



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA
PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA
AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILLIAM GROVER TICO TORRES

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 DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA
PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA
AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. WILLIAM GROVER TICO TORRES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE	:	 Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
PRIMER MIEMBRO	:	 Dr. ARNALDO YANA TORRES
SEGUNDO MIEMBRO	:	 Mgr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS
ASESOR DE TESIS	:	 Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	:	TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1482-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de noviembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024- 013588 presentado por el (la) Bachiller: WILLIAM GROVER TICO TORRES 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. WILLIAM GROVER TICO TORRES, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Mgtr. HERNAN PEDRO MARTINEZ RAMOS

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 PARILLO SOSA.**

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: WILLIAM GROVER TICO TORRES; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : Jueves 14 de noviembre del 2024
- * **HORA** : 9:30 a.m.
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS
.....
Dr. WILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C. PURAS
.....
Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
intendencia (a)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1190-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 011326 por el señor (a): **WILLIAM GROVER TICO TORRES** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1096- 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 191 - 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): **WILLIAM GROVER TICO TORRES**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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° 191 - 2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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): **WILLIAM GROVER TICO TORRES**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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

Dr. MILTON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790



Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (u)



RESOLUCIÓN DECANAL N° 855-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU-10001, presentado el señor (a) WILLIAM GROVER TICO TORRES solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 823-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 237-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): WILLIAM GROVER TICO TORRES ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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° 237-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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): WILLIAM GROVER TICO TORRES, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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 Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



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

Dr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPOSTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS


1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	4%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	1%
5	vsip.info Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	William Grover Tico Torres
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43292011
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-6336-7319
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	Cesar Guillermo Camargo Najar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
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	Hernan Pedro Martinez Ramos
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	01316765
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	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/PAEvtH2rCu8SneP6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Noviembre 2024
URL de disciplinas OCDE	<p>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</p>
- Librería	



 Dr. Elfrán Pajillo Sosa
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo WILLIAM GROVER TICO TORRES, identificado con DNI Nro. 43292011, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

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

EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA

AREQUIPA 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 10 de diciembre del 2024


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres, por su amor y sacrificios. A mis amigos, por su compañía y motivación, y a todos aquellos que de alguna manera han sido parte de este camino.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para culminar este proyecto. A mis padres, por su apoyo incondicional, y a mis amigos, por su aliento constante durante todo este proceso. Un especial agradecimiento a mi asesor, quien con su guía y paciencia contribuyó de manera significativa a la realización de esta tesis.



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.....	4
1.5.1 Hipótesis General.....	4
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.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	7



2.1.2	Antecedentes nacionales.....	11
2.1.3	Antecedentes regionales.....	17
2.2	Bases teóricas.....	21
2.2.1	Evaluación del estado superficial del pavimento flexible.....	21
2.2.2	Pavimento Flexible.....	24
2.2.2.1	Características del Pavimento Flexible.....	25
2.2.2.2	Materiales Comunes en el Pavimento Flexible.....	26
2.2.2.3	Ventajas y Desventajas del Pavimento Flexible.....	28
2.2.2.4	Innovaciones y Tendencias en el Diseño de Pavimentos Flexibles.....	29
2.2.3	Factores de deterioro.....	31
2.2.3.1	Carga Vehicular.....	31
2.2.3.2	Condiciones Climáticas.....	33
2.2.3.3	Falta de Mantenimiento.....	35
2.2.3.4	Erosión y Escurrimiento Superficial.....	37
2.2.3.5	Tráfico Estacionario y Frenadas Bruscas.....	40
2.2.3.6	Materiales Defectuosos o Malas Prácticas de Construcción.....	43
2.2.4	Métodos de Evaluación del Estado Superficial del Pavimento.....	45
2.2.4.1	Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	46
2.2.4.2	Evaluación Visual.....	47
2.2.4.3	Dispositivos de Medición Automática.....	47
2.2.4.4	Método de Deflectometría (FWD).....	47
2.2.4.5	Análisis de Rugosidad Superficial (IRI).....	48
2.2.4.6	Evaluación mediante Georradar (GPR).....	48
2.2.5	Alternativas de Intervención para la Rehabilitación del Pavimento Flexible.....	49
2.2.5.1	Sellado de Grietas.....	49
2.2.5.2	Bacheo.....	50
2.2.5.3	Recapado (Overlay).....	51
2.2.5.4	Fresado y Recapado (Mill and Overlay).....	52
2.2.5.5	Reciclaje In Situ.....	52
2.2.5.6	Rehabilitación Estructural Completa.....	52
2.3	Marco conceptual.....	53
2.3.1	Pavimento flexible.....	53
2.3.2	Deterioro.....	53
2.3.3	Índice de condición del pavimento (PCI).....	53

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN



3.1	Diseño de la Investigación	54
3.2	Método de la Investigación.....	54
3.3	Nivel y tipo de la investigación	55
3.3.1	Nivel de la Investigación.....	55
3.3.2	Tipo de la investigación	55
3.4	Población y Muestra.....	55
3.4.1	Población.....	55
3.4.2	Muestra.....	56
3.4.3	Técnicas e Instrumentos	56
3.4.3.1	Técnicas	56
3.4.3.2	Instrumentos.....	57
3.5	Plan de recolección y procesamiento de datos	57
3.5.1	Desarrollo del plan de investigación	57
3.5.2	Procesamiento de datos.....	61

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	Resultados.....	62
4.1.1	Resultados sobre tipos de daño y grado de severidad que presenta la vía. ...	62
4.1.2	Resultados sobre el nivel de condición superficial que presenta la vía.....	68
4.1.3	Resultados sobre la propuesta de alternativa de intervención en la vía.....	74
4.2	Discusión de resultados.....	80
CONCLUSIONES		84
RECOMENDACIONES.....		85
REFERENCIAS		86
ANEXOS.....		89



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de operacionalización de variables.....	6
Tabla 2 Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+274).	62
Tabla 3 Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 2 (Km 0+275 a Km 0+548).	63
Tabla 4 Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 3 (Km 0+549 a Km 0+822).	64
Tabla 5 Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 4 (Km 0+823 a Km 1+096).	65
Tabla 6 Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 5 (Km 1+097 a Km 1+370).	66
Tabla 7 PCI del Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+274).....	68
Tabla 8 PCI del Tramo 2 (Km 0+275 a Km 0+548).....	69
Tabla 9 PCI del Tramo 3 (Km 0+549 a Km 0+822).....	70
Tabla 10 PCI del Tramo 4 (Km 0+823 a Km 1+096).....	71
Tabla 11 PCI del Tramo 5 (Km 1+097 a Km 1+370).....	72
Tabla 12 PCI e Intervención para Tramos los Viales.	73



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Distribución de cargas vehiculares en pavimentos flexibles.	33
Figura 2	Impacto del ciclo de congelación y deshielo en pavimento.....	35
Figura 3	Proceso de deterioro en pavimento debido a la falta de mantenimiento.....	37
Figura 4	Escala del Índice de Condición de Pavimento (PCI).....	46
Figura 5	Escala del Índice de Condición de Pavimento (PCI).....	50
Figura 6	Ejemplo de bacheo en caliente en un pavimento deteriorado.	51
Figura 7	Ubicación de la vía.....	58
Figura 8	Registro del tramo 1.....	63
Figura 9	Registro del tramo 2.....	64
Figura 10	Registro del tramo 3.....	65
Figura 11	Registro del tramo 4.....	66
Figura 12	Registro del tramo 5.....	67
Figura 13	Índice de Condición del Pavimento del tramo 1.....	69
Figura 14	Índice de Condición del Pavimento del tramo 2.....	70
Figura 15	Índice de Condición del Pavimento del tramo 3.....	71
Figura 16	Índice de Condición del Pavimento del tramo 4.....	72
Figura 17	Índice de Condición del Pavimento del tramo 5.....	73
Figura 18	PCI, de cada tramo vial, analizados.	74



RESUMEN

La tesis "Evaluación del estado superficial para la propuesta de alternativa de intervención del pavimento flexible de la salida Arequipa de la ciudad de Juliaca 2024", evalúa la condición de los pavimentos flexibles en tramos seleccionados de Juliaca, utilizando metodología (PCI). Teniendo un diseño no experimental y enfoque cuantitativo, se observaron y analizaron diversas fallas como grietas, ahuellamiento, fisuración y hundimientos, con severidades de baja a alta. Se identificaron distintos tipos de fallas, como grietas longitudinales y transversales, ahuellamiento, fisuración por fatiga, desprendimiento superficial, grietas de borde, fisuración en bloque y hundimientos, con severidades que varían de baja a alta. Estas fallas afectan directamente el estado funcional del pavimento y su capacidad para cumplir con las demandas del tráfico. Los resultados del análisis del PCI mostraron que los tramos evaluados presentan condiciones que varían entre "deficiente" y "regular". Los tramos más afectados, con un PCI de 41, revelaron la necesidad de rehabilitaciones integrales, como es el caso de los Tramos 2 y 4. En contraste, el Tramo 1 obtuvo un PCI de 62, indicando que solo requiere mantenimiento periódico. En base a los resultados, se proponen intervenciones específicas para cada tramo. Los tramos con condiciones deficientes requieren rehabilitación integral, mientras que los tramos en condiciones regulares solo necesitan acciones de mantenimiento preventivo, como el sellado de grietas y reparaciones superficiales. Este estudio proporciona una base sólida para la planificación de intervenciones eficientes y sostenibles en la infraestructura vial de la ciudad, optimizando los recursos disponibles y mejorando la durabilidad de los pavimentos evaluados.

Palabras clave: Pavimento flexible, (PCI), Fallas, Rehabilitación vial.



ABSTRACT

The thesis "Evaluation of the surface condition for the proposed alternative intervention of the flexible pavement at the Arequipa exit of the city of Juliaca 2024", evaluates the condition of flexible pavements in selected sections of Juliaca, using the (PCI) methodology. Having a non-experimental design and quantitative approach, various failures such as cracks, rutting, fissuring and subsidence were observed and analyzed, with severities ranging from low to high. Different types of failures were identified, such as longitudinal and transverse cracks, rutting, fatigue cracking, surface detachment, edge cracks, block cracking and subsidence, with severities ranging from low to high. These failures directly affect the functional state of the pavement and its ability to meet traffic demands. The results of the PCI analysis showed that the evaluated sections present conditions that vary between "poor" and "regular". The most affected sections, with a PCI of 41, revealed the need for comprehensive rehabilitation, as is the case of Sections 2 and 4. In contrast, Section 1 obtained a PCI of 62, indicating that it only requires periodic maintenance. Based on the results, specific interventions are proposed for each section. Sections with poor conditions require comprehensive rehabilitation, while sections in regular conditions only need preventive maintenance actions, such as crack sealing and superficial repairs. This study provides a solid basis for planning efficient and sustainable interventions in the city's road infrastructure, optimizing available resources and improving the durability of the assessed pavements.

Key words: Flexible pavement, (PCI), Failures, Road rehabilitation.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es un componente crucial para el desarrollo económico y social de las ciudades, ya que facilita la movilidad de personas y mercancías, contribuyendo al bienestar general de la población. En este contexto, el estado de los pavimentos juega un papel fundamental, ya que un pavimento en mal estado puede generar serias dificultades en la circulación vehicular, aumentar los costos de transporte y reducir la seguridad en las vías.

La ciudad de Juliaca, ubicada en la región de Puno, Perú, es un importante centro comercial y de transporte, lo que la convierte en un punto clave para la conectividad regional. Sin embargo, uno de los tramos críticos de su infraestructura vial, la salida Arequipa, ha mostrado un evidente deterioro en su pavimento flexible, afectando no solo la eficiencia del tránsito, sino también la seguridad de los usuarios. Este deterioro, resultado de factores como el tráfico pesado, las condiciones climáticas adversas y la falta de un mantenimiento adecuado, pone en evidencia la necesidad de realizar una evaluación exhaustiva de su estado actual.

La justificación de este estudio radica en la urgencia de garantizar una infraestructura vial segura y eficiente en Juliaca, que soporte las demandas actuales y futuras del tránsito vehicular. Asimismo, la propuesta de alternativas de intervención basadas en un diagnóstico riguroso contribuirá al desarrollo sostenible de la ciudad, optimizando los recursos disponibles y prolongando su vida.

Con esta investigación, se espera ofrecer una herramienta útil para la planificación y ejecución de proyectos de mantenimiento vial en Juliaca, beneficiando directamente a sus habitantes y mejorando la calidad de sus vías de comunicación.



Capítulo I: Este capítulo presenta la problemática que dio origen al estudio, estableciendo los objetivos, justificaciones e hipótesis, además de definir las variables, sus dimensiones e indicadores.

Capítulo II: Se exponen los antecedentes relevantes para la investigación, junto con los resultados obtenidos en estudios previos y las teorías principales que sustentan el tema, aclarando los términos empleados.

Capítulo III: Se describe detalladamente la metodología aplicada en el desarrollo del estudio, especificando los procedimientos utilizados para la recolección y el análisis de los datos.

Capítulo IV: En este capítulo se muestran los resultados mediante tablas y gráficos que resumen los datos analizados, acompañados de una discusión que interpreta los principales hallazgos obtenidos.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.

La ciudad de Juliaca, un importante nodo comercial y de transporte en la región sur del Perú, enfrenta serios desafíos en cuanto a cuidar y mantenimiento de su infraestructura vial. La salida Arequipa, uno de los principales accesos y salidas de la ciudad, presenta un pavimento flexible que ha sufrido un deterioro significativo en los últimos años. Este deterioro se presenta en diversas formas, como grietas, baches, deformaciones y pérdida de la capa asfáltica, afectando considerablemente la calidad de la vía y la seguridad de sus usuarios.

El incremento constante del tráfico pesado, sumado a las condiciones climáticas extremas de la región, ha acelerado el desgaste del pavimento, mientras que las acciones de mantenimiento han sido insuficientes o inadecuadas. Esto no solo ha generado un deterioro acelerado del pavimento, sino que también ha provocado un aumento en los costos de operación y mantenimiento de los vehículos que transitan por esta vía, debido al mal estado de la calzada. Además, las condiciones deficientes del pavimento incrementan el riesgo de accidentes, poniendo en peligro la integridad de los conductores y peatones.

A pesar de la evidente necesidad de intervención, hasta la fecha no se ha realizado un estudio exhaustivo que evalúe el estado superficial del pavimento y proponga propuesta de intervención específicas para su rehabilitación. La falta de este tipo de estudios impide una toma de decisiones informada y oportuna por parte de las autoridades locales, lo que a su vez retrasa las acciones necesarias para mejorar esta vía crítica.

Por lo tanto, se hace imperativo realizar un examen detallada el grado superficial del pavimento flexible en la salida Arequipa de Juliaca. Esta evaluación permitirá no solo identificar los tipos y grados de deterioro presentes, sino también comprender las causas subyacentes de dicho deterioro, lo que servirá de base para proponer alternativas de intervención técnica y económicamente viables. Solo mediante un diagnóstico preciso y la implementación de soluciones adecuadas se podrá garantizar la durabilidad del pavimento y la seguridad de los usuarios de esta importante vía de comunicación.

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 en vías 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 en vías de la ciudad de Juliaca 2024?
2. ¿Cuál será el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024?
3. ¿Cuáles son las alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible en vías 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 en vías 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 en vías de la ciudad de Juliaca 2024.
2. Determinar el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024.
3. Proponer alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024.

1.4 Justificación de la investigación.

1.4.1 Justificación técnica.

Radica en la importancia de contar con un diagnóstico preciso que permita identificar los tipos y grados de deterioro presentes. Este análisis técnico es fundamental para comprender las causas que han llevado al desgaste acelerado del pavimento y para determinar las soluciones más adecuadas desde el punto de vista ingenieril. Sin un estudio riguroso, cualquier intervención podría ser ineficiente, costosa e incluso contraproducente, lo que agravaría la situación en lugar de resolverla. La implementación de soluciones técnicas adecuadas, basadas en un diagnóstico exhaustivo, garantizará la larga vida útil del pavimento, mejorará la seguridad vial y optimizará el uso de recursos en futuras intervenciones.

1.4.2 Justificación social.

Desde una perspectiva social, el estado actual del pavimento en la salida Arequipa afecta directamente la calidad de vida de los ciudadanos de Juliaca. Un pavimento en mal estado incrementa el riesgo de accidentes de tránsito, lo que pone en peligro la seguridad de conductores, peatones y pasajeros. Además, el deterioro de la vía causa molestias a los usuarios, como tiempos de viaje más largos y mayor incomodidad, lo que afecta negativamente su bienestar diario. La rehabilitación de esta infraestructura vial no solo contribuirá a mejorar la seguridad y comodidad de los ciudadanos, sino que también facilitará un tránsito más fluido, lo que es esencial para el desarrollo económico y social de la región.

1.4.3 Justificación económica.

Económicamente, el mal estado del pavimento en la salida Arequipa de Juliaca genera costos adicionales tanto para gente de la vía como para las monarcas locales encargadas de su mantenimiento. Los vehículos que transitan por una carretera deteriorada sufren un desgaste más rápido, lo que se traduce en mayores gastos en reparaciones y mantenimiento. Asimismo, las frecuentes reparaciones superficiales y parches, que son soluciones temporales, representan un gasto continuo que podría ser significativamente reducido mediante una intervención adecuada y duradera. Al proponer y aplicar soluciones de intervención basadas en un análisis técnico riguroso, se podrá optimizar el uso de los recursos financieros disponibles, reduciendo costos a largo plazo y mejorando la eficiencia de la inversión en infraestructura vial.

1.5 Hipótesis de la Investigación.

1.5.1 Hipótesis General.

El estado superficial de pavimentos flexibles por medio del método de índice de condición de pavimento en vías de la ciudad de Juliaca 2024, será regular.

1.5.2 Hipótesis Específicas.

1. Los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024, son baches y piel e cocodrilo en severidades altas.
2. El nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024, será malo.
3. Las alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024, es de mantenimiento rutinario.

1.6 Variables e indicadores.

1.6.1 Variable independiente.

Estado superficial del pavimento flexible.

Indicadores:

- Tipo de deterioro (grietas, baches, deformaciones).
- Nivel de severidad (leve, moderada, severa).
- Área afectada (m²).

1.6.2 Variable dependiente

Alternativa de intervención

Indicadores:

- Tipo de intervención propuesta (mantenimiento rutinario, rehabilitación).

1.7 Operacionalización de Variables.



Tabla 1

Cuadro de operación de variables.

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de Medición
Estado superficial del pavimento	El estado superficial del pavimento evalúa la condición externa visible, identificando fisuras, baches y deformaciones. Es fundamental para garantizar la seguridad y confort en la vía. Su revisión periódica ayuda a planificar el mantenimiento adecuado.	Deterioros visibles. Severidad del deterioro.	<input type="checkbox"/> Tipo de deterioro (grietas, baches, deformaciones). <input type="checkbox"/> Nivel de severidad (leve, moderada, severa). <input type="checkbox"/> Área afectada (m ²).	Inspección visual, Método PCI (Pavement Condition Index)
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos de Medición
Alternativa de intervención	Una alternativa de intervención es una opción planteada para solucionar un problema, considerando costo, viabilidad e impacto. Se utiliza para tomar decisiones óptimas. Es clave para mejorar o resolver una situación.	Intervención	Tipo de intervención propuesta (mantenimiento rutinario, rehabilitación).	Análisis técnico y recomendaciones



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

2.1.1 *Antecedentes internacionales.*

(Baque-Solis, 2020) su estudio "Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí". El estudio realizado en la ciudad de Manta, ubicada en la provincia de Manabí, tuvo como objetivo principal ofrecer un diagnóstico detallado del estado del pavimento flexible en la vía Puerto-Aeropuerto (Tramo II). Se adoptó un enfoque metodológico de tipo observacional para la recolección de datos, lo cual permitió identificar y seleccionar la región objeto de estudio. Para la evaluación del estado del pavimento, se utilizó el índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés), acompañado de una ficha de registro de fallas que sirvió como instrumento clave para la recopilación de información. El área de estudio abarcó un tramo comprendido entre la glorieta del Parque del Marisco y la glorieta del Aeropuerto, con una longitud de 3.600 metros y un ancho de 17,5 metros. La implementación del método PCI permitió obtener una calificación de 49 para el estado del pavimento, lo que lo ubica en la clasificación de condición "Regular". Este resultado es indicativo de que el tramo de análisis presenta un



desgaste que, aunque no crítico, requiere intervención tanto en términos de mantenimiento menor como mayor. Durante el proceso de evaluación, se identificaron doce tipos distintos de fallas en las veintiséis unidades de muestra analizadas. El desprendimiento de agregados fue la falla más prevalente, representando el 78,28% del total de fallas detectadas. Otras fallas encontradas, aunque en menor porcentaje, incluyen piel de cocodrilo (4,51%), agregados pulidos (4,11%), grietas de bloque (3,96%), grietas longitudinales y transversales (3,24%), parches (2,27%), grietas de borde (1,35%), elevaciones y hundimientos (0,84%), baches (0,65%), depresiones (0,40%), corrugaciones (0,36%) y hinchazones (0,03%). La distribución de estas fallas sugiere que, si bien el desprendimiento de agregados es el principal problema, la diversidad de fallas indica un deterioro generalizado en el pavimento que no puede ser ignorado. La clasificación "Regular" del PCI implica que se necesita realizar un plan de mantenimiento integral. En particular, el mantenimiento mayor es recomendado cuando los trabajos de mantenimiento menor han sido insuficientes para corregir los problemas a largo plazo. Por lo tanto, se concluye que, aunque la vía aún es funcional, la intervención es esencial para evitar un deterioro progresivo que podría impactar tanto en la seguridad vial como en los costos futuros de reparación.

(Coy Pineda, 2017) su estudio "Evaluación superficial de un pavimento flexible de la calle 134 entre carreras 52a A 53c comparando los métodos Vizir y Pc", Este artículo presenta una revisión exhaustiva de los métodos más utilizados para evaluar el estado de un pavimento flexible, con especial énfasis en las técnicas de auscultación visual y el examen de la superficie. Estas metodologías permiten identificar de manera rápida y eficiente los tipos de fallas presentes en la capa de rodadura, facilitando la toma de decisiones sobre las acciones de mantenimiento necesarias. La auscultación visual, en particular, se destaca por su simplicidad y facilidad de implementación, lo que la convierte en una herramienta accesible para profesionales del campo de la ingeniería vial. Esta técnica consiste en un análisis detallado de los daños superficiales del



pavimento, permitiendo asignar una calificación basada en la severidad y extensión de las fallas identificadas. A partir de este diagnóstico, es posible definir los requerimientos específicos para restablecer las condiciones óptimas de servicio del pavimento, ya sea mediante intervenciones de mantenimiento menor o mayor. Además de la auscultación visual, el artículo también compara dos métodos clave de evaluación de pavimentos: el método Vizir y el índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). El método Vizir se basa principalmente en la inspección visual, utilizando criterios estandarizados para identificar y clasificar los defectos presentes en la superficie del pavimento. Es un método ampliamente utilizado por su rapidez y bajo costo, aunque su precisión puede verse limitada en comparación con otras técnicas más detalladas. Por otro lado, el PCI es un método más detallado y riguroso que también se basa en la observación visual, pero que incluye un sistema de puntuación cuantitativa para clasificar el estado del pavimento. El PCI evalúa una amplia gama de fallas, asignándoles una puntuación que se utiliza para calcular un índice global que refleja la condición del pavimento. Este índice permite una evaluación más precisa y estandarizada, facilitando la comparación entre distintos tramos de carretera y la planificación de intervenciones de mantenimiento. El artículo concluye con una serie de recomendaciones sobre la elección del método más adecuado según el contexto específico de la evaluación. Si bien el método Vizir es valorado por su practicidad y simplicidad, se sugiere que el PCI es más apropiado cuando se requiere una evaluación más exhaustiva y detallada del pavimento, especialmente en proyectos de mayor envergadura donde se necesita una justificación técnica sólida para las decisiones de mantenimiento. Por lo tanto, la elección entre Vizir y PCI dependerá de factores como los recursos disponibles, la escala del proyecto y el nivel de detalle requerido en la evaluación.

