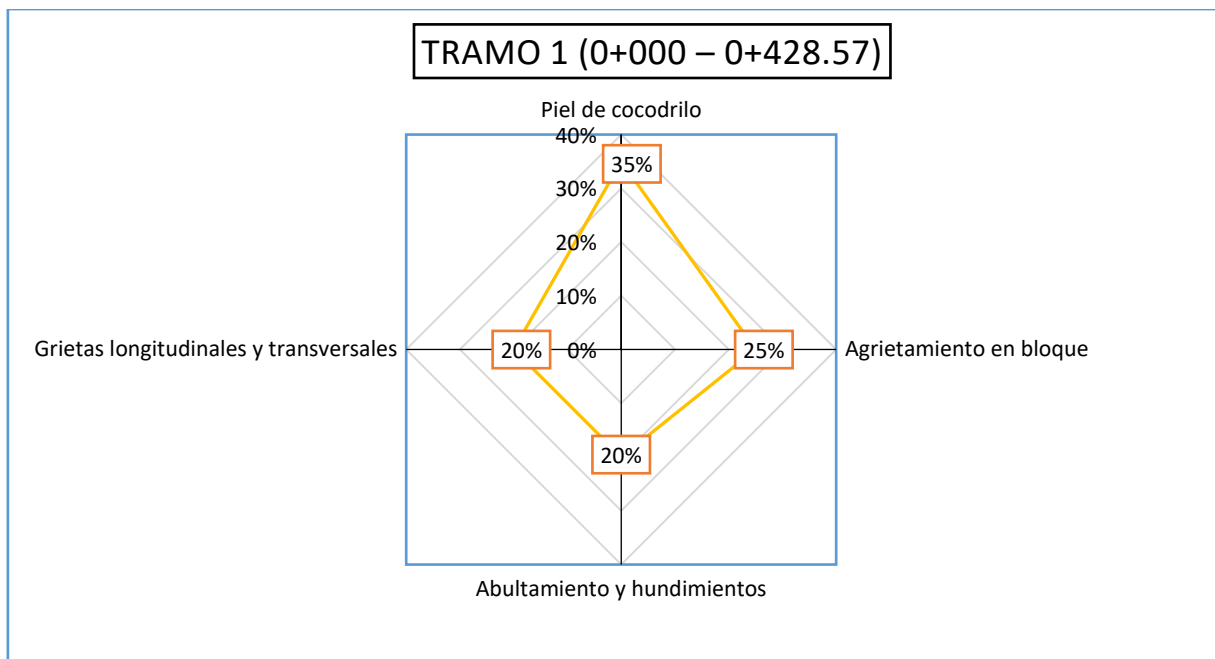
Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+428.57).

Nro.	Daño	Área afectada (m ²)	Grado de Severidad (Alto)	Proporción afectada (%)
1	Piel de cocodrilo	120	Alto	35%
3	Agrietamiento en bloque	80	Alto	25%
4	Abultamiento y hundimientos	70	Alto	20%
10	Grietas longitudinales y transversales	70	Alto	20%
Total	-	340 m ²	-	100%

Las fallas observadas en el Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+428.57), con un total de 340 m² de área afectada. Las fallas registradas incluyen piel de cocodrilo (120 m²), agrietamiento en bloque (80 m²), abultamientos y hundimientos (70 m²), y grietas longitudinales y transversales (70 m²), todas con un grado de severidad alto. La proporción afectada por cada tipo de falla varía entre el 20% y el 35%, siendo la piel de cocodrilo la más extensa.

Figura 6

Registro del tramo 1.



La Figura muestra un gráfico radar del Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+428.57), destacando las fallas principales. Las proporciones afectadas son: piel de cocodrilo (35%), agrietamiento en bloque (25%), abultamiento y hundimientos (20%) y grietas longitudinales y transversales (20%).

Tabla 4

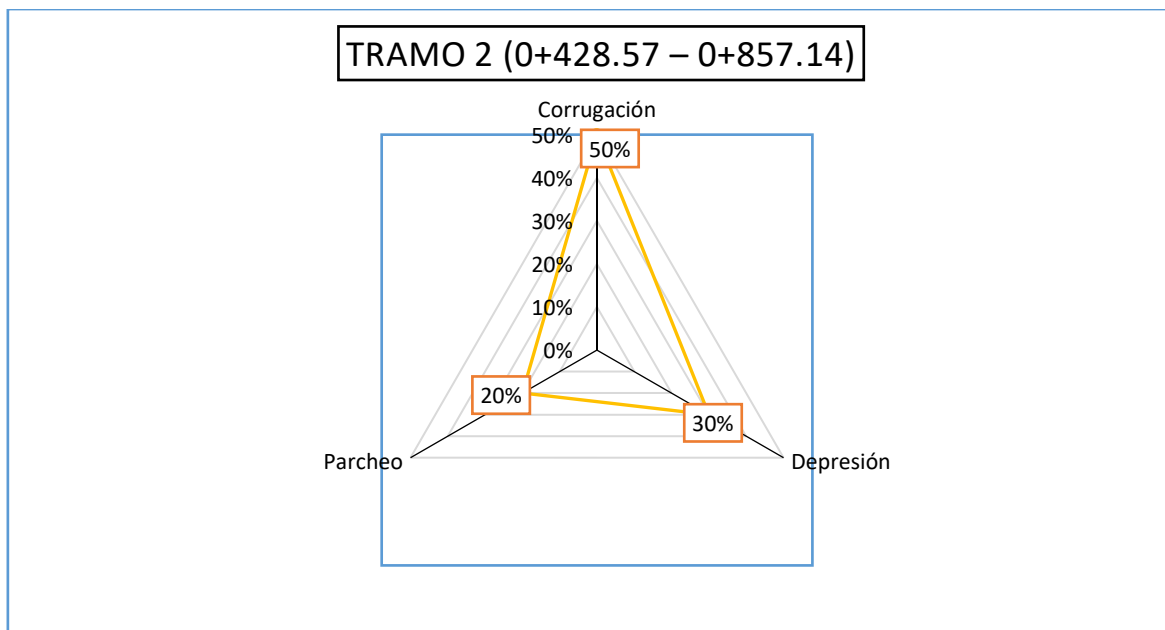
Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 2 (Km 0+428.57 a Km 0+857.14).

Nro.	Daño	Área afectada (m ²)	Grado de Severidad (Alto)	Proporción afectada (%)
5	Corrugación	150	Alto	50%
6	Depresión	100	Alto	30%
11	Parcheo	50	Alto	20%
Total	-	300 m ²	-	100%

El Tramo 2 (Km 0+428.57 a Km 0+857.14), con un total de 300 m² de área afectada. Las fallas identificadas incluyen corrugación (150 m²), depresión (100 m²) y parcheo (50 m²), todas con un grado de severidad alto. La corrugación es la falla más significativa, afectando el 50% de la superficie, seguida por la depresión (30%) y el parcheo (20%).

Figura 7

Registro del tramo 2.



La Figura muestra un gráfico radar que registra las fallas en el Tramo 2 (Km 0+428.57 a Km 0+857.14). Las principales fallas son corrugación (50%), depresión (30%) y parcheo (20%), representando visualmente las proporciones afectadas en cada categoría. El gráfico facilita la comparación del impacto de cada falla en el tramo.

Tabla 5

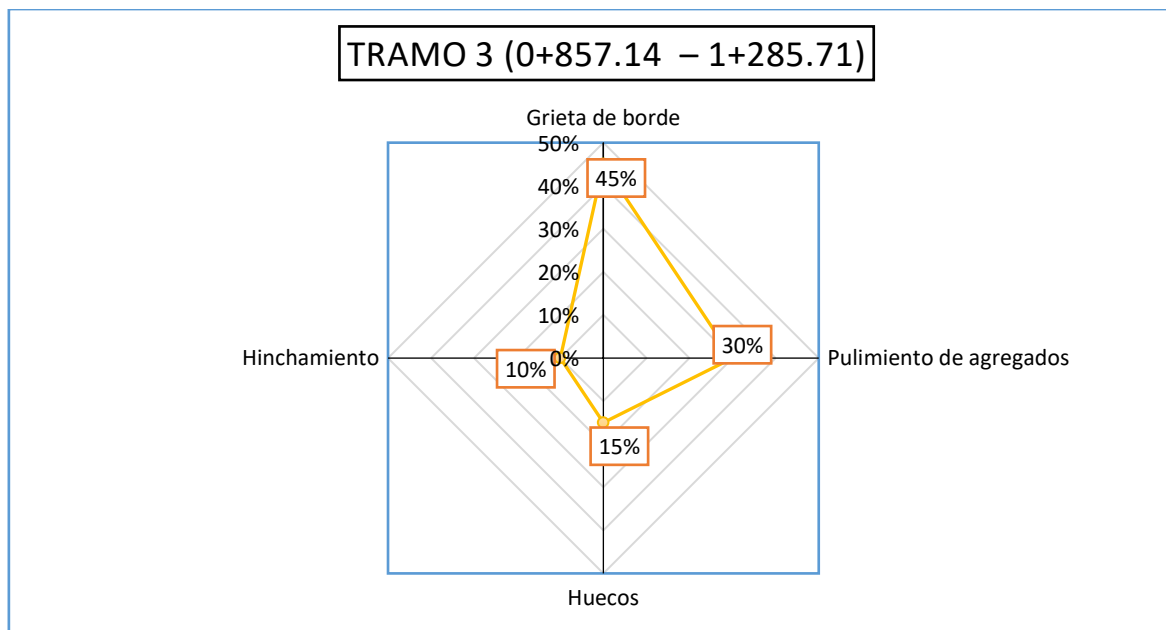
Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 3 (Km 0+857.14 a Km 1+285.71).

Nro.	Daño	Área afectada (m ²)	Grado de Severidad (Alto)	Proporción afectada (%)
7	Grieta de borde	130	Alto	45%
12	Pulimiento de agregados	90	Alto	30%
13	Huecos	50	Alto	15%
18	Hinchamiento	30	Alto	10%
Total	-	300 m ²	-	100%

Los tipos de fallas identificadas en el Tramo 3 (Km 0+857.14 a Km 1+285.71), con un total de 300 m² de área afectada. Las fallas registradas incluyen grieta de borde (130 m²), pulimiento de agregados (90 m²), huecos (50 m²) e hinchamiento (30 m²), todas con un grado de severidad alto. La grieta de borde afecta el 45% del tramo, seguida por el pulimiento de agregados (30%), huecos (15%) y hinchamiento (10%).

Figura 8

Registro del tramo 3.



La Figura presenta un gráfico radar que registra las fallas en el Tramo 3 (Km 0+857.14 a Km 1+285.71). Las principales fallas son grieta de borde (45%), pulimiento de agregados (30%), huecos (15%) e hinchamiento (10%).

Tabla 6

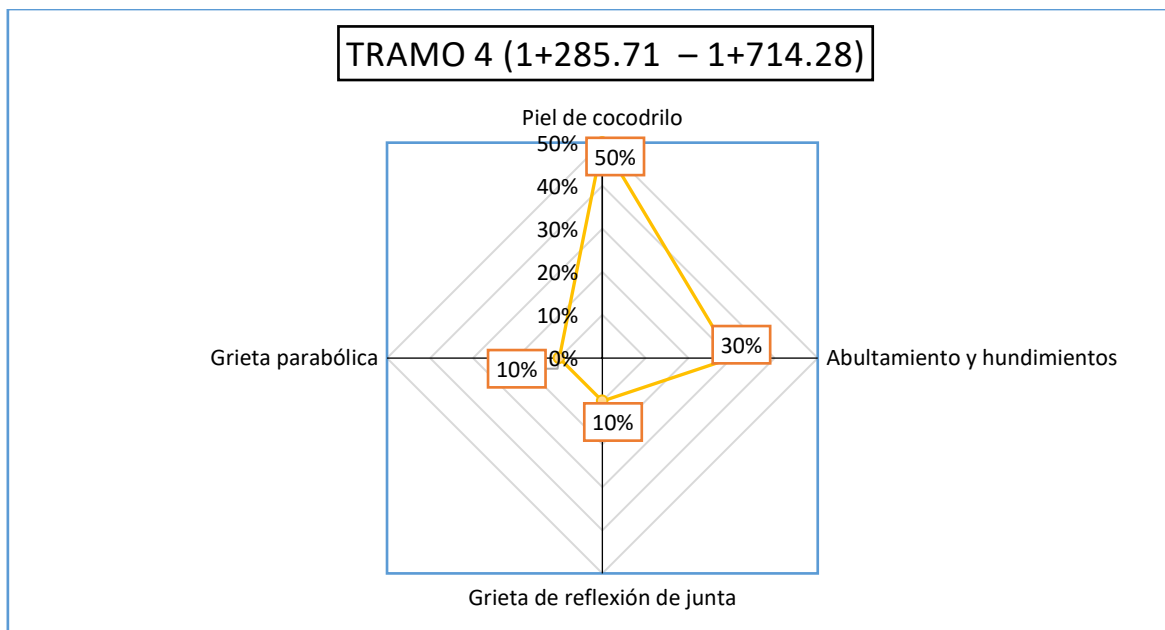
Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 4 (Km 1+285.71 a Km 1+714.28).

Nro.	Daño	Área afectada (m ²)	Grado de Severidad (Alto)	Proporción afectada (%)
1	Piel de cocodrilo	150	Alto	50%
4	Abultamiento y hundimientos	90	Alto	30%
8	Grieta de reflexión de junta	30	Alto	10%
17	Grieta parabólica	30	Alto	10%
Total	-	300 m ²	-	100%

La tabla muestra las fallas identificadas incluyen piel de cocodrilo (150 m²), abultamiento y hundimientos (90 m²), grieta de reflexión de junta (30 m²) y grieta parabólica (30 m²), todas con un grado de severidad alto. La piel de cocodrilo es más significativa, afectando el 50% del tramo, seguida de abultamientos y hundimientos (30%), y las dos grietas restantes con un 10% cada una.

Figura 9

Registro del tramo 4.



La Figura presenta un gráfico radar que registra las fallas en el Tramo 4 (Km 1+285.71 a Km 1+714.28). Las principales fallas son piel de cocodrilo (50%), abultamiento y hundimientos (30%), y grietas de reflexión de junta y parabólica (10% cada una).

Tabla 7

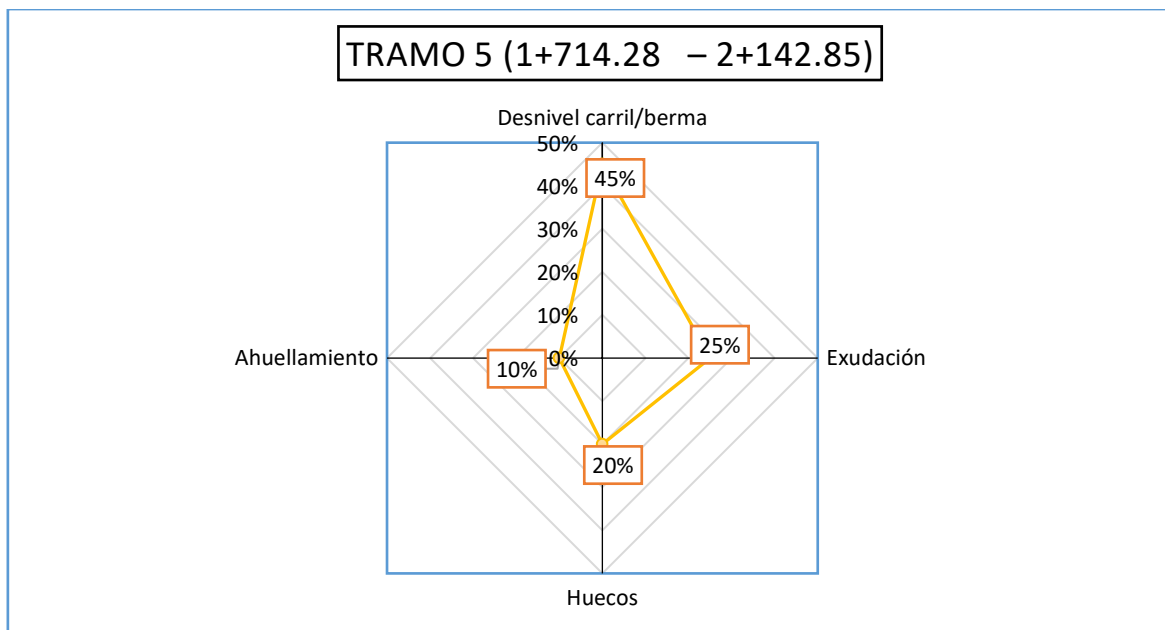
Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 5 (Km 1+714.28 a Km 2+142.85).

Nro.	Daño	Área afectada (m ²)	Grado de Severidad (Alto)	Proporción afectada (%)
9	Desnivel carril/berma	140	Alto	45%
2	Exudación	70	Alto	25%
13	Huecos	50	Alto	20%
15	Ahuellamiento	40	Alto	10%
Total	-	300 m ²	-	100%

Los tipos de fallas en Tramo 5 (Km 1+714.28 a Km 2+142.85), con un área afectada total de 300 m². Las fallas incluyen desnivel carril/berma (140 m²), exudación (70 m²), huecos (50 m²) y ahuellamiento (40 m²), todas con un grado de severidad alto. El desnivel carril/berma afecta el 45% del tramo, seguido por la exudación (25%), huecos (20%) y ahuellamiento (10%).

Figura 10

Registro del tramo 5.



La Figura presenta un gráfico radar que registra las fallas en el Tramo 5 (Km 1+714.28 a Km 2+142.85). Las principales fallas son desnivel carril/berma (45%), exudación (25%), huecos (20%) y ahuellamiento (10%). El gráfico permite comparar visualmente la proporción afectada por cada tipo de falla en el tramo.

Tabla 8

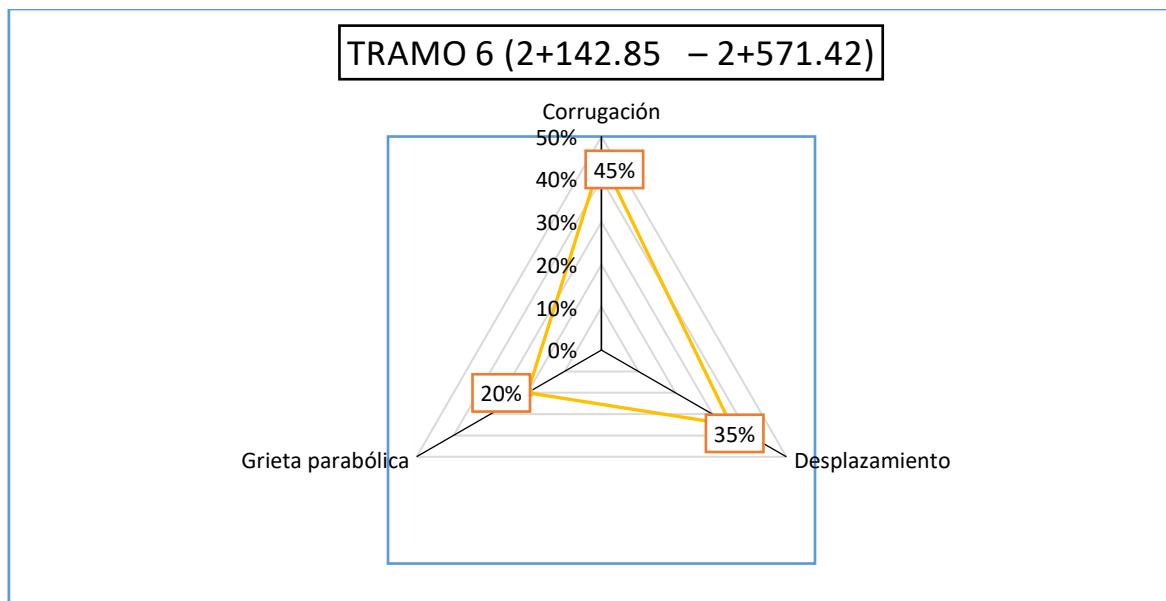
Clasificación de Fallas Identificadas en el Tramo 6 (Km 2+142.85 a Km 2+571.42).

Nro.	Daño	Área afectada (m ²)	Grado de Severidad (Alto)	Proporción afectada (%)
5	Corrugación	140	Alto	45%
16	Desplazamiento	100	Alto	35%
17	Grieta parabólica	60	Alto	20%
Total	-	300 m ²	-	100%

El Tramo 6 (Km 2+142.85 a Km 2+571.42), con un área afectada total de 300 m². Las fallas incluyen corrugación (140 m²), desplazamiento (100 m²) y grieta parabólica (60 m²), todas con un grado de severidad alto. La corrugación afecta el 45% del tramo, seguida del desplazamiento con un 35% y la grieta parabólica con un 20%.

Figura 11

Registro del tramo 6.



La Figura presenta un gráfico radar que registra las fallas en el Tramo 6 (Km 2+142.85 a Km 2+571.42). Las principales fallas son corrugación (45%), desplazamiento (35%) y grieta parabólica (20%).