(Cordero Garcés & Guaranda Mero, 2017) su estudio "Análisis comparativo de los métodos Vizir-PCI aplicada en pavimento flexible vía Jipijapa-la Mona, Cantón Jipijapa". La conservación de la red vial del Ecuador ha cobrado una relevancia crucial en los



últimos años, convirtiéndose en un pilar estratégico para el desarrollo socioeconómico del país. Un aspecto fundamental de esta conservación radica en el mantenimiento adecuado de los pavimentos flexibles, que juegan un rol vital en el transporte eficiente de productos, especialmente en el sector agrícola. El buen estado de las vías permite no solo la agilidad en el transporte y la comercialización de productos, sino que también incrementa la seguridad y el confort de los usuarios, contribuyendo a la conectividad entre zonas rurales y urbanas. Al garantizar una infraestructura vial en óptimas condiciones, se facilita la integración entre los sectores productivos y comerciales, lo que repercute positivamente en el crecimiento económico del país, mejorando la calidad de vida de las poblaciones que dependen de estas vías para sus actividades cotidianas. En este contexto, el presente proyecto de investigación de titulación tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo de la evaluación funcional del pavimento flexible en la vía Jipijapa – La Mona, ubicada en el cantón Jipijapa. Para ello, se emplean dos métodos ampliamente reconocidos en el ámbito de la ingeniería vial: el método VIZIR (Inspección por Visión de Zonas e Itinerarios en Riesgo) y el Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). Ambos métodos ofrecen enfoques distintos pero complementarios para evaluar el estado superficial del pavimento flexible, permitiendo una comprensión detallada de las condiciones actuales de la vía. El método VIZIR se caracteriza por su enfoque cualitativo, basado en una inspección visual detallada de la vía, lo que facilita la identificación rápida de zonas de riesgo y fallas visibles en la superficie del pavimento. Este método es apreciado por su simplicidad y bajo costo, lo que lo convierte en una herramienta accesible para evaluaciones rutinarias. Sin embargo, su nivel de precisión es relativamente limitado en comparación con métodos más cuantitativos, como el PCI. Por otro lado, el método PCI ofrece un análisis más detallado y cuantificable del estado del pavimento, asignando una puntuación numérica basada en la observación de distintos tipos de fallas y su severidad. Este método permite obtener una visión más precisa de la condición funcional de la vía, facilitando la toma de decisiones informadas sobre las intervenciones necesarias. En este



estudio, ambos métodos fueron aplicados a la vía Jipijapa – La Mona, obteniéndose datos detallados sobre el estado superficial del pavimento flexible. El proceso de evaluación incluyó la recolección de datos sobre los diferentes tipos de daños que afectaron a la vía, así como su grado de severidad. Estos daños incluyen fisuras, desprendimientos de agregados, baches, y otros deterioros característicos de los pavimentos flexibles, que afectan directamente la funcionalidad y seguridad de la vía. Mediante el análisis comparativo de los resultados obtenidos por ambos métodos, fue posible determinar las principales causas que originaron estos daños, como las condiciones climáticas, el tráfico vehicular y la falta de mantenimiento preventivo. Con base en los hallazgos del estudio, se desarrolló una propuesta de intervención que incluye tanto trabajos de mantenimiento como de rehabilitación de la vía. Esta propuesta se elaboró teniendo en cuenta la factibilidad económica, con el objetivo de optimizar los recursos y garantizar la durabilidad de las reparaciones. La elección del método de intervención más adecuado se basó en la metodología que mejor reflejaba las condiciones reales de la vía, asegurando que las soluciones propuestas no solo sean técnicas, sino también financieramente viables a largo plazo. En conclusión, este proyecto subraya la importancia de emplear métodos de evaluación funcional confiables para la conservación de las vías en Ecuador, destacando la relevancia de una adecuada planificación en el mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura vial para promover el desarrollo sostenible del país.

2.1.2 Antecedentes nacionales.

(Campos Requejo, 2018) su tesis “evaluación superficial aplicando Metodología PCI del pavimento flexible de la carretera Bagua-Alenya, provincia Bagua, Amazonas - 2018”. Este enfoque se basa en la identificación y cuantificación de las fallas presentes en la superficie del pavimento, asignando una puntuación que refleja su condición general. A través de la metodología PCI, se pueden detectar diversos tipos de deterioro, como fisuras, baches, desprendimiento de agregados, entre otros, lo que permite obtener



un panorama integral del estado del pavimento. El valor del PCI no solo radica en su capacidad para ofrecer una visión clara del estado actual del pavimento, sino también en su utilidad para planificar el mantenimiento y las reparaciones necesarias. A partir de los resultados obtenidos, se puede determinar con mayor precisión el tipo de intervención que debe llevarse a cabo, ya sea un mantenimiento preventivo, correctivo o una rehabilitación completa de la superficie vial. El enfoque cuantitativo del PCI permite a los ingenieros y responsables del mantenimiento de las vías tomar decisiones fundamentadas en datos concretos, optimizando los recursos y asegurando que las intervenciones se realicen de manera oportuna y eficiente. Una vez que se completa la evaluación utilizando el método PCI, se genera un diagnóstico detallado que incluye una clasificación del pavimento en función de su estado, lo cual facilita la identificación de las áreas más críticas que requieren atención inmediata. Este diagnóstico también permite establecer una priorización en las actividades de mantenimiento, asegurando que las vías más deterioradas reciban tratamiento prioritario. Además, el análisis detallado del PCI proporciona información sobre las posibles causas de las fallas detectadas, lo que es fundamental para diseñar estrategias de mitigación que prevengan futuros deterioros y extiendan la vida útil del pavimento. El PCI no solo es útil para determinar las necesidades de mantenimiento actuales, sino que también es una herramienta esencial para la planificación a largo plazo de la conservación vial. Al ofrecer una evaluación objetiva y estandarizada, facilita la comparación entre diferentes tramos de carretera y permite la elaboración de presupuestos más precisos para las obras de reparación y rehabilitación. En este sentido, el método PCI es considerado una solución complementaria que va más allá de una simple inspección visual, ya que integra un análisis profundo del estado funcional y estructural del pavimento. Por lo tanto, tras la aplicación del método PCI en el pavimento objeto de estudio, se puede determinar el estado situacional del pavimento con un alto grado de precisión. A partir de esta evaluación, se puede definir el tipo de intervención más adecuada para corregir las anomalías detectadas. Estas intervenciones pueden ir desde reparaciones menores,



como el sellado de fisuras o la aplicación de parches, hasta rehabilitaciones mayores que involucren el reemplazo completo de capas del pavimento. Así, el PCI no solo permite tomar decisiones inmediatas sobre el estado del pavimento, sino que también contribuye a la planificación a largo plazo del mantenimiento vial, garantizando la seguridad y funcionalidad de las vías para sus usuarios.

(Medina Hostia & Vivanco Ríos, 2021) en su tesis "Análisis superficial de pavimentos flexibles y alternativas de Intervención tramo puente Los Maestros - Cutervo, vía Acomayo, Ica, 2021", Con el transcurso del tiempo, se ha observado un evidente deterioro en la infraestructura vial del departamento de Ica, lo que ha tenido un impacto negativo en la calidad de vida de los ciudadanos y en la eficiencia del transporte. Este deterioro ha generado una serie de afectaciones que repercuten en la comodidad y seguridad de los usuarios al transitar por la red vial local. La falta de un plan integral de mantenimiento vial que considere tanto la conservación de la infraestructura como los elementos de seguridad vial ha sido un factor clave en el empeoramiento de las condiciones de las carreteras de la región. El mantenimiento inadecuado o insuficiente ha incrementado el riesgo de accidentes, ha afectado el comercio local, y ha limitado la conectividad entre comunidades, con consecuencias económicas y sociales a largo plazo. El presente estudio tiene como propósito aplicar la metodología del Índice de Condición de Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) en un tramo específico de la vía que conecta el puente Los Maestros con Cutervo, en la vía Acomayo, ubicada en la Región Ica. El objetivo principal es calcular el Índice de Condición Superficial del Pavimento, el cual sirve como indicador cuantitativo del estado de la vía. Este análisis permitirá identificar las áreas que requieren intervención y ofrecer soluciones para restaurar la funcionalidad de la carretera. El valor del PCI es esencial para clasificar el estado del pavimento, identificar las fallas estructurales más críticas y, en función de ello, plantear alternativas de rehabilitación y mantenimiento que mejoren la transitabilidad y seguridad del tramo en cuestión. Para llevar a cabo este análisis, se utilizaron fichas de



inspección visual, las cuales permiten documentar los tipos de fallas presentes en el pavimento, así como la severidad de las mismas. Las evaluaciones se basaron en los criterios establecidos por el manual del PCI para pavimentos flexibles, lo que garantiza un enfoque estandarizado y riguroso en la recolección de datos. Los ábacos proporcionados por el PCI fueron empleados para cuantificar los daños observados, permitiendo calcular el índice de condición del tramo evaluado, que abarcó una distancia de 2,32 kilómetros entre el puente Los Maestros y Cutervo. Al aplicar la metodología PCI, se identificaron una serie de patologías en el pavimento, tales como fisuras, baches, desprendimiento de agregados y deformaciones, todas ellas con distintos niveles de severidad. El resultado final de la evaluación fue un PCI promedio de 35,34, lo que clasifica el estado del tramo como "malo". Esta calificación indica que la carretera requiere una intervención urgente, orientada principalmente a la rehabilitación de su estructura. La rehabilitación es necesaria cuando el pavimento ha alcanzado un nivel de deterioro tal que las reparaciones menores o el mantenimiento rutinario no son suficientes para restaurar sus condiciones óptimas de servicio. La propuesta de intervención para este tramo de la vía Acomayo, tras analizar los resultados del PCI, incluye opciones de rehabilitación estructural que podrían involucrar la remoción y reemplazo de capas deterioradas del pavimento, la mejora de la subrasante y la aplicación de nuevas capas de asfalto. Además, se recomienda implementar medidas preventivas a largo plazo para asegurar que, una vez restaurada, la vía se mantenga en buenas condiciones, evitando el rápido deterioro. Estas medidas incluyen la implementación de un plan de mantenimiento periódico que contemple tanto la reparación de fallas menores como la preservación de los elementos de seguridad vial, tales como señalización y barreras protectoras. En conclusión, la aplicación de la metodología PCI en el tramo del puente Los Maestros – Cutervo ha permitido no solo evaluar de manera precisa el estado del pavimento, sino también generar un conjunto de soluciones viables para mejorar su transitabilidad. La rehabilitación de este tramo es



fundamental no solo para garantizar la seguridad de los usuarios, sino también para fortalecer la conectividad y el desarrollo socioeconómico de la región de Ica.

(Callme Chivigorri & Torres Banda, 2024) en su tesis "Evaluación superficial y estructural del pavimento flexible de la Av. Primavera, Cerro Colorado, Arequipa". El objetivo central de esta tesis es llevar a cabo una evaluación detallada, tanto estructural como superficial, del pavimento de la Avenida Primavera, ubicada en el departamento de Arequipa, específicamente en la ciudad de Arequipa y el distrito de Cerro Colorado. Este tramo de pavimento asfáltico, con una extensión de 3.700 metros lineales, ha sido objeto de una investigación exhaustiva con el fin de identificar las fallas presentes, analizar las deflexiones y diagnosticar su estado actual. La importancia de este estudio radica en la necesidad de garantizar la funcionalidad y seguridad del pavimento, así como en la preservación de una infraestructura vial que es fundamental para la movilidad y el desarrollo socioeconómico de la zona. El análisis de la Avenida Primavera se centrará en dos aspectos clave: por un lado, la evaluación superficial del pavimento, que proporcionará información sobre el estado visible de la capa de rodadura y la aparición de patologías como fisuras, baches o desprendimientos de material. Para esta evaluación superficial, se utilizará el Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés), una metodología reconocida internacionalmente que permite calificar el estado del pavimento de manera cuantitativa, basándose en la identificación y clasificación de los diferentes tipos de fallas presentes. Por otro lado, la evaluación estructural del pavimento se realizará utilizando el ensayo de la viga Benkelman, una herramienta ampliamente utilizada para medir la deflexión que experimenta el pavimento bajo la aplicación de una carga controlada. Este método no destructivo es esencial para obtener información sobre la capacidad estructural del pavimento, es decir, su capacidad para soportar las cargas del tráfico sin sufrir deformaciones excesivas que puedan comprometer su integridad a largo plazo. La viga Benkelman permite medir de manera directa la deflexión de la superficie de rodadura, lo que es fundamental para estimar la



capacidad de carga del pavimento y su vida útil restante. Este tipo de ensayo es muy práctico y ampliamente aceptado, ya que no implica daños a la infraestructura vial y proporciona resultados confiables sobre la respuesta estructural del pavimento bajo condiciones reales de tráfico. La combinación de estos dos enfoques —el análisis superficial mediante PCI y el análisis estructural mediante la viga Benkelman— proporciona una visión integral del estado del pavimento. Mientras que el PCI se enfoca en la condición visual del pavimento, el ensayo de deflexión ofrece una comprensión más profunda sobre su capacidad estructural. Con esta metodología, se espera identificar no solo los problemas visibles en la superficie, sino también cualquier deficiencia subyacente en la estructura del pavimento que pueda estar afectando su rendimiento y durabilidad. Además de las evaluaciones directa de las fallas y deflexiones, esta tesis también incluirá un análisis de la relación entre el desgaste y la fatiga del pavimento, lo que permitirá predecir el comportamiento futuro de la carretera bajo el tránsito continuo de vehículos. A través de la aplicación de modelos de regresión, se analizarán las interacciones entre las cargas de tráfico, el desgaste acumulado y los posibles efectos de la fatiga en el material asfáltico. Estos cálculos ayudarán a determinar en qué medida el pavimento ha sido afectado por el paso del tiempo y las condiciones operativas, y qué intervenciones serán necesarias para prolongar su vida útil. En resumen, esta investigación tiene como fin último ofrecer un diagnóstico integral del pavimento de la Avenida Primavera, combinando la evaluación visual y estructural para obtener una imagen completa de su estado actual. Los resultados de este estudio permitirán tomar decisiones fundamentadas sobre las acciones de mantenimiento y rehabilitación necesarias para garantizar que la vía continúe ofreciendo un servicio seguro y eficiente para los usuarios. Además, el uso de ensayos no destructivos garantiza que las evaluaciones se realicen sin comprometer la integridad del pavimento, asegurando la conservación de la infraestructura durante todo el proceso de análisis.



2.1.3 Antecedentes regionales.

(Apaza Porto, 2021) La tesis "Evaluación superficial del pavimento flexible por el método PCI para el mejoramiento de la avenida circunvalación noroeste, Juliaca-2021". El objetivo principal de este estudio es llevar a cabo una evaluación exhaustiva de la función superficial del pavimento flexible de la Av. Circunvalación Noroeste, en la ciudad de Juliaca, mediante la aplicación del método de Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). Esta evaluación busca determinar de manera precisa los porcentajes del área del pavimento que han sido afectadas, el tipo de daños presentes, así como la severidad de los mismos, y con base en estos resultados, proporcionar una alternativa de solución adecuada que permita restaurar la funcionalidad y durabilidad de la vía. Este estudio tiene una relevancia significativa en el ámbito de la gestión de infraestructura vial, ya que la Av. Circunvalación Noroeste es una arteria crucial para el tránsito local y regional, y su deterioro impacta negativamente tanto en la seguridad de los usuarios como en el desarrollo económico de la zona. Por esta razón, una evaluación precisa y detallada del estado actual del pavimento es esencial para la planificación de las futuras intervenciones de mantenimiento y rehabilitación. En cuanto a la metodología de la investigación, este estudio se enmarca dentro de un enfoque evaluativo, lo que implica un análisis profundo de las condiciones del pavimento en función de los datos obtenidos durante el proceso de recolección. Dado que el estudio combina tanto la recolección de datos cualitativos como cuantitativos, el enfoque utilizado es mixto. Por un lado, se realizó una evaluación cualitativa mediante la observación visual de la superficie del pavimento, identificando los tipos de fallas y su distribución en el tramo de la vía. Por otro lado, el análisis cuantitativo implicó la medición de las áreas afectadas y la clasificación de la severidad de los daños, complementado con estudios de laboratorio para evaluar la calidad de los materiales. La investigación incluyó la realización de estudios destructivos, conocidos como calicatas, que consisten en la excavación y extracción de muestras del pavimento y la base subyacente para su análisis en laboratorio. Estos estudios permitieron obtener información precisa sobre las propiedades



geotécnicas de los materiales que conforman la estructura del pavimento. En este caso, se realizaron tres calicatas en distintos puntos de la vía, lo que permitió evaluar la consistencia y calidad del pavimento en diferentes secciones. Los resultados de los estudios de laboratorio revelaron que los problemas geotécnicos que han contribuido a las fallas observadas en el pavimento se originan principalmente en la base de la estructura. En las tres calicatas se encontraron valores de CBR (California Bearing Ratio) inferiores al 100%, lo que indica que la capacidad de soporte de la base es insuficiente para soportar las cargas de tráfico a las que está sometida la vía. El valor más bajo se encontró en la calicata 3, con un CBR de 70%, lo cual es un claro indicativo de la necesidad de intervención en esta sección. Además, los índices de plasticidad también fueron superiores a los niveles recomendados, con un valor máximo de 4,64% en la calicata 1, lo que sugiere la presencia de suelos plásticos que son susceptibles a deformaciones bajo cargas repetidas. Otro hallazgo relevante es que los análisis de granulometría mostraron que el material en las tres calicatas se encuentra fuera de los rangos óptimos establecidos en los husos granulométricos, lo que confirma que la distribución de tamaños de partículas en la base no es la adecuada para garantizar la estabilidad y durabilidad del pavimento. En cuanto a la evaluación superficial del pavimento mediante el método PCI, se obtuvo un valor promedio de 31, lo que clasifica el estado del pavimento como "malo". Esta calificación indica que el pavimento ha sufrido un deterioro considerable y que las fallas presentes en la capa de rodadura afectan gravemente su capacidad de servicio. El método PCI permite no solo identificar la severidad de las fallas, sino también establecer una guía clara sobre el tipo de intervención necesaria. En este caso, el resultado del PCI sugiere que el pavimento no es apto para reparaciones menores y que es necesario un reemplazo completo de la cobertura asfáltica para restaurar la funcionalidad de la vía. Finalmente, la conclusión de este estudio resalta la necesidad de llevar a cabo una intervención integral que involucre el reemplazo de la cobertura asfáltica y la mejora de la base del pavimento, dado que la estructura actual no es capaz de soportar el tráfico de manera eficiente. Se recomienda,



además, que las intervenciones incluyan la corrección de la granulometría de los materiales y la utilización de suelos de mejor calidad que puedan garantizar un desempeño óptimo a largo plazo. La implementación de estas medidas permitirá mejorar la transitabilidad y la seguridad de la vía, asegurando su sostenibilidad en el tiempo.

(Ccama Quispe & Turpo Arapa, 2021) su tesis "Evaluación superficial del estado del pavimento flexible y verificación de tramos con fallas estructurales mediante Deflectometría, vía Juliaca – Lampa, Puno" El objetivo de este estudio es realizar una evaluación exhaustiva del estado del pavimento flexible en la vía Juliaca – Lampa, tanto a nivel superficial como estructural, utilizando un enfoque metodológico mixto. Este enfoque implica la recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos, lo que permite una evaluación completa de las condiciones del pavimento. La investigación se caracteriza por un diseño no experimental, ya que las variables de estudio no serán manipuladas, sino observadas y descritas en función de su estado actual. Además, el nivel de investigación es descriptivo-aplicativo, dado que se emplearán métodos técnicos para evaluar el pavimento, tales como el Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) para la evaluación superficial, y el uso de la viga Benkelman para la evaluación estructural, que es un método no destructivo ampliamente utilizado en estudios de pavimentos. El método PCI proporciona una visión detallada del estado superficial del pavimento, permitiendo clasificar las condiciones del mismo en función de su deterioro visible. Este índice es una herramienta clave para tomar decisiones informadas sobre las necesidades de mantenimiento o reconstrucción de la vía. En este estudio, el análisis superficial del tramo 5 de la vía Juliaca – Lampa arrojó un valor de PCI de 4.13, lo que lo clasifica como "FALLADO". Esta clasificación indica que el pavimento ha llegado a un punto crítico de deterioro, donde las reparaciones menores ya no son viables y se requiere una intervención mayor. En este caso, se propone una reconstrucción completa del pavimento como la solución más adecuada para restaurar la funcionalidad y seguridad de la vía. Por otro lado, la evaluación estructural se llevó a



cabo mediante la aplicación de la viga Benkelman, un método que mide la deflexión de la superficie del pavimento bajo una carga aplicada, proporcionando una medida directa de su capacidad estructural. En el carril izquierdo del tramo evaluado, se obtuvo una deflexión característica de 107.86 mm/100, mientras que en el carril derecho se registró una deflexión aún mayor, de 150.35 mm/100. Ambas deflexiones superan la deflexión admisible de 88.98 mm/100, lo que indica que el pavimento está en un estado avanzado de fatiga. La alta deflexión sugiere que el pavimento no tiene la capacidad estructural suficiente para soportar las cargas de tráfico actuales, lo que compromete su durabilidad y funcionalidad a largo plazo. Además, el análisis del CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante arrojó un valor de 3.54%, lo que clasifica a esta capa como "POBRE". Un CBR tan bajo indica que la subrasante tiene una capacidad de soporte deficiente, lo que contribuye al rápido deterioro del pavimento en su conjunto. La subrasante juega un papel fundamental en la estabilidad del pavimento, ya que es la capa que distribuye las cargas de tráfico hacia el suelo natural. Un CBR bajo significa que esta capa no está proporcionando el soporte necesario, lo que agrava los problemas estructurales observados en la evaluación de la deflexión. En base a estos resultados, se concluye que el tramo 5 de la vía Juliaca – Lampa requiere una intervención integral que incluya no solo la reconstrucción del pavimento, sino también el mejoramiento de la subrasante. La reconstrucción del pavimento implica la remoción de las capas actuales, la rehabilitación de la base y subbase, y la colocación de nuevas capas de asfalto que cumplan con los estándares de diseño. En cuanto a la subrasante, se recomienda mejorar su capacidad de soporte mediante la estabilización del suelo o la incorporación de materiales de mayor calidad que puedan proporcionar un mejor desempeño a largo plazo. Esta investigación destaca la importancia de realizar evaluaciones tanto superficiales como estructurales para obtener un diagnóstico completo del estado del pavimento. Al combinar los resultados del PCI y de la viga Benkelman, es posible identificar con precisión las áreas críticas que requieren atención y desarrollar soluciones de ingeniería que prolonguen la vida útil de la infraestructura vial. La propuesta de intervención basada en estos análisis

no solo busca restaurar la transitabilidad y seguridad de la vía, sino también asegurar que las soluciones implementadas sean sostenibles y eficientes a largo plazo.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 *Evaluación del estado superficial del pavimento flexible.*

La evaluación del estado superficial del pavimento flexible es un aspecto crucial en la gestión de infraestructuras viales, pues permite determinar el nivel de deterioro de las superficies de rodadura y, con ello, planificar las acciones de mantenimiento necesarias. Esta evaluación está dirigida a identificar, medir y clasificar los daños presentes en la capa de rodadura y, en algunos casos, a analizar el comportamiento estructural del pavimento bajo cargas vehiculares. Es esencial para prolongar la vida útil del pavimento, garantizar la seguridad vial y optimizar los costos de rehabilitación.