Tabla 9

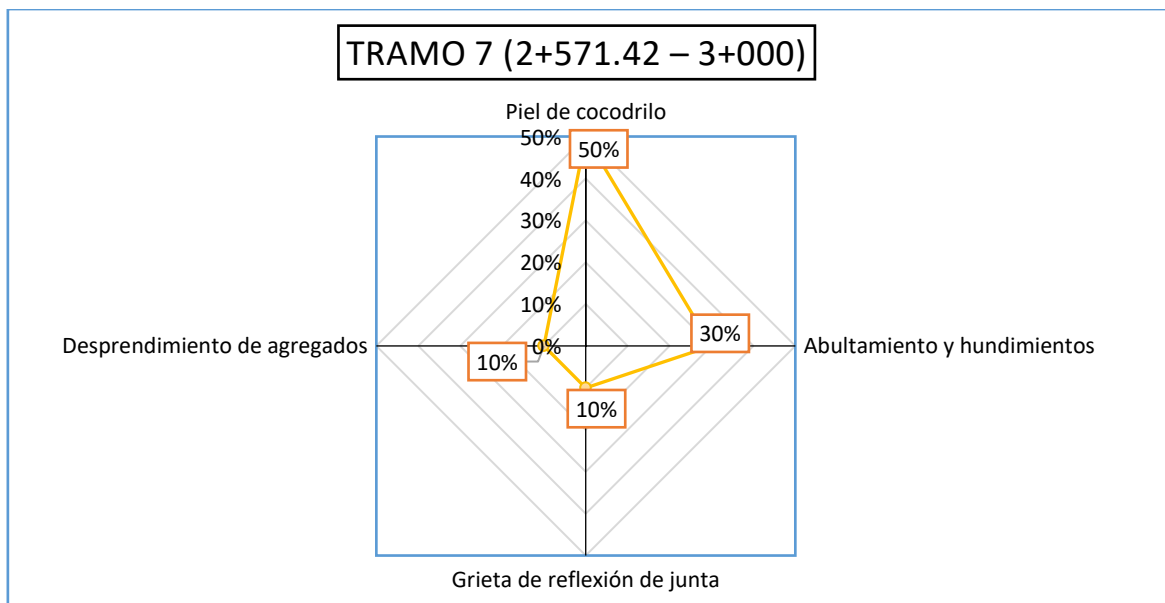
Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 7 (Km 2+571.42 a Km 3+000).

Nro.	Daño	Área afectada (m ²)	Grado de Severidad (Alto)	Proporción afectada (%)
1	Piel de cocodrilo	150	Alto	50%
4	Abultamiento y hundimientos	90	Alto	30%
8	Grieta de reflexión de junta	30	Alto	10%
19	Desprendimiento de agregados	30	Alto	10%
Total	-	300 m ²	-	100%

La tabla muestra las fallas registradas en el Tramo 7, con un área afectada total de 300 m². Las fallas incluyen piel de cocodrilo (150 m²), abultamiento y hundimientos (90 m²), grieta de reflexión de junta (30 m²) y desprendimiento de agregados (30 m²), todas con un grado de severidad alto. La piel de cocodrilo afecta el 50% del tramo, seguida de abultamiento y hundimientos con un 30%, y las grietas y desprendimiento con un 10% cada una.

Figura 12

Registro del tramo 7.



La Figura muestra un gráfico radar que registra las fallas en el Tramo 7 (Km 2+571.42 a Km 3+000). Las principales fallas son piel de cocodrilo (50%), abultamiento y hundimientos (30%), grieta de reflexión de junta (10%) y desprendimiento de agregados (10%).

4.1.2 *Análisis del nivel de condición superficial de la vía.*

El PCI mide el estado del pavimento en una escala de 0 (peor) a 100 (mejor).

Tabla 10

PCI del Tramo 1.

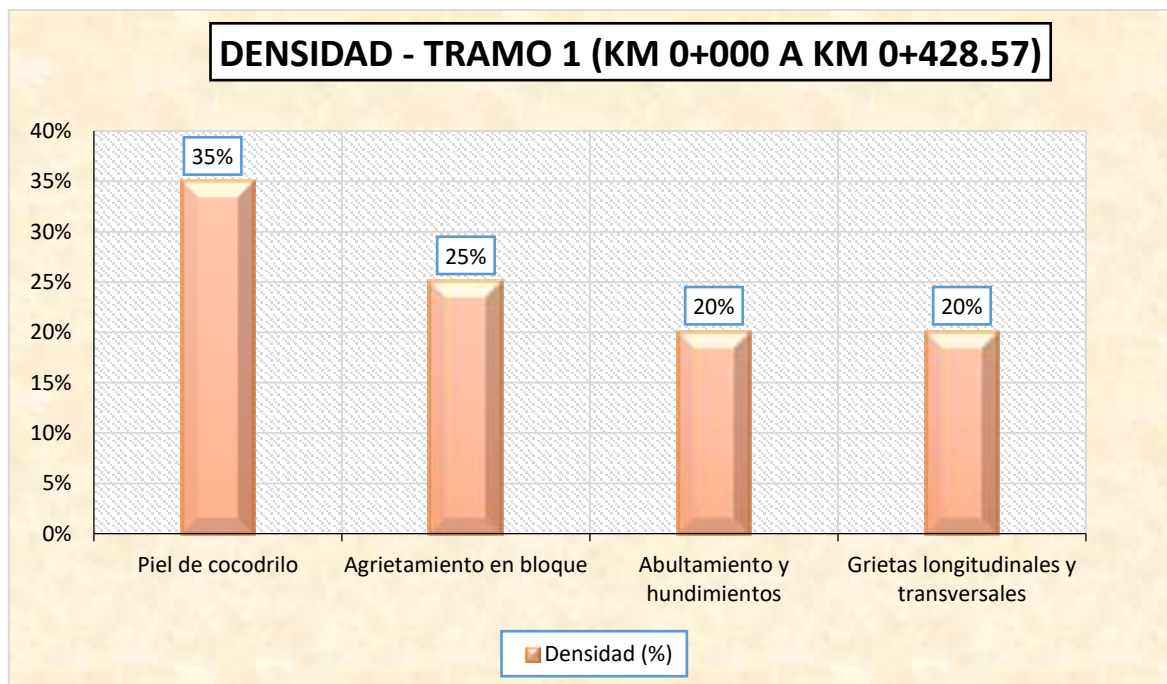
Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Piel de cocodrilo	1	Alta	35	42.5
Agrietamiento en bloque	1	Alta	25	
Abultamiento y hundimientos	1	Alta	20	
Grietas longitudinales y transversales	1	Alta	20	

Se muestra cuatro tipos de fallas: piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, abultamiento y hundimientos, y grietas longitudinales y transversales, todas con severidad alta. Cada falla presenta una densidad relativa (en %) y contribuye al PCI

global del tramo, que es de 42.5. Estos valores reflejan un estado de deterioro significativo del pavimento.

Figura 13

Condición del tramo 1.



La piel de cocodrilo es la más significativa (35%), seguida del agrietamiento en bloque (25%), mientras que el abultamiento y las grietas longitudinales/transversales alcanzan un 20% cada una. Estos datos evidencian un deterioro importante del pavimento.

Tabla 11

PCI del Tramo 2.

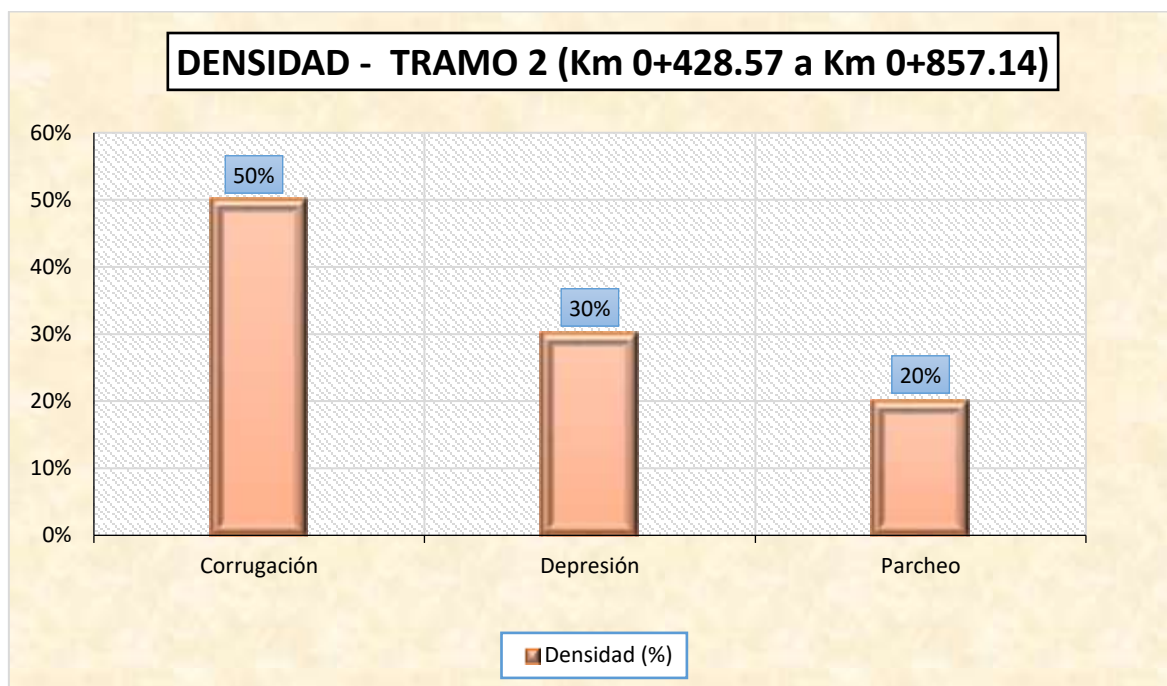
Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Corrugación	1	Alta	50	
Depresión	1	Alta	30	25
Parcheo	1	Alta	20	

El Tramo 2, con un valor global de 25, indicando deterioro severo. Se identificaron tres fallas principales: corrugación (50% de densidad), depresión (30%) y parcheo (20%),

todas con severidad alta. Estos datos reflejan un pavimento con problemas críticos en su estructura.

Figura 14

Condición del tramo 2.



La densidad porcentual de fallas en el Tramo 2 (KM 0+428.57 a KM 0+857.14). La corrugación es la más significativa (50%), seguida depresión (30%), y parcheo alcanzo un 20%. Estos datos evidencian un deterioro importante del pavimento.

Tabla 12

PCI del Tramo 3.