1. Características del Pavimento Flexible

El pavimento flexible se compone de varias capas estructurales, entre las cuales se destacan:

- **Capa de rodadura:** Es la capa superior del pavimento que está en contacto directo con el tráfico. Su función principal es proporcionar una superficie resistente al desgaste, segura y cómoda para los vehículos, y debe ofrecer una adecuada adherencia y drenaje.
- **Capa de base:** Situada debajo de la capa de rodadura, esta capa tiene la función de distribuir las cargas vehiculares a las capas inferiores y debe ser lo suficientemente estable para resistir el tráfico constante.
- **Capa sub-base:** Ubicada debajo de la base, proporciona soporte adicional y ayuda a distribuir las cargas hacia el suelo subyacente.

El comportamiento de estas capas se ve influenciado por diversos factores, tales como la carga del tráfico, las condiciones climáticas, el tipo de materiales utilizados y el envejecimiento natural del pavimento.

2. Importancia de la Evaluación del Estado Superficial

La evaluación del estado superficial del pavimento flexible tiene un impacto directo en el diseño de programas de mantenimiento y rehabilitación. La condición superficial de la capa de rodadura afecta la seguridad vial, el confort de los usuarios y la eficiencia del tráfico. Un pavimento deteriorado puede presentar problemas como baches, fisuras, agrietamientos o deformaciones, los cuales pueden comprometer su funcionalidad y requerir intervenciones costosas.

3. Métodos de Evaluación del Estado Superficial

Existen diversos métodos y técnicas para evaluar el estado superficial de los pavimentos flexibles. Los más comunes incluyen:

- **Inspección Visual:** Es el método más utilizado por su bajo costo y facilidad de implementación. Consiste en un examen detallado de la superficie del pavimento, donde se identifican daños visibles como grietas, baches, hundimientos, y otras irregularidades. Este método puede clasificarse según la gravedad de los daños observados (por ejemplo, a través de índices de condición de pavimento como el PCI, Pavement Condition Index).
- **Medición de la Rugosidad Superficial:** Para evaluar la calidad de la superficie de rodadura, se pueden utilizar dispositivos como el **índice de rugosidad** (IRI, International Roughness Index), que mide las irregularidades en la superficie y su impacto en el confort de los vehículos.
- **Ensayos de Carga:** Métodos más avanzados como el **deflectómetro de impacto** o el **dinamómetro** permiten medir las deformaciones de la superficie bajo cargas específicas, proporcionando una idea más clara sobre la capacidad estructural del pavimento.
- **Técnicas No Destructivas (NDT):** Herramientas como el **ultrasonido** o el **espectro electromagnético** permiten obtener información sobre la estructura interna del pavimento sin causar daños a la superficie.

4. Indicadores de Deterioro Superficial

Durante la evaluación del estado superficial del pavimento, los principales indicadores de deterioro que se analizan incluyen:

- **Fisuras:** Pueden ser de varios tipos (longitudinales, transversales, de fatiga), y su presencia es un indicativo de la reducción de la capacidad estructural del pavimento.
- **Desgaste de la superficie:** Con el tiempo, la capa de rodadura puede perder su espesor original debido al tránsito vehicular y la acción del clima.
- **Baches y hundimientos:** Son daños más severos que afectan la seguridad del tráfico y generalmente requieren intervenciones inmediatas.
- **Deformaciones plásticas:** Como las huellas de neumáticos, que resultan del paso repetido de vehículos pesados, y las cuales pueden comprometer la funcionalidad del pavimento.
- **Pérdida de adherencia:** Causada por el desgaste de la capa de rodadura, lo que puede generar problemas de seguridad vial, especialmente en condiciones climáticas adversas.

5. Clasificación del Estado del Pavimento

Una vez que se identifican y miden los daños, el pavimento se clasifica según su índice de condición. Algunos sistemas de clasificación incluyen:

- **PCI (Pavement Condition Index):** Es uno de los métodos más conocidos y utilizado a nivel mundial para evaluar el estado del pavimento flexible. El PCI asigna un valor numérico que va de 0 (estado muy deteriorado) a 100 (estado óptimo).
- **IRI (International Roughness Index):** Utilizado para evaluar la calidad de la superficie en términos de confort para los usuarios del pavimento. Un índice bajo indica una superficie suave, mientras que un índice alto refleja irregularidades significativas.

6. Importancia de la Evaluación del Estado Superficial en el Mantenimiento y Rehabilitación

El análisis del estado superficial es esencial para:



- **Programar las intervenciones de mantenimiento:** Permite identificar las áreas que requieren atención inmediata y aquellas que pueden esperar. Este enfoque basado en el diagnóstico ayuda a optimizar los recursos y a priorizar las reparaciones.
- **Prevenir fallas mayores:** Al identificar daños menores a tiempo, se pueden evitar costosas reparaciones mayores y prolongar la vida útil del pavimento.
- **Optimizar el costo-beneficio:** La evaluación permite determinar el momento adecuado para realizar rehabilitaciones y evitar gastos innecesarios en reparaciones prematuras.

2.2.2 Pavimento Flexible.

El pavimento flexible es una estructura de múltiples capas diseñada para soportar el tráfico vehicular mediante la distribución de cargas a través de sus diferentes capas hasta alcanzar la subrasante. Este tipo de pavimento es ampliamente utilizado en carreteras debido a su capacidad para adaptarse a las deformaciones del terreno, así como a su habilidad para ser reparado y mantenido con relativa facilidad. A diferencia de los pavimentos rígidos, que dependen de su rigidez para soportar cargas, el pavimento flexible distribuye las cargas a través de capas de materiales de diversa granulometría y propiedades, permitiendo una flexión bajo carga sin romperse (Yoder & Witczak, 1975).

El diseño de un pavimento flexible se basa en la premisa de que cada capa superior proporciona una protección progresiva a la capa inferior, reduciendo la magnitud de las tensiones transmitidas. La capa superior, generalmente compuesta por asfalto, soporta directamente las cargas del tráfico y las condiciones ambientales. Las capas intermedias, como la base y la subbase, están diseñadas para distribuir las cargas de manera uniforme y proporcionar soporte estructural a la capa de rodadura, mientras que la subrasante actúa como el cimiento sobre el cual descansan todas las capas superiores. Este enfoque en capas hace que los pavimentos flexibles sean ideales para carreteras con condiciones de tráfico variadas y terrenos con características geotécnicas diversas (Huang, 2004).

2.2.2.1 Características del Pavimento Flexible

Capacidad de Deformación: La capacidad de deformación es una de las características más representativas del pavimento flexible. Bajo la influencia de cargas vehiculares, este tipo de pavimento experimenta deformaciones que se distribuyen de manera eficiente a través de sus capas, permitiendo que la estructura soporte tensiones sin fracturarse. Esta propiedad es especialmente importante en contextos donde el terreno subyacente puede presentar asentamientos diferenciales o donde las cargas de tráfico son dinámicas y variables. La capacidad de deformarse de manera controlada ayuda a mitigar la aparición de grietas y otros tipos de fallas estructurales, prolongando así su vida útil (Huang et al., 2019). Estudios recientes han destacado que la correcta compactación y el uso de materiales innovadores como los asfaltos modificados pueden mejorar aún más esta capacidad, optimizando el rendimiento en condiciones exigentes (Shafabakhsh & Motamedi, 2020).

Durabilidad y Mantenimiento: La durabilidad de un pavimento flexible depende en gran medida de la calidad de los materiales empleados, el diseño estructural y su adaptación a las condiciones climáticas y de tráfico. Aunque suelen requerir un mantenimiento más frecuente que los pavimentos rígidos, las reparaciones en pavimentos flexibles tienden a ser más simples y menos costosas. Técnicas como el sellado de grietas, la renovación de capas superficiales y el parcheo de baches son esenciales para prevenir el deterioro prematuro y garantizar su funcionalidad a largo plazo. Estudios recientes sugieren que la implementación de programas de mantenimiento preventivo reduce significativamente los costos asociados a reparaciones mayores y mejora la sostenibilidad del sistema vial (Li et al., 2019). Además, los avances en tecnologías de mezclas asfálticas y tratamientos superficiales han permitido prolongar la vida útil de los pavimentos flexibles, incluso en entornos con condiciones adversas (Al-Qadi et al., 2020).

Resistencia al Clima: El desempeño de los pavimentos flexibles está profundamente influenciado por las condiciones climáticas. En climas fríos, la exposición

a temperaturas bajo cero puede provocar la contracción del material asfáltico, generando grietas térmicas, mientras que en climas cálidos, las temperaturas elevadas pueden ablandar el asfalto, incrementando el riesgo de deformaciones permanentes, como ahuellamientos. Además, la acumulación de agua en las capas inferiores puede causar pérdida de soporte en la subbase debido a saturación o erosión, comprometiendo la estabilidad estructural del pavimento. Investigaciones recientes han enfatizado la necesidad de considerar estos factores climáticos en el diseño, recomendando el uso de asfaltos modificados con polímeros y sistemas de drenaje eficaces para mitigar estos efectos (Soliman & Shalaby, 2019). Estas medidas no solo mejoran el comportamiento climático de los pavimentos flexibles, sino que también incrementan su capacidad de servicio en zonas vulnerables.

Capacidad de Adaptación: Una ventaja clave de los pavimentos flexibles es su capacidad para adaptarse a las irregularidades del terreno. Esta propiedad es particularmente valiosa en áreas propensas a movimientos del suelo o donde se anticipan asentamientos diferenciales. La estructura en capas del pavimento flexible permite redistribuir las tensiones de manera eficiente, minimizando el riesgo de fallas estructurales severas. Además, esta capacidad de adaptación simplifica la construcción, ya que el pavimento puede ser instalado sobre diferentes tipos de subrasante con una preparación mínima del terreno, siempre que se empleen técnicas adecuadas. Estudios recientes han destacado que el uso de materiales estabilizados y mezclas avanzadas mejora significativamente la adaptabilidad y la resistencia del pavimento en entornos complejos (Alvarez-Lugo et al., 2021).

2.2.2.2 Materiales Comunes en el Pavimento Flexible

El éxito de un pavimento flexible depende en gran medida de los materiales utilizados en su construcción, cada uno de los cuales desempeña un papel crucial en la funcionalidad y durabilidad del pavimento.

Asfalto: El asfalto es el material principal en la capa de rodadura de los pavimentos flexibles, desempeñando un papel esencial en su desempeño y durabilidad.

Su principal función es proporcionar una superficie lisa, uniforme y segura para el tránsito vehicular, al tiempo que protege las capas subyacentes de los efectos del agua, los cambios de temperatura y otros agentes externos. El asfalto es valorado por sus propiedades de adhesión, impermeabilidad y flexibilidad. Estas características permiten que el asfalto forme una barrera protectora que evita la infiltración de agua, la cual podría debilitar las capas inferiores y provocar problemas como la pérdida de soporte o la generación de baches (NAPA, 2019). Además, su flexibilidad le permite absorber y disipar tensiones inducidas por las cargas vehiculares, lo que contribuye a reducir la propagación de fisuras y prolonga la vida útil del pavimento. Investigaciones recientes también destacan el uso de asfaltos modificados con polímeros y materiales reciclados para mejorar aún más su resistencia al agua, durabilidad y comportamiento en condiciones extremas (Hossain & Zaman, 2020).

Agregados: Los agregados son materiales esenciales en las capas de base y subbase de los pavimentos flexibles, y pueden ser de origen natural o reciclado. Su función principal es proporcionar estabilidad estructural y distribuir de manera uniforme las cargas vehiculares hacia la subrasante, reduciendo el riesgo de deformaciones permanentes en el pavimento. Propiedades como la granulometría, forma, dureza y resistencia de los agregados tienen un impacto directo en el desempeño del pavimento. Agregados bien seleccionados y procesados aseguran la integridad estructural del sistema, especialmente bajo cargas dinámicas constantes (Huang et al., 2019). La tendencia actual hacia el uso de agregados reciclados no solo reduce costos, sino que también contribuye a la sostenibilidad, siempre que se mantengan los estándares de calidad necesarios para evitar problemas como la degradación prematura o la pérdida de estabilidad estructural (Zheng et al., 2021).

Capa Subrasante: La capa subrasante constituye la base fundamental de cualquier pavimento flexible, proporcionando un soporte uniforme y estable para las capas superiores. Su calidad geotécnica es crucial para garantizar el rendimiento a largo plazo del pavimento. Una subrasante bien preparada debe ser capaz de resistir las

cargas transmitidas desde las capas superiores sin experimentar asentamientos excesivos, pérdida de capacidad portante o deformaciones significativas (Al-Qadi et al., 2020). Cuando la subrasante presenta debilidades o inestabilidad, es necesario aplicar técnicas de mejora, como la estabilización con cal, cemento u otros agentes, para garantizar su desempeño adecuado. Estudios recientes subrayan la importancia de evaluar las condiciones geotécnicas de la subrasante antes de la construcción y sugieren que los suelos estabilizados pueden mejorar significativamente la capacidad de carga y la resistencia a la deformación, lo que resulta en pavimentos más duraderos y sostenibles (Soliman & Shalaby, 2019).

2.2.2.3 Ventajas y Desventajas del Pavimento Flexible

El pavimento flexible se ha consolidado como una opción ampliamente utilizada en la construcción de carreteras y autopistas debido a las ventajas significativas que ofrece en términos de funcionalidad y adaptabilidad. Una de las principales ventajas es su facilidad de reparación y mantenimiento. La estructura modular del pavimento flexible permite realizar reparaciones localizadas de manera rápida y eficiente, sin la necesidad de intervenir grandes extensiones de la carretera, lo que minimiza los costos y los tiempos de cierre del tránsito (Al-Qadi et al., 2020). Esta característica es especialmente valiosa en vías de alto tráfico, donde las interrupciones prolongadas pueden tener impactos económicos significativos. Además, su capacidad para adaptarse a deformaciones y movimientos del terreno lo hace ideal en áreas propensas a asentamientos diferenciales o actividad sísmica, proporcionando una solución más resiliente en comparación con el pavimento rígido (Huang et al., 2019).

Otra ventaja notable del pavimento flexible es su capacidad para ser diseñado y ajustado según las condiciones específicas del clima y el tráfico. Mediante la selección adecuada de materiales y técnicas de construcción, es posible optimizar su rendimiento en una amplia variedad de entornos, desde regiones cálidas y secas hasta climas fríos y húmedos (Soliman & Shalaby, 2019). Además, los avances en tecnologías de mezclas asfálticas han permitido mejorar sus propiedades mecánicas, incrementando su

resistencia al desgaste y su capacidad para soportar cargas pesadas (Zheng et al., 2021).

Sin embargo, el pavimento flexible también presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. Una de las principales desventajas es su susceptibilidad al deterioro bajo condiciones climáticas extremas. Las fluctuaciones de temperatura, como el congelamiento y descongelamiento en climas fríos, pueden provocar fisuras en la capa de asfalto, mientras que las altas temperaturas en climas cálidos pueden generar deformaciones plásticas como ahuellamientos (Hossain & Zaman, 2020). Además, la infiltración de agua en las capas inferiores puede debilitar la subrasante y causar problemas estructurales, como baches y asentamientos. Por estas razones, el pavimento flexible requiere un mantenimiento más frecuente para preservar su funcionalidad y prolongar su vida útil.

En términos económicos, aunque el pavimento flexible tiende a ser menos costoso de instalar inicialmente en comparación con el pavimento rígido, sus costos de mantenimiento a largo plazo pueden ser más elevados. Esto se debe a la necesidad de reparaciones periódicas, como el sellado de grietas, el parcheo de baches y la renovación de la capa de rodadura. Sin embargo, estudios recientes han señalado que la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo y el uso de materiales innovadores pueden reducir significativamente estos costos y mejorar la sostenibilidad del pavimento (Li et al., 2019).

2.2.2.4 Innovaciones y Tendencias en el Diseño de Pavimentos Flexibles

El diseño y construcción de pavimentos flexibles ha experimentado una evolución notable en las últimas décadas, marcada por innovaciones destinadas a mejorar su durabilidad, reducir los costos asociados al mantenimiento y minimizar su impacto ambiental. Entre las principales tendencias destaca el uso de materiales reciclados, como el asfalto reciclado (RAP) y los agregados reciclados. Estos materiales han demostrado ser efectivos para reducir el consumo de recursos naturales y los costos de producción, contribuyendo a la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura vial. Según Al-Qadi



et al. (2020), el uso de RAP no solo conserva recursos, sino que también mejora algunas propiedades del asfalto, como su resistencia al envejecimiento, lo que se traduce en una mayor vida útil del pavimento.

Otro avance significativo en este campo es la incorporación de tecnologías avanzadas en mezclas asfálticas. Estas tecnologías incluyen el uso de polímeros, fibras y aditivos especializados diseñados para mejorar las propiedades mecánicas del pavimento. Estas mezclas permiten una mejor resistencia a las deformaciones plásticas, reducen la aparición de grietas y aumentan la durabilidad general del pavimento (Soliman & Shalaby, 2019). Por ejemplo, el uso de asfaltos modificados con polímeros ha mostrado ser particularmente eficaz en climas extremos, donde las altas temperaturas pueden generar ahuellamientos y el congelamiento-descongelamiento puede provocar fisuras (Zheng et al., 2021). Estas innovaciones no solo mejoran el desempeño estructural del pavimento, sino que también optimizan los recursos al prolongar los ciclos de mantenimiento y rehabilitación.

Además, el desarrollo de tecnologías de construcción automatizadas ha permitido una mejora considerable en la calidad y uniformidad de los pavimentos flexibles. El uso de pavimentadoras equipadas con sistemas de control automatizado garantiza una colocación precisa de las capas de asfalto, reduciendo los errores humanos y mejorando la compactación y la nivelación del pavimento (Hossain & Zaman, 2020). Estas herramientas también aumentan la eficiencia del proceso de construcción, disminuyendo los tiempos de ejecución y los costos operativos, lo que beneficia a los proyectos de infraestructura de gran escala.

En el ámbito de la sostenibilidad, se están explorando nuevas técnicas para reducir el impacto ambiental de la construcción de pavimentos flexibles. Una de estas iniciativas incluye el uso de asfaltos templados, que permiten trabajar con temperaturas más bajas durante el proceso de mezcla y colocación, reduciendo significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo energético (Li et al., 2019). Estas tecnologías no solo promueven prácticas más sostenibles, sino que también



mejoran las condiciones laborales al disminuir la exposición de los trabajadores a temperaturas extremas.

En resumen, el pavimento flexible sigue siendo una opción versátil, adaptable y de alto rendimiento para la construcción de carreteras e infraestructuras viales. A medida que continúan desarrollándose nuevas tecnologías, materiales y métodos de construcción, es evidente que el desempeño, la sostenibilidad y la economía de los pavimentos flexibles seguirán mejorando. Esto posiciona a los pavimentos flexibles como una alternativa aún más atractiva y viable para satisfacer las demandas de infraestructura en todo el mundo, especialmente en un contexto donde la sostenibilidad y la eficiencia son prioridades clave.

2.2.3 Factores de deterioro.

En las carreteras y vías de transporte público de todo el mundo, los pavimentos flexibles son ampliamente utilizados debido a su carácter adaptable y a su capacidad para absorber las deformaciones del terreno. Por otro lado, están sometidos a una variedad de variables que, con el paso del tiempo, contribuyen a su deterioro. Esta degradación no sólo repercute en el funcionamiento y la seguridad de las vías, sino que también tiene importantes repercusiones en la economía, ya que los gastos de reparación y mantenimiento pueden ser considerables. A continuación, se describen en detalle las principales variables que contribuyen a la degradación de los pavimentos flexibles a lo largo de su vida útil.

2.2.3.1 Carga Vehicular

El tráfico vehicular, especialmente el tránsito de vehículos pesados como camiones, autobuses y maquinaria industrial, es uno de los factores más determinantes en el deterioro de los pavimentos flexibles. Cada vehículo que transita sobre la carretera genera fuerzas dinámicas y estáticas que se transfieren a través de las capas del pavimento, causando deformaciones y, con el tiempo, desgaste acumulativo. Estas cargas repetidas producen tensiones que afectan directamente la integridad estructural

del pavimento, acelerando el desarrollo de fallas como ahuellamientos, fisuras por fatiga, y deformaciones permanentes en la superficie.

Los vehículos pesados ejercen una carga significativamente mayor en comparación con los vehículos ligeros, lo que tiene un impacto desproporcionado en el pavimento. Por ejemplo, un solo eje de un camión puede generar el mismo efecto de deterioro que varios miles de vehículos ligeros, dependiendo de la configuración de la carga y las características del pavimento. Estudios recientes, como el de Zheng et al. (2021), han evidenciado que el aumento constante en el volumen y peso promedio de los vehículos de transporte ha incrementado notablemente el estrés en las infraestructuras viales, lo que reduce la vida útil esperada de los pavimentos si no se diseñan adecuadamente.

El deterioro causado por la carga vehicular se manifiesta de diversas formas. Los ahuellamientos, por ejemplo, son el resultado de la acumulación de deformaciones plásticas en la capa de rodadura debido al paso continuo de ruedas en las mismas trayectorias. Estas fallas no solo afectan la funcionalidad de la vía, sino que también representan un riesgo para la seguridad, especialmente en condiciones de lluvia, ya que facilitan la acumulación de agua y aumentan el riesgo de hidroplaneo.

Además, las tensiones repetidas pueden causar fisuras por fatiga, especialmente si el diseño estructural del pavimento no es lo suficientemente robusto para soportar el tráfico previsto. Estas fisuras, inicialmente pequeñas, pueden propagarse rápidamente bajo cargas adicionales, comprometiendo las capas inferiores del pavimento y permitiendo la infiltración de agua, lo que acelera aún más el deterioro.

Para mitigar el impacto de las cargas vehiculares, es fundamental un diseño adecuado que considere la composición del tráfico esperado durante la vida útil del pavimento. Esto incluye la implementación de capas de base y subbase estabilizadas, que ayudan a distribuir las cargas de manera uniforme hacia la subrasante, reduciendo las tensiones en las capas superiores. También es esencial el uso de mezclas asfálticas reforzadas, que mejoren la resistencia al ahuellamiento y a la fatiga.

Además del diseño estructural, las estrategias de mantenimiento también juegan un papel crucial. Inspecciones regulares para detectar deformaciones o fisuras en etapas tempranas pueden prevenir el desarrollo de fallas mayores, mientras que técnicas como el parcheo o el recapeo pueden restaurar la funcionalidad del pavimento de manera eficiente.

Figura 1

Distribución de cargas vehiculares en pavimentos flexibles.



2.2.3.2 Condiciones Climáticas

El clima es uno de los factores más influyentes en el deterioro de los pavimentos flexibles, afectando tanto su desempeño estructural como funcional. Las condiciones climáticas extremas, como temperaturas muy altas o muy bajas, lluvias intensas y ciclos de congelación y descongelación, generan tensiones adicionales en las capas del pavimento, lo que acelera su desgaste. Este impacto es especialmente significativo en regiones donde las variaciones climáticas son frecuentes y severas, lo que exige un diseño y mantenimiento adecuado para garantizar la durabilidad de la infraestructura vial.

En climas fríos, los ciclos de congelación y descongelación representan un desafío importante. Cuando el agua se infiltra en las capas del pavimento y se congela, se expande, generando tensiones que pueden provocar grietas y fisuras en la superficie. Durante el deshielo, estas grietas se agrandan, permitiendo una mayor infiltración de agua en los ciclos siguientes, lo que intensifica el deterioro estructural. Este fenómeno es conocido como daño por congelación-descongelación y es una de las principales causas de fallas en regiones con inviernos intensos. Soliman y Shalaby (2019) sugieren que el



uso de asfaltos modificados con polímeros y la incorporación de mezclas asfálticas resistentes a bajas temperaturas pueden mitigar este problema al mejorar la elasticidad del pavimento y reducir la propagación de fisuras.