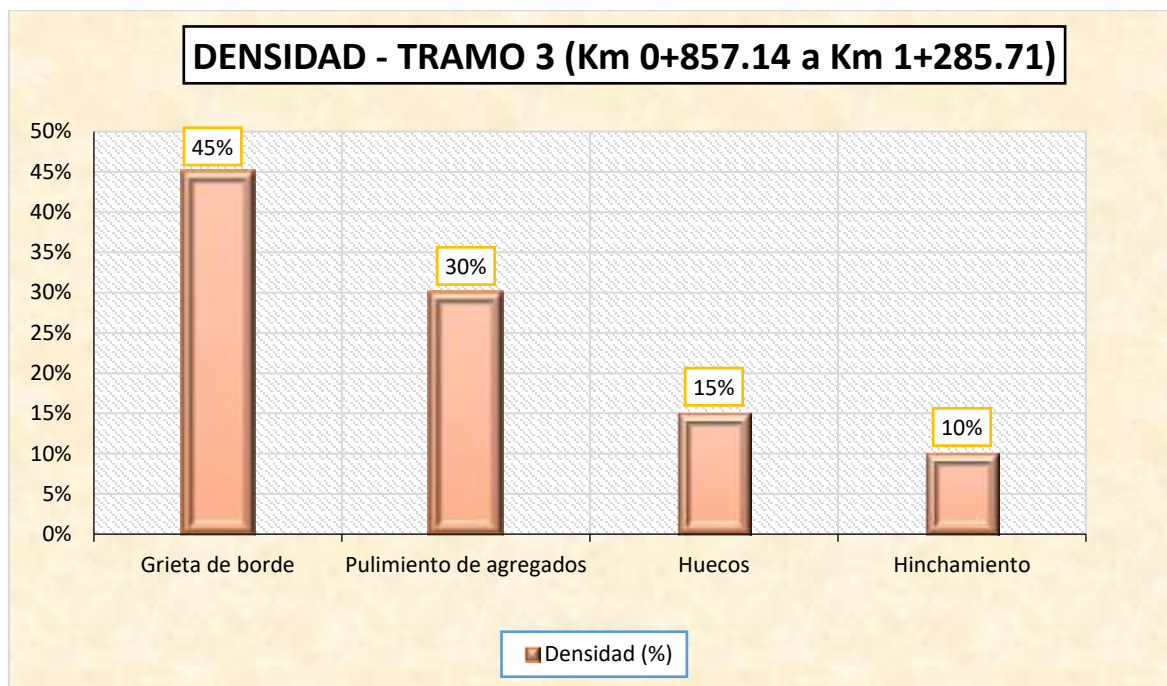
Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Grieta de borde	1	Alta	45	32.5
Pulimiento de agregados	1	Alta	30	
Huecos	1	Alta	15	
Hinchamiento	1	Alta	10	

La tabla presenta el (PCI) del Tramo 3, con un valor global de 32.5, indicando deterioro severo. Se identificaron 4 fallas principales: Grieta de borde (45% de densidad),

pulimiento de agregados (30%), huecos (15%), e hinchamiento (10%), todas con severidad alta. Estos datos reflejan un pavimento con problemas críticos en su estructura.

Figura 15

Condición del tramo 3.



La densidad porcentual de fallas en el Tramo 3 (KM 0+857.14 a KM 1+285.71). La Grieta de borde es la más significativa (45%), seguida hinchamiento (10%), quien es el menor. Estos datos evidencian un deterioro importante del pavimento.

Tabla 13

PCI del Tramo 4.

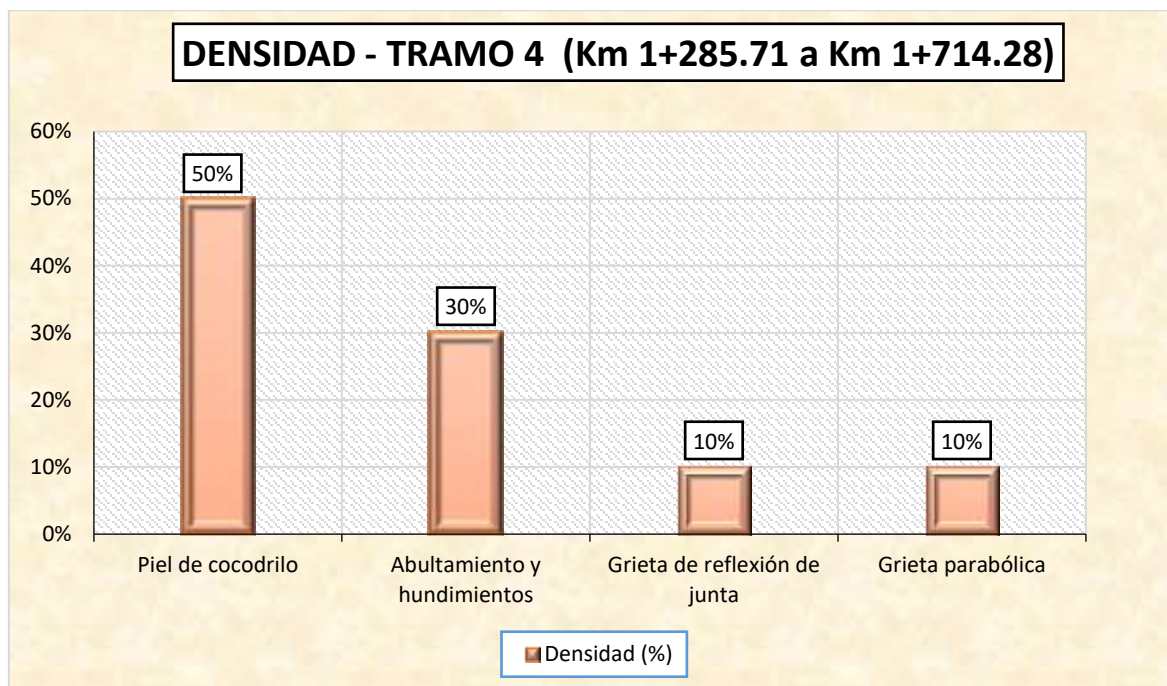
Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Piel de cocodrilo	1	Alta	50	30
Abultamiento y hundimientos	1	Alta	30	
Grieta de reflexión de junta	1	Alta	10	
Grieta parabólica	1	Alta	10	

La tabla presenta el (PCI) del Tramo 4, con un valor global de 30, indicando deterioro severo. Se identificaron 4 fallas principales: Piel de cocodrilo (50% de densidad),

Abultamiento y hundimientos (30%), Grieta de reflexión de junta (10%), e Grieta parabólica (10%), todas con severidad alta. Estos datos reflejan un pavimento con problemas críticos en su estructura.

Figura 16

Condición del tramo 4.



La densidad porcentual de fallas en el Tramo 4 (KM 1+285.71 a KM 1+714.28). La Piel de cocodrilo es la más significativa (50%), Grieta de reflexión de junta e Grieta parabólica (10%), que son los menores. Estos datos evidencian un deterioro importante del pavimento.

Tabla 14

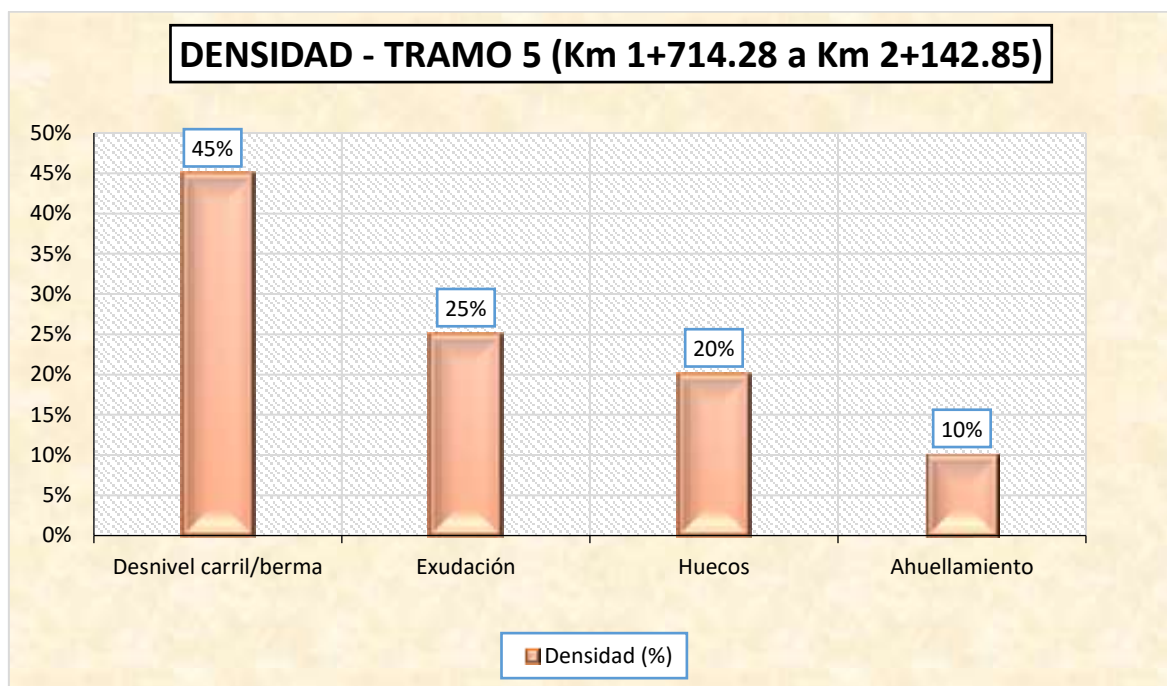
PCI del Tramo 5.

Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Desnivel carril/berma	1	Alta	45	27.5
Exudación	1	Alta	25	
Huecos	1	Alta	20	
Ahuellamiento	1	Alta	10	

La tabla presenta el (PCI) del Tramo 5, con un valor global de 27.5, indicando deterioro severo. Se identificaron 4 fallas principales: Desnivel carril/berma (45% de densidad), Exudación (25%), Huecos (20%), e Ahuellamiento (10%), todas con severidad alta. Estos datos reflejan un pavimento con problemas críticos en su estructura.

Figura 17

Condición del tramo 5.



La densidad porcentual de fallas en el Tramo 5 (KM 1+714.28 a KM 2+142.85). Desnivel carril/berma es la más significativa (45%), Ahuellamiento (10%), es la menor. Estos datos evidencian un deterioro importante del pavimento.

Tabla 15

PCI del Tramo 6.

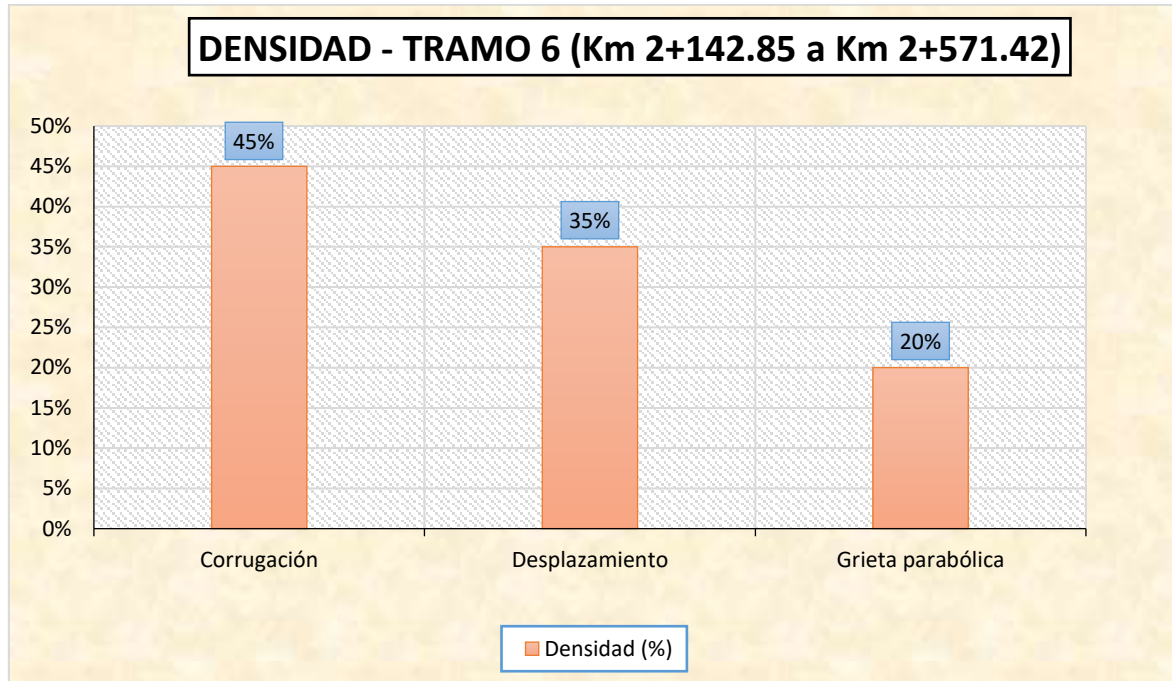
Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Corrugación	1	Alta	45	27.5
Desplazamiento	1	Alta	35	
Grieta parabólica	1	Alta	20	

La tabla presenta el (PCI) del Tramo 6, con un valor global de 27.5, Corrugación (45%) y desplazamiento (35%) son las fallas más críticas en este tramo, acompañadas por

grietas parabólicas (20%). Lo que sugiere una condición muy mala que exige una rehabilitación completa del pavimento para restaurar su funcionalidad.

Figura 18

Condición del tramo 6.



La densidad porcentual de fallas en el Tramo 6 (KM 2+142.85 a KM 2+571.42). La Corrugación es la más significativa (45%), y la Grieta parabólica (20%), es la menor. Estos datos evidencian un deterioro importante del pavimento.

Tabla 16

PCI del Tramo 7.

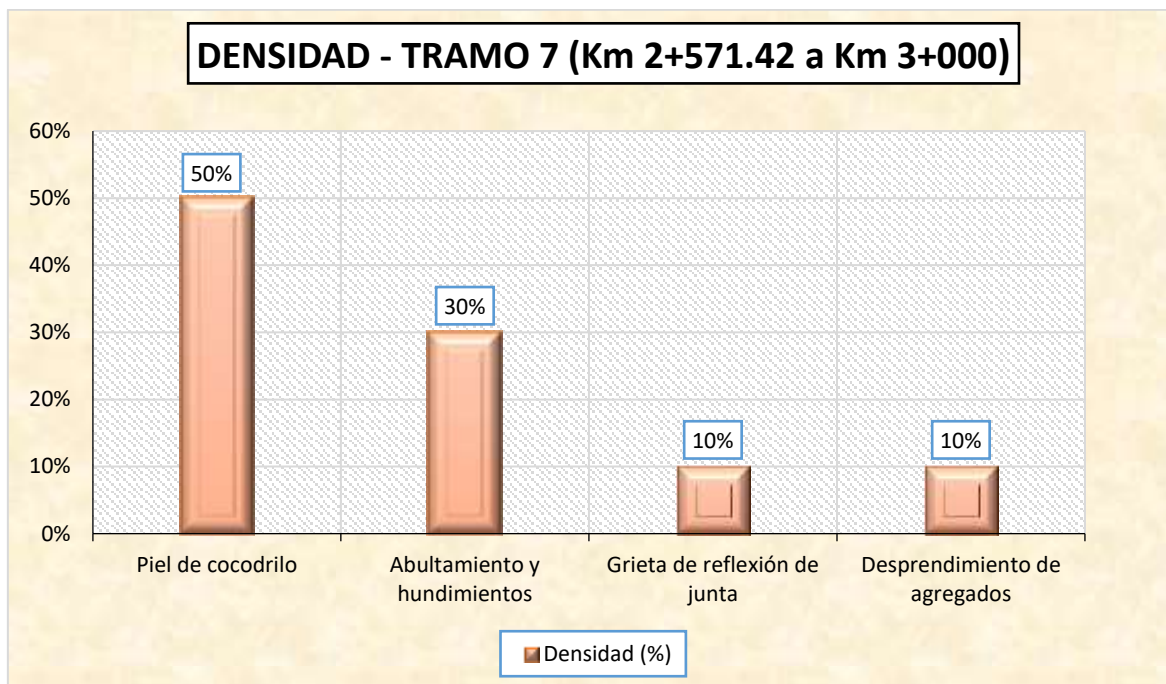
Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Piel de cocodrilo	1	Alta	50	30
Abultamiento y hundimientos	1	Alta	30	
Grieta de reflexión de junta	1	Alta	10	
Desprendimiento de agregados	1	Alta	10	

La tabla presenta el (PCI) del Tramo 7, con un valor global de 30, la piel de cocodrilo (50%) y los abultamientos y hundimientos (30%) dominan este tramo, con grietas de reflexión de junta y desprendimiento de agregados afectando el 20% adicional. Esto

refleja un estado crítico que demanda una rehabilitación urgente para evitar un mayor deterioro.

Figura 19

Condición del tramo 7.



La densidad porcentual de fallas en el Tramo 7 (KM 2+571.42 a KM 3+000). La Piel de cocodrilo es la más significativa (50%), y Grieta de reflexión de junta e Desprendimiento de agregados (10%), son las menores. Estos datos evidencian un deterioro importante del pavimento.

RESUMEN DE PCI POR TRAMO:

Tabla 17

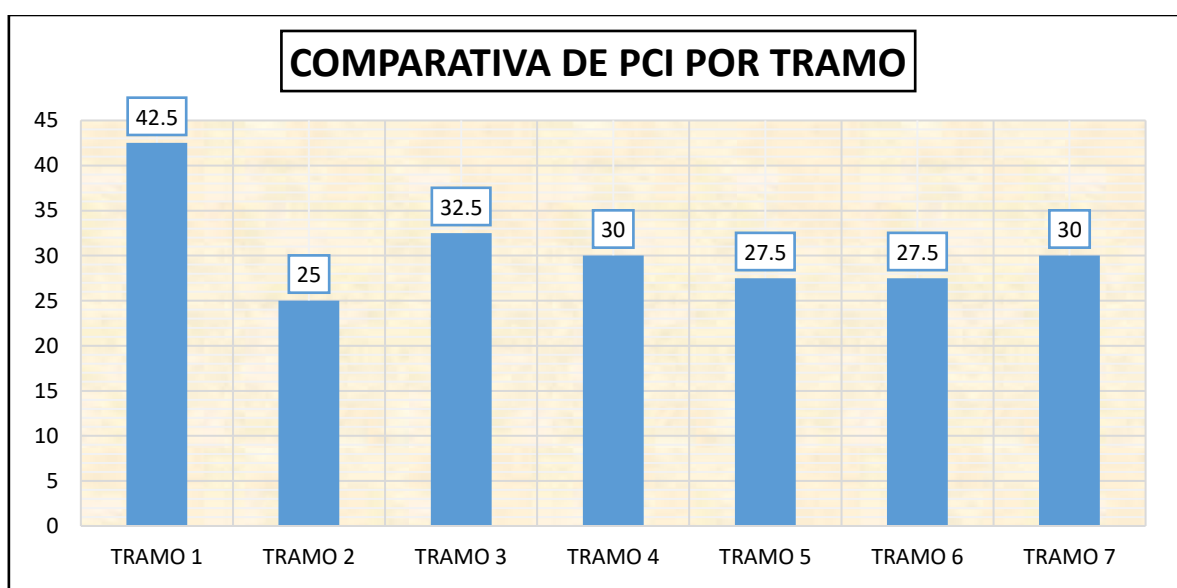
Condición e Intervención para Tramos.

TRAMO	KM. INICIO	KM. FINAL	PCI	CONDICIÓN	NIVEL DE INTERVENCIÓN
1	Km. 0+000	Km. 0+428.57	42.5	REGULAR	REHABILITACIÓN COMPLETA
2	Km. 0+428.57	Km. 0+857.14	25	MALO	REHABILITACIÓN COMPLETA
3	Km. 0+857.14	Km. 1+285.71	32.5	MALO	REHABILITACIÓN COMPLETA
4	Km. 1+285.71	Km. 1+714.28	30	MALO	REHABILITACIÓN COMPLETA
5	Km. 1+714.28	Km. 2+142.85	27.5	MALO	REHABILITACIÓN COMPLETA
6	Km. 2+142.85	Km. 2+571.42	27.5	MALO	REHABILITACIÓN COMPLETA
7	Km. 2+571.42	Km. 3+000	30	MALO	REHABILITACIÓN COMPLETA

La tabla muestra los valores del Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el nivel de intervención requerido para siete tramos viales. Los tramos están clasificados según su condición, mayormente "MALO", con PCI entre 25 y 32.5, excepto uno "REGULAR" con PCI de 42.5. Todos los tramos requieren "REHABILITACIÓN COMPLETA" para su mejora.

Figura 20

PCI, de cada tramo vial, analizados.



Se presenta el estado de siete tramos viales según el (PCI). La mayoría de los tramos están en condición "MALO" (PCI entre 25 y 32.5), excepto uno "REGULAR" (PCI 42.5). Todos los tramos requieren "REHABILITACIÓN COMPLETA".

4.1.3 Análisis de la propuesta de intervención para la vía.

Los tramos evaluados presentan problemas estructurales severos que comprometen la integridad del pavimento. En todos los casos, se ha determinado que las fisuras, deformaciones, baches y asentamientos requieren una rehabilitación integral del pavimento, desde la subbase hasta la capa de rodadura. La propuesta incluye

intervenciones específicas para cada tramo, considerando las características del terreno, el tráfico vehicular y las condiciones climáticas locales.