Por otro lado, en climas cálidos, las altas temperaturas pueden ablandar el asfalto, aumentando el riesgo de deformaciones plásticas como ahuellamientos y ondulaciones en la superficie. Estas deformaciones no solo afectan la funcionalidad del pavimento, sino que también representan un riesgo para la seguridad de los usuarios, ya que pueden causar deslizamientos o pérdida de control del vehículo. Investigaciones recientes, como las de Zheng et al. (2021), destacan que el uso de mezclas asfálticas modificadas con aditivos específicos, como fibras y polímeros, puede mejorar significativamente la resistencia del pavimento a las temperaturas elevadas.

La presencia de agua, ya sea por lluvias intensas o alta humedad, también es un factor crítico. El agua puede infiltrarse en las capas del pavimento a través de fisuras o juntas, saturando la base y la subbase. Esto debilita la capacidad portante del pavimento y puede generar fallas estructurales como asentamientos, baches, y fisuras profundas. Además, el agua combinada con cargas vehiculares pesadas puede provocar la erosión de la subrasante, reduciendo la estabilidad del pavimento. Al-Qadi et al. (2020) enfatizan la importancia de un sistema de drenaje adecuado para minimizar los efectos de la infiltración de agua, asegurando que el agua sea evacuada de manera eficiente y no quede atrapada en las capas del pavimento.

En regiones con condiciones climáticas extremas, la interacción de múltiples factores puede agravar el deterioro. Por ejemplo, en zonas montañosas, donde los cambios de temperatura pueden ser abruptos y las precipitaciones frecuentes, los pavimentos están sujetos tanto a congelación-descongelación como a saturación por agua, lo que acelera significativamente su desgaste. En estos casos, es fundamental emplear materiales y técnicas de construcción que ofrezcan un desempeño adecuado bajo estas condiciones.

Además del diseño inicial, el mantenimiento regular es esencial para mitigar los efectos del clima en el pavimento. Inspecciones periódicas pueden detectar fisuras y otras fallas en etapas tempranas, permitiendo su reparación antes de que se agraven. Técnicas como el sellado de fisuras y la reparación de baches son fundamentales para prevenir la infiltración de agua y proteger las capas inferiores del pavimento. También se pueden utilizar tratamientos superficiales, como capas de protección con asfaltos modificados, para aumentar la resistencia del pavimento a las variaciones climáticas.

Figura 2

Impacto del ciclo de congelación y deshielo en pavimento.



2.2.3.3 Falta de Mantenimiento

El mantenimiento regular es un componente crítico en la gestión de pavimentos flexibles, ya que permite conservar su funcionalidad, prolongar su vida útil y garantizar la seguridad de los usuarios. Sin una estrategia adecuada de mantenimiento, los pavimentos pueden deteriorarse rápidamente debido a la acumulación de daños menores que, si no se abordan a tiempo, se convierten en fallas más graves y costosas de reparar. Por esta razón, el mantenimiento preventivo y correctivo son esenciales en la gestión de infraestructuras viales.

Importancia del Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se enfoca en acciones diseñadas para evitar que pequeños daños evolucionen hacia problemas estructurales significativos. Entre las prácticas más comunes se encuentran el sellado de fisuras, el parcheo de baches y la

renovación de la capa de rodadura. Estas intervenciones no solo preservan la calidad funcional del pavimento, sino que también reducen los costos a largo plazo al minimizar la necesidad de reparaciones mayores o rehabilitaciones completas.

Sellado de Fisuras

El sellado de fisuras es una medida preventiva fundamental que impide la infiltración de agua en las capas inferiores del pavimento. Las fisuras, si no se sellan a tiempo, pueden expandirse y profundizarse debido a la combinación de tráfico vehicular y cambios climáticos, como los ciclos de congelación y descongelación. Esto no solo incrementa el riesgo de fisuras mayores, sino que también facilita la formación de baches. Investigaciones recientes han demostrado que el sellado temprano de fisuras puede extender significativamente la vida útil del pavimento al evitar que el agua cause saturación en las capas de base y subbase (Hossain & Zaman, 2020).

Parcheo de Baches

El parcheo de baches es otra práctica crucial en el mantenimiento de pavimentos flexibles. Los baches son depresiones en la superficie del pavimento que se forman cuando las capas inferiores pierden su capacidad portante, generalmente debido a la infiltración de agua y la acción repetitiva del tráfico pesado. Estas fallas no solo afectan la comodidad y seguridad de los usuarios, sino que también aceleran el deterioro de las áreas circundantes si no se reparan a tiempo. El parcheo adecuado, utilizando materiales de calidad y técnicas correctas, garantiza una reparación duradera y evita la expansión del daño (Al-Qadi et al., 2020).

Renovación de la Capa de Rodadura

La renovación de la capa de rodadura es una intervención esencial para mantener la calidad superficial del pavimento. Con el tiempo, esta capa puede desgastarse debido a factores como la fricción constante con los vehículos y las condiciones climáticas adversas. Si no se renueva periódicamente, la superficie se vuelve rugosa, disminuyendo la seguridad y el confort de los usuarios. Además, una capa de rodadura desgastada pierde su capacidad de proteger las capas inferiores, lo que incrementa el riesgo de

infiltración de agua y otros daños estructurales. Según Soliman y Shalaby (2019), el uso de asfaltos modificados y mezclas avanzadas en la renovación de esta capa no solo mejora la resistencia al desgaste, sino que también incrementa la durabilidad y el rendimiento general del pavimento.

Beneficios del Mantenimiento Regular

El mantenimiento regular ofrece múltiples beneficios para la conservación de los pavimentos flexibles:

- Prolonga la vida útil del pavimento al prevenir el desarrollo de daños mayores.
- Reduce los costos asociados a rehabilitaciones extensivas y emergencias viales.
- Mejora la seguridad de los usuarios al garantizar una superficie uniforme y libre de baches.
- Incrementa la sostenibilidad, ya que reduce la necesidad de reemplazar materiales y optimiza los recursos.

Figura 3

Proceso de deterioro en pavimento debido a la falta de mantenimiento.



2.2.3.4 Erosión y Escurrimiento Superficial

El agua es, sin duda, uno de los principales agentes de deterioro en los pavimentos flexibles. Su presencia, ya sea en forma de escurrimiento superficial, infiltración o saturación, puede generar daños significativos en la estructura del

pavimento si no se gestiona adecuadamente. El impacto del agua afecta no solo la funcionalidad del pavimento, sino también su vida útil, incrementando los costos de mantenimiento y rehabilitación.

Erosión y Escurrimiento Superficial

El escurrimiento superficial del agua, si no es controlado, puede causar erosión en las capas superiores del pavimento. Este fenómeno ocurre cuando el agua arrastra partículas de la superficie del pavimento, debilitando la capa de rodadura y exponiendo las capas inferiores a tensiones adicionales. La erosión no solo reduce la resistencia del pavimento, sino que también incrementa la probabilidad de que se formen fisuras y deformaciones permanentes. Según Zheng et al. (2021), la erosión es particularmente problemática en áreas con pendientes pronunciadas o en zonas con un diseño inadecuado de cunetas y sistemas de drenaje.

La erosión no tratada disminuye la capacidad del pavimento para soportar cargas vehiculares, lo que resulta en la aparición de fallas estructurales como baches y ahuellamientos. Estas fallas no solo afectan la comodidad de los usuarios, sino que también representan riesgos para la seguridad, especialmente en condiciones de lluvia, donde el agua puede acumularse en las depresiones y aumentar el riesgo de hidroplaneo.

Importancia del Drenaje Eficiente

Un diseño eficiente del sistema de drenaje es fundamental para prevenir los daños causados por el agua en los pavimentos flexibles. El drenaje adecuado garantiza que el agua se evacúe rápidamente de la superficie del pavimento y no tenga la oportunidad de infiltrarse en las capas inferiores. La falta de drenaje o un diseño deficiente puede llevar a la saturación del suelo subyacente, lo que disminuye su capacidad portante y compromete la estabilidad estructural del pavimento.

La saturación prolongada puede dar lugar a asentamientos diferenciales, un problema donde diferentes partes del pavimento se hunden a distintas velocidades debido a la pérdida de resistencia de la subrasante. Estos asentamientos generan

superficies irregulares que no solo afectan el confort de los usuarios, sino que también incrementan el esfuerzo sobre las capas superiores, acelerando el deterioro. Según Soliman y Shalaby (2019), los asentamientos diferenciales son comunes en áreas con suelos arcillosos o altamente plásticos, donde la capacidad portante es particularmente sensible a la presencia de agua.

Impacto en Áreas de Alta Pluviosidad

En regiones con alta pluviosidad, el efecto del escurrimiento superficial y la infiltración de agua es aún más severo. La lluvia constante puede sobrecargar los sistemas de drenaje, provocando acumulaciones de agua en la superficie del pavimento. Esta acumulación aumenta el riesgo de infiltración a través de grietas o juntas en la capa de rodadura, alcanzando las capas de base y subbase. Una vez que el agua penetra en estas capas, puede debilitar su estructura, provocando fallas como grietas reflejas, fisuras profundas y la formación de baches.

El impacto del agua no se limita solo a las lluvias. En climas fríos, el agua infiltrada puede congelarse, causando expansión volumétrica que genera tensiones adicionales en las capas del pavimento. Durante el descongelamiento, estas tensiones se alivian, lo que puede llevar a la formación de fisuras por congelación-descongelación, un problema común en pavimentos de regiones con inviernos intensos (Huang et al., 2019).

Estrategias para Mitigar el Impacto del Agua

Para prevenir el deterioro causado por el agua, es esencial implementar estrategias efectivas desde la etapa de diseño del pavimento. Algunas de estas estrategias incluyen:

- **Diseño de Drenaje Adecuado:** Incorporar cunetas, zanjas, canales y sistemas de drenaje subterráneo que aseguren la rápida evacuación del agua de la superficie y las capas inferiores del pavimento. Según Al-Qadi et al. (2020), un sistema de drenaje bien diseñado puede extender significativamente la vida útil del pavimento.
- **Sellado de Fisuras y Juntas:** Aplicar selladores impermeables para prevenir la infiltración de agua en las capas inferiores a través de fisuras existentes.



- **Uso de Materiales Permeables:** Incorporar materiales con alta permeabilidad en capas de subbase, como agregados bien graduados, que permitan un drenaje eficiente y eviten la saturación.
- **Mejoramiento de la Subrasante:** En áreas con suelos altamente susceptibles al agua, es recomendable estabilizar la subrasante con cal, cemento u otros aditivos que aumenten su resistencia y capacidad portante.
- **Mantenimiento Regular:** Inspeccionar y mantener los sistemas de drenaje, así como reparar fisuras y baches de manera oportuna, para evitar que el agua agrave los daños.

2.2.3.5 Tráfico Estacionario y Frenadas Bruscas

El tráfico estacionario y las frenadas bruscas son factores significativos que contribuyen al deterioro de los pavimentos flexibles, especialmente en áreas urbanas con alta densidad vehicular. Estas condiciones generan tensiones concentradas que, a lo largo del tiempo, pueden superar la capacidad estructural del pavimento y acelerar su desgaste, provocando fallas que afectan tanto la funcionalidad como la seguridad de las vías.

Impacto del Tráfico Estacionario

En zonas donde los vehículos se detienen frecuentemente, como intersecciones, semáforos, pasos peatonales y paradas de autobús, el pavimento está sometido a cargas estáticas y dinámicas concentradas. Estas cargas repetitivas generan fatiga en la estructura del pavimento, especialmente en la capa de rodadura y en las capas inferiores, como la base y la subbase. Según estudios recientes, estas tensiones localizadas son mayores cuando el pavimento no ha sido diseñado considerando los patrones de tráfico estacionario, lo que provoca deformaciones permanentes en la superficie (Hossain & Zaman, 2020).

En particular, el tráfico estacionario en puntos específicos genera áreas de alto estrés en el pavimento, donde la compresión constante puede resultar en ahuellamientos y fisuras por fatiga. Estas fallas no solo afectan la apariencia del pavimento, sino que también incrementan el riesgo de infiltración de agua en las capas inferiores, lo que agrava el deterioro estructural. Además, los vehículos pesados, como autobuses, camiones de carga y transporte público, generan cargas mayores que aceleran la aparición de deformaciones en estas áreas.

Efecto de las Frenadas Bruscas

Las frenadas bruscas, comunes en situaciones de tráfico intenso o emergencias, generan fuerzas de cizallamiento que afectan directamente la capa de rodadura. Estas fuerzas, que resultan de la interacción entre los neumáticos y el pavimento, tienden a desplazar lateralmente los materiales de la superficie, provocando arrugas, desplazamientos y grietas superficiales. Estas deformaciones son particularmente comunes en zonas de alto tráfico, como entradas y salidas de intersecciones, rampas de peaje y cruces ferroviarios.

Cuando estas deformaciones no se reparan a tiempo, evolucionan hacia fallas más graves, como la formación de baches y el desprendimiento de agregados. Los baches, además de representar un riesgo para la seguridad vial, incrementan el desgaste en las áreas circundantes, ya que el impacto repetitivo de los vehículos al pasar por estas depresiones genera tensiones adicionales en el pavimento. Según Soliman y Shalaby (2019), los pavimentos que no se reparan adecuadamente después de sufrir este tipo de daño tienen una vida útil significativamente más corta, especialmente en áreas urbanas densamente transitadas.

Condiciones Urbanas y Alta Densidad de Tráfico

El deterioro causado por el tráfico estacionario y las frenadas bruscas es particularmente notable en entornos urbanos. Las ciudades con alta densidad vehicular suelen tener puntos críticos donde el desgaste del pavimento es más evidente debido a las demandas constantes y concentradas del tráfico. Las zonas de carga y descarga,



estaciones de autobuses y áreas cercanas a centros comerciales o escuelas son especialmente vulnerables. En estos lugares, el diseño y mantenimiento del pavimento deben ser más rigurosos para manejar estas cargas concentradas y evitar daños recurrentes.

Además, las condiciones climáticas pueden exacerbar el impacto de estas tensiones. En climas cálidos, las altas temperaturas ablandan el asfalto, aumentando la probabilidad de deformaciones plásticas causadas por el tráfico detenido o frenadas bruscas. En climas fríos, las fisuras generadas por estas tensiones permiten la entrada de agua, que al congelarse y descongelarse, agrava los daños estructurales (Zheng et al., 2021).

Medidas para Mitigar el Deterioro

Para minimizar el impacto del tráfico estacionario y las frenadas bruscas en los pavimentos flexibles, es fundamental adoptar estrategias de diseño, construcción y mantenimiento que aborden estas condiciones específicas:

- **Diseño Reforzado en Zonas Críticas:** Utilizar mezclas asfálticas modificadas con polímeros y aditivos que aumenten la resistencia al cizallamiento y la fatiga en áreas de alto estrés, como intersecciones y paradas de autobús.
- **Capas de Base Estabilizadas:** Incorporar capas de base y subbase reforzadas que distribuyan las cargas de manera uniforme, reduciendo las tensiones en las capas inferiores.
- **Mantenimiento Regular:** Realizar inspecciones frecuentes y reparar deformaciones superficiales, como arrugas y desplazamientos, antes de que evolucionen a daños mayores. El sellado de fisuras y el parcheo de baches son intervenciones clave en estas áreas.
- **Mejora de la Gestión del Tráfico:** Implementar soluciones como sincronización de semáforos y diseño de paradas de autobús con áreas de refuerzo estructural para reducir las tensiones repetitivas en puntos críticos.

2.2.3.6 Materiales Defectuosos o Malas Prácticas de Construcción

El uso de materiales de baja calidad y la implementación de malas prácticas de construcción representan algunos de los factores más críticos que pueden comprometer la durabilidad y el desempeño de un pavimento flexible desde su instalación. Estos errores, que a menudo ocurren durante las etapas de diseño y ejecución, no solo reducen la capacidad del pavimento para resistir las cargas vehiculares y las condiciones climáticas, sino que también aumentan los costos asociados al mantenimiento y rehabilitación a lo largo de su vida útil.

Impacto de los Materiales de Baja Calidad

La selección de materiales es fundamental para garantizar la resistencia y durabilidad del pavimento. Los agregados utilizados en la mezcla asfáltica deben cumplir con requisitos técnicos específicos, como resistencia a la abrasión, granulometría adecuada y baja absorción de agua. Si los agregados no cumplen con estas especificaciones, pueden desprenderse con el tiempo debido al tráfico y las condiciones climáticas, reduciendo la cohesión entre las partículas de la mezcla asfáltica. Este desprendimiento incrementa la susceptibilidad del pavimento a fisuras y desprendimientos superficiales, lo que puede evolucionar en fallas más graves, como baches o ahuellamientos.

Además, los aglomerantes asfálticos de baja calidad o mal formulados pueden ser incapaces de mantener la flexibilidad y adhesión necesarias para soportar las tensiones inducidas por el tráfico. Por ejemplo, en climas cálidos, un asfalto de baja calidad puede ablandarse más de lo esperado, aumentando el riesgo de deformaciones plásticas, mientras que en climas fríos, un asfalto inadecuado puede volverse demasiado frágil y propenso a grietas por contracción (Zheng et al., 2021).

Errores en la Mezcla Asfáltica

La dosificación incorrecta de los componentes de la mezcla asfáltica es otro factor que puede comprometer el desempeño del pavimento. Si la proporción de asfalto es demasiado baja, la mezcla carecerá de la cohesión necesaria para resistir las tensiones

dinámicas, resultando en una menor durabilidad. Por otro lado, si la proporción de asfalto es demasiado alta, la mezcla puede volverse demasiado blanda y susceptible al ahuellamiento bajo cargas pesadas (Soliman & Shalaby, 2019). Estos errores de dosificación suelen ser el resultado de una planificación inadecuada o del uso de equipos no calibrados durante la producción de la mezcla.

Problemas de Compactación

La compactación insuficiente es uno de los errores más comunes durante la construcción de pavimentos flexibles y puede tener consecuencias significativas a largo plazo. Si el pavimento no se compacta correctamente, pueden quedar vacíos en su estructura, lo que aumenta su permeabilidad y permite la infiltración de agua. Este problema es particularmente crítico en climas fríos, donde el agua infiltrada puede congelarse y expandirse, generando tensiones internas que conducen a la formación de fisuras y desprendimientos durante los ciclos de congelación y descongelación (Huang et al., 2019). Además, la compactación insuficiente reduce la densidad del pavimento, lo que disminuye su capacidad para distribuir las cargas vehiculares y aumenta el riesgo de deformaciones permanentes.

Prácticas de Construcción Inadecuadas

Las malas prácticas de construcción, como la aplicación incorrecta de capas, el uso de maquinaria obsoleta o la falta de supervisión técnica adecuada, también pueden comprometer la calidad del pavimento. Por ejemplo, si las capas de base o subbase no se preparan adecuadamente antes de la colocación de la capa de rodadura, la estabilidad del pavimento puede verse afectada, aumentando el riesgo de asentamientos diferenciales. Asimismo, errores en la aplicación de la mezcla asfáltica, como la colocación a temperaturas inadecuadas, pueden afectar su cohesión y adhesión a las capas inferiores, reduciendo su resistencia al tráfico y al clima (Li et al., 2019).

Consecuencias del Uso de Materiales y Prácticas Inadecuadas

Los problemas derivados del uso de materiales de baja calidad y malas prácticas de construcción no solo afectan la durabilidad del pavimento, sino que también tienen un

impacto económico significativo. Las fallas prematuras requieren reparaciones frecuentes y costosas, lo que aumenta el costo total de propiedad del pavimento. Además, las fallas en el pavimento pueden generar problemas de seguridad vial, como pérdida de control del vehículo en superficies irregulares o en presencia de baches.

Estrategias para Mitigar el Impacto

Para garantizar la calidad y durabilidad de los pavimentos flexibles, es fundamental adoptar medidas preventivas en las etapas de diseño y construcción:

- **Selección de Materiales de Alta Calidad:** Utilizar agregados y asfaltos que cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para las condiciones de tráfico y clima específicas.
- **Control Rigoroso de la Mezcla Asfáltica:** Implementar procedimientos de control de calidad en la planta de producción para garantizar que la dosificación de los componentes sea precisa y consistente.
- **Compactación Adecuada:** Asegurar que se utilicen equipos de compactación modernos y bien calibrados para alcanzar la densidad óptima en cada capa del pavimento.
- **Supervisión Técnica:** Contar con personal capacitado para supervisar todas las etapas de la construcción, asegurando que se cumplan los estándares y procedimientos establecidos.
- **Capacitación del Personal:** Promover la formación continua de los trabajadores y técnicos encargados de la construcción y mantenimiento del pavimento.

2.2.4 Métodos de Evaluación del Estado Superficial del Pavimento.

La evaluación del estado superficial de los pavimentos es una actividad esencial que debe realizarse para garantizar la funcionalidad, seguridad y longevidad de las vías de circulación. Mediante la identificación y cuantificación de las múltiples formas de degradación que afectan al pavimento a través del proceso de evaluación, es posible

planificar eficazmente los tratamientos de mantenimiento y rehabilitación. Para llevar a cabo estas evaluaciones, se dispone de una variedad de instrumentos y métodos, uno de los cuales es el Índice de Estado del Pavimento (PCI), que se utiliza ampliamente en el campo de la gestión de pavimentos.

2.2.4.1 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

A la hora de evaluar la calidad superficial de los pavimentos, el Índice de calidad del pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) es uno de los enfoques que ha ganado un mayor reconocimiento. En el Índice de estado del pavimento (PCI, por sus siglas en inglés), desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, el estado del pavimento se mide en una escala que va de 0 a 100, donde 100 indica que el pavimento está en las mejores condiciones posibles y 0 indica que el pavimento se ha degradado por completo.

El índice de condición del pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) se determina mediante una evaluación visual de la superficie del pavimento, que implica la identificación de varios tipos de defectos, incluyendo grietas, baches, surcos y desprendimientos, entre otros. Cada tipo de defecto se clasifica según el grado de gravedad (baja, media o grave) y la magnitud del problema. Los resultados de esta inspección se utilizan para generar el índice, que refleja el estado general del pavimento y actúa como herramienta para la toma de decisiones en la gestión de carreteras (Shahin, 2005). El índice se utiliza para determinar el estado general del pavimento.

Figura 4

Escala del Índice de Condición de Pavimento (PCI).

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

2.2.4.2 Evaluación Visual

La evaluación visual es el método más básico y ampliamente utilizado para evaluar el estado superficial del pavimento. Implica la inspección directa de la superficie del pavimento por personal capacitado, quien identifica y documenta los defectos visibles. Esta metodología es económica y sencilla de implementar, pero puede ser subjetiva y depende de la experiencia del evaluador.

Durante la evaluación visual, se inspeccionan las grietas, deformaciones, fisuras, y otros signos de deterioro. Es fundamental documentar la ubicación, tipo, y severidad de cada defecto para realizar un diagnóstico preciso del estado del pavimento. Aunque la evaluación visual puede no proporcionar una medición exacta de la condición estructural del pavimento, es una herramienta esencial para identificar problemas superficiales que requieren atención inmediata (Haas et al., 1994).

2.2.4.3 Dispositivos de Medición Automática

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado dispositivos automáticos para la evaluación del estado del pavimento, que ofrecen mayor precisión y eficiencia en la recolección de datos. Estos dispositivos incluyen vehículos equipados con cámaras, láseres, y sensores que recorren la vía para capturar imágenes y medir parámetros como la profundidad de las roderas, la rugosidad de la superficie, y la presencia de grietas.

Entre los dispositivos más utilizados se encuentran los Perfilómetros Láser, que permiten medir la rugosidad del pavimento con alta precisión, y los Sistemas de Imágenes de Alta Resolución, que capturan detalles visuales del pavimento para su análisis posterior. Estos sistemas automáticos reducen la subjetividad y el tiempo necesario para realizar evaluaciones, además de permitir la recolección de datos en grandes áreas en menor tiempo (Sayers & Karamihas, 1998).

2.2.4.4 Método de Deflectometría (FWD)

El Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) es una técnica avanzada que mide la deflexión del pavimento bajo una carga simulada, proporcionando información sobre la capacidad estructural del pavimento. Este método es fundamental

para evaluar la resistencia del pavimento y detectar áreas con baja capacidad portante que podrían necesitar refuerzo o reconstrucción.

El FWD aplica una carga de impacto sobre el pavimento y mide la deflexión resultante a través de una serie de sensores. Los datos obtenidos permiten calcular la rigidez del pavimento y la integridad de las capas subyacentes. Este método es especialmente útil para complementarse con la evaluación visual y el PCI, proporcionando un análisis más completo del estado del pavimento (Huang, 2004).

2.2.4.5 Análisis de Rugosidad Superficial (IRI)

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es un parámetro estandarizado utilizado para medir la rugosidad de la superficie del pavimento, que tiene un impacto directo en la comodidad de los usuarios y la seguridad vial. El IRI se calcula mediante la medición de las variaciones verticales de la superficie del pavimento a lo largo de su longitud, y se expresa en metros por kilómetro (m/km).

La rugosidad es un indicador clave del confort de conducción, ya que una superficie rugosa puede causar vibraciones en los vehículos y aumentar el desgaste de los mismos. El IRI se utiliza ampliamente en la gestión de pavimentos para evaluar la necesidad de intervenciones de mantenimiento y mejorar la calidad de la superficie (Sayers, 1995).

2.2.4.6 Evaluación mediante Georradar (GPR)

El Georradar (Ground Penetrating Radar, GPR) es una tecnología no destructiva utilizada para obtener información detallada sobre la estructura interna del pavimento. Mediante la emisión de ondas electromagnéticas y la captura de su reflejo, el GPR permite detectar la presencia de humedad, vacíos, y otras anomalías en las capas subyacentes del pavimento.

El uso de GPR es particularmente beneficioso en la evaluación de pavimentos que presentan signos de deterioro sin causas aparentes en la superficie. Esta técnica complementa las evaluaciones visuales y automáticas, proporcionando una visión



integral del estado del pavimento y facilitando la toma de decisiones informadas sobre su rehabilitación (Maser & Scullion, 1991).

2.2.5 Alternativas de Intervención para la Rehabilitación del Pavimento Flexible.

La rehabilitación del pavimento flexible es esencial para prolongar su vida útil, mejorar la seguridad vial y garantizar una circulación vehicular eficiente. Existen diversas alternativas de intervención que se pueden aplicar, dependiendo de la gravedad y el tipo de deterioro identificado en el pavimento. A continuación, se presentan algunos de los métodos más comunes utilizados en la rehabilitación de pavimentos flexibles, incluyendo el sellado de grietas, el bacheo, y el recapado.

2.2.5.1 Sellado de Grietas

El sellado de grietas es una de las intervenciones más comunes y económicas en el mantenimiento de pavimentos flexibles. Consiste en rellenar y sellar las grietas existentes en la superficie del pavimento con materiales sellantes que impiden la infiltración de agua y la penetración de agentes externos, como suciedad y otros contaminantes. Este procedimiento es especialmente efectivo para prevenir el deterioro acelerado del pavimento causado por la humedad, que puede comprometer la integridad de las capas inferiores.

El proceso de sellado generalmente incluye la limpieza de las grietas, la aplicación de un sellante elastomérico, y la compactación del material para asegurar una adherencia adecuada. Esta técnica es más efectiva cuando se realiza en etapas tempranas del desarrollo de grietas, y aunque no mejora la capacidad estructural del pavimento, contribuye significativamente a extender su vida útil (Shapiro, Hunder, & Proctor, 1997).

Figura 5

Escaleta del Índice de Condición de Pavimento (PCI).



2.2.5.2 Bacheo

El bacheo es un método de intervención utilizado para reparar áreas específicas del pavimento que han experimentado un deterioro severo, como baches o depresiones localizadas. El bacheo puede ser considerado una solución temporal o permanente, dependiendo de la técnica y los materiales empleados.

Existen dos tipos principales de bacheo:

1. **Bacheo en frío:** Este método utiliza mezclas asfálticas pre-fabricadas que se pueden aplicar en cualquier momento, incluso bajo condiciones climáticas adversas. Es una solución rápida y conveniente, ideal para reparaciones de emergencia, aunque su durabilidad es limitada.
2. **Bacheo en caliente:** Consiste en la aplicación de mezclas asfálticas calientes en las áreas deterioradas. Este tipo de bacheo es más duradero y ofrece una mejor adherencia y resistencia al tráfico, pero requiere equipos especializados y es más costoso (Asphalt Institute, 2007).

Figura 6

Ejemplo de bacheo en caliente en un pavimento deteriorado.



2.2.5.3 Recapado (Overlay)

El recapado, o *overlay*, es una técnica que implica la aplicación de una nueva capa de mezcla asfáltica sobre la superficie existente del pavimento. Este método es ideal para mejorar la capacidad estructural del pavimento y restaurar la suavidad de la superficie sin necesidad de remover completamente la capa existente. El recapado puede ser realizado con distintos espesores, dependiendo del nivel de deterioro y las necesidades de la vía.

El proceso de recapado incluye la limpieza de la superficie, la aplicación de un *tack coat* (una capa delgada de asfalto líquido para asegurar la adherencia entre la superficie existente y la nueva capa), y la colocación y compactación de la nueva mezcla asfáltica. El recapado es eficaz para corregir defectos superficiales, como grietas finas y desgaste, pero puede no ser adecuado para pavimentos con daños estructurales significativos (Brown, Mallick, & Buchanan, 2001).

2.2.5.4 Fresado y Recapado (Mill and Overlay)

El fresado y recapado es una técnica más integral que combina la remoción de la capa superficial del pavimento existente con la aplicación de una nueva capa de mezcla asfáltica. El fresado, o *milling*, elimina las capas dañadas y corrige deformaciones, como roderas y ahuellamientos, lo que permite una mayor durabilidad del recapado.

Este método es especialmente útil en situaciones donde el pavimento presenta desgaste significativo en la superficie, pero aún mantiene una buena integridad estructural en las capas inferiores. El fresado también reduce la altura de la nueva capa asfáltica, evitando problemas relacionados con la elevación del pavimento, como interferencias con alcantarillas y bordillos (Papagiannakis & Masad, 2008).

2.2.5.5 Reciclaje In Situ

El reciclaje in situ es una técnica sostenible y económica que consiste en la reutilización de los materiales existentes en el pavimento para reconstruir la superficie. Este método implica el fresado del pavimento existente, la mezcla de los materiales reciclados con agentes estabilizadores (como cemento, cal, o emulsiones asfálticas), y la compactación de la mezcla resultante para formar una nueva capa base o sub-base.

El reciclaje in situ puede realizarse a diferentes profundidades (superficial o profunda) y es especialmente útil en carreteras con daños extensivos en la estructura del pavimento. Este método no solo reduce la necesidad de materiales nuevos, sino que también minimiza los residuos y los costos de transporte (Nunn, 2004).

2.2.5.6 Rehabilitación Estructural Completa

Cuando el pavimento presenta fallas estructurales graves, una rehabilitación estructural completa puede ser necesaria. Este tipo de intervención implica la reconstrucción total o parcial del pavimento, incluyendo la remoción de las capas dañadas y la construcción de nuevas capas estructurales que cumplan con los requerimientos de diseño.

La rehabilitación estructural completa es un proceso complejo y costoso, pero es esencial cuando el pavimento ha alcanzado el final de su vida útil y ya no puede ser

reparado mediante métodos de intervención menos invasivos. Este tipo de intervención asegura que el pavimento pueda soportar las cargas de tráfico previstas durante muchos años (White, 2001).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Pavimento flexible.

El pavimento flexible es una estructura compuesta por varias capas de materiales, como mezclas asfálticas y agregados, que distribuyen las cargas del tráfico de manera gradual hacia las capas inferiores. Su diseño permite deformaciones elásticas sin agrietarse, adaptándose a los movimientos del suelo. Su vida útil depende del mantenimiento y la calidad de los materiales utilizados.

2.3.2 Deterioro.

La granulometría se refiere a la distribución de tamaños de partículas en un material sólido, ya sea en polvo, arena, grava, suelo, o cualquier otro tipo de sustancia fragmentada. Es un concepto importante en la ingeniería civil, la geología, la metalurgia, la farmacología, entre otros campos.

2.3.3 Índice de condición del pavimento (PCI).

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés) es un método de evaluación que cuantifica el estado superficial de un pavimento mediante una escala de 0 a 100. Este índice se basa en la identificación y clasificación de diversos tipos de daños, como grietas, baches o deformaciones, y su severidad. Un valor de 100 indica un pavimento en excelente estado, mientras que un valor cercano a 0 refleja un deterioro crítico, facilitando la toma de decisiones sobre mantenimiento y rehabilitación.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de la Investigación

Según Hernández, Fernández y Baptista, (2010, p. 149) El diseño de esta investigación es de tipo no experimental y transversal. Al tratarse de un estudio que no manipula las variables, se centra en la observación y evaluación del estado del pavimento en su condición actual, sin modificar sus características. Además, es un diseño cuantitativo, ya que se basa en la recopilación de datos numéricos que permiten cuantificar y analizar las fallas del pavimento para proponer intervenciones fundamentadas en evidencia objetiva.

3.2 Método de la Investigación

Tamayo (2007) El método empleado es el método cuantitativo. Este enfoque permite recoger datos específicos y medibles de las fallas presentes en el pavimento flexible de la vía "Salida Arequipa" en la ciudad de Juliaca. A través de técnicas de medición y registro, se identifican y cuantifican deterioros superficiales, como grietas y baches. Los datos recolectados se analizan estadísticamente para calcular el Índice de



Condición del Pavimento (PCI), lo que facilita la clasificación de los tramos según su estado y determina las intervenciones necesarias.

3.3 Nivel y tipo de la investigación

3.3.1 Nivel de la Investigación

La investigación tendrá un enfoque descriptivo y propositivo. En primer lugar, se describirá el estado actual del pavimento, identificando los deterioros visibles y medibles como grietas, deformaciones y baches. A partir de estos hallazgos, se desarrollarán propuestas de intervención que ofrezcan soluciones concretas y viables para mejorar las condiciones del pavimento, lo que le otorga a la investigación un carácter tanto analítico como propositivo.

3.3.2 Tipo de la investigación

La investigación será tanto descriptiva como propositiva. En el enfoque descriptivo, se detallará el estado superficial del pavimento, identificando las características observables y medibles del deterioro. Posteriormente, en el enfoque propositivo, se presentarán soluciones o alternativas de intervención fundamentadas en los resultados obtenidos del análisis del estado superficial, proporcionando respuestas concretas a los problemas identificados.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

Según Pino (2018) La población se define como el conjunto de elementos que representan el objeto de estudio en una investigación. La población de estudio está constituida por toda la infraestructura de pavimento flexible en la vía "Salida Arequipa" de la ciudad de Juliaca. Esta vía representa el corredor vial completo que será objeto de

análisis en el presente estudio, permitiendo obtener una visión integral del estado de conservación del pavimento en esta zona.

3.4.2 Muestra

Según Pino (2018) Garantiza que la muestra refleje fielmente las características y cualidades de la población objetivo, asegurando su representatividad en el estudio. La muestra seleccionada está compuesta por cinco tramos específicos de la vía "Salida Arequipa", definidos de acuerdo con el criterio de homogeneidad de uso y condiciones estructurales, así como por su longitud representativa de la totalidad de la población de estudio. Los tramos delimitados son:

- ❖ Tramo 1: Km 0+000 a Km 0+274
- ❖ Tramo 2: Km 0+275 a Km 0+548
- ❖ Tramo 3: Km 0+549 a Km 0+822
- ❖ Tramo 4: Km 0+823 a Km 1+096
- ❖ Tramo 5: Km 1+097 a Km 1+370

3.4.3 Técnicas e Instrumentos

3.4.3.1 Técnicas

La metodología de recogida de datos empleada en este estudio se adaptará conforme se identifiquen los defectos superficiales presentes en el pavimento flexible, los cuales servirán como base para una evaluación exhaustiva. La correcta interpretación de los fallos, conforme al manual ASTM D6433-11, será esencial para calcular de forma precisa el Índice de Condición del Pavimento (PCI), un parámetro fundamental en la gestión del estado de los pavimentos.

El PCI se obtendrá a través de la observación y clasificación de los defectos superficiales como grietas, fisuras, hundimientos y otros, determinando su extensión y severidad. Esta clasificación permitirá no solo cuantificar el deterioro, sino también establecer un diagnóstico técnico para la posterior intervención. El análisis se realizará

con el fin de obtener una evaluación coherente y confiable que permita tomar decisiones fundamentadas sobre la rehabilitación o mantenimiento del pavimento.

3.4.3.2 Instrumentos

El principal instrumento de recolección de datos será la hoja de campo basada en los lineamientos establecidos por la American Society for Testing and Materials (ASTM), específicamente la normativa ASTM D6433-11. Este documento está diseñado para capturar información relevante de manera organizada, incluyendo la fecha, lugar, características del tramo estudiado, tipos de fallos observados, su nivel de severidad, así como los responsables de la inspección y medición de dichos defectos.

Los defectos serán medidos y cuantificados mediante el uso de las siguientes herramientas:

- **Sistema wincha:** Se empleará para medir de manera precisa las dimensiones de los defectos longitudinales y la extensión de deterioros superficiales, asegurando que cada falla quede registrada con exactitud.
- **Regla y flexómetro:** Estas herramientas serán cruciales para medir la profundidad y el ancho de grietas, fisuras u otros defectos observados, así como las pendientes del pavimento, lo que permitirá obtener una descripción técnica detallada de cada fallo.
- **Guía de observación PCI:** Se utilizará una guía de observación que contiene criterios específicos del PCI para evaluar de manera estandarizada cada defecto, clasificando su severidad y determinando su impacto en el estado general del pavimento.

3.5 Plan de recolección y procesamiento de datos

3.5.1 *Desarrollo del plan de investigación*

ETAPA I: EXPLORACIÓN DE INFORMACION

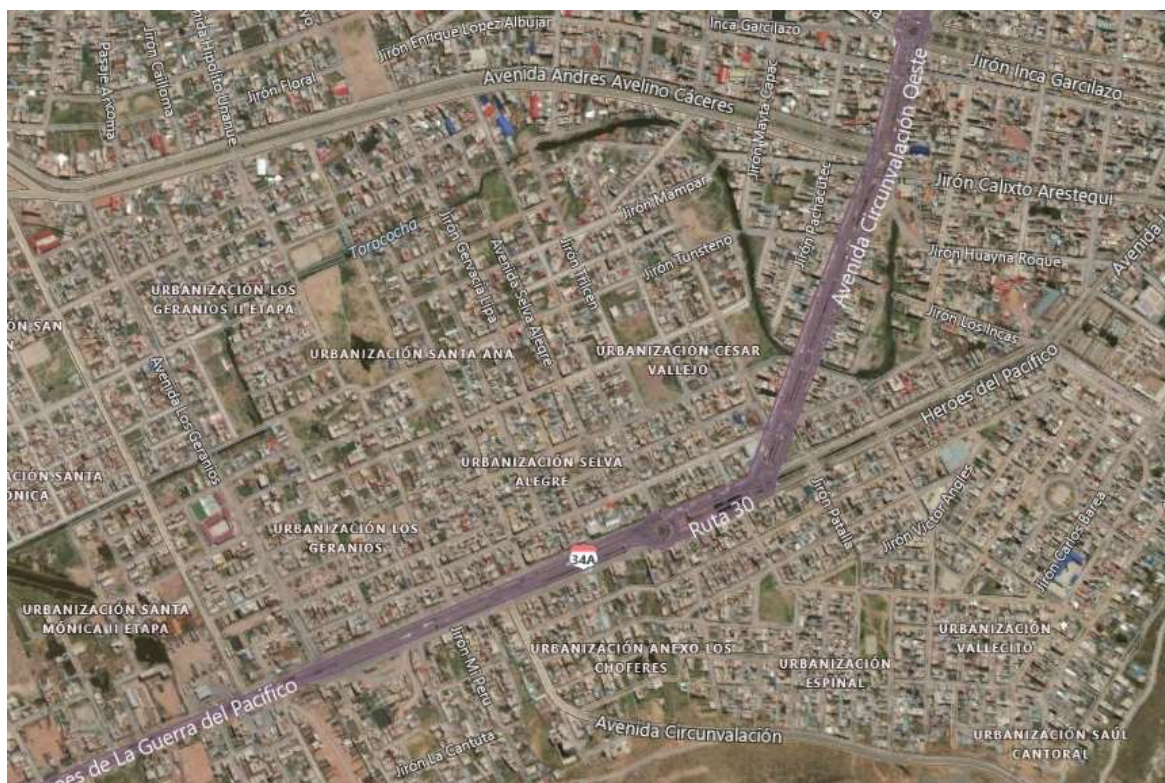
El proceso comienza con la recopilación de datos relevantes, incluyendo la revisión de tesis, artículos, libros y normativas necesarias para el estudio.

ETAPA II: UBICACIÓN DE LA VIA.

En la zona Salida Arequipa de la ciudad de Juliaca 2024.

Figura 7

Ubicación de la vía.



Tramo:	Longitud (km)
Tramo 1:	0+000 – 0+274
Tramo 2:	0+275 – 0+548
Tramo 3:	0+549 – 0+822
Tramo 4:	0+823 – 1+096
Tramo 5:	1+097 – 1+370

ETAPA III: PROCEDIMIENTO METODOLOGÍA PCI

La evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés: *Pavement Condition Index*) constituye una metodología ampliamente utilizada en la ingeniería vial para determinar el estado superficial de pavimentos flexibles. Este

índice, que varía de 0 a 100, permite identificar y clasificar los tipos de deterioros presentes en la superficie del pavimento, proporcionando una base objetiva para la toma de decisiones relacionadas con el mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura vial. El procedimiento a continuación describe las etapas metodológicas implementadas en este estudio para la aplicación del PCI en pavimentos flexibles.

1. Delimitación del Área de Estudio

El primer paso consiste en la selección del área a evaluar. El tramo de pavimento flexible se subdivide en secciones representativas, las cuales se eligen con base en criterios de homogeneidad de uso, antigüedad y condiciones del tráfico. Cada sección se divide en unidades de muestra estándar de aproximadamente 100 metros cuadrados, de acuerdo con la metodología propuesta por el *American Society for Testing and Materials* (ASTM D6433-20).

2. Inspección Visual del Pavimento

Para cada unidad de muestra se realiza una inspección visual exhaustiva, con el objetivo de identificar los tipos de deterioro presentes en la superficie del pavimento. En pavimentos flexibles, los deterioros más comunes incluyen:

- Grietas por fatiga.
- Grietas longitudinales y transversales.
- Parches.
- Baches.
- Desintegración superficial.
- Ondulaciones o deformaciones plásticas (ahuellamiento).
- Exudación de asfalto.

Cada tipo de daño se categoriza en función de su severidad (leve, moderada o severa) y se cuantifica de acuerdo con la extensión afectada, medida en términos de área (metros cuadrados) o longitud (metros lineales), según corresponda.

3. Clasificación y Cálculo del PCI

Con los datos obtenidos de la inspección visual, se procede a calcular el PCI para cada unidad de muestra. El cálculo se realiza aplicando las fórmulas y tablas preestablecidas en la normativa ASTM D6433-20, que relacionan el tipo de deterioro, la severidad y la cantidad del mismo con un valor de deducción. Este valor se resta de 100 para obtener el PCI de la unidad de muestra, el cual puede variar entre los siguientes rangos:

- 86 a 100: Excelente.
- 71 a 85: Muy bueno.
- 56 a 70: Bueno.
- 41 a 55: Regular.
- 26 a 40: Pobre.
- 11 a 25: Muy pobre.
- 0 a 10: Fallido.

Este índice permite obtener una representación numérica del estado del pavimento, facilitando su interpretación y comparación con otras secciones evaluadas.

4. Promedio del PCI por Sección de Pavimento

El PCI total de cada sección del pavimento se obtiene promediando los valores PCI de todas las unidades de muestra contenidas dentro de dicha sección. Esto permite una evaluación representativa del estado general del tramo de pavimento flexible, proveyendo una visión global del mismo.

5. Análisis e Interpretación de Resultados

Una vez calculado el PCI promedio de cada tramo, se procede al análisis de los resultados. Los valores del PCI permiten clasificar el pavimento en rangos de condición, que van desde "Excelente" (86-100) hasta "Fallido" (0-10). En función de estos resultados, se puede identificar si el pavimento requiere mantenimiento rutinario, rehabilitación menor o mayor, o una reconstrucción total.

6. Propuesta de Intervenciones

Basado en los valores del PCI y el tipo de deterioro predominante, se recomienda una serie de intervenciones adecuadas para restaurar la funcionalidad del pavimento. Las acciones propuestas pueden incluir:

- Mantenimiento preventivo: Aplicación de selladores de grietas o microaglomerados para detener el avance de daños menores.
- Rehabilitación menor: Fresado y recapeo en áreas donde se identifican fallas superficiales sin afectación estructural.
- Rehabilitación mayor: Reemplazo de capas del pavimento en zonas con deformaciones estructurales severas.
- Reconstrucción total: En casos donde el PCI es muy bajo y las fallas estructurales son predominantes, se recomienda la reconstrucción del pavimento.

7. Elaboración del Informe Técnico

Finalmente, los resultados obtenidos son integrados en un informe técnico que incluye una descripción detallada de la metodología aplicada, los valores de PCI obtenidos, un análisis de los deterioros encontrados y las propuestas de intervención correspondientes.

3.5.2 Procesamiento de datos

La presentación de los datos se hará a través de tablas, seguida de su evaluación con software que generará gráficos y realizará cálculos para mejorar su interpretación. Se aplicarán técnicas confiables para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados.

4.1.1 Resultados sobre tipos de daño y grado de severidad que presenta la vía.

Se distribuyen diferentes tipos de fallas en cada tramo, conservando las progresivas previamente establecidas.

Tabla 2

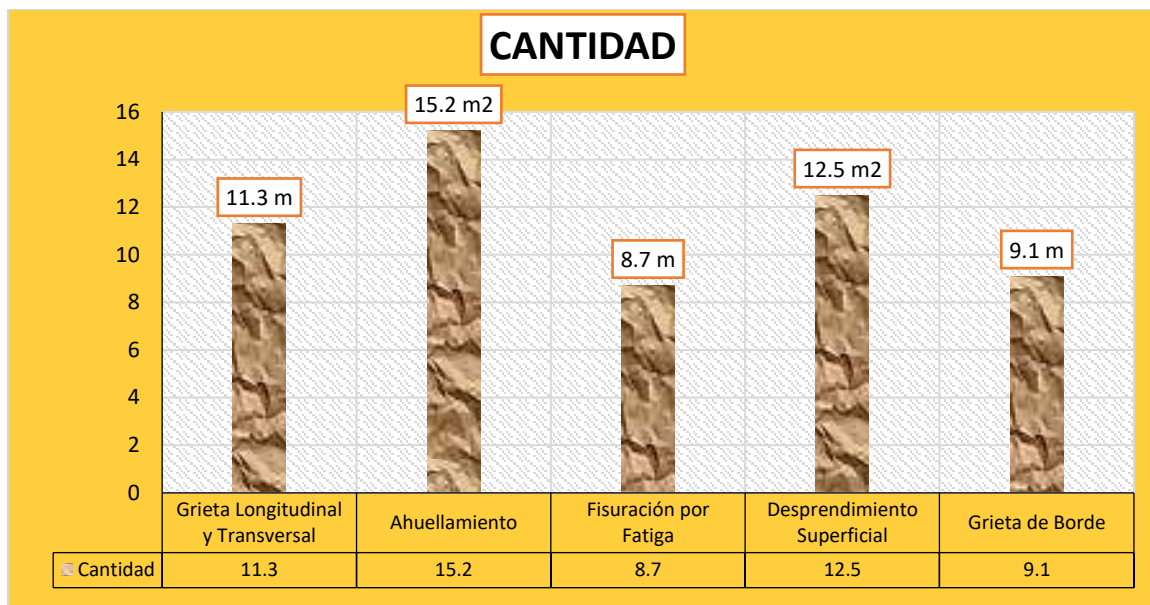
Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+274).