Tramo 1: Km. 0+000 a Km. 0+428.57

Evaluación del Estado Actual:

Este tramo presenta una gran cantidad de fisuras transversales y longitudinales que indican una falla estructural en las capas inferiores del pavimento. Las fisuras permiten la infiltración de agua, lo que ha agravado la situación, generando baches y deformaciones. Además, se han observado asentamientos significativos en varios puntos, lo que sugiere una inadecuada compactación del suelo o una degradación de las capas subyacentes por efectos de la humedad.

Intervención Propuesta:

- **Remoción y fresado del pavimento:** Se propone el uso de maquinaria especializada para retirar las capas dañadas, hasta llegar a una profundidad que permita la colocación de una nueva subbase y base de material granular. El espesor recomendado es de al menos 20 cm, utilizando grava triturada de alta resistencia.
- **Estabilización del suelo subyacente:** Dado que la capacidad portante del suelo es limitada, se propone la estabilización con cal o cemento, que ayudará a mejorar la resistencia a la humedad y a las cargas dinámicas. Se estima un espesor de tratamiento de 15 cm para garantizar un buen rendimiento a largo plazo.
- **Mejora del sistema de drenaje:** El agua es uno de los principales agentes de deterioro en el pavimento. Se propone la instalación de un sistema de drenaje subterráneo con tuberías perforadas envueltas en geotextil, que permitirá canalizar el agua lejos de la vía, evitando futuros asentamientos y deformaciones. Adicionalmente, se diseñarán cunetas revestidas de concreto para desviar el agua de lluvia de manera eficiente.
- **Colocación de mezcla asfáltica modificada:** Se recomienda el uso de una mezcla asfáltica modificada con polímeros (Stone Mastic Asphalt – SMA) debido a su alta

resistencia a las deformaciones plásticas y a las temperaturas elevadas. El espesor de la capa asfáltica será de 10 cm.

Resultados Esperados: La rehabilitación de este tramo resultará en una mejora significativa de la transitabilidad y durabilidad del pavimento. Se espera que el nuevo diseño resista el tráfico pesado y las condiciones climáticas adversas durante al menos 15 a 20 años, con un mantenimiento periódico adecuado.

Tramo 2: Km. 0+428.57 a Km. 0+857.14

Evaluación del Estado Actual:

Este tramo muestra deformaciones plásticas debido a las cargas repetitivas de vehículos pesados, lo que ha generado surcos y baches. Adicionalmente, se han identificado fisuras en bloque, lo que indica una falla estructural debida a la fatiga del pavimento.

Intervención Propuesta:

- **Reemplazo de la subbase y base:** La estructura granular actual será reemplazada por una nueva subbase de 25 cm de espesor y una base de 15 cm, utilizando grava de alta densidad que mejorará la capacidad de soporte del pavimento.
- **Instalación de geotextiles:** Se instalará una malla geotextil entre la subbase y la nueva capa asfáltica. Este material actúa como un refuerzo adicional, distribuyendo las cargas de manera uniforme y mejorando la resistencia a la fatiga.
- **Mejora del drenaje superficial:** Para este tramo se sugiere la construcción de cunetas revestidas con asfalto, lo que garantiza durabilidad y evita la acumulación de agua en la superficie.

Resultados Esperados: La intervención permitirá eliminar las deformaciones plásticas y las fisuras causadas por la fatiga, proporcionando un pavimento más resistente y duradero, capaz de soportar el tráfico pesado durante los próximos 20 años. El uso de geotextiles añadirá longevidad al sistema vial.

Tramo 3: Km. 0+857.14 a Km. 1+285.71

Evaluación del Estado Actual:

Se observa un gran número de baches y agujeros en este tramo, lo que indica una pérdida significativa de ligante en la mezcla asfáltica, permitiendo la entrada de agua y el consiguiente deterioro del pavimento.

Intervención Propuesta:

- **Reconstrucción completa del pavimento:** Se propone la remoción total de las capas dañadas y su reemplazo con una nueva estructura que incluya una mezcla asfáltica modificada con polímeros para resistir mejor la fatiga y deformaciones causadas por el tráfico pesado.
- **Capa intermedia de refuerzo:** Se colocará una capa de refuerzo intermedia entre la subbase y la capa de rodadura, lo que proporcionará una protección adicional contra el desgaste.

Resultados Esperados: La reconstrucción completa garantizará una mejora sustancial en la resistencia del pavimento. La nueva estructura asfáltica será resistente al tránsito vehicular pesado y las condiciones climáticas de la región, extendiendo la vida útil del tramo.

Tramo 4: Km. 1+285.71 a Km. 1+714.28**Evaluación del Estado Actual:**

El tramo 4 muestra signos de fisuras por fatiga y deformaciones en bloque, lo que indica un agotamiento estructural significativo. Las fisuras en bloque son típicas cuando el pavimento ha alcanzado su límite de vida útil, y el tráfico constante de vehículos pesados ha excedido la capacidad estructural del pavimento. Las deformaciones en bloque también reflejan una falla en la subbase o la base, probablemente debido a la infiltración de agua o una compactación inadecuada durante la construcción inicial.

Intervención Propuesta:

- **Remoción y reemplazo de la capa asfáltica y la subbase granular:** Para restaurar la capacidad estructural del tramo, se realizará la remoción total de la capa asfáltica

deteriorada y de la subbase granular comprometida. Se colocará una nueva capa asfáltica, utilizando una mezcla modificada con polímeros para aumentar la durabilidad.

- **Uso de geotextiles:** Los geotextiles serán instalados entre la subbase y la capa asfáltica para reforzar la estructura vial. Este material no solo ayuda a distribuir mejor las cargas, sino que también previene la infiltración de finos en la subbase, lo que mejora la estabilidad a largo plazo.
- **Cunetas de concreto:** Para asegurar un adecuado drenaje, se construirán cunetas de concreto a lo largo de ambos lados del tramo. Esto evitará la acumulación de agua en la superficie y reducirá el riesgo de infiltración en la subbase.

Resultados Esperados: El uso de geotextiles en combinación con la nueva capa asfáltica y el drenaje mejorado proporcionará una estructura vial altamente resistente al tráfico pesado y a las condiciones climáticas. Las cunetas de concreto garantizarán una adecuada gestión de aguas superficiales, minimizando la saturación del suelo y extendiendo la vida útil del tramo a más de 20 años.

Tramo 5: Km. 1+714.28 a Km. 2+142.85

Evaluación del Estado Actual:

El tramo 5 ha sufrido de asentamientos y la aparición de baches debido a una mala compactación del suelo subyacente y el deterioro de las capas inferiores del pavimento. Esto sugiere que la subbase y la base no se compactaron adecuadamente durante la construcción original, lo que ha provocado que, con el tiempo y la exposición al tráfico, el pavimento ceda en varios puntos, causando deformaciones y agujeros.

Intervención Propuesta:

- **Estabilización del suelo subyacente con cal:** Se propone la estabilización del suelo con cal, un método efectivo para suelos arcillosos o suelos con baja capacidad portante. La cal reduce la plasticidad del suelo y aumenta su capacidad de carga al mejorar la estructura interna del material, especialmente en ambientes húmedos.



➤ **Remoción del pavimento existente y construcción de una nueva base granular:**

Se removerán las capas dañadas y se procederá con la instalación de una nueva base granular de al menos 20 cm, utilizando materiales de alta resistencia como grava triturada para mejorar la capacidad portante.

- **Sistema de drenaje subterráneo con tuberías de PVC perforadas:** Para prevenir la acumulación de agua, se instalará un sistema de tuberías de PVC perforadas, envueltas en geotextiles, que canalizarán el agua subterránea y evitarán la saturación de las capas del pavimento.

Resultados Esperados: La estabilización del suelo subyacente mejorará la resistencia a la humedad y a las cargas dinámicas del tráfico. El nuevo sistema de drenaje subterráneo reducirá la posibilidad de futuros asentamientos, mientras que la nueva base granular asegurará una mayor capacidad estructural. Se proyecta una vida útil de al menos 20 años con un adecuado mantenimiento.

Tramo 6: Km. 2+142.85 a Km. 2+571.42

Evaluación del Estado Actual:

El tramo 6 presenta fisuras y surcos debido a la repetida exposición a cargas vehiculares pesadas. Estos problemas han resultado en la deformación de la estructura del pavimento, lo que indica una falla en la base o subbase, posiblemente agravada por una infiltración de agua o una compactación inadecuada de las capas inferiores.

Intervención Propuesta:

- **Reemplazo de subbase y base con grava triturada de alta densidad:** Para mejorar la capacidad portante del pavimento, se procederá con la remoción de las capas inferiores y su reemplazo con una subbase de grava triturada, de alta densidad y durabilidad, que proporcionará mayor estabilidad.
- **Mejora del drenaje superficial con cunetas de concreto:** Se construirán cunetas de concreto a lo largo de ambos lados del tramo para mejorar la evacuación de agua superficial y prevenir la infiltración en las capas inferiores.

- **Aplicación de mezcla asfáltica modificada:** Se usará una mezcla asfáltica modificada con polímeros, lo que permitirá una mayor resistencia al desgaste y a las fisuras por fatiga, extendiendo la vida útil del pavimento.

Resultados Esperados: La nueva estructura con una subbase de alta densidad proporcionará una mejor distribución de las cargas vehiculares, reduciendo la aparición de fisuras y deformaciones en el futuro. Las cunetas de concreto asegurarán que el agua no se acumule en la superficie del pavimento, mejorando su durabilidad.

Tramo 7: Km. 2+571.42 a Km. 3+000

Evaluación del Estado Actual:

El tramo 7 presenta agujereamientos y baches severos, lo que sugiere una pérdida considerable del ligante en la mezcla asfáltica y una infiltración significativa de agua en las capas inferiores. Esta situación ha debilitado gravemente la estructura del pavimento, haciéndolo susceptible a deformaciones y fallas estructurales.

Intervención Propuesta:

- **Remoción completa del pavimento:** Se removerá completamente el pavimento existente, incluyendo las capas inferiores afectadas por la infiltración de agua, y se reconstruirá con una nueva estructura que incluye una mezcla asfáltica modificada con polímeros (SMA) para mejorar la resistencia.
- **Capa de refuerzo intermedia:** Entre la subbase y la capa de rodadura se colocará una capa intermedia de refuerzo, que proporcionará una mayor protección contra futuras deformaciones y mejorará la capacidad estructural del pavimento.
- **Sistema de drenaje superficial y subterráneo:** Se implementará un sistema de drenaje combinado (superficial y subterráneo) para evitar la saturación de las capas inferiores, utilizando tuberías perforadas y cunetas de concreto.

Resultados Esperados: La reconstrucción total del pavimento con una mezcla asfáltica modificada y el refuerzo adicional en la capa intermedia garantizarán una estructura más



robusta y resistente al tráfico pesado. El sistema de drenaje evitará que el agua continúe infiltrándose en las capas inferiores, lo que permitirá prolongar la vida útil del tramo.

4.2 Discusión de resultados.

Los resultados obtenidos en los siete tramos evaluados revelan una serie de fallas significativas que afectan tanto la seguridad como la durabilidad de los pavimentos, indicando que una rehabilitación integral es imprescindible. Este estudio ha identificado patrones similares a los encontrados por otros autores de la región de Puno, quienes han investigado el deterioro de pavimentos bajo condiciones climáticas y de tráfico similares.

1. Comparación con Gómez Quispe (2020): Importancia del drenaje

En su estudio sobre el impacto de la infiltración de agua en los pavimentos de Puno, Gómez Quispe (2020) destaca que el daño por "piel de cocodrilo" es uno de los más frecuentes en las carreteras de la región. Gómez observó que en áreas donde el sistema de drenaje era deficiente, el agua penetraba las capas inferiores del pavimento, causando daños estructurales irreversibles. Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con estas observaciones, ya que en el tramo 1, la "piel de cocodrilo" afectó el 35% del área, siendo la falla más significativa. Este deterioro se debe, en parte, a la falta de drenaje adecuado, lo cual permite que el agua se acumule y agrave las fallas existentes.

Al igual que Gómez, este estudio subraya la necesidad de implementar un sistema de drenaje subterráneo que permita canalizar el agua fuera de las capas del pavimento. La propuesta de este estudio incluye la instalación de tuberías perforadas envueltas en geotextil, una solución que Gómez también sugirió como efectiva en áreas donde las lluvias son frecuentes y las pendientes del terreno facilitan la acumulación de agua. Al abordar esta falla desde la raíz, es posible prolongar la vida útil del pavimento y evitar futuros problemas similares.

2. Análisis con Mamani Huayta (2021): Impacto del tráfico pesado



El trabajo de Mamani Huayta (2021) se centró en evaluar los efectos del tráfico pesado sobre los pavimentos urbanos en Puno, y concluyó que fallas como el "abultamiento y hundimientos" son indicativas de sobrecarga estructural. Mamani observó que en vías que soportan una alta carga vehicular, estas fallas se manifestaban con mayor severidad, especialmente cuando el diseño inicial del pavimento no consideraba adecuadamente las características del tráfico.

En este estudio, los tramos 1 y 4 muestran un alto grado de afectación por "abultamiento y hundimientos", con el 20% y 30% de sus áreas afectadas, respectivamente. Estos resultados refuerzan la idea de que el pavimento original no fue diseñado para soportar la carga vehicular actual, lo que ha provocado una rápida degradación de la superficie. Según Mamani, la solución a este tipo de fallas no solo debe enfocarse en la capa superficial del pavimento, sino también en la mejora de la subbase y la utilización de mezclas asfálticas más resistentes. En concordancia con estas recomendaciones, la propuesta de este estudio incluye la estabilización del suelo subyacente con materiales como la cal o el cemento, lo que incrementará la capacidad portante del pavimento y reducirá la probabilidad de futuros hundimientos.

Además, Mamani destacó que el mantenimiento preventivo es clave para alargar la vida útil de las vías sometidas a tráfico pesado. En este sentido, este estudio también propone un plan de mantenimiento periódico, que incluye la revisión y ajuste de las capas de rodadura para prevenir el deterioro temprano, una estrategia que coincide con las recomendaciones de Mamani.

3. Comparativa con Cáceres Apaza (2019): Calidad de los materiales y compactación

Cáceres Apaza (2019) investigó el deterioro de pavimentos en carreteras de zonas altoandinas de Puno, encontrando que las deformaciones plásticas, como la "corrugación", son un indicativo de problemas en la compactación inicial o el uso de materiales de baja calidad en la subbase. Su estudio concluyó que estas fallas son



comunes en pavimentos que no han sido adecuadamente diseñados para las condiciones locales de tráfico y clima.

El tramo 2 de este estudio refleja una situación similar, donde la "corrugación" afecta el 50% del área evaluada, siendo la falla más predominante. Esta observación sugiere que los materiales utilizados en la subbase del pavimento no fueron de la calidad necesaria para soportar las cargas vehiculares o que la compactación inicial no se realizó de forma adecuada. Al igual que Cáceres, este estudio propone una solución que incluye el reemplazo de la subbase con materiales de alta densidad, como grava triturada, y la instalación de geotextiles para mejorar la estabilidad del pavimento.

Además, Cáceres mencionó la importancia de mejorar el sistema de drenaje en áreas con deformaciones plásticas, ya que el agua puede agravar estos problemas al saturar las capas inferiores del pavimento. La propuesta de este estudio incluye la construcción de cunetas de concreto para mejorar el drenaje superficial, lo que ayudará a prevenir la acumulación de agua y reducirá el riesgo de futuras fallas por corrugación.

Relevancia de los Resultados y Propuestas

En conjunto, los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los hallazgos de Gómez Quispe (2020), Mamani Huayta (2021) y Cáceres Apaza (2019). Todos ellos coinciden en que los problemas más críticos en los pavimentos de Puno están relacionados con la falta de un sistema de drenaje adecuado, la sobrecarga vehicular, y el uso de materiales o técnicas de construcción deficientes. Las propuestas de intervención presentadas en este estudio, que incluyen la estabilización del suelo, el uso de mezclas asfálticas modificadas y la mejora del drenaje, están alineadas con las recomendaciones de estos autores y adaptadas a las condiciones específicas de la región. Esta investigación contribuye al campo al ofrecer soluciones prácticas y viables para enfrentar los problemas estructurales del pavimento en Puno, con la expectativa de que, al implementar estas medidas, la durabilidad de las vías se extienda significativamente, mejorando la seguridad vial y reduciendo los costos de mantenimiento a largo plazo.



CONCLUSIONES

- C.1. Se identificaron los principales deterioros en el pavimento flexible de la vía de salida Lampa, siendo la "piel de cocodrilo" la más frecuente, afectando entre el 35% y 50% de la superficie. Otros daños significativos incluyen el "agrietamiento en bloque", "abultamiento y hundimientos" y la "corrugación", todos con un grado de severidad alto. Estos deterioros evidencian una degradación estructural avanzada, principalmente causada por la infiltración de agua y el tráfico pesado, lo que sugiere que el pavimento ha alcanzado su vida útil y requiere intervención inmediata.
- C.2. Se concluye que los siete tramos evaluados presentan una condición predominante de "MALO", con valores de PCI inferiores a 35, lo que indica un deterioro significativo en el pavimento. Solo un tramo muestra una condición "REGULAR". Dado este diagnóstico, se recomienda la "REHABILITACIÓN COMPLETA" en todos los tramos para garantizar la funcionalidad y seguridad de la vía.
- C.3. La evaluación de los tramos de la vía de salida Lampa reveló fallas estructurales graves que comprometen la integridad del pavimento, con fisuras, baches y deformaciones que requieren una rehabilitación integral. La propuesta de intervención incluye la remoción de capas dañadas, estabilización del suelo, instalación de sistemas de drenaje y la utilización de mezclas asfálticas modificadas con polímeros. Estas intervenciones están diseñadas para mejorar la capacidad estructural, garantizar un drenaje efectivo y prolongar la vida útil del pavimento.



RECOMENDACIONES

- R.1. Se recomienda investigar técnicas y materiales innovadores para reducir el impacto de los deterioros frecuentes, como la "piel de cocodrilo" y el "agrietamiento en bloque", priorizando mezclas asfálticas mejoradas y sistemas de drenaje efectivos que prevengan infiltraciones de agua.
- R.2. Se recomienda Desarrollar herramientas predictivas basadas en el PCI para identificar tramos críticos antes de que el deterioro sea severo, lo que permitirá implementar un mantenimiento preventivo más eficiente.
- R.3. Se recomienda realizar estudios que analicen cómo el tráfico pesado y las condiciones climáticas locales afectan la vida útil del pavimento, con el objetivo de diseñar pavimentos más resistentes y adaptados a estas exigencias..



REFERENCIAS

- Aguirre Tarazona, R., & Garmendia Rivera, K. S. (2023). *Influencia de las cenizas de totora y tuna en las propiedades de la subrasante del Jr. Amazonas, Huánuco 2023*. Huanuco: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/133636>
- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2019). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICO – MECÁNICAS COMO CAPA DE RODADURA EN LA PROLONGACIÓN NAVARRO CAUPER, DISTRITO SAN JUAN – MAYNAS – IQUITOS, 2019*. IQUITOS: Universidad Científica del Perú. Obtenido de <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1220>
- 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 en el Asentamiento Humano Santa Rosa del Sur – Nuevo Chimbote –Ancash - 2021*. 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 de la subrasante incorporando cal hidratada, vía de acceso, distrito Santa Ana de Tusi, Pasco-2019*. 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 de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de*



- Manabí. Manta, Ecuador: DIALNET. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>
- Bejarano Hernández, B. S., & Luna Pizza, J. D. (2020). *Análisis del comportamiento físico y mecánico de la adición de microfibras PET en el mejoramiento de un suelo arcilloso*. Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/7448>
- Cabana Valverde, M. A. (2017). *Mejoramiento de la relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico CAL a la subrasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria - Wilcahuain, Huaraz, 2017*. Huaraz: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/13375>
- Calderon Lopez, N. A. (2022). *Efectos de la estabilización con cal viva y ceniza de cañihua en las propiedades de la subrasante, carretera Caracoto – Suches, Puno, 2022*. Caracoto Puno: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/101625>
- Callme Chivigorri, C. M., & Torres Banda, H. M. (2024). *Evaluación superficial y estructural del pavimento flexible de la Av. Primavera, Cerro Colorado, Arequipa*. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8610>
- Campos Requejo, R. (2018). *Evaluación superficial aplicando metodología PCI del pavimento flexible de la carretera Bagua-Alenya, provincia Bagua, Amazonas 2018*. Amazonas: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37494>
- Capia Mamani, C. (2020). *Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, 2019*. Juliaca: Universidad Peruana Union. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3156>
- Carrasco, S. (2018). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.