N.º	Tipo de Falla	Cod.	Unidad	Cantidad
1	Grieta Longitudinal y Transversal	GLT	m	11.3
2	Ahuellamiento	AHU	m ²	15.2
3	Fisuración por Fatiga	FF	m	8.7
4	Desprendimiento Superficial	DS	m ²	12.5
5	Grieta de Borde	GB	m	9.1

La tabla muestra los tipos de fallas registradas en el Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+274), donde se identificaron cinco defectos principales. La Grieta Longitudinal y Transversal (GLT) tuvo una extensión de 11.3 metros, mientras que el Ahuellamiento (AHU) afectó 15.2 metros cuadrados de superficie. La Fisuración por Fatiga (FF) cubrió 8.7 metros, y el Desprendimiento Superficial (DS) abarcó 12.5 metros cuadrados. Finalmente, la Grieta de Borde (GB) se registró en una longitud de 9.1 metros. Estas fallas reflejan el estado de deterioro del pavimento en este tramo de carretera.

Figura 8

Registro del tramo 1.



La Figura 8 muestra un gráfico de barras con el registro de fallas en el Tramo 1, donde se destacan cinco tipos de defectos en el pavimento: Grieta Longitudinal y Transversal (11.3 m), Ahuellamiento (15.2 m²), Fisuración por Fatiga (8.7 m), Desprendimiento Superficial (12.5 m²) y Grieta de Borde (9.1 m). Cada barra representa la cantidad medida de cada tipo de falla en dicho tramo.

Tabla 3

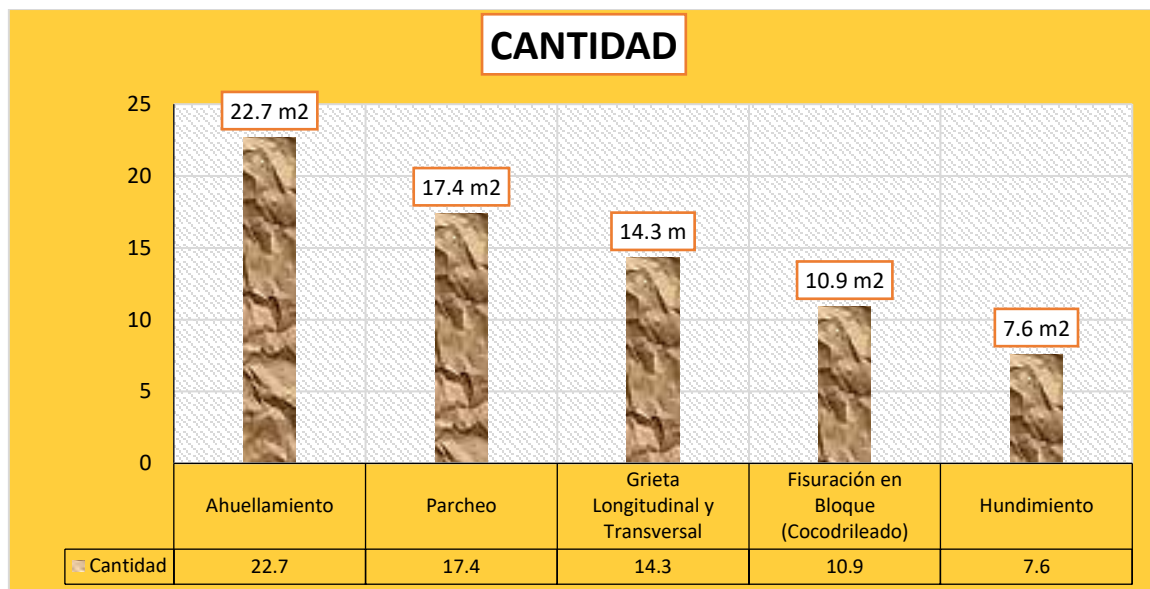
Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 2 (Km 0+275 a Km 0+548).

N.º	Tipo de Falla	Cod.	Unidad	Cantidad
1	Ahuellamiento	AHU	m ²	22.7
2	Parcheo	PA	m ²	17.4
3	Grieta Longitudinal y Transversal	GLT	m	14.3
4	Fisuración en Bloque (Cocodrileado)	FB	m ²	10.9
5	Hundimiento	HD	m ²	7.6

La Tabla 3 muestra las fallas registradas en el Tramo 2 (Km 0+275 a Km 0+548), destacando cinco defectos. El Ahuellamiento (AHU) abarca 22.7 m², seguido por el Parcheo (PA) con 17.4 m². La Grieta Longitudinal y Transversal (GLT) se extiende 14.3 m, la Fisuración en Bloque (FB) cubre 10.9 m², y el Hundimiento (HD) afecta 7.6 m². Estas cantidades reflejan el deterioro del pavimento en dicho tramo.

Figura 9

Registro del tramo 2.



La Figura 9 presenta el registro de fallas en el Tramo 2, donde se destacan cinco defectos principales: Ahuellamiento (22.7 m²), Parcheo (17.4 m²), Grieta Longitudinal y Transversal (14.3 m), Fisuración en Bloque (Cocodrileado) (10.9 m²) y Hundimiento (7.6 m²). Las cantidades reflejan las áreas afectadas en este tramo del pavimento.

Tabla 4

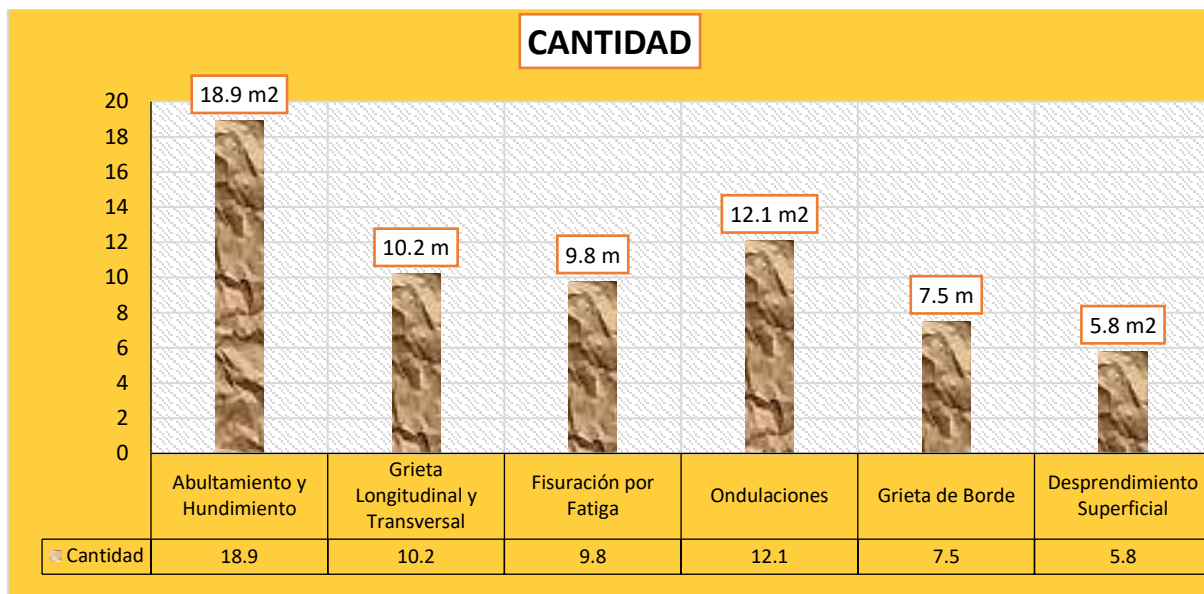
Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 3 (Km 0+549 a Km 0+822).

Nº	Tipo de Falla	Cod.	Unidad	Cantidad
1	Abultamiento y Hundimiento	ABH	m ²	18.9
2	Grieta Longitudinal y Transversal	GLT	m	10.2
3	Fisuración por Fatiga	FF	m	9.8
4	Ondulaciones	ON	m ²	12.1
5	Grieta de Borde	GB	m	7.5
6	Desprendimiento Superficial	DS	m ²	5.8

La Tabla 4 registra seis fallas principales en el Tramo 3 (Km 0+549 a Km 0+822). El Abultamiento y Hundimiento (ABH) afecta 18.9 m², mientras que la Grieta Longitudinal y Transversal (GLT) cubre 10.2 metros. La Fisuración por Fatiga (FF) abarca 9.8 metros, y las Ondulaciones (ON) ocupan 12.1 m². Además, la Grieta de Borde (GB) y el Desprendimiento Superficial (DS) afectan 7.5 m y 5.8 m², respectivamente.

Figura 10

Registro del tramo 3.



La Figura 10 muestra el registro de fallas en el Tramo 3, donde se identifican seis defectos principales: Abultamiento y Hundimiento (18.9 m²), Grieta Longitudinal y Transversal (10.2 m), Fisuración por Fatiga (9.8 m), Ondulaciones (12.1 m²), Grieta de Borde (7.5 m) y Desprendimiento Superficial (5.8 m²). Las cantidades reflejan el nivel de deterioro en este tramo del pavimento.

Tabla 5

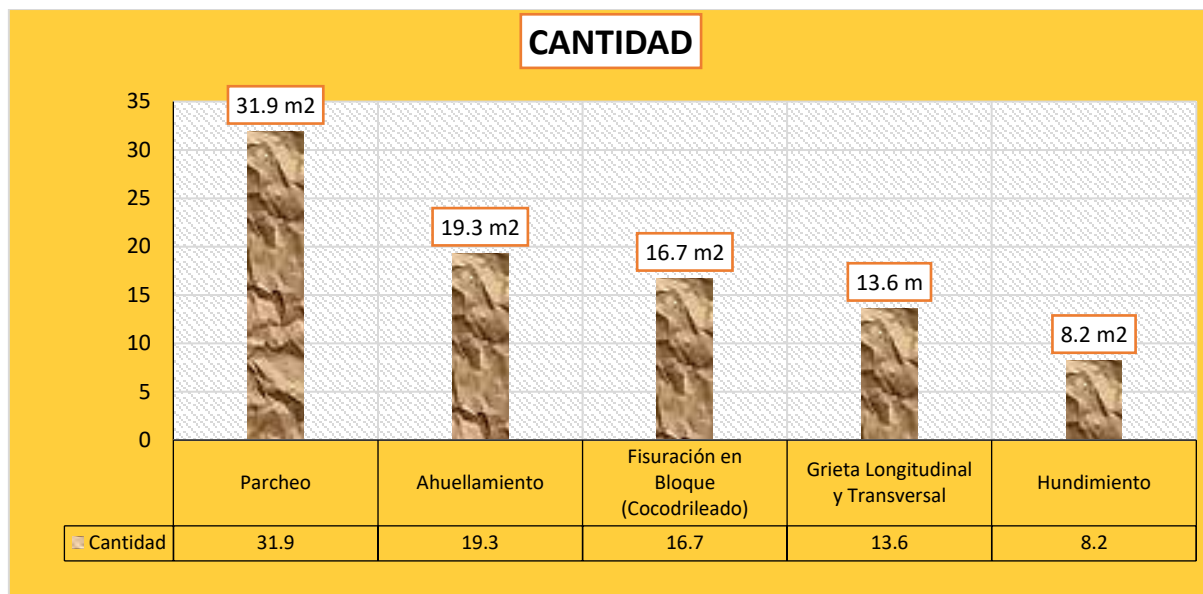
Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 4 (Km 0+823 a Km 1+096).

Nº	Tipo de Falla	Cod.	Unidad	Cantidad
1	Parqueo	PA	m ²	31.9
2	Ahuellamiento	AHU	m ²	19.3
3	Fisuración en Bloque (Cocodrileado)	FB	m ²	16.7
4	Grieta Longitudinal y Transversal	GLT	m	13.6
5	Hundimiento	HD	m ²	8.2

La Tabla 5 presenta las fallas registradas en el Tramo 4 (Km 0+823 a Km 1+096), con cinco tipos de defectos principales. El Parqueo (PA) afecta 31.9 m², seguido por el Ahuellamiento (AHU) que abarca 19.3 m². La Fisuración en Bloque (Cocodrileado) (FB) cubre 16.7 m², mientras que la Grieta Longitudinal y Transversal (GLT) tiene una extensión de 13.6 metros. Finalmente, el Hundimiento (HD) se extiende por 8.2 m².

Figura 11

Registro del tramo 4.



La Figura 11 muestra el registro de fallas en el Tramo 4, donde se identifican cinco tipos de defectos principales: Parcheo (31.9 m²), Ahuellamiento (19.3 m²), Fisuración en Bloque (Cocodrileado) (16.7 m²), Grieta Longitudinal y Transversal (13.6 m) y Hundimiento (8.2 m²). Las cantidades reflejan el deterioro del pavimento en este tramo.

Tabla 6

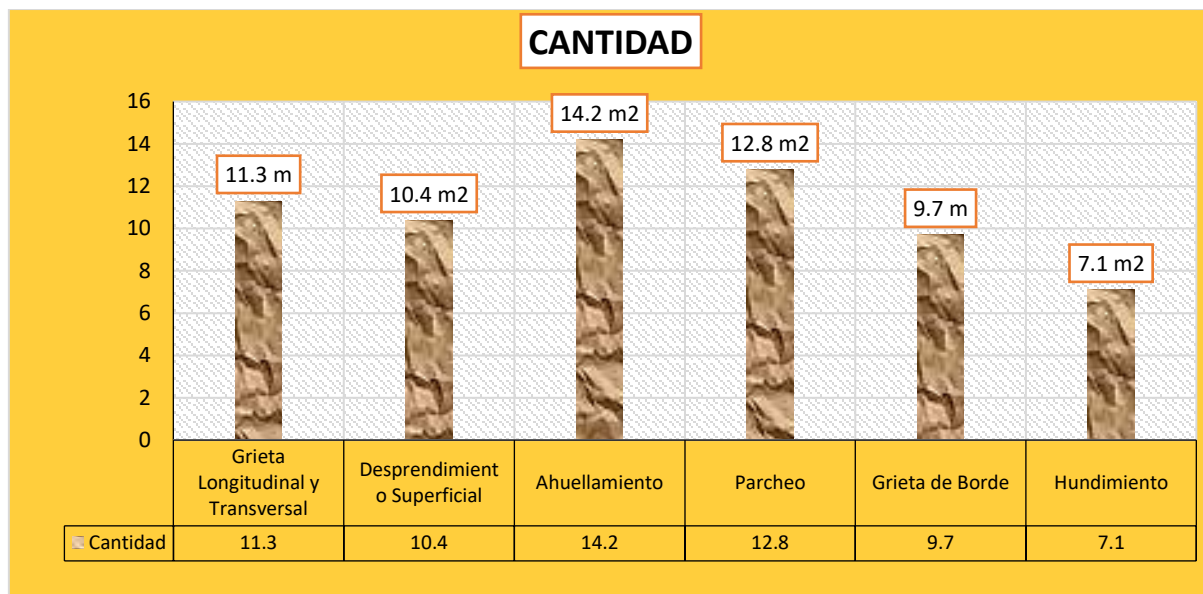
Tipos de Fallas Registradas en el Tramo 5 (Km 1+097 a Km 1+370).

Nº	Tipo de Falla	Cod.	Unidad	Cantidad
1	Grieta Longitudinal y Transversal	GLT	m	11.3
2	Desprendimiento Superficial	DS	m ²	10.4
3	Ahuellamiento	AHU	m ²	14.2
4	Parcheo	PA	m ²	12.8
5	Grieta de Borde	GB	m	9.7
6	Hundimiento	HD	m ²	7.1

La Tabla 6 muestra las fallas registradas en el Tramo 5 (Km 1+097 a Km 1+370), con seis defectos principales. La Grieta Longitudinal y Transversal (GLT) abarca 11.3 metros, mientras que el Desprendimiento Superficial (DS) cubre 10.4 m². El Ahuellamiento (AHU) afecta 14.2 m², seguido por el Parcheo (PA) con 12.8 m². Además, se identifican Grieta de Borde (GB) con 9.7 metros y Hundimiento (HD) que abarca 7.1 m².

Figura 12

Registro del tramo 5.



La Figura 12 muestra el registro de fallas en el Tramo 5, destacando seis defectos principales: Grieta Longitudinal y Transversal (11.3 m), Desprendimiento Superficial (10.4 m²), Ahuellamiento (14.2 m²), Parcheo (12.8 m²), Grieta de Borde (9.7 m) y Hundimiento (7.1 m²). Las cantidades reflejan las áreas afectadas por cada falla en el pavimento de este tramo.

EXPLICACIÓN DE LOS TIPOS DE FALLAS:

1. **Grieta Longitudinal y Transversal (GLT):** Grietas que se forman en las direcciones longitudinal y transversal, comúnmente causadas por expansión y contracción del pavimento.
2. **Ahuellamiento (AHU):** Surcos que se forman en las huellas de los vehículos debido al tránsito constante.
3. **Fisuración por Fatiga (FF):** Grietas que aparecen debido a la repetición de cargas del tráfico, con una apariencia de piel de cocodrilo.
4. **Desprendimiento Superficial (DS):** Pérdida de la capa superficial del pavimento, dejando expuesto el material subyacente.

5. **Grieta de Borde (GB):** Grietas que se forman en el borde del pavimento, generalmente por falta de soporte lateral.
6. **Ondulaciones (ON):** Deformaciones en la superficie del pavimento que generan una conducción irregular.
7. **Fisuración en Bloque o Cocodrileado (FB):** Fisuración que genera un patrón en bloques pequeños, similar a la piel de un cocodrilo.
8. **Hundimiento (HD):** Depresiones en el pavimento causadas por una falla estructural o por asentamientos diferenciales.

4.1.2 Resultados sobre el nivel de condición superficial que presenta la vía.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI), evalúa el estado del pavimento en una escala de 0 a 100, donde 100 es el mejor estado posible y 0 es el peor. Los rangos de calificación son:

Tabla 7

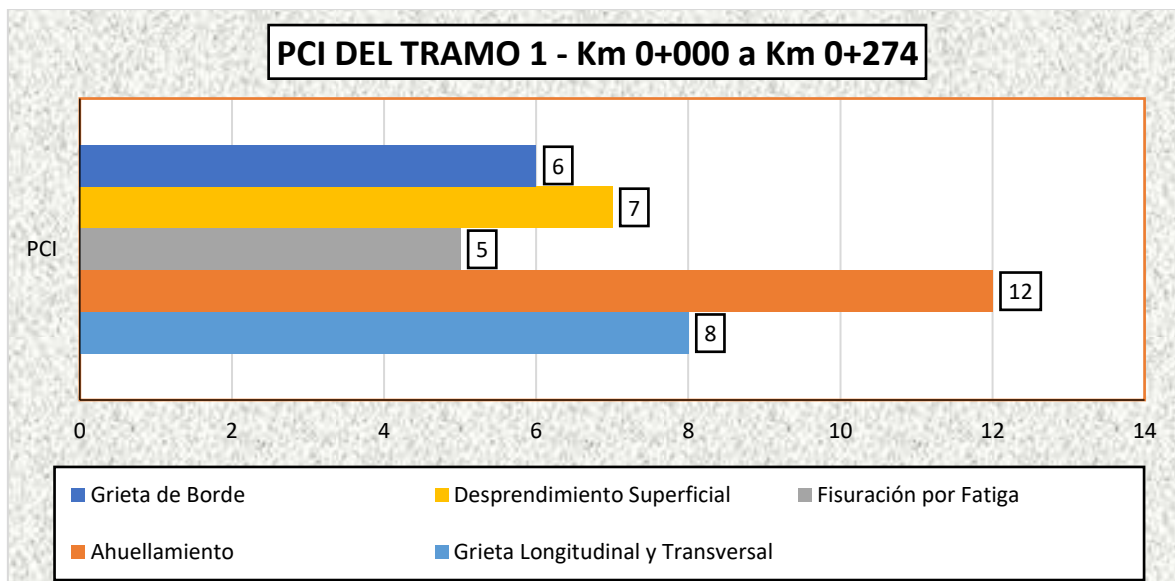
PCI del Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+274).

Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Grieta Longitudinal y Transversal	11.3 m	Media	4.12	8
Ahuellamiento	15.2 m ²	Alta	5.55	12
Fisuración por Fatiga	8.7 m	Baja	3.17	5
Desprendimiento Superficial	12.5 m ²	Media	4.56	7
Grieta de Borde	9.1 m	Media	3.31	6

La Tabla 7 muestra el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+274). Las fallas incluyen Grieta Longitudinal y Transversal, Ahuellamiento, Fisuración por Fatiga, Desprendimiento Superficial y Grieta de Borde, con severidades que varían entre media, alta y baja. El PCI se calcula restando la suma de los valores asignados a cada falla de 100, resultando en un PCI de 62, lo que indica una condición BUENO del pavimento en este tramo.

Figura 13

Índice de Condición del Pavimento del tramo 1.



La figura muestra las principales fallas del pavimento en el Tramo 1, con el ahuellamiento siendo la más crítica (PCI 12) y la fisuración por fatiga la menos severa (PCI 5). Otros defectos como grietas de borde y desprendimiento superficial también están presentes con PCI entre 6 y 8. Estos datos reflejan el estado general del pavimento en este tramo.

Tabla 8

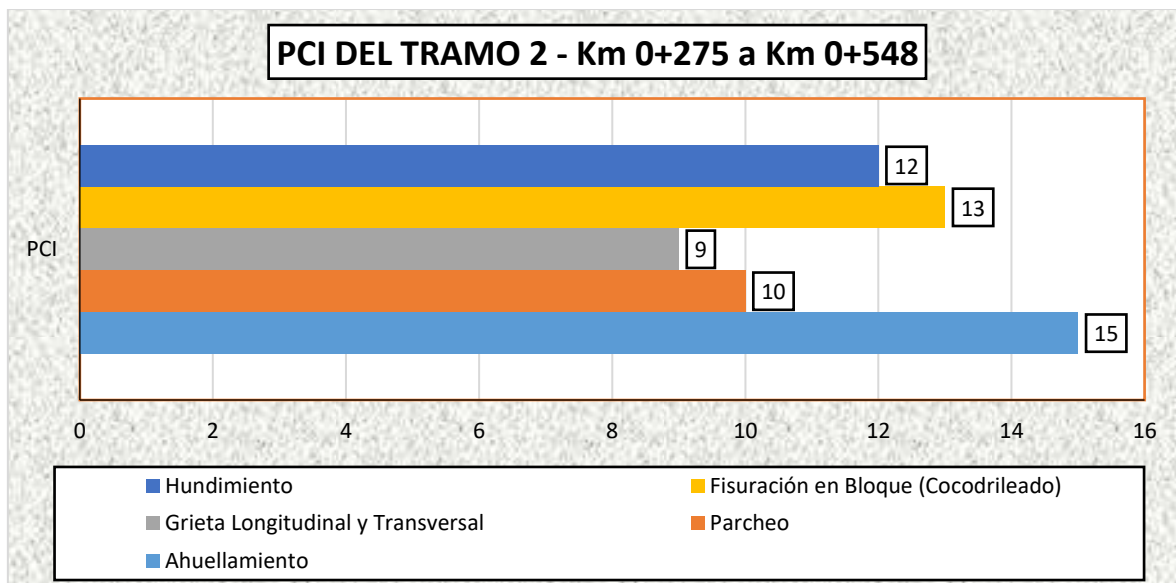
PCI del Tramo 2 (Km 0+275 a Km 0+548).

Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Ahuellamiento	22.7 m ²	Alta	8.27	15
Parcheo	17.4 m ²	Media	6.33	10
Grieta Longitudinal y Transversal	14.3 m	Alta	5.21	9
Fisuración en Bloque (Cocodrileado)	10.9 m ²	Alta	3.97	13
Hundimiento	7.6 m ²	Alta	2.77	12

La Tabla 8 presenta el cálculo del (PCI) para el Tramo 2 (Km 0+275 a Km 0+548). Las fallas incluyen Ahuellamiento, Parcheo, Grieta Longitudinal y Transversal, Fisuración en Bloque (Cocodrileado) y Hundimiento, todas con severidad alta excepto el Parcheo, que tiene severidad media. El PCI se calcula restando la suma de los valores asignados a cada falla de 100, obteniendo un PCI de 41, lo que indica una condición REGULAR del pavimento en este tramo.

Figura 14

Índice de Condición del Pavimento del tramo 2.



La figura 14 muestra el (PCI) para el Tramo 2, destacando cinco tipos de fallas. El ahuellamiento presenta el mayor PCI (15), seguido de la fisuración en bloque (13) y hundimiento (12). Las fallas menos severas son el parqueo (10) y la fisuración longitudinal/transversal (9), reflejando un estado variado del pavimento en este tramo.

Tabla 9

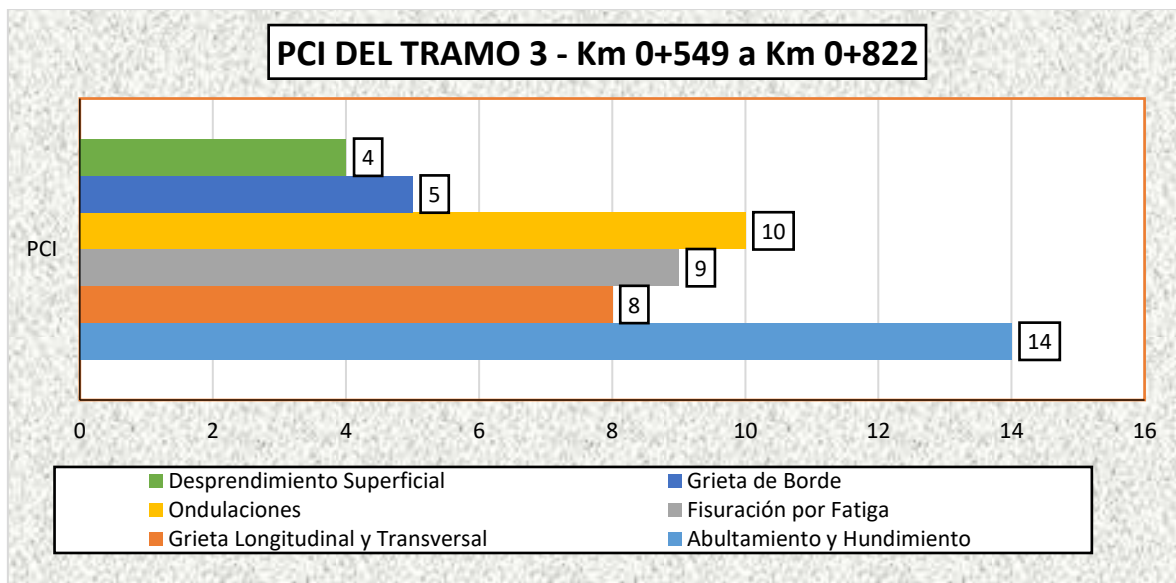
PCI del Tramo 3 (Km 0+549 a Km 0+822).

Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Abultamiento y Hundimiento	18.9 m ²	Alta	6.90	14
Grieta Longitudinal y Transversal	10.2 m	Media	3.73	8
Fisuración por Fatiga	9.8 m	Alta	5.57	9
Ondulaciones	12.1 m ²	Media	4.42	10
Grieta de Borde	7.5 m	Baja	2.73	5
Desprendimiento Superficial	5.8 m ²	Baja	2.12	4

La Tabla 9 muestra el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el Tramo 3 (Km 0+549 a Km 0+822). Las fallas incluyen Abultamiento y Hundimiento, Grieta Longitudinal y Transversal, Fisuración por Fatiga, Ondulaciones, Grieta de Borde y Desprendimiento Superficial, con severidades que varían entre alta, media y baja. El PCI final del tramo es de 50, lo que indica una condición REGULAR del pavimento, calculado restando la suma de los valores de las fallas de 100.

Figura 15

Índice de Condición del Pavimento del tramo 3.



La Figura 15 muestra el (PCI) del Tramo 3. El abultamiento y hundimiento es la falla más severa (PCI 14), seguida de la fisuración longitudinal y transversal (PCI 10). Las fallas menos graves incluyen desprendimiento superficial (PCI 4) y grieta de borde (PCI 5), reflejando diferentes grados de deterioro en el tramo evaluado.

Tabla 10

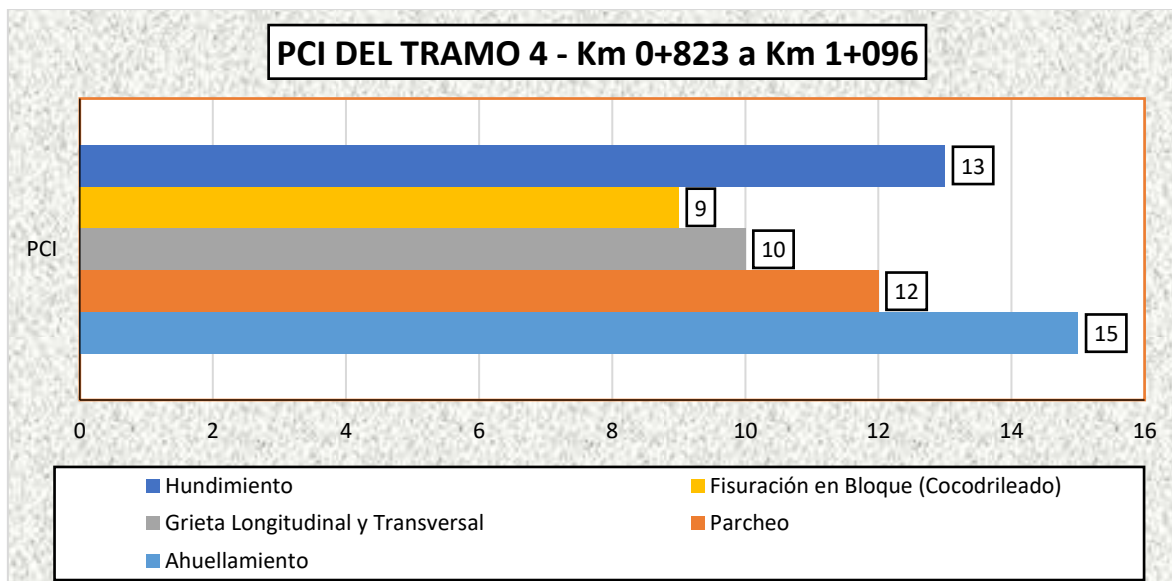
PCI del Tramo 4 (Km 0+823 a Km 1+096).

Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Parcheo	31.9 m ²	Alta	11.64	15
Ahuellamiento	19.3 m ²	Alta	7.04	12
Fisuración en Bloque (Cocodrileado)	16.7 m ²	Media	6.09	10
Grieta Longitudinal y Transversal	13.6 m	Alta	4.97	9
Hundimiento	8.2 m ²	Alta	2.99	13

La Tabla 10 presenta el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el Tramo 4 (Km 0+823 a Km 1+096). Se identifican cinco tipos de fallas: Parcheo, Ahuellamiento, Fisuración en Bloque (Cocodrileado), Grieta Longitudinal y Transversal, y Hundimiento, con severidades mayormente altas. El cálculo del PCI resulta en 41, lo que indica una condición REGULAR del pavimento en este tramo, al restar la suma de los valores de las fallas de 100.

Figura 16

Índice de Condición del Pavimento del tramo 4.



La Figura 16 muestra (PCI) para el Tramo 4. El ahuellamiento es la falla más severa con un PCI de 15, seguido del hundimiento (PCI 13) y el parqueo (PCI 12). Las fallas menos críticas incluyen la fisuración en bloque (PCI 9) y la fisuración longitudinal y transversal (PCI 10), evidenciando diversos niveles de deterioro en el pavimento de este tramo.

Tabla 11

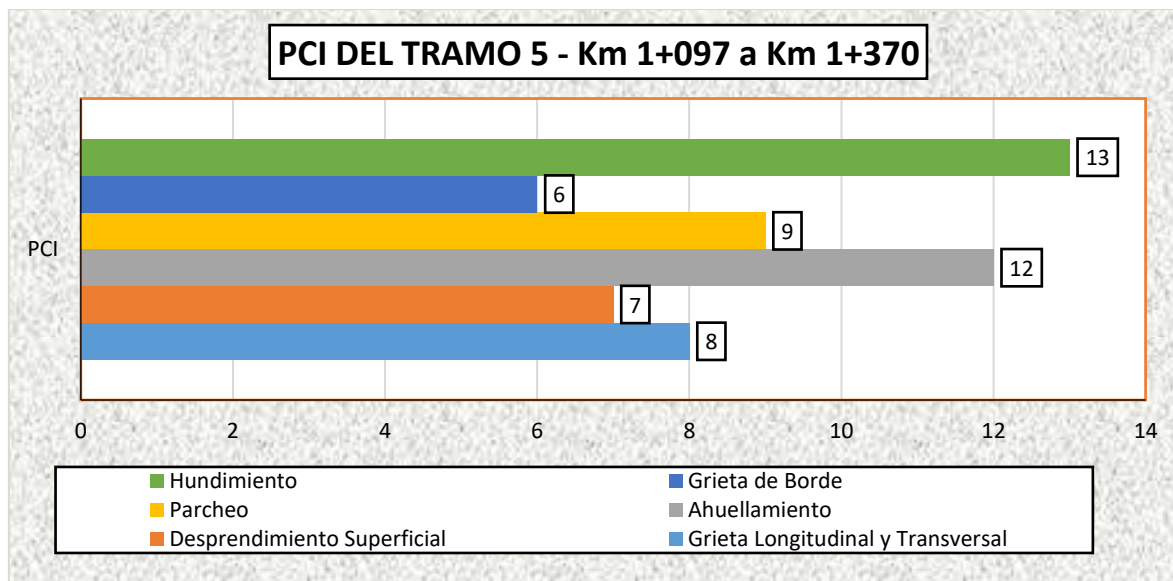
PCI del Tramo 5 (Km 1+097 a Km 1+370).

Tipo de Falla	Cantidad	Severidad	Densidad (%)	PCI
Grieta Longitudinal y Transversal	11.3 m	Media	4.12	8
Desprendimiento Superficial	10.4 m ²	Media	3.79	7
Ahuellamiento	14.2 m ²	Alta	5.15	12
Parqueo	12.8 m ²	Alta	4.64	9
Grieta de Borde	9.7 m	Baja	3.53	6
Hundimiento	7.1 m ²	Alta	2.57	13

La Tabla 11 presenta el cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para el Tramo 5 (Km 1+097 a Km 1+370). Las fallas incluyen Grieta Longitudinal y Transversal, Desprendimiento Superficial, Ahuellamiento, Parqueo, Grieta de Borde, y Hundimiento, con severidades que varían entre media, alta y baja. El PCI final es de 45, lo que indica una condición REGULAR del pavimento en este tramo, calculado restando la suma de los valores de las fallas de 100.

Figura 17

Índice de Condición del Pavimento del tramo 5.



La Figura 17 muestra el (PCI) del Tramo 5. El hundimiento presenta la mayor severidad con un PCI de 13, seguido por el ahuellamiento (PCI 12) y el parqueo (PCI 9). Las fallas menos graves incluyen el desprendimiento superficial (PCI 7) y la grieta de borde (PCI 6), reflejando diferentes niveles de deterioro en el pavimento a lo largo de este tramo.

RESUMEN DE PCI POR TRAMO:

Tabla 12

PCI e Intervención para Tramos los Viales.

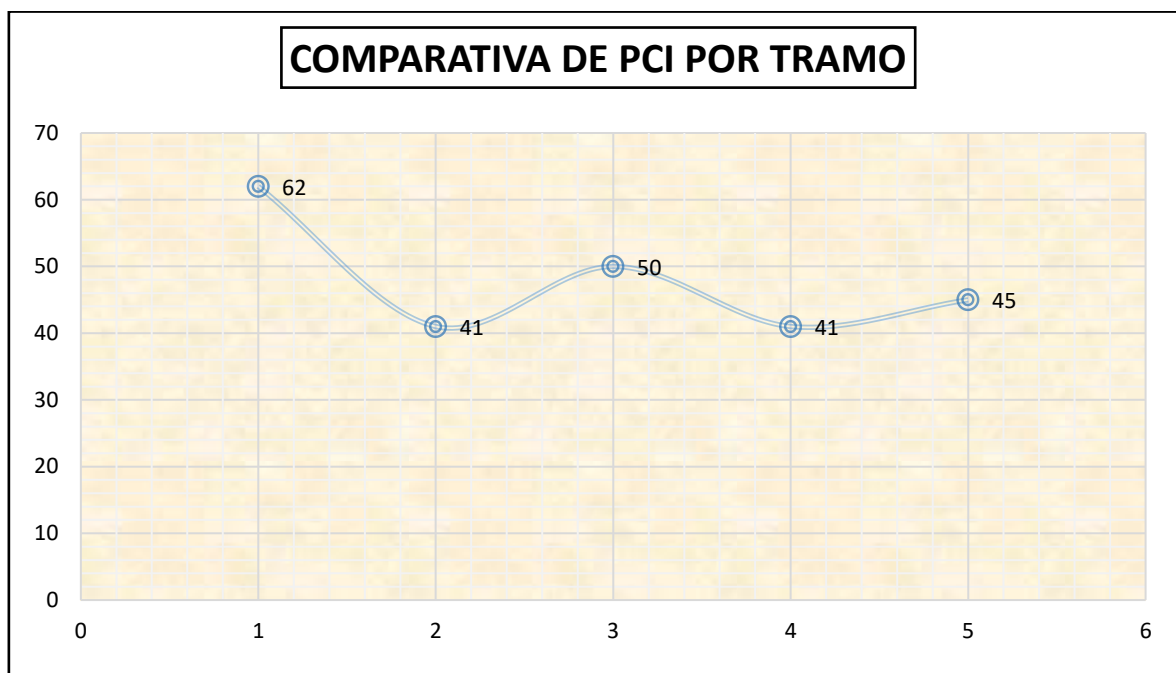
TRAMO	KM. INICIO	KM. FINAL	PCI	CONDICIÓN	NIVEL DE INTERVENCIÓN
1	Km. 0 + 000	Km. 0 + 274	62	BUENO	Mantenimiento Periódico
2	Km. 0 + 275	Km. 0 + 548	41	REGULAR	Mantenimiento Correctivo
3	Km. 0 + 549	Km. 0 + 822	50	REGULAR	Mantenimiento Correctivo
4	Km. 0 + 823	Km. 1 + 096	41	REGULAR	Mantenimiento Correctivo
5	Km. 1+ 097	Km. 1 + 370	45	REGULAR	Mantenimiento Correctivo

El Tramo 1, clasificado como "Bueno" con un PCI de 62, requiere únicamente mantenimiento periódico. Los Tramos 2, 3, 4 y 5, clasificados como "Regular" con PCI entre 41 y 50, necesitan un mantenimiento correctivo para mejorar su condición y

prolongar su vida útil. Esta clasificación permite planificar adecuadamente las acciones de mantenimiento según el estado del pavimento en cada sección.

Figura 18

PCI, de cada tramo vial, analizados.



La Figura 18 muestra la comparativa del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para cada tramo vial analizado. El Tramo 1 presenta el valor más alto con un PCI de 62, indicando mejor estado en comparación con los demás tramos. Los Tramos 2 y 4 tienen el PCI más bajo, con un valor de 41, lo que refleja un mayor deterioro. Los Tramos 3 y 5 muestran valores intermedios de 50 y 45, respectivamente, sugiriendo condiciones regulares en estas secciones.

4.1.3 Resultados sobre la propuesta de alternativa de intervención en la vía.

1. Tramo 1 (Km 0+000 a Km 0+274) - PCI: 62 (Condición: Bueno)

Tipos de Fallas Identificadas: En el Tramo 1 se identificaron diversas fallas superficiales, entre las cuales destacan:

- ❑ **Grieta longitudinal y transversal:** Este tipo de falla se caracteriza por el desarrollo de fisuras en las direcciones longitudinal y transversal, frecuentemente causadas por las tensiones térmicas y la dilatación o contracción del material asfáltico.
- ❑ **Ahuellamiento:** Manifestado como surcos a lo largo del carril de circulación, producto del desgaste por la carga repetitiva del tránsito vehicular.
- ❑ **Fisuración por fatiga:** Conocida también como fisuración tipo "piel de cocodrilo", es el resultado de la degradación estructural debido a la carga repetida sobre el pavimento.
- ❑ **Desprendimiento superficial:** Pérdida de la capa superior del pavimento, exponiendo así los agregados internos a la intemperie y al tráfico.
- ❑ **Grieta de borde:** Fisuración que se presenta en los márgenes del pavimento, habitualmente atribuida a una falta de soporte lateral adecuado.

Intervención Propuesta: Para mantener la condición de este tramo, se recomienda realizar las siguientes acciones preventivas:

- ❑ **Sellado de Grietas:** Realizar el sellado de las grietas longitudinales, transversales y de borde para evitar la infiltración de agua en la estructura del pavimento, ya que el agua es un factor crítico en la aceleración del deterioro.
- ❑ **Reparación Superficial:** Aplicar un rejuvenecimiento asfáltico en las áreas afectadas por el desprendimiento superficial. Este proceso consiste en un tratamiento de recubrimiento asfáltico que restaura la capa superficial y protege el pavimento de futuros desgastes.
- ❑ **Mantenimiento Rutinario:** Efectuar un fresado superficial en las zonas con ahuellamiento y posteriormente aplicar una nueva capa de rodadura asfáltica, con el objetivo de nivelar la superficie y mejorar la calidad de rodadura.

Justificación: La intervención propuesta tiene un carácter preventivo, ya que la condición del pavimento aún es buena. Estas acciones prolongarán la vida útil de la vía y evitarán la necesidad de intervenciones más costosas en el futuro. El sellado de grietas y

la reparación superficial permitirán mantener la funcionalidad y la seguridad de este tramo, garantizando una mayor durabilidad de la infraestructura vial.

2. Tramo 2 (Km 0+275 a Km 0+548) - PCI: 41 (Condición: Regular)

Tipos de Fallas Identificadas: En este tramo, se identificaron varias fallas que indican un deterioro significativo:

- Ahuellamiento:** Deformaciones permanentes en forma de surcos, evidentes en la zona de rodadura debido a la carga vehicular constante.
- Parcheo:** Áreas del pavimento donde se han realizado reparaciones previas, que ahora requieren nivelación y ajustes para mejorar su desempeño.
- Grieta longitudinal y transversal:** La presencia de estas grietas permite la infiltración de agua, lo que compromete la estructura del pavimento y facilita la expansión de los daños.
- Fisuración en bloque:** Este tipo de fisuración genera un patrón de bloques debido al envejecimiento del pavimento y su rigidez, afectando la capacidad de soporte.
- Hundimiento:** Áreas deprimidas en el pavimento, producto de asentamientos diferenciales o fallas en la subbase.

Intervención Propuesta: Se sugiere una rehabilitación parcial en este tramo debido al deterioro estructural observado. Las acciones recomendadas incluyen:

- Rehabilitación Parcial:** En las áreas con hundimientos y ahuellamiento severo, se recomienda la excavación y reconstrucción de la subbase, seguida de la colocación de una nueva capa de rodadura para restablecer la funcionalidad.
- Sellado de Grietas:** Sellar las grietas longitudinales y transversales para prevenir la infiltración de agua y la expansión del daño, protegiendo así la integridad estructural del pavimento.
- Recubrimiento Asfáltico en Áreas Parcheadas:** En las zonas previamente parcheadas, se recomienda realizar un fresado superficial para nivelar el pavimento y aplicar una nueva capa de asfalto, asegurando la durabilidad de las reparaciones.

Justificación: La condición del pavimento en este tramo es deficiente, con fallas estructurales que requieren una intervención intensiva. La rehabilitación parcial en las áreas más afectadas ayudará a restablecer la funcionalidad del pavimento y a prevenir la extensión de los daños. La combinación de sellado de grietas y fresado en las áreas parcheadas permitirá optimizar los recursos y extender la vida útil del pavimento en este tramo.

3. Tramo 3 (Km 0+549 a Km 0+822) - PCI: 50 (Condición: Regular)

Tipos de Fallas Identificadas: Este tramo presenta las siguientes fallas, que afectan su integridad estructural:

- Abultamiento y hundimiento:** Deformaciones en la superficie del pavimento que comprometen su uniformidad y pueden indicar problemas en la subbase.
- Grieta longitudinal y transversal:** Fisuras visibles en la superficie que aumentan la vulnerabilidad del pavimento frente a la infiltración de agua.
- Fisuración por fatiga:** Grietas en forma de piel de cocodrilo, que evidencian debilitamiento por las cargas repetitivas del tráfico.
- Ondulaciones:** Deformaciones en la superficie del pavimento, que afectan la comodidad de los usuarios y la seguridad vial.
- Grieta de borde:** Grietas a lo largo del borde del pavimento, típicamente causadas por la falta de soporte lateral.
- Desprendimiento superficial:** Desgaste de la capa superior del pavimento, que expone las capas internas.

Intervención Propuesta: Para restaurar la funcionalidad y prolongar la vida útil de este tramo, se sugiere:

- Rehabilitación Profunda en Áreas Localizadas:** En las zonas con abultamiento y hundimiento, realizar una remoción de las capas hasta la subbase y su reconstrucción para garantizar la estabilidad de la estructura.

- ❑ **Nivelación y Fresado:** Las ondulaciones deben ser corregidas mediante fresado y nivelación, seguidas de la colocación de una nueva capa de rodadura asfáltica.
- ❑ **Mantenimiento Preventivo:** Sellar todas las grietas para evitar la entrada de agua y reducir el riesgo de deterioro adicional.

Justificación: La presencia de fallas estructurales en este tramo justifica la necesidad de intervenciones en áreas específicas, para asegurar la estabilidad y durabilidad del pavimento. La rehabilitación profunda en zonas afectadas y el mantenimiento preventivo permitirán prolongar la vida útil del pavimento, conservando la calidad y seguridad del tramo.

4. Tramo 4 (Km 0+823 a Km 1+096) - PCI: 41 (Condición: Regular)

Tipos de Fallas Identificadas: El Tramo 4 presenta una serie de fallas que reflejan un desgaste avanzado:

- ❑ **Parcheo:** Reparaciones parciales previas que ahora requieren nivelación y ajustes.
- ❑ **Ahuellamiento:** Surcos pronunciados en la zona de rodadura debido a las cargas vehiculares.
- ❑ **Fisuración en bloque:** Fisuras que forman un patrón de bloques pequeños, resultado de la rigidez del pavimento y el envejecimiento.
- ❑ **Grieta longitudinal y transversal:** Grietas que facilitan la infiltración de agua en el pavimento.
- ❑ **Hundimiento:** Áreas deprimidas, indicativas de un fallo en la subbase o en la compactación inicial.

Intervención Propuesta: Dado el avanzado deterioro, se recomienda una rehabilitación integral que incluya:

- ❑ **Rehabilitación Integral:** Remoción de la capa existente, reconstrucción de la base y subbase, y aplicación de una nueva capa de pavimento asfáltico.
- ❑ **Sellado de Grietas:** En zonas sin fisuración en bloque, sellar las grietas longitudinales y transversales para evitar un mayor deterioro.

- ❑ **Nivelación:** Eliminar los parches existentes y fresar las áreas afectadas para asegurar una superficie uniforme.