- Castillo Ravelo, E. H., & Saucedo Caldas, Y. A. (2019). *Estabilización del suelo con PET reciclado con fines de pavimentación, Asentamiento Humano Miraflores Alto – Chimbote – Ancash – 2019*. Ancash: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/35882>
- Ccallo Mamani, F. M. (2022). *Evaluación de propiedades físico mecánicas de subrasante con adición de ceniza de stipa Ichu y totora en Av. Ejército, Puno - 2022*. Puno: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/105317>
- Ccama Quispe, H. G., & Turpo Arapa, K. Y. (2021). *Evaluación superficial del estado del pavimento flexible y verificación de tramos con fallas estructurales mediante Deflectometría, vía Juliaca – Lampa - Puno*. Lampa: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65735>
- Chayña Pineda, R. H. (2022). *Análisis del uso de ceniza de totora en la estabilización de la subrasante en la trocha carrozable Ccota-Quipata, Puno, 2022*. Puno: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/104462>
- Choquecota Guillen, A. B. (2023). *Influencia de la incorporación de ceniza de totora y habas en las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, en la carretera PE-3ST Platería, Puno 2022*. Puno: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/110877>
- Cordero Garcés, M. O., & Guaranda Mero, B. G. (2017). *Análisis comparativo de los métodos Vizir-PCI aplicada en pavimento flexible via Jipijapa-la Mona, Canton Jipijapa*. Jipijapa-Noboa: JIPIJAPA-UNESUM. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/804>
- Coy Pineda, O. M. (2017). *Evaluación superficial de un pavimento flexible de la calle 134 entre carreras 52a A 53c comparando los métodos Vizir y Pci*. Bogota: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/16508>



- Escobar Blas, G. E., & Reyes Asto, D. A. (2022). *Influencia de la ceniza de café y cáscara de huevo para la estabilización de subrasante de un pavimento flexible del tramo Santa Elena – El Carmelo, Virú, 2022*. Virú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/31294>
- Flores Cruz, P. D., & Mayta Calci, R. (2022). *Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas incorporando PET y cal en la subrasante de la carretera Unocolla, Puno - 2022*. Juliaca: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/98809>
- Flores Ortega, D. C., & Zea Arias, H. P. (2021). *Plástico reciclado en la estabilización de suelos cohesivos para mejorar la subrasante de una vía multicarril, Juliaca 2021*. Juliaca: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/68779>
- Garnica Silva, J. A., & Durán Sánchez, J. E. (2023). *Eco-eficacia de la estabilización mecánica de la tapia pisada a partir de mallas de refuerzo de botellas PET*. Colombia: Universidad Santo Tomas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/50208>
- Gavilanes Bayas, E. G. (2015). *Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur*. Quito: Universidad Internacional del Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2191>
- HERNANDEZ, A., RAMOS, M., PLACENCIA, B., INDACOCHEA, B., QUIMIS, A., & MORENO, L. (2018). *Metodología de la Investigación Científica*. Manabi: 3ciencias - Area de Innovacion y Desarrollo S.L. doi:<http://dx.doi.org/10.17993/CcyLI.2018.15>
- Jara Anyaypoma, R. (2014). *Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/686>



- Laguna Peñaloza, O. I., & Chacón Charcas, J. M. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento a la resistencia de un suelo fino con adición de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de cascarilla de café*. Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9352>
- Medina Hostia, S., & Vivanco Ríos, R. W. (2021). *Análisis superficial de pavimentos flexibles y alternativas de Intervención tramo puente Los Maestros - Cutervo, vía Acomayo, Ica, 2021*. Acomayo, Ica: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/85697>
- Moreira Cedeño, F. L., & Guamán Iler, I. I. (2016). *Estudio del comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado por dos métodos químicos (cal y cloruro de sodio)*. Puyo, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24608>
- Olaya Castro, L. F. (2021). *Revisión teórica del mejoramiento de suelos arcillosos complejos en Colombia mediante el uso de materiales reciclados*. Colombia: Universidad Santo Tomas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/35097>
- Parra-Gómez, M. G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. Colombia: Universidad catolica de colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/22856>
- PINO, R. (2018). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Portilla Yandún, F. P., & Andaluz López, R. S. (2022). *Estudio del efecto de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades físico-mecánicas en suelos finos de subrasante*. Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34106>
- Portilla Yandún, F. P., & Celi Yanchapanta, K. A. (2021). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32376>



- Quispe Chuquicusma, H., & Quispe Olivera, A. (2022). *Estabilización de suelos arcillosos de subrasante adicionando ceniza de arroz y café para obras viales en Jaén 2022*. Jaen: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/110943>
- Quispe Masco, H. E. (2022). *Estabilización de subrasante con fibra de mascarilla quirúrgica reciclada, en el camino vecinal Chimpa Jallapisi, Puno - 2022*. PUNO: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/92017>
- Ramirez Silva, D. M. (2023). *Estabilización del suelo con la ceniza de cascarilla de arroz y polietileno (PET) para pavimento*. Chiclayo: Universidad Señor de Sipan. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/11037>
- Sánchez, M. J., Fernández, M., & Diaz, J. C. (2021). Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo. *Scielo, Uisrael*, 8(1), 113-128.
- Santander Zambrano, M. E., & Yávar Rodríguez, J. C. (2018). *Análisis Comparativo entre Método de Estabilización de Subrasante mediante el uso de Enzimas Orgánicas y Mezclas con Cal, en la Urbanización Tanya Marlene ubicada en la Ciudad de Milagro, Provincia del Guayas*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29312>
- Vegas Mendoza, M. Y. (2021). *Estabilización de suelos adicionando polímero tipo PET triturado al 3%, 5% y 7% en la avenida Chiclayo, Lambayeque - 2021*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/90019>
- Yuni, J., & Urbano, C. (2021). *Metodología y Técnicas para Investigar: Recursos para la elaboración de proyectos, análisis de datos y redacción científica (2° ed., Vol. 1)*. Brujas. doi:ISBN: 979-8595351294



ANEXOS



Anexo 1. Matriz de Consistencia

TITULO DE TESIS: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General: ¿Cuál es el estado superficial de pavimentos flexibles por medio del método de índice de condición de pavimento de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar el estado superficial de pavimentos flexibles por medio del método de índice de condición de pavimento de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.</p>	<p>Hipótesis General: El pavimento flexible de la vía de salida Lampa presentara un deterioro significativo, según el Índice de Condición de Pavimento (PCI), lo que requerida una intervención para mejorar su condición.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Estado superficial del pavimento flexible.</p> <p>Dimensiones: <input type="checkbox"/> Tipos de daños. <input type="checkbox"/> Grado de severidad.</p> <p>Variable Dependiente</p> <p><i>Alternativa de intervención</i></p> <p>Dimensiones: <i>tipos de daños y grado de severidad</i></p>	<p>Inspección visual, Método PCI (Pavement Condition Index)</p> <p>Análisis técnico y recomendaciones.</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
<p>¿Cuáles son los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?</p> <p>¿Cuál será el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?</p> <p>¿Cuáles son las alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024?</p>	<p>Determinar los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.</p> <p>Determinar el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.</p> <p>Proponer alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible de la Salida Lampa de la ciudad de Juliaca 2024.</p>	<p>Los pavimentos de la vía de salida Lampa presentaran fisuras, baches y desprendimientos, con un grado de severidad alto en las zonas de mayor tráfico.</p> <p>El nivel de condición del pavimento flexible de la vía de salida Lampa, según el PCI, estará entre "regular" y "malo", lo que requiere intervención urgente.</p> <p>Las alternativas de intervención para pavimentos flexibles en las vías de la ciudad de Juliaca 2024 se centrarán en el mantenimiento rutinario.</p>		



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO:	EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
EVALUADOR:	BACHILLER. TITO APAZA CHAMBI
MUESTRA:	VIA SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 01 INICIO DE PROGRESIVA (KM): 0 + 000
FIN DE PROGRESIVA (KM): 0 + 428,57

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parqueo	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

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1	H	1,00					1,00	35,00%	35
2	H	1,00					1,00	25,00%	25
4	H	1,00					1,00	20,00%	20
10	H	1,00					1,00	20,00%	20
							TOTAL		100

Valor deducido mas alto	35
valor deducido menor	20
Numero maximo de valores deducidos	4

VD principal	35
Suma de los VD menores	40
CD	57,5

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	PCI = 100-(CD)
	PCI = 42,5 %

CONDICION DEL PAVIMENTO: **REGULAR**



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO:	EVALUACION DE LA CONDICION ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCION PARA LA VIA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
EVALUADOR:	BACHILLER. TITO APAZA CHAMBI
MUESTRA:	VIA SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA:

UM - 03

INICIO DE PROGRESIVA (KM):

0 + 857,14

FIN DE PROGRESIVA (KM):

1 + 285,71

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 Parabolica	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

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
7	H	1,00					1,00	45,00%	45
12	H	1,00					1,00	30,00%	30
13	H	1,00					1,00	15,00%	15
18	H	1,00					1,00	10,00%	10
TOTAL									100

Valor deducido mas alto	45
valor deducido menor	10
Numero maximo de valores deducidos	4

VD principal	45
Suma de los VD menores	55
CD	67,5

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	PCI = 100-(CD)
	PCI = 32,5 %

CONDICION DEL PAVIMENTO: **MALO**



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



PROYECTO:	EVALUACION DE LA CONDICION ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCION PARA LA VIA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
EVALUADOR:	BACHILLER, TITO APAZA CHAMBI
MUESTRA:	VIA SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 04 INICIO DE PROGRESIVA (KM) : 1 + 285,71
FIN DE PROGRESIVA (KM) : 1 + 714,28

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	POC	m2	11	Parqueo	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	Cornagación	COG	m2	15	Ahuellamiento	AHT	m2
6	Depresión	DPS	m2	16	Desplazamiento	DPT	m2
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabolica	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

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1	H	1,00					1,00	50,00%	50
4	H	1,00					1,00	30,00%	30
8	H	1,00					1,00	10,00%	10
17	H	1,00					1,00	10,00%	10
							TOTAL		100

Valor deducido mas alto	50
valor deducido menor	10
Numero maximo de valores deducidos	4

VD principal	50
Suma de los VD menores	40
CD	70

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	PCI = 100-(CD)
	PCI = 30,0 %

CONDICION DEL PAVIMENTO: **MALO**



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO:	EVALUACION DE LA CONDICION ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCION PARA LA VIA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
EVALUADOR:	BACHILLER TITO APAZA CHAMBI
MUESTRA:	VIA SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 07 INICIO DE PROGRESIVA (KM) : 2 + 571,42
FIN DE PROGRESIVA (KM) : 3 + 000

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parqueo	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 / 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

FALLA	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1	H	1,00					1,00	50,00%	50
4	H	1,00					1,00	30,00%	30
8	H	1,00					1,00	10,00%	10
19	H	1,00					1,00	10,00%	10
							TOTAL		100

Valor deducido mas alto	50
valor deducido menor	10
Numero maximo de valores deducidos	4

VD principal	50
Suma de los VD menores	40
CD	70

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	PCI = 100-(CD)
	PCI = 30,0 %

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO: **MALO**



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 13-01-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: TITO APAZA CHAMBI

Dirección: PARC. CHOCORASI

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 01872035

Teléfono: 927 096 892 email: ing.apazatito@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. EFRAIN PARILLO SOSA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MEDIANTE

ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA

LA VÍA DE SALIDA LAMPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): PAVIMENTO FLEXIBLE, (PCI), INTERVENCIÓN, SEVERIDAD

¿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

13-01-2025

Fecha