Justificación: La condición estructural del pavimento en este tramo ha sido seriamente comprometida. La rehabilitación integral es necesaria para restaurar la durabilidad y funcionalidad del pavimento, ya que las fallas, como el hundimiento y la fisuración en bloque, no permiten soluciones parciales. Esta intervención asegurará la longevidad y calidad de la infraestructura.

5. Tramo 5 (Km 1+097 a Km 1+370) - PCI: 45 (Condición: Regular)

Tipos de Fallas Identificadas: Este tramo presenta las siguientes fallas, que requieren atención:

- ❑ **Grieta longitudinal y transversal:** Fisuras que permiten la infiltración de agua y comprometen la resistencia del pavimento.
- ❑ **Desprendimiento superficial:** Desgaste de la capa superior del pavimento, exponiendo las capas inferiores.
- ❑ **Ahuellamiento:** Surcos en la zona de rodadura, provocados por el peso y el tráfico constante.
- ❑ **Parcheo:** Áreas parchadas que requieren un tratamiento de nivelación.
- ❑ **Grieta de borde:** Fisuras en el borde del pavimento, normalmente causadas por falta de soporte lateral.
- ❑ **Hundimiento:** Depresiones que sugieren problemas en la base del pavimento.

Intervención Propuesta: Para mejorar las condiciones de este tramo, se propone:

- ❑ **Rehabilitación Parcial y Fresado:** Tratar las áreas con ahuellamiento y hundimiento mediante fresado y aplicar una nueva capa de rodadura asfáltica para nivelar y reforzar la superficie.
- ❑ **Sellado de Grietas:** Sellar todas las grietas longitudinales, transversales y de borde para evitar la infiltración de agua, protegiendo así la estructura.



- ❑ **Reparación Superficial:** Aplicar un microsellado asfáltico en las áreas con desprendimiento superficial, restaurando la capa superior.

Justificación: La condición del pavimento es regular; sin embargo, las fallas presentes requieren intervenciones correctivas para evitar un deterioro progresivo. Las acciones propuestas, como el fresado, el microsellado y el sellado de grietas, ayudarán a mantener la funcionalidad del pavimento sin necesidad de una reconstrucción completa, preservando así su integridad estructural.

4.2 Discusión de resultados.

La región de Puno está situada en una zona geográfica singular, caracterizada por su altitud y clima extremo, donde las variaciones diarias de temperatura, las precipitaciones intensas y los ciclos de congelamiento-descongelamiento son factores que afectan profundamente la durabilidad de las vías. Según Quispe Mamani (2015), las carreteras ubicadas en el altiplano peruano están constantemente sometidas a condiciones que aceleran la aparición de fallas, como el agrietamiento y el desprendimiento superficial. Estos fenómenos se presentan en los tramos evaluados en tu estudio, donde el agrietamiento longitudinal y transversal, junto con el ahuellamiento, fueron las fallas más recurrentes.

Es crucial destacar que la infraestructura vial en Puno no solo enfrenta desafíos climáticos, sino también estructurales y financieros. En muchas ocasiones, la falta de mantenimiento adecuado, debido a limitaciones presupuestarias en las municipalidades locales, contribuye al deterioro acelerado de las carreteras. Gonzales & Huamaní (2020) señalan que la gestión deficiente de los recursos en las zonas rurales de Puno ha llevado a la implementación de medidas reactivas en lugar de preventivas, lo que agrava el estado de los pavimentos y aumenta los costos de rehabilitación a largo plazo.

Relación entre el Tráfico Vehicular y el Desgaste de los Pavimentos

El tráfico vehicular pesado es otro factor clave que influye en el deterioro de las vías en Puno. Estudios de Caso Villegas (2018) revelan que, en esta región, las rutas viales suelen ser utilizadas para el transporte de productos agrícolas y minerales, lo que añade una carga significativa sobre los pavimentos. Los vehículos pesados, en particular camiones y maquinaria de transporte de minerales, generan un esfuerzo considerable sobre la estructura del pavimento, especialmente en zonas donde la subbase y la base del pavimento no están adecuadamente diseñadas para soportar dicho peso.

En los tramos evaluados, se observa que fallas como el ahuellamiento (presente en los Tramos 1, 2 y 5) y el hundimiento son indicativos de la incapacidad del pavimento para resistir las cargas cíclicas de vehículos pesados. El ahuellamiento, una deformación permanente de la superficie del pavimento, es particularmente preocupante porque afecta la seguridad de los usuarios, al crear surcos que pueden causar hidroplaneo durante las lluvias. Gonzales & Huamaní (2020) sugieren que este tipo de fallas debe abordarse mediante una rehabilitación parcial o integral de la subbase, lo que coincide con las propuestas de intervención en tu estudio.

Índice de Condición del Pavimento (PCI) como Herramienta de Diagnóstico

El uso del PCI en este estudio para evaluar el estado de las vías es una estrategia eficaz para priorizar intervenciones en función de la gravedad de las fallas. En la región de Puno, donde los recursos financieros para el mantenimiento de infraestructuras son limitados, el PCI permite optimizar el uso de los recursos al identificar con precisión los tramos que requieren intervenciones inmediatas y aquellos que pueden ser mantenidos con reparaciones preventivas.

En el caso del **Tramo 1**, con un PCI de 62, se ha recomendado el mantenimiento preventivo. Esta intervención es clave para evitar que las grietas longitudinales y transversales, así como las fisuras por fatiga, se conviertan en fallas estructurales más graves. De acuerdo con Apaza Mamani (2017), en carreteras de zonas rurales donde el tránsito no es tan intenso, el mantenimiento preventivo puede prolongar significativamente la vida útil del pavimento y reducir costos futuros.

Sin embargo, en los tramos con un PCI inferior a 50, como el **Tramo 2** (PCI de 41) y el **Tramo 4** (PCI de 41), la rehabilitación es inevitable. Los datos sugieren que estas vías han alcanzado un nivel de deterioro tal que los métodos de mantenimiento preventivo ya no son suficientes. Esto es respaldado por estudios como los de Huanca Quispe (2020), quien subraya que, en carreteras con un PCI inferior a 50, la estructura del pavimento ha sido comprometida, lo que exige intervenciones más intensivas, como la reconstrucción de la subbase o incluso la aplicación de nuevas capas de pavimentación.

Implicancias Económicas y Sociales del Deterioro Vial

El estado deficiente de las carreteras en Puno no solo tiene implicaciones técnicas, sino también económicas y sociales. El transporte en mal estado incrementa los costos de operación de los vehículos, afecta el comercio local y nacional, y reduce la competitividad de la región en términos de acceso a mercados. Además, el mal estado de las vías tiene un impacto directo en la seguridad vial, incrementando el riesgo de accidentes debido a deformaciones en el pavimento, como el ahuellamiento y las ondulaciones, ambos observados en los tramos analizados.

Autores como Mamani Espinoza (2019) han señalado que la conectividad vial es un factor esencial para el desarrollo económico de las comunidades rurales en Puno. Las fallas en las vías, particularmente en las zonas de acceso a centros de producción agrícola y minera, reducen la capacidad de transporte de bienes, lo que afecta negativamente la economía local. Las rehabilitaciones viales propuestas en este estudio no solo se justifican desde el punto de vista técnico, sino también por su impacto positivo en la economía regional.

Sostenibilidad y Perspectivas Futuras para la Infraestructura Vial en Puno

Un aspecto importante a considerar en futuras intervenciones es la sostenibilidad de las soluciones implementadas. Huanca Quispe (2020) sugiere que la utilización de materiales innovadores, como los polímeros modificados y los asfaltos mejorados con aditivos, puede mejorar significativamente la resistencia de los pavimentos a las



condiciones climáticas adversas de la región. En los últimos años, se ha comenzado a explorar la posibilidad de utilizar tecnologías de pavimentación más sostenibles y resistentes al desgaste climático, lo que podría reducir la frecuencia de intervenciones y disminuir los costos de mantenimiento.

Además, es necesario considerar el uso de coagulantes naturales en las intervenciones viales, como el caso del cactus *Opuntia* y otros materiales naturales que están siendo investigados en el tratamiento de suelos y superficies, no solo para agua potable, sino también para la conservación de infraestructura vial en zonas rurales. Estas innovaciones podrían proporcionar soluciones a largo plazo y ayudar a mitigar el impacto del tráfico pesado y las condiciones climáticas extremas en las vías de Puno.

Conclusión

En resumen, los resultados de tu estudio reflejan claramente el deterioro de las vías en la región de Puno debido a una combinación de factores climáticos, estructurales y socioeconómicos. Las intervenciones propuestas, basadas en el PCI, son una estrategia adecuada para gestionar de manera eficiente los recursos limitados y garantizar la funcionalidad de las vías en el corto y mediano plazo. No obstante, es fundamental considerar la adopción de tecnologías más sostenibles y enfoques preventivos para mejorar la resiliencia de las infraestructuras viales en regiones de alta montaña como Puno. La inversión en materiales innovadores y el fortalecimiento de la gestión vial a nivel regional son claves para asegurar un desarrollo sostenible y equitativo en la región.



CONCLUSIONES

Primera, el estado superficial del pavimento flexible de las vías de la ciudad de Juliaca presenta un estado regular, lo que indica que requiere un mantenimiento rutinario con el mejoramiento de la carpeta asfáltica con trabajos de sellado y parcheo.

Segunda, se han identificado distintos tipos de daños en los tramos evaluados, como grieta longitudinal y transversal, ahuellamiento, fisuración por fatiga, desprendimiento superficial, grieta de borde, fisuración en bloque y hundimiento. La severidad de estas fallas varía entre baja, media y alta, lo que influye directamente en el estado del pavimento.

Tercera, el nivel de condición superficial fue calculado para cada tramo evaluado, con resultados que van desde 41 (condición Regular) hasta 62 (condición bueno); el análisis mostró que los tramos con mayores problemas, como los Tramos 2 y 4, presentaban un PCI de 41, lo que requiere un mantenimiento correctivo. El Tramo 1, con un PCI de 62, solo requiere mantenimiento periódico.

Cuarta, las alternativas de intervención de vías, varían según el PCI y el tipo de falla, para el Tramo 1, que tiene un PCI de 62, se propone sellado de grietas, reparación superficial y mantenimiento rutinario, mientras que, para tramos con condiciones regular, como el Tramo 4, se requiere un mantenimiento correctivo, que incluiría la remoción de la capa existente y la reconstrucción de la base y subbase.

RECOMENDACIONES

Primera, Se recomienda que futuras investigaciones se centren en realizar estudios comparativos sobre la efectividad de los métodos de mantenimiento rutinario y correctivo en pavimentos flexibles, particularmente en contextos urbanos con condiciones climáticas y de tráfico similares a las de Juliaca. Un análisis más exhaustivo de la efectividad de intervenciones como el sellado de grietas y el parcheo podría contribuir a optimizar los recursos destinados al mantenimiento.

Segunda, Es fundamental que futuros estudios profundicen en la relación entre las diferentes fallas superficiales (grietas longitudinales, ahuellamiento, fisuraciones por fatiga) y su impacto en la durabilidad y rendimiento estructural de los pavimentos flexibles. Se podría investigar cómo estos daños afectan la funcionalidad a largo plazo y su relación con las cargas de tráfico o las características del terreno.

Tercera, Se recomienda que se investigue más a fondo cómo los factores ambientales, como las condiciones climáticas extremas (temperaturas bajas, lluvias intensas), influyen en el deterioro de la superficie del pavimento flexible. Este tipo de estudios podría contribuir al desarrollo de materiales o técnicas de mantenimiento más adaptadas a climas específicos.

Cuarta, Es crucial que futuros investigadores trabajen en el desarrollo de modelos predictivos basados en datos locales (tráfico, clima, tipo de pavimento) para anticipar el deterioro del pavimento flexible. Estos modelos podrían ser útiles para mejorar la planificación del mantenimiento, priorizando intervenciones en tramos que presenten un riesgo elevado de deterioro.

REFERENCIAS

- 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>
- 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>
- 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: Universida Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37494>
- Carrasco, S. (2018). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Ccama Quispe, H. G., & Turpo Arapa, K. Y. (2021). *Evaluación superficial del estado del pavimento flexible 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>
- 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.* Bogotá: 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>
- 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., & Celi Yanchapanta, K. A. (2021). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32376>
- 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.
- 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 LA TESIS: EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA 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 en vías 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 en vías de la ciudad de Juliaca 2024.</p>	<p>Hipótesis General: El estado superficial de pavimentos flexibles por medio del método de índice de condición de pavimento en vías de la ciudad de Juliaca 2024, será regular.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Estado superficial del pavimento flexible.</p>	<p>Inspección visual, Método PCI (Pavement Condition Index)</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuáles son los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024?</p> <p>¿Cuál será el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024?</p> <p>¿Cuáles son las alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024.</p> <p>Determinar el nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024.</p> <p>Proponer alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>Los tipos de daños y el grado de severidad que presenta las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024, serán baches y piel e cocodrilo en severidades altas.</p> <p>El nivel de condición superficial de las vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024, será malo.</p> <p>Las alternativas de intervención de vías a nivel de pavimento flexible en vías de la ciudad de Juliaca 2024, será mantenimiento rutinario.</p>	<p>Dimensiones: <i>Tipo de deterioro (grietas, baches, deformaciones).</i> <i>Nivel de severidad (leve, moderada, severa).</i> <i>Área afectada (m²).</i></p> <p>Variable Dependiente</p> <p><i>Alternativa de intervención</i></p> <p>Dimensiones: <i>Tipo de intervención propuesta (mantenimiento rutinario, rehabilitación)</i></p>	



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
SOLICITANTE : BACHILLER WILLIAM GROVER TICO TORRES
MUESTRA : TRAMO 1 - Km 0+ 000 - 0+ 274
FECHA : 09 DE SETIEMBRE DEL 2024

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 01 INICIO DE PROGRESIVA (KM) : 0+000
ANCHO DE VIA (m): 3.5 FIN DE PROGRESIVA (KM) : 0+274
LONGITUD DE MUESTRA (m): 274 AREA DE LA UNIDAD (m²): 959

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m ²	11	Parqueo	PAR	m ²
2	Exudación	EXU	m ²	12	Pulimento de Agregado	PUL	m ²
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m ²	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	CFE	m ²
5	Corugación	COG	m ²	15	Ahuellamiento	AHT	m ²
6	Depresión	DPS	m ²	16	Desplazamiento	DPT	m ²
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabólica	GRP	m ²
8	Grieta de reflexión de junta	GJU	m	18	Hinchamiento	HIN	m ²
9	Desnivel Carril / Berma	DES	m	19	Desprendimiento de Agregados	DEA	m ²
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
10	M	2.3					2.3	4.12%	8.0
15	H	3.0					3.0	5.55%	12.0
1	L	1.7					1.7	3.17%	5.0
19	M	2.5					2.5	4.86%	7.0
7	M	1.8					1.8	3.31%	6.0
							TOTAL VD		38

Valor deducido mas alto	12
valor deducido menor	5
Numero máximo de valores deducidos	5

	m	9.08
Parte decimal	0.08	$m = 1 + (B98) (100+HDV) < 10$
Valor mínimo	5	

N°	VALORES DEDUCIDOS					VDT	q	VDC
1	8						0.08	0.64
2	12						0.12	1.44
3	5						0.05	0.25
4	7						0.07	0.49
5	6						0.06	0.36
							MAX VDC	1.44

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100-(MaxVDC * Total VD)
PCI	=	62

CONDICION DEL PAVIMENTO:

REGULAR



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
SOLICITANTE : BACHILLER WILLIAM GROVER TICO TORRES
MUESTRA : TRAMO 2 - Km 0+ 275 - 0+ 548
FECHA : 10 DE SETIEMBRE DEL 2024

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 02 **INICIO DE PROGRESIVA (KM) :** 0+275
ANCHO DE VIA (m): 3.5 **FIN DE PROGRESIVA (KM) :** 0+548
LONGITUD DE MUESTRA (m): 273 **AREA DE LA UNIDAD (m2) :** 955.5

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parcheo	PAR	m2
2	Exudación	EXU	m2	12	Pulimento de Agregado	PUL	m2
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m2	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	CFE	m2
5	Corrugación	COG	m2	15	Ahuellamiento	AHT	m2
6	Depresión	DPS	m2	16	Desplazamiento	DPT	m2
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabólica	GRP	m2
8	Grieta de reflexión de junta	GJU	m	18	Hinchamiento	HIN	m2
9	Desnivel Carri / 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
15	H	22.7						22.7	8.27%	15.0
11	M	17.4						17.4	6.33%	10.0
10	H	14.3						14.3	5.21%	9.0
1	H	10.9						10.9	3.97%	13.0
4	H	7.6						7.6	2.77%	12.0
								TOTAL VD		59

Valor deducido mas alto	15
valor deducido menor	9
Numero maximo de valores deducidos	5

m	8.81
Parte decimal	0.81
Valor mínimo	9

$$m = 1 + (9/98) (100 - HDV) = 10$$

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC
1	15							0.15	2.25
2	10							0.10	1.00
3	9							0.09	0.81
4	13							0.13	1.69
5	12							0.12	1.44
								MAX VDC	2.25

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100 - (MaxVDC x Total VD)
PCI	=	41

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:

MALO



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
SOLICITANTE : BACHILLER WILLIAM GROVER TICO TORRES
MUESTRA : TRAMO 3 - Km 0+549 - 0+822
FECHA : 11 DE SETIEMBRE DEL 2024

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 01 INICIO DE PROGRESIVA (KM) : 0+549
ANCHO DE VIA (m): 3.5 FIN DE PROGRESIVA (KM) : 0+822
LONGITUD DE MUESTRA (m): 273 AREA DE LA UNIDAD (m²) : 955.5

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m ²	11	Parcheo	PAR	m ²
2	Exudación	EXU	m ²	12	Pulimento de Agregado	PUL	m ²
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m ²	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	CFE	m ²
5	Corrugación	COG	m ²	15	Ahuellamiento	AHT	m ²
6	Depresión	DPS	m ²	16	Desplazamiento	DPT	m ²
7	Grieta de Borde	GBO	m	17	Grieta Parabólica	GRP	m ²
8	Grieta de reflexión de junta	GJU	m	18	Hinchamiento	HIN	m ²
9	Desnivel Caril / Bamba	DES	m	19	Desprendimiento de Agregados	DEA	m ²
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
4	H	18.0					18.0	6.90%	14.0	
10	M	10.2					10.2	3.73%	8.0	
3	H	9.8					9.8	5.57%	9.0	
4	M	12.1					12.1	4.42%	10.0	
7	L	7.5					7.5	2.73%	5.0	
19	L	5.8					5.8	2.12%	4.0	
								TOTAL VD		50

Valor deducido mas alto	14
valor deducido menor	4
Numero maximo de valores deducidos	6

m	8.90
Parte decimal	0.90
Valor mínimo	4

$$m = 1 + (9/98) (100-HDV) = < 10$$

N°	VALORES DEDUCIDOS						VDI	q	VDC
1	14							0.14	1.98
2	8							0.08	0.64
3	9							0.09	0.81
4	10							0.10	1.00
5	5							0.05	0.25
6	4							0.04	0.16
								MAX VDC	1.98

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	50

CONDICION DEL PAVIMENTO:

DEFICIENTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
SOLICITANTE : BACHILLER WILLIAM GROVER TICO TORRES
MUESTRA : TRAMO 4 - Km 0+823 - 1+096
FECHA : 12 DE SETIEMBRE DEL 2024

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 04
ANCHO DE VIA (m): 3.5
LONGITUD DE MUESTRA (m): 273
INICIO DE PROGRESIVA (KM) : 0+823
FIN DE PROGRESIVA (KM) : 1+096
AREA DE LA UNIDAD (m2) : 955.5

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	Pulmiento de Agregado	PUL	m2
3	Agrietamiento en bloque	AEB	m2	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía firme	CFE	m2
5	Corrugación	COG	m2	15	Alumbramiento	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 Carri / 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	
11	H	31.9					31.9	11.64%	15.0	
15	H	19.3					19.3	7.04%	12.0	
1	M	16.7					16.7	6.09%	10.0	
10	H	13.6					13.6	4.87%	9.0	
4	H	8.2					8.2	2.99%	13.0	
TOTAL VD								59		

Valor deducido mas alto	15
valor deducido menor	9
Numero maximo de valores deducidos	5

m	8.81
Parte decimal	0.81
Valor minimo	9

$m = 1 + (9/95) (100-HDV) \leq 10$

N°	VALORES DEDUCIDOS					VDT	q	VDC
1	15						0.15	2.25
2	12						0.12	1.44
3	10						0.10	1.00
4	9						0.09	0.81
5	13						0.13	1.69
MAX VDC								2.25

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100-(MaxVDC o Total VD)
PCI	=	41

CONDICION DEL PAVIMENTO:

DEFICIENTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024
SOLICITANTE : BACHILLER WILLIAM GROVER TICO TORRES
MUESTRA : TRAMO 5 - Km 1+097 - 1+370
FECHA : 13 DE SETIEMBRE DEL 2024

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

UNIDAD DE MUESTRA: UM - 05 INICIO DE PROGRESIVA (KM): 1+097
ANCHO DE VIA (m): 3.5 FIN DE PROGRESIVA (KM): 1+370
LONGITUD DE MUESTRA (m): 273 AREA DE LA UNIDAD (m2): 955.5

N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID	N°	TIPO DE FALLA	COD	UNID
1	Piel de Cocodrilo	PDC	m2	11	Parcheo	PAR	m2
2	Exudación	EXU	m2	12	Pulimento de Agregado	PUL	m2
3	Agritamiento en bloque	AEB	m2	13	Huecos	HUC	und
4	Abultamientos y hundimientos	AHU	m	14	Cruce de la vía férrea	CFE	m2
5	Carrugación	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
10	M	11.3					11.3	4.12%	8.0
19	M	10.4					10.4	3.79%	7.0
15	H	14.2					14.2	5.15%	12.0
11	H	12.8					12.8	4.64%	8.0
7	L	9.7					9.7	3.53%	6.0
4	H	7.1					7.1	2.57%	13.0
							TOTAL VD		55

Valor deducido mas alto	13
valor deducido menor	6
Numero maximo de valores deducidos	6

m	8.99
Parte decimal	0.99
Valor minimo	8

$$m = 1 + (S/99) (100-HDV) \leq 10$$

N°	VALORES DEDUCIDOS					VDT	q	VDC
1	13						0.13	1.69
2	12						0.12	1.44
3	9						0.09	0.81
4	8						0.08	0.64
5	7						0.07	0.49
							MAX VDC	1.69

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

PCI	=	100 - (MaxVDC e Total VD)
PCI	=	51

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO:

REGULAR



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 10-12-2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos:	<u>WILLIAM GROVER TICO TORRES</u>
Dirección:	<u>Jr. MOQUEGUA 568</u>
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:	<u>43292011</u>
Teléfono:	<u>951 807 300</u>
email:	<u>tico_torres_10@gmail.com</u>
Nombres y Apellidos:	_____
Dirección:	_____
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:	_____
Teléfono:	_____
email:	_____
Facultad y/o Escuela de Posgrado:	<u>INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS</u>
Escuela Profesional o Mención:	<u>INGENIERÍA CIVIL</u>
Título o Grado Académico a optar:	<u>TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL</u>
Asesor:	<u>Dr. EFRAIN PARILLO SOSA</u>
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:	
Trabajo de Investigación <input type="checkbox"/>	Tesis <input checked="" type="checkbox"/>
Trabajo de Suficiencia Profesional <input type="checkbox"/>	Trabajo Académico <input type="checkbox"/>
Título:	<u>EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE INTERVENCIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA SALIDA AREQUIPA DE LA CIUDAD DE JULIACA 2024</u>
Palabras claves, (3 a 5 términos):	<u>PAVIMENTO FLEXIBLE, (PCI), FALLAS, REHABILITACIÓN VIAL</u>
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2} ?	
<u>1</u>	
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 Titulo 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

10-12-2024

Fecha